

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME YAPILARDA YANGIN VE YANGIN TASARIMLARININ
BİR MODEL ÜZERİNDE İNCELENMESİ

139151

İnş. Müh. Oğuz BURNAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.12.2002

Tezin Savunma Tarihi : 24.01.2003

139151

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2003

TR. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği AnaBilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Betonarme yapıların yangına göre tasarımı konusundaki bu çalışmayı bana önererek diğer önemli görevlerine rağmen çalışmamı başından sonuna kadar sürekli takip edip, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşlamak için uğraş veren, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönetici hocam Sayın Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ'a şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Burada, öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Ayrıca, çalışmalarım boyunca yakın ilgi ve desteğini gördüğüm değerli arkadaşım Arş.Gör. Ercan YOZGAT'a ve bu çalışmanın yürütülmesi sırasında bana moral ve destek veren çalışma arkadaşlarım sayın Arş.Gör. Şenol GÜRSOY'a ve Öğr.Gör. Ramazan LİVAOĞLU'na da teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen ailemin tüm fertlerine müteşekkir olduğumu belirtir, çalışmamın vatana ve millete yararlı olmasını gönülden dilerim.

Trabzon, Aralık 2002

Oğuz BURNAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yapılarda Yangın Güvenliği.....	2
1.2.1. Yangın Güvenliğinin Amaçları.....	2
1.2.2. Güvenlik Yönünden Yangının Gelişim Aşamaları.....	2
1.2.3. Güvenlik Yönünden Yangın Başarımı.....	6
1.2.3.1 Yangın Başarımının Yararları.....	6
1.2.3.2. Yangın Tasarım Süresi.....	7
1.3. Yangın Ve Isı Geçişi.....	7
1.3.1. Yakıtlar.....	7
1.3.2. Yangın Yüktü.....	8
1.3.3. Yanma.....	9
1.3.4. Isı Kaynakları ve Tutuşma.....	11
1.3.5. Isı Geçişi.....	12
1.3.5.1. Isı İletimi.....	13
1.3.5.2. Isı Taşınımı.....	14
1.3.5.3. Isı Işınımı.....	15
1.4. Oda Yangınları.....	16
1.4.1. Havalandırma Denetimli Yanma.....	17
1.4.2. Yakıt Denetimli Yanma.....	19
1.4.3. Sıcaklık Değişimleri.....	20
1.4.4. Tasarım Yangınları.....	21

1.4.4.1. Basit Tasarım Yangını.....	21
1.4.4.2. Eurocode Parametrik Yangınları.....	22
1.5. Yangın Şiddeti, Yangın Başarımı Ve Standart Yangınlar.....	24
1.5.1. Yangın Şiddeti Ve Yangın Başarımı.....	24
1.5.1.1. Zaman Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması.....	25
1.5.1.2. Sıcaklık Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması.....	26
1.5.1.3. Dayanım Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması.....	26
1.5.2. Standart Yangınlar.....	27
1.6. Yangın Başarımının Belirlenmesi.....	28
1.6.1. Deneylerle Belirleme.....	29
1.6.1.1. Yangın Başarım Deney Fırınları.....	29
1.6.1.2. Deney Yöntemi Ve Yangın Başarım Ölçütü.....	30
1.6.2. Hesapla Belirleme.....	31
1.7. Yangın Koşullarında Yapısal Tasarım.....	33
1.7.1. Tasarım Denklemi.....	33
1.7.2. Yangına Göre Tasarım Yükleri.....	34
1.7.3. Yangın Tasarım İçin Yapısal Çözümleme.....	35
1.8. Beton ve Donatı Özelliklerinin Yüksek Sıcaklıkla Değişimi.....	35
1.8.1. Beton Özelliklerinin Değişimi.....	36
1.8.1.1. Özkütle Değişimi.....	36
1.8.1.2. Yüzeysel Bünye Değişimi.....	37
1.8.1.3. Isıl Genleşme Katsayısının Değişimi.....	37
1.8.1.4. Isı İletkenlik Katsayısının Değişimi.....	38
1.8.1.5. Özgül Isı Katsayısının Değişimi.....	40
1.8.1.6. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisinin Değişimi.....	41
1.8.1.7. Basınç Dayanımının Değişimi.....	42
1.8.1.8. Elastisite Modülünün Değişimi.....	45
1.8.2. Donatı Özelliklerinin Değişimi.....	46
1.8.2.1. Isı İletkenlik Katsayısının Değişimi.....	47
1.8.2.2. Özgül Isı Katsayısının Değişimi.....	47
1.8.2.3. Isıl Genleşme Katsayısının Değişimi.....	48
1.8.2.4. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisinin Değişimi.....	49
1.8.2.5. Akma Dayanımının Değişimi.....	52

1.9. Betonarme Kesitlerdeki Sıcaklık Dağılımının Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi.....	53
1.9.1. Analitik (Wickström) Yöntemle Belirleme.....	54
1.9.2. Sayısal Yöntemlerle Belirleme.....	55
1.9.2.1. Isı akış Denklemi.....	55
1.9.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirleme.....	56
1.9.2.2.1. Isı İletkenlik Matrisi.....	56
1.9.2.2.2. Kapasite Matrisi.....	60
1.9.2.2.3. Isı Taşınımı ve Isı Işınımı Sınır Koşulları.....	60
1.9.2.2.4. Matris Eşitliklerinin Zamana Göre İntegrasyonu.....	62
1.9.2.3. Sonlu Farklar Yöntemiyle Belirleme.....	63
1.9.2.3.1. Diferensiyel Denklem.....	63
1.9.2.3.2. Sınır Koşulları.....	67
1.10. Betonarme Yapılarda Eurocode 1-2'deki Yaklaşık Yöntemle Yangın Tasarımı.	69
1.10.1. Sıcaklık Dağılımları.....	69
1.10.2. Azaltılmış Enkesit.....	70
1.11. Betonarmede Yangın Konusunda Daha Önce Yapılan Bazı Çalışmalar.....	75
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	77
2.1. Seçilen Bir Modelin Sıcaklık-Zaman Eğrileri, Kesitlerindeki Sıcaklık Dağılımları ve Betonarme Elemanlarının Yangında Taşıma Güçleri.....	77
2.1.1. Modelin Özellikleri.....	78
2.1.2. Model İçindeki Sıcaklık Zaman Eğrileri.....	79
2.1.2.1. Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi.....	79
2.1.2.2. Gerçek Sıcaklık-Zaman Eğrisi.....	80
2.1.3. Modelin Bazı Elemanlarının Kesitlerindeki Sıcaklık Dağılımlarının Belirlenmesi.....	83
2.1.3.1. Wickström Yöntemine Göre Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları.....	85
2.1.3.2. Sonlu Farklar Yöntemine Göre Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları.....	90
2.1.4. Modelin Bazı Elemanlarının Yangın Koşullarındaki Kesit Etkisi Taşıma Güçlerinin Belirlenmesi.....	96
2.1.4.1. Model Döşemesinin Açıklık ve Mesnet Kesitlerinin Direnme Momentleri...	96
2.1.4.2. Modelin Bir Kirişinin Açıklık ve Mesnet Kesitlerinin Direnme Momentleri.....	98

2.1.4.3. Modelin 2B Kolonunun Yangın Koşullarında Moment-Normal Kuvvet Karşılıklı Etkileşim Diyagramı.....	99
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	102
4. KAYNAKLAR.....	104
5. EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	129



ÖZET

Diğer yapılar gibi betonarme yapıların da yangın etkisinde kaldığı ve bu nedenle kullanılmaz duruma gelerek can ve mal kaybına neden olduğu bilinmektedir. Durum böyle olmakla beraber, dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi Türkiye’de de henüz betonarme yapıların tasarımlarında yangın koşullarının dikkate alınmasını ve bu koşullara göre boyutlandırılmalarını öngören bir standart bulunmadığı gibi bu amacı gerçekleştirmeye imkan veren yeterli kaynak da bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, yapılarda yangın ve yangın güvenliği, yangın şiddeti ve başarımı, betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi ve betonarme yapıların yangına göre tasarımı konusunda çeşitli kaynaklardan yararlanarak hazırlanan bir sentez çalışması ışığında, seçilen bir model üzerinde gerçek sıcaklık-zaman eğrisinin elde edilebilirliğini, betonarme kesitlerdeki çeşitli yöntemlerle belirlenen sıcaklık dağılımlarını ve bazı betonarme yapı elemanlarının kesitlerinin yangın koşullarındaki taşıma güçlerini araştırmaktır. Bu amaçla birinci bölümde yapılarda yangın güvenliği, yangın ve ısı, yangın şiddeti ve yangın başarımı üzerinde durulmakta, daha sonra yangın koşullarında yapısal tasarım, beton ve donatı özelliklerinin yüksek sıcaklıkla değişimleri, betonarme kesitlerin sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi ve betonarme yapıların Eurocode’da verilen yaklaşık yöntemle yangın tasarımlarına ilişkin bazı bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde bu sentez çalışmasından da yararlanarak, geliştirilen bilgisayar programları yardımıyla seçilen betonarme bir model yapının gerçek sıcaklık-zaman eğrisi, kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ve elemanlarının yangında taşıma güçleri belirlenmektedir. Çalışmanın bütününden çıkartılan bazı sonuçlar ve öneriler ise üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar dizini, özgeçmiş ve bilgisayar program listelerine ilişkin ekler bölümü izlemektedir.

Elde edilen sonuçlar, betonarme yapıların tasarımında, yangın koşullarının dikkate alınmaması durumunda, özellikle uzun süreli yangınlarda bu yapıların taşıma gücü sınır durumuna göre emniyetlerinin sağlanamayacağını ortaya koymuş bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sentez, Betonarme, Yangın, Sıcaklık dağılımları, Yangına göre tasarım, Yangın koşullarında taşıma gücü

SUMMARY

Fire in Reinforced Concrete Structures and Investigation of Fire Design on a Model

It is known that reinforced concrete structures like other structures are exposed to the fires and become out of service which may cause life and property losses. However, in most of the countries in the world like Turkey, there is not got a code to take into account the fire effect and to design the reinforced concrete structures to the these effect. Additionally there is not got enough source to provide realizing this aim.

The main purpose of this study is to investigate the load capacities of some reinforced concrete structural element sections under fire conditions, the temperature distributions of reinforced concrete sections with various methods and to obtain the real temperature-time curve on a selected model by making use of some references about the fire on structures, fire safety, fire severity and resistance, determination of temperature distributions in reinforcing concrete sections and design of reinforced concrete structures under the fire. With this purpose, as a first step of chapter one fire safety of structures, fire and heat, fire severity and resistance are mentioned. This chapter is followed by some instructions about structural design under fire conditions, variation of the properties of concrete and reinforcing bar with high temperature, determination of temperature distributions of reinforced concrete sections and fire design of reinforced concrete structures with the simplified method given in Eurocode. In chapter two, with the use of this synthesis work, the real temperature-time curve of a chosen reinforced concrete structural model and the temperature distributions of its sections as well as the load capacities of its elements under the fire are determined by using the modified computer codes. Conclusions drawn from this study and recommendations are summarised in chapter three, and this chapter is followed by the list of references and appendix which is related to modified computer codes.

Result drawn from this study imply that when the fire effects are not taken into account, the safety of this structures according to ultimate limit state can not be satisfied especially in long term fires.

Key Words: Synthesis work, Reinforced concrete, Temperature distributions, Design according to fire, Load capacity under fire conditions.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Sıcaklık-zaman eğrisi üzerindeki yangın gelişim aşamaları.....	3
Şekil 2. Sonlu kalınlıkta çok uzun bir sistem.....	13
Şekil 3. Taşınım yoluyla ısı geçişi.....	14
Şekil 4. Bir yüzeyden diğer yüzeye verilen ısınm.....	16
Şekil 5. Bir yangın odasında birden fazla boşluk olması durumu.....	19
Şekil 6. Maksimum sıcaklıkların havalandırma etmenine göre değişimi.....	21
Şekil 7. Sabit sıcaklıklı tasarım yangını.....	22
Şekil 8. Eurocode parametrik yangınındaki referans sönme hızının zamanla değişimi.....	24
Şekil 9. Bazı yönetmeliklere göre standart yangınlara ilişkin sıcaklık-zaman eğrileri.....	28
Şekil 10. Düşey ve yatay yangın deney fırınlarından bir görünüm.....	30
Şekil 11. Yangın etkisindeki bir yapının yük taşıma kapasitesine ilişkin hesap akış diyagramı.....	32
Şekil 12. Betonlarda ısı genleşmenin sıcaklıkla değişimi.....	38
Şekil 13. Betonlarda ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi.....	39
Şekil 14. Betonların özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	41
Şekil 15. Betonda gerilme-şekildeğiştirme eğrisi parametreleri.....	42
Şekil 16. Bir eksenli merkezi basınçta silis agregalı betonun çeşitli sıcaklıklarda gerilme-şekildeğiştirme eğrileri.....	43
Şekil 17. Bazı araştırmacılara göre silis agregalı geleneksel betonun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi.....	44
Şekil 18. Betonların basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi.....	45
Şekil 19. Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi.....	46
Şekil 20. Donatı çeliğinin ısı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	47
Şekil 21. Çeliğin özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	48
Şekil 22. Donatı çeliğinin ısı genleşme katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	49
Şekil 23. Yüksek sıcaklık etkisindeki donatının gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	50
Şekil 24. Sıcakta işlem görmüş donatının çeşitli sıcaklıklardaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri.....	52

Şekil 25. Soğukta işlem görmüş donatının çeşitli sıcaklıklardaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 26. Donatı akma dayanımının sıcaklıkla değişimi.....	53
Şekil 27. İki boyutlu izoparametrik bir eleman.....	57
Şekil 28. İki boyutlu bir kesitin sonlu farklar ağı ve sistem koordinatları.....	63
Şekil 29. Silis agregalı beton kesitlerdeki sıcaklık dağılımları.....	70
Şekil 30. Her iki yüzünden yangın etkisinde kalan eşdeğer duvarlar (duvar1 ve duvar2) yardımıyla dayanım ve kesit azaltılması.....	72
Şekil 31. Dayanım azaltması ve a_z değerlerinin hesabı için iki yüzünden yangın etkisindeki bir duvarın bölgelere ayrılması.....	73
Şekil 32. Dört yüzünden yangın etkisindeki betonarme bir kolon kesitinde 500°C yöntemine göre kesit azaltması.....	74
Şekil 33. Model yapının kalıp planı, iç kirişlerin ve orta kolonun enkesit detayları....	78
Şekil 34. Model yapının mimari planı ve bazı özellikleri.....	79
Şekil 35. ISO 834 standart sıcaklık-zaman eğrisi.....	79
Şekil 36. Yangın yükünün 3000MJ/m^2 ve havalandırma etmeninin $0,0586\text{m}^{0,5}$ değerleri için gerçek sıcaklık-zaman eğrisi.....	82
Şekil 37. Çeşitli yangın yükü ve havalandırma etmenlerine göre gerçek sıcaklık-zaman eğrileri.....	83
Şekil 38. Sıcaklık dağılımları belirlenecek döşeme, tablalı kiriş, kolon kesitleri ve sıcaklıkları belirlenecek noktalar.....	84
Şekil 39. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	85
Şekil 40. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	86
Şekil 41. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	87
Şekil 42. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	88
Şekil 43. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	89
Şekil 44. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	90
Şekil 45. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$).....	91

Şekil 46. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C).....	91
Şekil 47. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C).....	92
Şekil 48. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C).....	93
Şekil 49. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C).....	94
Şekil 50. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C).....	95
Şekil 51. Model döşemesinin açıklık kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi.....	97
Şekil 52. Model döşemesinin mesnet kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi.....	97
Şekil 53. Modelin 2-2 aksı kirişi açıklık kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi.....	98
Şekil 54: Modelin 2-2 aksı Kirişi mesnet kesitinin direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi.....	99
Şekil 55. Modelin 2B kolonu kesitinin standart yangın süresine göre karşılıklı etkileşim diyagramları.....	100

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Tipik bir yangının gelişim aşamalarının özeti.....	4
Tablo 2. Yanabilen bazı malzemelerin ısınma ısısı değerleri.....	8
Tablo 3. Bazı malzemelerin ısı özellikleri.....	13
Tablo 4. Çeşitli ölçüt ve birimlere göre yangın başarım ve şiddetlerinin karşılaştırılması.....	25
Tablo 5. Yangın tasarım yükleri için sabit ve hareketli yük katsayıları.....	35
Tablo 6. Malzemelerin bazı özellikleri.....	36
Tablo 7. Yüksek sıcaklıklardaki silisli ve kalkerli betonların basınç altındaki gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi parametreleri.....	42
Tablo 8. Soğukta ve sıcakta işlem görmüş donatı çeliklerinin çeşitli sıcaklıklardaki rölatif elastisite modülü, orantılılık sınırı ve akma dayanımları.....	51
Tablo 9. Değişken rejimde ısı geçişinde iki boyutlu sistemlerin düğüm noktalarındaki sıcaklıklar için sonlu farklar yöntemi bağıntıları.....	68

SEMBOLLER DİZİNİ

A_d	:Sonlu elemanlar yönteminde bir düğüm noktasının ısı etki alanı
A_f	:Yangın odasının döşeme alanı
A_m	:Sonlu elemanlar yönteminde eleman alanı
A_t	:Yangın odasının toplam iç yüzey alanı
A_v	:Yangın odasındaki boşluk alanı
$A_{yakıt}$:Yakıtın yangına maruz yüzey alanı
a	:Yüzey soğurma katsayısı
a_z	:Eurocode yaklaşık yönteminde kesit azaltma miktarı
B_i	:Yangın odasındaki i'inci boşluğun genişliği
$[C]$:Sonlu Elemanlar yönteminde kapasite matrisi
c	:Özgül ısı katsayısı
c_c	:Betonun özgül ısı katsayısı
c_s	:Çeliğin özgül ısı katsayısı
E	:Yakıtın enerjisi
$E_c(T)$:Betonun T sıcaklığındaki elastisite modülü
$E_s(T)$:Donatının T sıcaklığındaki elastisite modülü
e	:Sistemin kalınlığı
e_f	:Yangın odasının döşeme alanına göre yangın yükü
e_t	:Yangın odasının toplam iç yüzey alanına göre yangın yükü
F_f	:Yük birleşimleriyle hesaplanan yangın tasarım yükü
F_v	:Odanın havalandırma etmeni
F_y	:Yangın esnasında uygulanan yük
$f_c(T)$:Betonun T sıcaklığındaki basınç dayanımı
$f_y(T)$:Donatının T sıcaklığındaki akma dayanımı
G_k	:Karakteristik sabit yük
H	:Yakıtın ısınma ısısı
$\{H\}$:Sonlu elemanlar yönteminde şekil fonksiyonu satır vektörü
H_i	:Odadaki i2inci boşluğun yüksekliği
H_r	:Odanın yüksekliği

H_v	: Odadaki boşluk yüksekliği
h	: Isı taşınım katsayısı
h_f	: Isı geçiş katsayısı
$[J]$: Sonlu elemanlar yönteminde jakobyen matris
$[K]$: Sonlu elemanlar yönteminde ısı iletkenlik matrisi
\underline{K}_m	: Sonlu elemanlar yönteminde eleman ısı iletkenlik matrisi
l_1	: Yangın odasının tabanının eni
l_2	: Yangın odasının tabanının boyu
M	: Yakıtın kütlesi
M_f	: Yangın odasındaki yakıt kütlesi
\dot{m}	: Yakıtın yanma miktarı
N	: Isı taşınım gücü katsayısı
Q	: Isı miktarı
Q_e	: İç ısı üretim miktarı
Q_k	: Karakteristik hareketli yük
Q_{vent}	: Havalandırma denetimli bir yangında ısı salınım miktarı
Q_{yakt}	: Yakıt denetimli bir yanmada ısı salınım miktarı
q	: Birim alana düşen ısı miktarı
R_y	: Yangının herhangi bir anındaki yük taşıma kapasitesi
S_k	: Karakteristik kar yükü
T	: Sıcaklık
$\{\dot{T}\}$: Sonlu elemanlar yönteminde sıcaklığın zaman göre birinci türev vektörü
T_o	: Başlangıç sıcaklığı
T_c	: Wickström yönteminde beton sıcaklığı
T_e	: Işınım veren yüzeyin sıcaklığı
T_f	: Yangın sıcaklığı
$T_{göç}$: Elemanın göçme sıcaklığı
T_M	: Eurocode yaklaşık yönteminde eşdeğer duvardaki M noktasının sıcaklığı
T_m	: Akışkanın ortalama sıcaklığı
T_{maks}	: Yangında elemanın ulaştığı maksimum sıcaklık
T_r	: Işınım alan yüzeyin sıcaklığı
T_w	: Yüzey sıcaklığı

t	:Süre
t^*	:Eurocode parametrik yangınında kullanılan hayali bir süre
t_o	:Başlangıç süresi
t_b	:Oda yangınlarında yanma süresi
t_d	:Parametrik yanma süresi
$t_{göç}$:Yapı elemanının göçme süresi
t_s	:Standartlarda verilen ya da hesap edilen yangın süresi
V_m	:Sonlu elemanlar yönteminde eleman hacmi
W_k	:Karakteristik rüzgar yükü
w	:Eurocode yaklaşık yönteminde eşdeğer duvarın genişliğinin yarısı
α	:Isı geçirgenlik katsayısı
α_c	:Betonun ısı genleşme katsayısı
α_s	:Donatının ısı genleşme katsayısı
ϵ	:Yüzey ışıma yayıcılığı
$\epsilon_c(T)$:Betonun T sıcaklığındaki şekil değiştirmesi
ϵ_e	:Işınım verici yüzeyin yayıcılığı
ϵ_f	:Alevin ışıma yayıcılığı
ϵ_r	:Işınım alıcı yüzeyin yayıcılığı
ϵ_s	:Yüzeyin ışıma yayıcılığı
ϕ	:Yüzeylerin şekline bağlı bir katsayı
ϕ_f	:Yangın tasarımı için dayanım azaltma katsayısı
λ	:Isı iletkenlik katsayısı
λ_c	:Betonun ısı iletkenlik katsayısı
λ_m	:Sonlu elemanlar yönteminde elemanın ısı iletkenlik matrisi
λ_s	:Donatının ısı iletkenlik katsayısı
ρ	:Özkütle
ρ_c	:Betonun özkütlesi
ρ_s	:Donatının özkütlesi
σ	:Stefan-Boltzmann sabiti
$\sigma_c(T)$:Betonun T sıcaklığındaki basınç gerilmesi
$\sigma_{sp}(T)$:Donatının T sıcaklığındaki orantılılık sınırı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yangının, gerekli önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kaybına neden olan doğal bir olay olduğu bilinmektedir. Yangının oluşabilmesi için yanıcı malzeme, oksijen ve bir ısı kaynağının bir arada bulunması gerektiği açıktır. Bu birlikteliğin oluşma ihtimali diğer bir deyişle yangın çıkma ihtimali kabul sınırlarının üstündedir. Bu nedenle yapılardaki yangın güvenliğinin yürürlükte bulunan çağdaş yönetmeliklerde öngörülen düzeyde sağlanması gerekmektedir. Durum böyle olunca yapıların yangın yüklerine göre tasarımında yapısal önlemlerle birlikte yapısal olmayan önlemlerin de alınması kaçınılmaz olmaktadır.

Betonarme yapıların yangın güvenliklerinin ahşap ve çelik yapılara göre daha iyi olduğu bilinmektedir. Gerçekten yanmaz bir malzeme olan beton ısıyı iyi iletmediğinden çeliği sıcaklığa karşı korumakta dolayısıyla betonarme yapıların yangına karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Bununla beraber bu dayanıklılığın sağlanabilmesi için donatı sıcaklığının kritik sıcaklık adı verilen sıcaklığa ulaşmaması gerekmektedir. Bunun için beton örtü kalınlığının yeterli miktarda olması zorunlu olmaktadır. Bu ve buna benzer durumlar ahşap ve çelik yapılarda olduğu gibi betonarme yapıların da tasarımlarının yangın yüklerine göre yapılması gerektiğini göstermektedir.

Bu bölümde ilk olarak yapılarda yangın güvenliği, yangın ve ısı, yangın şiddeti ve yangın başarımı üzerinde durulmakta, daha sonra yangın koşullarında yapısal tasarım, beton ve donatı özelliklerinin yüksek sıcaklıkla değişimleri, betonarme kesitlerin sıcaklık dağılımlarının bazı yöntemlerle belirlenmesi ve Eurocode1.2'de verilen yaklaşık yöntemle [1] betonarme yapıların yangın tasarımı hakkında bazı bilgiler verilmektedir.

1.2. Yapılarda Yangın Güvenliği

1.2.1. Yangın Güvenliğinin Amaçları

Bir yapının yangın güvenliğinden başta can kaybı olmak üzere, yaralanma ve mal kayıplarını en aza indirilmesinin sağlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu yangın güvenliği düzeyinin belirlenmesinde, yangından doğacak zararların büyüklüğü ile ülke ekonomisinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi yangın güvenliğinden amaç; *can, mal ve çevre güvenliğinin* sağlanmasıdır.

Can güvenliğinin sağlanabilmesi için insanların yangından mümkün olabilecek en kısa zamanda haberdar edilmesi, uygun kaçış yollarının sağlanması ve kaçarken ateş ve dumandan zarar görmelerinin önlenmesi gerekmektedir.

Mal güvenliğinden amaç ise, binanın kendisinin ve taşınabilir malların olabildiğince koruma altına alınmasıdır.

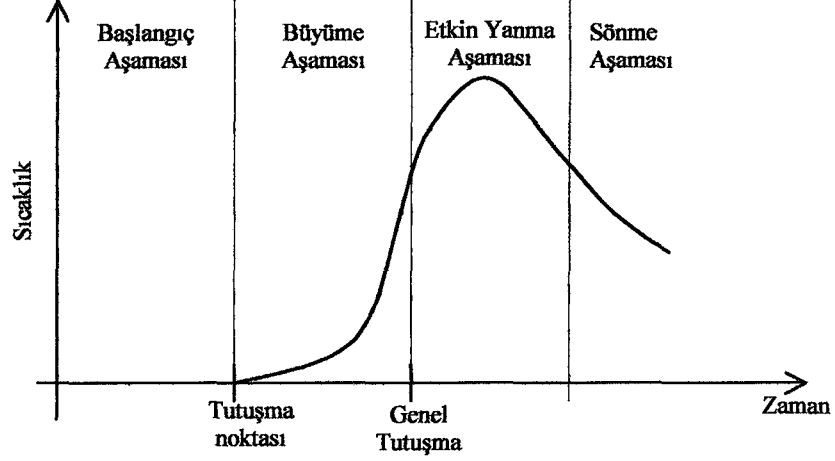
Bunlardan başka yangın tasarımında çevre kirlenmesini sınırlandırmanın da dikkate alınması gerekmektedir. Zira büyük bir yangın sonucunda çıkan dumanlarla hava kirlenmekte ve söndürme aşamasında kullanılan ve kirlenen su ise atık su haline gelmektedir. Bu bakımdan yangının önlenmesi ya da meydana gelmeleri halinde çok büyümeden söndürülmesi önemli olmaktadır [1,2].

1.2.2. Güvenlik Yönünden Yangının Gelişim Aşamaları

Yangın güvenliğinin sağlanmasında *aktif* ve *pasif* yangın korunma sistemleri kullanılmaktadır. *Aktif sistemler*, yangını ve/veya yangın etkilerini insanlar yada otomatik donanımlarla denetleyen sistemlerdir. *Pasif sistemler* ise, yangın ve/veya yangın etkilerini binanın tasarım aşamasında alınan bazı önlemlerle denetleyen sistemlerdir.

Tipik bir odanın içinde otomatik söndürme sistemi ve itfaiyenin etkisi olmadığı kabulüyle oluşan bir yangının gelişim aşamaları, sıcaklık-zaman eğrisi üzerinde, Şekil 1'de verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi bir yangının gelişmesi, *başlangıç, büyüme, etkin*

yanma ve *sönme* olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Görüldüğü gibi büyüme aşamasından etkin yanma aşamasına geçiş çok kısa bir zamanda gerçekleşmekte ve bu geçiş sınırına *Genel Tutuşma* sınırı adı verilmektedir.



Şekil 1. Sıcaklık-zaman eğrisi üzerindeki yangın gelişim aşamaları[2].

Büyüme aşamasının süresi genellikle 5-30 dakika olmaktadır. Bu aşamada sıcaklık rölatif olarak düşük kalmaktadır. Bu süre içinde taşıyıcı elemanlar sıcaklıktan zarar görmemektedirler. Etkin yanma aşamasında ise ısı üretimi ve sıcaklık arttığından, taşıyıcı elemanlar yangın gelişiminin bu aşamasından çok fazla etkilenmektedirler. Sönme aşamasında sıcaklık azalmakla beraber yangının yapı elemanları üzerindeki yıkıcı etkisi bu aşamada da devam etmektedir.

Yangın gelişim aşamalarındaki (bkz Şekil 1) yangın gelişimi, insan davranışı, yangın uyarılması, aktif denetim ve pasif denetim durumları Tablo 1'de verilmektedir ve aşağıda her biri açıklanmaktadır.

Tablo 1. Tipik bir yangının gelişim aşamalarının özeti [2].

	Başlangıç aşaması	Büyüme aşaması	Etkin Yanma aşaması	Sönme aşaması
Yangın Gelişimi	Yakıtın ısınması	Yakıt denetimli yanma	Havalandırma denetimli yanma	Yakıt denetimli yanma
İnsan Davranışı	Tutuşmanın önlenmesi	El ile söndürme ve kaçış	Ölüm	-
Yangın Uyarısı	Duman dedektörü	Duman dedektörü ve ısı dedektörü	Dış duman ve alev	
Aktif Denetim	Tutuşmanın önlenmesi	Otomatik söndürme sistemi ya da itfaiye	Yangının itfaiye tarafından denetim altına alınması	
Pasif Denetim	-	Malzemelerin aleve karşı dayanıklı malzemelerden seçilmesi	Yangın dayanımını sağlamak, yangını kuşatmak ve göçmeyi önlemek	

Yangın Gelişimi: Yangın gelişiminin başlangıç aşamasında potansiyel yakıt ısınmaktadır. Tutuşma noktasında alevlenme başlamakta ve büyüme aşamasına geçiş meydana gelmektedir. Büyüme aşamasının başlangıcında yangın yavaş yayılmakta, ısı artışı az olmaktadır. Ancak bu aşamanın ilerleyen aşamalarında alevlerin ve sıcak gazların diğer yakıtları ısıtım (radyasyon) yolu ile etkilemesiyle ısı artışı ve alevlerin yayılışı birden artmaktadır. Yaklaşık 600°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise daha önce de belirtilen genel tutuşma ile birlikte yangın gelişimi etkin yanma aşamasına geçmektedir. Büyüme aşamasında yangın gelişiminin denetimi ortamda bulunan yakıt tarafından, etkin yanma aşamasında ise bu denetimi odadaki kapı ve pencere gibi boşluklar aracılığıyla sağlanmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi yapının taşıyıcı sistemini en çok etkileyen aşama etkin yanma aşamasıdır. Etkin yanma aşamasından sonra eğer yanabilecek herhangi bir yakıt kaldıysa, sönme aşamasında sıcaklık düşmekte ve yangın gelişimi tekrar yakıt denetimli bir şekilde devam ederek sona ermektedir.

Yangında İnsan Davranışı: Yakıt bir ısı kaynağı tarafından ısıtılırken başlangıç aşamasında bu durumdan o odada bulunan insanlar ya görerek ya da koklayarak haberdar olurlar. Fakat yangın tutuşma aşamasına ulaştığında durum daha ciddi bir hal almaktadır. Eğer bina sakinleri uyanık iseler tutuşmadan sonra büyümemiş olan yangını söndürmek için bir ihtimalleri daha kalmaktadır. Yangın bütün mobilya ve diğer eşyalara yayıldı ise artık onu elle söndürme imkanı kalmamaktadır. Fakat insanların bu durumda henüz dumanla kaplı olmayan yollardan kaçış için zamanı olabilmektedir. Sıcaklık, ısı ve atık gazların maksimum boyutta olduğu genel tutuşmadan sonraki koşullarda ise artık yaşam açısından herhangi bir şans kalmamaktadır. Bir yangın esnasında can güvenliğinin sağlanabilmesi için insanların herhangi bir alarm vasıtasıyla uyarılmaları ve yangından önce kaçış yolları konusunda yeterince bilgilendirilmeleri gerekmektedir.

Yangın Uyarıları: Başlangıç aşamasında insanlar görme ve koklama duyuları yardımıyla yangın uyarısını almaktadırlar. Bu başlangıç aşamasında, otomatik uyarı sistemleri çok maliyetli olduğundan uyarı sadece özel yapılarda kullanılabilir çok duyarlı duman dedektörü yardımıyla sağlanabilmektedir. Tutuşmadan sonraki yangın uyarısı, insanlar ya da tavana monte edilen duman ya da ısı dedektörü vasıtasıyla yapılabilmektedir. Otomatik dedektörler alarm haline geçince otomatik püskürtme sistemi de devreye girebilmektedir. Genel tutuşmadan sonra pencerelerden ya da diğer boşluklardan gelen duman ve alevlere karşı komşu yapı sakinlerinin de uyarılması gerekmektedir.

Aktif Denetim: Aktif yangın güvenliğinin en iyi şekli yangının çıktığı alana püskürtme başlığı sayesinde su püskürten *otomatik püskürtme sistemlerinin* kullanılmasıdır. Zira otomatik püskürtme sistemleri birçok yangını söndürebilmekte ve büyümesini önleyebilmektedir. Diğer bir aktif denetim ise yangın esnasında oluşan dumanın fanlar ya da diğer aletler tarafından o ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Bu özellikle insanların yangın anında merdivenler gibi kaçış yollarında uygulanan bir yöntemdir. Bilindiği gibi aktif kontrolde itfaiyenin görevi yangını söndürmek ve denetim altına almaktır. Zira insanların uyarılması, itfaiyenin haberdar edilmesi, yangın yerine ulaşması ve bütün donanımlarını kurması anına kadar çok zaman geçmektedir. Bu nedenle itfaiyecilerin, etkin yanma aşamasında bir yangını söndürmeleri çok zor olmaktadır. Durum böyle olunca bunlar genellikle yangının genişlemesini önleyebilmektedirler.

Pasif Denetim: Yangınların genel tutuşma sınırından önceki aşamalarında, yapı sisteminde pasif denetim sistemleriyle alınabilecek önlemler, alevlerin yayılmasını önleyebilen malzemelerin ve yüzey kaplamalarının seçilmesiyle mümkün olabilmektedir. Genel tutuşma sonrası yangınlarda ise, yapının ve yapı elemanlarının, yangının yayılmasını ve göçmeyi önleyecek derecede yangın başarımına (performansına) sahip olması gerekmektedir [2,3].

1.2.3. Güvenlik Yönünden Yangın Başarımı

Daha önce de belirtildiği gibi yangın güvenliği açısından aktif ve pasif olmak üzere iki denetim sistemi bulunmaktadır. Aktif sistemlerle bir insan ya da otomatik aletler yardımıyla yangın ya da yangın etkileri denetim altına alınmaktadır. Pasif sistemler ise, yangın olmadan önce yapının yapım aşamasında alınan bazı önlemlerden ibarettir. En etkin pasif denetim sistemi ise en önemli içeriği ise yapı elemanlarının yeterli yangın başarımına sahip olmalarıdır.

1.2.3.1. Yangın Başarımının Yararları

Herhangi bir yapı tasarımından önce yapıyı oluşturan elemanların yangın başarımalarının sağlanmasının yararlarının bilinmesi gerekmektedir. Yangın başarımının sağlanmasının başlıca yararları aşağıda verilmektedir:

1. Yangının bina içinde yayılmasının önlenmesi. Bunu sağlamak için Madde 1.2.3.2'de tanımlanan bir *yangın tasarım süresi* içinde yangının sıçramasını önleyen ayırıcı bariyerlerle *yangın hücrelerinin* oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede yapıdaki yangın etkisi sınırlandırılmakta, oluşacak hasarlar yerel kalmakta ve kaçış yolları korunmaktadır. Bir yapıdaki ayırıcı bariyerler genellikle duvar ve döşemeler olmaktadır.
2. Yangının diğer binalara sıçramasının önlenmesi. Yangın tasarım süresi içinde yangının binadan dışarı yayılmasının önüne geçecek olan dış duvar ve kaplamaların yeterli yangın başarımında olması gerekmektedir.

3. Göçmenin önlenmesi. Yapıyı oluşturan elemanların, yangın tasarım süresi içinde stabilitenin sağlanabilmesi için yeterli yangın başarımına sahip olmaları gerekmektedir. Göçmenin önlenmesi için ise gerekli olan ölçüt, taşıyıcı özeliği olan yapı elemanlarının yangın başarımının mevcut olmasıdır.

1.2.3.2. Yangın Tasarım Süresi

Yangın tasarım süresinin kesin olarak tanımlanması imkansız denecek kadar zordur. Zira bu süre, yapının önemi, yapı sahibinin öncelikleri ve yapının yıkılması ya da yangının sıçramasının getireceği sonuçlara göre değişmektedir. Durum böyle olunca tasarımcılar yangın tasarım süresi olarak aşağıdakilerden birini seçmektedirler:

1. Yapı sakinlerinin yapıyı terk etmelerine yetecek süre,
2. İtfaiyecilerin kurtarmayı başarmalarına yetecek süre,
3. İtfaiyenin yangını kuşatıp, denetim altına alınmasına yetecek süre,
4. Yapının müdahale olmaksızın tamamen yanmasına kadar geçen süre.

Bu süreler çeşitli ülke yönetmeliklerinde değişik değerler almaktadır. Tasarımcılar genellikle bir katlı yapılarda, kaçmanın kolay olacağı düşüncesiyle, yangın tasarım süresi için yukarıda verilen 1. maddeyi, çok katlı yapılarda ya da insanların kaçışlarının zor olacağı yapılarda ise, yangının yayılmasını ve göçmenin önlenmesi için 4. maddeyi dikkate almaktadırlar. Diğer maddeler ise bazı özel durumlarda dikkate alınmaktadır [2].

1.3. Yangın Ve Isı Geçişi

1.3.1. Yakıtlar

Yapılarda oluşan yangınlarmın potansiyel yakıtları genellikle bitkisel, hayvansal ya da petrokimyasal kökenli organik yakıtlardır. Bu yakıtlar, yapının yanıcı herhangi bir elemanı, kaplaması ya da içindeki eşyaları olduğu bilinmektedir. Yanıcı malzemelerin genellikle hidrokarbon olduğu da bilinmektedir.

Yanmadan sonra ortaya çıkan ısı miktarı yanan malzemenin özelliğine, yangının boyutlarına ve mevcut hava miktarına bağlı olmaktadır. Birim kütleli bir yakıtın etkin yanma süresince açığa çıkardığı ısı miktarına o yakıtın ısınma ısısı (H) adı verilmektedir. Genellikle gaz, sıvı ve katı yakıtların ısınma ısısı değerleri 15 ila 50MJ/kg arasında değişmektedir.

Tablo 2. Yanabilen bazı malzemelerin ısınma ısısı değerleri [4].

Maddeler	Yanma Isısı değeri H (MJ/kg)
Deri	19
Kumaş	19
Yün	23
Kömür	31
Asfalt	41
İspirto	29
Benzin	40
Karbon Monoksit	10
Metan	50
Hidrojen	120

M yakıtın kütleini (kg), H ısınma ısısını (MJ/kg) göstermek üzere, yakıt enerjisi,

$$E = M \cdot H, \quad (E \rightarrow \text{MJ}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir [2].

1.3.2. Yangın Yüğü

Yangın yüğü yapı mekanlarının kullanım amaçlarına göre birim döşeme alanındaki yakıt enerjisi olarak tanımlanmaktadır. A_f yapının herhangi bir mekanındaki döşeme alanını (m^2), E yakıtın enerjisini (MJ) göstermek üzere, bu mekanın yangın yüğü

$$e_f = \frac{E}{A_f}, \quad (e_f \rightarrow \text{MJ/m}^2) \quad (2)$$

olarak ifade edilmekle birlikte bazı kaynaklarda bu bağıntıdaki A_f yerine mekanın iç yüzey alanının tümü kullanılmaktadır [2].

Yeni Zelanda Yapı Yönetmeliğinde (BIA) çeşitli yapılar için tasarım yangın yükleri (e_f) verilmektedir. Örneğin bu yükün otel odaları için 300MJ/m^2 , konutlar için 500MJ/m^2 , bürolar için 800MJ/m^2 , kütüphaneler için 2000MJ/m^2 olarak dikkate alınması önerilmektedir [11].

Yukarıda da belirtildiği gibi E toplam yakıt enerjisini(MJ), t yanma süresini (s) göstermek üzere, ısı salınım miktarı

$$Q = \frac{E}{t}, \quad (Q \rightarrow \text{MW}) \quad (3)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

1.3.3. Yanma

Organik bir malzemenin yanması, su buharı ve karbondioksit açığa çıkararak ısı veren kimyasal bir olay olarak tanımlanabilmektedir. Örneğin propanın yanması



denklemleriyle ifade edilmektedir.

Burada genellikle yangınlarda yanma olayı tamamen gerçekleşemediğinden gaz halinde karbon monoksit (CO) ya da katı halde karbon (C) tozları alev ya da dumanla etrafa yayıldığı da belirtilmelidir.

Oda sıcaklığında bazı yakıtların gaz halinde, bazılarının ise katı ya da sıvı halde oldukları bilinmektedir. Gazlar doğrudan herhangi bir hal değişikliğine uğramadan yanmaktadır. Oysa katı ve sıvı yakıtların yanabilmeleri için yanmadan önce gaz haline dönüşmeleri gerekmektedir. Sıvıların gaz haline dönüşmesi buharlaşma adıyla bilinmektedir. Bazı polimerler de ısı bozunmaya uğrayarak, yeni uçucu maddelere dönüşmektedir. Katı yakıtların çoğu ise ısıtıldığında erimekte ve daha sonra ısı bozunma geçirerek gaz haline dönüşmektedir.

Herhangi bir malzemenin yanması için oksijen gazının gerektiği bir gerçektir. En etkin yanmanın, tutuşma başlamadan önce gaz halindeki yakıtın oksijenle karıştıktan sonra gerçekleşen yanma olduğu da bilinmektedir. Sabit sıcaklık ve basınç koşulları altında bile gaz halindeki yakıt fazla ya da oksijen az ise yanma meydana gelmemektedir.

Yangında oluşan alevde ulaşılabilecek maksimum sıcaklık, adyabatik alev sıcaklığı olarak bilinmektedir. Bu adyabatik sıcaklık teorik olarak, yanıcı malzemelerin tümünün yanması esnasında oluşan alevlerin ulaşabileceği en büyük sıcaklık değeri olarak da tanımlanmaktadır. Bu değere alevin merkezinin çok küçük bir yerinde ulaşılmakta dolayısıyla da ortalama sıcaklık merkez sıcaklıktan daha küçük olmaktadır.

Herhangi bir maddenin tutuşma sıcaklığına ulaşabilmesi için, bu maddenin dışarıdan bir ısı kaynağına maruz bırakılması gerekmektedir. Eğer yangın tutuşmadan sonra büyüyorsa, bu ısı kaynağının katkısı olmaksızın yanma reaksiyonuna yetecek büyüklükte alevlerin mevcut olduğu açıktır. Kendi kendine yetebilen bu yanmaya teknik literatürde kurulmuş yanma adı verilmektedir.

Diğer bir yanma çeşidi de alevsiz ya da içten yanma adıyla anılmaktadır. Örneğin sigaranın yanması bu tür bir yanmadır. Bu yanma alevli yanmaya göre daha yavaş olmakta ve sıcaklıkları da daha düşük kalmaktadır. Alevsiz yanma da yapı yangınlarında önemli rol oynamaktadır. Zira bu yanma türü yetersiz ısı ve yetersiz koku oluşturduğundan, yapı sakinleri yangını genellikle zamanında fark edememekte, yangın büyüdüğünde ise geç kalınmış olmaktadır. Alevsiz bir yanmadan meydana gelen duman, duman detektörünü uyarabilmektedir. Ancak bu yanmalarda, oluşan ısı, genellikle ısı detektörü ve otomatik su

püskürtme sistemlerinin devreye geçmesine yetmediğinden yapıda bu aygıtların bulunmasının bir yararı olamayabilmektedir.

Hidrokarbon kökenli bütün yakıtlardaki benzerlik, birim oksijen tüketiminde açığa çıkan ısı miktarının sabit kalmasıdır. Bu benzerlik oksijen tüketimi kalorimetre deneylerinin temelini oluşturmaktadır. Hemen bütün yakıtlarla yapılan kalorimetre deneylerinde bir kilogram oksijen harcanmasına karşılık 13MJ'lük ısı açığa çıkmaktadır. Diğer bir deyişle yanmaya katılan her bir kilogram havaya karşılık yaklaşık 3MJ'lük ısı açığa çıkmaktadır. Bu durum deneysel yangınlarda açığa çıkan ısı miktarının belirlenmesine imkan vermektedir [2].

1.3.4. Isı Kaynakları Ve Tutuşma

Malzeme ve yakıtlardan çıkan yanabilir gaz karışımları, ekzotermik yanmayı başlatacak sıcaklıklara kadar ısıtılırsa, tutuşma meydana gelmektedir. Tutuşma için hemen her zaman dışarıdan bir ısı kaynağı gerekli olmaktadır. Yapı yangınlarının tutuşmalarına neden olan birçok ısı kaynağı vardır. Bunlar alevli kaynaklar (kibrit, çakmak, gaz ısıtıcılar ve ocaklar v.b.), alevsiz kaynaklar (sigara v.b.), elektriksel kaynaklar (kısa devre, kabloların aşırı ısınması v.b.), radyant kaynaklar (güneş ışığı, sıcak cisimler, ısıtıcılar ve başlamış yangınlar v.b.), sıcak yüzeyler, sürtünme ve ısıma mekanizmaları şeklinde sınıflandırılabilir. Burada savaş ve terörizm nedeniyle kundaklama sonucu yapılarda birçok yangının meydana gelmiş olduğunu belirtmek uygun olmaktadır.

Tutuşma için gerekli olan ısı ve sıcaklık değerine ulaşma süresi, yakıtın malzeme özelliklerine, ısı kaynağının özelliklerine ve ısıya maruz bırakılma süresine bağlıdır. Belirli bir ısı etkime süresinde tutuşma meydana gelebilmesi için, ısı kaynağının yeterli kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Malzemelerin tutuşmasına kadar geçen sürenin ısı kapasitelerine bağlı olduğu bilinmektedir.

Burada tutuşmanın pilot ve otomatik tutuşma olarak iki sınıfa ayrıldığını, bunlardan pilot tutuşmanın bir alev ya da kıvılcım sonucunda, otomatik tutuşmanın ise herhangi bir alev ya da kıvılcım olmaksızın ısınan yakıttan ortaya çıkan uçucu gazların kendiliğinden tutuşmasından meydana geldiğini ve otomatik tutuşmanın olabilmesi için de gaz

sıcaklığının pilot tutuşmadaki gaz sıcaklığından daha yüksek olması gerektiğini belirtmek uygun olmaktadır.

Yapının belirli bir yerinde tutuşmadan sonra, yangın güvenliği, büyük ölçüde alevlerin merkezlerinden civara sıçramasına bağlı olmaktadır. Alev sıçramasını etkileyen en önemli etmenlerin ise, alevlerin büyüklüğü ve biçimi, havanın akış doğrultusu, yakıtın ısı ve alevlenebilme özelliklerinin olduğu bilinmektedir [2].

1.3.5. Isı Geçişi

Bu başlık altında yapıların yangın davranışının açıklanmasında gerekli olabilecek ısı geçişi (transferi) hakkında bazı hatırlatmalar yapılmaktadır. Isı geçişi bir sistem ile çevresi arasında yalnız sıcaklık farkından dolayı meydana gelmektedir. Isı geçişi geçtiği ortamlara göre; ısı iletimi (kondüksiyon), ısı taşınımı (konveksiyon) ve ısı ışınımı (konveksiyon), zamana göre sabit rejim ve değişken rejim şekillerinden biri, ikisi ya da üçü yoluyla meydana gelmektedir.

Zamanla değişmeyen ısı geçişi sabit rejim, değişen ise değişken rejim adını almaktadır. Değişken rejim, geçici, periyodik ve gelişigüzel olmak üzere üç farklı şekilde olabilmektedir.

Isı geçişine ilişkin hesaplarda, malzemelerin birkaç özeliğinin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar, özkütle, özgül ısı ve ısıl iletkenlik özellikleridir. Özkütle ρ , (kg/m^3) birim hacimdeki kütle miktarıdır. Özgül ısı c , ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$) birim kütleli malzemenin sıcaklığını 1°C artırılması için gereken ısı miktarıdır. Isı iletkenlik katsayısı λ ($\text{W/m}^\circ\text{C}$) birim sıcaklık değişiminde birim kalınlıktaki birim yüzeyden birim zamanda geçen ısı miktarı olarak bilinmektedir. Buna göre $\alpha = \lambda / \rho \cdot c$ (m^2/s) ısıl geçirgenlik katsayısı ve $\lambda \cdot \rho \cdot c$ ($\text{W}^2\text{s/m}^4 \cdot \text{C}^2$) ısıl kapasite adıyla anılmaktadır. Bazı malzemelere ilişkin ısıl özellikler aşağıdaki Tablo 3'de verilmektedir.

Isı kapasitesi düşük malzemeler ısı etkisinde kaldığında yüzey sıcaklıkları hızla arttığından daha erken tutuşmaktadır. Bu nedenle bilinen bir yangın yükünde, düşük ısı

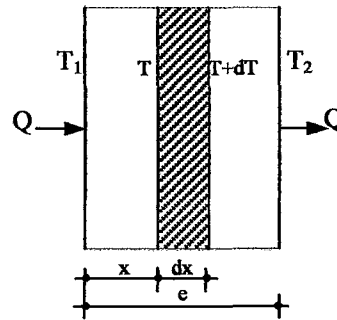
kapasiteli malzemelerle kaplı bir odada oluşan sıcaklıklar, yüksek ısı kapasiteli malzemelerle kaplı olanın sıcaklıklarından daha yüksek olmaktadır [5,6,7].

Tablo 3. Bazı malzemelerin ısı özellikleri

Malzeme	Isı iletkenlik λ (W/m°C)	Özgül Isı c (J/kg°C)	Özkütle ρ (kg/m ³)	Isıl Geçirgenlik α (m ² /s)	Isıl kapasite $\lambda\rho c$ (W ² s/m ⁴ .c ²)
Bakır	387	380	8940	1.14×10^{-4}	1.3×10^9
Çelik	45.8	460	7850	1.26×10^{-5}	1.6×10^8
Beton	0.8-1.4	880	1900-2300	5.7×10^{-7}	2×10^6
Cam	0.76	840	2700	3.3×10^{-7}	1.7×10^6
Asbest	0.15	1050	577	2.5×10^{-7}	9.1×10^4

1.3.5.1. Isı İletimi

Isı iletimi, ısı geçişinin katı malzemelerde görülen şeklidir. Isıyı iyi ileten malzemelerde ısı, serbest elektronların birbirleriyle olan etkileşimi sayesinde iletilmektedir. Bu nedenle iyi bir elektrik iletkeni aynı zamanda iyi bir ısı iletkeni olmaktadır. Zayıf iletken olan malzemelerde ise ısı, molekül zincirinin mekanik titreşimleri sayesinde iletilmektedir. Isı iletimi, katı yüzeylerin tutuşmasında, duvar, döşeme gibi yapı elemanlarının yangın başarımında önemli bir etmen olmaktadır. Sonlu kalınlıkta homojen ve izotrop, çok uzun bir sisteme dikkate alınmış (Şekil 2).



Şekil 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,

$$Q = \frac{\lambda A(T_1 - T_2)}{e} \quad (5)$$

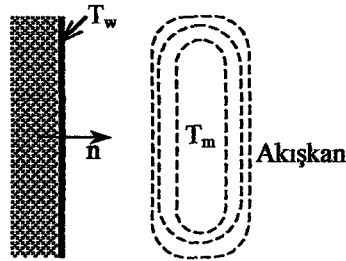
şeklinde hesaplanmaktadır.

1.3.5.2. Isı Taşınımı

Isı taşınımı gaz ya da sıvıların hareketleri vasıtasıyla meydana gelen ısı geçişi şeklindedir. Taşınım ile ısı geçişi, duman ve sıcak gazların tavandan ya da pencereden dışarıya doğru olan hareketlerinde ve alev sıçramasında dikkate alınması gereken bir ısı geçiştir.

Isı taşınımı ile ısı geçişi hesapları, genellikle bir katı malzemenin yüzeyi ile onu çevreleyen akışkanlar arasındaki ısı geçişiyle ilgilidir. Bu akışkanlar, katı malzemeyi ya ısıtmakta ya da soğutmaktadırlar.

Yüzey sıcaklığı T_w , yüzey ile temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m olan bir sistem dikkate alınsın (Şekil 3).



Şekil 3. Taşınım yoluyla ısı geçişi

Newton Soğuma Kuralına göre h ısı taşınım katsayısını, A ise ısı geçişine dik yüzey alanını göstermek üzere sistemin ısı geçiş miktarı,

$$Q_n = h A (T_w - T_m) \quad (6)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu bağıntıdaki ısı taşınım katsayısının değeri, yüzeyin geometrisine ve akışkanın özelliklerine göre değişmektedir [8,9]. Genellikle yangına maruz yapı elemanlarında bu katsayı 25 W/m² K olarak dikkate alınmaktadır [2].

1.3.5.3. Isı Işınımı

Isı ışınımı, bir boşluktan ya da saydam bir katı ya da sıvı içinden geçen elektromanyetik dalgalar yoluyla meydana gelen ısı geçişi olarak tanımlanmaktadır. Isı ışınımı, yapı yangınlarında son derece önemlidir. Zira bu tür bir ısı geçişi, yangının alevler ve sıcak dumanlarla yapı elemanlarına ya da bitişikteki komşu yapıya sıçramasında başlıca rolü oynamaktadır.

Işınım yoluyla ısı geçiş miktarı, φ yüzeylerin şekline bağlı bir katsayıyı, ε yüzey ışınım yayıcılığını, σ Stefan-Boltzmann sabitini ($5,67 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴), T_e ışınım veren yüzeyin sıcaklığını (K), T_r ışınım alan yüzeyin sıcaklığını (K) göstermek üzere,

$$Q = \varphi \varepsilon \sigma (T_e^4 - T_r^4) \quad (7)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Bu bağıntıdaki ışınım yayıcılığı; ε_e ve ε_r sırasıyla ışınım verici ve ışınım alıcı yüzeyin yayıcılığını göstermek üzere,

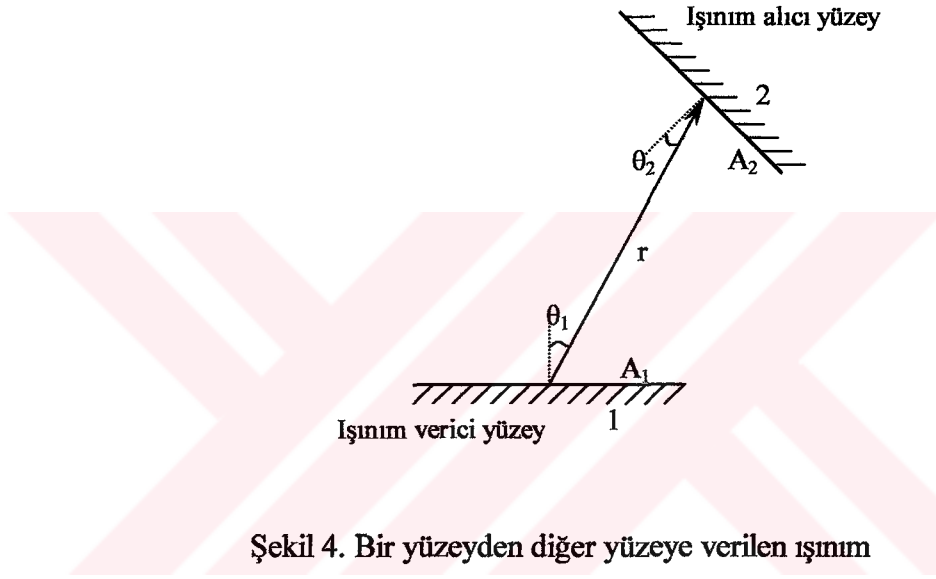
$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_r} - 1} \quad (8)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Buradan hesaplanan ε , ışınım yapan yüzeyin ışınımdaki etkinliğini göstermektedir. Yangın koşullarında hemen tüm yüzeylerde $0,7 \leq \varepsilon \leq 1$ değerlerini almaktadır. Işınım yoluyla ısı geçişine ilişkin (7) bağıntısındaki şekil katsayısı (φ), alıcı

yüzeyin verici yüzeyinin ne kadarlık bir kısmını gördüğüne ilişkin (Şekil 4) bir katsayıyı göstermek üzere,

$$\varphi = \int \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi \cdot r^2} dA_1 \quad (9)$$

olarak ifade edilmektedir [2].



Şekil 4. Bir yüzeyden diğer yüzeye verilen ışınım

1.4. Oda Yangınları

Bu başlık altında yapıya ilişkin herhangi bir odada (hücrede) gelişen genel tutuşma sonrası yangınlar üzerinde durulmaktadır. Zira yapılar yangının bu aşamasında daha çok zarar görmektedirler.

Daha önce de belirtildiği gibi genel tutuşmadan sonra yangın, çarpıcı bir şekilde gelişmektedir. Yanan gazlarla birlikte havanın akışı aşırı türbülanslı bir hal almaktadır. Yapıların tasarımı aşamasında, genel tutuşma sonrası gelişen sıcaklık değişimini dikkate almak gerekmektedir.

1.4.1. Havalandırma Denetimli Yanma

Yapı odalarında meydana gelen genel tutuşma sonrası yangınlar genellikle havalandırma denetimli olmaktadır. Bu nedenle yanma, yangının bu aşamasında havalandırma oda boşluklarının boyut ve şekillerine bağlı olmaktadır. Yangına göre tasarımlarda odalardaki boşluklar cam olsa bile bu camların, genel tutuşma anında sıcaklığın hızlı bir şekilde yükselmesi sonucu, tamamen kırılıp döküldüğü kabul edilmektedir.

Havalandırma denetimli bir yangında, odanın içindeki bütün yanıcı gazların yanabilmesi için yeterli hava bulunmamakta, dolayısıyla alevler pencereden dışarı uzanmakta ve bu şekilde yanmayan sıcak gazların dışarıdaki havayla karışarak yanması gerçekleşmektedir. Bu yangınlarda yanma miktarı, boşluklardan içeri giren soğuk havanın hacmi ile odayı terk eden sıcak gazların hacmi tarafından denetim altında tutulmaktadır. Bir boşluklu bir oda için gerçekleştirilen birçok deney, A_v boşluk alanını (m^2) ve H_v boşluk yüksekliğini (m) göstermek üzere, odun cinsinden bir yakıtın yanma miktarının

$$\dot{m} = 0,092 A_v \sqrt{H_v} , \quad (\dot{m} \rightarrow kg / s) \quad (10)$$

bağıntısını sağladığını ortaya koymuş bulunmaktadır. Bu durumda M_f (kg) odadaki yakıt kütlelerini göstermek üzere, yanma süresi

$$t_b = \frac{M_f}{\dot{m}} , \quad (t_b \rightarrow s) \quad (11)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilmektedir. Sabit rejime sahip bir yanma için, H (MJ/kg) yakıtın ısınma ısısını göstermek üzere, havalandırma denetimli bir yangında ısı salınım miktarı

$$Q_{vent} = \dot{m} . H , \quad (Q_{vent} \rightarrow MW) \quad (12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu durum için ise yanma süresi, E (MJ) mevcut yakıtın enerjisini göstermek üzere,

$$t_b = \frac{E}{Q_{vent}} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Daha sonra yapılan deneyler, havalandırma denetimli yangınlardaki yanma miktarı ile (10) bağıntısından elde edilen yanma miktarı arasında önemli farkların olduğunu göstermiştir. Zira bu deneylerle yanma miktarının sadece (10) bağıntısındaki $A_v \cdot \sqrt{H_v}$ ifadesine değil aynı zamanda deney odasının boyutlarına da bağlı olduğunu göstermiştir. l_1 ve l_2 sırasıyla oda tabanının enini ve boyunu, A_t boşluk dahil odanın iç yüzeylerinin toplam alanını göstermek ve $\Omega = \frac{A_t - A_v}{A_v \sqrt{H_v}}$ olmak üzere yanma miktarı

$$\dot{m} = 0,18 A_v \sqrt{\frac{H_v l_1}{l_2}} (1 - e^{-0,036 \Omega}) \quad (14)$$

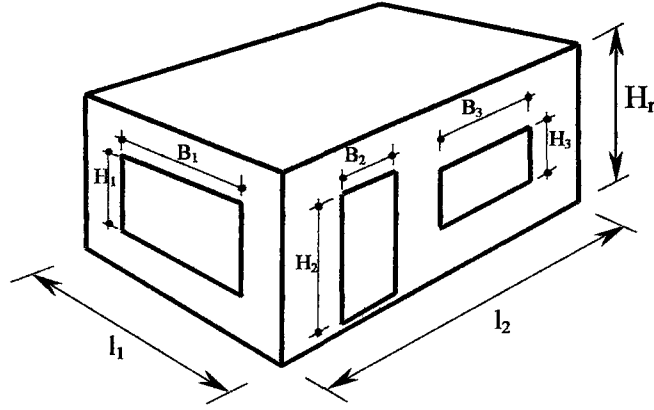
olarak ifade edilmektedir.

Bir boşluklu odalarda havalandırma etmeni

$$F_v = \frac{A_v \sqrt{H_v}}{A_t}, \quad (F_v \rightarrow m^{0,5}) \quad (15)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yukarıda verilen hemen bütün bağıntılar bir boşluklu odalar için verilmektedir. Birden fazla boşluk mevcut olduğunda ise, A_v yerine bütün boşlukların toplam alanını ve H_v yerine ise tüm boşlukların yüksekliklerinin ağırlıklı ortalaması alınmaktadır. Bu boşluklar sadece tek bir duvarda değil birkaç duvarda da mevcut olabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Bir yangın odasında birden fazla boşluk olması durumu

Bu şekilden görüldüğü gibi, B_i ve H_i odanın i 'inci boşluğunun genişlik ve yüksekliklerini, H_r yüksekliğini göstermek üzere, toplam boşluk alanı, ağırlıklı boşluk yüksekliği ve odanın toplam iç yüzey alanı sırasıyla aşağıdaki (16.a), (16.b) ve (16.c) bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

$$A_v = A_1 + A_2 + A_3 + \dots = B_1 H_1 + B_2 H_2 + B_3 H_3 + \dots \quad (16.a)$$

$$H_v = \frac{(A_1 H_1 + A_2 H_2 + A_3 H_3 + \dots)}{A_v} \quad (16.b)$$

$$A_t = 2 (l_1 l_2 + l_1 H_r + l_2 H_r) \quad (16.c)$$

1.4.2. Yakıt Denetimli Yanma

Genel tutuşma sonrası yangınların hepsi havalandırma denetimli olmayabilmektedir. Özellikle yanabilecek yüzey alanı sınırlı yakıtlar içeren çok iyi havalandırılmış odalarda, yanma miktarı yakıtın yüzey alanı tarafından denetlenmektedir. Böyle bir durumda yanma miktarı, o yakıtla açık havada meydana gelecek yanma miktarı ile aynı olmaktadır.

Yakıt denetimli bir yanmada, toplam yangın yükü ve yanma süresinin her ikisinin de bilinmesi halinde bir yakıtın ortalama ısı salınım miktarı hesaplanabilmektedir. Örneğin, E yakıtın toplam yangın yükünü göstermek üzere, 20 dakika (1200s) yanma süresi olan bir yangında ısı salınım miktarı

$$Q_{\text{yakıt}} = \frac{E}{1200} \quad (17)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yanma süresinin belirli olmadığı durumlarda ise, ısı salınım miktarının hesabı için ise odadaki yakıtın geometrik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda, $A_{\text{yakıt}}$ (m^2) yakıtın yangına maruz yüzey alanını, H (MJ/kg) yakıtın ısınma ısısını, ρ yakıtın özkütlesini göstermek üzere, yakıt denetimli bir yangında ısı salınım miktarı

$$Q_{\text{yakıt}} = 10^{-5} \cdot \rho \cdot A_{\text{yakıt}} \cdot H \quad (18)$$

olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu durumda, E (MJ) yakıtın enerjisini göstermek üzere, yanma süresi

$$t_b = \frac{E}{Q_{\text{yakıt}}} \quad (19)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

1.4.3. Sıcaklık Değişimleri

Genel tutuşma sonrası yangınlarda sıcaklık değişimi, yangına göre yapısal tasarımda önemli rol oynamaktadır. Oysa yangının bu aşamasındaki sıcaklıklar kesin bir şekilde elde edilememektedir. Ancak bu sıcaklıkların genellikle 1000°C civarında olduğundan bahsedilebilmektedir. Bu aşamada herhangi bir andaki sıcaklık, odada yanma sonucu salınan ısı miktarı ile odadan çıkan tüm ısı miktarı arasındaki dengeye bağlı

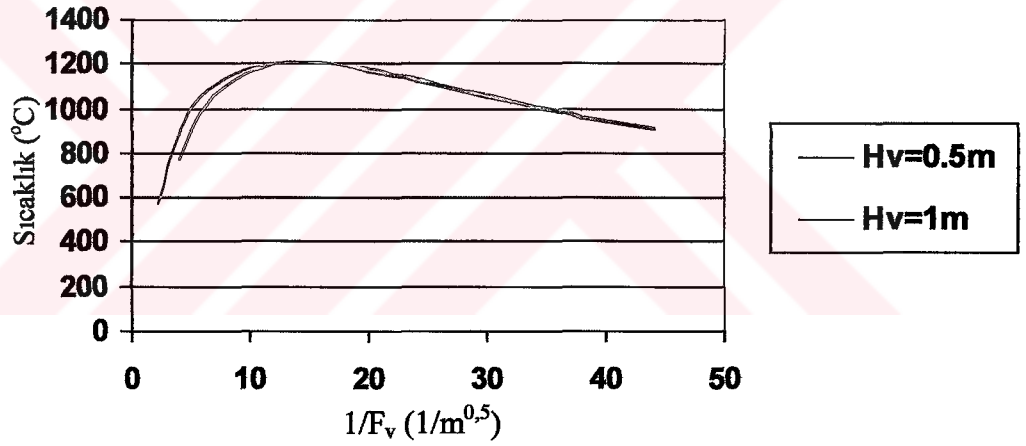
olmaktadır. Isının odadan çıkması, boşluklardan ısı ışıması ve ısı taşınımı, duvar, döşeme ve tavadan ısı iletimi yoluyla gerçekleşmektedir.

Genel tutuşma sonrası yangınlarda oluşan sıcaklıkların ölçülmesi için birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel sonucu bu tür yangınlarda oluşan maksimum

sıcaklık, $\Omega = \frac{A_t - A_v}{A_v \sqrt{H_v}}$ olmak üzere,

$$T_{\max} = 6000(1 - e^{-0,1\Omega}) / \sqrt{\Omega} \quad (20)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Bu bağıntıya göre deneysel bir yangında oluşan maksimum sıcaklıkların havalandırma etmenine göre değişimi Şekil 6'da verilmektedir.



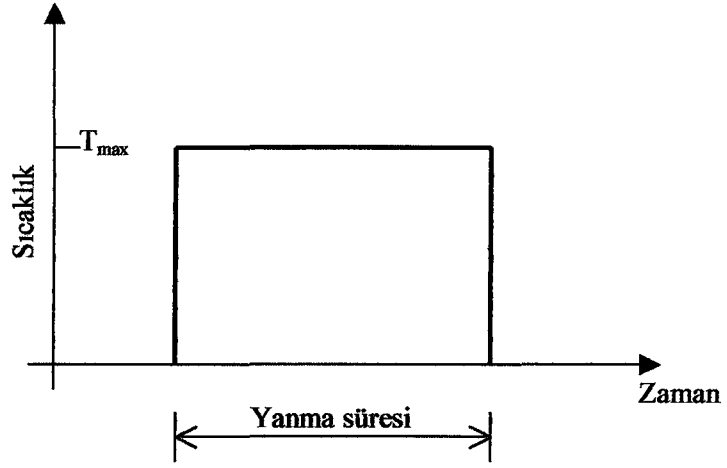
Şekil 6. Maksimum sıcaklıkların havalandırma etmenine göre değişimi

1.4.4. Tasarım Yangınları

1.4.4.1. Basit Tasarım Yangını

Basit tasarım yangınında, genel tutuşma sonrası oda yangınlarda oluşan sıcaklığın yanma boyunca sabit kaldığı kabul edilmektedir. Basit tasarımlar için uygun olabilecek bu yöntemde kabul edilen sıcaklık-zaman eğrisi Şekil 7'de görülmektedir. Bu şekilde görülen

maksimum sıcaklık (20) bağıntısından, yanma süresi ise (13) bağıntısından yanmanın havalandırma kontrollü olduğu kabulüyle hesaplanabilmektedir.



Şekil 7. Sabit sıcaklıklı tasarım yangını

1.4.4.2. Eurocode Parametrik Yangınları

Eurocode1'de sıcaklık-zaman eğrisi, yangın yükü, havalandırma boşlukları ve duvar kaplama malzemelerinin ısı özelliklerinin bir fonksiyonu olacak şekilde parametrik olarak elde edilebilmektedir.

Yanma Peryodu için Bağıntı;

Sıcaklık için Eurocode eşitliği; t^* hayali bir süreyi (saat) göstermek üzere,

$$T = 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (21)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu bağıntıdaki hayali süre (t^*), t zamanı (saat) göstermek üzere,

$$t^* = \Gamma \cdot t \quad (22)$$

şeklinde ve Γ katsayısı ise; F_v havalandırma faktörünü ($m^{0,5}$), ve b (W^2s/m^4K^2) kaplama malzemelerinin ısı kapasitesini göstermek üzere,

$$\Gamma = \frac{(F_v / 0,04)^2}{(b/1160)^2} \quad (23)$$

olarak hesaplanmaktadır. Özel bir durum olarak $F_v=0,04$ ve $b=1160$ hali ISO834 standart sıcaklık-zaman eğrisini vermektedir.

Yanma süresi;

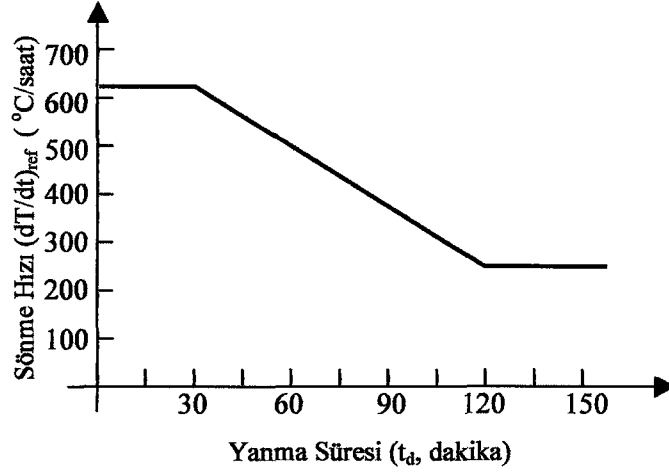
Yanma süresi (t_d), e_t yangın yükünü (MJ/m^2 toplam yüzey alanı) ve E yakıtın toplam enerjisini göstermek üzere,

$$t_d = 0,00013 e_t / F_v = \frac{0,00013 E}{A_v \sqrt{H_v}}, \quad (t_d \rightarrow \text{saat}) \quad (24)$$

olarak bulunabilmektedir.

Sönme Eğrisi;

Maksimum sıcaklıktan sonra yangının sönme eğrisini belirlemek için Eurocode, bir referans sönme hızı $(dT/dt)_{ref}$ kullanarak, yanma süresinin ilk yarım saatinde $625^\circ C$ 'lik bir sönme hızı, sonraki 1,5 saatte $625^\circ C$ 'den $250^\circ C$ 'ye kadar bir sönme hızı ve daha sonra ise $250^\circ C$ 'lik bir sönme hızı dikkate almaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Eurocode parametrik yangınındaki referans sönme hızının zamanla değişimi [2].

Bu durumda sönme hızı

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{dT}{dt} \right)_{ref} \frac{\sqrt{F_v / 0,04}}{\sqrt{b / 1160}} \quad (25)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

1.5. Yangın Şiddeti, Yangın Başarımı Ve Standart Yangınlar

1.5.1. Yangın Şiddeti Ve Yangın Başarımı

Bilindiği gibi yangın başarımı, belirli bir yangın esnasında yapının göçmeye, yangının sıçramasına ve diğer zararlı etkilere göstermiş olduğu dayanım ve dayanıklılığının bir ölçüsü, yangın şiddeti ise, yangının yıkıcı etkilerinin ya da yangın sonunda hasara neden olan yük ve sıcaklıkların bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 4'den de görüldüğü gibi farklı ölçüt ya da birimlere göre birkaç yangın başarımı ve şiddeti tanımlanabilmektedir.

Tablo 4. Çeşitli ölçüt ve birimlere göre yangın başarımları ve şiddetlerinin karşılaştırılması[2].

Ölçüt	Birimler	Yangın Başarımı	Yangın Şiddeti
Zaman	Dakika ya da saat	Göçme süresi	Hesaplanan ya da standartlarda verilen yangın süresi
Sıcaklık	°C	Göçmeye karşılık gelen sıcaklık	Yangın esnasında ulaşılan maksimum sıcaklık
Dayanım	kN ya da kNm	Yüksek sıcaklıktaki yük taşıma kapasitesi	Yangın süresince uygulanan yükler

Buna göre yapı ya da yapı elemanlarda

$$\text{Yangın başarımları} \geq \text{Yangın Şiddeti} \quad (26)$$

ifadesinin sağlanması gerekmektedir.

1.5.1.1. Zaman Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması

Yangın başarımları ve şiddetinin karşılaştırmasında en çok kullanılan ölçüt zaman ölçütüdür. Bu ölçüte göre karşılaştırma, $t_{göç}$ yapı elemanının göçme süresini, t_s ise standartlarda verilen ya da hesap edilen yangın süresini göstermek üzere,

$$t_{göç} \geq t_s \quad (27)$$

şeklinde yapılmaktadır. Bir yapı elemanının göçme süresi, hesaplanmakta ya da daha önce hazırlanmış ya da deneysel olarak belirlenmiş kaynaklardan alınmaktadır. Yangın süresi ise standart ya da gerçek bir yangın süresi olarak dikkate alınmaktadır [2].

Burada TS4065'te bazı betonarme ve öngerilmeli beton kirişler için sınır dakika cinsinden yangın başarımlarının verildiğini belirtmek uygun olmaktadır [10].

1.5.1.2. Sıcaklık Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması

Bazı durumlarda, karşılaştırmanın sıcaklık ölçütüne göre de yapılması gerekmektedir. Zira yapının belirli bir kesitindeki maksimum sıcaklığın, o kesitteki göçmeye neden olabilecek sıcaklık değerini aşmaması gerekmektedir. Buradaki göçme terimiyle, duvar ve döşemelerdeki ısı kırılmaları ya da kiriş ve kolon gibi taşıyıcı elemanlardaki kullanım dışı kalmaları kastedilmektedir. Buna göre göçmenin olmaması için karşılaştırmada, $T_{göç}$ elemanın göçme sıcaklığını ve T_{maks} yangında elemanın ulaştığı maksimum sıcaklığını göstermek üzere,

$$T_{göç} \geq T_{maks} \quad (28)$$

ifadesinin sağlanması gerekmektedir.

Bir bölme duvarındaki göçme sıcaklığı, duvarın yangın olmayan diğer mekana ait yüzeyindeki tutuşmayı başlatan sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı bir yapı elemanı için göçme sıcaklığı ise, elemanın normal koşullarda taşıyabileceği yükü yangın koşullarında artık taşıyamayacak duruma getiren sıcaklık değeri olarak tanımlanabilmektedir.

1.5.1.3. Dayanım Ölçütüne Göre Yangın Başarım Ve Şiddetinin Karşılaştırılması

Dayanım ölçütüne göre ise yangın başarımı ile yangın şiddeti arasındaki karşılaştırma; R_y yangının herhangi bir anındaki yük taşıma kapasitesini, F_y yangın esnasında uygulanan yükü göstermek üzere,

$$R_y \geq F_y \quad (29)$$

şeklinde yapılmaktadır. Bir yangın esnasında yapı elemanının yük taşıma kapasitesi, kesitlerindeki sıcaklık dağılımına göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerle

hesaplanabilmektedir. Yangına maruz kalacak yapıların tasarım yükleri yangın yönetmeliklerinde [11] verilen yük birleşimlerine (kombinezonlarına) göre belirlenmektedir.

1.5.2. Standart Yangınlar

Birçok ülkede, yapı malzemeleri ve yapı elemanlarının yangın başarımlarının belirlenmesi için birebir ölçekli elemanlar üzerinde yangın deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan sıcaklık-zaman eğrileri “standart yangın” olarak adlandırılmaktadır.

Bunlardan ASTM E119 ve ISO834 standart yangınları yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçekten İngiliz (BS476) ve Avustralya (AS1530) gibi diğer bazı ulusal standartlarda bu yangınları kullanılmaktadır.

ISO834’de verilen sıcaklık-zaman eğrisi, t (dak.) zamanı ve T_0 ($^{\circ}\text{C}$) başlangıç sıcaklığını göstermek üzere,

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (30)$$

şeklinde ifade edilmektedir [2]. Basitleştirilmiş ASTM E119[12] sıcaklık-zaman eğrisi ise,

$$T = 750 \left(1 - e^{-3.79553 \sqrt{t/60}} \right) + 170.41 \sqrt{t/60} + T_0 \quad (31)$$

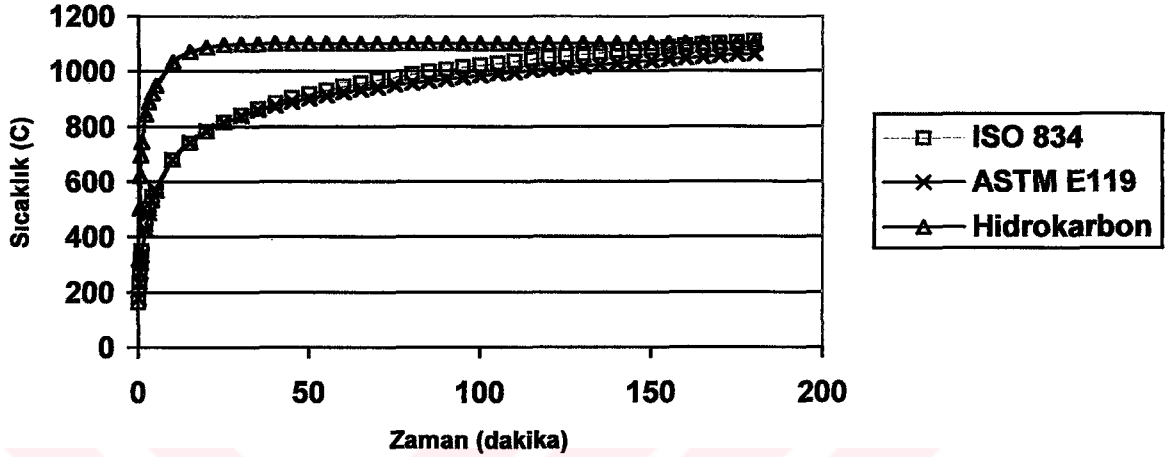
bağıntısıyla verilmektedir.

Eurocode bir seçenek olarak hidrokarbon eğrisi [13] adıyla anılan

$$T = 1080 \left(1 - 0.325 e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t} \right) + T_0 \quad (32)$$

şeklindeki sıcaklık-zaman eğrisini standart yangın olarak önermektedir. Yukarıda adı geçen standart yangınlara ilişkin sıcaklık-zaman eğrileri aşağıdaki Şekil 9’da verilmektedir.

Burada TS 1263'te deney fırınlarında kullanılmak üzere öngörülen sıcaklık-zaman eğrisinin de (30) bağıntısında verilen ISO834 standart yangını olduğunu belirtmek uygun olmaktadır [10,14].



Şekil 9. Bazı yönetmeliklere göre standart yangınlara ilişkin sıcaklık-zaman eğrileri

1.6. Yangın Başarımının Belirlenmesi

Yangın başarımı, daha önce de belirtildiği gibi, bir yapı elemanının herhangi bir yangına karşı dayanım ve dayanıklılığının ölçüsüdür. Yangın başarımı denilince genellikle, standart bir yangın başarım deneyi esnasında elemanın dikkate alınan sınır durumla karşılaştığı zaman süresi anlaşılmaktadır. Diğer taraftan yapıların yangın başarımı, yangın etkisindeki yapı elemanının sıcaklığını ya da yük taşıma kapasitesini kullanmak suretiyle de belirlenebilmektedir. Yangın başarımı yapı tipine (örneğin betonarme, çelik, vb.) değiştiği de bilinen bir gerçektir.

Yangın emniyeti için, daha önce de belirtildiği gibi, yapı elemanlarının yangın başarımlarıyla standartlarda verilen yangın şiddetlerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırmada kullanılacak yangın başarımının belirlenmesinde en gerçekçi yöntem birebir ölçekli bir yapı ya da yapı elemanının standart yangınlardaki başarımının deneylerle belirlenmesidir. Bu başarım, yapı elemanlarının taşıma kapasiteleri dikkate alınarak analitik ya da sayısal yöntemlerle de belirlenebilmektedir.

Daha önce de belirtmeye çalışıldığı gibi herhangi bir yapı elemanının yangın başarımını etkileyen; yangının şiddeti, malzeme türü, yapı elemanının geometrisi, mesnet koşulları, yangın esnasında uygulanan yük gibi birçok etmen mevcuttur.

1.6.1. Deneylerle Belirleme

Yapı yönetmeliklerinin birçoğunda [11] yapı elemanlarının yangın başarımları değerleri, genellikle zamana göre verilmektedir. Bu süreler yarım saatten başlayıp iki, üç ya da dört saate kadar çıkabilmektedir.

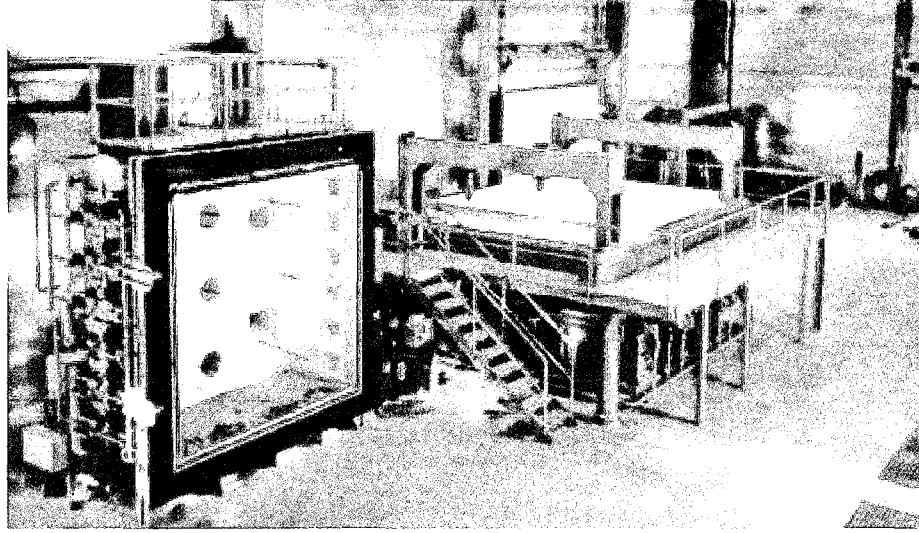
Yapı elemanlarının yangın başarımlarının deneylerle belirlenmesinde genellikle ortak bir sıcaklık-zaman eğrisi kullanılmaktadır.

Yine yönetmeliklerin birçoğunda [11] yangın başarımlarının, pahalı olmasına karşın, birebir ölçekli yapı elemanlarının yangın deneylerinden elde edilmesi önerilmektedir. Zira deneylerin küçük ölçekli modeller üzerinde gerçekleştirilmesi, eleman bağlantıları ve rötre gibi konularda zorluk yaratmaktadır.

1.6.1.1. Yangın Başarım Deney Fırınları

Yapı elemanlarının yangın başarımının belirlenmesi için kullanılan fırın, içindeki sıcaklığı standart yangın eğrisine göre değişen bir oda olarak tanımlanabilir. Bu fırın, genellikle, sıvı ya da gaz yakacaklarla ısıtılmaktadır. Bunlar genellikle, sıcaklık ve şekildeğiştirme ölçen ve deney numunesine yük yükleyen aygıtlar da içermektedir. Sıcaklık ölçen aygıtlara termakupl denmekte ve bu aygıttan okunan sıcaklıkların deney sırasında standart sıcaklık-zaman eğrisini takip etmesi gerekmektedir.

Bu fırınlarmın özellikleri standartlarda verilmektedir. Duvar ve kolon gibi düşey yapı elemanlarının yangın deneyinde düşey fırınlar, döşeme ve giriş gibi yatay yapı elemanlarının yangın deneyinde ise yatay fırınlar kullanılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Düşey ve yatay yangın deney fırınlarından bir görünüm [11]

1.6.1.2. Deney Yöntemi Ve Yangın Başarım Ölçütü

Yangın başarım deneyi, deney numunesinin, herhangi bir gerçek yangını temsil edecek olan bir fırın içerisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Deney numunesinin malzeme, boyut ve dış etkiler bakımından gerçeği temsil etmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi yapı elemanları normal koşullarda da çeşitli yüklerin etkisinde kalmaktadır. Bu durumda yük taşıyıcı elemanlar, pratikte olduğu gibi deneylerin her aşamasında yükleyiciler yardımıyla yüklenerek deneye tabi tutulmaktadırlar.

Burada normal koşullarda ısı genleşmesi engellenmiş olan yapı elemanlarının fırın içindeki durumlarının da aynı olmasının gerektiğini belirtmek uygun olmaktadır.

Daha önce belirtildiği üzere, standart sıcaklık-zaman eğrisini izleyen bir yangına sahip olan fırında, sıcaklık birim zamanda harcanan yakıt miktarının ayarlanması ile denetim altında tutulmaktadır. Fırının herhangi bir andaki sıcaklığı, standartlarda belirtilen bazı noktalara yerleştirilen termekupl adıyla anılan sıcaklık ölçen aygıtlardan okunan değerlerin ortalamasıyla belirlenmektedir.

Deney numunelerinin bazı noktalarındaki sıcaklıklar, standartlarda öngörülen şekillerle ölçülmektedir. Örneğin, duvarlarda bu noktalar alev etkisinde olmayan arka yüzeylerdedir.

Özetle, yapı elemanlarının yangın başarım deneylerinde deney numunesinde aşağıdaki üç özeliğin gözlenmesi gerekmektedir.

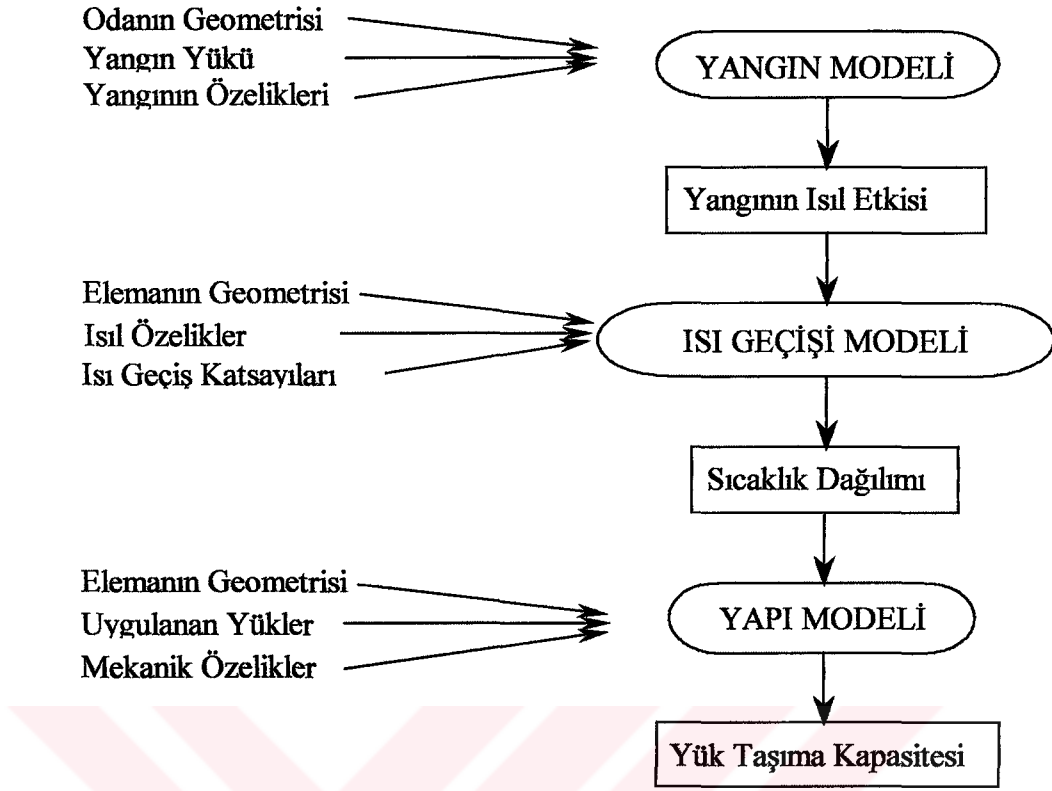
- 1) *Karalılık*: Deney numunesi göçmemeli ve kullanım dışı kalmamalıdır.
- 2) *Bütünlük*: Yangının sıçramaması için yapının bölme duvar ve döşeme gibi elemanlarında, alev ya da sıcak gaz geçişine imkan veren boşluklar oluşmamalıdır.
- 3) *Yalıtım*: Yapının bölme duvar ve döşeme gibi elemanlarında, alev etkisinde olmayan arka yüzlerindeki sıcaklıkların belirli bir değeri geçmemelidir.

Yukarıda belirtilen özelliklerden bir ya da birkaçının herhangi bir deney sırasında kaybolduğu zaman aralığı, o numunenin yangın başarımı olarak kabul edilmektedir [15].

1.6.2. Hesapla Belirleme

Yangın başarımının hesapla belirlenmesinde genellikle yük taşıma kapasitesi dikkate alınmaktadır. Bir oda yangınına maruz kalan yapının yangın başarımına ilişkin hesap akış diyagramı Şekil 11'de verilmektedir. Buna göre belirlenen yük taşıma kapasitesi, yangın süresince uygulanan yüklerle karşılaştırılmaktadır.

Yangın başarımının hesapla belirlenmesinin ilk adımı yangın modelinde bir sıcaklık-zaman eğrisi seçmektir.



Şekil 11. Yangın etkisindeki bir yapının yük taşıma kapasitesine ilişkin hesap akış diyagramı [2].

Gerçekten ısı geçişi modeli de yangın başarımı hesabında çok önemli bir rol oynamaktadır. Zira yangına maruz bir elemanın yük taşıma kapasitesi elemanın içindeki sıcaklık dağılımına bağlı olmaktadır. Yukarıdaki şemadan da görüldüğü gibi ısı geçişi için eleman geometrisi, ısıl özellikler ve eleman sınırlarındaki ısı geçiş katsayılarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu hesaplarda yapı modelinin de önemli olduğu bir gerçektir. Bazı basit yapı modellerinde basitleştirilmiş hesap yöntemleri kullanılmakla beraber daha karmaşık yapı modelleri için kapsamlı bilgisayar programları gerekmektedir [2,16,17].

1.7. Yangın Koşullarında Yapısal Tasarım

Yangın koşullarındaki göre yapısal tasarımla, normal koşullardaki yapısal tasarım arasında çok önemli bir fark bulunmamaktadır. Yangına göre tasarımda normal koşullardaki tasarıma ilaveten yangın şiddetinin de dikkate alınması gerekmektedir. Tasarım genellikle taşıma gücü yöntemiyle yapılmaktadır.

Yangın koşullarındaki tasarım ile normal koşullardaki tasarım arasındaki başlıca farklar aşağıda verilmektedir:

- Yangın koşullarında dikkate alınan tasarım yükleri daha küçüktür.
- Yangın koşullarında kesit etkileri ısı genleşmeden de meydana gelebilmektedir.
- Yapıyı oluşturan malzemelerin dayanımları yüksek sıcaklıklarla azalmaktadır.
- Enkesitler yüksek sıcaklıkların oluşturduğu hasar nedeniyle azalabilmektedir.
- Yangın çıkma ihtimalinin düşük oluşundan dolayı tasarımda daha küçük kısmi güvenlik katsayıları kullanılmaktadır.
- Yangına göre tasarımda normal koşullarda oluşmayan göçme mekanizmalarının dikkate alınması gerekli olmaktadır.

1.7.1. Tasarım Denklemi

Yangına göre tasarımda, yangın süresince uygulanan yüklerin yapı dayanımından daha küçük olması gerekmektedir. Bu durumda, F_y yangın tasarım yükünü, R_y dayanımını ve $\phi_f \leq 1,0$ dayanım azaltma katsayısını göstermek üzere, yangın güvenliği için

$$F_y \leq \phi_f R_y \quad (33)$$

sembolik ifadesinin sağlanması gerekmektedir. Bu sembolik ifadenin sağındaki yük ise solundaki de yükü, sağındaki kesit etkilerinin herhangi biri ise solundaki de aynı kesit

etkisini göstermektedir. Burada Eurocode'da dayanım azaltma katsayısının $\phi_f = 1,0$ alınmasının önerildiği belirtilmelidir.

1.7.2. Yangına Göre Tasarım Yükleri

Yangın koşullarında yapıya etkiyen yüklerin, normal sıcaklık koşullarında etkiyenlerinden daha küçük olduğu kabul edilmektedir. Gerçekten örneğin, Yeni Zelanda yönetmeliğinde (SNZ), G_k karakteristik sabit yükü ve Q_k karakteristik hareketli yükü göstermek üzere, tasarım yükü

$$F_f = G_k + 0,6 Q_k \quad (34)$$

olarak dikkate alınmaktadır. Yeni Zelanda, ASCE ve Eurocode'da yangın tasarımı için önerilen yük katsayıları aşağıda Tablo 5'de verilmektedir. Yeni Zelanda Yönetmeliği gibi bazı yönetmeliklerde, yangın anında rüzgar, kar ve deprem yüklerinin bulunmadığı kabul edilmektedir. yangınla aynı zamanda düşünmemektedir. Eurocode2'de ise yangın anında yapıda kar ve rüzgar yüklerinin de bulunduğu düşünülmektedir. Gerçekten rüzgar yükünün etkili olduğu durumlarda W_k karakteristik rüzgar yükünü göstermek üzere, yangın tasarım yükü

$$F_f = G_k + 0,5 W_k + 0,3 Q_k \quad (35)$$

olarak, karın etkili olduğu durumlarda ise, S_k karakteristik kar yükünü göstermek üzere,

$$F_f = G_k + 0,2 S_k + 0,3 Q_k \quad (36)$$

olarak dikkate alınmaktadır.

Tablo 5. Yangın tasarım yükleri için sabit ve hareketli yük katsayıları [2].

Yönetmelikler	Sabit Yük	Sürekli hareketli yük	Geçici hareketli yük
Yeni Zelandada (SNZ, 1992)	Gk	0,6 Qk	0,4 Qk
Eurocode (EC1, 1994)	Gk	0,9 Qk	0,5 Qk
ABD (ASCE, 1995)	1,2 Gk	0,5 Qk	0,5 Qk

Bizzat yangından dolayı da yapılarda ek yükler oluşabilmektedir. Isıl genişmesi engellenen yapı elemanının mesnetlerinde meydana gelen kuvvetler ya da büyük şekilde değişimlerden sonra elemanın eğilme modundan çekme moduna geçmesi bu yüklere birer örnek teşkil etmektedir [2].

1.7.3. Yangın Tasarımı İçin Yapısal Çözümleme

Daha önce de belirtmeye çalışıldığı gibi yangın tasarımı için gerçekleştirilen yapısal çözümleme normal koşullardaki yapısal çözümlemeye benzerdir. Ancak yangına göre yapısal çözümlemelerde yüksek sıcaklıklardan doğan etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Yangın etkisindeki basit yapı elemanının dayanımları basitleştirilmiş yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bu yöntemlerde yangın koşullarındaki tasarımın normal koşullardaki tasarımdan en önemli farkı, daha küçük tasarım yüklerinin ve yüksek sıcaklıkların etkisiyle değişen malzeme özelliklerinin dikkate alınmasından ibarettir. Betonarme yapılarda diğer bir yaklaşım ise malzeme özelliklerini değiştirmeden kesit boyutlarının küçültülmesidir.

Yüklü bir yapının yangın başarımının belirlenmesi için basitleştirilmiş yöntemlerle birlikte tasarım çizelgeleri ve bilgisayar programları da kullanılmaktadır [2,18].

1.8. Beton ve Donatı Özelliklerinin Yüksek Sıcaklıkla Değişimi

Yangın esnasında oluşan yüksek sıcaklıklarda, yapıların davranışını belirleyebilmek için o yapıyı oluşturan malzemelerin yüksek sıcaklıktaki özelliklerinin bilinmesi

gerekmektedir. Bilindiği üzere normal sıcaklıktaki bir tasarım, malzeme özelliklerinin oda sıcaklığındaki değerlerine bağlı kalınarak yapılmaktadır. Ortamdaki sıcaklık arttıkça yapı malzemelerinin özellikleri de değişim göstermekte ve bu değişim de hem yapının davranışını hem de sıcaklığın yapı elemanı içindeki değişimini etkilemektedir. Bu yüzden bu başlık altında betonarmeyi oluşturan yapı malzemeleri olan beton ve donatının özelliklerinin sıcaklıkla değişimi üzerinde durulmaktadır.

Malzeme özellikleri, Tablo 6’da da görüldüğü gibi fiziksel, mekanik ve ısı özellikler olmak üzere üç grupta toplanabilmektedir. Bunlardan dökülme sadece betonda, yumuşama sıcaklık 800°C’yi aştığında ve erime sıcaklık 1200°C civarında iken çelikte oluşmaktadır. Yüklü yapıların davranışının belirlenebilmesi için kendisini oluşturan malzemelerin elastisite modülü, basınç dayanımı, akma dayanımı gibi mekanik özelliklerin bilinmesi gerektiği gibi elemanın içinde ısı geçişi dolayısıyla da sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için ısı iletkenlik ve özgül ısının yüksek sıcaklıklardaki değişimlerinin de bilinmesi gerekli olmaktadır [17].

Tablo 6. Malzemelerin bazı özellikleri [17].

Fiziksel	Mekanik	Isıl
Özkütle		
Isıl Genleşme	Dayanım	Isıl İletkenlik
Yumuşama	Elastisite Modülü	Özgül Isı
Erime	Şekildeğiştirme	
Dökülme		

1.8.1. Beton Özelliklerinin Değişimi

1.8.1.1. Özkütle Değişimi

Betonun özkütlesi esas olarak agregaya bağlıdır. Birim ağırlığı fazla olan agregalarla üretilmiş olan betonun özkütlesi genellikle 2,0t/m³-2,40t/m³ arasında, hafif agregayla üretilen hafif betonlarınki ise 1,0t/m³-1,50t/m³ arasında değişmektedir.

Isınan betonun özkütlesinin değişme nedeni, kesitteki sıcaklık 100°C'yi geçince içindeki serbest su ya da nemin buharlaşmasıdır. Eurocode1-2'de geleneksel betonlarda özkütlenin $\rho_c=2300\text{kg/m}^3$ olarak alınabileceği belirtilmektedir. Ancak beton içindeki serbest su dikkate alındığında, sıcaklık 100°C'ye ulaşıncaya özkütlenin 100kg/m^3 azaltılabileceği öngörülmektedir [1].

1.8.1.2. Yüzeysel Bünye Değişimi

Betonarme yapılarda yangından doğan yüksek sıcaklıkların ortaya çıkardığı problemlerden biri betonun kabarıp dökülmesidir. Bu dökülme, betondaki agregaların mineralojik ve petrografik özelliklerine ve eleman köşelerinde biriken ısı gerilmelere bağlı olarak meydana gelmekle beraber bu olayda çimento hamuru da önemli rol oynamaktadır. Gerçekten dökülme daha çok, yangından doğan yüksek sıcaklıkların etkisiyle çimento hamurundaki suyun buharlaşmasıyla oluşan çekme gerilmelerinin betonun çekme dayanımını aşması sonucu meydana gelmektedir. Bu olayın meydana gelmemesi için boyutlandırmaların sıcaklık değişiminden doğan gerilmelerin dış yüklerden meydana gelenlerle birleştirilmesiyle elde edilen gerilmelere göre yapılması gerekmektedir [2,19].

1.8.1.3. Isıl Genleşme Katsayısının Değişimi

Betonun ısı genleşmesi (α_c) sıcaklıkla artmaktadır. Bu ısı genleşme, beton elemana sıcaklık dışında herhangi bir dış yük etki etmeksizin oluşan şekildeğiştirir.

Betonun ısı genleşme katsayısı (α_c) Eurocode1-2'de içerdiği agrega cinsine bağlı olarak üç guruba ayrılmaktadır. Çeşitli agregalarla üretilen betonların genleşme katsayılarına (α_c) ilişkin bağımlılar aşağıda verilmektedir:

Silisli agregalı betonlarda;

$$20^\circ\text{C} < T \leq 700^\circ\text{C} \text{ için } \alpha_c = (-1,8 \times 10^{-4}) + (9 \times 10^{-6} T) + (2,3 \times 10^{-11} T^3) \quad (37.a)$$

$$700^\circ\text{C} < T \leq 1200^\circ\text{C} \text{ için } \alpha_c = 14 \times 10^{-3} \quad (37.b)$$

Kalkerli agregalı hafif betonlarda;

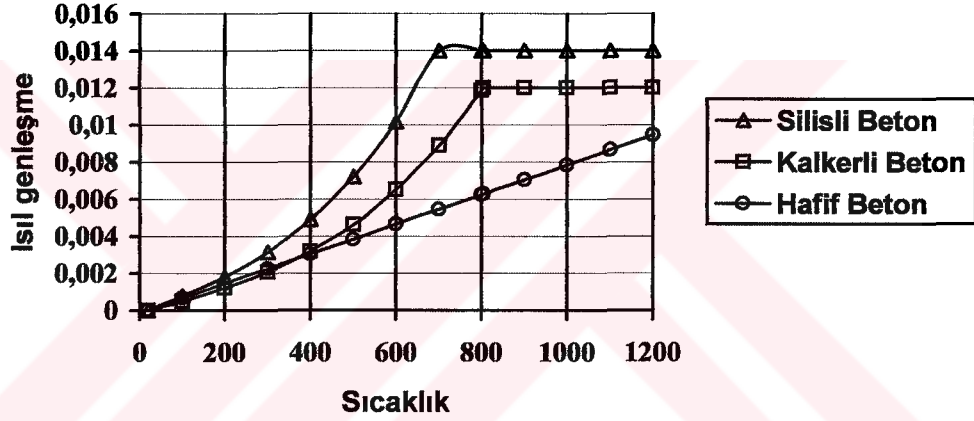
$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 805^{\circ}\text{C} \text{ için } \alpha_c = (-1,2 \times 10^{-4}) + (6 \times 10^{-6} T) + (1,4 \times 10^{-11} T^3) \quad (38.a)$$

$$805^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \text{ için } \alpha_c = 12 \times 10^{-3} \quad (38.b)$$

Hafif agregalı hafif betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \text{ için } \alpha_c = 8 \times 10^{-3} (T - 20) \quad (39)$$

Bu bağıntılara göre çizilen ısı genleşme- sıcaklık eğrileri aşağıda Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 12. Betonlarda ısı genleşmenin sıcaklıkla değişimi

Hesaplarda tek bir değer alınmak istendiğinde bu katsayının, silis agregalı betonlarda 18×10^{-3} , kalker agregalı betonlarda 12×10^{-3} ve hafif agregalı hafif betonlarda 8×10^{-3} olarak alınması önerilmektedir [1].

1.8.1.4. Isı İletkenlik Katsayısının Değişimi

Betonun ısı iletkenlik katsayısı (λ_c), sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Bu katsayı betondaki agrega cinsine göre de değişmektedir. Hafif agregalı betonların ısı iletkenlik katsayısı geleneksel betonlarınkinden daha küçüktür. Kireç taşı ya da dolomit türü

agregayla üretilmiş betonun ısı iletkenlik katsayısının silisli agregayla üretilmiş betonunkinden %15 daha küçük olduğu da bilinmektedir.

Betonun ısı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntılar [1] aşağıda verilmektedir:

Silisli agregalı betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \lambda_c = 2 - 0,24(T/120) + 0,012(T/120)^2 \quad (\text{W/mK}) \quad (40)$$

Kalkerli agregalı betonlarda;

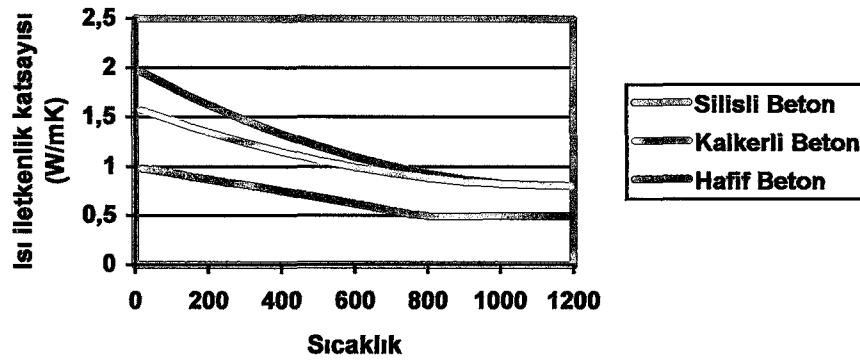
$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \lambda_c = 1,6 - 0,16(T/120) + 0,008(T/120)^2 \quad (\text{W/mK}) \quad (41)$$

Hafif agregalı hafif betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 800^{\circ}\text{C} \quad \text{'de} \quad \lambda_c = 1,0 - (T/1600) \quad (\text{W/mK}) \quad (42.a)$$

$$800^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \text{'de} \quad \lambda_c = 0,5 \quad (\text{W/mK}) \quad (42.b)$$

Bu bağıntılara göre çizilen ısı iletkenlik – sıcaklık eğrileri aşağıda Şekil 13'de verilmektedir.



Şekil 13. Betonlarda ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

Hesaplarda tek bir değer alınmak istendiğinde bu katsayının, silis agregalı betonlarda 1,6W/mK, kalker agregalı betonlarda 1,3W/mK ve hafif agregalı hafif betonlarda 0,8W/mK olarak alınması önerilmektedir [1].

1.8.1.5. Özgöl Isı Katsayısının Değişimi

Betonun özgöl ısı katsayısı (c_c) sıcaklığa göre değiştii gibi agrega cinsi ve betondaki nem oranına bağlı olarak da değişmektedir. Betonun özgöl ısı katsayısının sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntılar [1] aşığıda verilmektedir:

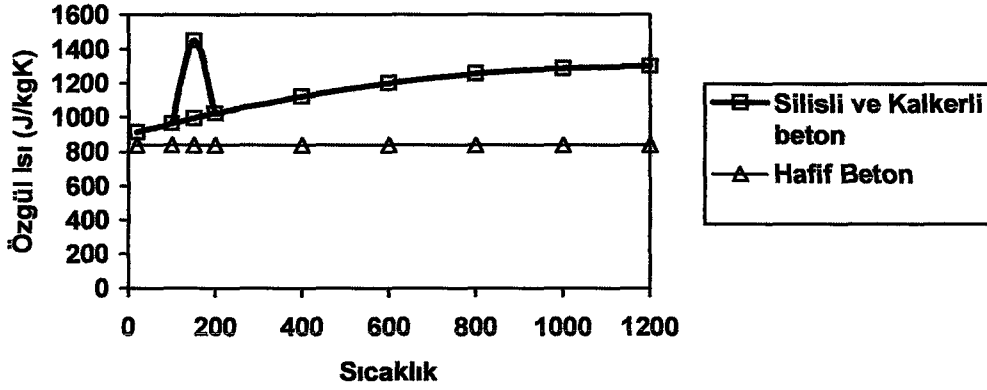
Silis ve kalker agregalı betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad c_c = 900 + 80(T/120) - 4(T/120)^2 \quad (\text{J/kgK}) \quad (43)$$

Hafif agregalı hafif betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad c_c = 840 \quad (\text{J/kgK}) \quad (44)$$

Yangından doğan yüksek sıcaklıklarda buharlaşma ile betondan uzaklaşan serbest sudan dolayı özgöl ısı katsayısında 100°C - 200°C değerleri arasında bir artış görölmektedir. Yukarıdaki bağıntılara göre çizilen özgöl ısı katsayısı-sıcaklık eğrileri aşığıda Şekil 14'de verilmektedir. Hesaplarda tek bir değer alınmak istendiğinde bu katsayının Silis ve kalker agregalı betonlarda $c_c=1000\text{J/kgK}$ olarak alınması önerilmektedir [1].



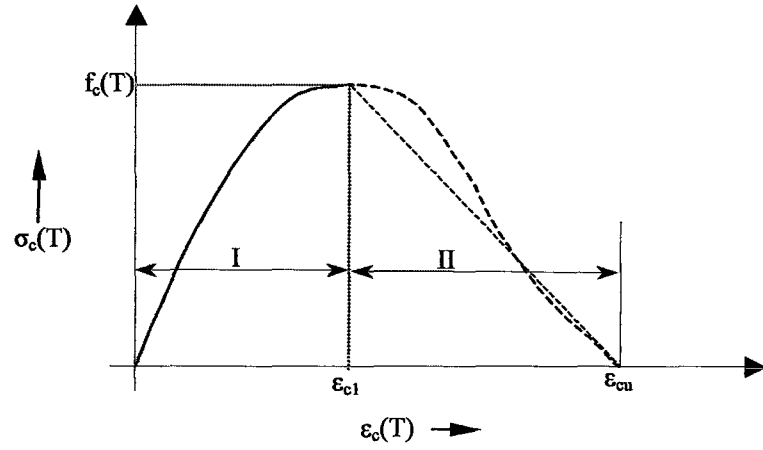
Şekil 14. Betonların özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimi

1.8.1.6. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisinin Değişimi

Yangın etkisindeki bir yapının taşıma gücünün ve davranışlarının belirlenmesi, yüksek sıcaklık etkisindeki betonun gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin bilinmesini gerektirmektedir. Belirli bir sıcaklıkta silis ve kalker agregalı betonların Şekil 13'de görülen I. bölgedeki gerilme-şekildeğiştirme eğrisi basınç dayanımı $f_c(T)$ ve buna karşılık gelen şekildeğiştirme $\epsilon_{cl}(T)$ parametrelerine bağlı olarak $\sigma_c(T)$ T sıcaklığındaki basınç gerilmesini ve $\epsilon_c(T)$ aynı sıcaklıktaki şekildeğiştirmelerini göstermek üzere,

$$\frac{\sigma_c(T)}{f_c(20^\circ\text{C})} = \frac{\epsilon_c(T)}{\epsilon_{cl}(T)} \cdot \frac{3}{2 + \left(\frac{\epsilon_c(T)}{\epsilon_{cl}(T)}\right)^3} \quad (45)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Silis ve kalker agregalı betonları çeşitli sıcaklıklardaki $f_c(T)/f_c(20^\circ\text{C})$ ve $\epsilon_{cl}(T)$ gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin I. bölgedeki parametreleri Tablo 7'de verilmektedir. Şekil 15'deki eğrinin II. bölgesi doğrusal ya da doğrusal olmayan modellerle oluşturulabilmektedir.

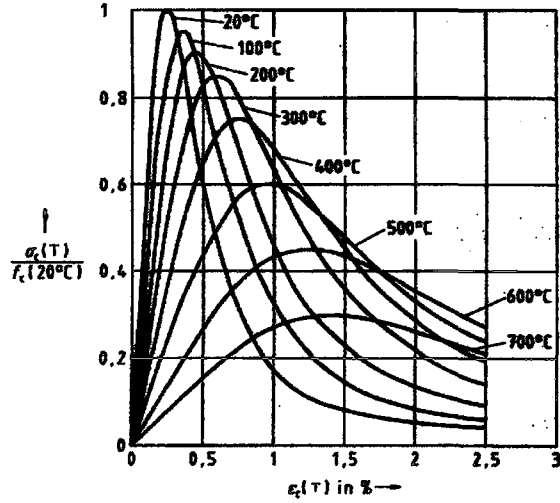


Şekil 15. Betonda gerilme-şekildeğiştirme eğrisi parametreleri

Tablo 7. Yüksek sıcaklıklardaki silisli ve kalkerli betonların basınç altındaki gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi parametreleri [1].

Beton sıcaklığı (°C)	$f_c(T)/f_c(20^\circ\text{C})$		$\varepsilon_{c1}(T) \times 10^{-3}$
	Silisli	Kalkerli	
20	1,00	1,00	2,5
100	0,95	0,97	3,5
200	0,90	0,94	4,5
300	0,85	0,91	6,0
400	0,75	0,85	7,5
500	0,60	0,74	9,5
600	0,45	0,60	12,5
700	0,30	0,43	14,0
800	0,15	0,27	14,5
900	0,08	0,15	15,0
1000	0,04	0,06	15,0
1100	0,01	0,02	15,0
1200	0,00	0,00	15,0

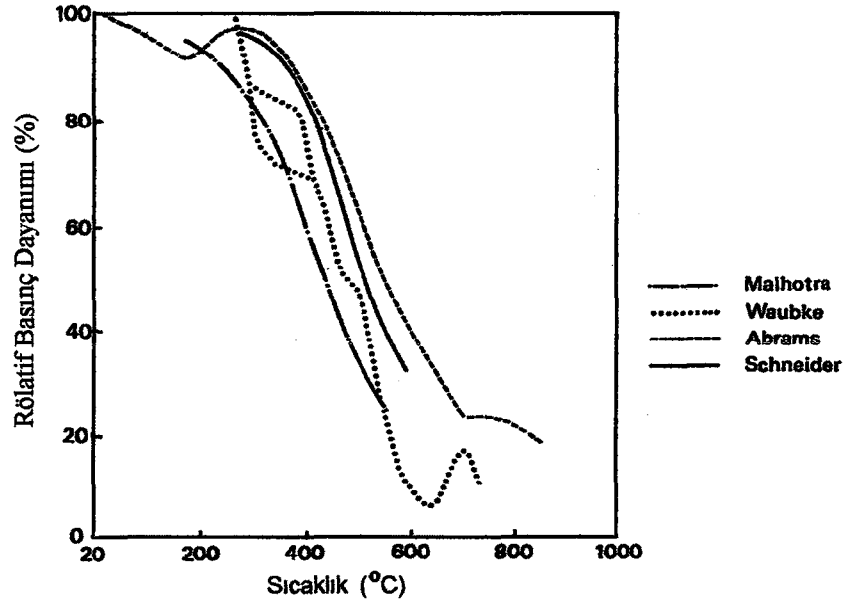
Bir eksenli merkezi basınçta silisli agregalı bir betonun çeşitli sıcaklıklar dikkate alınarak (45) bağıntısına göre çizilen gerilme-şekildeğiştirme eğrileri Şekil 16'da verilmektedir [1].



Şekil 16. Bir eksenli merkezi basınçta silis agregalı betonun çeşitli sıcaklıklarda gerilme-şekildeğiştirme eğrileri [1].

1.8.1.7. Basınç Dayanımının Değişimi

Yapıda betonun temel görevi basınç gerilmelerini karşılamak olduğundan, yüksek sıcaklıkların basınç dayanımına etkisi daha çok önemli olmaktadır. Bazı araştırmacıların yüksüz olarak ısıtılan ve numune sıcaklığı istenilen sıcaklığa ulaştığında yüklenen silis agregalı geleneksel beton numuneler üzerinde yapmış oldukları deneylerin sonuçları Şekil 17'de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla dayanım azalmaktadır [19].



Şekil 17. Bazı araştırmacılara göre silis agregalı geleneksel betonun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi [17].

Geleneksel betonun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi ile hafif betonunki farklı olmaktadır[20]. Eurocode1-2’de, betonun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimini, $f_{ck}(T)$, T sıcaklığındaki betonun karakteristik basınç dayanımını ve $f_{ck}(20^{\circ}\text{C})$ 20°C ’deki betonun karakteristik basınç dayanımını göstermek üzere,

$$f_{ck}(T) = k_c(T) \cdot f_{ck}(20^{\circ}\text{C}) \quad (46)$$

şeklinde verilmektedir. Bu bağıntıdaki $k_c(T)$ katsayısına geleneksel ve hafif betonlar için aşağıdaki değerlerin verilmesi önerilmektedir:

Geleneksel betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 100^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = 1,0 \quad (47.a)$$

$$100^{\circ}\text{C} < T \leq 400^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = (1600 - T)/1500 \quad (47.b)$$

$$400^{\circ}\text{C} < T \leq 900^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = (900 - T)/625 \quad (47.c)$$

$$900^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = 0 \quad (47.d)$$

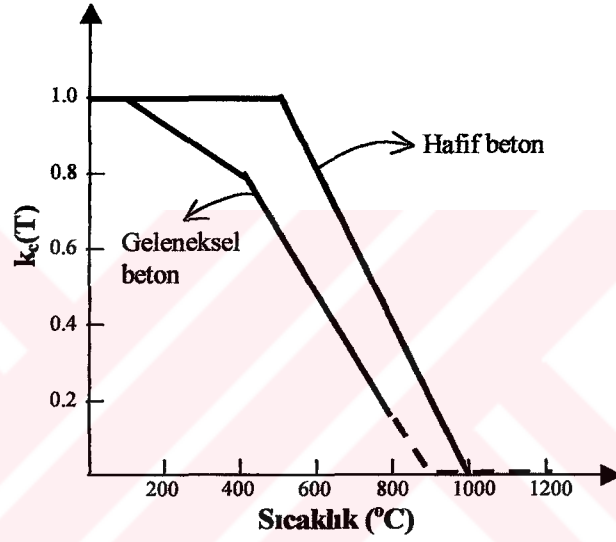
Hafif betonlarda;

$$20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 500^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = 1,0 \quad (48.a)$$

$$500^{\circ}\text{C} < T \leq 1000^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = (1000 - T)/500 \quad (48.b)$$

$$1000^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \text{için} \quad k_c(T) = 0 \quad (48.c)$$

Bu durumda yukarıdaki ifadelere göre beton basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi Şekil 18’de verilmektedir [1].



Şekil 18. Betonların basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi

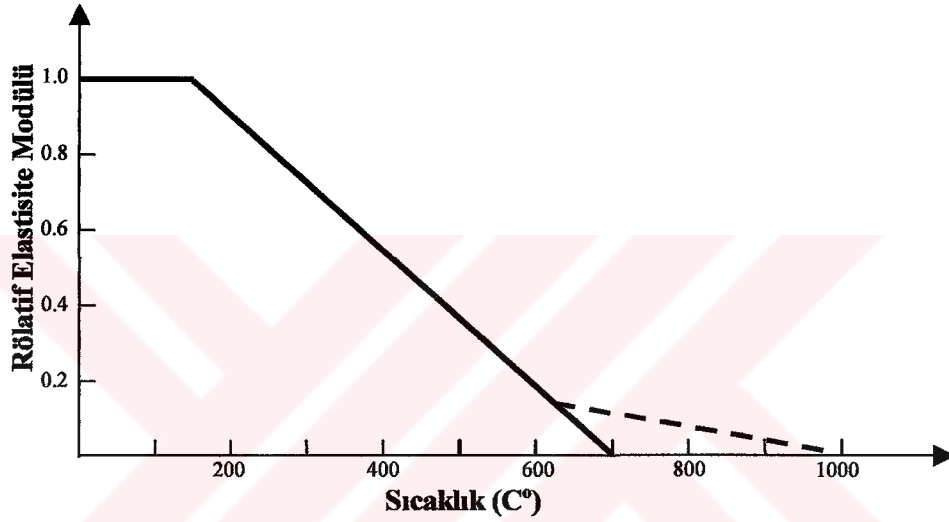
1.8.1.8. Elastisite Modülünün Değişimi

Sıcaklığın betonun elastisite modülü üzerindeki etkisi, basınç dayanımı üzerindeki etkisine benzemektedir. Hafif betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi de geleneksel betonunkine benzer şekilde olmaktadır. Bu nedenle Eurocode1-2'deki betonların elastisite modülünün sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntılar da aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$20^{\circ}\text{C} \leq 150^{\circ}\text{C} \text{ için } \frac{E_c(T)}{E_c(20^{\circ}\text{C})} = 1,0 \quad (49.a)$$

$$T > 150^{\circ}\text{C} \text{ için } \frac{E_c(T)}{E_c(20^{\circ}\text{C})} = (700 - T) / 500 \quad (49.b)$$

Yukarıdaki ifadeler uyarınca betonların elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi Şekil 19’da verilmektedir.



Şekil 19. Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi

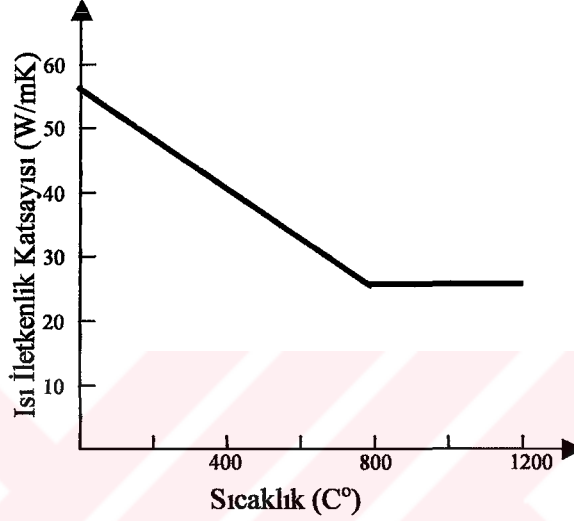
1.8.2. Donatı Özelliklerinin Değişimi

Çeliğin yapı çeliği ve betonarme donatısı olmak üzere iki şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Bu başlık altında betonarmede donatı olarak kullanılan çelik özelliklerinin sıcaklıkla değişimi üzerinde durulmaktadır. Betonarme yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımında donatının etkisi fazla önemli olmamakla beraber donatı oranının büyük olması durumunda bu etki dikkate alınacak kadar önemli olmaktadır.

Burada Eurocode1-2’de donatı özkütlesinin ($\rho_s=7850\text{kg/m}^3$) yüksek sıcaklıkla değişmediğinin kabul edildiğini belirtmek uygun olmaktadır [1].

1.8.2.1. Isı İletkenlik Katsayısının Değişimi

Donatının ısı iletkenlik katsayısı (λ_s), sıcaklığa bağlı olarak Şekil 20'deki gibi değiştiği kabul edilmekte (Eurocode3) ve hesaplarda tek bir değer alınması istendiğinde bunun 45 W/mK olarak kullanılması önerilmektedir [2].



Şekil 20. Donatı çeliğinin ısı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi

1.8.2.2. Özgül Isı Katsayısının Değişimi

Hesaplarda tek bir değer alınmak istendiğinde özgül ısı katsayısının $c_s = 630 \text{ J/kgK}$ olarak alınması önerilmektedir. Diğer durumlar için Eurocode3'de çeliğin özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmektedir [2]:

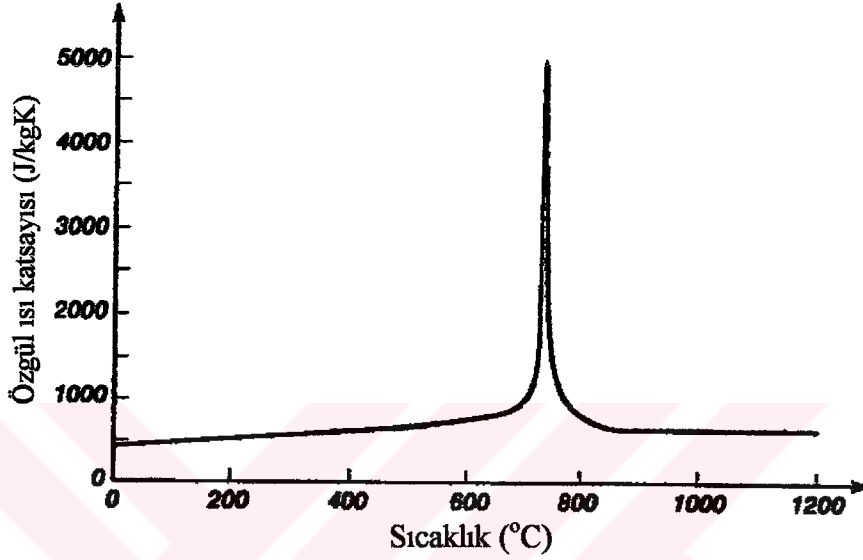
$$20^\circ\text{C} \leq T < 600^\circ\text{C} \quad c_s = 425 + 0,773T - 1,69 \times 10^{-3} T^2 + 2,22 \times 10^{-6} T^3 \quad (50.a)$$

$$600^\circ\text{C} \leq T < 735^\circ\text{C} \quad c_s = 666 + \frac{13002}{(738 - T)} \quad (50.b)$$

$$735^\circ\text{C} \leq T < 900^\circ\text{C} \quad c_s = 545 + \frac{13002}{(T - 738)} \quad (50.c)$$

$$900^\circ\text{C} \leq T \leq 1200^\circ\text{C} \quad c_s = 650 \quad (50.d)$$

Bu durumda yukarıdaki ifadelerle göre özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 21’de verilmektedir. Bu şekilde de görüldüğü gibi çelikteki sıcaklık 735°C’ye ulaştığında özgül ısı katsayısında ani bir değişim oluşmaktadır. Bu durum ancak bu sıcaklık civarında çeliğin metalürjik bir değişime uğramış olmasıyla açıklanmaktadır [19].



Şekil 21. Çeliğin özgül ısı katsayısının sıcaklıkla değişimi [2].

1.8.2.3. Isıl Genleşme Katsayısının Değişimi

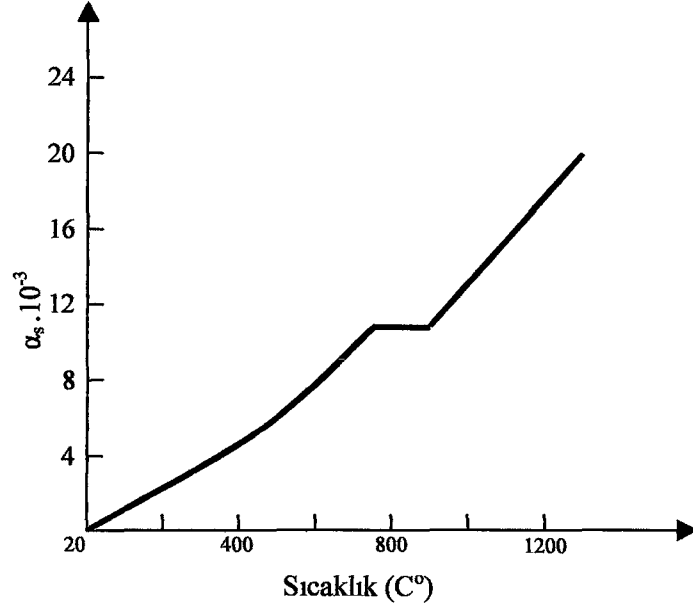
Donatının oda sıcaklığında ısı genleşme katsayısının $\alpha_s=11,7 \times 10^{-6}$ olduğu bilinmektedir. Bu katsayının sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmektedir:

$$20^{\circ}\text{C} < T \leq 750^{\circ}\text{C} \quad \alpha_s = (-2,416 \times 10^{-4}) + (1,2 \times 10^{-5} T) + (0,4 \times 10^{-8} T^2) \quad (51.a)$$

$$750^{\circ}\text{C} < T \leq 860^{\circ}\text{C} \quad \alpha_s = 11 \times 10^{-6} \quad (51.b)$$

$$860^{\circ}\text{C} < T \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad \alpha_s = (-6,2 \times 10^{-3}) + (2 \times 10^{-5} T) \quad (51.c)$$

Bu durumda yukarıdaki ifadelerle göre donatı çeliğinin ısı genleşme katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 22’de verilmektedir. Pratik tasarımlarda bu katsayının sıcaklıkla $14 \times 10^{-6} T$ olarak değiştiği kabul edilmektedir [1].

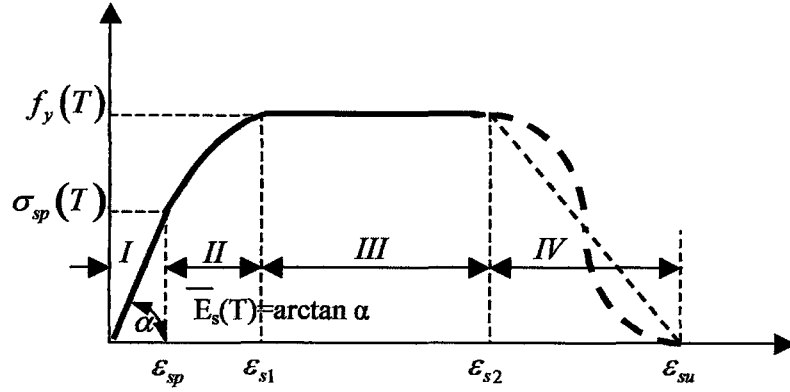


Şekil 22. Donatı çeliğinin ısı genleşme katsayısının sıcaklıkla değişimi

1.8.2.4. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisinin Değişimi

Donatı çeliğinin mekanik özelliklerini üretim şeklinin etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle donatı çelikleri sıcakta ve soğukta işlem görmüş çelikler olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Eurocode1-2'de yüksek sıcaklıklardaki donatının gerilme-şekildeğiştirme eğrisi dört bölgeyle karakterize edilmektedir (Şekil 23).



Şekil 23. Yüksek sıcaklık etkisindeki donatının gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Bu şekle göre:

I.Bölge: Doğrusal elastik bölge

$$\sigma_s(T) = \bar{E}_s(T) \cdot \varepsilon_s(T) \quad (52.a)$$

$$\varepsilon_{sp} = \frac{\sigma_{sp}}{\bar{E}_s(T)} \quad (52.b)$$

II.Bölge: Doğrusal olmayan bölge

$$\sigma_s(T) = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_s(T))^2} + \sigma_{sp} - c \quad (53.a)$$

$$\bar{E}_s(T) = \frac{b (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_s(T))}{a \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_s(T))^2}} \quad (53.b)$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,02 \quad (53.c)$$

$$a^2 = \frac{\bar{E}_s(T) (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{sp})^2 + c (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{sp})}{E_s(T)} \quad (53.d)$$

$$b^2 = \bar{E}_s(T) (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{sp}) c + c^2 \quad (53.e)$$

$$c = \frac{(f_y(T) - \sigma_{sp}(T))^2}{2(\sigma_{sp}(T) - f_y(T)) + E_s(T) (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{sp})} \quad (53.f)$$

III.Bölge: İdeal plastik bölge.

$$\sigma_s(T) = f_y(T) \quad (54.a)$$

$$\bar{E}_s(T) = 0 \quad (54.b)$$

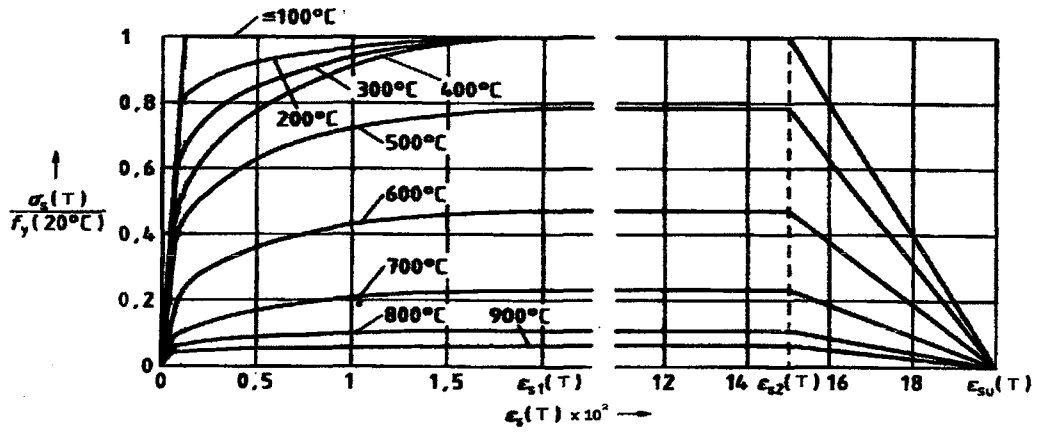
IV.Bölge: Bu bölge için şekilde görüldüğü gibi doğrusal ya da doğrusal olmayan davranışlar kullanılmaktadır.

Sıcakta ve soğukta işlem görmüş donatı çeliklerinin çeşitli sıcaklıklardaki rölatif elastisite modülü, rölatif orantılılık sınırı ve rölatif akma dayanımı değerleri Tablo 8'de verilmektedir.

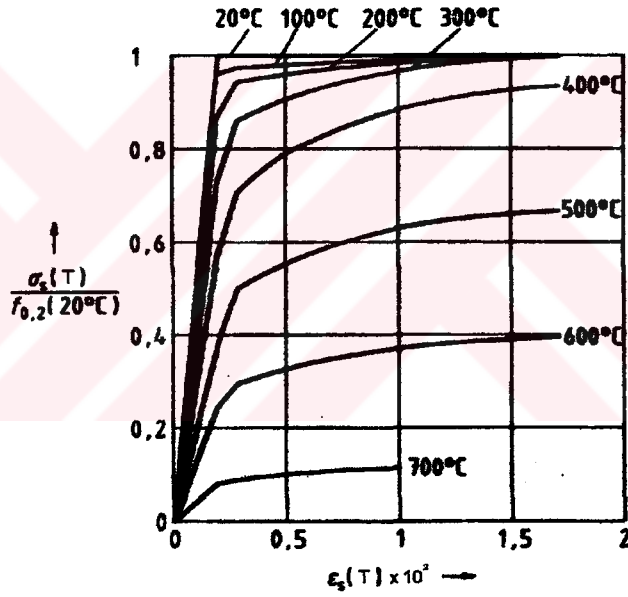
Tablo 8. Soğukta ve sıcakta işlem görmüş donatı çeliklerinin çeşitli sıcaklıklardaki rölatif elastisite modülü, orantılılık sınırı ve akma dayanımları [1].

Donatı Sıcaklığı (°C)	Sıcakta İşlenmiş Donatılar			Soğukta İşlenmiş Donatılar		
	$\frac{E_s(T)}{E_s(20^0 C)}$	$\frac{\sigma_{sp}(T)}{f_{0,2}(20^0 C)}$	$\frac{f_y(T)}{f_{0,2}(20^0 C)}$	$\frac{E_s(T)}{E_s(20^0 C)}$	$\frac{\sigma_{sp}(T)}{f_{0,2}(20^0 C)}$	$\frac{f_y(T)}{f_{0,2}(20^0 C)}$
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00
200	0,87	0,92	1,00	0,90	0,81	1,00
300	0,72	0,81	1,00	0,80	0,61	1,00
400	0,56	0,63	0,94	0,70	0,42	1,00
500	0,40	0,44	0,67	0,60	0,36	0,78
600	0,24	0,26	0,40	0,31	0,18	0,47
700	0,08	0,08	0,12	0,13	0,07	0,23
800	0,06	0,06	0,11	0,09	0,05	0,11
900	0,05	0,05	0,08	0,07	0,04	0,06
1000	0,03	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04
1100	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Yukarıdaki ifadeler ve Tablo 8'e göre hazırlanan sıcakta ve soğukta işlem görmüş donatıların çeşitli sıcaklıklardaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 24 ve Şekil 25'de verilmektedir [1].



Şekil 24. Sıcakta işlem görmüş donatının çeşitli sıcaklıklardaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri [1].



Şekil 25. Soğukta işlem görmüş donatının çeşitli sıcaklıklardaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri [1].

1.8.2.5. Akma Dayanımının Değişimi

Eurocode1-2'de donatının karakteristik akma dayanımının sıcaklıkla değişimine ilişkin bağıntı, $k_s(T)$ bir katsayıyı göstermek üzere,

$$f_{sk}(T) = k_s(T) \cdot f_{yk}(T) \quad (55)$$

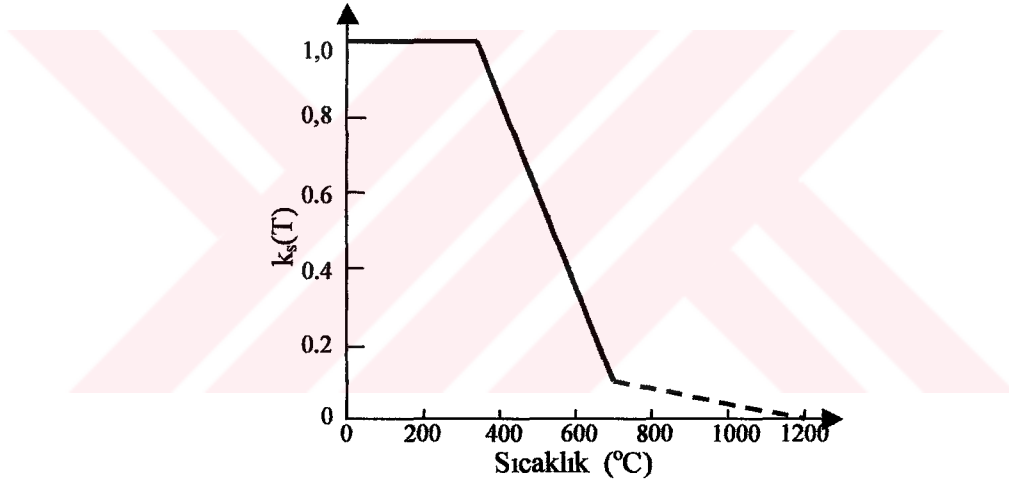
şeklindedir. Bu bağıntıdaki $k_s(T)$ katsayıları, çekme etkisindeki donatılar için

$$20^\circ\text{C} \leq T \leq 350^\circ\text{C} \text{ için} \quad k_s(T) = 1,0 \quad (56.a)$$

$$350^\circ\text{C} < T \leq 700^\circ\text{C} \text{ için} \quad k_s(T) = (6650 - 9T)/3500 \quad (56.b)$$

$$700^\circ\text{C} < T \leq 1200^\circ\text{C} \text{ için} \quad k_s(T) = (1200 - T)/5000 \quad (56.c)$$

olarak verilmektedir. Bu durumda yukarıdaki ifadelere göre donatı akma dayanımının sıcaklıkla değişimi Şekil 26'da verilmektedir [1].



Şekil 26. Donatı akma dayanımının sıcaklıkla değişimi

1.9. Betonarme Kesitlerdeki Sıcaklık Dağılımının Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi

Yangın esnasında yapı elemanına etkiyecek sıcaklık-zaman eğrisine karar verildikten sonra elemanın enkesitindeki sıcaklık dağılımının ya da elemanın belirli bir kritik noktasındaki sıcaklığın belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan birçok bilgisayar programı vardır.

Yangın etkisindeki yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımlarının hesabı için deneysel, analitik ve sayısal yöntemler mevcuttur. Deneysel yöntemlerle sıcaklık değerleri, herhangi bir elemanın deney fırınlarında ısıtılarak bazı noktalarında ölçümler yapılmasıyla elde edilmekte ve diğer yöntemlerde ise bu dağılımlar hesaplanmaktadır.

1.9.1. Analitik (Wickström) Yöntemle Belirleme

Yangın etkisinde olan betonarme yapı elemanlarındaki sıcaklıkların hesabı için teknik literatürde birçok basit bağıntı ve diyagram mevcuttur. Bunlardan biri Wickström tarafından geliştirilen yöntemdir. Bu yöntemde ISO834 standart yangını ya da gerçek yangınlar dikkate alınmakta ve yapı elemanları iki boyutlu olarak çözümlenmektedir. Bu yöntemin özellikle Şekil 9'da verilen ISO834 standart yangını ve geleneksel beton için kullanılmasının iyi netice vereceği belirtilmelidir.

Bilindiği gibi yangın esnasında betonarme bir elemanın dayanımı, donatıların akma dayanımlarının sıcaklıkla azalmasıyla da azalmaktadır. Bu yöntemle donatı sıcaklıkları, beton örtü kalınlığı ve yangının etkime süresi dikkate alınarak, yaklaşık olarak belirlenmektedir. Wickström formülasyonu, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programıyla elde edilen sonuçlardan yararlanarak geliştirilmiştir ve yöntemin sonuçlarının bilgisayar programıyla elde edilen sonuçlarla çok yakın olduğu görülmüştür [2].

Bu yöntemde yangın etkisindeki betonarme bir yapı elemanının yüzeyindeki sıcaklık (T_w), T_f yangın sıcaklığı, t (saat) zamanı göstermek ve $\eta_w = 1 - 0,0616 t^{-0,88}$ olmak üzere

$$T_w = \eta_w T_f \quad (57)$$

bağıntısıyla, bir doğrultulu ısı iletimi için beton yüzünden herhangi bir x (m) uzaklığındaki mesafesindeki beton sıcaklığı ise, $\eta_x = 0,18 \ln(t_r/x^2) - 0,81$ olmak üzere

$$T_c = \eta_x \eta_w T_f \quad (58)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Bu yöntem iki doğrultulu ısı iletimi için de eleman kesitlerinin köşelerindeki sıcaklıkların belirlenmesinde de kullanılabilir. Bu durumda yukarıda belirtilen η_x 'e ilaveten η_y katsayısının da hesaplanması gerekmektedir. Buna göre iki doğrultulu ısı iletiminde betonarme kesitin yüzeylerinden x ve y mesafesinde bir noktadaki sıcaklık, $\eta_y = 0,18 \ln(t_h / y^2) - 0,81$ olmak üzere

$$T_c = [\eta_w (\eta_x + \eta_y - 2 \eta_x \eta_y) + \eta_x \eta_y] T_f \quad (59)$$

olarak hesaplanmaktadır [21,22].

1.9.2. Sayısal Yöntemlerle Belirleme

1.9.2.1. Isı Akış Denklemi

İki boyutlu ısı akışındaki kısmi diferensiyel denklem; x, y koordinatları, t zamanı, T(x,y,t) sıcaklık dağılım geçmişini, ρ özkütleyi, c özgül ısıyı, λ ısı iletkenlik katsayısını ve Q_e iç ısı üretim miktarını gösterme üzere,

$$\rho c \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \right) + Q_e(x, y, t) \quad (60)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu diferensiyel denklemin çözümü için başlangıç ve sınır koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Başlangıç koşulları, çözüme başlandığında eleman enkesitinin her noktasında

$$T(x, y, t_0) = T(x, y) \quad (61)$$

şeklinde ifade edilen ilk sıcaklıklardır. Sınır koşulları ise eleman enkesitinin belirli noktalarında tanımlanan belirli sıcaklık ya da ısı akış geçmişleridir.

1.9.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirleme

Bilindiği gibi (60) bağıntısında verilen iki boyutlu ısı akış denkleminin gerçek çözümünü elde etmek çok zordur. Bu nedenle çözümün yaklaşık olarak sayısal bir yöntemle yapılması gerekmektedir. Bu başlık altında sonlu elemanlar yöntemiyle sıcaklık dağılımının belirlenmesi üzerinde durulmaktadır

Isı geçişinde sonlu elemanlar matris eşitliğinin; [C] kapasite matrisini, [K] ısı iletkenlik matrisini, {Q} dış ısı akış vektörünü, {T} sıcaklık vektörünü ve $\{\dot{T}\}$ sıcaklığın zamana göre birinci türev vektörünü göstermek üzere

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{Q\} \quad (62)$$

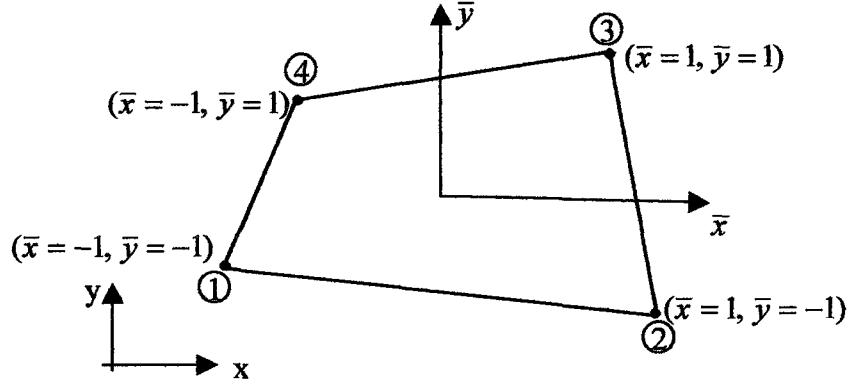
şeklinde olduğu bilinmektedir.

1.9.2.2.1. Isı İletkenlik Matrisi

Sistemin genel ısı iletkenlik matrisi (\underline{K}); \underline{K}_m eleman ısı iletkenlik matrisini, m eleman numarasını ve M toplam eleman sayısını göstermek üzere

$$\underline{K} = \sum_{m=1}^M \underline{K}_m \quad (63)$$

olarak belirlenmektedir. İki boyutlu sistemlerde eleman ısı iletkenlik matrisinin belirlenmesinde genellikle iki boyutlu izoparametrik eleman kullanılmaktadır. Dört düğüm noktalı tipik iki boyutlu izoparametrik bir eleman Şekil 27'de verilmektedir. Bu elemanın düğüm noktalarının yerel koordinatları (\bar{x}, \bar{y}) olarak genel koordinatlar ise (x,y) şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 27. İki boyutlu izoparametrik bir eleman

Elemanın her bir noktanın sıcaklığının yerel koordinatlardaki ifadesi; $H_i(\bar{x}, \bar{y})$ şekil fonksiyonunu, \bar{x}_i, \bar{y}_i i düğüm noktasının yerel koordinatlarını (ya 1 ya da -1), $T_i(t)$ i noktasının sıcaklığını göstermek üzere,

$$T(\bar{x}, \bar{y}, t) = \sum_{i=1}^4 H_i(x, y) \cdot T_i(t) \quad (64)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadenin matris formda gösterimi, $\{H_i\}$ şekil fonksiyonunun satır vektörünü, $\{T_i\}$ düğüm noktası sıcaklıklarının kolon vektörünü göstermek üzere,

$$T(\bar{x}, \bar{y}, t)_{1 \times 1} = \{H_i\}_{1 \times 4} \{T_i\}_{4 \times 1} \quad (65)$$

yazılabilmektedir.

Aynı şekilde, elemanın herhangi bir düğüm noktasının genel koordinatları, tüm düğüm noktalarının genel koordinatlarıyla aşağıdaki şekilde ilişkilidir:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} \{H_i\} & 0 \\ 0 & \{H_i\} \end{bmatrix}_{2 \times 8} \begin{Bmatrix} \{x_i\} \\ \{y_i\} \end{Bmatrix}_{8 \times 1} \quad (66)$$

Yukarıdaki (65) bağıntısının genel koordinatlara göre türevi

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{Bmatrix} \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial x} \right\} \\ \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial y} \right\} \end{Bmatrix}_{2 \times 4} \{T_i\} \Rightarrow \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix}_{2 \times 1} = [B] \{T_i\} \quad (67)$$

şeklinde yazılmaktadır.

Genel ve yerel diferansiyeller arasındaki ilişki, $[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \bar{x}} & \frac{\partial y}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial x}{\partial \bar{y}} & \frac{\partial y}{\partial \bar{y}} \end{bmatrix}$ ya da

$$[J]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_1}{\partial \bar{x}} & \frac{\partial H_2}{\partial \bar{x}} & \frac{\partial H_3}{\partial \bar{x}} & \frac{\partial H_4}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial H_1}{\partial \bar{y}} & \frac{\partial H_2}{\partial \bar{y}} & \frac{\partial H_3}{\partial \bar{y}} & \frac{\partial H_4}{\partial \bar{y}} \end{bmatrix}_{2 \times 4} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \end{bmatrix}_{4 \times 2} \quad \text{şeklinde Jakobyen matrisi göstermek}$$

üzere

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \end{Bmatrix}_{2 \times 1} = [J]_{2 \times 2} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix}_{2 \times 1} \quad (68)$$

şeklinde dir.

Bu durumda (67) bağıntısındaki [B] matrisi ise,

$$[B]_{2 \times 4} = \begin{Bmatrix} \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial x} \right\} \\ \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial y} \right\} \end{Bmatrix}_{2 \times 4} \Rightarrow [B]_{2 \times 4} = [J]_{2 \times 2}^{-1} \begin{Bmatrix} \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial \bar{x}} \right\} \\ \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial \bar{y}} \right\} \end{Bmatrix}_{2 \times 4} \quad (69)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Eleman ısı iletkenlik matrisi; λ_m elemanın ısı iletkenlik katsayısını göstermek üzere,

$$\underline{K}_m_{4 \times 4} = \int \lambda_m \underline{B}_{4 \times 2}^T \underline{B}_{2 \times 4} dv \quad (70)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu matris yerel koordinat sisteminde integre edilirse, d eleman kalınlığını ve $|J|$ jakobyen matrisinin determinantını göstermek üzere

$$\underline{K}_m_{4 \times 4} = d \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \lambda_m \underline{B}_{4 \times 2}^T \underline{B}_{2 \times 4} |J| d\bar{x} d\bar{y} \quad (71)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Bu bağıntı; λ_m elemanın ısı iletkenlik katsayısının bütün elemanda sabit olduğu kabul edilir ve $\underline{f}(\bar{x}, \bar{y})_{4 \times 4} = \underline{B}_{4 \times 2}^T \cdot \underline{B} \cdot |J|$ olarak gösterilirse

$$\underline{K}_m_{4 \times 4} = \lambda_m d \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \underline{f}(\bar{x}, \bar{y})_{4 \times 4} d\bar{x} d\bar{y} \quad (72)$$

şeklini almaktadır.

İki noktalı Gauss dörtlüsüyle sayısal integrasyon

$$\int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \underline{f}(\bar{x}, \bar{y})_{4 \times 4} d\bar{x} d\bar{y} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \underline{f}(\bar{x}_i, \bar{y}_j)_{4 \times 4} \quad (73)$$

şekline dönüştürülebilmekte, integrasyon noktalarının koordinatları $\bar{x}_i, \bar{y}_i \rightarrow +\frac{\sqrt{3}}{3}$ ya da

$-\frac{\sqrt{3}}{3}$ olarak alınmakta, her (\bar{x}_i, \bar{y}_i) integrasyon noktası için

$$\underline{f}(\bar{x}_i, \bar{y}_i) = \underline{B}_{4 \times 2}^T(\bar{x}_i, \bar{y}_i) \underline{B}_{2 \times 4}(\bar{x}_i, \bar{y}_i) |J(\bar{x}_i, \bar{y}_i)| \quad (74)$$

hesaplanmasından sonra bunların toplanması suretiyle (63) bağıntısında geçen \underline{K}_m eleman ısı iletkenlik matrisi elde edilmektedir.

1.9.2.2.2. Kapasite Matrisi

Daha önce Şekil 27'de verilen iki boyutlu izoparametrik bir eleman için, m eleman numarasını, A_m eleman alanını, d eleman kalınlığını göstermek ve $V_m = d.A_m$ olmak üzere, kapasite matrisi

$$C_{m,i} = \frac{1}{4} V_m \rho(T) c(T) \quad (75)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Buna göre düğüm noktasına ilişkin ısı kapasite; M i noktasma bitişik olan eleman sayısını göstermek üzere,

$$C_i = \sum_{m=1}^M C_{m,i} \quad (76)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Sistemin diyagonal olan \underline{C} matrisi ise her düğüm noktası için gerçekleştirilen bu işlemlerle elde edilmektedir.

1.9.2.2.3. Isı Taşınımı ve Isı Işınımı Sınır Koşulları

Matris eşitliklerinde ısı akış vektörü olan $\{Q\}$ vektörü, hem ısı taşınımı hem de ısı ışınımı mekanizmasının bir fonksiyonu olarak düşünülmektedir. Yangına etkisindeki elemanda sınır koşulları olarak genellikle eleman yüzeyleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, yüzeydeki bir düğüm noktası için ısı akışı (Q); A_d bir düğüm noktasının ısı etki

alanını, q birim alana düşen ısı miktarını, T_w yüzey sıcaklığını ve T_f ise yangın sıcaklığını göstermek üzere,

$$Q = A_d \cdot q(T_w, T_f) \quad (77)$$

olarak ifade edilmektedir.

Birim alana düşen ısı miktarı doğrusal ya da doğrusal olmayan ısı geçiş modellerine göre hesaplanmaktadır:

a) Doğrusal ısı geçişinde;

h_t ısı geçiş katsayısını göstermek, $T' = (T_f + T_w)/2$ olmak üzere, birim alana düşen ısı miktarı;

$$q = h_t (T_f - T_w) \quad (78)$$

olarak hesaplanmaktadır.

b) Doğrusal olmayan ısı geçişinde ise;

h ısı taşınımı katsayısını, N ısı taşınımı güç katsayısını, ϕ ısı ışımasını şekil katsayısını, σ stefan-boltzman sabitini, a yüzeyin soğurma katsayısını, ϵ_f yangın alevinin ışıma yayıcılığını, T_f yangın ortamının mutlak sıcaklığını, ϵ_s yüzeyin ışıma yayıcılığını ve T_w yangın etkisindeki yüzeyin mutlak sıcaklığını göstermek üzere, birim alana düşen ısı miktarı;

$$q = h (T_f - T_w)^N + \phi \cdot \sigma (a \epsilon_f T_f^4 - \epsilon_s T_w^4) \quad (79)$$

olarak hesaplanmaktadır.

1.9.2.2.4. Matris Eşitliklerinin Zaman İntegrasyonu

Daha önce verilen (62) bağıntısıyla matris eşitliğindeki, $\{T\}$ aranan sıcaklık vektörü, zamanın bir fonksiyonu olduğundan sıcaklık geçmişi $\{T(t)\}$ şeklinde de gösterilmektedir. Bu sıcaklık geçmişi, sıcaklık dağılımının sonlu bir serisini ($\{T(t_0)\}$, $\{T(t_1)\}$, $\{T(t_2)\}$,.....) göstermektedir. Herhangi bir t_i zamanındaki sıcaklık vektörünün türevi yaklaşık olarak; $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ olmak üzere

$$\{\dot{T}(t_i)\} = \{T(t_i) - T(t_{i-1})\} / \Delta t_i \quad (80)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Buna göre (62) bağıntısı

$$[C]\{\dot{T}(t_i)\} + [K]\{T(t_i)\} = \{Q(t_i)\} \quad (81)$$

şeklinde yazılabileceği gibi

$$\left[K + \frac{C}{\Delta t_i} \right] \{T(t_i)\} = \{Q(t_i)\} + \frac{[C]}{\Delta t_i} \{T(t_{i-1})\} \quad (82)$$

olarak da yazılabilmektedir.

Bu son bağıntı matris eşitliği, $[K]^*$ efektif iletkenlik matrisini ve $\{Q(t_i)\}^*$ efektif ısı akış vektörünü göstermek üzere

$$[K]^* \{T(t_i)\} = \{Q(t_i)\}^* \quad (83)$$

şeklini almaktadır [23,24].

Bu matris eşitliğinin çözümü aşağıda belirtilen yollardan biriyle yapılmaktadır:

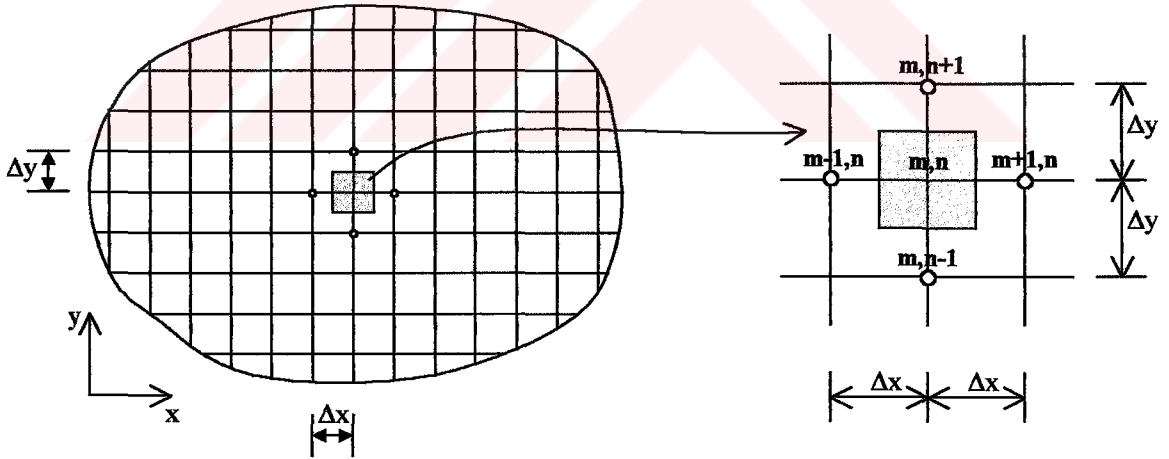
1. $T(t_{i-1})$ bir önceki zaman adımıdaki sıcaklık geçmişi dikkate alınarak,
2. Ardışık yaklaşım (iteratif) çözüm tekniği kullanılarak [23].

1.9.2.3. Sonlu Farklar Yöntemiyle Belirleme

Bu başlık altında kesitlerin sıcaklık dağılımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesi üzerinde durulmaktadır.

1.9.2.3.1. Diferensiyel Denklem

Sıcaklık dağılımının sonlu farklar yöntemiyle belirlenmesinde temel ilke, sürekli sıcaklık dağılımını gösteren bir diferensiyel denklemi, kesit içinde belirli noktalarda sıcaklık dağılımını sağlayan sonlu farklar denklemi olarak yazmaktan ibarettir. Örneğin, iki boyutlu bir sistemde bir kesitin sonlu farklar ağı dikkate alınsın (Şekil 28).



Şekil 28. İki boyutlu bir kesitin sonlu farklar ağı ve sistem koordinatları

Daha önce verilen (60) bağıntısındaki iç ısı üretim miktarı (Q_e), yüksek sıcaklıklarda betondaki bünye ve kapiler suyun buharlaşmasıyla meydana gelen enerji değişimini gösterdiğinden malzeme özellikleri ve ısı iletkenlik katsayısının içinde dikkate alınması durumunda anılan bağıntıda $Q_e=0$ yazılabilmektedir. Bu durumda (60) bağıntısı

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (84)$$

şeklini almaktadır.

Homojen izotrop sürekli ortamlarda λ ısı iletkenlik katsayısı sabit alınabildiğinden, bu durumda $\alpha = \lambda/\rho c$ olmak üzere (84) bağıntısını

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (85)$$

şeklinde yazmak mümkün olmaktadır.

Yukarıda Şekil 28'deki sistemin koordinatları (m,n) olan noktasında $\frac{\partial T}{\partial x}$ türevi ileri sonlu farklar cinsinden, 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

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\frac{m+1}{2}, n, r} \cong \frac{T_{m+1, n, r} - T_{m, n, r}}{\Delta x} \quad (86)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Bu türev geri sonlu farklar cinsinden ise

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\frac{m-1}{2}, n, r} \cong \frac{T_{m, n, r} - T_{m-1, n, r}}{\Delta x} \quad (87)$$

şeklini almaktadır.

Merkezi farklar cinsinden

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cong \frac{1}{\Delta x} \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\frac{m+1}{2}, n, r} - \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\frac{m-1}{2}, n, r} \right\} \quad (88)$$

olarak yazılabilir. Buna göre (86) ve (87) (88) bağıntısında yerine konulursa

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cong \frac{T_{m+1, n, r} - 2T_{m, n, r} + T_{m-1, n, r}}{(\Delta x)^2} \quad (89)$$

olarak elde edilmektedir.

Benzer işlemler y doğrultusunda yapılırsa

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \cong \frac{T_{m, n+1, r} - 2T_{m, n, r} + T_{m, n-1, r}}{(\Delta y)^2} \quad (90)$$

olmaktadır. İleri sonlu farklara göre sıcaklığın zamanla değişimi ise

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{m, n, r+1} - T_{m, n, r}}{\Delta t} \quad (91)$$

olarak ifade edilmektedir.

Buna göre $\Delta x = \Delta y$ alınır, (89), (90) ve (91) ifadeleri (84) bağıntısında yerine yazılırsa,

$$T_{m, n, r+1} = T_{m, n, r} \left(1 - \frac{4 \alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \right) + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{m+1, n, r} + T_{m-1, n, r} + T_{m, n+1, r} + T_{m, n-1, r}) \quad (92)$$

olarak elde edilmektedir.

Bu durumda (92) bağıntısındaki işlemler tekrarlanarak herhangi bir t zamanında kesitin arzulan noktalarındaki sıcaklıklar hesaplanabilmektedir [8]. (92) bağıntısının çözümünün kararlı olabilmesi için $T_{m,n,r}$ 'nin katsayılarının pozitif olmasına karşılık gelen iki boyutlu sistemlerin kararlılık koşulunu gösteren

$$\frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{4} \quad (93)$$

ifadesinin sağlanması gerekmektedir.

Bu durumda $(\Delta x)^2 / (\alpha \Delta t) = 4$ olarak seçilirse (92) bağıntısı

$$T_{m,n,r+1} = \frac{1}{4} (T_{m+1,n,r} + T_{m-1,n,r} + T_{m,n+1,r} + T_{m,n-1,r}) \quad (94)$$

şeklini almaktadır.

Burada (92) bağıntısının Fourier ısı geçişi uygulaması yardımıyla elde edilen

$$\begin{aligned} & \lambda \Delta y d \left(\frac{T_{m-1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \Delta y d \left(\frac{T_{m+1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \Delta x d \left(\frac{T_{m,n+1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) \\ & + \lambda \Delta x d \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) = \rho c \Delta x \Delta y d \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \end{aligned} \quad (95)$$

bağıntısında $\Delta x = \Delta y$ ve $d=1$ yazılarak da aynen elde edilebileceğini belirtmek uygun olmaktadır [6,8,9].

1.9.2.3.2. Sınır Koşulları

Sınır ya da sınıra yakın düğüm noktalarındaki sıcaklıkların hesaplanabilmesi için sınır koşullarının da sonlu farklar cinsinden ifadesi gerekmektedir. Isı geçişi kuralları bütün bu sistemlere uygulandığında elde edilen bağıntılar Tablo 9'da verilmektedir. Bu bağıntılardaki M ve N, h ısı taşınım katsayısını göstermek üzere

$$M = (\Delta x)^2 / \Delta t, \quad N = (h\Delta x) / \lambda \quad (96)$$

şeklinde ifade edilmekte ve $\Delta x = \Delta y$ olarak alınmaktadır [7].



Tablo 9. Değişken rejimde ısı geçişinde iki boyutlu sistemlerin düğüm noktalarındaki sıcaklıklar için sonlu farklar yöntemi bağıntıları [7].

	Sistem	Düğüm noktasındaki bağıntı	Koşul
İç Düğüm Noktası		$T_{m,n,r+1} = \left(\frac{1}{M}\right)(T_{m-1,n,r} + T_{m,n+1,r} + T_{m+1,n,r} + T_{m,n-1,r}) + \left[1 - \frac{4}{M}\right]T_{m,n,r}$	$M \geq 4$
Düzlemsel Yüzey		$T_{m,n,r+1} = \left(\frac{1}{M}\right)(2T_{m-1,n,r} + T_{m,n+1,r} + T_{m,n-1,r} + 2NT_{\infty}) + \left[1 - \frac{4}{M} - \frac{2N}{M}\right]T_{m,n,r}$	$\frac{2+N}{M} \leq \frac{1}{2}$
Dış Köşe		$T_{m,n,r+1} = \left(\frac{2}{M}\right)(T_{m-1,n,r} + T_{m,n-1,r} + 2NT_{\infty}) + \left[1 + \frac{4}{M} - \frac{4N}{M}\right]T_{m,n,r}$	$\frac{1+N}{M} \leq \frac{1}{4}$
İç Köşe		$T_{m,n,r+1} = \left(\frac{2}{3M}\right)(T_{m-1,n,r} + 2T_{m,n+1,r} + 2T_{m+1,n,r} + T_{m,n-1,r} + 2NT_{\infty}) + \left[1 - \frac{4}{M} - \frac{4N}{3M}\right]T_{m,n,r}$	$\frac{3+N}{M} \leq \frac{3}{4}$
Yalıtılmış Yüzey		$T_{m,n,r+1} = \left(\frac{1}{M}\right)(2T_{m-1,n,r} + T_{m,n+1,r} + T_{m,n-1,r}) + \left[1 + \frac{4}{M}\right]T_{m,n,r}$	$M \geq 4$

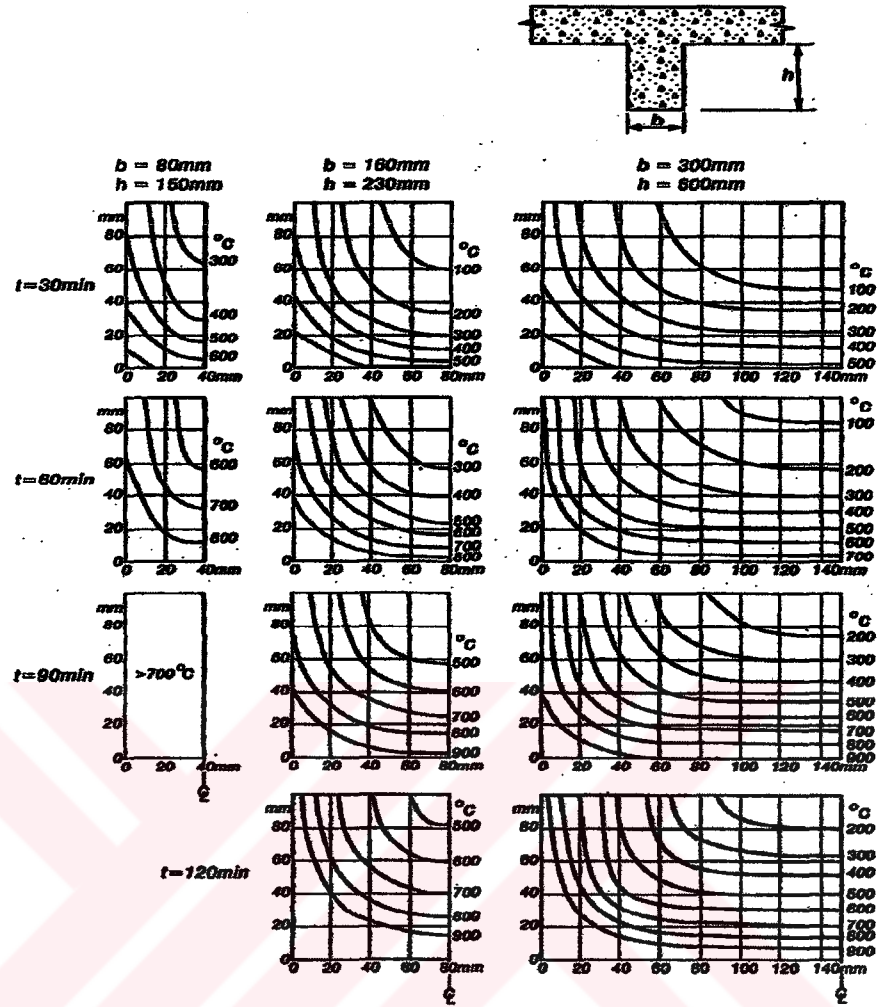
1.10. Betonarme Yapılarda Eurocode1-2'deki Yaklaşık Yöntemle Yangın Tasarımı

Yaklaşık (basitleştirilmiş) hesap yöntemi yangından doğan yüksek sıcaklıkların etkisinde kalmış bir kesitin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin, standart yangın etkisinde maksimum gaz sıcaklığına kadar ısıtıldığı kabul edilen yapılara uygulanabileceği öngörülmektedir. Kesitlerde bu etkiden doğan sıcaklık dağılımları ilgili tablo ya da şekillerden alınabileceği gibi bu dağılımlar hesap yoluyla da belirlenebilmektedir. Herhangi bir yangın süresi için yapının dayanımı, bu sıcaklık dağılımlarına göre değiştirilen malzeme özellikleri dikkate alınmak suretiyle hesaplanabilmektedir.

1.10.1. Sıcaklık Dağılımları

Daha önce de belirtilmeye çalışıldığı gibi yangın etkisindeki betonarme bir yapıda sıcaklık dağılımları deneysel, analitik ya da sayısal yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Eurocode1-2'deki yaklaşık yöntemle gerçekleştirilecek hesaplarda kullanılmak üzere bazı betonarme kesitler için sıcaklık dağılımları Şekil 29'da verilmektedir.

Burada yaklaşık yöntemde diğer yöntemlerle belirlenen sıcaklık dağılımlarının da kullanılabilceğini belirtmek uygun olmaktadır.



Şekil 29. Silis agregalı beton kesitlerdeki sıcaklık dağılımları [2].

1.10.2. Azaltılmış Kesit

Yukarıda belirtilen yaklaşık yöntemde dikdörtgen bir kesitin basınç bölgesindeki eşsıcaklıkların kenarlara paralel olduğu kabul edilmektedir. Kesitteki yangın hasarı, Şekil 30'da görüldüğü gibi, yangın etkisindeki yüzeylerde a_z kalınlığında bir bölgenin ihmal edilmesiyle ifade edilmektedir.

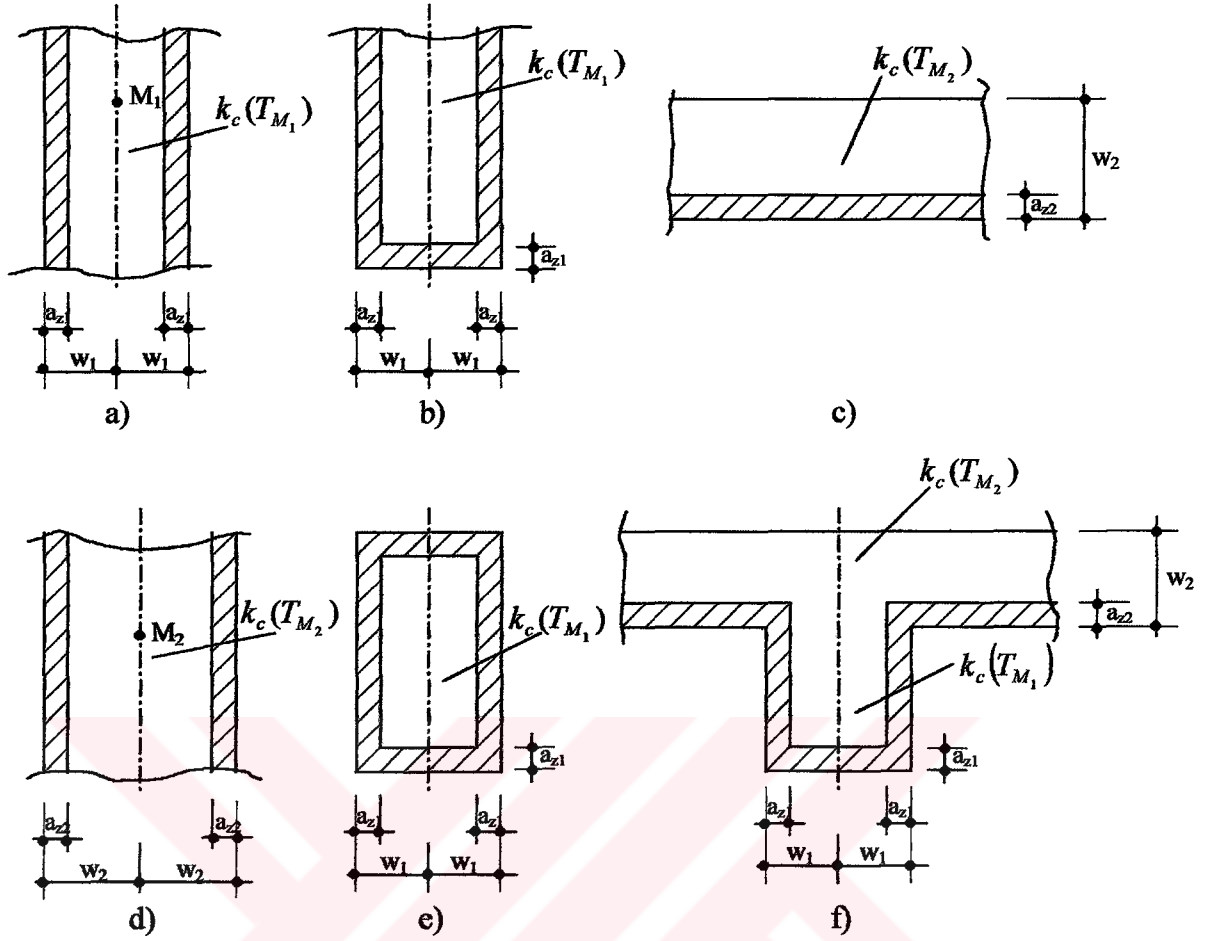
Buna göre Şekil 30.c'de döşeme kesiti ve Şekil 30.f'de tablalı kesitin kanatlarında olduğu gibi bir yüzünden yangın etkisindeki dikdörtgen kesit için sadece tek genişlik (w) kabul edilmektedir. İki tarafından yangın etkisindeki kesitlerde ise genişlik $2w$ olarak kabul edilmektedir (bkz Şekil 30.a,b,d,e ve Şekil 30.f'deki kiriş gövdesi). Bir elemanın

herhangi bir dikdörtgen parçasında a_z kalınlığının hesaplanabilmesi için $2w$ kalınlığı olan eşdeğer bir duvar düşünülmektedir. Örneğin, Şekil 30.c'deki döşeme, Şekil 30.d'deki eşdeğer duvarla ilişkilidir. Şekil 30.f'deki tablalı kesitin kanatları Şekil 30.d'deki eşdeğer duvarla ve gövdesi ise Şekil 30.a'daki eşdeğer duvarla ilişkilidir.

Yangın etkisindeki dikdörtgen elemanların alt kısımları için a_z değeri, genişliğin yükseklikten daha küçük olduğu durumlarda, diğer kenarlarda hesaplanan değerinin aynısının olacağı kabul edilmektedir. (Şekil 30.b,e ve f).

Azaltılmış beton kesitinin basınç dayanımı ve elastisite modülünün Şekil 30'daki M noktalarında hesaplanan değerlere eşit olduğu kabul edilmektedir. M noktası ise eşdeğer duvarın orta düzlemindeki herhangi bir noktaya karşılık gelmektedir.

Bu yöntemde hasar görmüş bölgenin a_z kalınlığı ve betonun azaltılmış bölgedeki özelliklerinin, kesitin her dikdörtgen kısmı için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Zira a_z , bir tablalı enkesitin kanatlarında ve gövdesinde farklı değerler alabilmektedir.



Şekil 30. Her iki yüzünden yangın etkisinde kalan eşdeğer duvarlar (duvar1 ve duvar2) yardımıyla dayanım ve kesit azaltılması [1].

Her iki yüzünden yangın etkisinde bulunan bir elemanda azaltmış beton basınç dayanımı; $k_c(T_M)$, M noktasındaki sıcaklığa bağlı olan azaltma katsayısını ve $f_{ck}(20^\circ C)$ normal sıcaklıktaki betonun karakteristik basınç dayanımını göstermek üzere;

$$f_{ck}(T_M) = k_c(T_M) f_{ck}(20^\circ C) \quad (97)$$

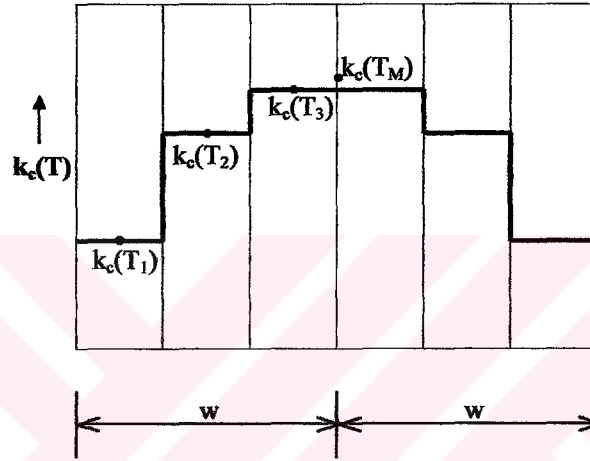
bağıntısıyla, bu noktadaki azaltılmış karakteristik elastisite modülü, $E_{ck}(20^\circ C)$ normal sıcaklıktaki betonun karakteristik elastisite modülünü göstermek üzere

$$E_{ck}(T_M) = (k_c(T_M))^2 E_{ck}(20^\circ C) \quad (98)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Buna göre a_z kalınlığı her iki yüzden yangın etkisindeki eşdeğer bir duvar yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilir:

- Duvarın yarı kalınlığı (w), n tane paralel eşit kalınlıktaki bölgelere ayrılır. $n \geq 3$ olmalıdır (Şekil 31).
- Her bölgenin orta noktasındaki sıcaklık değeri hesaplanır.
- Beton basınç dayanımı için uygun azaltma katsayısı ($k_c(T_i)$) belirlenir.



Şekil 31. Dayanım azaltması ve a_z değerlerinin hesabı için iki yüzünden yangın etkisindeki bir duvarın bölgelere ayrılması [1].

Durum böyle olunca azaltılmış beton dayanımı ve a_z kalınlığı standart bir yangın için aşağıdaki işlemler yardımıyla hesaplanmaktadır:

Her bir bölgedeki (bkz Şekil 31) azaltma katsayısı yardımıyla M noktasındaki ortalama azaltma katsayısı

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(T_i) \quad (99)$$

bağıntısıyla belirlenmesinden sonra kiriş, döşeme gibi elemanlarda azaltma

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(T_M)} \right] \quad (100)$$

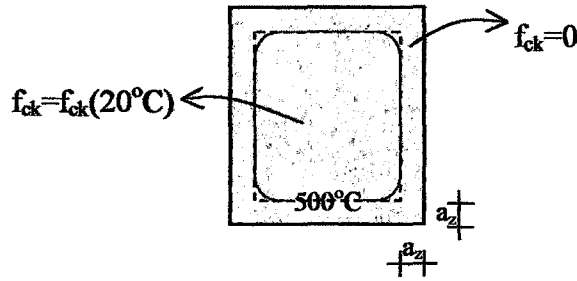
bağıntısıyla, ikinci merteye etkilerine maruz kolon, duvar ve diğer elemanlarda ise

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(T_M)} \right)^{1,3} \right] \quad (101)$$

hesaplanmaktadır.

Bu yöntemde donatı, azaltılmış kesitin dışında kalsa bile her donatı çubuğunun sıcaklığına göre azaltılmış akma dayanımı ve elastisite modülünün kullanılması gerekmektedir [1].

Burada azaltılmış kesitin hesabında yukarıda açıklanmaya çalışılan yöntemin dışında 500°C yöntemi adı verilen bir başka yöntemin de kullanıldığını belirtmek uygun olmaktadır [105]. Bu yöntemde betonun basınç dayanımının, sıcaklığı 500°C'nin üzerinde olan bölgelerde sıfır olduğu, sıcaklığı 500°C'nin altındaki bölgelerde normal sıcaklıktaki dayanıma eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu yöntemle göre dört yüzünden yangın etkisindeki bir betonarme kolonun azaltılmış kesiti Şekil 32'de görülmektedir.



Şekil 32. Dört yüzünden yangın etkisindeki betonarme bir kolon kesitinde 500°C yöntemine göre kesit azaltması

1.11. Betonarmede Yangın Konusunda Daha Önce Yapılan Bazı Çalışmalar

Teknik literatürde, yangından doğan yüksek sıcaklıkların etkisinde kalmış olan betonun ısı özelliklerine [26], basınç dayanımına [27,28], fiziksel özelliklerine [29] ve sünme özelliklerine [30] ilişkin bir takım çalışmalar mevcuttur.

Uddin ve Culver [31], yüksek sıcaklıkların betonarme ve çelik yapı elemanlarının davranışları ve dayanımları üzerindeki etkileri hakkında gerçekleştirmiş oldukları bir sentez çalışması ışığında bazı sonuçlara varmışlardır.

Nizamuddin ve Bresler [32], geliştirdikleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan FIRES-T3 ve FIRES-SL bilgisayar programlarıyla yangın etkisindeki betonarme döşemelerin yapısal davranışlarını incelemiş ve elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırarak geliştirdikleri kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Becker ve Bresler [33], geliştirdikleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan FIRES-T ve FIRES-RC bilgisayar programlarıyla ısı ve yapısal analizi birlikte dikkate alarak yangın etkisindeki betonarme çerçevelerin yangın başarımlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu programların betonarme çerçevelerin yangına göre tasarımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

El-Hawary, Ragab ve diğerleri [34], yangının betonarme kirişlerin kesme dayanımına etkisini deneysel olarak incelemişler ve bu kirişlerin kesme dayanımını yangın süresi ve beton örtü kalınlıklarının (paspayının) etkilemiş olduğu sonucuna varmışlardır.

Ellingwood ve Shaver [35], basit mesnetli betonarme bir kirişin standart yangın etkisindeki davranışını analitik olarak inceleyerek sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve davranışı etkileyen en önemli faktörlerin donatı sıcaklığı ve bu sıcaklıkla değişen özelliklerinin olduğu sonucuna varmışlardır.

Lin, Zwiars ve diğerleri [36], merkezi ya da dışmerkez olarak yüklenen betonarme kolonların yangın başarımlarının belirlenebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmişler ve kolon enkesininin bir doğrultuda büyütülmesi ya da silis agregalı

beton yerine kalker agregalı beton kullanılmasının yangın başarımını arttırdığını göstermişlerdir.

Ellingwood ve Lin [37], farklı yangınların etkisinde kalan betonarme kirişlerin davranışlarını deneysel olarak belirlemeye çalışmışlar ve eğilmeye çalışan betonarme bir elemanın yangın etkisi altındaki davranışını, daha çok donatıdaki sıcaklık değişimlerinin etkilediği kısmına varmışlardır.

Dotreppe, Franssen ve diğerleri [38], betonarme kolonlarının yangın koşullarındaki davranışlarını etkileyen temel parametreleri belirlemek amacıyla yaptıkları deneysel çalışmalarla bu davranışa yükün, kesit boyutlarının, kolon yüksekliğinin, donatı özelliklerinin, paspayının, dışmerkezliliğin etkilerini araştırarak bir takım bulgular elde etmişler ve bunları ıerdeleyerek bir takım yargılara varmışlardır.

Lie ve Irwin [39], dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yangın başarımlarının belirlenmesi için matematiksel bir yöntem geliştirmiş bu yöntemle elde ettikleri sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Seçilen Bir Modelin Sıcaklık-Zaman Eğrileri, Kesitlerindeki Sıcaklık Dağılımları ve Betonarme Elemanlarının Yangında Taşıma Güçleri

Bu çalışmanın temel amacı, daha önce de belirtildiği gibi, yangın ve yangın güvenliği, yangın şiddeti ve başarımı, betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi ve betonarme yapıların yangına göre tasarımı konusunda çeşitli kaynaklardan yararlanarak hazırlanan bir sentez çalışması ışığında, seçilen bir model üzerinde gerçek sıcaklık-zaman eğrisinin elde edilebilirliğini, betonarme kesitlerdeki çeşitli yöntemlerle belirlenen sıcaklık dağılımlarını ve bazı betonarme yapı elemanlarının kesitlerinin yangın koşullarındaki taşıma güçlerini araştırmaktır.

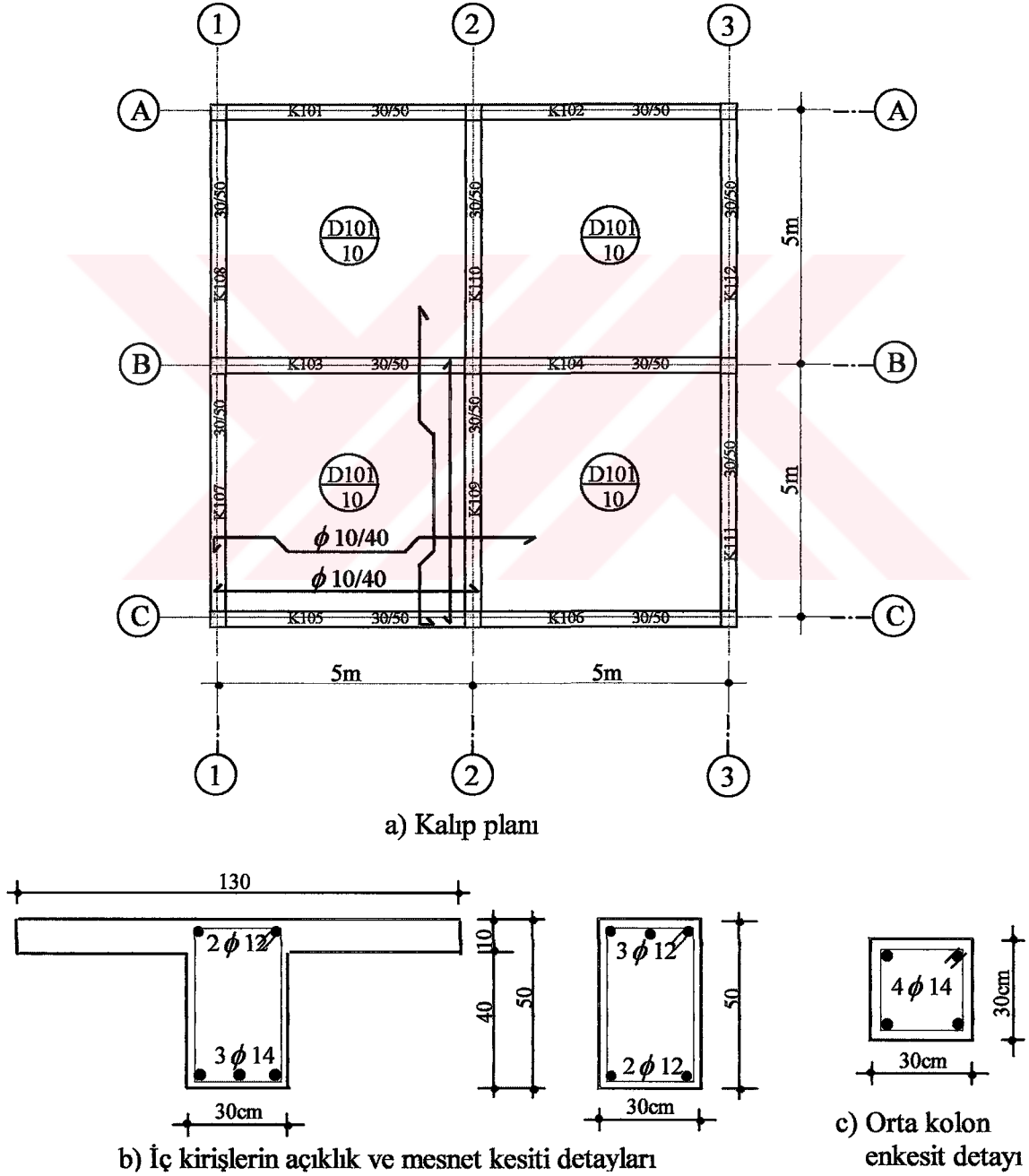
Bu çalışmada yangına maruz kalacak olan yapı modeli olarak kolon, kiriş ve döşemelerden oluşan tek katlı betonarme bir model kullanılmaktadır. Bu tür bir modelin kullanılmasının amacı, oda yangınına yansıtacak gerçek sıcaklık-zaman eğrisini elde etmek ve bu eğriyi standart sıcaklık-zaman eğrisiyle karşılaştırdıktan sonra döşeme, kiriş ve kolonlarının yangına göre tasarımını irdelemektir. Model yapı odasına ilişkin gerçek sıcaklık-zaman eğrisi, Eurocode Parametrik Yangını bağıntıları kullanılarak, geliştirilen bilgisayar programıyla elde edilmektedir.

Seçilen yapı modelinin betonarme döşeme, kiriş ve kolon kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ise hem standart hem de gerçek sıcaklık-zaman eğrileri kullanılarak Wickström analitik yöntemi ve sonlu farklar yöntemine göre geliştirilen bilgisayar programlarıyla belirlenmektedir. Daha sonra yine geliştirilmiş olan bilgisayar programları yardımıyla, betonarme döşeme ve kirişlerin pozitif ve negatif direnme momentlerinin, yangın süresince, değişimini gösteren eğriler belirlenmekte ve dört yüzünden yangın etkisinde kalan kolonun karşılıklı etkileşim diyagramının sıcaklıkla değişimi verilmektedir.

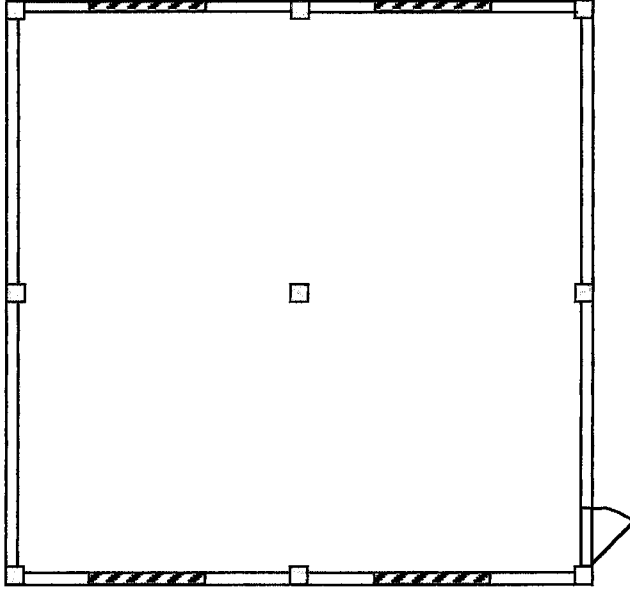
Burada bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programlarının MATLAB programlama diliyle yazıldığını belirtmek uygun olmaktadır [40].

2.1.1. Modelin Özellikleri

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada dikkate alınan yangın koşullarına maruz modelin tek katlı, yüksekliği 3m olan betonarme bir yapı olduğu kabul edilmektedir. Plandaki boyutları 10m x 10m olan model yapının, kiriş, kolon ve döşemelerinin kesit ve donatı planları ve mimari planı aşağıda verilmektedir (Şekil 33 ve Şekil 34).



Şekil 33. Model yapının kalıp planı, iç kirişlerin ve orta kolonun enkesit detayları



Model Yapı Odasının Özellikleri:

Boşluklar:

4 adet pencere (2m x 1,5m)

1 adet kapı (1m x 2,5m)

Yangın Yüğü:

$e_f=3000\text{MJ/m}^2$ (döşeme alanı)

Duvarlar betonla kaplıdır.

$\lambda=1,6\text{W/mK}$

$\rho=2300\text{kg/m}^3$

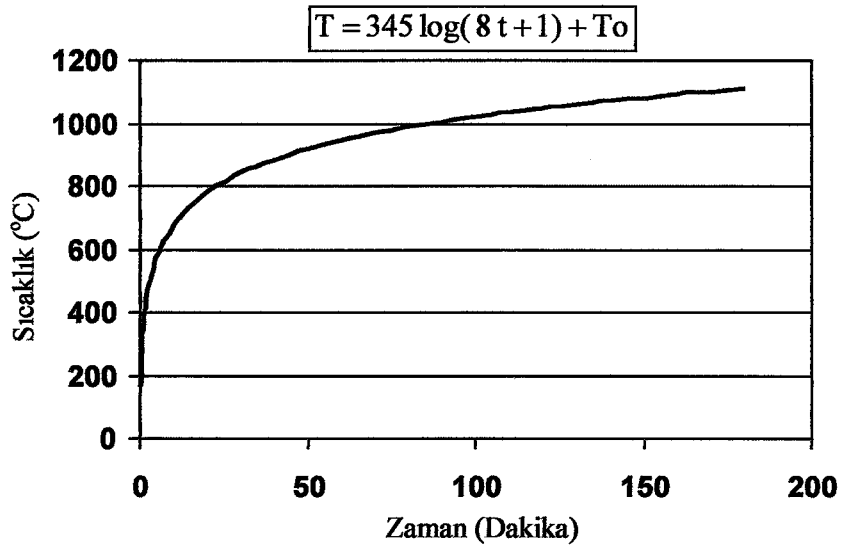
$c=980\text{J/kgK}$

Şekil 34. Model yapının mimari planı ve bazı özellikleri

2.1.2. Model İçindeki Sıcaklık Zaman Eğrileri

2.1.2.1. Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi

Bu çalışmada, standart sıcaklık-zaman eğrisi olarak Madde 1.5.2'de verilen ISO834 eğrisi kullanılmaktadır (Şekil 35).



Şekil 35. ISO 834 standart sıcaklık-zaman eğrisi

2.1.2.2. Gerçek Sıcaklık-Zaman Eğrisi

Verilen model odası koşul ve özelliklerine göre gerçek sıcaklık-zaman eğrisi, Madde 1.4.4.2'de açıklanan Eurocode Parametrik Yangını için önerilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Odanın ısıl kapasitesinin karekökü: } b = \sqrt{\lambda \rho c} = 1900 \frac{W s^{0,5}}{m^2 K}$$

$$\text{Odanın boyutları: } l_1 = 10m, l_2 = 10m, H_r = 3m$$

$$\text{Döşeme alanı: } A_f = l_1 l_2 = 10 \times 10 = 100m^2$$

Bağıntı (16.b)'ye göre;

$$\text{Ağırlıklı boşluk yüksekliği: } H_v = \frac{4 \times 2 \times 1,5 \times 1,5 + 1 \times 2,5 \times 2,5}{4 \times 2 \times 1,5 + 1 \times 2,5} = 1,67m$$

$$\text{Toplam boşluk genişliği: } B = 4 \times 1,5 + 1 = 7m$$

$$\text{Toplam boşluk alanı: } A_v = 4 \times 2 \times 1,5 + 1 \times 2,5 = 14,5m^2$$

$$\text{Odanın iç yüzey alanı: } A_t = 2 \times (10 \times 10 + 10 \times 3 + 10 \times 3) = 320m^2$$

Bağıntı (15)'e göre;

$$\text{Havalandırma Etmeni: } F_v = \frac{A_v \sqrt{H_v}}{A_t} = \frac{14,5 \sqrt{1,67}}{320} = 0,0586m^{0,5}$$

$$\text{Yangın Yüğü: } e_f = 3000MJ/m^2$$

$$\text{Toplam Yakıt Enerjisi: } E = e_f A_f = 3000 \times 100 = 300000MJ$$

Bağıntı (24)'e göre;

$$\text{Parametrik Yangın süresi: } t_d = \frac{0,00013 E}{A_v \sqrt{H_v}} = \frac{0,00013 \times 300000}{14,5 \sqrt{1,67}} = 2,08saat$$

Bağıntı (22)'ye göre;

$$\text{Hayali süre: } t^* = t_d \frac{(F_v / 0,04)^2}{(b / 1160)^2} = 2,08 \frac{(0,0586 / 0,04)^2}{(1900 / 1160)^2} = 1,66saat$$

Bağıntı (21)'e göre;

$$\begin{aligned} \text{Maksimum Sıcaklık: } T &= 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right) \\ &= 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2,1,66} - 0,204 e^{-1,7,1,66} - 0,472 e^{-19,1,66} \right) \\ &= 1002^\circ C \end{aligned}$$

$t_d=2,08$ saat olduğundan referans sönme hızı Şekil 8'den

$\left(\frac{dT}{dt} \right)_{ref} = 250^\circ C / saat$ olarak alınır. Bu durumda bağıntı 25'e göre sönme aşamasındaki sıcaklık düşüş hızı

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{dT}{dt} \right)_{ref} \frac{\sqrt{F_v / 0,04}}{\sqrt{b / 1160}} = 250 \cdot \frac{\sqrt{0,0586 / 0,04}}{\sqrt{1900 / 1160}} = 236^\circ C / saat$$

olarak elde edilmektedir. Bu durumda maksimum sıcaklığın $0^\circ C$ 'ye düşüş süresi

$$\frac{1002}{236} = 4,25 \text{ saat}$$

olarak hesaplanmaktadır. Durum böyle olunca toplam süre

$$t_t = 2,08 + 4,25 = 6,33 \text{ saat} = (6 \text{ saat } 20 \text{ dakika})$$

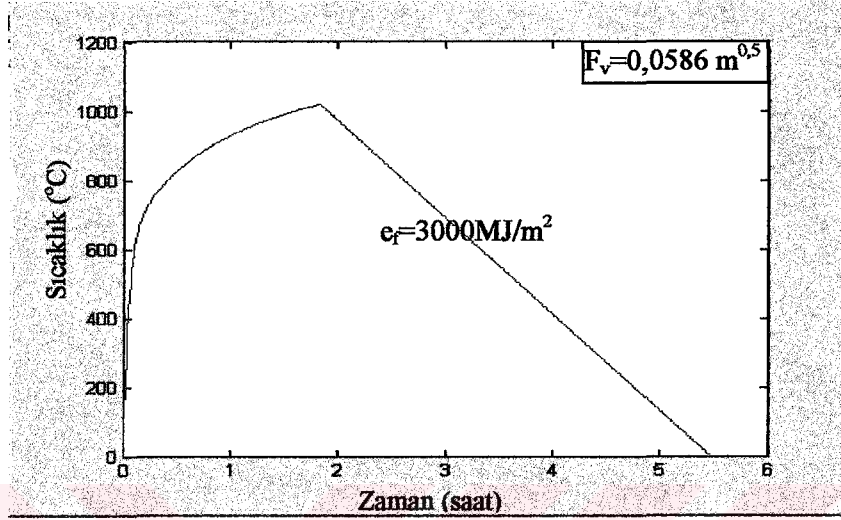
olarak hesaplanmaktadır. Buna göre gerçek sıcaklık-zaman eğrisine ilişkin bağıntılar

$$0 \leq t \leq t_d \quad T = 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2,0,8,t} - 0,204 e^{-1,7,0,8,t} - 0,472 e^{-19,0,8,t} \right) \quad (102.a)$$

$$t_d < t < t_t \quad T = T_{max} - (t - t_d) \frac{dT}{dt} \quad (102.b)$$

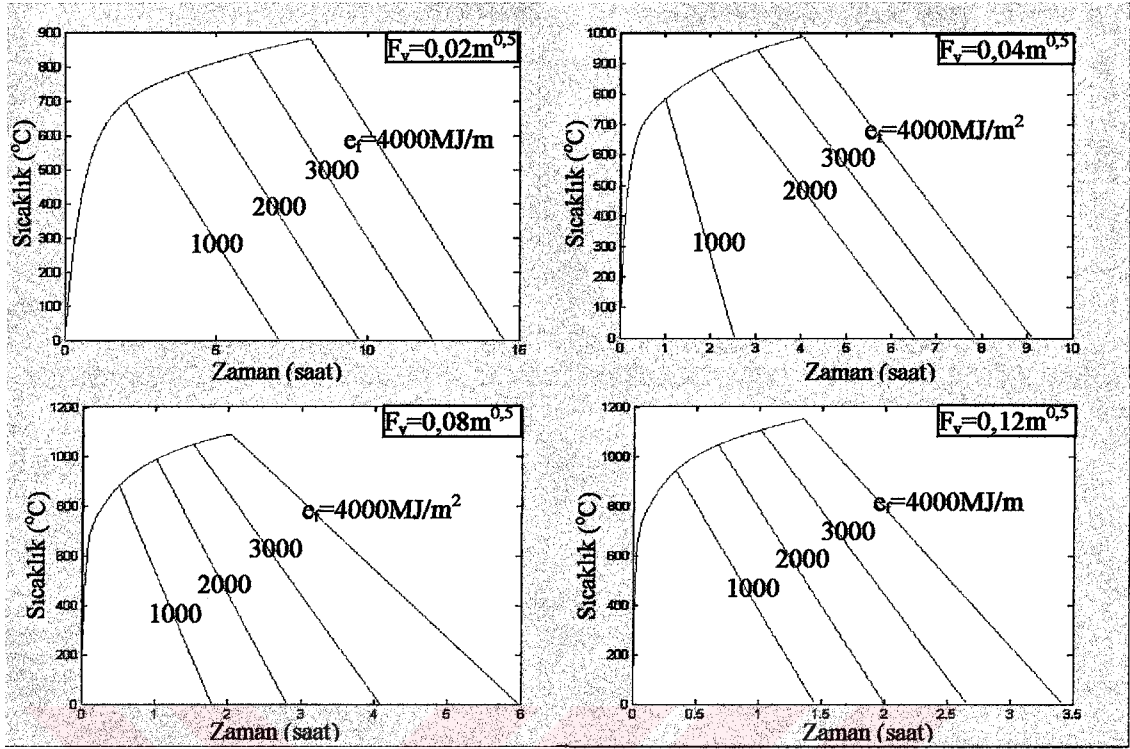
olarak elde edilmektedir.

Bu formülasyon yardımıyla geliştirilen ve listesi Ek 1’de verilen bilgisayar programıyla bu uygulamaya ilişkin verilere göre elde edilen gerçek sıcaklık-zaman eğrisi Şekil 36’da verilmektedir.



Şekil 36. Yangın yükünün 3000MJ/m^2 ve havalandırma etmeninin $0,0586\text{m}^{0,5}$ değerleri için gerçek sıcaklık-zaman eğrisi

Benzer şekilde çeşitli yangın yükü ve havalandırma etmeni için aynı bilgisayar programıyla elde edilen sıcaklık-zaman eğrileri Şekil 37’de verilmektedir.



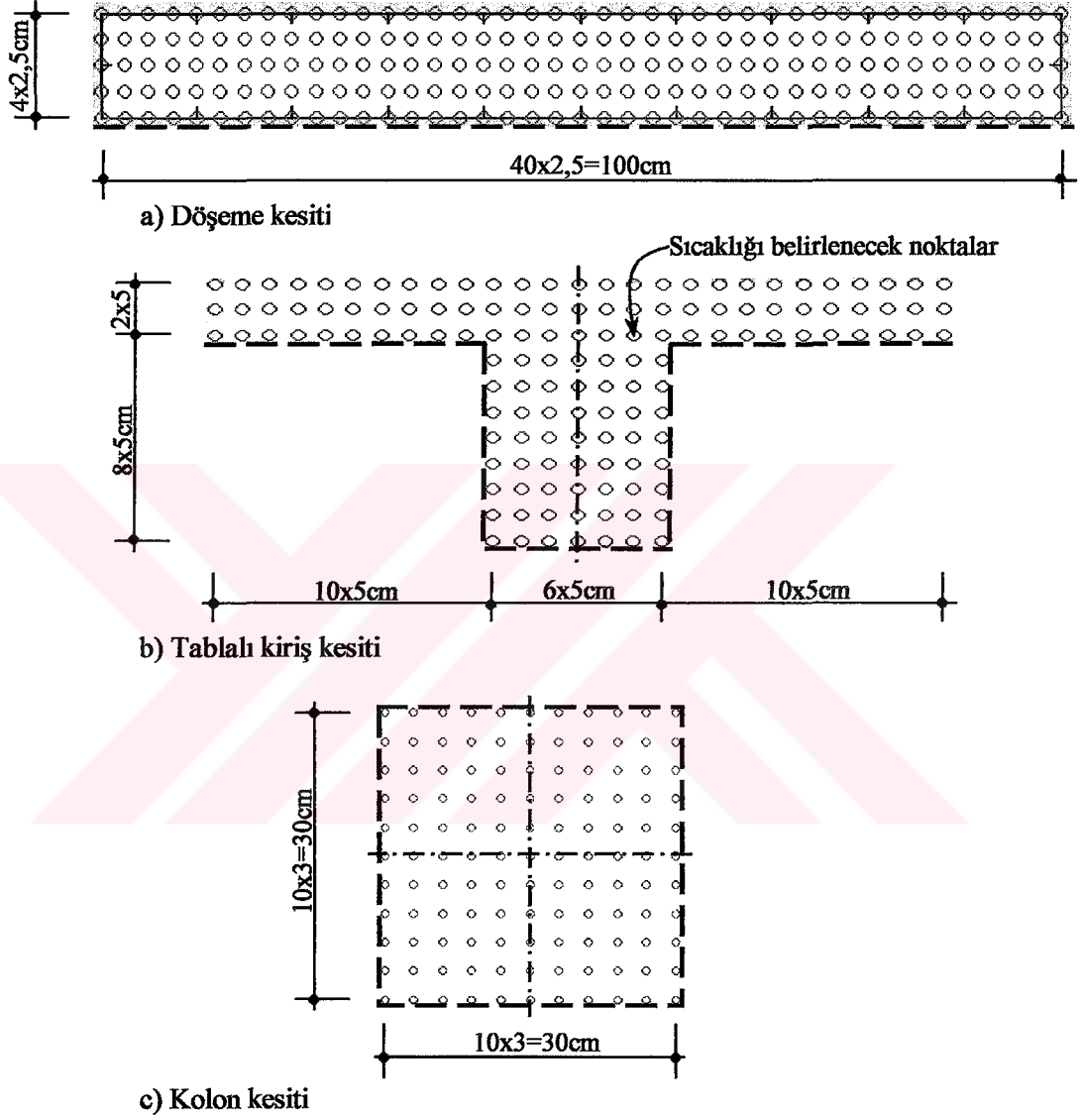
Şekil 37. Çeşitli yangın yükü ve havalandırma etmenlerine göre gerçek sıcaklık-zaman eğrileri

Bu şekilden görüldüğü gibi odada yangın yüklerinin artmasıyla yangın süresi artmakta ve havalandırma etmeninin (odadaki boşluk miktarının) artmasıyla yangın süresi azalmakta oysa belirli bir yangın yükünde ulaşılan maksimum sıcaklık artmaktadır.

2.1.3. Modelin Bazı Elemanlarının Kesitlerindeki Sıcaklık Dağılımlarının Belirlenmesi

Bu başlık altında model döşemesinin, simetrik tablalı kirişlerinin ve 2B aksı kolonunun kesitlerinin sıcaklık dağılımları belirlenmektedir. Bu sıcaklık dağılımları, Wickström analitik yöntemi ve sonlu farklar yöntemine göre geliştirilmiş listeleri Ekler bölümünde verilmiş olan bilgisayar programları yardımıyla standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrileri için elde edilmekte ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

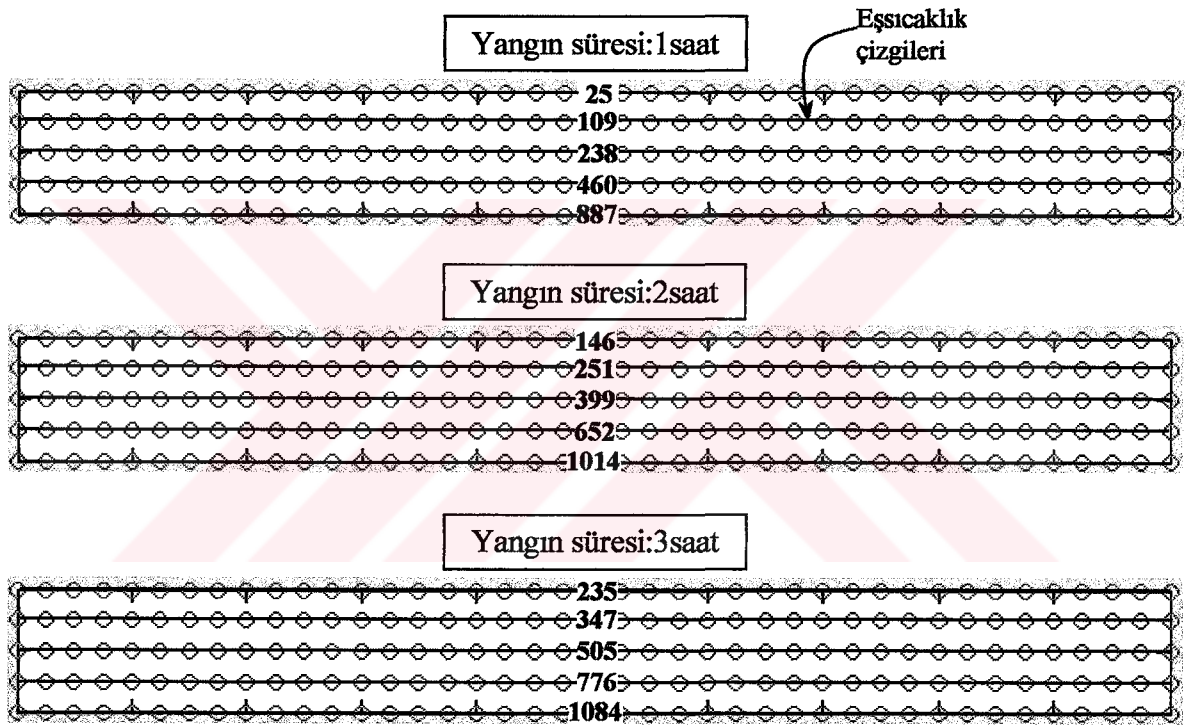
Sıcaklık dağılımları belirlenecek döşeme, kiriş ve kolon kesitleri Şekil 38'de verilmektedir. Bu şekildeki kalın, kesikli çizgiler kesitlerin yangın etkisinde kalan yüzlerini göstermektedir.



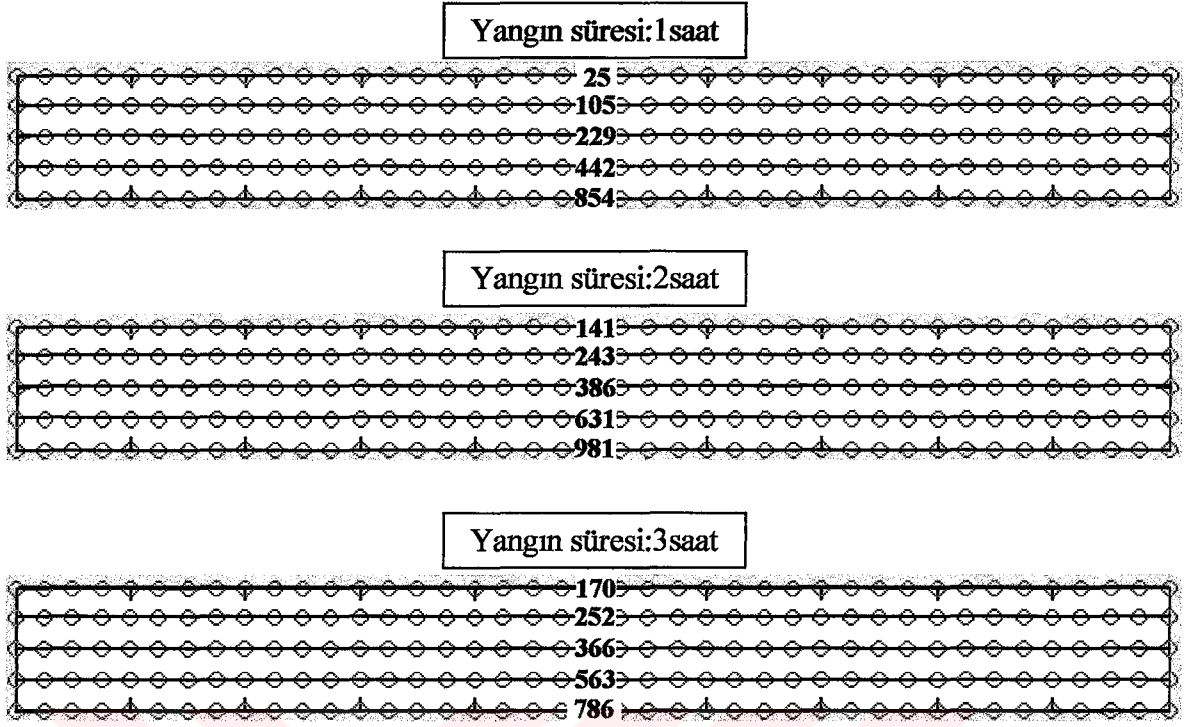
Şekil 38. Sıcaklık dağılımları belirlenecek döşeme, tablalı kiriş, kolon kesitleri ve sıcaklıkları belirlenecek noktalar

2.1.3.1. Wickström Yöntemine Göre Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları

Bu yöntemle göre geliştirilen ve program listesi Ek 2’de verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre döşeme kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 39 ve Şekil 40’da verilmektedir. Eşsıcaklık çizgileri üzerindeki rakamlar kesitin bu düzeyindeki °C cinsinden sıcaklıklarını göstermektedir.



Şekil 39. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)



Şekil 40. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$)

Aynı yönteme göre geliştirilen ve program listesi Ek 3’de verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre tablalı kiriş kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 41 ve Şekil 42’de verilmektedir. Bu şekillerde, simetriden dolayı, tablalı kesitin sadece yarısının sıcaklık dağılımları verilmektedir.

Yangın süresi:1 saat														*		
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	127	25	25		
887	887	887	887	887	887	887	887	887	887	887	887	238	25	25		
												887	238	25	25	
												887	238	25	25	
												887	238	25	25	
												887	238	25	25	
												887	238	25	25	
												887	251	33	25	
												887	417	251	238	
												887	887	887	887	

Yangın süresi:2saat														*	
146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	105	25	25		
399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	272	105	25		
1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	399	146	25		
											1014	399	146	25	
											1014	399	146	25	
											1014	399	146	25	
											1014	399	146	25	
											1014	399	146	25	
											1014	489	271	146	
											1014	646	489	399	
											1014	1014	1014	1014	

Yangın süresi:3saat														*	
235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	191	100	25		
505	505	505	505	505	505	505	505	505	505	505	370	191	56		
1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	505	235	77		
											1084	505	235	77	
											1084	505	235	77	
											1084	505	235	77	
											1084	505	235	77	
											1084	505	235	77	
											1084	547	295	148	
											1084	633	420	295	
											1084	781	633	547	
											1084	1084	1084	1084	

Şekil 41. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

Yangın süresi:1 saat													✱				
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	123	25	25	25	25	
854	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854	229	25	25	25	25	
												854	229	25	25	25	
												854	229	25	25	25	
												854	229	25	25	25	
												854	229	25	25	25	
												854	229	25	25	25	
												854	241	32	25	25	
												854	401	241	229	229	
												854	854	854	854	854	

Yangın süresi:2 saat													✱			
141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	102	25	25	25	25
386	386	386	386	386	386	386	386	386	386	386	386	263	102	25	25	25
981	981	981	981	981	981	981	981	981	981	981	981	386	141	25	25	25
												981	386	141	25	25
												981	386	141	25	25
												981	386	141	25	25
												981	386	141	25	25
												981	386	141	25	25
												981	473	263	141	141
												981	625	473	386	386
												981	981	981	981	981

Yangın süresi:3 saat													✱			
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	139	72	25	25	25
366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	268	139	41	41	41
786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	366	170	56	56	56
												786	366	170	56	56
												786	366	170	56	56
												786	366	170	56	56
												786	366	170	56	56
												786	397	214	107	107
												786	459	305	214	214
												786	566	459	397	397
												786	786	786	786	786

Şekil 42. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre tablalı giriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

Yine aynı yöntemle göre geliştirilen ve program listesi Ek 4'de verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre dört yüzünden yangın etkisindeki kolon kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 43 ve Şekil 44'de verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi her bir yangın süresi için kesitteki sıcaklık dağılımını iki eksene göre simetrik olduğundan, dört farklı yangın süresine ilişkin sıcaklık dağılımları aynı şekil üzerinde gösterilebilmektedir. Bu şekilde iki doğrultuda kesikli çizgilerle belirlenen bantlar içindeki sıcaklıklar, iki farklı sıcaklık için simetrik eksenin o noktalarındaki sıcaklıklarını göstermektedir.

1 saat						2 saat					
887	887	887	887	887	887	1014	1014	1014	1014	1014	1014
887	633	505	430	401	401	585	620	667	732	844	1014
887	505	326	221	180	180	332	386	458	559	732	1014
887	430	221	98	50	50	184	249	336	458	667	1014
887	401	180	50	25	25	79	152	249	386	620	1014
887	401	180	50	25	25	25	79	184	332	585	1014
1132	838	589	444	341	261	148	229	334	481	733	1084
1132	866	640	507	413	341	229	303	399	534	764	1084
1132	902	705	589	507	444	334	399	483	602	805	1084
1132	954	797	705	640	589	481	534	602	699	863	1084
1132	1042	954	902	866	838	733	764	805	863	962	1084
1132	1132	1132	1132	1132	1132	1084	1084	1084	1084	1084	1084
4 saat						3 saat					

Şekil 43. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

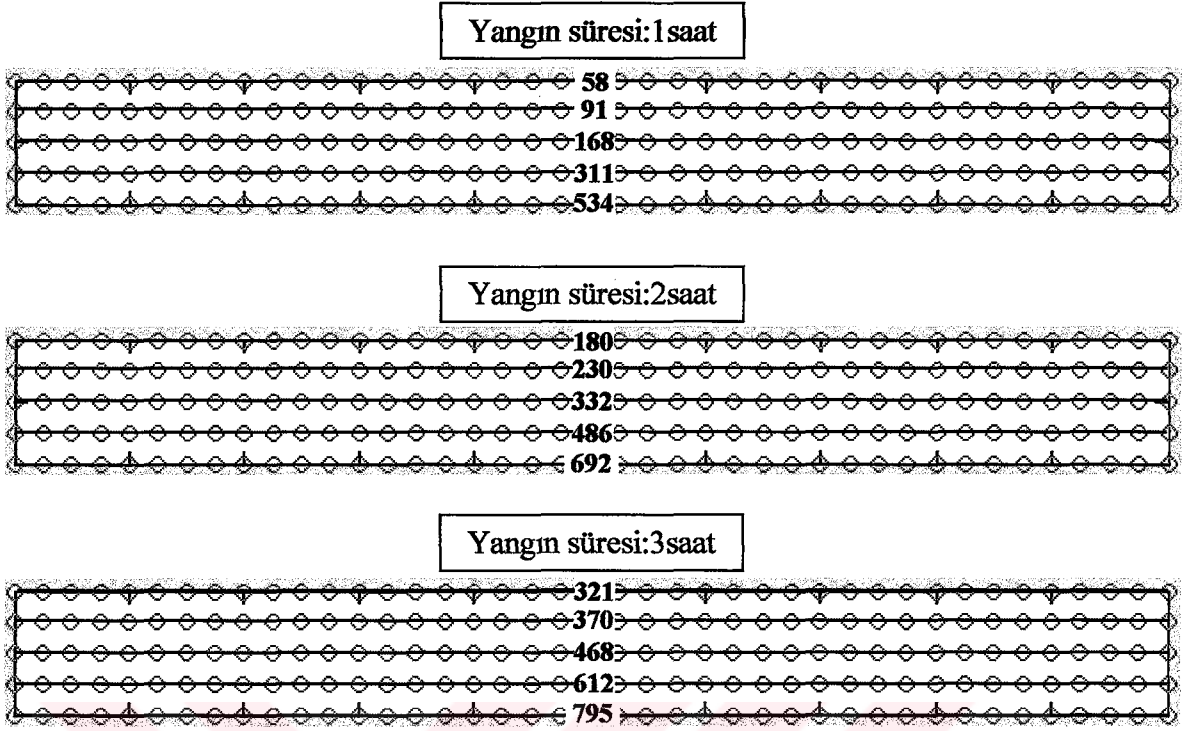
1 saat							2 saat				
854	854	854	854	854	854	981	981	981	981	981	981
854	609	486	414	386	386	566	600	645	709	817	981
854	486	314	213	173	173	322	374	443	541	709	981
854	414	213	95	49	49	178	241	325	443	645	981
854	386	173	49	25	25	77	147	241	374	600	981
854	386	173	49	25	25	25	77	178	322	566	981
559	413	291	219	168	129	107	166	242	349	531	786
559	427	316	250	204	168	166	220	289	387	554	786
559	445	348	291	250	219	242	289	351	437	584	786
559	471	393	348	316	291	349	387	437	507	626	786
559	514	471	445	427	413	531	554	584	626	698	786
559	559	559	559	559	559	786	786	786	786	786	786
4 saat						3 saat					

Şekil 44. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve Wickström yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

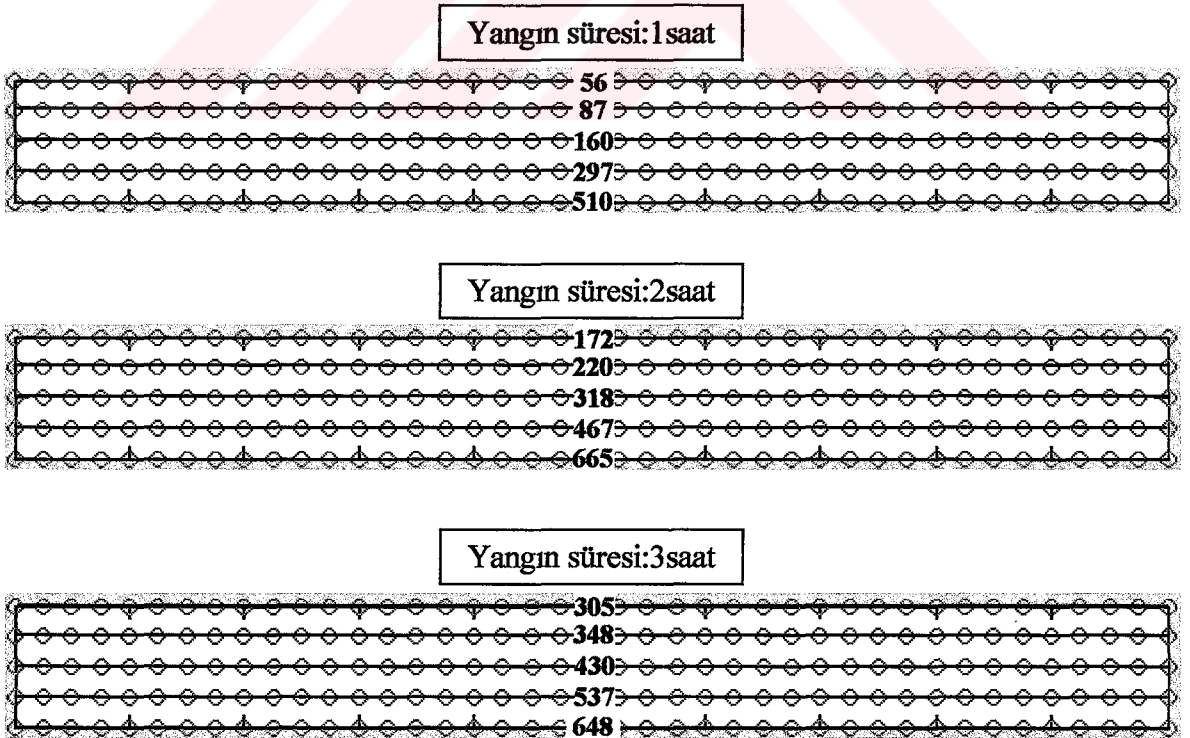
2.1.3.2. Sonlu Farklar Yöntemine Göre Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları

Bu başlık altında Şekil 38’de verilen kesitlerdeki sıcaklık dağılımları sonlu farklar yöntemine göre geliştirilmiş bilgisayar programlarıyla belirlenmektedir. Bu belirlemede ısı taşımın katsayısı $h=25\text{W/m}^2\text{K}$, betonun özkütlesi $\rho=2400\text{kg/m}^3$, ısı iletkenlik katsayısı $\lambda=1\text{W/mK}$ ve özgül ısı katsayısı $c=0,239\text{Wh/kgK}$ olarak alınmaktadır.

Bu yöntemle göre geliştirilen ve program listesi Ek 5’de verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre döşeme kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 45 ve Şekil 46’da verilmektedir.



Şekil 45. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$)



Şekil 46. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre döşeme kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları ($^{\circ}\text{C}$)

Aynı yöntemle göre geliştirilen ve program listesi Ek 6'da verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre tablalı kiriş kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 47 ve Şekil 48'de verilmektedir.

Yangın süresi:1saat														*	
27	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
159	158	157	156	156	156	156	156	156	151	119	59	33	28		
524	523	522	522	522	522	522	522	522	521	411	158	52	33		
										508	159	53	33		
										522	162	53	34		
										524	163	53	34		
										525	163	54	34		
										527	167	57	38		
										537	186	80	61		
										585	279	187	170		
										747	585	537	528		

Yangın süresi:2saat														*	
44	36	30	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
294	290	287	285	285	285	285	284	281	269	219	130	68	49		
683	682	680	680	679	679	679	679	678	674	564	307	131	82		
										667	309	131	83		
										685	314	133	83		
										689	317	135	85		
										691	322	140	90		
										699	337	160	111		
										723	388	224	179		
										786	520	391	356		
										917	787	725	708		

Yangın süresi:3saat														*	
57	45	36	31	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
380	371	364	359	356	355	355	354	350	334	283	191	115	88		
772	767	763	760	759	758	758	758	756	751	653	421	225	162		
										762	423	225	163		
										782	430	229	165		
										787	436	234	171		
										793	447	248	185		
										806	476	285	226		
										837	543	374	321		
										901	677	551	512		
										1008	902	842	824		

Şekil 47. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre tablalı kiriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

Yangın süresi:1saat													
32	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
153	151	150	149	149	149	149	149	149	144	114	57	32	27
501	499	499	499	498	498	498	498	498	497	393	150	51	33
										485	152	51	33
										499	156	51	33
										501	155	51	33
										501	156	52	33
										503	159	55	37
										512	177	76	59
										558	265	177	162
										713	558	513	505

Yangın süresi:2saat													
42	34	29	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
283	278	275	274	273	273	273	273	270	258	210	125	66	48
659	656	654	653	653	653	653	653	652	648	542	294	126	79
										642	296	126	79
										659	301	128	80
										662	304	130	82
										665	308	134	87
										672	323	153	107
										695	371	214	172
										756	498	375	341
										882	756	697	681

Yangın süresi:3saat													
47	41	35	30	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25
341	332	327	324	323	323	238	322	321	317	303	259	110	85
637	631	627	625	624	624	624	623	622	617	549	385	213	155
										630	387	214	156
										646	394	217	158
										651	400	222	163
										656	410	235	177
										669	437	271	215
										698	499	353	304
										750	614	507	471
										806	751	702	686

Şekil 48. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre tablalı giriş kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

Yine aynı yöntemle geliştirilen ve program listesi Ek 7'de verilen bilgisayar programıyla çeşitli yangın süreleri için standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre

dört yüzünden yangın etkisindeki kolon kesitinde belirlenen sıcaklık dağılımları Şekil 49 ve Şekil 50'de verilmektedir.

1 saat							2 saat				
757	641	578	549	538	536	707	713	733	771	832	919
641	453	349	301	283	279	475	485	519	583	686	832
578	349	220	161	139	134	309	323	367	450	583	771
549	301	161	97	74	68	204	220	270	367	519	733
538	283	139	74	49	43	148	165	220	323	485	713
536	279	134	68	43	37	131	148	204	309	475	707
913	744	610	513	455	436	280	301	363	470	624	824
920	755	624	530	474	455	301	321	381	486	636	830
939	787	668	582	530	513	363	381	437	533	671	851
970	841	740	668	624	610	470	486	533	614	733	887
1015	917	841	787	755	744	624	636	671	733	822	940
1072	1015	970	939	920	913	824	830	851	887	940	1009
4 saat							3 saat				

Şekil 49. Standart sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

1 saat						2 saat					
723	612	552	524	514	512	680	685	705	741	799	884
612	432	332	287	270	266	456	465	498	559	658	799
552	332	209	153	133	128	296	309	351	431	559	741
524	287	153	93	70	65	195	210	259	351	498	705
514	270	133	70	47	41	141	157	210	309	465	685
512	266	128	65	41	36	125	141	195	296	456	680
582	560	507	452	413	399	268	287	344	437	557	676
586	567	517	464	427	413	287	305	361	452	568	682
598	587	545	498	464	452	344	361	412	495	600	701
613	613	582	545	517	507	437	452	495	564	651	731
623	632	613	587	567	560	557	568	600	651	714	767
613	623	613	598	586	582	676	682	701	731	767	794
4 saat						3 saat					

Şekil 50. Gerçek sıcaklık-zaman eğrisi ve sonlu farklar yöntemine göre kolon kesitinde çeşitli yangın süreleri için sıcaklık dağılımları (°C)

Yukarıdaki şekillerde verilen sıcaklık dağılımı sonuçlarının karşılaştırmalı olarak incelenip değerlendirilmesinden, standart sıcaklık-zaman eğrisine göre belirlenen kesitlerdeki sıcaklık dağılımları yangın süresi arttıkça daima arttığı, gerçek sıcaklık-zaman eğrisine göre elde edilen sıcaklık dağılımları ise sönme aşamasında zamanla yavaşça azaldığı görülebilmektedir. Sönme aşamasında sonlu farklar yöntemine göre belirlenen sıcaklık dağılımları, Wickström yöntemiyle elde edilenlere göre çok daha yavaş olarak azalmaktadır. Özellikle kesitin bazı iç noktalarında sönme aşamasında da artmaya devam etmektedir. Betonarme yapıların yangın tasarımında bu özel durumun da dikkate alınmasının yararlı olacağı açıktır.

Diğer taraftan yangının sönme aşamasına kadar standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre belirlenen sıcaklık dağılımlarının pratik olarak birbirine eşit olduğu görülmektedir.

Burada kesitlerin yüzey noktalarında Wickström analitik yöntemiyle belirlenen sıcaklıkların yangın süresine göre değiştiğini ancak noktadan noktaya değişmediğini, sonlu farklar yöntemiyle belirlenenlerin ise yangın süresine göre değiştiği gibi noktadan noktaya da değiştiğini dolayısıyla da sonlu farklar yöntemiyle elde edilen bulguların daha gerçekçi olduğunu belirtmek uygun olmaktadır.

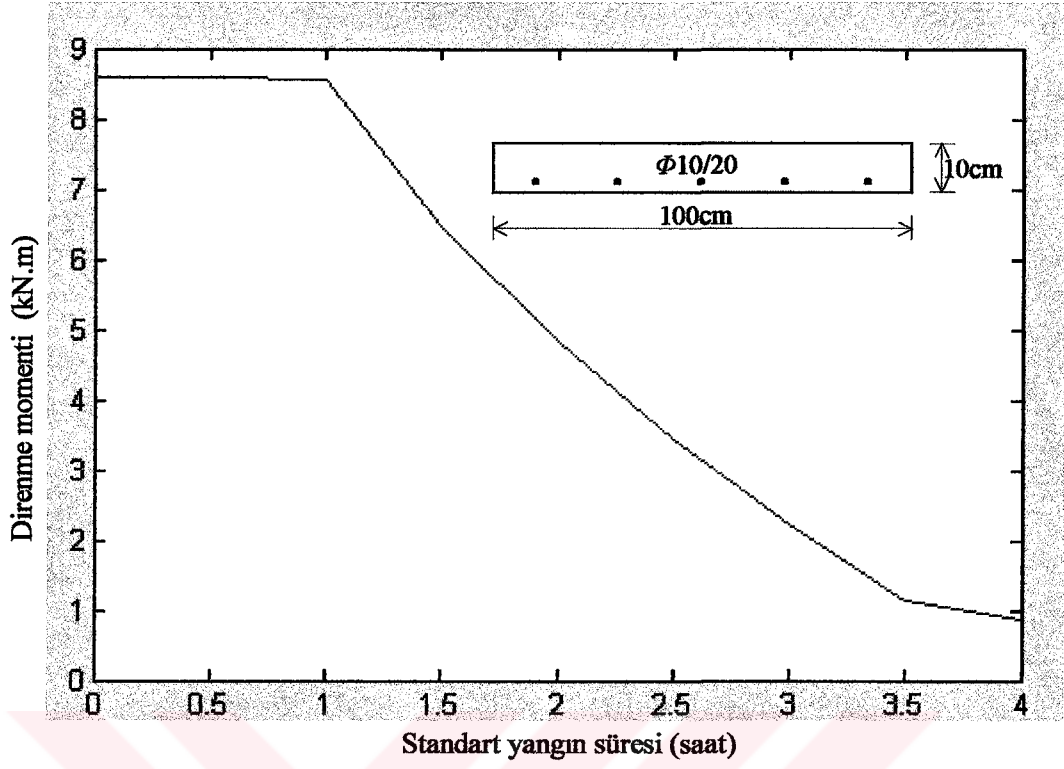
2.1.4. Modelin Bazı Elemanlarının Yangın Koşullarındaki Kesit Etkisi Taşıma Güçlerinin Belirlenmesi

Bu başlık altında Madde 2.1.1’de verilen model yapının döşeme, kiriş ve kolon kesitlerinin yangın koşullarındaki kesit etkisi taşıma güçleri, her bir eleman için gerçekleştirilen ve Ekler bölümünde listeleri verilmiş olan bilgisayar programları yardımıyla belirlenmektedir. Bu belirlemelerde malzemenin C25 ve S420, kesitlerdeki donatı sıcaklıklarının buldukları koordinatlardaki beton sıcaklıklarına eşit ve kesitlerin tümünde paspayının 3cm olduğu kabul edilmektedir.

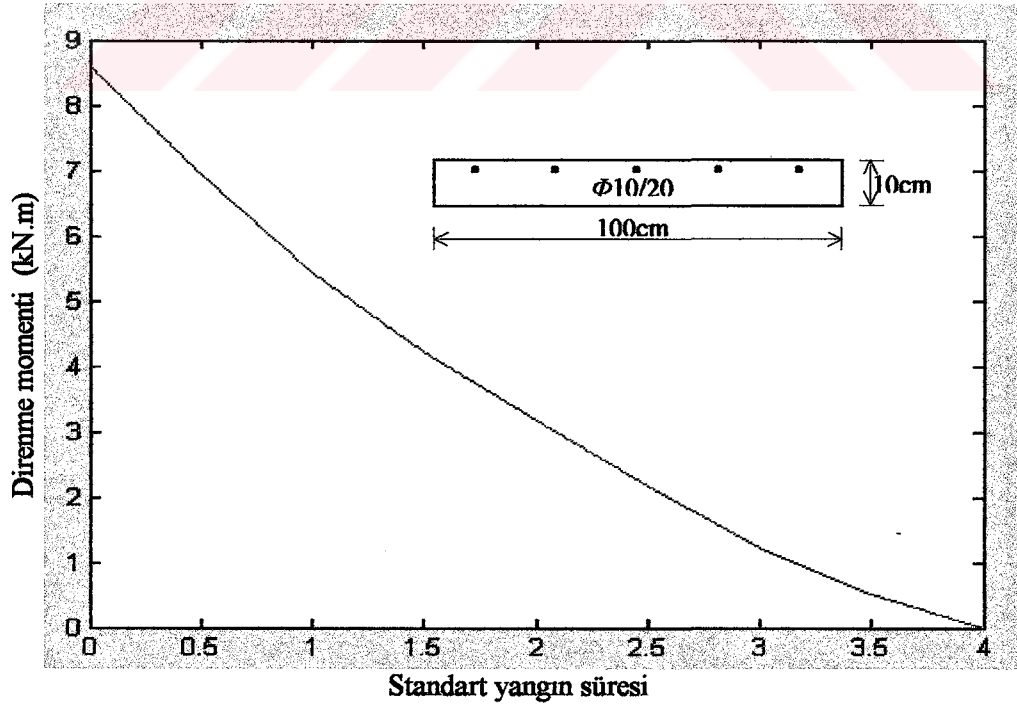
Bu verilere göre betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımları, kesit etkisi taşıma güçlerinin belirlenmesi için geliştirilen bilgisayar programlarına ilave edilmiş olan standart sıcaklık-zaman eğrisine göre Wickström yöntemiyle belirlenmekte, bu sıcaklıklara karşılık gelen donatı akma dayanımlarının Madde 1.8.2.5’de verilen eğriyi sağladığı, betonda ise dayanım azalması yerine kesitin küçüldüğü kabul edilmekte ve bu küçültmede daha önce Madde 1.10.2’de açıklanan 500°C yöntemi kullanılmaktadır.

2.1.4.1. Model Döşemesinin Açıklık ve Mesnet Kesitlerinin Direnme Momentleri

Model döşemesinin açıklık ve mesnet kesitlerindeki direnme momentlerinin, Ek 8 ve Ek 9’da listeleri verilen bilgisayar programlarıyla belirlenen yangın süresiyle değişimleri, Şekil 51 ve Şekil 52’de verilmektedir.



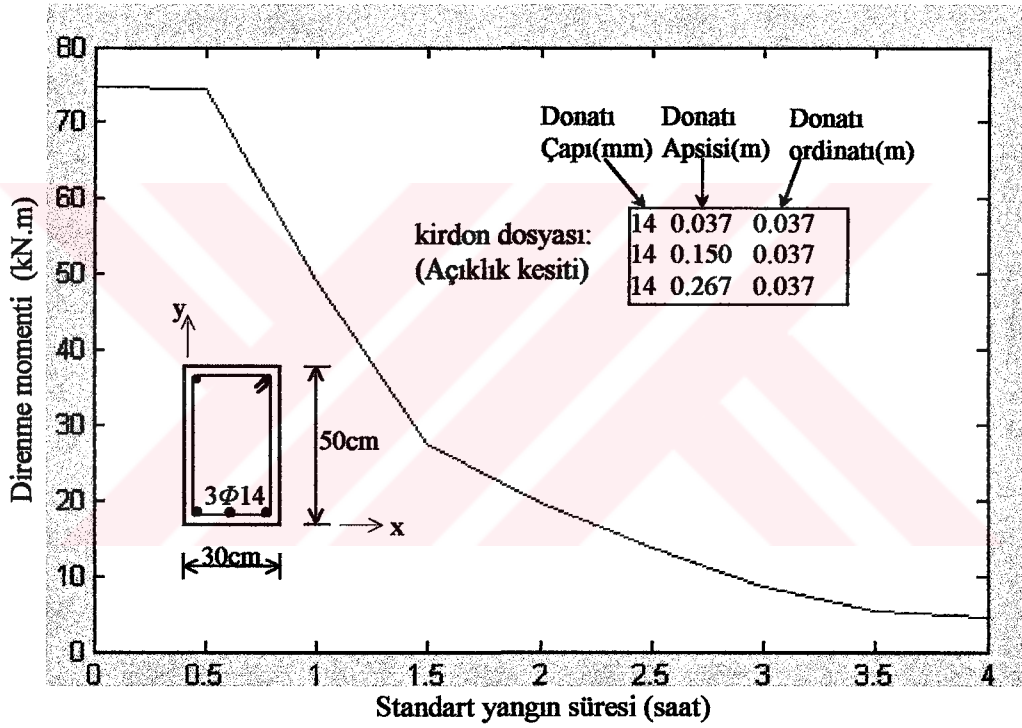
Şekil 51. Model döşemesinin açıklık kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi



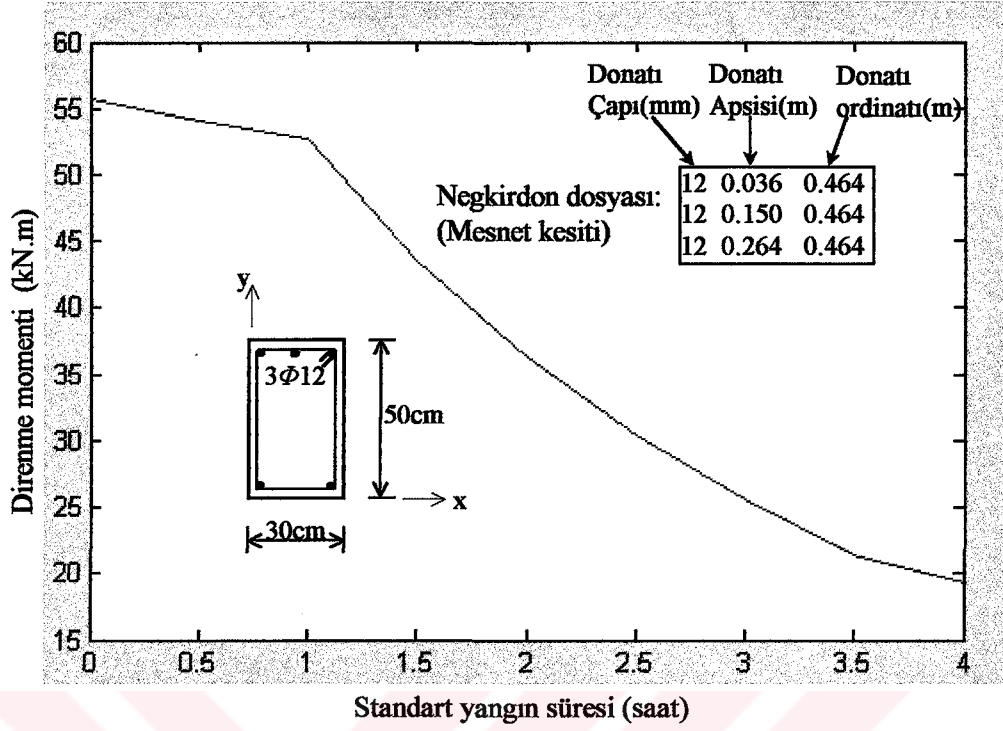
Şekil 52. Model döşemesinin mesnet kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi

2.1.4.2. Modelin 2-2 Aksı Kirişinin Açıklık ve Mesnet Kesitlerinin Direnme Momentleri

Modelin 2-2 aksı kirişinin dikdörtgen olarak dikkate alınan açıklık ve mesnet kesitleri direnme momentlerinin, Ek 10 ve Ek 11’de listeleri verilen bilgisayar programıyla belirlenen, yangın süresiyle değişimleri Şekil 53 ve Şekil 54’de verilmektedir. Bu programlarda kullanılan, donatıların çap ve koordinatlarını veren, *kirdon* ve *negkirdon* olarak adlandırılan, matris dosyaları şekiller üzerinde görülmektedir.



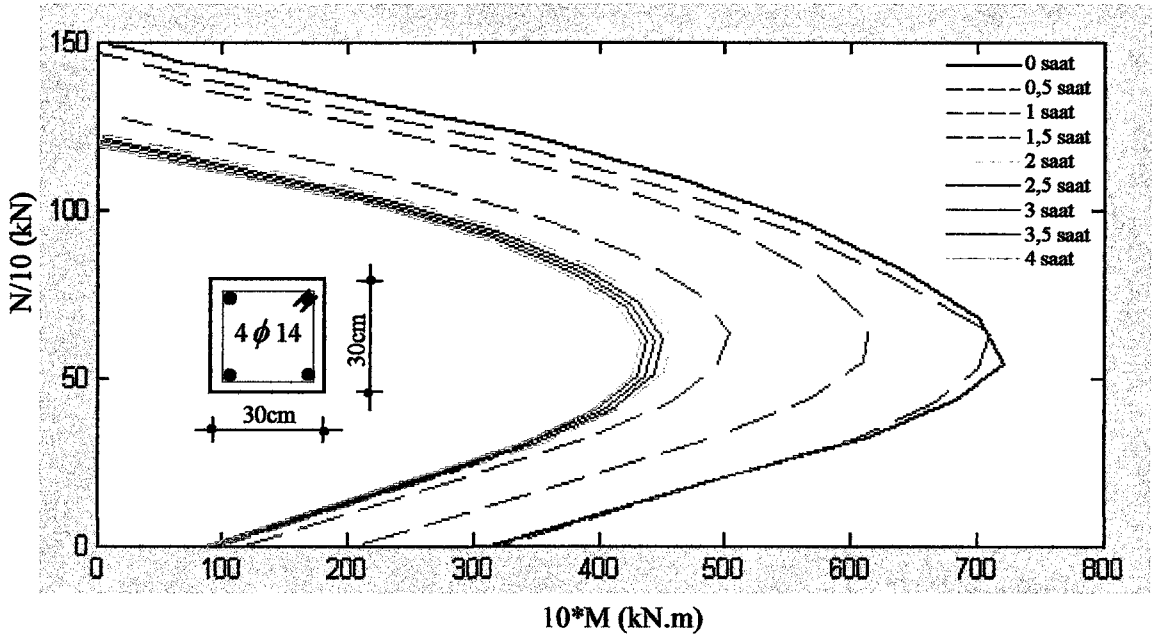
Şekil 53. Modelin 2-2 aksı kirişi açıklık kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi



Şekil 54. Modelin 2-2 aksı Kirişi mesnet kesitinin direnme momentinin standart yangın süresiyle değişimi

2.1.4.3. Modelin 2B Kolonunun Yangın Koşullarında Moment-Normal Kuvvet Karşılıklı Etkileşim Diyagramı

Daha önce de belirtmeye çalışıldığı gibi yangın durumunda modelin 2B kolonu (bkz Şekil 33) dört yüzünden yangın etkisinde kalmaktadır. Buna göre standart yangın süreleri için geliştirilen ve listesi Ek 12'de verilmiş olan bilgisayar programıyla elde edilen Moment- Normal kuvvet karşılıklı etkileşim diyagramı Şekil 55'de verilmektedir.



Şekil 55. Modelin 2B kolonu kesitinin standart yangın süresine göre karşılıklı etkileşim diyagramları

Yangın koşullarında döşeme açıklık kesitinin direnme momenti değişimini, donatı sıcaklığı dolayısıyla da bu sıcaklıktaki akma dayanımının etkilediği anlaşılmaktadır (bkz Şekil 51). Bu eğrinin donatının akma dayanımının sıcaklıkla değişimini gösteren eğriye benzemesi (bkz Şekil 26) bu düşüncüyü doğrulamaktadır. Zira direnme momenti-standart yangın süresi eğrisindeki ani değişim ancak, donatının o standart yangın süresindeki sıcaklıkta akma dayanımında ani bir değişimin oluşmasıyla açıklanabilmektedir. Döşeme mesnet kesiti direnme momenti-standart yangın süresi eğrisinde (bkz Şekil 52) ani değişimlerin olmaması, asal çekme donatılarının üstte olması ve bunlardaki sıcaklıkların açıklık donatılarından daha küçük olmasından ileri gelmektedir.

Kiriş açıklık kesiti direnme momentinin standart yangın süresiyle değişim eğrisi (bkz Şekil 53) döşeme açıklık kesitindeki eğriye benzemekle birlikte, kiriş mesnet kesitine ilişkin direnme momenti-standart yangın süresi eğrisindeki ani değişim (bkz Şekil 54), bu benzerliğin mesnet kesitlerindeki direnme momenti değişimlerinde olduğunu belirtmeye imkan vermemektedir. Bu durum donatıların konumu, kiriş kesit boyutları ve kirişin üç yüzünden yangın etkisinde olmasıyla açıklanabilmektedir.

Dikkat çeken diğerk bir bulgu da, dört yüzünden standart yangın etkisinde kalmış olan betonarme kolonun karşılıklı etkileşim diyagramını oluşturan eğrilerin sınırladığı alanların standart yangın süresi arttıkça azalmasıdır(bkz Şekil 55). Bu durum da yangından doğan yüksek sıcaklıklarda donatı ve beton dayanımlarının düşüşüne atfedilebilmektedir.



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, yapılarda yangın ve yangın güvenliği, yangın şiddeti ve başarımı, betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi ve bu yapıların yangına göre tasarımı konusunda teknik literatürden yararlanarak hazırlanan bir sentez çalışması ışığında, seçilen bir model üzerinde gerçek sıcaklık-zaman eğrisinin elde edilebilirliğini, betonarme kesitlerde sıcaklık dağılımlarının çeşitli yöntemlerle belirlenebilirliğini ve bazı betonarme yapı elemanlarının kesitlerinin yangın koşullarındaki taşıma güçlerini araştırmaktır. Bu amaçla birinci bölümde ilk olarak yapılarda yangın güvenliği, yangın ve ısı, yangın şiddeti ve yangın başarımı üzerinde durulmakta, daha sonra yangın koşullarında yapısal tasarım, beton ve donatı özelliklerinin yüksek sıcaklıkla değişimleri, betonarme kesitlerin sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi ve Eurocode'da verilen yaklaşık yöntemle betonarme yapıların yangın tasarımı hakkında bazı bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, geliştirilen bilgisayar programları yardımıyla seçilen bir modelin gerçek sıcaklık-zaman eğrisi, betonarme kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ve elemanlarının yangında taşıma güçleri belirlenmektedir.

Bu çalışmadan çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

- 1) Yapı elemanlarının yangına göre tasarımları gerçekleştirilirken yangın eğrisi olarak standart sıcaklık-zaman eğrileri yerine, yangın odasındaki boşlukları ve yakıt miktarını dikkate alan Eurocode parametrik yangın eğrilerinin kullanılmasının daha gerçekçi olabileceği düşüncesiyle kullanılabilir bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.
- 2) Betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımını belirlemek için yapılan ısılı çözümlenmelerde sonlu farklar yöntemi bu çalışmaya konu olan analitik yöntemle göre daha gerçekçi sonuçlar vermekle beraber, pratik uygulamalarda yararlanılabileceği düşüncesiyle her iki yöntemle göre betonarme kesitlerdeki sıcaklık dağılımını belirlemeye imkan veren bilgisayar programları geliştirilmiştir.

- 3) Betonarme kesitlerin yangın koşullarındaki taşıma güçlerini, kesit boyutları, beton örtü kalınlığı dolayısıyla da donatıdaki sıcaklık değişimleri etkilemektedir.
- 4) Eurocode yaklaşık yöntemi ve 500°C yöntemleri kullanılarak, betonarme kesitlerin yangına göre pratik tasarımlarında kullanılabilir, bilgisayar programları da geliştirilmiştir.

Özetle bu çalışmada, betonarme yapılarda yangın, kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ve bu yapıların yangına göre tasarımı konusunda gerçekleştirilen bir sentez çalışması ışığında, seçilen bir betonarme yapı modelinin gerçek sıcaklık-zaman eğrisi, kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ve elemanlarının yangında taşıma güçlerinin belirlenmesi amacıyla, pratik amaçlar için de kullanılabilir, bilgisayar programları geliştirilmiştir. Ancak bu programların bu çalışmaya konu olan model yapı için geçerli olduğunu, daha farklı yapılar için itiyatla kullanılmaları gerektiğini ve bunları genelleyebilmek için daha çok sayıda teorik ve deneysel çalışmaların yapılmasını, özellikle çerçeve sistem yapılarında ısı genleşmelerinin de dikkate alınmasını ve daha önce yapılmış olanların sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmek uygun olmaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. ENV 1992-1-2:1995/AC:1996, Eurocode2: Design of Concrete Structures- Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design, CEN, Brussels, 1992.
2. Buchanan, A. H., Structural Design for Fire Safety, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, England, 2001.
3. Council of Tall Buildings and Urban Habitat, Fire Safety In Tall Buildings, McGraw-Hill Inc., USA, 1992.
4. Brown, R. C., Heat, Second Published, Longmans Green and Co, London, England, 1958.
5. Öztürk, A., Yavuz, H., Uygulamalarla Isı Geçişi: Taşınım ve İşımm, Birinci Baskı, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1995.
6. Dağsöz, A. K., Isı Geçişi-Isı İletimi, Cilt1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1974.
7. Genceli, O. F., Çözümlü Isı İletimi Problemleri, Birinci Baskı, Birsen Yayımevi, İstanbul, 2000.
8. Ataman, R., Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1991.
9. Kakaç, S., Isı Tranferine Giriş-I Isı İletimi, Altıncı Baskı, Tıp ve Teknik Yayıncılık, Ankara, Ekim 1998.
10. TS 4065, Yapı Bileşenlerinin Yanmaya Dayanıklılık Sınıfları (Sınır Dakika Değerleri)- Betonarme ve Öngerilmeli Beton Kirişler, T.S.E., Ankara, Birinci Baskı, Eylül 1984.
11. CAE, Fire Engineering Design Guide, Second Edition, Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, December 2000.
12. ASTM E119, Standart Test Methods for Fire Test of Building Construction and Materyals, ASTM, United States, March 2000.
13. Barnett, C. R., Design Fires for Structural Engineers, IPENZ Transactions, 25 (1998) 47-58.

14. TS 1263, Yapı Elemanlarının Yanmaya Dayanıklılık Sınıfları ve Yanmaya Dayanıklılık Deney Metodları, T.S.E., Ankara, Birinci Baskı, Mart 1984.
15. Aydın, U., Yapı Elemanlarının Yangına Dayanıklılık Testleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.
16. Lie, T. T., Fire and Buildings, Applied Science Publishers Ltd, London, England, 1972.
17. Malhotra, H. L., Design of Fire-Resisting Structures, First Edition, Surrey University Press, London, England, 1982.
18. ACI 216R-89, Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements, Reported by ACI Committee 216, Reapproved 1994.
19. Ertan, O., Beton Yapıların Yangına Karşı Tasarımıyla İlgili Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
20. Karaca, Z., Durmuş, A., Hüsem, M., Hafif Betonun Yangın Dayanımının İncelenmesi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Eylül 1997, Ankara, Bildiriler Kitabı, 563-572.
21. Wickström, U., A Very Simple Method For Estimating Temperature In Fire Exposed Concrete Structures, Swedish National Testing Institute, SP Report, Boras, Sweden, 1987.
22. Wickström, U., Natural Fires for Design of Steel and Concrete Structures-A Swedish Approach, International Symposium on Fire Engineering for Building Structures and Safety, November 1989, Melbourne, Australia, The Institution of Engineers, Australia National Conference Publication No.89/16, Pages 67-72.
23. Iding, R., Bresler, B., Nizamuddin, Z., FIRES-T3, A Computer Program for the Fire Response of Structures-Thermal, California Univ. Fire Research Group, Berkeley, California, USA, 1977.
24. Sterner, E., Wickström, U., TASEF-Temperature Analysis of Structures Exposed To Fire-User's Manual, Swedish National Testing Institute, SP Report, Boras, Sweden, 1990.
25. Rigberth J., Simplified Design of Fire Exposed Concrete Beams and Columns, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Report 5063, Lund, Sweden.

26. Zoldners, N. G., Thermal Properties of Concrete Under Sustained Elevated Temperatures, *Temperature and Concrete*, Nov. 1968, Detroit, Michigan, ACI SP25, 1-32.
27. Abrams, M. S., Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600F, *Temperature and Concrete*, Nov. 1968, Detroit, Michigan, ACI SP25, 33-58.
28. Khoury, G. A., Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment, *Magazine of Concrete Research*, 44, 161(1992) 291-309.
29. Sullivan, P. J. E., Poucher, M. P., The Influence of Temperature on the Physical Properties of Concrete and Mortar in the Range 20C to 400C, *Temperature and Concrete*, Nov. 1968, Detroit, Michigan, ACI SP25, 103-136.
30. Uddin, T., Culver, C. G., Effects Of Elevated Temperature On Structural Members, *Journal of the Structural Division*, 101, 7(1975) 1531-1549.
31. Nizamuddin, Z., Bresler, B., Fire Response of Reinforced Concrete Slabs, *Journal of the Structural Division*, 105, 8(1979) 1653-1671.
32. Becker, J. M., Bresler, B., Reinforced Concrete Frames in Fire Environments, *Journal of the Structural Division*, 103, 1(1977) 211-224.
33. El-Hawary, M. M., Ragab, A. M., Abd El-Azim, A., Elibiari, S., Effect Of Fire On Shear Behaviour Of R.C. Beams, *Computer and Structures*, 65, 2(1997) 281-287.
34. Ellingwood, B., Shaver, J. R., Reliability Of RC Beams Subjected To Fire, *Journal of the Structural Division*, 103, 5(1977) 1047-1059.
35. Lin, T. D., Zwiers, R. I., Burg, R. G., Lie, T. T., McGrath, R. J., Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns, Portland Cement Association, USA, 1992.
36. Ellingwood, B., Lin, T. D., Flexure And Shear Behavior Of Concrete Beams During Fires, *Journal of the Structural Division*, 117, 2(1991) 440-458.
37. Dotreppe, J. C., Franssen, J. M., Bruls, A., Baus, R., Vandeveld, P., Minne, R., Nieuwenburg, D., Lambotte, H., Experimental Research On The Determination Of The Main Parameters Affecting The Behaviour Of Reinforced Concrete Columns Under Fire Conditions, *Magazine of Concrete Research*, 49, 179(1996) 117-127.
38. Lie, T. T., Irwin, R. J., Method to Calculated the Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns with Rectengular Cross Section, *ACI Structural Journal*, 90, 1(1993) 52-60.

39. Nasser, K. W., Creep of Concrete at Low Stress-Strength Ratios and Elevated Temperatures, Temperature and Concrete, Nov. 1968, Detroit, Michigan, ACI SP25, 137-148.
40. Güneş, A., Yıldız, K., Matlab For Windows-Matematik ve Grafik Programlama Dili, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 1997.



5. EKLER

EK 1. Gerçek Sıcaklık-Zaman Eğrisini Belirleyen Programın Listesi

```
ef=input('yangin yuku (MJ/m2 doseme alani) = ');
n=input('bosluk sayisi (n) = ');
h=input('odanın yuksekligini girin (h (m)) = ');
s1=input('odanın yatayda birinci mesafesi (m) = ');
s2=input('odanın yatayda ikinci mesafesi (m) = ');
b=1900;
Av=0;
for i=1:n
H(i)=input('siradaki boslugun yuksekligi (m) = ');
G(i)=input('siradaki boslugun genisligi (m) = ');
Av=Av+(H(i)*G(i));
end
Hv=0;
for j=1:n
Hv=Hv+(((H(i))^2)*G(i)/Av);
end
At=2*(s1*s2+(h*(s1+s2)));
Fv=(Av*sqrt(Hv))/At;
L=((Fv/0.04)^2)/((b/1160)^2);
et=(ef*s1*s2)/At;
td=0.00013*et/Fv;
ty=L*td;
Tmax=1325*(1-(0.324*exp(-0.2*ty))-(0.204*exp(-1.7*ty))-(0.472*exp(-19*ty)));
if td<=0.5
dT=625*sqrt(sqrt(L));
elseif td<=2
dT=(625-(375*(ty-0.5)/1.5))*sqrt(sqrt(L));
else
dT=250*sqrt(sqrt(L));
end
t=(0:0.01:td);
T=1325*(1-(0.324*exp(-0.2*L*t))-(0.204*exp(-1.7*L*t))-(0.472*exp(-19*L*t)));
plot(t,T)
hold on
t=(td:0.01:(td+(Tmax/dT)));
T=Tmax-(dT*(t-td));
plot(t,T)
```

EK 2. Wickström Yöntemine Göre Döşeme Kesitinde Sıcaklık Dağılımını Veren Programın Listesi

```

%M x eksenindeki bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%N y eksenindeki bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%B kesitin genişliği
%H kesitin yüksekliği
%t yangın süresi
M=41;N=5;B=1;H=0.1;t=3;
Tf=20+(345*(log10((8*t*60)+1)));
%gerçek sıcaklık-zaman eğrisi için
%if t<=2.08
%Tf=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
nw=1-(0.0616*t^(-0.88));
Tw=nw*Tf;
for i=1:M
X(i)=((i-1)*B)/(M-1);
for j=1:(N-1)
X(j*M+i)=X(i);
end
end
i=0;j=0;
for i=1:N
Y((i-1)*M+1)=((i-1)*H)/(N-1);
for j=2:M
Y((i-1)*M+j)=Y((i-1)*M+1);
end
end
for i=1:M
T(i)=Tw;
end
for i=1:(N-1)
for j=1:M
Ko=Y(i*M+j);
T(i*M+j)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T(i*M+j)<=20
T(i*M+j)=20;
end
end
end
end
T

```

EK 3. Wickström Yöntemine Göre Tablah Kiriş Kesitindeki Sıcaklık

Dağılımı Veren Programın Listesi

```

%M x eksenindeki alt dikdörtgenin bastaki ile sondakinin bir önceki arasındaki düğüm noktası sayısı
%N y eksenindeki alt dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%P x eksenindeki üst dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%R y eksenindeki üst dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%S x eksenindeki üstteki dikdörtgenin sol alt köşesinden alttaki dikdörtgenin sol üst köşesine kadar
%olan kısmın bastaki ve sondaki düğüm noktası sayısı
%B üstteki dikdörtgenin sol genişliği
%A üstteki dikdörtgenin orta genişliği
%C üstteki dikdörtgenin sağ genişliği
%F alttaki dikdörtgenin yüksekliği
%E üstteki dikdörtgenin yüksekliği
M=7;N=8;P=27;R=3;S=11;B=0.5;A=0.3;C=0.5;F=0.4;E=0.1;t=3;
for i=1:M
    X(i)=B+((i-1)*A)/(M-1);
    for j=1:(N-1)
        X(j*M+i)=X(i);
    end
end
for i=0:(P-1)
    X((M*N)+i+1)=(i*(A+B+C))/(P-1);
    for j=1:(R-1)
        X((M*N)+(j*P)+i+1)=X((M*N)+i+1);
    end
end
for i=1:N
    Y((i-1)*M+1)=((i-1)*F/N);
    for j=2:M
        Y(((i-1)*M)+j)=Y(((i-1)*M)+1);
    end
end
for i=0:(R-1)
    Y((M*N)+(i*P)+1)=F+((i*E)/(R-1));
    for j=2:P
        Y((M*N)+(i*P)+j)=Y((M*N)+(i*P)+1);
    end
end
Tf=20+(345*(log10((8*t*60)+1)));
%gerçek sıcaklık-zaman eğrisi için
%if t<=2.08
%Tf=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
nw=1-(0.0616*t^(-0.88));
Tw=nw*Tf;
for i=1:M
    T(i)=Tw;
end
for i=(M+1):M:((N-1)*M+1)
    T(i)=Tw;
end
for i=(2*M):M:(N*M);
    T(i)=Tw;
end

```

Ek 3'ün devamı:

```

for i=(N*M+1):(N*M+S);
T(i)=Tw;
end
for i=(N*M+S+M-1):(N*M+P);
T(i)=Tw;
end
k=M+1;
for i=1:(N-1)
for j=1:(M-2)
if (X(k)-B)<=(A/2)
XX(k)=X(k)-B;
else
XX(k)=A-X(k)+B;
end
if XX(k)<=Y(k)
Ko=XX(k);
else
Ko=Y(k);
end
nx=0.18*log(t/((XX(k))^2))-0.81;
ny=0.18*log(t/((Y(k))^2))-0.81;
T2(k)=(nw*(nx+ny-(2*nx*ny))+(nx*ny))*Tf;
T1(k)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T2(k)>=T1(k)
T(k)=T2(k);
else
T(k)=T1(k);
end
if T(k)<=25
T(k)=25;
end
end
k=k+2;
end
for i=1:(R-1)
for j=1:S
Ko=Y(M*N+i*P+j)-F;
T(M*N+i*P+j)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T(M*N+i*P+j)<=25
T(M*N+i*P+j)=25;
end
end
end
for i=1:(R-1)
for j=1:S
Ko=Y(M*N+i*P+M+S-2+j)-F;
T(M*N+i*P+M+S-2+j)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T(M*N+i*P+M+S-2+j)<=25
T(M*N+i*P+M+S-2+j)=25;
end
end
end
for i=1:(M-2)
k=M*N+S+i;
if (X(k)-B)<=(A/2)
Ko=X(k)-B;
else

```

Ek 3'ün devamı:

```

Ko=A-X(k)+B;
end
T(k)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T(k)<=25
T(k)=25;
end
end

for i=1:(R-1)
for j=1:(M-2)
k=M*N+i*P+S+j;
if (X(k)-B)<=(A/2)
XX(k)=X(k)-B;
else
XX(k)=A-X(k)+B;
end
YY(k)=Y(k)-F;
Ko=((YY(k))^2+(XX(k))^2)^0.5;
T(k)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T(k)<=25
T(k)=25;
end
end
end
end
T

```

EK 4. Wickström Yöntemine Göre Kolon Kesitinde Sıcaklık Dağılımını Veren Programın Listesi

```

%M x eksenindeki bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%N y eksenindeki bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%B kesitin genişliği
%H kesitin yüksekliği
%t yangın süresi
M=11;N=11;B=0.3;H=0.3;t=4;
Tf=20+(345*(log10((8*t*60)+1)));
% gerçek sıcaklık-zaman eğrisi için
%if t<=2.08
%Tf=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
nw=1-(0.0616*t^(-0.88));
Tw=nw*Tf;
for i=1:M
    X(i)=((i-1)*B)/(M-1);
    for j=1:(N-1)
        X(j*M+i)=X(i);
    end
end
for i=1:N
    Y((i-1)*M+1)=((i-1)*H)/(N-1);
    for j=2:M
        Y((i-1)*M+j)=Y((i-1)*M+1);
    end
end
for i=1:M
    T(i)=Tw;
end
for i=(M+1):M:((N-1)*M)+1
    T(i)=Tw;
end
for i=(2*M):M:(N*M);
    T(i)=Tw;
end
for i=(((N-1)*M)+2):(N*M);
    T(i)=Tw;
end
k=M+1;
for i=1:(N-2)
    for j=1:(M-2)
        k=k+1;
        if X(k)<=(B/2)
            XX(k)=X(k);
        else
            XX(k)=B-X(k);
        end
        if Y(k)<=(H/2)
            YY(k)=Y(k);
        else
            YY(k)=H-Y(k);
        end
        if XX(k)<=YY(k)

```


Ek 4'ün devamı:

```
Ko=XX(k);
else
Ko=YY(k);
end
nx=0.18*log(t/((XX(k))^2))-0.81;
ny=0.18*log(t/((YY(k))^2))-0.81;
T2(k)=(nw*(nx+ny-2*nx*ny)+(nx*ny))*Tf;
T1(k)=(0.18*log(t/(Ko^2))-0.81)*Tw;
if T2(k)>=T1(k)
T(k)=T2(k);
else
T(k)=T1(k);
end
if T(k)<=25
T(k)=25;
end
end
end
T
```



**EK 5. Sonlu Farklar Yöntemine Göre Döşeme Kesitinde Sıcaklık Dağılımını
Veren Programın Listesi**

```

M=41;N=5;k=1;ro=2400;c=0.239;d=0.025;h=25;Dt=0.01;TT=3;B=1;H=0.1;
fa=k/(ro*c);
m=(d^2)/(fa*Dt);
n=(h*d)/k;
for i=1:(M*N)
    T(i)=25;
end
for i=1:(TT/Dt)
    t=i*Dt;
    Tf(i)=25+(345*(log10((480*t)+1)));
end
%gercek sicaklik-zaman egrisi icin
%if t<=2.08
%Tf(i)=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf(i)=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
for v=1:(TT/Dt)
    Ts(1)=((1/m)*(2*T(M+1)+T(1)+T(2)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T(1));
    Ts(M)=((1/m)*(2*T(2*M)+T(M-1)+T(M)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T(M));
    Ts((N-1)*M+1)=((1/m)*(2*T((N-1)*M+1)+T((N-2)*M+1)+T((N-1)*M+2)))+((1-(4/m))*T((N-1)*M+1));
    Ts(M*N)=((1/m)*(2*T(M*N)+T(M*N-1)+T((N-1)*M+1)))+((1-(4/m))*T(M*N));
    for i=2:(M-1)
        Ts(i)=((1/m)*(2*T(i+M)+T(i-1)+T(i+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T(i));
    end
    for i=2:(N-2)
        Ts((i*M)+1)=((1/m)*(T((i*M)+1)+T((i*M)+2)+T(((i-1)*M)+1)+T(((i+1)*M)+1)))+((1-(4/m))*T((i*M)+1));
        Ts((i+1)*M)=((1/m)*(T((i+1)*M)+T(i*M)+T((i+1)*M-1)+T((i+2)*M)))+((1-(4/m))*T((i+1)*M));
    end
    for i=1:(M-2)
        Ts((N-1)*M+1+i)=((1/m)*(T((N-1)*M+1+i)+T((N-1)*M+i)+T((N-1)*M+2+i)+T((N-2)*M+1+i)))+((1-(4/m))*T((N-1)*M+1+i));
    end
    for i=1:(N-2)
        for j=1:(M-2)
            Ts((i*M)+1+j)=((1/m)*(T((i*M)+j)+T((i*M)+2+j)+T((i*M)+1+j+M)+T((i*M)+1+j-M)))+((1-(4/m))*T((i*M)+1+j));
        end
    end
    end
    T=Ts;
end
T

```

EK 6. Sonlu Farklar Yöntemine Göre Tablolu Kiriş Kesitinde Sıcaklık Dağılımını Veren Programın Listesi

```

%M x eksenindeki alt dikdörtgenin bastaki ile sondakinin bir önceki arasındaki düğüm noktası sayısı
%N y eksenindeki alt dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%P x eksenindeki üst dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%R y eksenindeki üst dikdörtgenin bastaki ve sondaki dahil düğüm noktası sayısı
%S x eksenindeki üstteki dikdörtgenin sol alt köşesinden alttaki dikdörtgenin sol üst köşesine kadar
%olan kısmın bastaki ve sondaki düğüm noktası sayısı
%B üstteki dikdörtgenin sol genişliği
%A üstteki dikdörtgenin orta genişliği
%C üstteki dikdörtgenin sağ genişliği
%F alttaki dikdörtgenin yüksekliği
%E üstteki dikdörtgenin yüksekliği
M=7;N=8;P=27;R=3;S=11;B=0.5;A=0.3;C=0.5;F=0.4;E=0.1;k=1;ro=2400;c=0.239;d=0.05;h=25;Dt=0.01;
TT=3;
fa=k/(ro*c);
m=(d^2)/(fa*Dt);
n=(h*d)/k;
for i=1:((M*N)+(R*P))
    T(i)=25;
end
for i=1:(TT/Dt)
    t=i*Dt;
    Tf(i)=25+(345*(log10((480*t)+1)));
end
%gerçek sıcaklık-zaman eğrisi için
%if t<=2.08
%Tf(i)=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf(i)=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
for v=1:(TT/Dt)
    Ts(1)=((2/m)*(T(2)+T(M+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T(1));
    Ts(M)=((2/m)*(T(2*M)+T(M-1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T(M));
    Ts((N*M)+S)=(2/(3*m))*2*T((N*M)+S+1)+2*T((N*M)+P+S)+T(((N-1)*M)+1)+T((N*M)+S-1)+2*n*Tf(v)+((1-(4/m)-(4*n)/(3*m)))*T((N*M)+S);
    Ts((N*M)+S+M-1)=(2/(3*m))*2*T((N*M)+S+M-2)+2*T((N*M)+P+S+M-1)+T(N*M)+T((N*M)+S+M)+2*n*Tf(v)+((1-(4/m)-((4*n)/(3*m)))*T((N*M)+S+M-1));
    Ts((N*M)+1)=(1/m)*(2*T((N*M)+P+1)+T((N*M)+2)+T((N*M)+1)+2*n*Tf(v))+((1-(4/m)-(2/m)*n)*T((N*M)+1));
    Ts((N*M)+P)=(1/m)*(2*T((N*M)+2*P)+T((N*M)+P-1)+T((N*M)+P)+2*n*Tf(v))+((1-(4/m)-(2/m)*n)*T((N*M)+P));
    Ts((N*M)+(R-1)*P+1)=(1/m)*(2*T((N*M)+(R-1)*P+1)+T((N*M)+(R-2)*P+1)+T((N*M)+(R-1)*P+2))+((1-(4/m))*T((N*M)+(R-1)*P+1));
    Ts((N*M)+(R*P))=(1/m)*(2*T((N*M)+(R*P))+T((N*M)+(R*P)-1)+T((N*M)+(R-1)*P))+((1-(4/m))*T((N*M)+(R*P)));
    for i=2:(M-1)
        Ts(i)=((1/m)*(2*T(i+M)+T(i-1)+T(i+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T(i));
    end
    for i=1:(N-2)
        Ts((i*M)+1)=((1/m)*(2*T((i*M)+2))+T((i*M)-M+1)+T((i*M)+M+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T((i*M)+1));
    for i=1:(N-2)
        Ts((i+1)*M)=((1/m)*(2*T(((i+1)*M)-1))+T(((i+1)*M)-M)+T(((i+1)*M)+M)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T((i+1)*M));
    end

```

Ek 6'nın devamı:

```

Ts((N-1)*M+1)=(1/m)*(2*T((N-1)*M+2)+T((N-2)*M+1)+T((N*M)+S)+2*n*Tf(v))+(1-(4/m)-
(2/m)*n)*T((N-1)*M+1);
Ts(N*M)=(1/m)*(2*T(N*M-1)+T((N*M)+S+M-1)+T((N-1)*M)+2*n*Tf(v))+(1-(4/m)-(2/m)*n)*T(N*M);
for i=1:(M-2)
Ts((N-1)*M+1+i)=(1/m)*(T((N-1)*M+i)+T((N-1)*M+2+i)+T((N-2)*M+1+i)+T((N*M)+S+i))+(1-
(4/m))*T((N-1)*M+1+i);
Ts((N*M)+S+i)=(1/m)*(T((N*M)+S+i-1)+T((N*M)+S+i+1)+T((N-1)*M+1+i)+T((N*M)+P+S+i))+(1-
(4/m))*T((N-1)*M+1+i);
end
for i=1:(S-2)
Ts((N*M)+1+i)=(1/m)*(2*T((N*M)+P+1+i)+T((N*M)+i)+T((N*M)+1+i)+2*n*Tf(v))+(1-(4/m)-
(2/m)*n)*Ts((N*M)+1+i);
Ts((N*M)+S+M-1+i)=(1/m)*(2*T((N*M)+S+P+M-1+i)+T((N*M)+S+M+i)+T((N*M)+S+M-
2+i)+2*n*Tf(v))+(1-(4/m)-(2/m)*n)*Ts((N*M)+S+M-1+i);
end
for i=1:(R-2)
Ts((N*M)+i*P+1)=(1/m)*(T((N*M)+i*P+1)+T((N*M)+(i-
1)*P+1)+T((N*M)+i*P+1)+T((N*M)+(i+1)*P+1))+(1-(4/m))*T((N*M)+i*P+1);
Ts((N*M)+(i+1)*P)=(1/m)*(T((N*M)+(i+1)*P)+T((N*M)+i*P)+T((N*M)+(i+2)*P)+T((N*M)+(i+1)*P)-
T((N*M)+(i+1)*P-1))+(1-(4/m))*T((N*M)+(i+1)*P);
end
for i=1:(P-2)
Ts((N*M)+(R-1)*P+1+i)=(1/m)*(2*T((N*M)+(R-1)*P+1+i)+T((N*M)+(R-1)*P+i)+T((N*M)+(R-
1)*P+2+i))+(1-(4/m))*T((N*M)+(R-1)*P+1+i);
end
for i=1:(N-2)
for j=1:(M-2)
Ts((i*M)+1+j)=((1/m)*(T((i*M)+j)+T((i*M)+2+j)+T((i*M)+1+j+M)+T((i*M)+1+j-M)))+(1-
(4/m))*T((i*M)+1+j));
end
end
for i=1:(R-2)
for j=1:(P-2)
Ts((N*M)+(i*P)+1+j)=((1/m)*(T((M*N)+(i*P)+j)+T((M*N)+(i*P)+2+j)+T((M*N)+(i*P)+1+j+P)+T((M*N)
+(i*P)+1+j-P)))+(1-(4/m))*T((M*N)+(i*P)+1+j));
end
end
T=Ts;
for i=1:(M*N+P*R)
if T(i)<=25
T(i)=25;
end
end
end
end
T

```

**EK 7. Sonlu Farklar Yöntemine Göre Kolon Kesitinde Sıcaklık Dağılımını
Veren Programın Listesi**

```

M=11;N=11;k=1;ro=2400;c=0.239;d=0.03;h=25;Dt=0.01;TT=4;B=0.3;H=0.3;
for i=1:M
    X(i)=((i-1)*B)/(M-1);
    for j=1:(N-1)
        X(j*M+i)=X(i);
    end
end
for i=1:N
    Y((i-1)*M+1)=((i-1)*H)/(N-1);
    for j=2:M
        Y((i-1)*M+j)=Y((i-1)*M+1);
    end
end
kk=1;
for i=0:(N-2)
    for j=1:(M-1)
        X1(kk)=X(i*M+j);Y1(kk)=Y(i*M+j);
        X2(kk)=X(i*M+j+1);Y2(kk)=Y(i*M+j+1);
        X3(kk)=X((i+1)*M+j+1);Y3(kk)=Y((i+1)*M+j+1);
        X4(kk)=X((i+1)*M+j);Y4(kk)=Y((i+1)*M+j);
        kk=kk+1;
    end
end
fa=k/(ro*c);
m=(d^2)/(fa*Dt);
n=(h*d)/k;
for i=1:(M*N)
    T(i)=25;
end
for i=1:(TT/Dt)
    t=i*Dt;
    Tf(i)=25+(345*(log10((480*t)+1)));
end
%gercek sicaklik-zaman egrisi icin
%if t<=2.08
%Tf(i)=20+(1325*(1-0.324*exp((-0.16)*t)-0.204*exp((-1.36)*t)-0.472*exp((-15.2)*t)));
%else
%Tf(i)=20+1002-(t-2.08)*236;
%end
for v=1:(TT/Dt)
    Ts(1)=((2/m)*(T(2)+T(M+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T(1));
    Ts(M)=((2/m)*(T(2*M)+T(M-1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T(M));
    Ts((M*N)-M+1)=((2/m)*(T((M*N)-(2*M)+1)+T((M*N)-M+2)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T((M*N)-M+1));
    Ts(M*N)=((2/m)*(T((M*N)-M)+T((M*N)-1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(4*n/m))*T(M*N));
    for i=2:(M-1)
        Ts(i)=((1/m)*((2*T(i+M))+T(i-1)+T(i+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T(i));
    end
    for i=2:(N-2)
        Ts((i*M)+1)=((1/m)*((2*T((i*M)+2))+T((i*M)-M+1)+T((i*M)+M+1)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T((i*M)+1));
    end
end
for i=1:(N-2)

```

Ek 7'nin devamı:

```

Ts((i+1)*M)=((1/m)*((2*T(((i+1)*M)-1))+T(((i+1)*M)-M)+T(((i+1)*M)+M)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-
(2*n/m))*T((i+1)*M));
end
for i=1:(M-2)
Ts((M*N)-M+1+i)=((1/m)*((2*T((M*N)-(2*M)+1+i))+T((M*N)-M+i)+T((M*N)-
M+2+i)+(2*n*Tf(v))))+((1-(4/m)-(2*n/m))*T((M*N)-M+1+i));
end
for i=1:(N-2)
for j=1:(M-2)
Ts((i*M)+1+j)=((1/m)*(T((i*M)+j)+T((i*M)+2+j)+T((i*M)+1+j+M)+T((i*M)+1+j-M)))+((1-
(4/m))*T((i*M)+1+j));
end
end
end
T=Ts;
for i=1:(M*N)
if T(i)<=25
T(i)=25;
end
end
end
T

```

EK 8. Döşemenin Açıklık Kesiti Direnme Momentinin Yangında Zamanla Değişimini Veren Bilgisayar Programının Listesi

```

h=input('Döşemenin beton kalınlığını (h (mm)) girin:');
fck=input('Betonun basınç dayanımını (fck (MPa)) girin:');
fyk=input('Donatının akma dayanımını (fyk (MPa)) girin:');
Db=input('Donatının çapını (Db (mm)) girin:');
cv=input('Paspayı değerini (cv (mm)) girin:');
s=input('Donatıların arası mesafesini (s (mm)) girin:');
fc=fck/1.5;fy=fyk/1.15;
b=1000;
As=(pi/4)*(Db^2)*(b/s);
d=h-cv-(Db/2);
for i=1:9
if i==1
Ts(i)=20;
else
Tff(i)=20+345*log10(8*60*((i-1)*0.5)+1);
Tww(i)=(1-(0.0616*((i-1)*0.5)^(-0.88)))*Tff(i);
Tcc(i)=(0.18*log(((i-1)*0.5)/(ce/1000)^2))-0.81)*Tww(i);
Ts(i)=Tcc(i);
end
if Ts(i)<=350
fyT(i)=fy;
elseif Ts(i)<=700
fyT(i)=((6650-(9*Ts(i)))/3500)*fy;
elseif Ts(i)<=1200
fyT(i)=((1200-Ts(i))/5000)*fy;
else
fyT(i)=0;
end
af(i)=(As*fyT(i))/(0.85*fc*b);
jdf(i)=d-(af(i)/2);
Mnf(i)=As*fyT(i)*jdf(i)/10^6;
if Mnf(i)<=0
Mnf(i)=0;
end
end
for j=1:9
t(j)=(j-1)*0.5;
end
plot(t,Mnf)

```

EK 9. Döşemenin Mesnet Kesiti Direnme Momentinin Yangında Zamanla Değişimini Veren Bilgisayar Programının Listesi

```

h=input('Döşemenin beton kalınlığını (h (mm)) girin:');
fck=input('Betonun basınç dayanımını (fc (MPa)) girin:');
fyk=input('Donatının akma dayanımını (fy (MPa)) girin:');
Dbn=input('Donatının çapını (Db (mm)) girin:');
cv=input('Paspayı değerini (cv (mm)) girin:');
sn=input('Donatıların ara mesafesini (s (mm)) girin:');
fc=fck/1.5;fy=fyk/1.15;
b=1000;
As=(pi/4)*(Dbn^2)*(b/sn);
d=h-cv-(Dbn/2);
for i=1:9
if i==1
Ts(i)=20;
cf(i)=0;
else
Tf(i)=20+345*log10(8*60*((i-1)*0.5)+1);
Tw(i)=(1-(0.0616*((i-1)*0.5)^(-0.88)))*Tf(i);
Tc(i)=(0.18*log(((i-1)*0.5)/((d/1000)^2))-0.81)*Tw(i);
cf(i)=sqrt(((i-1)*0.5)/(exp((500/(0.18*Tw(i)))+4.5)));
if Tc(i)<=20
Ts(i)=20;
else
Ts(i)=Tc(i);
end
end
if Ts(i)<=350
fyT(i)=fy;
elseif Ts(i)<=700
fyT(i)=((6650-(9*Ts(i)))/3500)*fy;
elseif Ts(i)<=1200
fyT(i)=((1200-Ts(i))/5000)*fy;
else
fyT(i)=0;
end
af(i)=(As*fyT(i))/(0.85*fc*b);
jdf(i)=d-(af(i)/2)-(cf(i)*1000);
Mnf(i)=As*fyT(i)*jdf(i)/10^6;
if Mnf(i)<=0
Mnf(i)=0;
end
end
for j=1:9
t(j)=(j-1)*0.5;
end
plot(t,Mnf)

```


EK 10. Kirişin Açıklık Direnme Momentinin Yangında Zamanla Değişimini Veren Bilgisayar Programının Listesi

```

h=input('Kirişin yüksekliğini (h (mm)) girin:');
b=input('Kirişin genişliğini (b (mm)) girin:');
fck=input('Betonun basınc dayanımını (fck (MPa)) girin:');
fyk=input('Donatının akma dayanımını (fyk (MPa)) girin:');
fc=fck/1.5;
fy=fyk/1.15;
load kirdon.m;
[e,f]=size(kirdon);
for i=1:e
if kirdon(i,2)<=(b/2000)
X(i)=kirdon(i,2);
else
X(i)=(b/1000)-kirdon(i,2);
end
if X(i)<=kirdon(i,3)
KO(i)=X(i);
else
KO(i)=kirdon(i,3);
end
end
YT=0;
for i=1:e
YT=YT+kirdon(i,3);
end
YO=YT/e;
d=(h/1000)-YO;
for k=1:9
if k==1
bf(k)=b;
i=0;
AF(k)=0;
for i=1:e
AF(k)=AF(k)+(fy*((pi/4)*(kirdon(i,1))^2));
end
else
t(k)=(k-1)*0.5;
Tf(k)=20+(345*(log10((8*t(k)*60)+1)));
nw(k)=1-(0.0616*(t(k)^(-0.88)));
Tw(k)=nw(k)*Tf(k);
for i=1:e
nx(k,i)=0.18*log(t(k)/((X(i))^2))-0.81;
ny(k,i)=0.18*log(t(k)/((kirdon(i,3))^2))-0.81;
T2(k,i)=(nw(k)*(nx(k,i)+ny(k,i)-(2*nx(k,i)*ny(k,i)))+(nx(k,i)*ny(k,i))*Tf(k);
T1(k,i)=(0.18*log(t(k)/(KO(i)^2))-0.81)*Tw(k);
if T2(k,i)>=T1(k,i)
T(k,i)=T2(k,i);
else
T(k,i)=T1(k,i);
end
end
if T(k,i)<=20
T(k,i)=20;
end
end
end

```

Ek 10'un devamı:

```

cf(k)=sqrt(t(k)/(exp((500/(0.18*Tw(k))+4.5))));
bf(k)=b-(2000*cf(k));
for i=1:e
if T(k,i)<=350
fyT(k,i)=fy;
elseif T(k,i)<=700
fyT(k,i)=((6650-(9*T(k,i)))/3500)*fy;
else
fyT(k,i)=((1200-T(k,i))/5000)*fy;
end
end
AF(k)=0;
for i=1:e
AF(k)=AF(k)+(fyT(k,i)*((pi/4)*(kirdon(i,1))^2));
end
end
af(k)=AF(k)/(0.85*fc*bf(k));
jdf(k)=d-(af(k)/2000);
Mnf(k)=AF(k)*jdf(k)/10^3;
if Mnf(k)<=0
Mnf(k)=0;
end
end
for j=1:9
t(j)=(j-1)*0.5;
end
plot(t,Mnf)

```

Ek 11. Kirişin Mesnet Direnme Momentinin Yangında Zamanla Değişimini Veren Bilgisayar Programının Listesi

```

h=input('Kirisin yuksekligini (h (mm)) girin:');
b=input('Kirisin genisligini (b (mm)) girin:');
fck=input('Betonun basinc dayanimini (fck (MPa)) girin:');
fyk=input('Donatinin akma dayanimini (fyk (MPa)) girin:');
fc=fck/1.5;fy=fyk/1.15;
load negkirdon.m;
[e,f]=size(negkirdon);
for i=1:e
if negkirdon(i,2)<=(b/2000)
X(i)=negkirdon(i,2);
else
X(i)=(b/1000)-negkirdon(i,2);
end
if X(i)<=negkirdon(i,3)
KO(i)=X(i);
else
KO(i)=negkirdon(i,3);
end
end
end
YT=0;
for i=1:e
YT=YT+negkirdon(i,3);
end
YO=YT/e;
d=YO;
for k=1:9
if k==1
cf=0;bf=b;
i=0;AF(k)=0;
for i=1:e
AF(k)=AF(k)+(fy*((pi/4)*(negkirdon(i,1))^2));
end
else
t(k)=(k-1)*0.5;
Tf(k)=20+(345*(log10((8*t(k)*60)+1)));
nw(k)=1-(0.0616*t(k)^(-0.88));
Tw(k)=nw(k)*Tf(k);
for i=1:e
nx(k,i)=0.18*log(t(k)/((X(i))^2))-0.81;
ny(k,i)=0.18*log(t(k)/((negkirdon(i,3))^2))-0.81;
T2(k,i)=(nw(k)*(nx(k,i)+ny(k,i)-(2*nx(k,i)*ny(k,i)))+(nx(k,i)*ny(k,i))*Tf(k);
T1(k,i)=(0.18*log(t(k)/(KO(i)^2))-0.81)*Tw(k);
if T2(k,i)>=T1(k,i)
T(k,i)=T2(k,i);
else
T(k,i)=T1(k,i);
end
end
if T(k,i)<=20
T(k,i)=20;
end
end
cf(k)=sqrt(t(k)/(exp((500/(0.18*Tw(k)))+4.5)));
bf(k)=b-(2000*cf(k));

```

Ek 11'in devamı:

```

for i=1:e
if T(k,i)<=350
fyT(k,i)=fy;
elseif T(k,i)<=700
fyT(k,i)=((6650-(9*T(k,i)))/3500)*fy;
else
fyT(k,i)=((1200-T(k,i))/5000)*fy;
end
end
for i=1:e
AF(k)=AF(k)+(fyT(k,i))*((pi/4)*(negkirdon(i,1))^2);
end
end
af(k)=AF(k)/(0.85*fc*bf(k));
jdf(k)=d-(af(k)/2000)-cf(k);
Mnf(k)=AF(k)*jdf(k)/10^3;
if Mnf(k)<=0
Mnf(k)=0;
end
end
for j=1:9
t(j)=(j-1)*0.5;
end
plot(t,Mnf)

```

EK 12. Kolon Kesitinin Karşılıklı Etkileşim Diyagramının Yangında Çeşitli Zamanlardaki grafiklerini veren bilgisayar programının listesi

```

fck=input('Betonun karakteristik basınç dayanımı (fck (N/mm2))=');
fyk=input('Donatının karakteristik akma dayanımı (fyk (N/mm2))=');
if fck<=25
k1=0.85;
else
k1=1-(0.006*fck);
end
b=input('Kolonun enkesit genişliği (b (mm))=');
h=input('Kolonun enkesit yüksekliği (h (mm))=');
cv=input('Butun donatıların eksenlerinden beton yüzüne olan uzaklığı (cv (mm))=');
Es=200000;
n=input('yükseklik boyunca donatı sıra sayısı (n) =');
Asi=input('İlk sıra donatı alanı (Asi cm2) =');
Epsc=0.003;
ar=(h-(2*cv))/(n-1);
for i=1:(n-1)
As(i)=input('sıradaki toplam donatı alanını girin (Asi cm2) =');
end
fyd=fyk/1.15;
fcd=fck/1.5;
for j=1:19
c(j)=(h/10)*(21-j);
Epssi(j)=Epsc*((h-cv)/c(j))-1;
sigi(j)=Es*Epssi(j)/100;
if abs(sigi(j))>=(fyd/100)
sigi(j)=(sigi(j)/abs(sigi(j)))*(fyd/100);
else
sigi(j)=sigi(j);
end
Fsi(j)=Asi*sigi(j);
for i=1:(n-2)
Epssi(i)=Epssi(i)-((i*ar*(Epsc+Epssi(i)))/(h-cv));
sig(i)=Es*Epssi(i)/100;
if abs(sig(i))>=(fyd/100)
sig(i)=(sig(i)/abs(sig(i)))*(fyd/100);
else
sig(i)=sig(i);
end
Fs(i)=As(i)*sig(i);
end
cy(j)=k1*c(j);
if c(j)>h
cy(j)=h;
else
cy(j)=cy(j);
end
Fc(j)=0.85*(fcd/100)*(b/10)*(cy(j)/10);
N(j)=Fc(j)-Fsi(j);
for i=1:(n-1)
N(j)=N(j)-Fs(i);
end
M(j)=(Fc(j)*((h/20)-(0.5*cy(j)/10)))+(Fsi(j)*((h/2)-cv)/10);
for i=1:(n-1);
M(j)=M(j)+(Fs(i)*((h/2)-(cv+(i*ar)))/10);

```

Ek 12'nin devamı:

```

end
for i=1:n
Epss(i)=0;
sig(i)=0;
Fs(i)=0;
end
end
M(20)=(N(18)*(M(18)-M(19)))+(M(18)*(N(19)-N(18)))/(N(19)-N(18));
for j=1:19
c(j)=0;Epssi(j)=0;sigi(j)=0;Fc(j)=0;cy(j)=0;
end
no=input('alt ve ust kenarlarda ortadaki donati sayisi (no)=');
Db=input('bir donatinin capı (Db (cm))');
Asb=pi*(Db^2)*0.25;
for v=1:8
t(v)=v*0.5;
cff(v)=sqrt(t(v)/(exp((500/(0.18*387))+4.5)));
bff(v)=b-(2*cff(v)*1000);
hff(v)=h-(2*cff(v)*1000);
cvff(v)=cv-(cff(v)*1000);
Tff(v)=20+(345*(log10((8*t(v)*60)+1)));
Tw(v)=(1-(0.0616*t(v)^(-0.88)))*Tff(v);
Tc(v)=(0.18*log(t(v)/((cv/1000)^2))-0.81)*Tw(v);
nw(v)=1-(0.0616*t(v)^(-0.88));
nx(v)=0.18*log(t(v)/((cv/1000)^2))-0.81;
ny(v)=0.18*log(t(v)/((cv/1000)^2))-0.81;
Tk(v)=(nw(v)*(nx(v)+ny(v)-(2*nx(v)*ny(v)))+(nx(v)*ny(v))*Tff(v);
cy(v)=cff(v)*1000;
if Tc(v)<=400
fydc(v)=fyd;
elseif Tc(v)<=700
fydc(v)=((652-(0.88*Tc(v)))/300)*fyd;
else
fydc(v)=((144-(0.12*Tc(v)))/500)*fyd;
end
if Tk(v)<=400
fydk(v)=fyd;
elseif Tk(v)<=700
fydk(v)=((652-(0.88*Tk(v)))/300)*fyd;
else
fydk(v)=((144-(0.12*Tk(v)))/500)*fyd;
end
fydi(v)=((2*Asb*fydk(v))+(no*Asb*fydc(v)))/Asi;
if Tc(v)<=100
Esc(v)=Es;
elseif Tc(v)<=700
Esc(v)=((692-(0.92*Tc(v)))/600)*Es;
else
Esc(v)=((96-(0.08*Tc(v)))/500)*Es;
end
if Tk(v)<=100
Esk(v)=Es;
elseif Tk(v)<=700
Esk(v)=((692-(0.92*Tk(v)))/300)*Es;
else
Esk(v)=((96-(0.08*Tk(v)))/500)*Es;

```

Ek 12'nin devamı:

```

end
Esi(v)=((2*Asb*Esk(v))+(no*Asb*Esc(v)))/Asi;
for j=1:19
c(v,j)=(hf(v)/10)*(21-j);
Epssi(v,j)=Epsc*((hf(v)-cvf(v))/c(v,j))-1);
sigi(v,j)=Esi(v)*Epssi(v,j)/100;
if abs(sigi(v,j))>=(fydi(v)/100)
sigi(v,j)=(sigi(v,j)/abs(sigi(v,j)))*(fydi(v)/100);
else
sigi(v,j)=sigi(v,j);
end
Fsi(v,j)=Asi*sigi(v,j);
for i=1:(n-1)
Epss(v,i)=Epssi(v,j)-((i*ar*(Epsc+Epssi(v,j)))/(hf(v)-cvf(v)));
if i==(n-1)
Esc(v)=Esi(v);
else
Esc(v)=Esc(v);
end
sig(v,i)=Esc(v)*Epss(v,i)/100;
if i==(n-1)
fydc(v)=fydi(v);
else
fydc(v)=fydc(v);
end
if abs(sig(i))>=(fydc(v)/100)
sig(i)=(sig(i)/abs(sig(i)))*(fydc(v)/100);
else
sig(i)=sig(i);
end
Fs(v,i)=As(i)*sig(v,i);
end
cy(v,j)=k1*c(v,j);
if c(v,j)>hf(v)
cy(v,j)=hf(v);
else
cy(v,j)=cy(v,j);
end
Fc(v,j)=0.85*(fcd/100)*(bf(v)/10)*(cy(v,j)/10);
Nf(v,j)=Fc(v,j)-Fsi(v,j);
for i=1:(n-1)
Nf(v,j)=Nf(v,j)-Fs(v,i);
end
Mf(v,j)=(Fc(v,j)*((hf(v)/20)-(0.5*cy(v,j)/10)))+(Fsi(v,j)*(((hf(v)/2)-cvf(v))/10));
for i=1:(n-1);
Mf(v,j)=Mf(v,j)+(Fs(v,i)*(((hf(v)/2)-(cvf(v)+(i*ar)))/10));
end
for i=1:n
Epss(v,i)=0;sig(v,i)=0;Fs(v,i)=0;
end
end
Nf(v,20)=0;
Mf(v,20)=((Nf(v,18)*(Mf(v,18)-Mf(v,19)))+(Mf(v,18)*(Nf(v,19)-Nf(v,18)))/(Nf(v,19)-Nf(v,18));
end
plot(M,N,'k-',Mf(1,:),Nf(1,:),'g--',Mf(2,:),Nf(2,:),'b--',Mf(3,:),Nf(3,:),'r--',Mf(4,:),Nf(4,:),'y--',Mf(5,:),Nf(5,:),'g-',Mf(6,:),Nf(6,:),'b-',Mf(7,:),Nf(7,:),'r-',Mf(8,:),Nf(8,:),'y-')

```

ÖZGEÇMİŞ

Oğuz BURNAZ 1977 yılında Akçaabat'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini 1984-1995 yılları arasında Gümüşhane ve Trabzon'da tamamlayarak, 1995-1996 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Lisans öğrenimini, 1998-1999 öğretim yılı Haziran döneminde bölüm ve fakülte birincisi olarak bitirdi ve aynı yıl mezun olduğu bölümde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. İki ay Fen Bilimleri Enstitüsü 50/D kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak çalıştıktan sonra Kasım 1999'da, Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün açtığı sınavı kazanarak Şubat 2000'de bu bölümün Yapı Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Bekar olan Oğuz BURNAZ, İngilizce bilmekte ve halen, KTÜ'de Yüksek Lisans öğrenimini sürdürmektedir.