



**FARKLI YANGIN SENARYOLARINDA ÇELİK
BİNALARIN YAPISAL DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

Abdulsamet AKTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

2022

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI YANGIN SENARYOLARINDA ÇELİK BİNALARIN YAPISAL
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Abdulsamet AKTÜRK

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2022

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

04 / 02 / 2022

Abdulsamet AKTÜRK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YANGIN SENARYOLARINDA ÇELİK BİNALARIN YAPISAL DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Abdulsamet AKTÜRK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

Günümüzde üstün mekanik özellikleri güvenilir, hafif ve yapım süresinin kısa olmasından ve yeniden kullanılabilen (geri dönüşüm) bir malzeme olmasından dolayı çelik yapıların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Fakat olası muhtemel bir yangın durumunda çelik yapılarda istenmeyen büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu sebeple, can ve mal güvenliği açısından yangın kaynaklı hasarları en aza indirmek için çok çeşitli ve farklı önlemlerin alınması gerekmektedir. Yangın etkisinde bulunan çelik yapı elemanlarında mekanik özellik açısından yangın şiddetine göre değişimler oluşmaktadır. Bu yapılan tez çalışmasında yangın geçirmiş çelik binaların dayanımlarının ve yapı elemanlarının yangın sonrası performansları belirlenmiştir. Bu amaçla tasarım modellemesi yapılan sekiz katlı çelik binada tek kat, ilk üç kat ve tüm yapıda oluşabilecek farklı sıcaklıklarda senaryo yangınların çıktığı öngörülüp bunun sonucunda tasarımı yapılan çelik yapının dayanımındaki değişiklikler göz önüne alınmıştır. Ayrıca ana taşıyıcı yapı elemanların kritik sıcaklıkları hem yangın korumalı hem de yangın korumasız olarak belirlenip bu kritik sıcaklıklarda dayanımın düşmesinin mevcut binaya etki edecek olan yüklerle beraber yapısal performansı nasıl ve ne kadar etkileyeceği detaylıca incelenmiştir. Çelik kolon ve kirişte koruma elemanları olarak kutu alçıpan ve spreycaplamalı boya öngörülmüştür. Koruma elemanlarından kutu alçıpan kaplama 13,5 mm - 16 mm aralığında ve mineral lifli spreycaplamalı boya ile kaplama 18 mm - 22 mm aralığında değerler almıştır.

2022, 125 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yangın performansı, Çelik yapı, Kompozit döşeme, Isı iletkenliği, Dayanım, Korumalı ve Korumasız donatı sıcaklığı, Sehim

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF STEEL BUILDINGS IN DIFFERENT FIRE SCENARIOS

Abdulsamet AKTÜRK

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Burak Kaan ÇIRPICI

Steel buildings are now widely used due to its better mechanical qualities, reliability, light weight, quick construction time, and ability to be reused (recycled). Steel constructions, on the other hand, suffer unfavorable significant damage in the event of a fire. As a result, varied and diverse precautions must be taken to limit fire-related damages in terms of life and property protection. Mechanical properties change as a result of the severity of the fire in the steel structural elements that are affected by the fire. The post-fire performance of the strengths and structural elements of fire-damaged steel buildings was investigated in this thesis. For this purpose, it is predicted that scenario fires will occur at various temperatures in the eight-story steel building, which is intended for one floor, the first three floors, and the entire structure, and as a result, changes in the designed steel structure's strength are taken into account. Furthermore, the critical temperatures of the main load-bearing structural elements are determined as both fire-protected and non-fire-protected, and how and how much the decrease in strength at these critical temperatures will affect structural performance, as well as the loads that will affect the existing building, has been thoroughly investigated. Steel columns and beams are expected to be protected with box gypsum board and spray-coated paint. The box gypsum board coating had values in the range of 13.5 mm - 16 mm, and the mineral fiber spray paint coating had values in the range of 18 mm - 22 mm, among the protection elements.

2022, 125 pages

Keywords: Fire performance, Steel structure, Composite flooring, Thermal conductivity, Strength, Protected and Unprotected reinforcement temperature, Deflection

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Tez çalışması boyunca her türlü desteğini ve bilgi birikimini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde her türlü desteğini eksik etmeyen biricik Anneme, Ablalarım, Abime, Dost ve Arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak bu tezimi, hayatım boyunca her daim yanımda olan ve her zaman bana destek olan eşime ve biricik kızıma armağan ediyorum.

Abdulsamet AKTÜRK

Şubat 2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Tezin Yapısı	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. YANGIN	6
3.1. Genel	6
3.2. Yangın Evreleri	6
3.3. Yangın Sıcaklık – Zaman Eğrisi (ASTM Standart Yangın Senaryosu / ISO 834 Yangın Eğrisi Modeli).....	7
4. YÜKSEK SICAKLIKTAKİ ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ	10
4.1. Çelik Termal (Isıl) Özellikleri.....	10
4.1.1. Isıl genleşme (uzama)	10
4.1.2. Özgül ısı	12
4.1.3. Isıl iletkenlik	13
4.1.4. Yoğunluk.....	14
4.2. Çelik Mekanik Özelliği	14
4.2.1. Isıl şekil değiştirme	15
4.2.2. Sünme şekil değiştirme	15
4.2.3. Gerilme şekil değiştirme	16
4.3. Çelik – Sıcaklık İlişkisi	17
4.3.1. Çelik yapıda göçme şekilleri	17
4.3.2. Korumasız halde çelik yapı elemanları	18
4.3.3. Korumalı halde çelik yapı elemanları	19

4.4. Beton Kompozit Döşeme	19
4.5. Kompozit Döşemede Profillenmiş Çelik Sac Özellikleri	21
4.6. Ana Taşıyıcı Sistemler Çelik Kolon –Kiriş-Çaprazlar	22
4.6.1. Çelik kolon	22
4.6.2. Çelik kiriş	22
4.6.3. Çelik çaprazlar	23
4.7. Yapısal (Konstrüktif) Kurallar	23
4.7.1. Döşeme kalınlığı ve donatı.....	23
4.7.2. Mesnetlenme koşulları	24
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	25
5.1. Çelik Binanın SAP2000’de Tasarım ve Modellenmesi	25
5.1.1. Aksların oluşturulması	27
5.1.2. Avrupa standardına (Europe) göre malzeme tanımlanması	28
5.1.3. Çelik profillerin kesitlerinin belirlenmesi	29
5.1.4. Çelik yapıda kolon-kiriş yerleşimi	30
5.1.5. Mesnetlerin belirlenmesi.....	31
5.1.6. Kompozit döşeme yapılması	32
5.1.7. Yapıya etki eden yüklerin tanımlanması.....	32
5.1.8. Sismik tehlike haritası detay raporu	35
5.1.9. Güvenlik katsayıları (GKT) ile kombinasyon oluşturulması	42
5.1.10. Modellenen çelik yapının SAP2000’de kesit analizi	45
6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	47
6.1. Yüksek Sıcaklıklarda Kolon, Kiriş, Döşeme Dizaynı Ve Performans Analizi	47
6.1.1. Kolon-kiriş dizaynı	50
6.1.2. Döşeme dizaynı	57
6.2. Farklı Katlarda Ve Farklı Sıcaklıklarda Yangın Senaryoları Sonucu Taşıyıcı Elemanların Yük Altındaki Gerilme Analizi	64
6.2.1. Akma, kopma dayanımı ve elastisite modülü değişimleri	64
6.2.2. Yangın senaryosunun tek bir katta olması durumu.....	72
6.2.3. Zemin kat, 1. kat ve 2. katta (toplam 3 katta) yangın senaryo sonuçları	104
6.2.4. Tüm katlarda (sekiz katta) yangın senaryo sonuçları.....	108
6.2.5. Birinci katın yangın senaryo durumlarının karşılaştırılması (tek başına, ilk üç kat ve tüm yapı yangın senaryoları).	115
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	119

KAYNAKLAR	124
------------------------	------------



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
(A_m/V)	Kesit faktörü (1/m)
A_m	Birim uzunluktaki bir elemanın yüzey alanı (m ² /m)
A_p	Çelik sacın çelmede en kesit alanı (gerekli ise azaltma yapılmış)
C	Yapı ağırlığının ölçüsü
C_c	Betonun özgül ısısı (J/kgK)
C_p	Yangından koruma malzemesinin, sıcaklığa bağlı olmayan özgül ısısı (J/kgK)
C_{st}	Çeliğin özgül ısısı (J/kgK)
D	Dayanım fazlalığı kat sayısı
d_p	Yangından koruma malzemesinin kalınlığı (m)
E_{em}	Kısa yüklemeler altındaki betonun elastisite modülü
E_s	Donatı elastisite modülü
f_{ay}	Çelik kolon kiriş akma dayanımı
f_{ck}	Betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı
$f_{ctk\ 0.05}$	Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm}	Betonun çekme dayanımı
f_{my}	Donatı (meş) akma dayanımı
f_{ts}	Donatı karakteristik çekme dayanımı
f_{yp}	Çelik sacın akma dayanımı
f_{ys}	Donatı karakteristik akma dayanımı
H_n	Yapı yüksekliği
$\dot{h}_{net}$	Birim alana düşen net ısı akısının tasarım değeri (W/m ²)
I	Bina önem katsayısı
k_{sh}	Gölgeleme etkisi için düzeltme faktörü
$k_{y,T}$	Çelik kirişin yüksek sıcaklıktaki etkin akma mukavemetindeki azalma faktörüdür
L	Açıklık

M_c	Plastik momentteki eğilme
M_f	Yangına maruz kirişteki maksimum eğilme momenti
R	Taşıyıcı sistem davranışı
S_1	1.0 sn periyot için harita spektral ivme kat sayısı
S_s	Periyoda bağlı spektral ivme değeri
T_{fi}	Yangın sıcaklığı (°C)
T_g	Yangın bölümündeki gaz sıcaklığı (°C)
T_s	Çelik sıcaklığı (°C)
V	Müsaade edilebilir yer değiştirme
V_t	Taban kesme kuvveti
V_y	Yapının dayanımı
γ	Malzemenin yoğunluğu
γ_{ap}	Çelik sac için malzeme güvenlik katsayısı
δ_{max}	Döşemenin toplam sehim
$\delta_{v,g}$	Döşeme toplam ağırlığındaki sehim
$\delta_{v,q}$	Uzun süreli değişken yükleme altında sehim
ε_{cr}	Sünme şekil değişimi
ε_{th}	Termal şekil değişimi
ε_{σ}	Gerilme şekil değişimi
λ_c	Betonun ısı iletkenliği (W/mK)
λ_p	Yangından koruma sisteminin (malzemenin) ısı iletkenliği (W/mK)
ρ_p	Yangından koruma malzemesinin birim hacim kütlesi (kg/ m ³)
ρ_{st}	Çeliğin birim hacim kütlesi
σ_a	Akma gerilmesi
σ_b	Kopma mukavemeti
$\Delta\varepsilon$	Çeliğin şekil değişimi
Δl	Çeliğin ısı genleşmesi (uzaması)
Δt	Zaman adımı (sn)
ΔT_{fi}	Δt süresince ortam yangın sıcaklığındaki artış (K)
α	Termal genleşme katsayısı

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AISC	The American Institute of Steel Construction Standartları
ASTM	American Society for Testing and Materials
DBYHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EUROCODE	European Standards
ISO	International Organization for Standardization
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk standartları
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yanma evrelerinin sıcaklık-zaman ilişkisi (Özberk 2010).....	7
Şekil 3.2. ASTM E119 ile ISO 834 sıcaklık-zaman eğrilerinin karşılaştırma grafiği (Işık 2020).	8
Şekil 4.1. Çeliğin sıcaklığa bağlı olarak değişen bağıl ısı genleşmesi (uzaması) (TS EN 1993-1-2, 2007).....	11
Şekil 4.2. Çeliğin özgül ısı-sıcaklık değişimi	13
Şekil 4.3. Çeliğin sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değerleri	14
Şekil 4.4. Sünme-Sıcaklık değişimi	16
Şekil 4.5. Sıcak haddelenmiş çeliğin yüksek sıcaklıklardaki gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Öven & Parlak 2003).....	17
Şekil 4.6. Farklı katlarda yangın durumu (Yazgan 2010).....	18
Şekil 4.7. Kompozit döşemede beton dökümü	20
Şekil 4.8. Profillenmiş Sac.....	21
Şekil 4.9. Kompozit döşemelerde tercih edilen çelik sac şekilleri	22
Şekil 4.10. Çelik Sac ve Döşeme İçin Boyutlar.....	23
Şekil 4.11. Minimum mesnetlenme koşulları	24
Şekil 5.1. Mimari proje kat planı	25
Şekil 5.2. Mimari proje kesit görünümü	26
Şekil 5.3. Aks mesafelerinin belirlenmesi	27
Şekil 5.4. Yatay aksların görünümü.....	27
Şekil 5.5. Yatay ve düşey aksların görünümü	28
Şekil 5.6. Malzeme Tanımlanması	29
Şekil 5.7. Çelik elemanlarının kesitlerinin tanımlanması	30
Şekil 5.8. Kolon yerleşim görünümü	30
Şekil 5.9. Kiriş yerleşim görünümü	31
Şekil 5.10. Ankastre mesnet görünümü	31
Şekil 5.11. Döşeme oluşturulması ve görünümü	32
Şekil 5.12. Yüklerin tanımlanması	32
Şekil 5.13. Çatı katı yüklemesi	33
Şekil 5.14. Normal kat yüklemesi.....	34
Şekil 5.15. Dış duvar yüklemesi	34

Şekil 5.16. Türkiye deprem tehlike raporu	36
Şekil 5.17. Yerel zemin sınıfları	37
Şekil 5.18. Yerel zemin etki katsayıları	38
Şekil 5.19. Tasarım spektral ivme katsayıları	39
Şekil 5.20. Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu.....	41
Şekil 5.21. X- yönü sismik değerlerin tanımlanması	43
Şekil 5.22. Y- yönü sismik değerlerin tanımlanması	44
Şekil 5.23. The American Institute of Steel Construction (AISC) Standartları.....	44
Şekil 5.24. Çelik yapının analiz sonucu 3 boyutlu görünümü	45
Şekil 5.25. Çelik yapımızın analiz sonucu 4 aksı çelik kolon ve kiriş eleman boyutları	46
Şekil 6.1. Çelik yapı elemanlarının yangın anındaki davranışı (Demirel ve Özkan 2003)	47
Şekil 6.2. Referans alınacak yapının (konut) zemin ve normal kat görünümü.....	48
Şekil 6.3. Zemin kat ve normal katlarda yüksek ısıya maruz kalan mahaller	48
Şekil 6.4. Zemin ve 1. Kat SAP2000 analizi kat kiriş detayı.....	49
Şekil 6.5. 2-3-4-5-6-7. Kat SAP2000 analizi kat kiriş detayı	49
Şekil 6.6. Kolon çelik elemanlarının gaz sıcaklığı karşısında alçıpan ve spreyci boya ile korumalı ve korumasız sıcaklık zaman grafikleri.	55
Şekil 6.7. Kiriş çelik elemanlarının gaz sıcaklığı karşısında spreyci boya ile korumalı ve korumasız sıcaklık zaman grafikleri.	56
Şekil 6.8. ATAPANEL Kompozit döşeme sacının özellikleri	57
Şekil 6.9. Döşemenin zamana bağlı düşey yer değiştirmesi (sehim durumu)	59
Şekil 6.10. Beton içerisindeki donatının farklı derinlikteki sıcaklık değerleri	64
Şekil 6.11. Akma Gerilmesi ile Sıcaklık ilişkisi	68
Şekil 6.12. Kopma Gerilmesi ile Sıcaklık ilişkisi	68
Şekil 6.13. Elastisite Modülü ile Sıcaklık ilişkisi	69
Şekil 6.14. Yapının aks dizaynı	69
Şekil 6.15. Birinci kat 300°C - 600°C - 940°C'lerde 4C aks kolonu ve 2-5/C konsol ve kenar kirişlerinde Akma–Kopma ve Elastisite modül değerlerimize göre yeniden malzeme tanımlanması.	70
Şekil 6.16. Zemin Kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görüntüleri.	75
Şekil 6.17. 1. Kat (Birinci) (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görüntüleri.	79

Şekil 6.18. İkinci kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	83
Şekil 6.19. Üçüncü kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	87
Şekil 6.20. Dördüncü kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.	91
Şekil 6.21. Beşinci kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	95
Şekil 6.22. Altıncı kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	99
Şekil 6.23. Yedinci kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	103
Şekil 6.24. İlk 3 katta yangın senaryosu sonucu gerilme durumu (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	105
Şekil 6.25. Tüm binanın (8 kat) yangın senaryosu sonucu gerilme durumu (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. ASTM E119 için sıcaklık-zaman değerleri (ASTM E119-20. 2020).....	8
Çizelge 3.2. ASTM E119 ile ISO 834 sıcaklık-zaman eğrilerinin karşılaştırma noktaları (Phan vd. 2010).....	9
Çizelge 4.1. Beton Sınıfı ve Karakteristik Değerleri	20
Çizelge 5.1. Modelde kullanılan yükler	33
Çizelge 5.2. TBDY-2018'e göre yapımızın deprem etkisi altında genel esaslar.....	43
Çizelge 6.1. Kolon ve kirişlerde sıcaklık hesabı için mahallerin özelliği.....	50
Çizelge 6.2. Farklı katlarda kolon ve kiriş elemanlarının korumalı ve korumasız sıcaklık durumları.....	52
Çizelge 6.3. Döşeme özellikleri ve analiz sonucu sehim sonuçları	58
Çizelge 6.4. A393 meşinin özellikleri.....	61
Çizelge 6.5. Döşeme içerisinde bulunan farklı yüksekliklerdeki donatıların (meş) 60 dakika sonundaki sıcaklıkları.....	63
Çizelge 6.6. Farklı sıcaklıklar altında Akma dayanımı, kopma dayanımı ve Elastisite Modülü değerleri.....	65
Çizelge 6.7. Zemin katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	72
Çizelge 6.8. Birinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	76
Çizelge 6.9. İkinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	80
Çizelge 6.10. Üçüncü katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	84
Çizelge 6.11. Dördüncü katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	88
Çizelge 6.12. Beşinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	92
Çizelge 6.13. Altıncı katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	96
Çizelge 6.14. Yedinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri	100

Çizelge 6.15. İlk 3 katta (zemin, 1 ve 2) farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment, kesme kuvvet ve gerilme oran değerleri.....	106
Çizelge 6.16. İlk üç kat yangın senaryosunda 25°C - 940°C arasındaki eksenel basınç moment kuvveti ,kesme kuvvet ve gerilme oran değişimleri %'lik olarak belirlenmesi.	107
Çizelge 6.17. Farklı sıcaklık altında sekiz katta yangın senaryosu olması sonucu katların eksenel moment kesme kuvvetleri ve gerilme oranı	110
Çizelge 6.18. 25°C - 940°C arasındaki eksenel basınç moment kuvveti ,kesme kuvvet ve gerilme oran değişimleri %'lik olarak belirlenmesi	113
Çizelge 6.19. Birinci katın üç farklı koşullardaki yangın senaryo sonuçları	117
Çizelge 6.20. Birinci katın üç farklı koşul durumu ve 25°C ile 940°C arasındaki değişimlerin %'lik olarak belirlenmesi	118

1. GİRİŞ

Yer yüzünde genelde her yıl ortaya çıkan yangınlar, maddi ve manevi hasarlara neden olan olumsuz doğal afetlerdir. Yangınlar yaşam alanlarında meydana gelmesi durumunda insanların hayatta kalmasını tehdit ettiğinden, yangına karşı dayanıklı bir yapı yapılması gerekmektedir.

Yangınların ortaya çıkması durumunda yaşam alanlarımızdaki yapıya vereceği zararın düşünülmesi optimizasyon tasarım kısmında çok önemli bir yere sahiptir. Yani teknik elemanların bu yapıların tasarım modelleme aşamasında herhangi bir oluşabilecek yangın olayında yapıya verebileceği zararın, ayrıca yangın oluşmuş binanın yanındaki komşu binalara yayılma durumunu ve yangın çıkan binada insanların gerekli olan sürede yapıyı terk etmesi gibi durumların öngörüsünü yapması gerekmektedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Çelik yapıların yangın etkisinde performansını araştırmak amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasında performansı etkileyecek birçok parametre araştırılmış ve incelenmiştir. Yapılan ön araştırma ve analizler sonucunda, öncelikle 8 katlı bir konut projesinin SAP2000’de tasarım modellemesi yapıp, analiz sonucu sonrası farklı katlarda farklı yangın senaryoları ile korumasız ana taşıyıcı çelik elemanlar üzerinde yangın senaryoları oluşturarak dayanım – sıcaklık bulguları elde edilmiştir. Edinilen sonuçlara göre çelik elemanların akma, kopma gerilmeleri ve elastisite modülündeki değişimler sonucu çelik elemanlarında eksenel basınç kuvveti, moment ve kesme kuvvetlerindeki sonuca göre dayanımları belirlendi. Ayrıca çelik elemanların tamamının korumalı olup olmaması durumunda eksenel, moment ve kesme kuvvetlerindeki değişim sonucu beton blok içinde kullanılan donatı meşinin farklı derinlikteki sıcaklık parametreleri belirlenmiş ve döşemenin zamana bağlı olarak yüksek sıcaklık etkisinden yer değişim miktarı bulunarak müsaade edilebilir sehim miktarıyla kıyaslaması yapılmıştır. Belirlenen bu veriler ile Avrupa Standartlarında kabul görmüş Standard (ISO 834) yangın etkisinde çelik yapıların performansını hangi ölçülerde ne kadar etkilediği araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan analizlerde Eurocode dizayn eşitlikleri (CEN 2005a), (CEN 2005b), (CEN 2005c) ve Excel programı kullanılmış ve yeni bir matematiksel model geliştirilmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Ana taşıyıcı elemanlar çelik kolon, çelik kirişe, pasif yangın koruyucu malzeme uygulanarak farklı kesitler için farklı kolon ve kiriş sıcaklıklarında analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüksek sıcaklıklarda çeliğin dayanımının nasıl değiştiği incelenmiş yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan deformasyon ve hasarlar tespit edilmiştir.

1.2. Tezin Yapısı

Bu yüksek lisans tezi ana bölüm olarak toplam 8 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler;

1. Bölümde, tez konusu hakkında genel bir giriş ve amaç ve kapsamından bahsedilmiştir.
2. Bölümde, çelik eleman özellikleri ile ilgili genel kaynak özetleri verilmiştir.
3. Bölümde, yangın ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.
4. Bölümde yüksek sıcaklık altında çelik elemanların ve kompozit döşemelerin yangına karşı dizayn metotları karşılaştırmalı olarak verilmiş ve korumalı/korumasız çelik sıcaklık hesaplamaları ve tezde verilen matematiksel modelde kullanılacak olan malzemelerin (çelik ve beton) ısısal (termal) özellikleri detaylıca belirtilmiştir.
5. Bölümde, SAP2000’de Çelik yapı tasarım modellemesi yapıp analiz sonucu taşıyıcı elemanlarda kesit tanımlaması yapıldı. Yapılan işlemler sıralı bir şekilde görselleştirilerek detaylıca anlatıldı.
6. Bölümde farklı katlarda farklı sıcaklık altında koruma ve korumasız çelik elemanların tahkikleri belirlendi. Kompozit döşeme dizaynında yüksek sıcaklık etkisinden dolayı sehim miktarı belirlenip döşeme beton plağında bulunan donatı meşinin farklı derinliklerdeki sıcaklık değeri bulundu. Ayrıca elastisite modülü akma ve kopma dayanım sonuçlarına göre çelik yapı elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvetleri belirlenerek yapı elemanların dayanımları hakkında bilgi edinerek sonuçlar gösterilmiş ve tartışılmıştır.
7. Bölümde bu tez çalışması sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.
8. Bölümde bu tez çalışmasında kullanılan kaynaklar ve referanslar verilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde yangın etkisinde çelik yapıların davranışları ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelenerek belirtilmiştir.

Bingöl (2008) yaptığı doktora çalışmasındaki amacı oluşturduğu betonarme numunelerini farklı derecelerdeki yüksek sıcaklık ile etkileştirip sonrasında soğutulan betonarmenin beton-çelik aderans kuvvetini incelemiş ayrıca betonun basınç dayanımı hakkında araştırmalar yapmıştır. Betonarme numuneleri 50°C-700°C aralığında değişken sıcaklıkların etkisinde toplamda 12 farklı durumda deney altına alınmış sıcaklıklar sonrası bazı numunelere hava ortamında bazılarına ise su ortamında soğutma işlemi yapılmıştır. Oda sıcaklığında olan farklı numuneler ile değişken sıcaklıklar altındaki 12 numune arasında yapılan karşılaştırmalarda, sıcaklığın 150°C'ye kadar olan durumda beton-donatı aderansı ve basınç dayanımında artış olduğu gözlenmiştir. Sıcaklığın 150°C 'den fazla olmasıyla aderans kuvveti ve basınç dayanımlarında azalmalar meydana geldiği saptanmıştır. Numuneler üzerinde edinilen bilgiye göre suda soğutma işlemi yapılan numunelerin basınç kuvveti hava ortamında soğutma işlemi yapılan numunelere göre daha fazla düşüş gözlenmiştir. Ancak aderans kuvveti için fark edilecek kadar bir değişiklik olmamıştır.

Buchanan & Abu (2017) Bu çalışmada yangına karşı yapıların tasarım aşamasındaki mühendislik çalışmalarından bahsetmiştir. Hesaplamalarda bilgisayar programlamalarla gelişmiş hesap yöntemlerinin kullanılmasını önermiş ayrıca döşeme plakalarında membran etkisi için hesaplama yöntemlerinden bahsetmiştir.

Cirpici vd (2020) yaptığı çalışmada sonlu eleman yönteminden faydalanarak, yüklemesiz haldeki kompozit döşemeye üstten (betondan) Hızlı ve Standard (ISO 834) yangınlar 60 dk'lık zaman boyunca etki ettirilerek ısı transfer analiz çalışması yapmıştır. Geliştirdikleri numerik model ile döşeme elemanları olan çelik profil ve sacın yangın karşısında korumalı durumuna göre sıcaklık dağılımları hakkında veriler elde etmişlerdir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Cordeiro ve Silva (2016) yapmış olduğu çalışmalarında, belirledikleri bir metro istasyonunda kompozit çelik beton levha yapım öngörüsünü üç farklı yöntem ile tasarlamış bunun üzerine metro istasyon asma katında bulunan çelik kirişler yangına karşı korumalı olup 90 dk'lık zaman ile asma kat yangın etkisinde bırakılmıştır. Sonuçlara göre membran etkisi altında Vulcan yazılımı ve Bailey yöntemi ile modellemeler yapılmıştır.

Çavdar (2017) yapmış olduğu çalışmada farklı şekilde çapraz elemanlı çelik yapıların dinamik davranışının incelenmesi hususunda üç ayrı yapıda Eşdeğer Deprem Yüğü çözüm yöntemi kullanmış çaprazlamada normal çaprazlama, V çaprazlama ve ters V çaprazlı olarak modelleme yapmıştır. Yapıda burulma olmaması için çaprazlamalar simetri olarak yerleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucuna göre V çaprazlı elemanın deprem performansının daha iyi olduğu çözüme ulaşılmıştır.

Ermancık (2021) Kompozit Döşemelerin Yangın Performansının Çeşitli Parametrelerle Belirlenmesi hususunda çalışmalar yapmıştır. Tez çalışmasında uzun ve kısa açıklıklı kompozit döşeme ve kirişlerde çeşitli matematiksel modeller geliştirilerek ISO 834'e göre bu matematiksel modeller üzerine döşemelerde sehim miktarı donatı sıcaklıkları hakkında bilgiler vermiştir.

Işık (2020) yapmış olduğu tez çalışmasında çelik endüstri yapıların yangın güvenliği adı altında kolon ve kiriş elemanlarının korumalı ve korumasız durumuna göre dayanım tahkiklerinde bulunmuş ve edinilen sonuçlara göre yapı elemanlarının boyutlamalarındaki değişimlerden bahsetmektedir

Li ve Wang (2013) yapmış oldukları çalışmada yangın etkisi altında olan kompozit kirişlerin korumalı haldeki dayanımı ve kritik sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde yük taşıma limit durum yöntemi etkisiyle geliştirilen Çin Teknik Standardına dayalı yöntem öngörülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Özberk (2010) yapmış olduğu çalışmada farklı amaçlarda kullanılan iki çelik yapıda üç farklı pasif yangından korunma yöntemlerinin araştırması sonucu çelik elemanların m² deki çelik miktarının durumuna göre iki farklı koruma yöntemi ortaya koymuştur. Metrekaredeki çeliğin 33 kg'dan az olması durumunda kullanım yerinde püskürtme sıva kullanılması, eğer 33 kg'dan fazla ise çimento alaşımlı fibersement plaka ile koruma yapılmasının daha ekonomik olacağını vurgulamıştır.

Öven ve Parlak (2003) çalışmasında korumasız çeliğin yüksek sıcaklıklar altında yaptığı davranışı araştırmıştır. Bunun üzerine korumasız çelik kirişin sabit ve değişken testlere bağlı olarak farklılıkların olduğu gerilme- birim deformasyon grafiğinde açıkça belirtmiştir. Ayrıca Kompozit döşemenin kullanılması durumunda çelik yapı üzerinde dayanımın arttığı gözlenmiştir.

Phan vd (2010) yapmış olduğu tez çalışmasında çelik bileşenlerin yangının etkisinden korunma yöntemlerinden bahsetmiştir. Püskürtme sıva, alçıpan, kendiliğinden şişen kimyasallar gibi termal ısı aktarımı az olan malzemelerin kullanımını belirterek ekonomik açıdan püskürtme sıvanın estetiklik açısından ise spreyci boya kullanımını önermiştir.

Yazgan (2010) hazırlamış olduğu çalışmada, yangın geçirmiş çelik binaların dayanımlarının araştırmasını kat öteleme yöntemiyle ele almıştır. Çalışmanın sonucu olarak dayanım ve rijitliğe göre azalmalar meydana gelip katların öteleme oranlarını elde etmiştir.

3. YANGIN

3.1. Genel

Yangın, yanmanın, ne zaman ve nerede meydana geleceği önceden bilinmeyen doğal bir afettir. Farklı bir açıklama ile yangın; katı, sıvı veya gaz halindeki yanıcı maddelerin kontrol dışı ortaya çıkma olayıdır (Özberk 2010).

3.2. Yangın Evreleri

Yangın evreleri beş aşamada meydana gelmektedir. Tutuşma, Gelişme, Büyüme, Tam büyüme ve sönmedir.

Tutuşma; yanma reaksiyonun ilk aşamasıdır. Bu aşamada yanma reaksiyonun gerçekleşeceği yerde sıcaklık artışı çok yüksek derecelere ulaşmamış ve yangın henüz başlamamıştır.

Gelişme; bu aşamada yanma reaksiyonunun meydana geldiği yerdeki hacim büyüklüğü, mekânın geniş olarak fazla olması, yanıcı madde miktarının fazla olması ve sonucunda ısının yayılması yangının gelişme olayına neden olmaktadır. Eğer yanma reaksiyonu gerçekleştiği yerdeki hacim küçük ise, ısıma ile ısı, ortamdaki duvar ve tavanların yangının gelişimine etki edeceğinden yanma reaksiyonunu hızlanmalar meydana gelir.

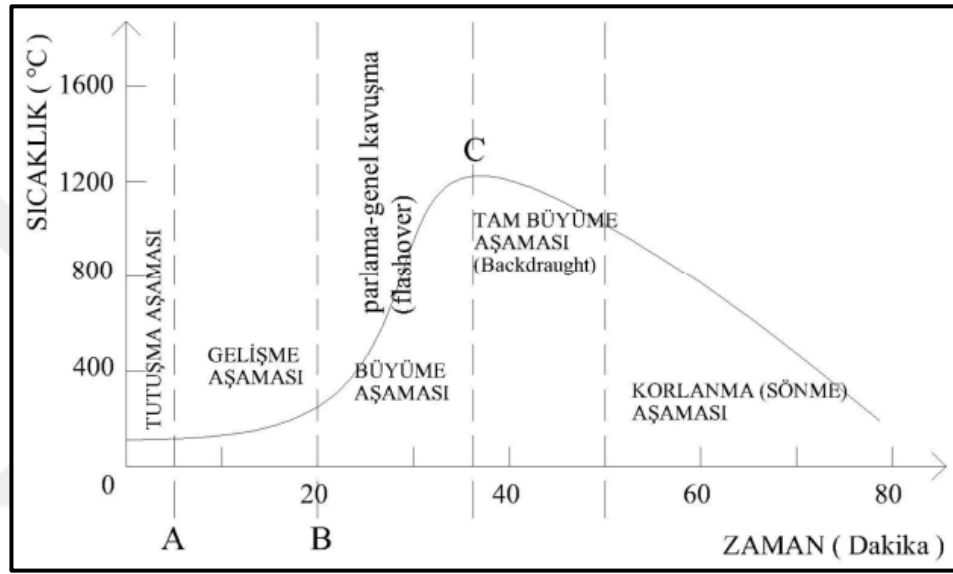
Büyüme (Parlama-Flashover); bu aşamada yangın olduğu yerin tamamında etkilidir. Tavanda yangının oluşumuyla meydana gelen duman katman sıcaklığı 550°C'dir. Yangının meydana geldiği yerde başlamasından büyüme anındaki zamana kadar ortamdaki insanların tahliyesi ve yangın söndürme işleminin başarıyla tamamlanması gerekir.

Tam büyüme; bu aşamada yangının meydana geldiği alandaki oksijen miktarı yetersiz olmasında rağmen ortamdaki yanıcı madde oranının fazla ısı miktarının yüksek

3. YANGIN

olmasından dolayı yanma reaksiyonu devam etmektedir. Ortamdaki yetersiz aşamadaki oksijen miktarını artıracak bir durumda patlamalar meydana gelebilir.

Sönme; bu aşamada yanıcı madde son aşamasında ve tükenme durumuna geçmiştir. Ortamda sonlanma durumunda küçük alevler vardır. Bu küçük alevlerinde sönmesiyle korlanma (sönme) durumuna geçiş yapılmıştır. Şekil 3.1 'de yangın evreleri verilmektedir (Özberk 2010).



Şekil 3.1. Yanma evrelerinin sıcaklık-zaman ilişkisi (Özberk 2010)

3.3. Yangın Sıcaklık – Zaman Eğrisi (ASTM Standart Yangın Senaryosu / ISO 834 Yangın Eğrisi Modeli)

Malzemelerin yangına karşı dayanımında zaman-sıcaklık ilişkisi söz konusudur. Malzemelerin dayanıklılığı teste tabi tutularak bunun çalışmasını başta İngiltere, Almanya, ABD olmak üzere çoğu ülkeler yapmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu edinilen bulgulara göre yapı malzemelerin yangına karşı dayanıklılık testlerinde en yaygın kullanılan testler sıcaklık-zaman eğrisinde ASTM E119-20 ve ISO 834-1, 1999 gösterilmektedir 1918 yılında yayımlanan ilk ASTM E119 standart yangın eğrisi, bir dizi nokta ile tanımlanmıştır (Çizelge 3.1). Bu çizelge sonucuna göre Şekil 3.2 de grafik gösterimi sunulmuştur (Işık 2020).

Çizelge 3.1. ASTM E119 için sıcaklık-zaman değerleri (ASTM E119-20. 2020)

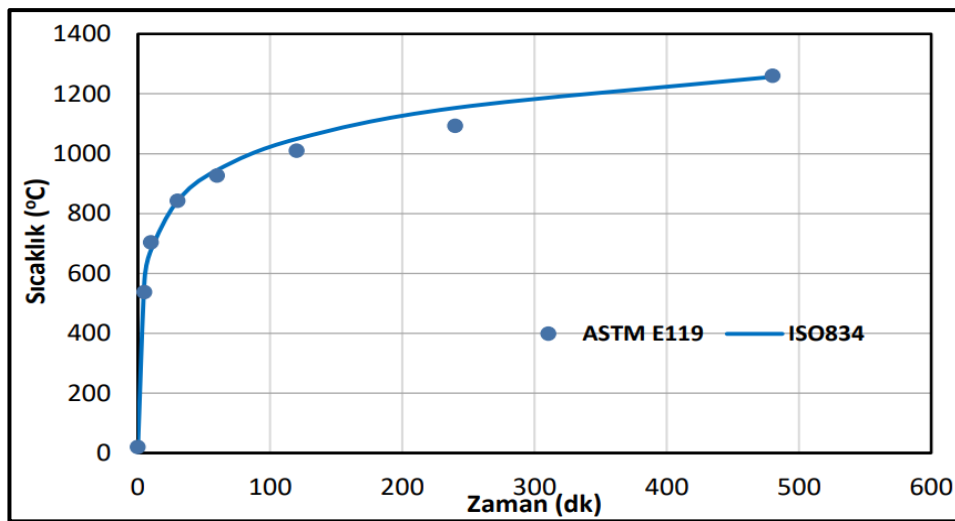
θ (°C)	20	538	704	843	927	1010	1093	1260
t (dakika)	0	5	10	30	60	120	240	480

Yaygın olarak kullanılan diğer standart sıcaklık zaman eğrisi (ISO 834'e göre); yangın tüm alanda olduğu varsayılır. Bütün alan gerçek boyutundan bağımsız ve tüm yanıcı maddelerin yanıcılığı bitse bile yangın bitti olarak düşünülmez. Çünkü, yangın yükü ve havalandırma koşullarının ortamda değişikliğe neden olabileceği varsayılmaktadır. Standart sıcaklık-zaman eğrisi aşağıdaki denklemde verilmiş ve bu denklem ile elde edilen eğri Şekil 3.2'te grafik gösterimi verilmiştir (Işık 2020).

$$T_g = T_0 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (3.1)$$

t geçen süreyi (dakika), T_g yangın kısmındaki gaz sıcaklığını (°C) T_0 ortam sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

ASTM E119 yangın eğrisi ile standart sıcaklık-zaman eğrisinin (ISO 834) karşılaştırılması Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2 verilmiştir.

**Şekil 3.2.** ASTM E119 ile ISO 834 sıcaklık-zaman eğrilerinin karşılaştırma grafiği (Işık 2020).

3. YANGIN

Çizelge 3.2. ASTM E119 ile ISO 834 sıcaklık-zaman eğrilerinin karşılaştırma noktaları
(Phan vd 2010).

Time (min)	ASTM E119 Temperature (°C)	ISO 834 Temperature (°C)
0	20	20
5	538	576
10	704	678
30	843	842
60	927	945
120	1010	1049
240	1093	1153
480	1260	1257

4. YÜKSEK SICAKLIKTA ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

Yüksek sıcaklık altında çelik malzemelerin davranışları hakkında bilgi edinmemiz için çelik malzemesinin ısı ve mekanik özelliklerini bilmek gerekir. Yüksek sıcaklık etkisinde çelik malzemelerinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir.

Yüksek sıcaklık etkisinde çelik malzemelerde oluşan sıcaklık artışını belirlemek için çeliğin ısı (termal) özellikleri hakkında bilgi birikiminin olması şarttır. Ayrıca mekanik davranış hakkında yorum yapılabilmesi için gerilme-şekil değiştirme özellikleri olan Elastisite modülü, akma dayanımı ve kopma dayanımı hakkında verilerin olması gereklidir (Phan vd 2010).

4.1. Çelik Termal (Isı) Özellikleri

4.1.1. Isıl genleşme (uzama)

Çelik sıcaklık etkisiyle bünyesinde genleşme meydana gelir. Böylece sıcaklığın bir fonksiyonu olan ısı genleşme katsayısı çelikte genleşme hakkında fikir verir. Çeliğin ısı genleşmesi;

$$\Delta l/l = \alpha(t) \times \Delta(t) \quad (4.1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada $\alpha(t)$ ısı genleşme katsayısını, $\Delta(t)$ ise sıcaklıktaki değişimdir.

Sıcaklığın 750°C'ye kadar artmasıyla ısı genleşmede sıcaklıkla beraber doğrusal olarak uzar, 750°C sıcaklıklarda faz değişikliği meydana gelir. 750°C ile 850°C sıcaklık aralığında sabit kalır ve daha sonra tekrar yükselmeye başlar. Isıl genleşmedeki süreksizlik hali 750°C ile 850°C sıcaklık aralığında çelik malzemede gerçekleşen bir faz geçişinden dolayı sebep olmaktadır. Şekil 4.1'de verilen bağıl ısı genleşmenin (uzamanın) sıcaklığa bağlı değişimi TS EN 1993-1-2, 2007 yönetmeliğinde verilen

4. YÜKSEK SICAKLIKTA ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

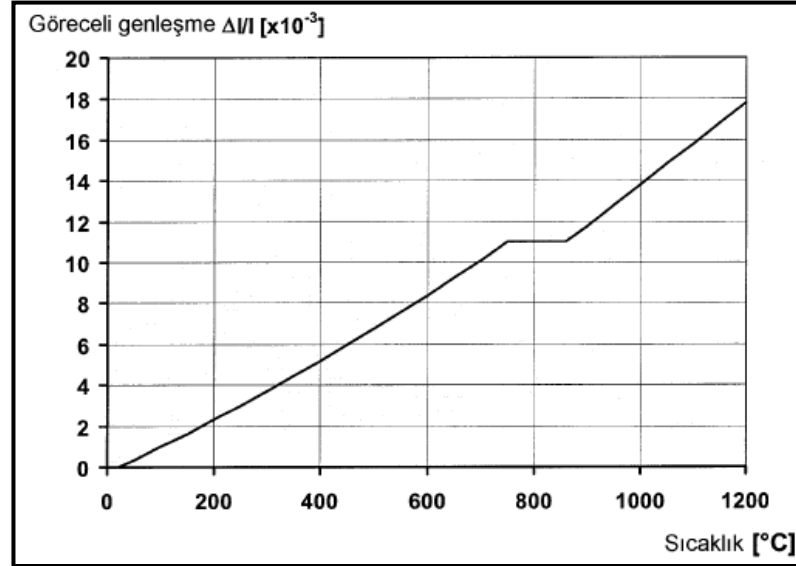
denklemler sonucu oluşturulmuştur. Bu standartta verilen metotlar S235, S275, S355, S420 ve S460 yapısal çelik sınıflarına uygulanabilir özelliktedir (CEN 2005a).

$$20^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 750^{\circ}\text{C} \quad (4.2)$$
$$\Delta l/l = 1,210^{-5} T_{st} + 0,4 \times 10^{-8} T_{st}^2 - 2,416 \times 10^{-4}$$

$$750^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 850^{\circ}\text{C} \quad (4.3)$$
$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2}$$

$$860^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 1200^{\circ}\text{C} \quad (4.4)$$
$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} T_{st} - 6,2 \times 10^{-3}$$

Burada l , 20 °C sıcaklıktaki uzunluğu, Δl sıcaklığın neden olduğu genleşmeyi (uzama) ve T_{st} çelik sıcaklığını (°C) göstermektedir (TS EN 1993-1-2, 2007).



Şekil 4.1. Çeliğin sıcaklığa bağlı olarak değişen bağıl ısı genleşmesi (uzaması) (TS EN 1993-1-2, 2007).

4.1.2. Özgül ısı

Çeliğin birim kütle sıcaklığını K (Kelvin) cinsinden bir derece yükseltmek amacıyla ihtiyaç olan ısı miktarıdır.

Çeliğin özgül ısısındaki değişim Şekil 4.2’de belirtildiği üzere 700°C’e kadar yavaş yavaş artarken 735°C’de kristal yapısında sahip olduğu metalürjik değişimden dolayı ani yükseliş yapar sonrasında ise tekrar ilk seviyesine döner. Çeliğin özgül ısısı, c (J/kg K), tüm yapısal çelik sınıfları için geçerlidir ve (TS EN 1993-1-2, 2007) yönetmeliğinde verilen hususlar çerçevesinde aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenir.

$$20^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 600^{\circ}\text{C} \quad (4.5)$$

$$C_{st} = 425 + 7.73 \times 10^{-1}T_{st} - 1.69 \times 10^{-3}T_{st}^2 + 2.22 \times 10^{-6}T_{st}^3$$

$$600^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 735^{\circ}\text{C} \quad (4.6)$$

$$C_{st} = 666 + \frac{13002}{738 - T_{st}}$$

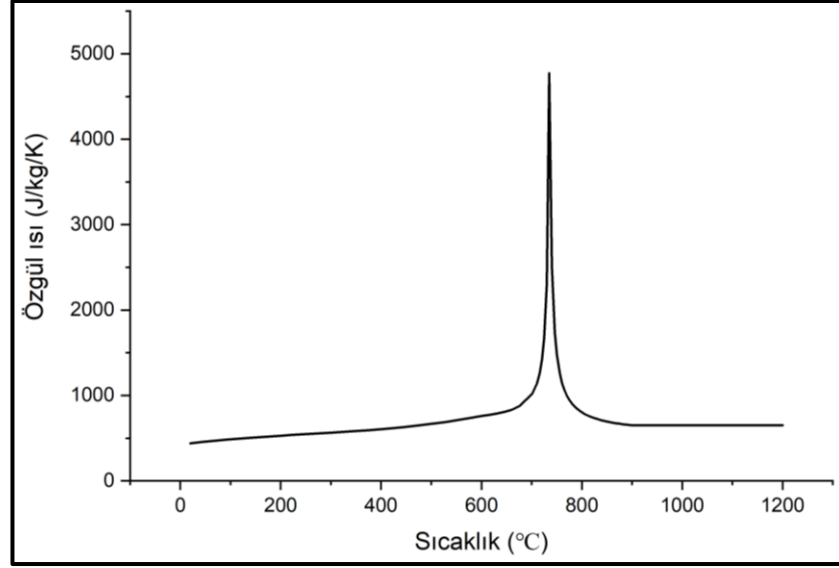
$$735^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 900^{\circ}\text{C} \quad (4.7)$$

$$C_{st} = 545 + \frac{17820}{T_{st} - 731}$$

$$900^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 1200^{\circ}\text{C} \quad (4.8)$$

$$C_{st} = 650$$

Burada T_{st} çelik sıcaklığı (°C) ve C_{st} çeliğin özgül ısısıdır.



Şekil 4.2. Çeliğin özgül ısı-sıcaklık değişimi

4.1.3. Isıl iletkenlik

Yüksek sıcaklık altında çelik malzemelerin sıcaklıkları hakkında bilgi edinmemiz için çelik malzemesinin ısıl iletkenlik özelliklerini bilmek gerekir.

Çeliğin mikro yapı özelliklerinden dolayı ısıl iletkenliğine etkisi fazladır. Çelik sıcaklığa bağlı olarak yüksek iletkenliğe sahip ve sıcaklığın etkisiyle bünyesinde değişimler meydana gelir. Şekil 4.3’de verilen grafikte 0°C den 800°C ye kadar geçen sürede çeliğin ısıl iletkenliği 54 W/mK değerinden 27.3W/mK değerine doğrusal olarak azalma yaptığı anlaşılmaktadır. TS EN 1993-1-2, 2007 yönetmeliğine göre çeliğin ısıl iletkenliği, λ (W/mK), aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenmektedir.

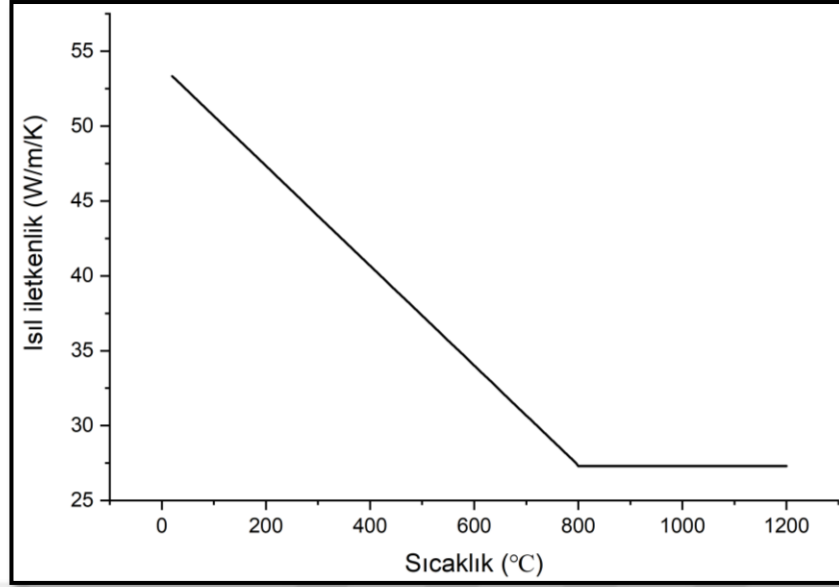
$$20^{\circ}\text{C} \leq T_{st} < 800^{\circ}\text{C} \quad (4.9)$$

$$\lambda_{st} = 54 - 3.33 \times 10^{-2} T_{st}$$

$$T_{st} \geq 800^{\circ}\text{C} \quad (4.10)$$

$$\lambda_{st} = 27,3$$

Burada T_{st} çelik sıcaklığı (°C) dır.



Şekil 4.3. Çeliğin sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değerleri

4.1.4. Yoğunluk

Sıcaklığın yoğunluğa etkisi yoktur. Çeliğin yoğunluğu 7850 kg/m³ dür (TS EN 1993-1-2, 2007).

4.2. Çelik Mekanik Özelliği

Herhangi bir yangın nedeniyle oluşan yüksek sıcaklıklar çelik malzemelerin mekanik özelliklerinde önemli derecede farklılıklara sebep olur. 300°C'nin üzerindeki bir sıcaklığın çelikte dayanım açısından azalmalar meydana gelir. Yapısal çeliğin ergime noktası 1500°C'dir. Normal sıcaklıklarda basınç ve çekme altındaki plastik şekil değiştirme olan sünme (creep), çeliğin etkileşim başlangıç sıcaklığı olan 500°C üzerindeki sıcaklık etkisi altında kalıcı şekil değişimleri meydana gelebilir. Çeliğin yüksek sıcaklıkta şekil değiştirmesindeki $\Delta\varepsilon$ değişim olarak tanımlanmaktadır. Burada $\Delta\varepsilon$ 'nin üç bileşenden oluştuğu öngörülmektedir (Buchanan & Abu 2017).

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_i = \varepsilon_{th}(T) + \varepsilon_{\sigma}(\sigma, T) + \varepsilon_{cr}(\sigma, T, t) \quad (4.11)$$

Burada ε , t anındaki toplam şekil değiştirme; ε_i , $t = 0$ anındaki başlangıç şekil değiştirmesi; $\varepsilon_{th}(T)$ termal şekil değiştirme (sadece sıcaklığın (T) bir fonksiyonu); $\varepsilon_\sigma(\sigma, T)$ gerilme-şekil değiştirme (hem uygulanan gerilmenin (σ), hem de sıcaklığın (T) bir fonksiyonu) ve $\varepsilon_{cr}(\sigma, T, t)$ sünme şekil değiştirmesi (gerilme, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu)'dur. Basit mesnetli kirişler gibi karmaşık olmayan yapısal sistemlerin yüksek sıcaklıklar altında azaltılmış dayanımları sadece gerilme-şekil değiştirme eğrileri dikkate alınarak bulunabilir. Eğer daha karmaşık yapısal sistemlerle karşılaşıldığında termal şekil değiştirme ve sünme şekil değiştirme hesaplamaları da yapılması gerekir.

4.2.1. Isıl şekil değiştirme

Isıl şekil değiştirme (uzama) çoğu malzemenin sıcaklık etkisiyle oluşan ısı (termal) genleşmedir. Çeliğin termal genleşmesi sıcaklığın bir fonksiyonudur. Isıl genleşme katsayısı oda sıcaklığında genellikle 11.7×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$) olarak kabul edilmektedir. Sıcaklık yükseldikçe bu katsayı artar ve 750°C ile 850°C sıcaklık aralığında çelik malzemede gerçekleşen bir faz dönüşümünden dolayı süreksizlik halini alır. Isıl şekil değiştirme tekil haldeki kiriş veya kolon sisteminde göz ardı edilebilir. Genellikle karmaşık çerçeve sistemlerde işleme dahil edilir (Buchanan & Abu 2017).

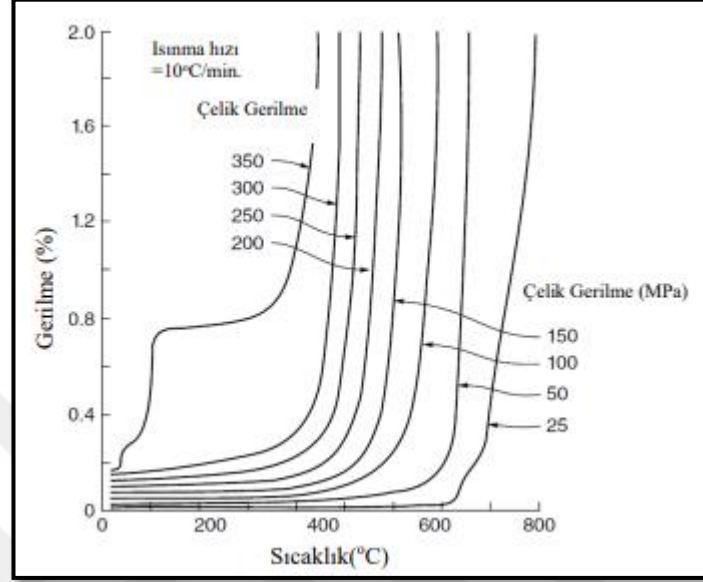
4.2.2. Sünme şekil değiştirme

Sünme normal sıcaklıklarda basınç ve çekme altındaki plastik şekil değiştirme olayıdır. Sünme, 500°C 'nin üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi altında dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Sünme şekil değiştirmesinin sıcaklık ve gerilme seviyelerinden dolayı etkileşim içerisinde (Buchanan & Abu 2017).

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere sünme şekil değiştirme eğrisi neredeyse dikey hale geldiği anda sünme deformasyonları çok hızlı şekilde artmaktadır (ivmelenmektedir). Yüksek sıcaklık etkisinden dolayı çelik yapılarındaki sünme şekil değiştirmeleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Ancak hesaplama işlemlerinin karmaşık ve elde edilen verilerin yetersiz olması nedeniyle hesaplamalarda sünme şekil değiştirme göz ardı edilmektedir. Genel olarak yüksek sıcaklık tasarımında kullanılan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin

4. YÜKSEK SICAKLIKTA ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

“etkin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi” olduğu varsayılmıştır. Etkin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.4’de gösterilen grafikte verildiği gibi yüksek sıcaklık etki süresince sünmenin sebep olabilecek olası deformasyonları göstermektedir.

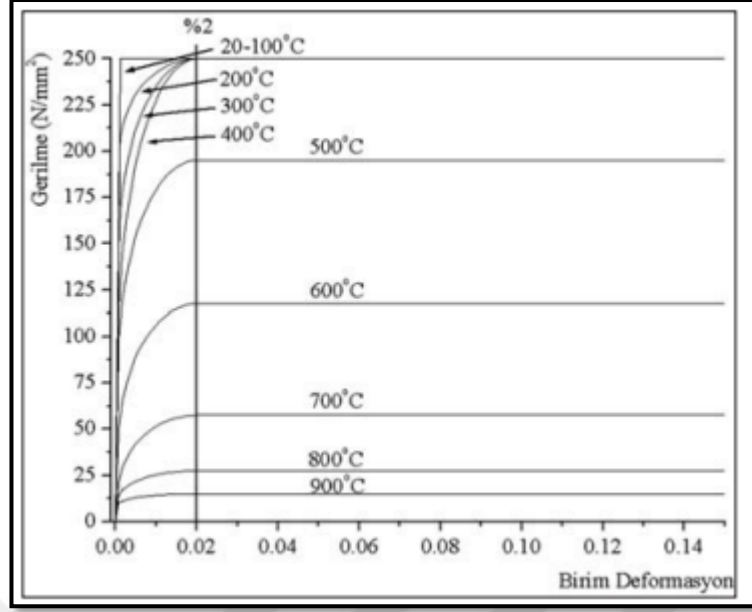


Şekil 4.4. Sünme-sıcaklık değişimi

4.2.3. Gerilme şekil değiştirme

Çeliğin yüksek sıcaklık altında gerilme-şekil değiştirme eğrileri sabit sıcaklık test yöntemi ve değişken sıcaklık test yöntemi olarak iki durumda belirlenir. Sabit test yöntemi ve değişken test yöntemi birim deformasyonun %1 e kadar aynı sonucu vermektedir. %1 deformasyondan sonra sabit testler hatalı ve oldukça düşük değerler verdiğinden yapısal yangınların belirlenmesinde ve öngörülen dayanımların doğru sonuç vermesi nedeniyle “değişken sıcaklık” testleri kullanılmaktadır (Öven & Parlak 2003).

Çeliğin yüksek sıcaklık etkisinde değişken test yöntemi ile gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.5’deki grafikte gösterilmiştir. Bu eğrilerde sıcaklık arttıkça akma dayanımı ve elastisite modülünün azalma, ayrıca kopma dayanımının 20°C -300°C değerlerinde hafifçe artsa da 300°C den sonra yüksek sıcaklıklarda düştüğü görülmektedir.



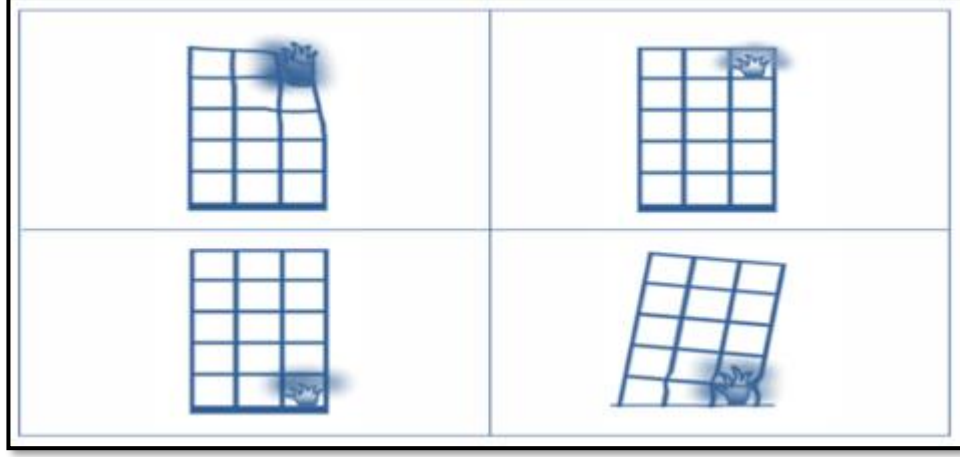
Şekil 4.5. Sıcak haddelenmiş çeliğin yüksek sıcaklıklardaki gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Öven & Parlak 2003).

4.3. Çelik – Sıcaklık İlişkisi

Çelik elemanlar betonarme elemanına göre boyutları küçük ve ısı iletkenliği yüksek olmasından dolayı yangına karşı risk oranı daha yüksektir. Isı karşısında çelik elemanlar betonarme elemanlarına göre ısınması kısa zamanda olur. Yüksek ısı sonucu çelikte Elastisite modülü ve akma dayanımında azalmalar meydana gelir. Böylece çelik elemanlarında büyük deplasmanlar meydana gelerek mukavemetlerini kaybederler (Yazgan 2010).

4.3.1. Çelik yapıda göçme şekilleri

Çelik yapıda göçme sonuçlarında farklılıklar vardır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi yüksek yapı bir çelik yapıda alt kısımlarda oluşabilecek bir yangının etkisi üst katlarda oluşabilecek yangının etkisine nazaran daha fazla göçüm olma durumuna neden olur. Bu durum göz önüne alınarak yüksek blokların ayaklarındaki kolonların tasarım analizi çok önemlidir. Aksi durumda olabilecek başarısızlıkta yapının göçmesi kaçınılmazdır (Yazgan 2010).



Şekil 4.6. Farklı katlarda yangın durumu (Yazgan 2010)

4.3.2. Korumasız halde çelik yapı elemanları

Korumasız haldeki çelik yapı elemanlarının sıcaklığı altta verilen denkleme göre hesaplanır.

$$\Delta T_{st} = k_{sh} \frac{A_m/V}{\rho_{st} C_{st}} \frac{A_s}{V} \dot{h}_{net} \Delta t \quad (4.12)$$

k_{sh} - Gölgeleme etkisi için düzeltme faktörü

(A_m/V) – Kesit faktörü (1/m)

A_m – Birim uzunluktaki bir elemanın yüzey alanı (m²/m)

V – Yapı elemanı birim uzunluğunun hacmi (m³/m)

C_{st} – Çeliğin özgül ısısı (J/kgK)

ρ_{st} – Çeliğin birim hacim kütlesi

$\dot{h}_{net}$ – Birim alana düşen net ısı akısının tasarım değeri (W/m²)

Δt – Zaman adımı (sn)

- Standart yangın (ISO 834) etkisi altında I – kesitlerde gölge etkisi için düzeltme faktörü; $k_{sh} = 0,9[A_m/V]_b/[A_m/V]$
- Diğer tüm durumlarda; $k_{sh} = [A_m/V]_b/[A_m/V]$
- $\dot{h}_{net} = \varepsilon_f \varepsilon_m$ $\varepsilon_f = 1,0$ alınarak ε_m değeri EN 1991-1-2'den (CEN 2002) alınmalıdır.
- Δt değeri 5 saniyeden fazla alınmamalıdır.

4.3.3. Korumalı halde çelik yapı elemanları

Korumalı haldeki çelik yapı elemanlarının sıcaklığı altta verilen denkleme göre hesaplanır.

$$\Delta T_{st} = \frac{\lambda_p A_p / V (T_{fi} - T_{st})}{d_p \rho_{st} C_{st} (1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta T_{fi} \quad (4.13)$$

$$\phi = \frac{C_p \rho_p}{C_{st} \rho_{st}} d_p A_p / V \quad (4.14)$$

A_p/V – Yangından koruma malzemesi ile korunmuş çelik yapı elemanlarının kesit faktörü

A_p – Birim uzunluktaki bir yapı elemanı için kullanılan yangından koruma malzemesinin alanı (m^2/m),

V – Yapı elemanı birim uzunluğunun hacmi (m^3/m)

C_p – Yangından koruma malzemesinin, sıcaklığa bağlı olmayan özgül ısısı (J/kgK)

d_p – Yangından koruma malzemesinin kalınlığı (m)

T_{fi} – Yangın sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_s – Çelik sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$\Delta T_{fi} - \Delta t$ süresince ortam yangın sıcaklığındaki artış (K)

λ_p – Yangından koruma sisteminin (malzemenin) ısı iletkenliği (W/mK)

ρ_p – Yangından koruma malzemesinin birim hacim kütlesi (kg/m^3)

4.4. Beton Kompozit Döşeme

Kompozit döşemelerde beton sınıfı olarak normal betona nazaran çoğunlukla hafif ağırlıklı beton kullanılır ve beton dökümü Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Birim hacim ağırlığı $\rho = 1600 - 1900 \text{ kg/m}^3$ arasındadır (Ermancık 2021).



Şekil 4.7. Kompozit döşemede beton dökümü

Tercih edilen beton sınıfları ve karakteristik değerleri Eurocode 2'ye göre Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. f_{ck} betonun 28 günlük karakteristik silindirik basınç dayanımı, f_{ctm} çekme dayanımı, $f_{ctk 0.05}$ karakteristik çekme dayanımı ve E_{em} kısa yüklemeler altındaki elastik modülüdür (Ermancık 2021).

Çizelge 4.1. Beton sınıfı ve karakteristik değerleri

	Beton sınıfı			
Karakteristik değerler	C20	C25	C30	C35
$f_{ck} (N/mm^2)$	20	25	30	35
$f_{ctm} (N/mm^2)$	2,2	2,6	2,9	3,2
$f_{ctk 0.05} (N/mm^2)$	1,5	1,8	2,0	2,2
$E_{em} (kN/mm^2)$	30	31	32	34

Hafif betonda karakteristik çekme gerilmesi değerleri Çizelge 4.1'deki değerlerin η katsayısıyla çarpılması sonucu elde edilir.

$$\eta = 0.30 + 0.70(\rho/2400) \quad (4.15)$$

Eurocode 4 'e (CEN 2005c) göre kompozit döşemelerde kullanılacak betonun dayanımı $20 N/mm^2$ - $50 N/mm^2$ sınıf aralığında olması gerekir (Ermancık 2021).

4.5. Kompozit Döşemede Profillenmiş Çelik Sac Özellikleri

Beton ile çelik sac arasında mekanik açıdan kenetlenme önemlidir. Beton ile çelik sac arasında kenetlenmeyi etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlardan bazıları farklı şekillerde ve soğukta biçimlendirilmesi, olukların derinlik ve açıklığı, tekrarlanma sıklığı ve mesafesi, genel sac ebatları ve sac ile betonun tutunmasını sağlayan farklı bağlantı aparatlarıdır. Ayrıca çelik saclarda korozyona sebebiyet vermemek açısından galvanizlenmesi ve galvaniz miktarının en az 275 g/m^2 miktarda olması gerekir. Şekil 4.8’de profillenmiş sac görünümü verilmektedir. Eurocode 4’e göre sac için minimum kalınlık 0,70 mm olarak belirtilmektedir (Cirpici 2019).

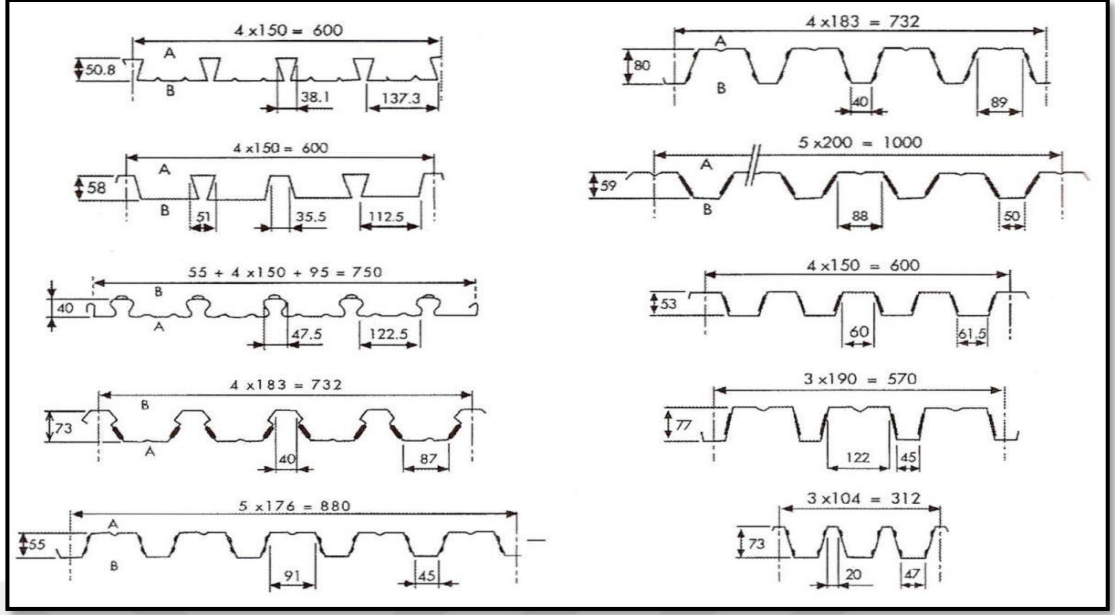


Şekil 4.8. Profillenmiş sac

Kompozit döşemede kullanılan çelik sacın akma dayanımı en az 220 N/mm^2 olması gerekirken daha emniyetli olması açısından 280 N/mm^2 ile 350 N/mm^2 arasında olan malzemeler kullanılmaktadır.

Şekil 4.9’da kompozit döşemede kullanılan sac ebatlarından bazı gösterimler verilmiştir. Bunun yanında kompozit döşemede kullanılan trapez sacın en kesit özellikleri gösterilmektedir (CEN. 2005c).

4. YÜKSEK SICAKLIKTAKİ ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ



Şekil 4.9. Kompozit döşemelerde tercih edilen çelik sac şekilleri

4.6. Ana Taşıyıcı Sistemler Çelik Kolon –Kiriş–Çaprazlar

4.6.1. Çelik kolon

Kolonlar, döşeme ve kirişlerden gelen yükleri zemine aktaran düşey yapı elemanlarıdır. Çelik yapı kolonları genellikle eksenel basınca çalıştırılır.

Çelik kolon avantajları:

- Montajı kolay ve rahattır;
- Dayanıklı çerçeve oluşturmaktadır;
- Yük direncine sahiptirler;
- Mukavemet özellikleri yüksektir.

4.6.2. Çelik kiriş

Kirişlerin taşıyıcı sistem içinde iki görevi vardır. Bunlardan birincisi; döşemeden gelen sabit (ölü), hareketli yük ve varsa üzerindeki duvar yüklerini, mesnetlendikleri

kolon ya da perdelerle aktarmaktır. İkincisi ise; deprem ve rüzgâr yüklerini, döşemelerle birlikte düşey taşıyıcı elemanlara (kolon ve perde) aktarmaktır.

4.6.3. Çelik çaprazlar

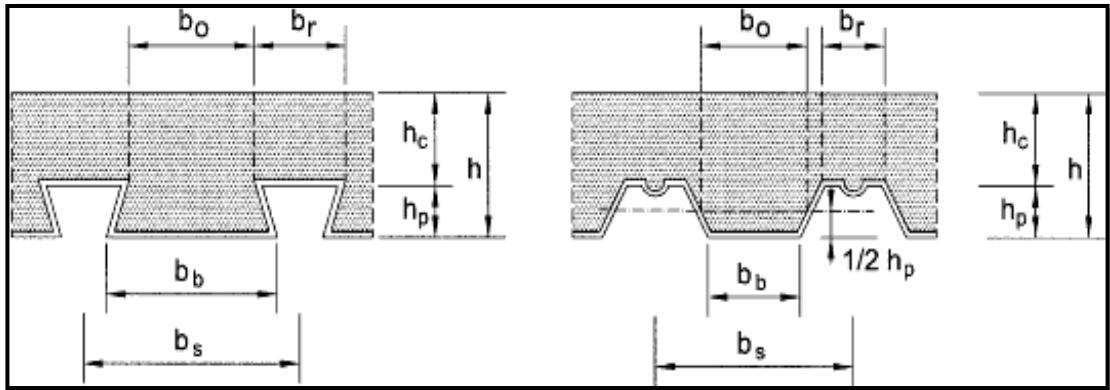
Rijit veya mafsallı çerçeve yapılarda yatay yüklerin etkisi çapraz elemanlar tarafından önlenir. Çapraz elemanlar ile kolonlar kafes kiriş gibi çalışır. Binaya gelen yatay yükler (basınç ve çekme) yatay bileşenler tarafından karşılanır ve çapraz elemanlar yatay yük altında yüksek mukavemet gösterebilmektedir (Çavdar 2017).

4.7. Yapısal (Konstrüktif) Kurallar

4.7.1. Döşeme kalınlığı ve donatı

Eurocode 4'e göre kompozit döşemelerde (CEN. (2005c):

- Şekil 4.10'da gösterilen boyutlara göre h değeri minimum 80 mm ve sac üstündeki beton kalınlığı olan h_c minimum 40 mm olmalıdır. Kiriş ve sac rüzgâr bağlantıları için yanıl olarak taşıyıcılığı varsa h 90 mm ve h_c 50 mm'den az olmamalıdır.
- Boyuna ve enine doğrultuda donatı miktarı $80 \text{ mm}^2/\text{m}$ 'den az olmamalıdır.
- Donatıların aralıkları $2h$ ve 350 mm'yi geçmemelidir.



Şekil 4.10. Çelik sac ve döşeme için boyutlar

4. YÜKSEK SICAKLIKTAKİ ÇELİK MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

Betonda kullanılan agregaların dane çapı için maksimum değerler şöyledir;

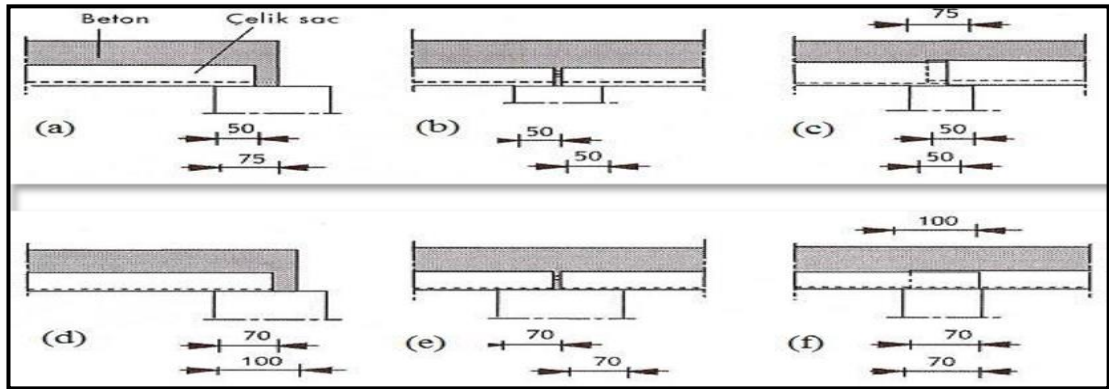
- $0,4h_c$
- $b_0/3$
- $< 31,5 \text{ mm}$

Kompozit döşemelerde oluşabilecek rötre çatlaklarını en aza indirebilmek için, x ve y doğrultularında tüm döşeme alanını saracak şekilde donatılar sabitlenmelidir. Kullanılacak donatı nervürlü donatı olması tercih edilmeli ve hasır çelikte boyuna ve enine doğrultuda beton en kesitinin %0,2'si kadar bir oranda yerleşimi yapılmalıdır (Ermancık 2021).

4.7.2. Mesnetlenme koşulları

Kompozit döşemelerde beton altı olarak kullanılan çelik sac, döşeme ve kiriş gibi sabit ve geçici mesnetlerde tercih edilir. Eurocode 3'e göre çelik sacın sabit mesnetler üzerine kullanılabilmesi için gerekli şartlar Şekil 4.11'de belirtilmiştir.

- Şekil 4.11'de a,b,c şekillerine göre çelik ve beton üzeri mesnetlenme görünümü.
- Şekil 4.11'de d,e,f şekillerine göre dolgu duvar gibi diğer malzemelere mesnetlenme görünümü.

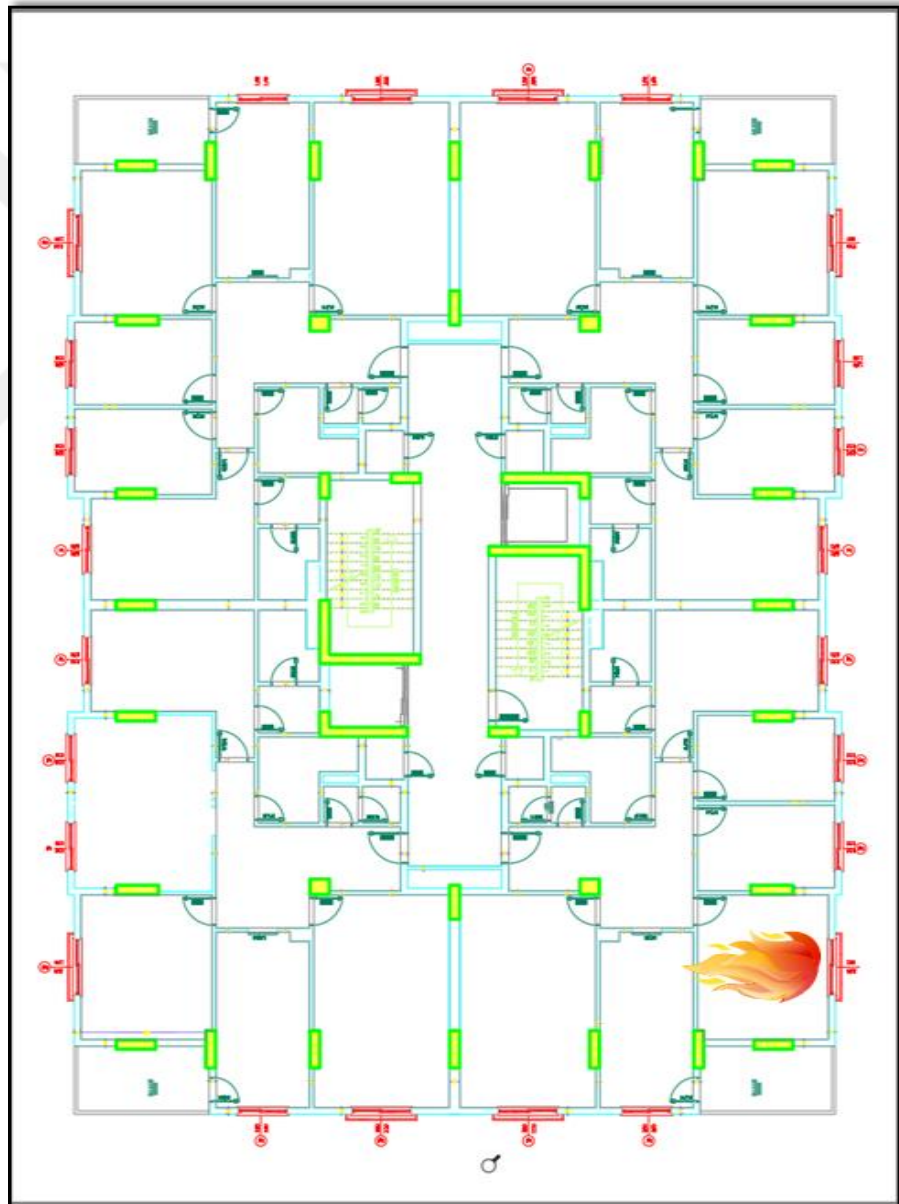


Şekil 4.11. Minimum mesnetlenme koşulları

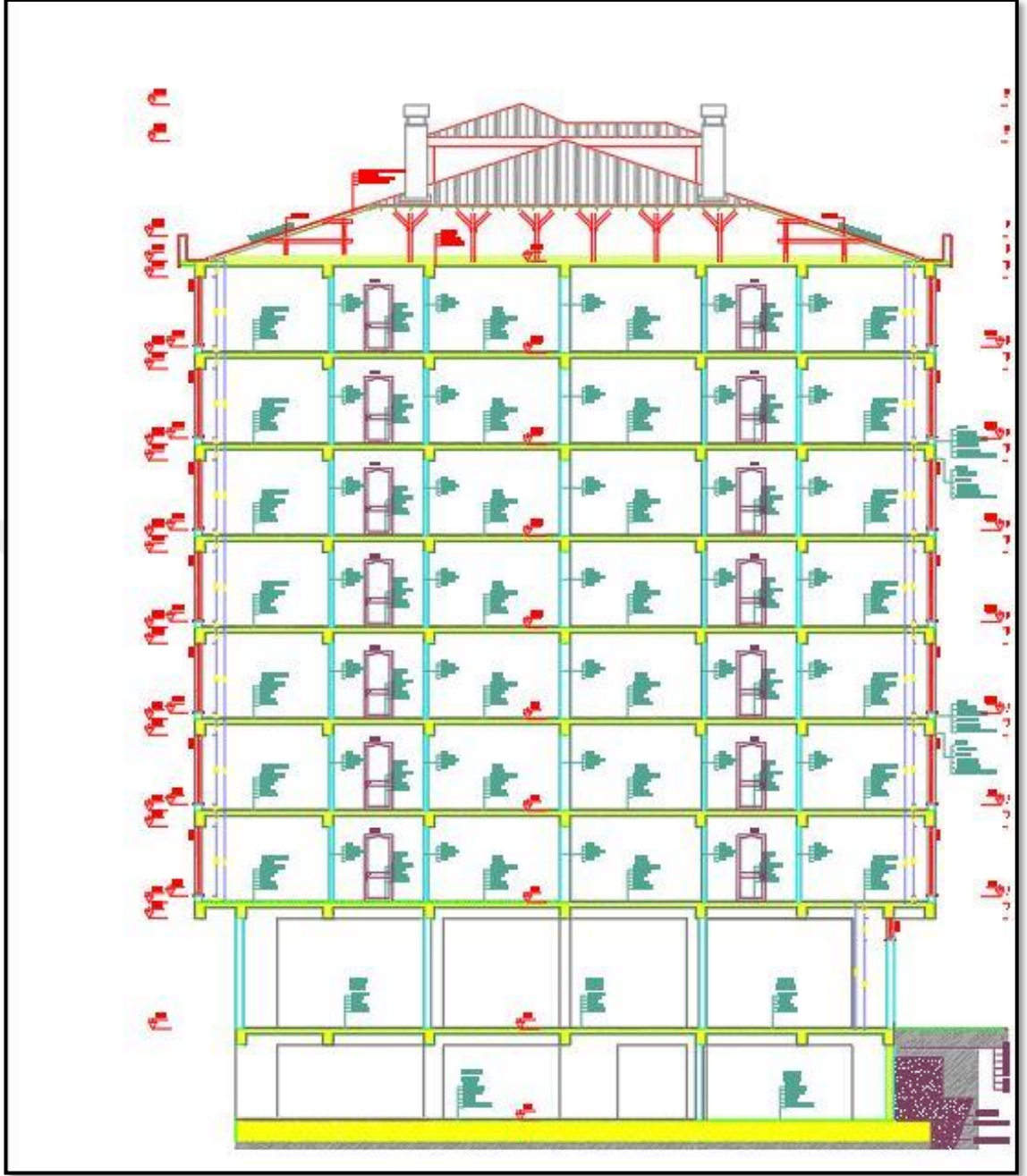
5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1. Çelik Binanın SAP2000’de Tasarım ve Modellenmesi

Bu bölümümüzde, 8 katlı bir yapının mimari projeye (Şekil 5.1 ve 5.2) uygun olarak çelik tasarım-modellemesi yapılarak çelik elemanlarımız için en ideal kesit tanımlaması yapılmıştır. Tasarım modelleme ile analiz aşamaları adım adım anlatımı yapılmıştır.



Şekil 5.1. Mimari proje kat planı



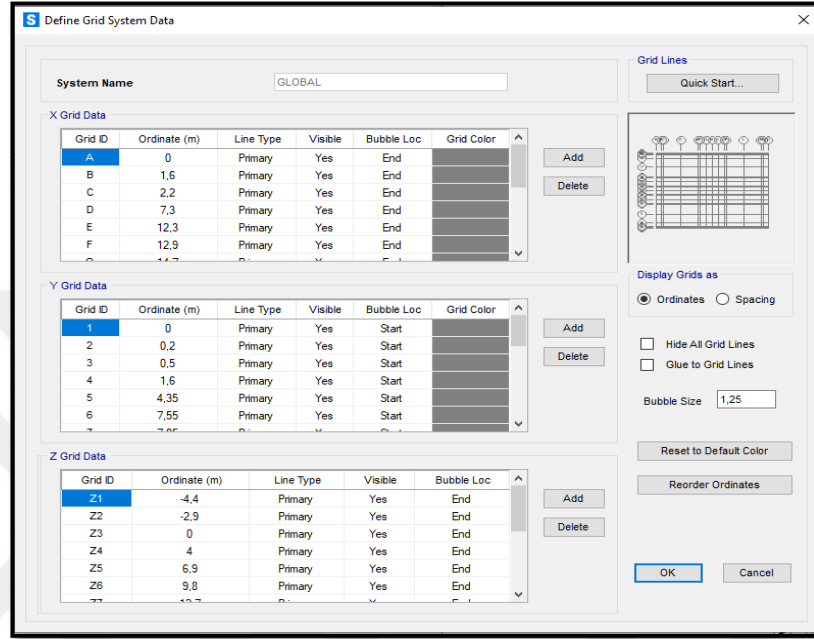
Şekil 5.2. Mimari proje kesit görünümü

Bina, düşey yüklere ve deprem yüklerine göre tasarımı öngörülmüştür. Yapının plandaki boyutlaması 32,9 m × 23,4 m'dir. Bodrum ve 8 kattan oluşmaktadır. Bodrum Kat yüksekliği 2,9 m, Zemin Kat yüksekliği 4,0 m ve Normal Kat yüksekliği 2,9 m'dir.

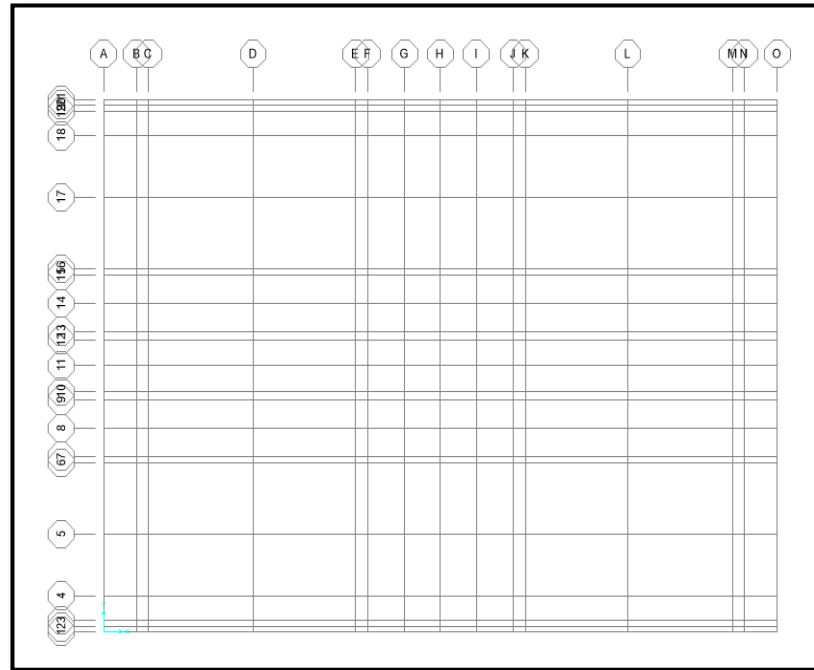
5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1.1. Aksların oluşturulması

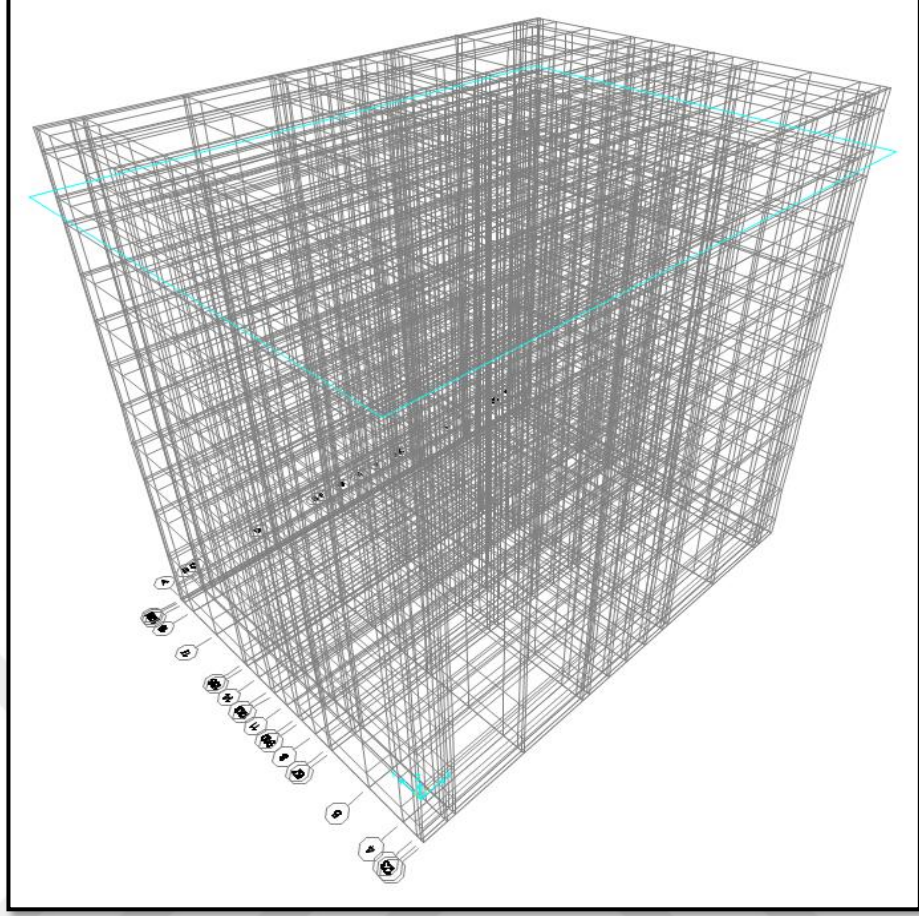
X– yönünde 8 açıklıklı 15 akslı, Y– yönünde 6 açıklıklı 21 akslı yapımızın taşıyıcı elemanların uygun yerleşimi açısından aksları tanımlandı (Şekil 5.3 ve 5.4).



Şekil 5.3. Aks mesafelerinin belirlenmesi



Şekil 5.4. Yatay aksların görünümü



Şekil 5.5. Yatay ve düşey aksların görünümü

5.1.2. Avrupa standardına (Europe) göre malzeme tanımlanması

Çelik yapımızda kullanacağımız elemanlar için Europe'a göre malzeme tanımlanması yapıldı.

- Çelik malzemesi için; S355 (ST 52) seçildi.
- Kompozit döşeme için; C16 /20 hafif beton seçimi yapıldı.
- Seçilen malzeme özellikleri Şekil 5.6'da verilmiştir.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box, showing the configuration for different materials.

Left Window (Steel):

- General Data:** Material Name and Display Color: S355 (ÇELİK) ST 52; Material Type: Steel; Material Grade: S355; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 76.9729; Mass per Unit Volume: 7.8491; Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E: 2.100E+08; Poisson, U: 0.3; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05; Shear Modulus, G: 80769231.
- Other Properties For Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy: 355000; Minimum Tensile Stress, Fu: 510000; Expected Yield Stress, Fye: 390500; Expected Tensile Stress, Fue: 561000.
- ☐ Switch To Advanced Property Display
- Buttons: OK, Cancel

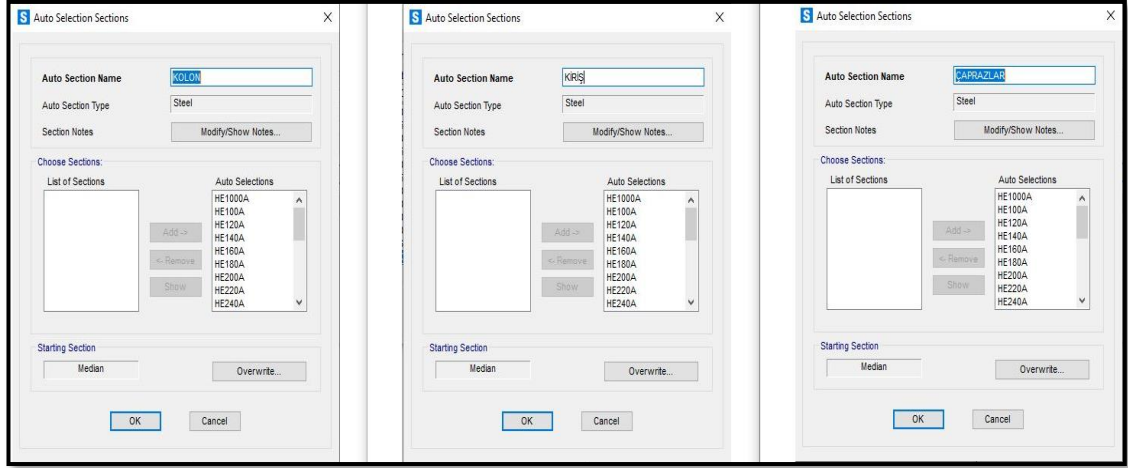
Right Window (Concrete):

- General Data:** Material Name and Display Color: DÖŞEME BETONU - C16/20; Material Type: Concrete; Material Grade: C16/20; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 24.9928; Mass per Unit Volume: 2.5485; Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E: 29000000; Poisson, U: 0.2; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05; Shear Modulus, G: 12083333.
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 16000; Expected Concrete Compressive Strength: 16000; ☒ Lightweight Concrete; Shear Strength Reduction Factor: 1.
- ☐ Switch To Advanced Property Display
- Buttons: OK, Cancel

Şekil 5.6. Malzeme tanımlanması

5.1.3. Çelik profillerin kesitlerinin belirlenmesi

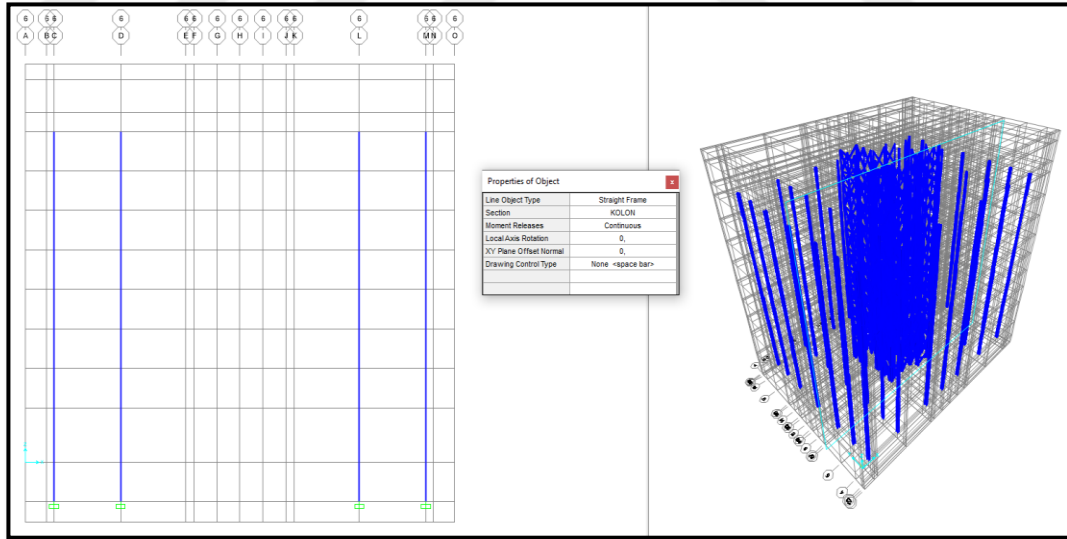
Tanımlamış olduğumuz S355 çelik sınıfı Euro.pro malzemesine göre; Kolon, Kiriş ve Çaprazlar HE 100A – HE 1000A arası kesitler otomatik seçim (Auto Select) olarak tanımlandı.



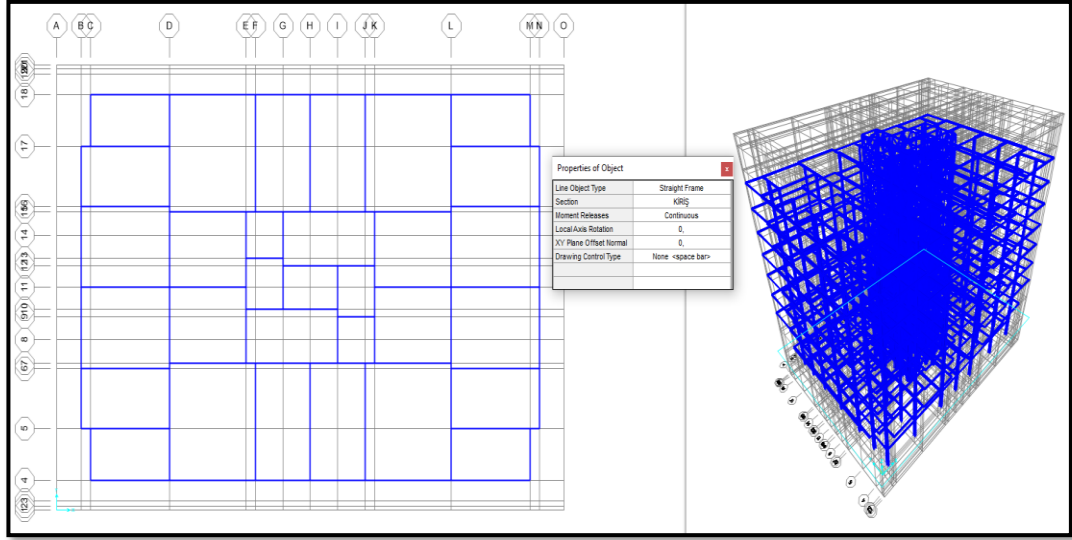
Şekil 5.7. Çelik elemanlarının kesitlerinin tanımlanması

5.1.4. Çelik yapıda kolon-kiriş yerleşimi

Mimari projeye uygun olması için kolon-kiriş dizaynında yön kısmı önem arz etmektedir. Bu durum baz alınarak kolon – kiriş yerleşimi uygun bir şekilde yapılmıştır.



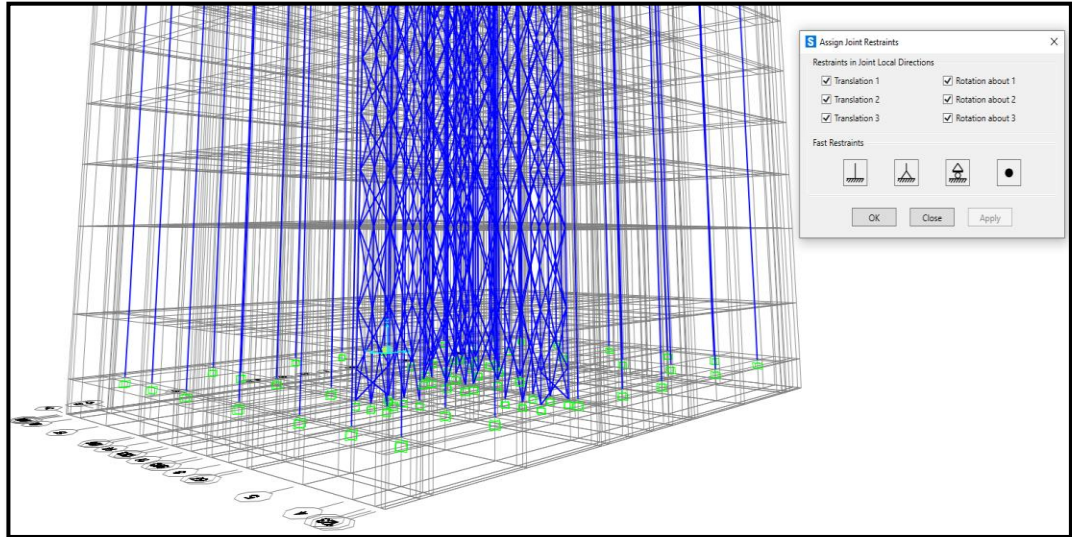
Şekil 5.8. Kolon yerleşim görünümü



Şekil 5.9. Kiriş yerleşim görünümü

5.1.5. Mesnetlerin belirlenmesi

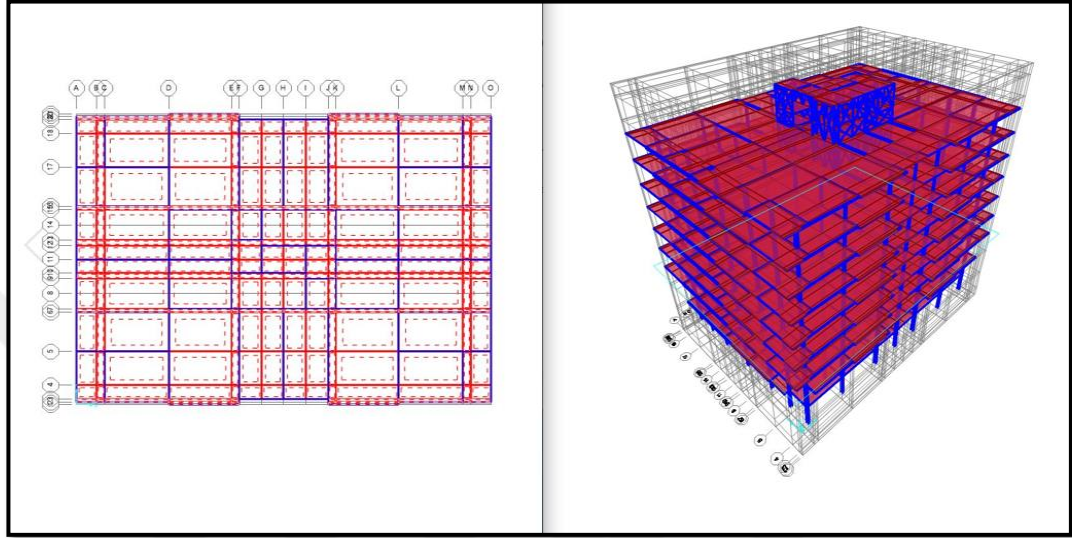
Tasarımımız için bağlandığı elemanın yatay ve düşey doğrultuda hareketini, dış kuvvetlerin etkisiyle de dönmesini engelleyen mesnet çeşidi olan ankastre mesnet seçimi yapılmıştır.



Şekil 5.10. Ankastre mesnet görünümü

5.1.6. Kompozit döşeme yapılması

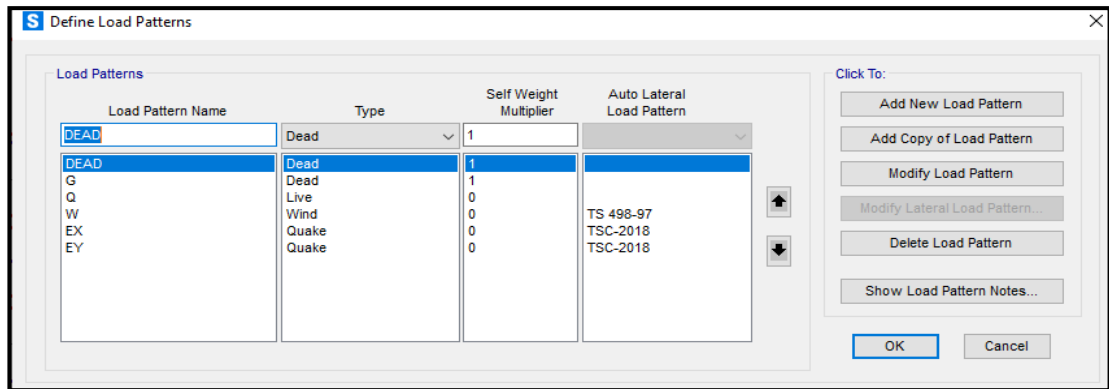
Tasarımımızda döşeme her kat için oluşturulup yükleme durumu için alt zemin oluşturulmuştur. Yapı tasarımımızda kat döşemelerinde diyafram ataması yapılmıştır.



Şekil 5.11. Döşeme oluşturulması ve görünümü

5.1.7. Yapıya etki eden yüklerin tanımlanması

Yapımıza etki eden: (G) Ölü (Sabit) Yük; (Q) Hareketli Yük; (W) Rüzgar Yükü; (E_x) ve (E_y) Deprem yükü olarak tanımlanmıştır.

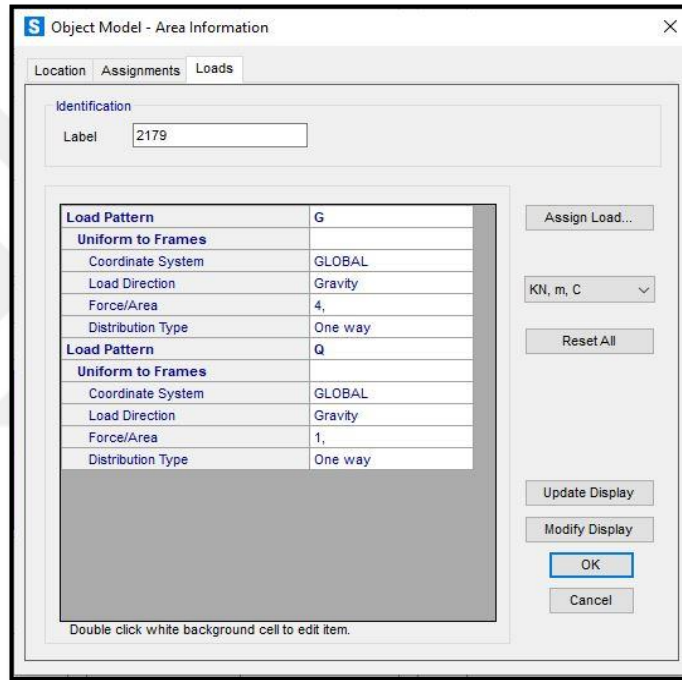


Şekil 5.12. Yüklerin tanımlanması

Yapıya etki eden yükler yukarıdaki standartlara göre belirlendikten sonra yapısal hesaplamalarda kullanılan düşey yükler aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

Çizelge 5.1. Modelde kullanılan yükler

MAHAL	Sabit yük (KN/m ²)	Hareketli yük (KN/m ²)
Çatı katı	4	1
Normal kat	5	2
Dış duvar yükü	3	-



Şekil 5.13. Çatı katı yükleme

Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 4719

Load Pattern	G
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	5,
Distribution Type	One way
Load Pattern	Q
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	2,
Distribution Type	One way

Assign Load...

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

Şekil 5.14. Normal kat yüklemesi

Object Model - Line Information

Location Assignments Loads Design

Identification

Label 3066 Design Procedure Steel Frame

Load Pattern	G
Distributed Force	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Start Force/Length	3, at 0,
End Force/Length	3, at 7,1

Assign Load...

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

Şekil 5.15. Dış duvar yüklemesi

Çatı katı ve Normal kat yüklemeleri Döşemeye Dış duvar yükleri dış kirişlere etki ettirilmiştir.

5.1.8. Sismik tehlike haritası detay raporu

Çelik tasarım yapı projemiz Erzurum ili merkezinde yapılacak ve yapının yer zemin sınıfı ZC olup (çok sıkı kum çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar), Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi)'dir.



22.11.2021 20:37
Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu




Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	proje-		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	
Enlem:	39.870322°		
Boylam	41.240876°		

Çıktılar

$S_s = 1.117$	$S_1 = 0.291$	$PGA = 0.468$	$PGV = 28.452$
---------------	---------------	---------------	----------------

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/detayliRapor.xhtml>
1/6

Şekil 5.16. Türkiye deprem tehlike raporu

22.11.2021 20:37

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu

Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

<https://tdih.afad.gov.tr/TDTH/detayliRapor.xhtml>

2/6

Şekil 5.17. Yerel zemin sınıfları

22.11.2021 20:37

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

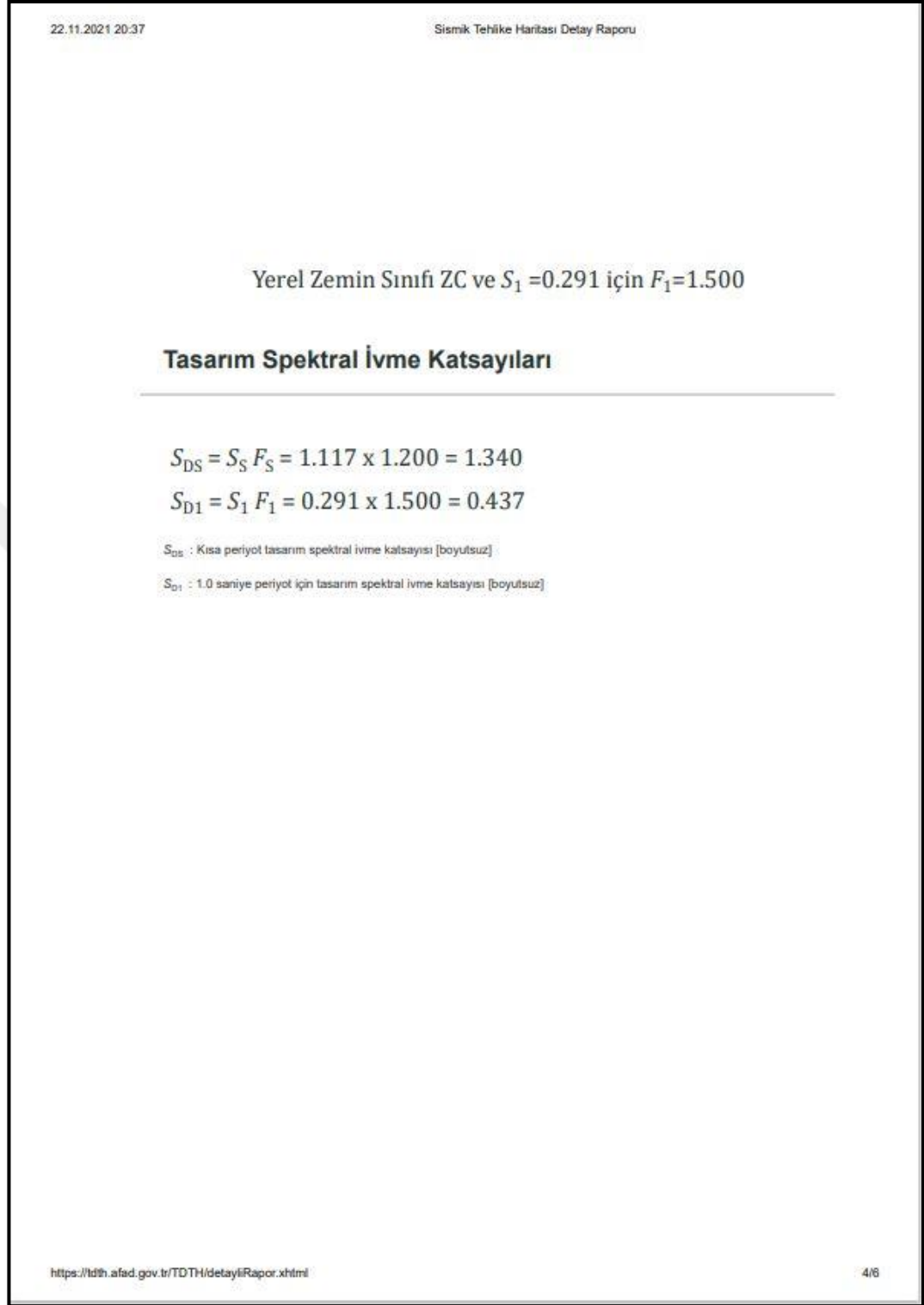
Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_S = 1.117$ için $F_S = 1.200$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/detayliRapor.xhtml>

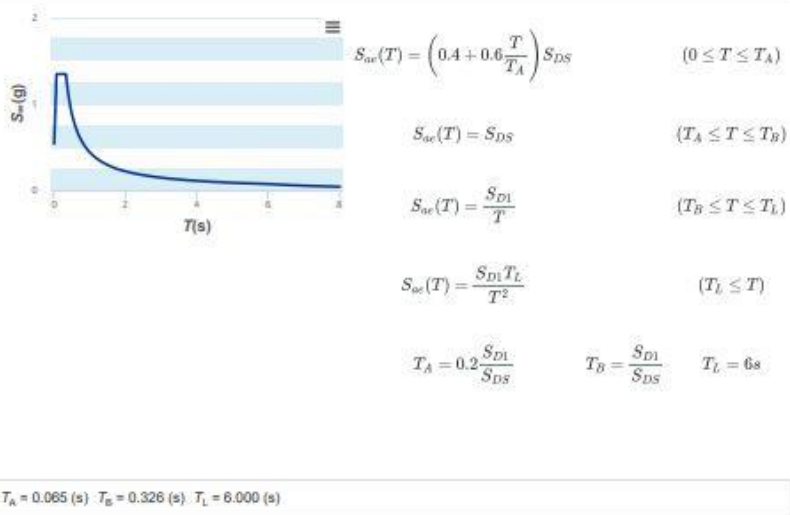
3/6

Şekil 5.18. Yerel zemin etki katsayıları

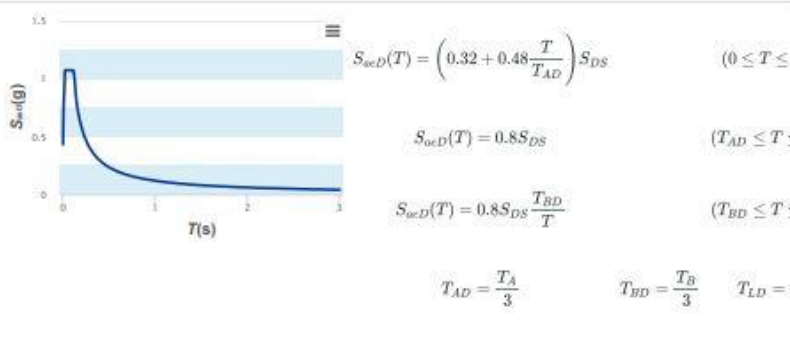


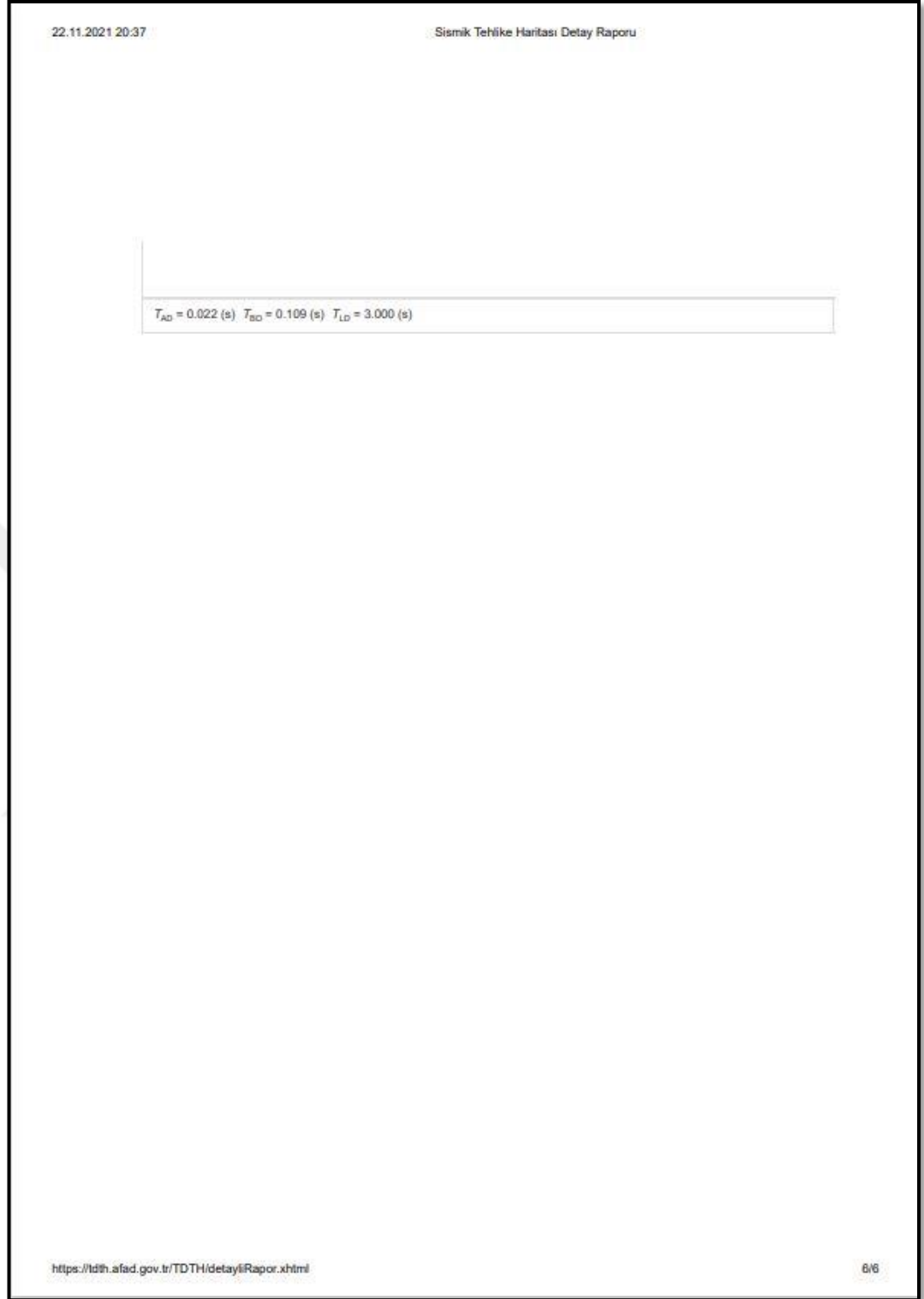
Şekil 5.19. Tasarım spektral ivme katsayıları

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu





Şekil 5.20. Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu

5.1.9. Güvenlik katsayıları (GKT) ile kombinasyon oluşturulması

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenmiştir.

- G
- G+Q
- G+W
- G+0,7EX
- G+0,7EY

G =sabit (ölü) yük,

Q =hareketli yük,

W =rüzgar yükü,

EX= Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, (X) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5 i ve - %5 i kadar kaydırılması sonucu belirlenen noktalara ve ek bir yüklemeyle kat kütle merkezine uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler

EY= Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, (Y) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5 i ve - %5 i kadar kaydırılması sonucu belirlenen noktalara ve ek bir yüklemeyle kat kütle merkezine uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler (Beyen 2008).

Türkiye Deprem Tehlike Raporu ve TBDY-2018’de yapımızın deprem etkisi altında dayanım durumu tasarım için hesap esaslarına göre özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. TBDY-2018'e göre yapımızın deprem etkisi altında genel esaslar

TBDY-2018'E GÖRE YAPIMIZIN ÖZELLİĞİ									
BİNA KULLANIM SINIFI	DEPREM TASARIM SINIFI	BİNA ÖNEM KATSAYISI	BİNA YÜKSEKLİĞİ	BİNA YÜKSEKLİK SINIFI	TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYISI	DAYANIM FAZLALIĞI KATSAYISI	KISA PERİYOT HARİTA SPEKTRAL İVME KATSAYISI	1.0 SN PERİYOT İÇİN HARİTA SPEKTRAL İVME KATSAYISI	TANIMLANAN SPEKTRUM PERİYOTU
BKS	DTS	I	H _N (m)	BYS	R	D	S _s	S ₁	T _L
3	2	1	27,2	5	8	2,5	1,117	0,291	6

TBDY-2018'e göre süneklilik düzeyi üç kısımdan oluşmakta, bunlar süneklilik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler (SMF), süneklilik düzeyi karma taşıyıcı sistemler (IMF) ve süneklilik düzeyi sınırlı (OMF) taşıyıcı sistemlerdir. TBDY-2018, Tablo 4.1 çelik bina taşıyıcı sisteme göre C.12 deprem etkilerinin tamamının süneklilik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı yapılar özelliğine göre; $R=8$, $D=2,5$ ve $BYS=5$, deprem bölgesi tehlike raporuna göre $S_s = 1,117$, $S_1 = 0,291$, $T_L = 6$ olarak belirlenmiştir.

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

- ☒ Global X Direction
- ☐ Global Y Direction
- Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05
- Override Diaph. Eccen.: Override...

Time Period

- ☐ Approx. Period C_t (m), $x =$
- ☒ Program Calc C_t (m), $x =$ 0.10; 0.75
- ☐ User Defined $T =$

Lateral Load Elevation Range

- ☒ Program Calculated
- ☐ User Specified
- Reset Defaults
- Max Z
- Min Z

Seismic Coefficients

- 0.2 Sec Spectral Accel, S_s : 1.117
- 1 Sec Spectral Accel, S_1 : 0.291
- Long-Period Transition Period: 6
- Site Class: ZC
- Site Coefficient, F_s : 1.2
- Site Coefficient, F_1 : 1.5
- Calculated Coefficients
- $SDS = F_s * S_s$: 1.3404
- $SDS = F_1 * S_1$: 0.4365

Factors

- Response Modification, R : 8
- System Overstrength, D : 2.5
- Occupancy Importance, I : 1

OK Cancel

Şekil 5.21. X- yönü sismik değerlerin tanımlanması

5. MATERYAL ve YÖNTEM

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☐ Global X Direction
☒ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

☐ Approx. Period
☒ Program Calc
☐ User Defined

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified

Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period

Site Class
Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss
SDS = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 5.22. Y- yönü sismik değerlerin tanımlanması

Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1,
6 Design System Rho	1,
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8,
9 Design System Omega0	3,
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	ASD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Omega(Bending)	1.67
16 Omega(Compression)	1.67
17 Omega(Tension-Yielding)	1.67
18 Omega(Tension-Fracture)	2,
19 Omega(Shear)	1.67
20 Omega(Shear-Short Webbed Rolled I)	1.5
21 Omega(Torsion)	1.67
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No

Item Description

Explanation of Color Coding for Values

Blue: Default Value

Black: Not a Default Value

Red: Value that has changed during the current session

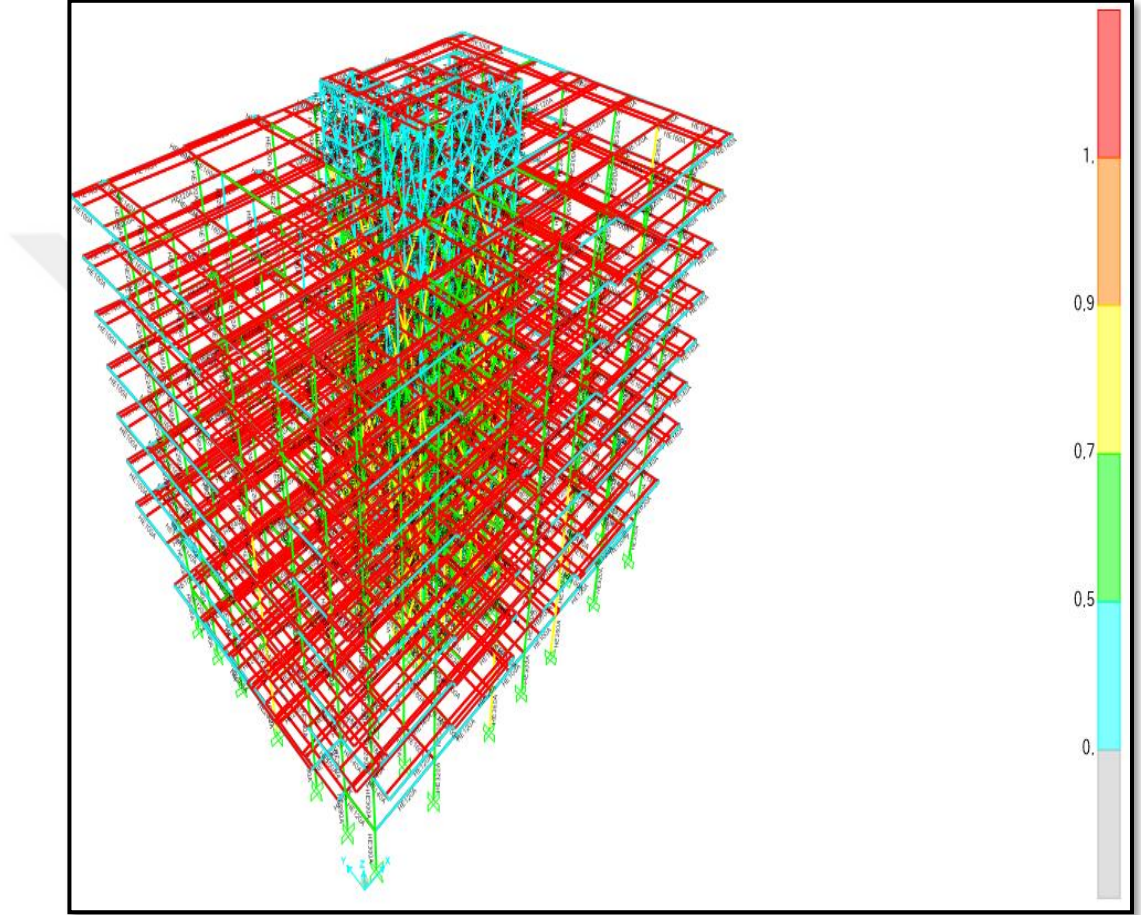
Set To Default Values

Reset To Previous Values

Şekil 5.23. The American institute of steel construction (AISC) standartları

Şekil 5.23'e göre SAP2000'de AISC standart tanımlamamızda, süneklilik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler (SMF), güvenlik gerilmeleri ile tasarım (ASD) seçilip analiz yapıldı.

5.1.10. Modellenen çelik yapının SAP2000'de kesit analizi



Şekil 5.24. Çelik yapının analiz sonucu 3 boyutlu görünümü

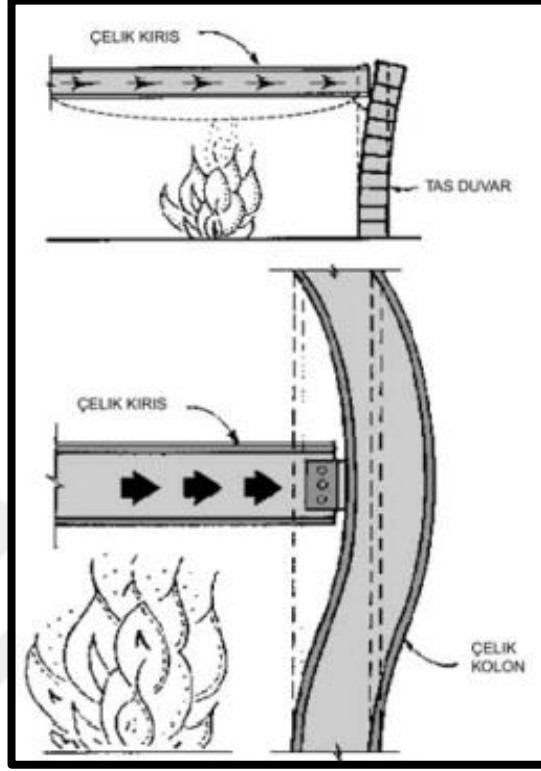
Analiz sonucu, taşıyıcı (kolon kiriş ve çapraz) elemanlarda en ideal kesitler seçilerek ekonomik ve mukavemet açısından uygunluk arandı.



Şekil 5.25. Çelik yapımızın analiz sonucu 4 aksı çelik kolon ve kiriş eleman boyutları

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

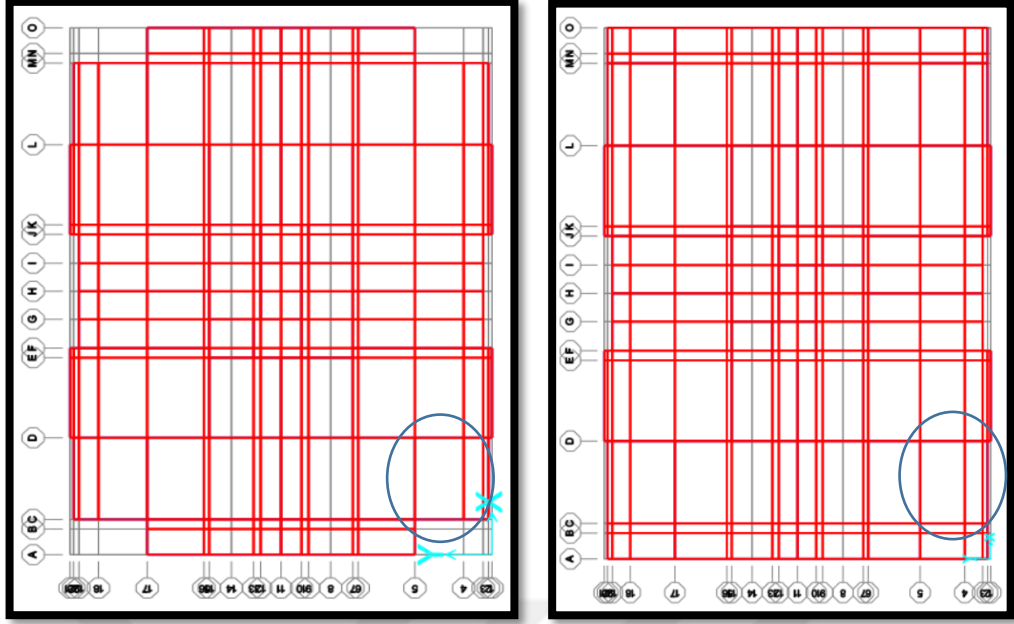
6.1. Yüksek Sıcaklıklarda Kolon, Kiriş, Döşeme Dizaynı ve Performans Analizi



Şekil 6.1. Çelik yapı elemanlarının yangın anındaki davranışı (Demirel ve Özkan 2003)

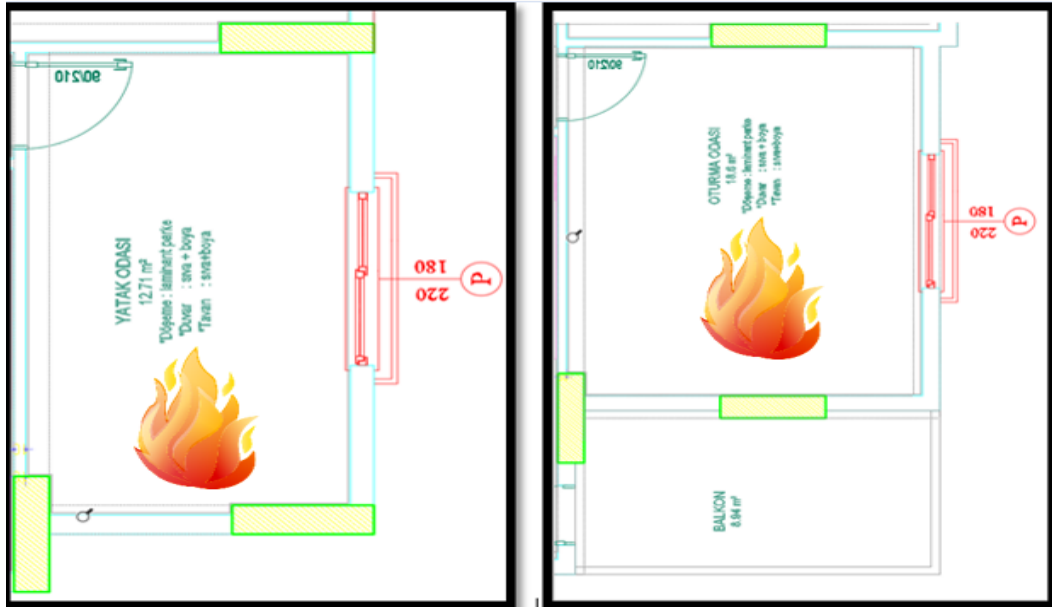
Çelik malzemesinin ısı iletkenliği fazla olması nedeniyle yangın anında yüksek sıcaklığı diğer yapı elemanlarına iletir. Böylece çelik elemanlar ısınır ve dayanımlarını yitirirler. Yüksek sıcaklıkta çelik malzemelerinde kalıcı şekil değişimleri oluşur. Isınan çelikte uzama olup birleşim yerlerinde farklılıklar oluşur. Böylelikle çelik kolon ve çelik kirişlerin taşıma kapasitesinde azalmalar meydana gelir. Yüksek ısı çelik elemanlarında elastisite modülünde ve akma gerilmesinin azalmasına sebep olur. Böylece çelik taşıyıcı sistemlerde yer değiştirmeler meydana gelerek dayanımlarını yitirirler.

Yüksek sıcaklığın kolon, kiriş ve döşemeyi etkilediği kısmın mahall özellikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



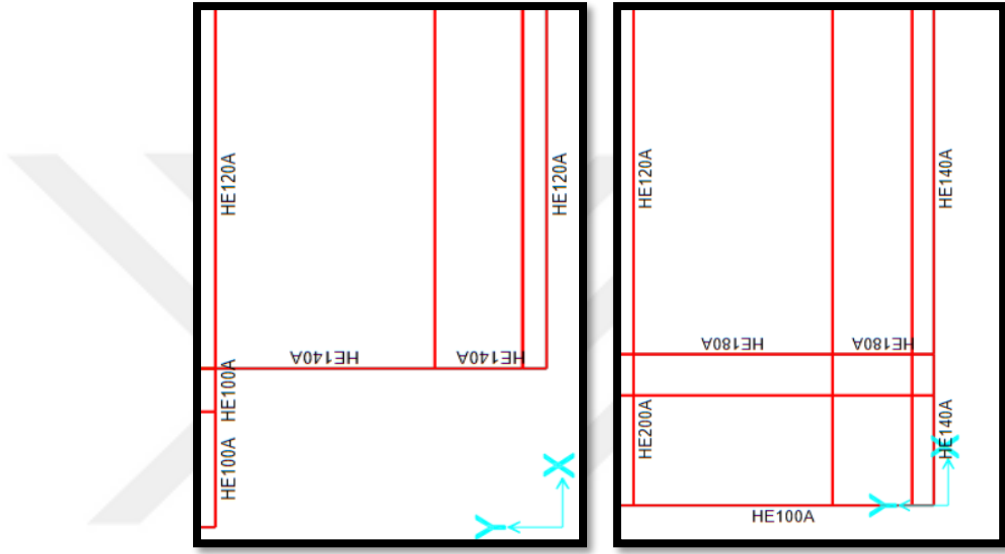
Şekil 6.2. Referans alınacak yapının (konut) zemin ve normal kat görünümü

Yangın senaryosunun meydana geldiği 2-5/C-D aks arası kısmı daire içine alınarak belirtilmiştir.

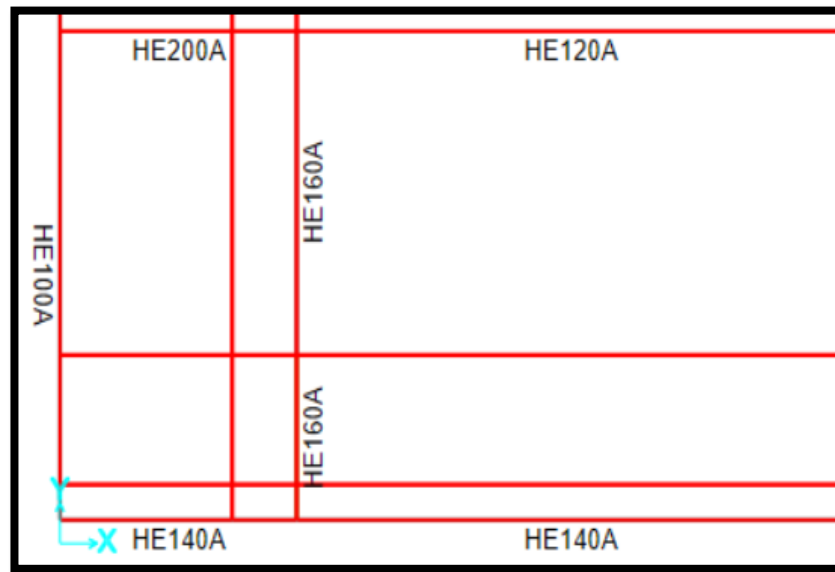


Şekil 6.3. Zemin kat ve normal katlarda yüksek ısıya maruz kalan mahaller

Yangın senaryosu yapının köşe kısmında oluşturulmuş, köşe kolon ve kiriş yapı elemanlarının dayanım kaybı nedeniyle yapıda yanal ötelenme sonucu göçmenin etkili olacağı öngörülmüştür. Ayrıca, geçmişte yaşanan yangınlarda (Örneğin; İkiz Kuleler Dünya Ticaret Merkezi) köşe kolonların ve kirişlerin dayanımlarının yangın esnasında hızlıca kaybetmelerinden ötürü kulelerin diğer etraftaki kulelerin üzerine yıkılmasıyla sonuçlanmıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında da köşe bölümdeki yangın senaryosu hedeflenmiştir.



Şekil 6.4. Zemin ve 1. Kat SAP2000 analizi kat kiriş detayı



Şekil 6.5. 2-3-4-5-6-7. Kat SAP2000 analizi kat kiriş detayı

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

6.1.1. Kolon-kiriş dizaynı

Çizelge 6.1. Kolon ve kirişlerde sıcaklık hesabı için mahallerin özelliği

Kolon ve kirişlerde sıcaklık hesabı için mahallerin özelliği		B (m)	L (m)	H (m)	A _f (m ²)	A _v (m ²)	h (m)	A _t (m ²)	G _k (kN/m ²)	Q _k (kN/m ²)	E _t (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)
Zemin kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	4	12,7	3,96	2,2	68,9	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	4,15	2,55	4	12,7	3,96	2,2	68,9	5	2	210000	355
1. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
2. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
3. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
4. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
5. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
6. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
7. kat	4c aks kolonu	2,78	2,55	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355
	1-5/C aks kirişi	3,65	4,15	2,9	18,6	3,96	2,2	87,5	5	2	210000	355

Kolon dizaynında B (span açıklığı); x yönünde yükünü taşıdığı kirişlerin uzunluğunun yarılarının toplamı, L; y yönünde yükünü taşıdığı kirişlerin uzunluğunun yarılarının toplamı, H; kolonun kat yüksekliği, A_f ; Mahal alanı, A_v ; mahalde bulunan cam alanı, h; mahaldeki pencere yüksekliği, A_t ; mahaldeki tüm yüzey alan, G_k ; sabit yük, Q_k ; hareketli yük, E_t ; Elastisite modülü, f_y ; akma dayanımı

Kiriş dizaynında B; x yönünde iki kolon arasındaki mesafe/2 L; y yönünde iki kolon arası mesafe/2

Analizlerde yük kombinasyonu için Eurocode'a göre $1,35G_k + 1,5Q_k$ uygulanmıştır.

Yangın Dayanıklılık Sınıfı: Bir yapı malzemesi ve/veya elemanını uygun ısıtma ve basınç koşulları altında TS 1263, TS 4065 ile ilgili Avrupa Standartlarında belirlenen yanmaya dayanıklılık deneyleri sonucunda saptanan yangına dayanıklılık süreleri aşağıdaki gibidir.

- Yangına dayanıklılık süresi 30-59 dakika olan F30,
- Yangına dayanıklılık süresi 60-89 dakika olan F60,
- Yangına dayanıklılık süresi 90-119 dakika olan F90,
- Yangına dayanıklılık süresi 120-179 dakika olan F120,
- Yangına dayanıklılık süresi 180 dakika ve yukarısı olan F180

Süre seçimi nüfus yoğunluğuyla paralellik göstermekle beraber konut yapısı olarak 60-89 dakika aralığında olan F60 standardı baz alınıp 60 dk'lık yangın etkisi hedeflenmiştir.

Geliştirilen matematiksek modellerde uygulanan yangın Standard (ISO 834) yangın eğrisidir. Elde edilen sonuçlar (sıcaklık hesaplamalar vb.) bu süreye kadar olan sonuçlardır. Modellerde uygulanan yangın yükü oranı %90 olarak alınmıştır (PD 6688-1-2:2007, Tablo A.2.) (CEN 2002).

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapısal hesaplamaların yapılabilmesi ve geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilir olması için Microsoft Excel – Makrolar kullanılmıştır. Farklı katlarda kolon ve kiriş elemanlarının korumalı ve korumasız durumuna göre çelik elemanlarımızın sıcaklık tahkikleri Çizelge 6.2’de düzenlenmiştir.

Çizelge 6.2. Farklı katlarda kolon ve kiriş elemanlarının korumalı ve korumasız sıcaklık durumları.

ZEMİN KAT	4C AKS KOLONU HE300A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	938,71	13,5 mm
	4C AKS KOLONU HE300A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	938,71	18 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ; HE140A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	940,11	22 mm
1. KAT	4C AKS KOLONU HE280A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,28	14 mm
	4C AKS KOLONU HE280A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	939,28	19 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ; HE180A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,4004	22 mm
2. KAT	4C AKS KOLONU HE300A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	938,71	13,5 mm
	4C AKS KOLONU HE300A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	938,71	18 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm

Çizelge 6.2. (devam)

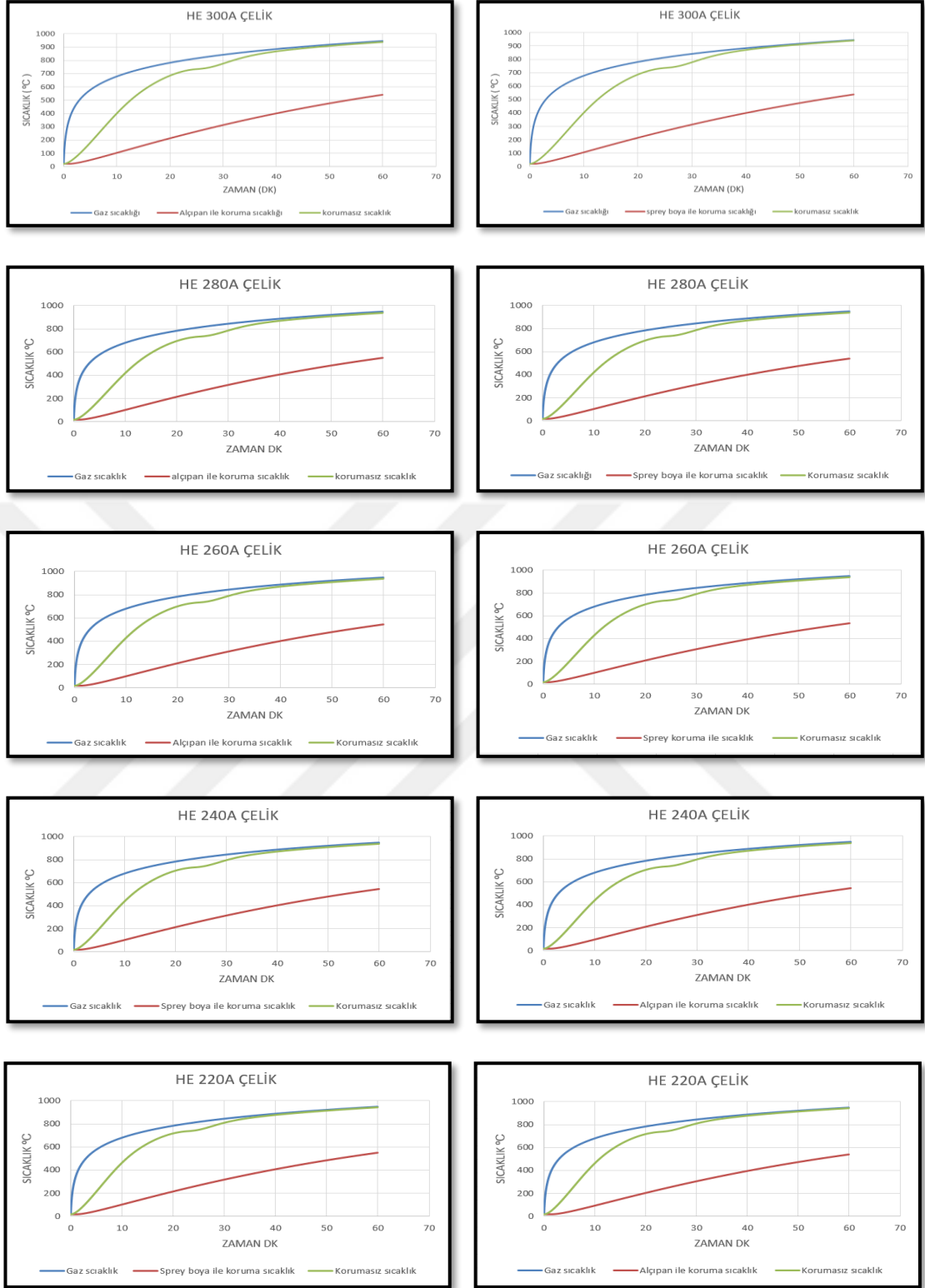
3. KAT	4C AKS KOLONU HE260A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,53	14,5 mm
	4C AKS KOLONU HE260A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	939,53	20 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm
	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,79	15 mm
4. KAT	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,79	15 mm
	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	939,78	20 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm
	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,79	15 mm
5. KAT	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,79	15 mm
	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	939,78	20 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm
	4C AKS KOLONU HE240A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,79	15 mm
6. KAT	4C AKS KOLONU HE220A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	940,3	16 mm
		60'	945,34	940,3	540,77

Çizelge 6.2. (devam)

	4C AKS KOLONU HE220A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	940,3	21 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm
	4C AKS KOLONU HE260A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,52	14,5
7. KAT	4C AKS KOLONU HE260A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,3401	939,52	20 mm
	1-5/C AKS KİRİŞİ ; HE160A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Sprey Korumalı Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,64	21 mm
	4C AKS KOLONU HE260A	Zaman	Gaz Max sıcaklık °C	Korumasız Max Sıcaklık °C	Kutu Alçıpan Koruma Max Sıcaklık °C
		60'	945,34	939,52	14,5

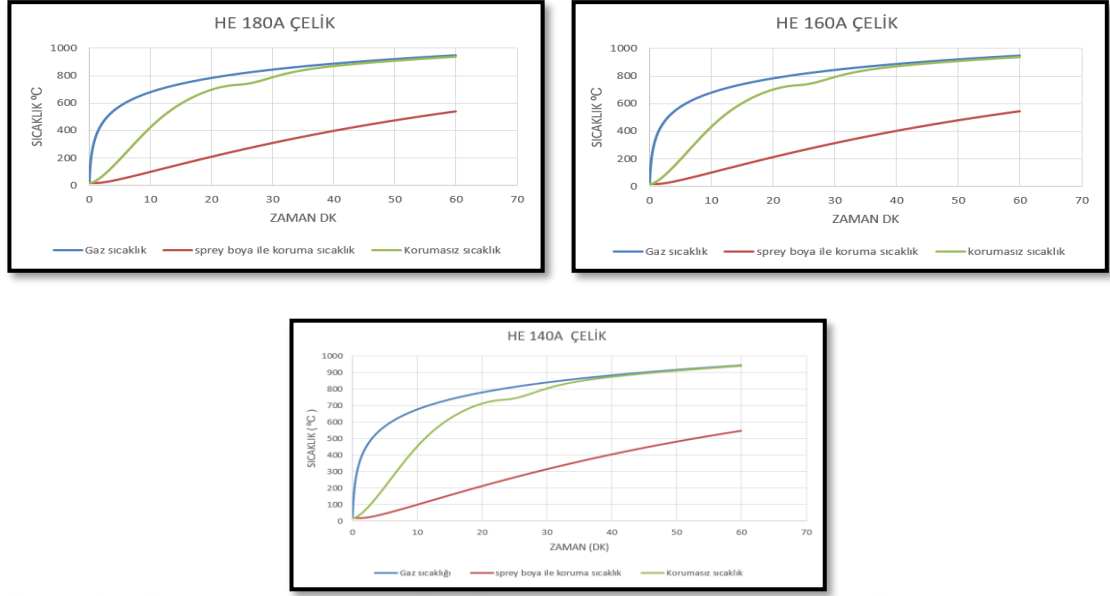
Ayrıca katlarda 4C aks kolonu ve 2-5/C-D kiriş için tanımlanan çelik elemanlarının 60 dk'lık zamanda korumalı ve korumasız sıcaklık değerleri grafik halde gösterimi verilmiştir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 6.6. Kolon çelik elemanlarının gaz sıcaklığı karşısında alçıpan ve spreyl boya ile korumalı ve korumasız sıcaklık zaman grafikleri.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



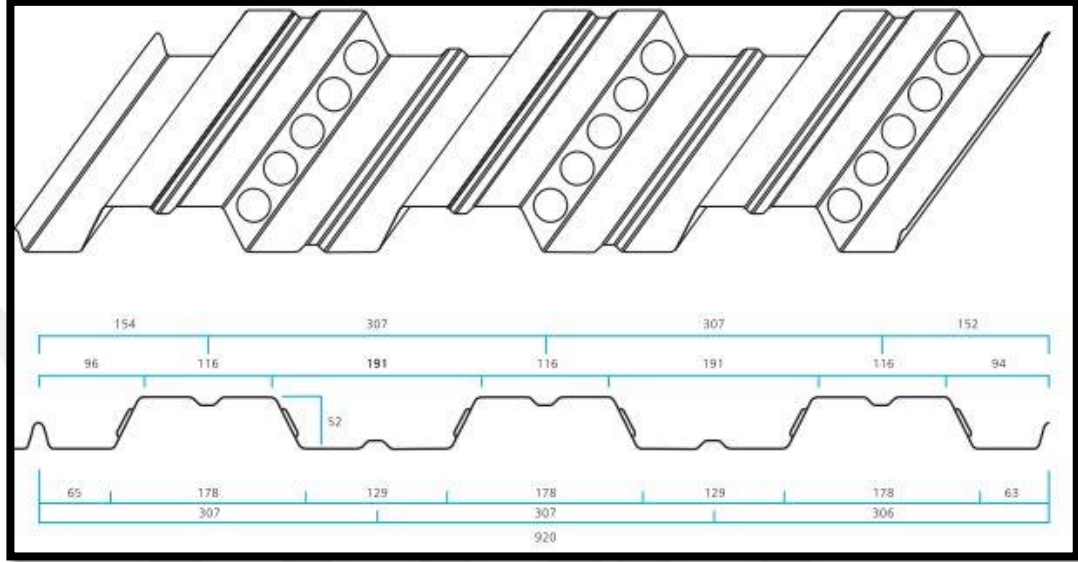
Şekil 6.7. Kiriş çelik elemanlarının gaz sıcaklığı karşısında spreyl boya ile korumalı ve korumasız sıcaklık zaman grafikleri.

Farklı katlarda edinmiş olduğumuz sonuçlara göre 60 dakika sonunda gaz sıcaklığının yaklaşık 940°C derecede olduğu belirlenmiştir. 60. dakikada da gaz sıcaklığı, korumasız olan kolon ve kiriş elemanlarının sıcaklığını yakalamış bulunmaktadır. Dayanım özelliğini kaybetmeyecek çeliğin limit sıcaklık değeri yaklaşık 550°C'dir.

Çelik elemanlarımızda korunma yöntemleri, kolonlarda kutu alçıpan ile koruma veya spreyl boya ile koruma, kirişlerde ise kullanımı kolay olması nedeniyle sadece spreyl boya ile koruma tahkiki yapılmıştır (Cirpici vd. 2016a) (Cirpici vd. 2016b) (Cirpici vd. 2020) (Cirpici 2020) . Koruma yönteminde kullanılacak olan alçıpan ve spreyl boya kalınlıkları 60 dk'lık bir süre de çeliğin limit sıcaklık değeri olan 550°C ye ulaşmaması için minimum kalınlıkların belirlenmesi dikkate alınmıştır. Çizelge 6.2'de pasif koruma yönteminde koruma malzemesi olarak incelenen kutu alçıpan kaplama 13,5 mm - 16 mm aralığında ve mineral lifli spreyl boya ile kaplama 18 mm - 22 mm aralığında değerler almıştır. Koruma türlerinde kolonlarda alçıpan panel ve spreyl boya ile kıyaslamada ekonomiklik açısından alçıpan panellerin kullanılması, kirişlerde ise estetiklik ve uygulama kolaylığı açısından spreyl boya ile koruma öngörülmüştür.

6.1.2. Döşeme dizaynı

Kompozit döşemede ATAPANEL Kompozit Döşeme Sac Paneli kullanıldığı öngörülerek özellikleri Şekil 6.8’de belirtilmiştir.



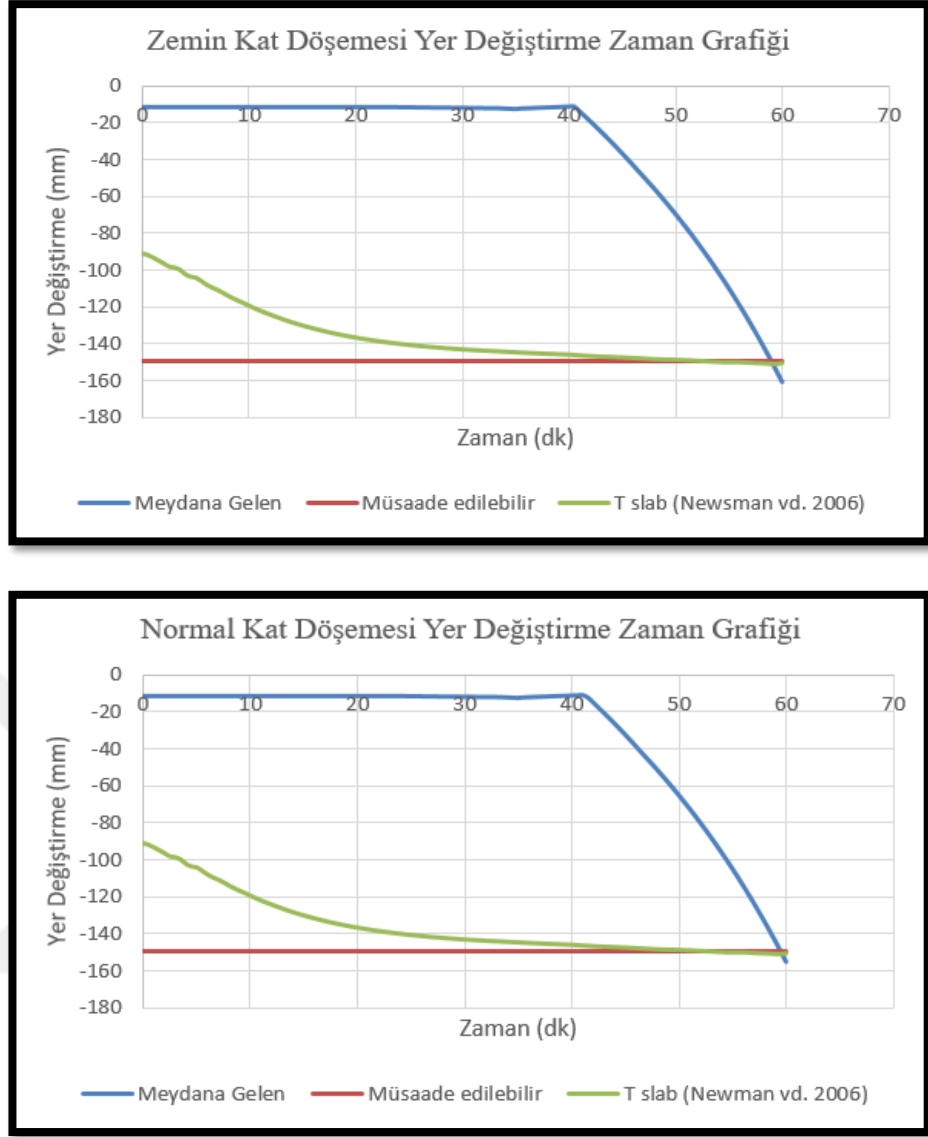
Şekil 6.8. ATAPANEL Kompozit döşeme sacının özellikleri

Döşemede kullanılacak beton malzemesi hafif beton seçilmiştir ve basınç dayanımı C16/20 ($f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$)’dir.

Yapının ayrıntılı planına göre yapısal yangın dizaynı yapılmış olup döşeme için kompozit döşeme seçilip yapısal parametrelerin döşemenin yangın performansını ne kadar etkilediği belirlenmiştir.

Çizelge 6.3. Döşeme özellikleri ve analiz sonucu sehim sonuçları

Zemin kat 2-5 aks Kirişi HE140A ve C-D aks Kirişi HE120A	Kısa Kenar ;B (m)	Uzun Kenar ; L (m)	A _f (m ²)	A _v (m ²)	h _{eq} (m)	A _t (m ²)	G _k (kN/m ²)	Q _k (kN/m ²)
	4,15	5,1	12,7 1	3,96	2,2	68,93	5	2
	F _{my}	F _{ay}	Time		Meydana gelen sehim	Meydana gelen sehim /döşeme yükseklik	Müsaade edilebilir sehim	Tslab sehim
	N /mm ²	N/mm ²	(dk)		(mm)		(mm)	(mm)
	355	355	60		-160,65	1,71	-149,58	-150,63
1. kat 2-5 aks Kirişi HE180A ve C-D aks Kirişi HE140A	Kısa Kenar ;B (m)	Uzun Kenar ; L (m)	A _f (m ²)	A _v (m ²)	h _{eq} (m)	A _t (m ²)	G _k (kN/m ²)	Q _k (kN/m ²)
	4,15	5,1	18,6	3,96	2,2	87,49	5	2
	F _{my}	F _{ay}	Time		Meydana gelen sehim	Meydana gelen sehim /döşeme yükseklik	Müsaade edilebilir sehim	Tslab sehim
	N /mm ²	N/mm ²	(dk)		(mm)		(mm)	(mm)
	355	355	60		-155,44	1,65	-149,58	-150,63
2-7 katlar arası 2-5 aks Kirişi HE160A ve C-D aks Kirişi HE140A	Kısa Kenar ;B (m)	Uzun Kenar ; L (m)	A _f (m ²)	A _v (m ²)	h _{eq} (m)	A _t (m ²)	G _k (kN/m ²)	Q _k (kN/m ²)
	4,15	5,1	18,6	3,96	2,2	87,49	5	2
	F _{my}	F _{ay}	Time		Meydana gelen sehim	Meydana gelen sehim /döşeme yükseklik	Müsaade edilebilir sehim	Tslab sehim
	N /mm ²	N/mm ²	(dk)		(mm)		(mm)	(mm)
	355	355	60		-155,44	1,65	-149,58	-150,63



Şekil 6.9. Döşemenin zamana bağlı düşey yer değiştirmesi (sehim durumu)

Şekil 6.2 planlarında gösterilen 2-5/C-D aksları arasında bulunan döşeme için tüm katlarda ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca kompozit döşemeye ait ana ve tali kirişlerin yangın korumalı olup olmamasına göre genel kompozit döşemenin yangın performansı incelenmiştir. Ayrıca, kompozit döşemenin beton içerisindeki donatı meşinin yüksek sıcaklık etkisinde farklı derinlikteki sıcaklık değişimi belirlenmiştir.

Tüm analizlerde, ölü (sabit) yük olarak 5 kN/m^2 ($3,5 \text{ kN/m}^2 + 1 \text{ kN/m}^2$ bölmeler + $0,5 \text{ kN/m}^2$ tavan kaplaması, servis boşlukları ve döşeme malzemesi) ve hareketli yük

olarak da 2 kN/m^2 baz alınmıştır ve yük kombinasyonu için Eurocode'a göre $1,35G_k + 1,5Q_k$ uygulanmıştır.

Yapısal analiz sonucu döşeme sisteminin altında kullanılan çelik kirişlerden ana kirişler zemin katta HE 140 A ve tali kirişler HE 120 A 1. Kat için ana kiriş HE 180 A ve tali kiriş 140A 2,3,4,5,6 ve 7. Katlar ana kiriş HE 160 A tali kiriş HE 140 A'dır ve yukarıda bahsedilen değişken parametreler için sıcaklık hesaplamaları bu kirişler üzerinden yapılacaktır. Modelde kullanılan akma dayanımı hem kiriş profilleri hem de donatı için $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

Tüm geliştirilen matematiksel modellerde uygulanan yangın Standard (ISO 834) yangın eğrisidir ve 60 dk. boyunca uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar (sıcaklık hesaplamalar vb.) bu süreye kadar olan sonuçlardır.

Tüm geliştirilen modellerde uygulanan yangın yükü oranı %90 olarak alınmıştır (PD 6688-1-2, 2007, Tablo A.2.) (CEN 2002).

Yapısal hesaplamaların yapılabilmesi ve geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilir olması için Microsoft Excel – Makrolar kullanılmıştır.

Yangına karşı koruyucu malzeme olarak pasif koruyucu sistemlerden birisi olan ve ısıyla karşılaştığında kendiliğinden kabaran (şişen) spreyci boya (sprayed protection) kullanılmıştır. Bu malzemenin tercih edilmesinin başlıca sebepleri; estetik, hızlı uygulanabilir ve en önemlisi kompleks yüzeylere (örneğin; kolon-kiriş birleşim bölgelerine veya kompozit döşeme sistemlerinde sac ile çelik kiriş arasındaki bölgeye) kolay bir şekilde uygulanabilir olmasıdır.

Şekil 6.9 ve Çizelge 6.3 'de modellenen zemin kat ve normal katları için kompozit döşemede düşey yer değiştirme verileri belirtilmiştir. 60 dakikalık dizayn sonucunda oluşan deplasman döşeme alanına bağlı olarak zemin katta 160,65 mm normal katlarda 155,44 mm olarak hesap edilmiş ve bu değerler bulmuş olduğumuz müsaade edilebilir deplasman miktarı 149,58 mm'yi aşmıştır. TSlab sehim hesaplaması da Newman vd

(2006) çalışmasına göre yapılmış ve değeri 150,63 mm'dir. Grafiğe göre meydana gelen sehim durumunda 41. dakikaya kadar herhangi bir değişim yokken 41. dk dan sonra sehim miktarında artma meydana gelip 59.dk da müsaade edilebilir değerini geçmektedir. Hesaplamalarda döşemenin en alt yüzey sıcaklığı ve en üst yüzey sıcaklığı ve boyutsal özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır Eşitlik (6.1).

$$v = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h} + \sqrt{\frac{0.5f_y}{E_{t=20^\circ\text{C}}}} \times \frac{3}{8}L^2 \quad (6.1)$$

v – Müsaade edilebilir düşey yer değiştirme

α – Betonun ısısal genleşme kat sayısı

T_2 - Döşemenin en alt yüzey sıcaklığı

T_1 - Döşemenin en üst yüzey sıcaklığı

L – Döşemenin uzun kenarı (uzun span)

l - Döşemenin kısa kenarı (kısa span)

Yangın durumunda, kompozit döşemde bulunan betonarme döşeme plakaları alt yüzeylerinden sıcaklığı artar ve kalınlık yönü boyunca sıcaklık gradyanı ve yüksek sıcaklıktaki mukavemet azalması nedeniyle yön değiştirir. Döşeme levhasının sehiminden dolayı, membran gerilmesi oluşur ve yük taşıma kapasitesinin artmasına neden olur. Bu durum bu çalışmada gözlemlenmiştir.

Matematiksel modelde baz alınan 2-5/C-D aksındaki döşemde ana kirişin boyu 5,1 m, tali kirişin boyu 4,15 m'dir. Donatı meşi BS 4483'e göre A393 meşi seçilmiştir (BSI 2005). Bu meşin teknik özellikleri Çizelge 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. A393 meşinin özellikleri

	Meş boyutları nominal tel aralığı		Tel boyutları		Metre genişlik başına kesit alanı		Ağırlık (1/m ²)
	Ana (mm)	Çapraz (mm)	Ana (mm)	Çapraz (mm)	Ana (mm)	Çapraz (mm)	kg
A393	200	200	10	10	393	393	6,16

Zemin katta ana kiriş HE140A ve tali kiriş HE120A için tarafsız eksen beton döşeme içinde yer almaktadır. Ana kiriş; $x_c = 123,3mm > h_1 = 68,mm$, Tali kiriş; $x_c = 123 mm > h_1 = 68 mm$ ve oda sıcaklığında hesaplanan eğilme kapasiteleri (rezistansları);

$$M_{pl,Rd} = 141,2 kNm \text{ (Ana kiriş)}$$

$$M_{pl,Rd} = 105,8 kNm \text{ (Tali kiriş)}$$

1. katta ana kiriş HE180A ve tali kiriş HE140A için tarafsız eksen beton döşeme içinde yer almaktadır. Ana kiriş; $x_c = 126,4mm > h_1 = 68,mm$, Tali kiriş; $x_c = 124,8 mm > h_1 = 68 mm$ ve oda sıcaklığında hesaplanan eğilme kapasiteleri (rezistansları);

$$M_{pl,Rd} = 202,5 kNm \text{ (Ana kiriş)}$$

$$M_{pl,Rd} = 128 kNm \text{ (Tali kiriş)}$$

2-3-4-5-6-7. katlarda ana kiriş HE160A ve tali kiriş HE140A için tarafsız eksen beton döşeme içinde yer almaktadır. Ana kiriş; $x_c = 125,2mm > h_1 = 68,mm$, Tali kiriş ; $x_c = 124,8 mm > h_1 = 68 mm$ ve oda sıcaklığında hesaplanan eğilme kapasiteleri (rezistansları);

$$M_{pl,Rd} = 170,7 kNm \text{ (Ana kiriş)}$$

$$M_{pl,Rd} = 128 kNm \text{ (Tali kiriş)}$$

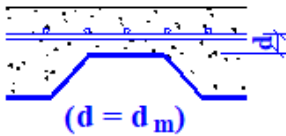
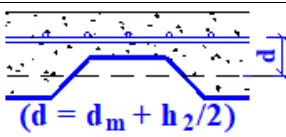
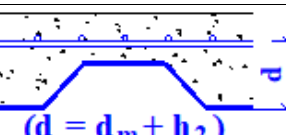
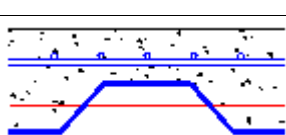
Katlardaki döşeme sisteminde ana kiriş ve tali kiriş için korumalı ve korumasız çelik sıcaklıkları için koruma sadece 1 adet tali kirişe uygulanmamıştır. Korumalı profiller için 20 mm boya kalınlığı uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir.

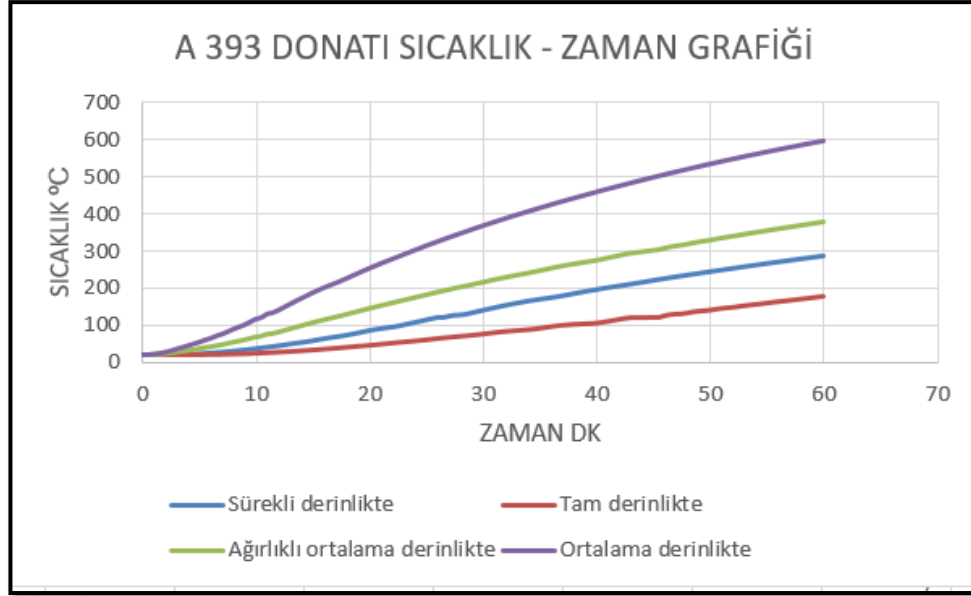
A393 donatısının 60 dk'lık sıcaklık etkisinde farklı derinlikteki koşullarda; tam derinlik, ortalama derinlik, ağırlıklı ortalama derinlik ve sürekli derinliklerde verileri Çizelge 6.5'te ve Şekil 6.10 grafiğinde verilmiştir. Hesaplanan sıcaklıklar sürekli derinlik durumu harici diğer koşullarda uygundur. Sürekli derinlik koşulu 52,5. dk da 549,4°C ile sınır değeri almakta ve bu dakikada sonra çeliğin limit sıcaklık değeri olan 550°C'yi geçtiği görülmektedir.

Ortalama derinlikteki sıcaklık genellikle baz alınır ve kat döşemelerinde ortalama sıcaklık değeri 285,675 °C'dir. Eurocode 4 Part 1.2 Tablo 3.4'e göre bu sıcaklıktaki dayanım düşme katsayısı 1.0'dır.

Ortalama derinlikteki sıcaklık genellikle baz alınır ve kat döşemelerinde ortalama sıcaklık değeri 285,675 °C'dir. Eurocode 4 Part 1.2 Tablo 3.4'e göre bu sıcaklıktaki dayanım düşme katsayısı 1.0'dır.

Çizelge 6.5. Döşeme içerisinde bulunan farklı yüksekliklerdeki donatıların (meş) 60 dakika sonundaki sıcaklıkları.

Açıklık	Sıcaklık (°C)	Derinlik Yerleri
Sürekli derinlik	594,948	 ($d = d_m$)
Ortalama derinlik	285,675	 ($d = d_m + h_2/2$)
Tam derinlik	177,659	 ($d = d_m + h_2$)
Ağırlıklı ortalama derinlik	377,468	



Şekil 6.10. Beton içerisindeki donatının farklı derinlikteki sıcaklık değerleri

6.2. Farklı Katlarda ve Farklı Sıcaklıklarda Yangın Senaryoları Sonucu Taşıyıcı Elemanların Yük Altındaki Gerilme Analizi

6.2.1. Akma, kopma dayanımı ve elastisite modülü değişimleri

Farklı katlarda oluşabilecek farklı sıcaklık derecelerinde korumasız çelik elemanlarının (kolon ve kiriş) 60 dk'lık zamana göre sıcaklık değerleri 938,7°C - 940,3°C arasında olduğu belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda dayanım düşürme katsayısı Eurocode 4 Part 1.2 Tablo 3.2'ye göre $k_{y,\theta} = 0,040$. Sıcaklıkla beraber azalmış çelik akma, kopma ve elastisite modüllerindeki değerler Çizelge 6.6'da sunulmuştur. Şekil 6.11'de Akma dayanımı, Şekil 6.12'de Kopma Dayanımı ve Şekil 6.13'de Elastisite Modülü grafiksel gösterimleri verilmiştir.

Başlangıç Değerleri;

Akma Dayanımı (F_y) = 355 N/mm²

Kopma Dayanımı (F_u) = 510 N/mm²

Elastisite Modülü (E_t) = $2,1 \times 10^5$ N/mm²

Çizelge 6.6. Farklı sıcaklıklar altında akma dayanımı, kopma dayanımı ve elastisite modülü değerleri.

	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
Zemin kat kolon	300	354,825	1,68E+05	636,344	390,308	699,978
	450	313,785	1,36E+05	453,312	345,164	498,643
	600	166,875	65122,86	239,735	183,562	263,709
	938,711	18,5515	12345,92	26,6515	20,4067	29,3167
Zemin kat kiriş	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
	300	354,932	1,68E+05	636,833	390,425	700,516
	450	313,83	1,36E+05	453,381	345,21	498,72
	600	166,954	65196,26	239,848	183,649	263,834
1. kat kolon	940,12	18,452	12279,72	26,509	20,2973	29,1595
	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	313,283	1,36E+05	452,557	344,61	497,81
1. kat kiriş	600	166,87	65118,31	239,728	183,557	263,701
	939,273	18,5116	12313,33	26,582	20,363	29,239
	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
2.kat kolon	450	312,16	1,36E+05	454,66	343,38	500,11
	600	166,891	65137,9	239,759	183,580	263,734
	939,4	18,5026	12313,33	26,582	20,353	29,239
	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
2.kat kolon	450	313,78	1,36E+05	453,31	345,16	498,43
	600	166,875	65122,86	239,898	183,562	263,888
	938,711	18,5515	12345,92	23,974	20,407	26,371

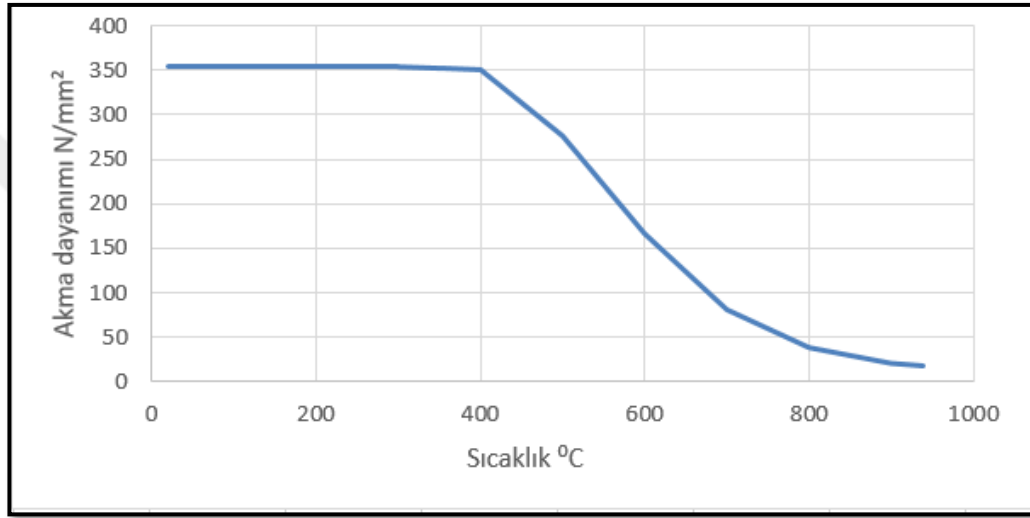
2.kat giriş	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	652281,9	239,898	183,687	263,888
	939,64	18,49	12302,2	26,556	20,334	29,212
3. kat kolon	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	313,51	1,36E+05	453	344,86	498,3
	600	166,93	65174,29	239,815	183,623	263,796
	939,528	18493,5	12307,29	26,568	20,342	29,225
3.kat giriş	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	65228,19	239,898	183,687	263,888
	939,64	18,49	12302,1	26,557	20,334	29,212
4. kat kolon	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	313,55	1,36E+05	452,963	344,91	498,25
	600	166,966	65208,24	239,867	183,663	263,854
	939,785	18,4753	12295,17	26,542	20,323	29,196
4. kat giriş	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	65228,19	239,898	183,687	263,888
	939,64	18,486	12302,01	26,557	20,334	29,212

Çizelge 6.6. (devam)

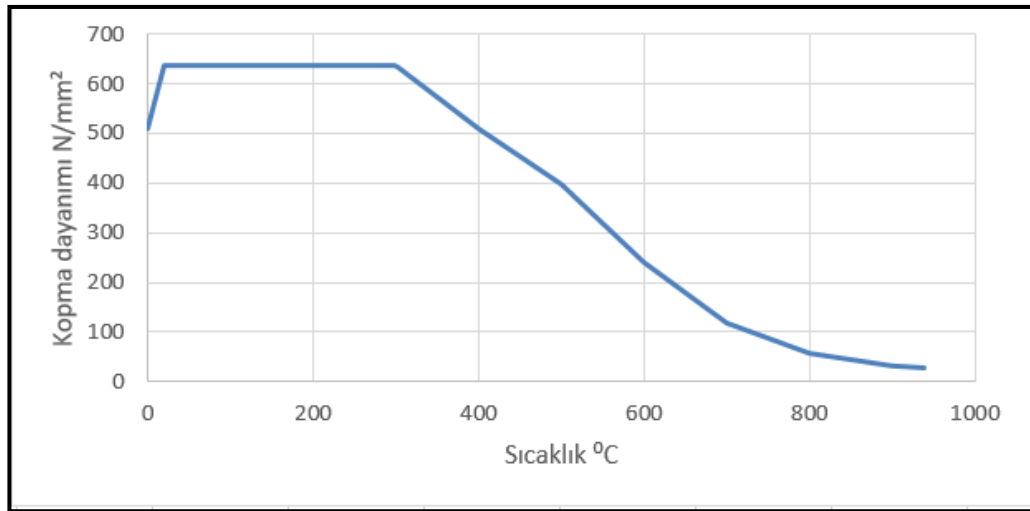
	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
5. kat kolon	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	313,552	1,36E+05	452,96	344,9	498,26
	600	166,966	65208,24	239,867	183,663	263,854
	939,785	18,4753	12295,17	26,542	20,323	29,196
5. kat kiriş	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	65228,19	239,898	183,687	263,888
6. kat kolon	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,93	1,36E+05	452,025	344,23	497,03
	600	166,947	65190,29	239,84	183,642	263,824
6. kat kiriş	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	65228,19	239,898	183,687	263,888
7. kat kolon	Sıcaklık (°C)	F _y (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _{YE} (N/mm ²)	F _{UY} (N/mm ²)
	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	313,51	1,36E+05	453	344,86	498,3
	600	166,93	65174,29	239,815	183,623	263,796
	939,528	18,494	12307,29	265,68	20,343	29,225

Çizelge 6.6. (devam)

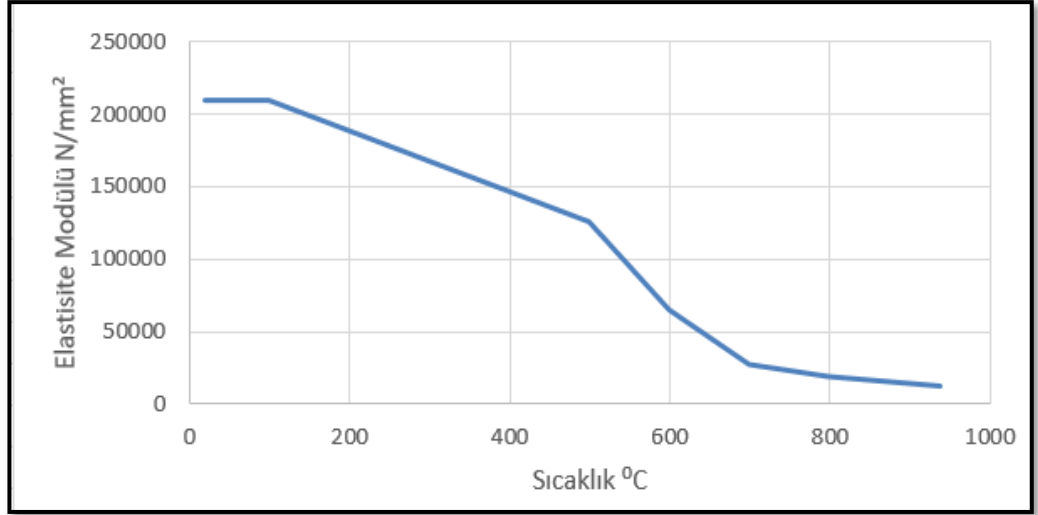
	Sıcaklık (°C)	F_y (N/mm ²)	E_{-t} (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_{YE} (N/mm ²)	F_{UY} (N/mm ²)
7. kat kiriş	300	355	1,68E+05	637,5	390,500	701,250
	450	312,758	1,36E+05	451,77	344,03	496,95
	600	166,988	65228,19	239,898	183,687	263,888
	939,64	18,485	12302,01	26,557	20,334	29,212



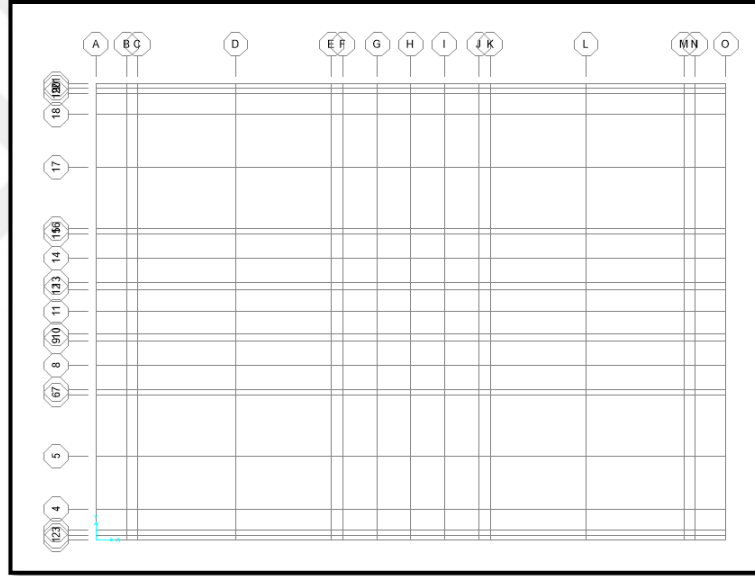
Şekil 6.11. Akma gerilmesi ile sıcaklık ilişkisi



Şekil 6.12. Kopma gerilmesi ile sıcaklık ilişkisi



Şekil 6.13. Elastisite modülü ile sıcaklık ilişkisi



Şekil 6.14. Yapının aks dizaynı

Farklı katlarda farklı sıcaklık derecelerde oluşabilecek yangın senaryolarında çelik elemanlarında 300-600-940°C deki akma, kopma ve elastisite modüllerindeki değerler bulunarak 4C aksındaki kolon ve 2-5/C aksındaki kirişe elde ettiğimiz 300-600 ve 940°C deki dayanım değerlerini SAP2000’de yeniden malzeme tanımladığımız kolon ve kirişe etkiterak analiz sonuçlarımıza göre yapıımızdaki eksenel, moment ve kesme kuvvet dayanımlarında değişimleri gözlemledik. Örnek olarak tanımlama işlemimizi Şekil 6.15’de birinci kat için elde edindiğimiz farklı sıcaklık değerlerindeki dayanım değerlerine göre kolon ve kirişte yeni malzeme tanımlaması gösterimi verilmiştir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

The figure displays six screenshots of the 'Material Property Data' dialog box, arranged in a 3x2 grid. Each screenshot shows the material properties for a specific steel grade and section. The dialog box is divided into several sections: General Data, Weight and Mass, Isotropic Property Data, and Other Properties For Steel Materials. The 'General Data' section includes fields for Material Name and Display Color, Material Type, Material Grade, and Material Notes. The 'Weight and Mass' section includes fields for Weight per Unit Volume and Mass per Unit Volume. The 'Isotropic Property Data' section includes fields for Modulus Of Elasticity, E, Poisson, U, Coefficient Of Thermal Expansion, A, and Shear Modulus, G. The 'Other Properties For Steel Materials' section includes fields for Minimum Yield Stress, Fy, Minimum Tensile Stress, Fu, Expected Yield Stress, Fye, and Expected Tensile Stress, Fue. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is located at the bottom of each dialog box. The 'OK' and 'Cancel' buttons are also present.

Material Name and Display Color	Material Type	Material Grade	Material Notes	Weight per Unit Volume	Mass per Unit Volume	Modulus Of Elasticity, E	Poisson, U	Coefficient Of Thermal Expansion, A	Shear Modulus, G	Minimum Yield Stress, Fy	Minimum Tensile Stress, Fu	Expected Yield Stress, Fye	Expected Tensile Stress, Fue
s355-300 1. kat kiriş	Steel	S355		76.9725	7.849	2.100E+08	0.3	1.170E-05	80769231	284000	510000	390500	561000
s355-939,4 1. kat kiriş	Steel	S355		76.9725	7.849	12313331	0.3	1.170E-05	4735897	18502.572	26581.16	20352.829	29239.276
S355-300 1. kat kolon	Steel	S355		76.9725	7.849	2.100E+08	0.3	1.170E-05	80769231	284010	510000	390500	561000
s355-939,4 1. kat kolon	Steel	S355		76.9725	7.849	12313331	0.3	1.170E-05	4735897	18511.621	26581.16	20362.783	29239.276
s355-600 1. kat kiriş	Steel	S355		76.9725	7.849	2.100E+08	0.3	1.170E-05	80769231	110114.1	510000	390500	561000
s355-600 1. kat kolon	Steel	S355		76.9725	7.849	2.100E+08	0.3	1.170E-05	80769231	110000	510000	390500	561000

Şekil 6.15. Birinci kat 300°C - 600°C - 940°C'lerde 4C aks kolonu ve 2-5/C konsol ve kenar kirişlerinde akma-kopma ve elastisite modül değerlerimize göre yeniden malzeme tanımlanması.

Yüksek sıcaklıklarda, 4C aks kolonu ve 2-5/ C aksında bulunan konsol ve kenar kiriş için yapılan değerlendirmede farklı sıcaklık derecelerindeki akma, kopma ve elastisite modül değerlerimize göre yeniden malzeme tanımlaması SAP2000’de yapıp farklı sıcaklıklar altında analizler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.



6.2.2. Yangın senaryosunun tek bir katta olması durumu

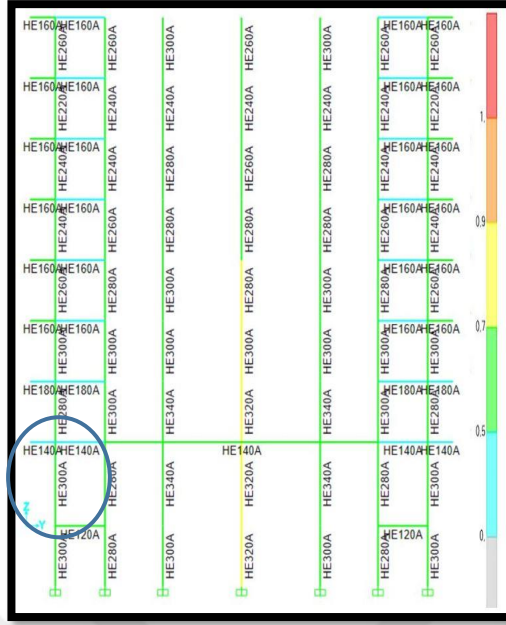
Çizelge 6.7. Zemin katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE300 A kolon				HE 140 A konsol kiriş				HE 140 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
Zemin kat	25 °C	-1868,52	0	4,574	0,636	0	-18,281	26,226	0,331	0	-25,57	41,605	0,463
	300 °C	-1851,42	0	3,726	0,663	0	-16,517	24,814	0,299	0	-23,2	40,029	0,42
	450 °C	-1833	0	3,049	0,76	0	-14,91	23,545	0,308	0	-21,37	38,811	0,441
	600 °C	-1740,19	0	1,37	1,4	0	-10,019	20,486	0,394	0	-20,1	38,316	0,791
	940 °C	-1248,11	0	0,027	7,941	0	-4,437	16,289	1,544	0	-19,25	39,042	6,699

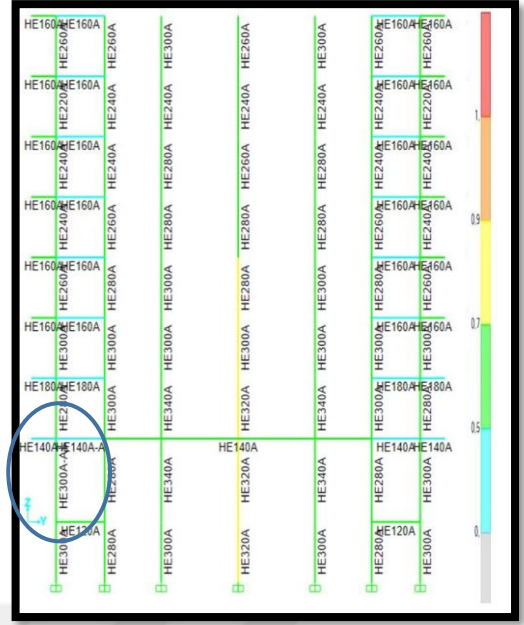
Zemin kat Çizelge 6.7’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60 dakika sonunda HE300A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %33,2 azalma, kesme kuvvet altında %99,4 oranında azalma görülmektedir. HE140A konsol kiriş moment değişiminde %75,13 azalma, kesme kuvvetinde %38,89 azalma, HE140A kenar kiriş moment değişimi %24,74 azalma, kesme kuvvetindeki azalma ise %6,16’dır.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE300A kolonu 600°C ‘de 1,4 - 940°C’de 7,941 - HE140A konsol kirişi 940°C’de 1,544 ve HE140A kenar kirişi 940°C’de 6,699 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.16’da kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C ve 300°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşil, 450°C’de sarı, 600°C ‘de ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon, kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



(a)



(b)



(c)



(d)

Çizelge 6.8. Birinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 280 A kolon				HE 180 A konsol kiriş				HE180 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)
1. Kat	25 °C	-1440,4	-17,243	7,744	0,66	0	-48,6	49,605	0,471	0	-42,832	52,718	0,415
	300 °C	-1429,69	-16,936	7,679	0,667	0	-44,582	46,283	0,444	0	-37,178	48,842	0,37
	450 °C	-1418	-16,12	7,377	0,748	0	-40,67	43,079	0,466	0	-32,62	45,693	0,374
	600 °C	-1623,06	0	5,369	1,339	0	-27,573	32,573	0,6	0	-23,529	39,72	0,512
	940 °C	-1251,53	0	1,66	8,614	0	-9,417	18,649	1,74	0	-20,308	39,156	3,752

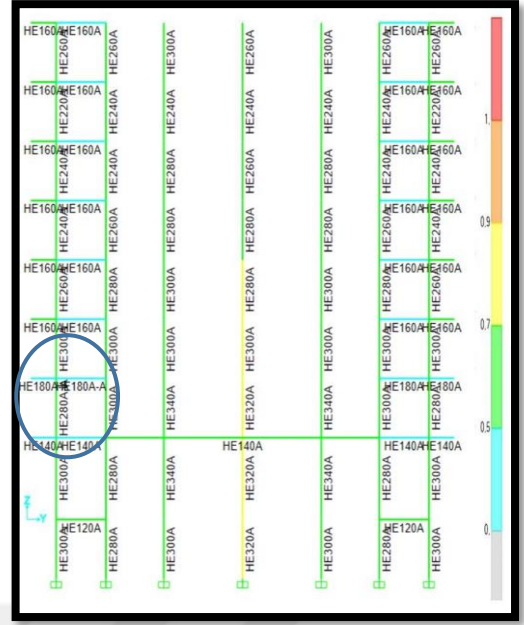
Birinci kat Çizelge 6.8’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen Bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60’dk sonunda HE280A kolonu eksenel kuvvette oda sıcaklığından 300°C ye kadar %0,7 azalma sonrasında 600°C ‘ye kadar %13,52 artış, sıcaklığın 600°C den 940°C’ ye çıkışında %22,89 azalma, moment değişimi %100 azalma kesme kuvvetinde %78,56 oranında azalma görülmektedir. HE180A konsol kiriş moment değişiminde %80,62, kesme kuvvetinde %62,4 azalma, HE180A Kenar kiriş moment değişimi %52,58, kesme kuvvetteki azalma %25,73 dür.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.8’de gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE280A kolonu 600°C ‘de 1,339 - 940°C’de 8,614 - HE180A konsol kirişi 940°C’de 1,74 ve HE180A kenar kirişi 940°C’de 3,752 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.17’de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C ve 300°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşil, 450°C’de sarı, 600°C ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümünü kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



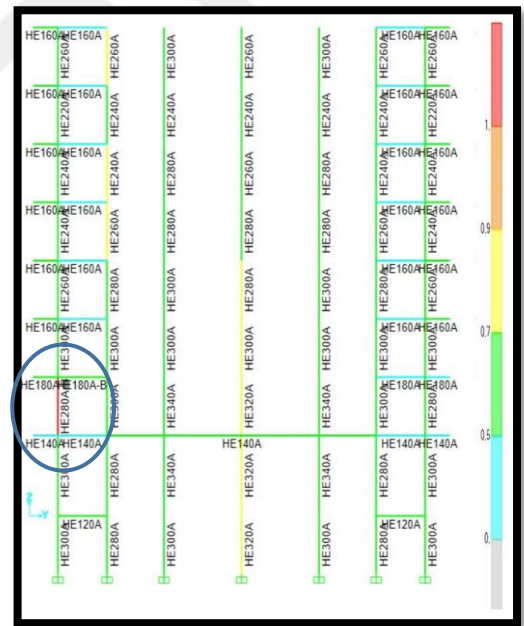
(a)



(b)



(c)



(d)

Çizelge 6.9. İkinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
2. Kat	25 °C	-995,969	63,668	40,073	0,595	-0,223	-41,999	44,773	0,537	0	-35,821	47,788	0,458
	300 °C	-993,431	57,593	36,197	0,588	-0,183	-37,78	41,355	0,491	0	-31,723	44,985	0,412
	450 °C	-990	51,89	32,633	0,646	-0,152	-33,86	38,198	0,505	0	-28,49	42,756	0,425
	600 °C	-1180,58	-10,663	4,526	1,08	-0,077	-21,739	28,532	0,616	0	-20,985	37,705	0,595
	940 °C	-1150,23	0	1,788	6,711	-2,07E-04	-7,304	18,188	1,792	0	-18,518	37,771	4,543

İkinci kat için Çizelge 6.9'da kolon ve kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen sonuçlara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60 dk sonunda HE300A kolonu oda sıcaklığından 940 °C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %15,48 artma moment değişimi %100 azalma, kesme kuvvet altında %95,53 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %99,9 azalma, moment değişiminde %82,6 azalma, kesme kuvvetinde %59,37 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %48,3, kesme kuvvetindeki azalma %20,96'dır.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.9'da gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE300A kolonu 600°C 'de 1,08 - 940°C'de 6,711 - HE160A konsol kirişi 940°C'de 1,792 ve HE160A kenar kirişi 940°C'de 4,543 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 'in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.18'da kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C, 300°C ve 450°C 'deki kolonun renk görünümü yeşil 600°C 'de ve 940°C'deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C'deki görünümünü kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C'deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



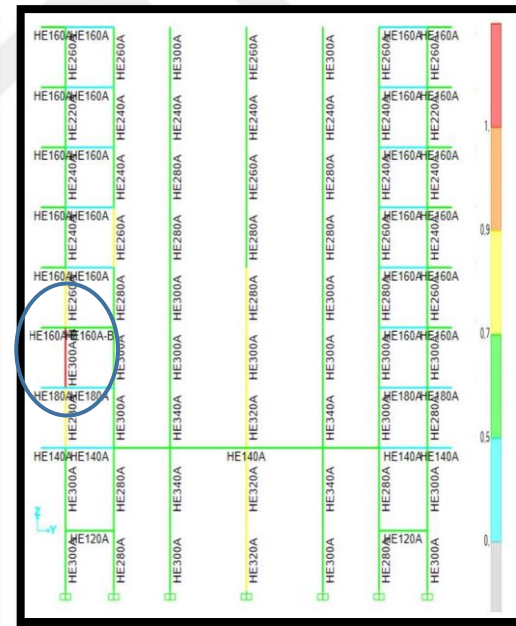
(a)



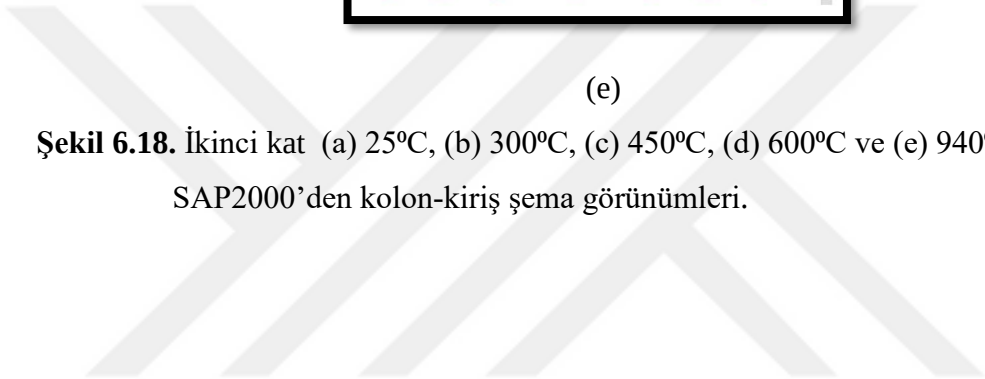
(b)



(c)



(d)



Şekil 6.18. İkinci kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.

Çizelge 6.10. Üçüncü katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
3. Kat	25 °C	-917,752	-28,732	18,036	0,663	-0,269	-42,773	45,467	0,547	0	-36,575	48,006	0,467
	300 °C	-913,684	-26,154	16,294	0,661	-0,221	-38,48	41,985	0,5	0	-32,502	45,267	0,422
	450 °C	-1010	-14,73	7,871	0,731	-0,183	-34,49	38,766	0,515	0	-29,24	43,057	0,436
	600 °C	-978,941	-11,182	5,865	1,23	-0,092	-22,15	28,899	0,628	0	-21,303	37,637	0,604
	940 °C	-935,474	0	2,041	7,351	-0,018	-7,385	17,315	1,812	0	-18,552	37,77	4,552

Üçüncü kat için Çizelge 6.10’da Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen Bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60’ dk sonunda HE260A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %1,93 artma moment değişimi %100 azalma, kesme kuvvet altında %88,68 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %93,3 azalma, moment değişiminde %82,73 azalma, kesme kuvvetinde %61,91 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %49,27, kesme kuvvetteki azalma %21,32’dir.

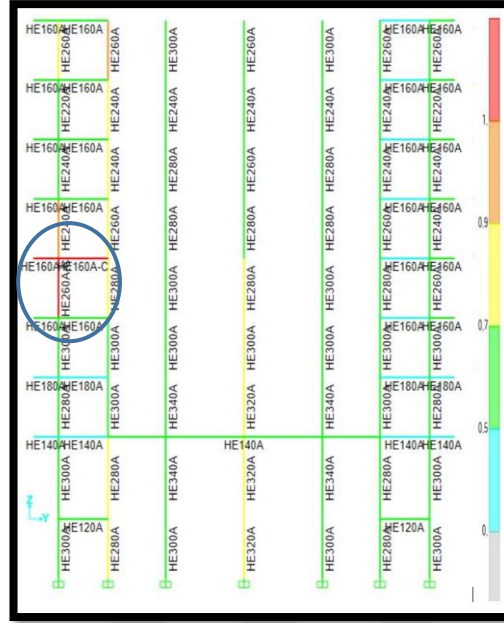
Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.10’da gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE260A kolonu 600°C ‘de 1,23 - 940°C’de 7,351 - HE160A konsol kirişi 940°C’de 1,812 ve HE160A kenar kirişi 940°C’de 4,552 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.19’da kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C ve 300°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşil, 450°C ‘de sarı, 600°C ‘de ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

(a)

(b)

(c)

(d)



(e)

Şekil 6.19. Üçüncü kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümleri.

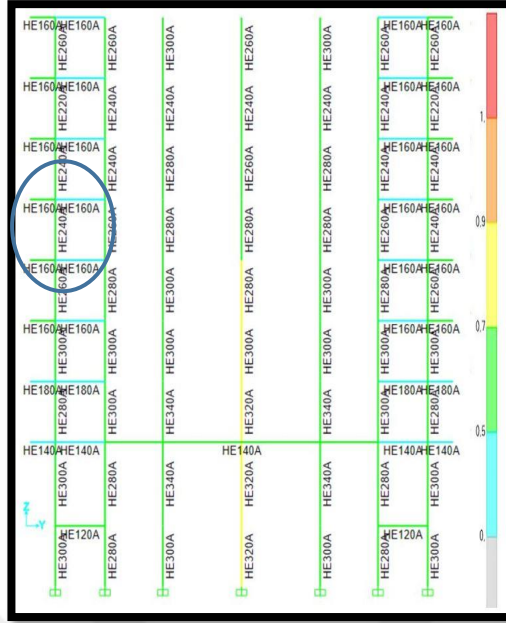
Çizelge 6.11. Dördüncü katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
4. Kat	25 °C	-669,546	45,621	30,993	0,684	-0,31	-42,83	45,522	0,547	0	-36,346	47,591	0,464
	300 °C	-668,33	40,179	27,208	0,669	-0,255	-38,507	42,013	0,501	0	-32,333	44,976	0,42
	450 °C	-666,5	35,305	23,874	0,725	-0,211	-34,5	38,773	0,515	0	-29,12	42,854	0,434
	600 °C	-734,1	-12,775	8,427	1,161	-0,106	-22,103	28,863	0,627	0	-21,281	37,617	0,603
	940 °C	-755,396	0	1,087	6,863	-1,21E-04	-7,373	18,252	1,809	0	-18,375	37,664	4,508

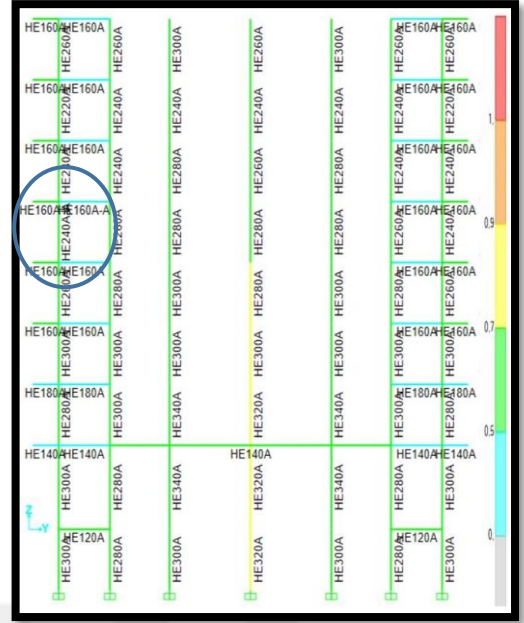
Dördüncü kat Çizelge 6.11’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen Bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60’ dk sonunda HE240A kolonu oda sıcaklığından 940 °C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %12,82 artma moment değişimi %100 azalma, kesme kuvvet altında %96,49 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %99,96 azalma, moment değişiminde %82,78 azalma, kesme kuvvetinde %59,9 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %49,44, kesme kuvvetteki azalma %20,85’dir.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.11’de gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE240A kolonu 600°C ‘de 1,161 - 940°C’de 6,863 - HE160A konsol kirişi 940°C’de 1,809 ve HE160A kenar kirişi 940°C’de 4,508 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.20’de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C ve 300°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşil, 450°C ‘de sarı, 600°C ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış, kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümünü kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

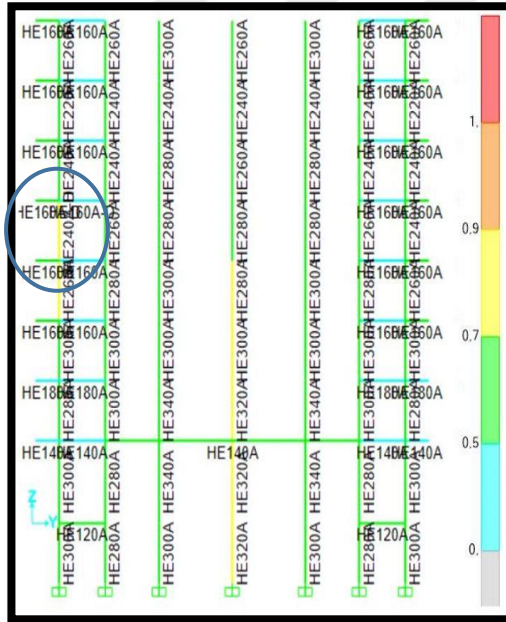
6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



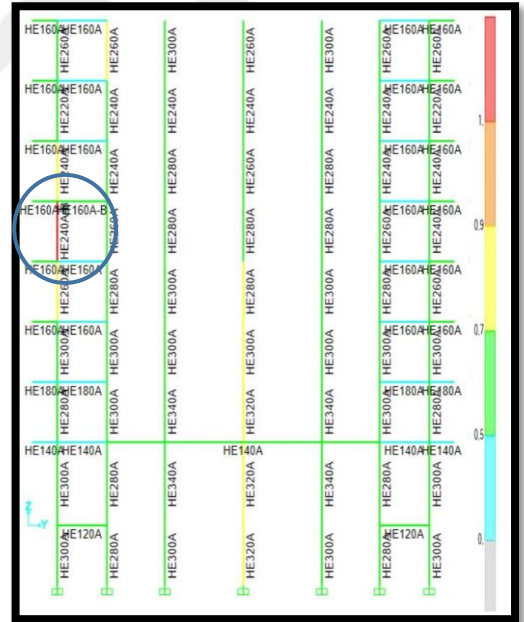
(a)



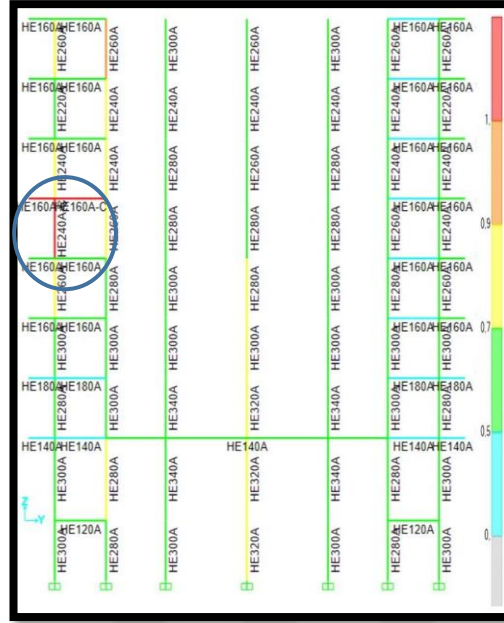
(b)



(c)



(d)



(e)

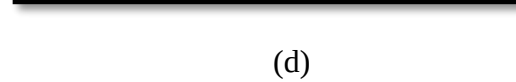
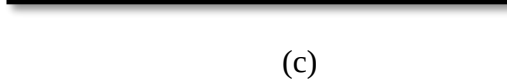
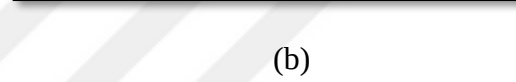
Şekil 6.20. Dördüncü kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000’den kolon-kiriş şema görüntüleri.

Çizelge 6.12. Beşinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
5. Kat	25 °C	-503,761	-47,534	31,25	0,662	-0,353	-42,222	45,059	0,54	0	-36,424	47,417	0,465
	300 °C	-503,684	-42,094	27,815	0,645	-0,29	-37,959	41,608	0,494	0	-32,717	45,032	0,425
	450 °C	-503,133	-37,311	24,728	0,697	-0,24	-34	38,417	0,507	0	-29,713	43,076	0,443
	600 °C	-538,388	-17,249	11,035	1,063	-0,121	-21,759	28,634	0,617	0	-22,224	38,139	0,63
	940 °C	-508,87	-3,789	2,086	5,514	-9,01E-05	-7,206	18,141	1,768	0	-17,812	37,198	4,37

Beşinci kat Çizelge 6.12’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60 dk sonunda HE240A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %1,01 artma moment değişimi %92,02 azalma, kesme kuvvet altında %93,32 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %99,97 azalma, moment değişiminde %82,93 azalma, kesme kuvvetinde %59,73 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %51,09 azalma, kesme kuvvetindeki azalma ise %21,55’dir.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.12’de gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE240A kolonu 600°C ‘de 1,063 - 940°C’de 5,514 - HE160A konsol kirişi 940°C’de 1,768 ve HE160A kenar kirişi 940°C’de 4,37 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.21’de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C, 300°C ve 450°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşilken 600°C ‘de ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümüleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 600°C ve 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.





95

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.13. Altıncı katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

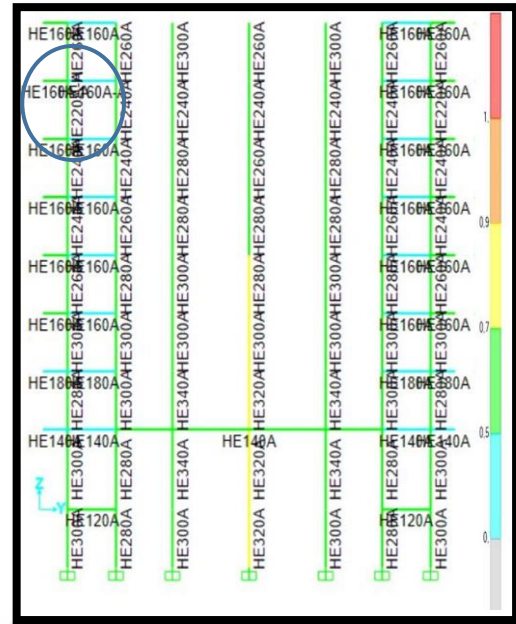
	Sıcaklık	HE 220 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
6. Kat	25 °C	-338,926	35,657	23,498	0,579	-0,398	-43,242	45,809	0,553	0	-34,572	46,617	0,442
	300 °C	-339,651	31,018	20,274	0,555	-0,327	-38,89	42,276	0,506	0	-30,993	44,27	0,403
	450 °C	-340	26,918	17,487	0,591	-0,271	-34,85	39,012	0,52	0	-28,11	42,357	0,419
	600 °C	-338,128	15,296	9,817	0,855	-0,136	-22,33	29,009	0,633	0	-21,103	37,625	0,598
	940 °C	-392,916	0	0,558	4,392	-0,027	-7,386	17,306	1,812	0	-17,973	37,402	4,409

Altıncı kat Çizelge 6.13’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen Bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60’ dk sonunda HE220A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %15,93 artma moment değişimi %100 azalma, kesme kuvvet altında %97,62 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %93,21 azalma, moment değişiminde %82,91 azalma, kesme kuvvetinde %62,22 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %48,01, kesme kuvvetteki azalma %19,76’dır.

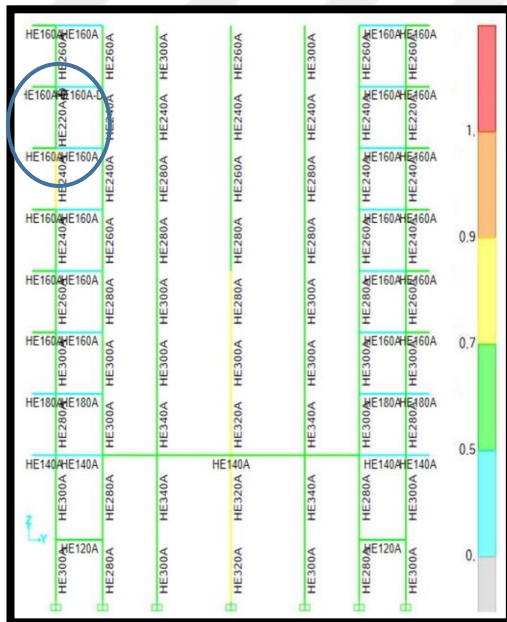
Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.13’te gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE220A kolonu 940°C’de 4,392 - HE160A konsol kirişi 940°C’de 1,812 ve HE160A kenar kirişi 940°C’de 4,409 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler Şekil 6.22’ de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C, 300°C ve 450°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşilken 600°C ‘de sarı ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.22. Altıncı kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümü.

Çizelge 6.14. Yedinci katta farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment ve kesme kuvvet değerleri

	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilm e oranı)
7. Kat	25 °C	-173,247	-71,808	43,609	0,642	-0,441	-43,047	45,786	0,55	0	-34,247	45,453	0,438
	300 °C	-175,056	-67,603	40,97	0,64	-0,363	-38,596	42,199	0,502	0	-31,566	43,801	0,41
	450 °C	-176,7	-63,81	38,508	0,705	-0,3	-34,46	38,88	0,514	0	-29,4	42,441	0,438
	600 °C	-182,292	-51,002	29,979	1,106	-0,151	-21,607	28,663	0,613	0	-23,999	38,959	0,68
	940 °C	-191,691	-23,703	13,129	4,575	3,25E-05	-6,76	17,9	1,658	0	-19	37,66	4,671

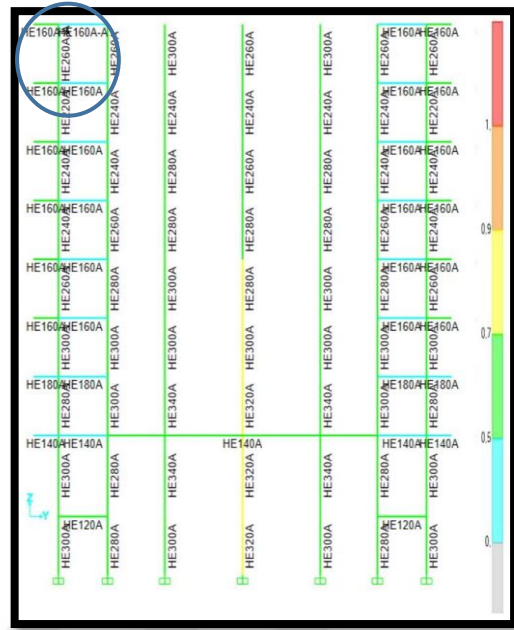
Yedinci kat Çizelge 6.14’de Kolon ve Kiriş elemanları için eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Edinilen bulgulara göre sıcaklık değerleri arttıkça dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. 60’ dk sonunda HE260A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %10,64 artma (basınç), moment değişimi %66,99 azalma, kesme kuvvet altında %69,89 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %100 azalma, moment değişiminde %84,3 azalma, kesme kuvvetinde %60,9 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %44,4, kesme kuvvetteki azalma %17,16’dır.

Ayrıca çelik elemanlarında farklı sıcaklıklardaki gerilme (ratio) oranları Çizelge 6.14’te gösterilmiştir. İdeal gerilme oranı değeri 0-1 arasında olması gerekir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte HE260A kolonu 600°C ‘de 1,106 - 940°C’de 4,575, HE160A konsol kirişi 940°C’de 1,658 ve HE160A kenar kirişi 940°C’de 4,671 değerleriyle İdeal gerilme oranı değeri 0-1 ‘in üzerinde oldukları görülmektedir. Yani belirtilen sıcaklıklardaki çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Gerilmedeki değişimler ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir. Şekil 6.23’de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. 25°C ve 300°C ‘deki kolonun renk görünümü yeşilken, 450°C’de sarı, 600°C ve 940°C’deki görünümü renk değiştirerek kırmızı halini almış kenar ve konsol kirişlerde de 940°C’deki görünümleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği 940°C’deki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir.

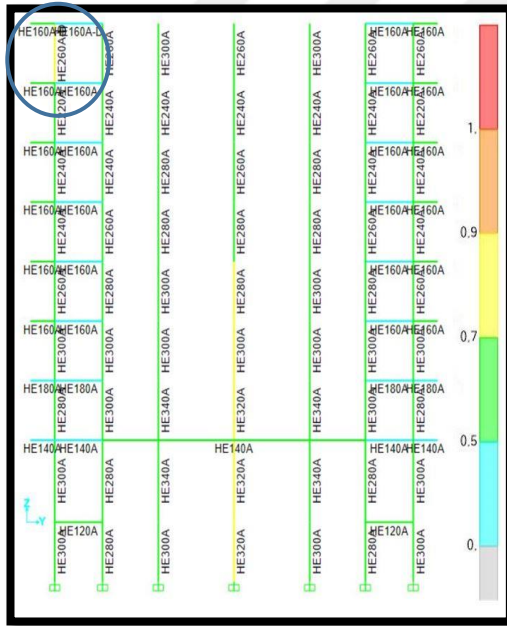
6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



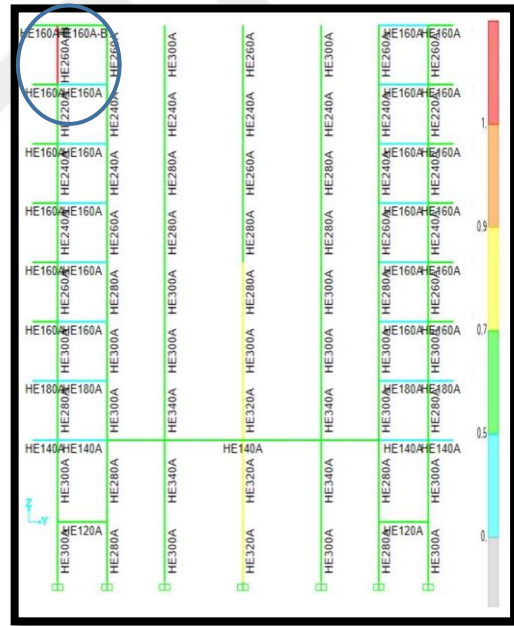
(a)



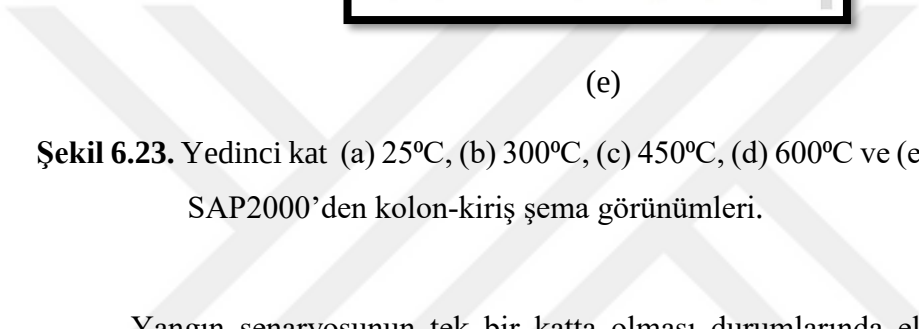
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.23. Yedinci kat (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünümüleri.

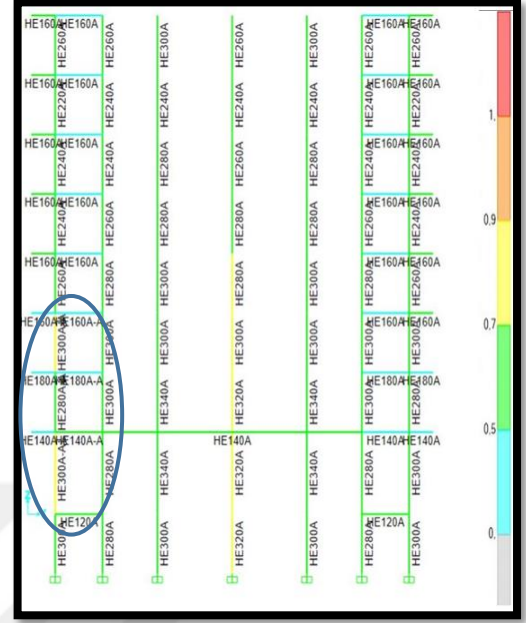
Yangın senaryosunun tek bir katta olması durumlarında elde ettiğimiz analiz sonuçlarımıza göre en fazla dayanım kaybı alt katlarda (zemin kat, 1. Kat ve 2. Kat) olduğu gerilme oranlarındaki değişimlerde görülmüştür. Sonuç olarak, tek katta oluşabilecek yangın senaryolarında alt katlarda meydana gelebilecek yangın durumunda yapıda göçme durumu etkisi daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

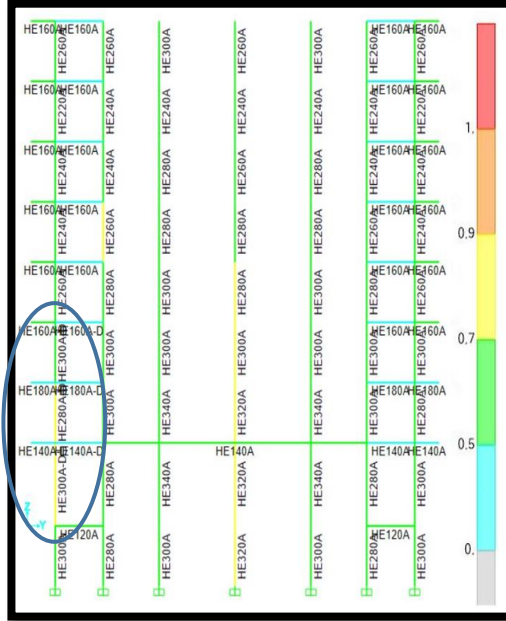
6.2.3. Zemin kat, 1. kat ve 2. katta (toplam 3 katta) yangın senaryo sonuçları



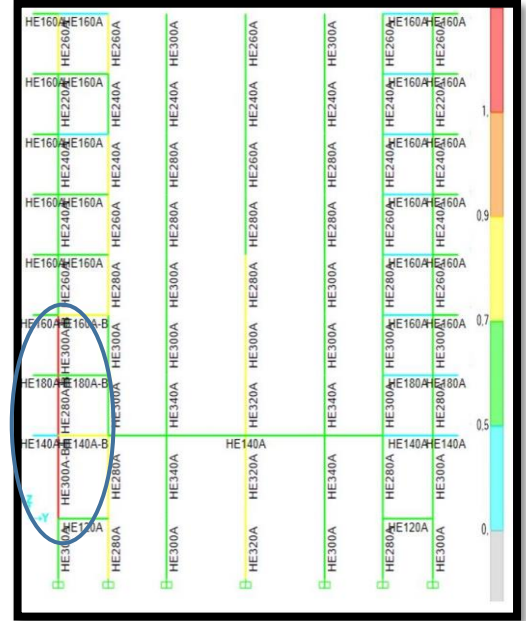
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.24. İlk 3 katta yangın senaryosu sonucu gerilme durumu (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünüşleri.

Yangının ilk üç katta meydana gelmesi durumunda farklı derecelerdeki senaryo durumu verileri Çizelge 6.15'te elde edilen verilerin 25°C - 940°C arasındaki %'lik olarak değişimleri Çizelge 6.16'da verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık dereceleri arttıkça gerilme oranları yükselmekte böylece yüksek sıcaklıkta çelik elemanları taşıma kapasitelerini kaybettikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca çizelgede verilen gerilmelerdeki değişimler Şekil 6.24'de kolon kiriş şeması gerilme oranı renk kartelasında da açıkça görülmektedir. İlk üç katın çelik kolon taşıyıcısı 25°C'de yeşilken, 300°C ve 450°C'de sarı, 600°C ve 940°C'de gerilme oranlarındaki artış nedeniyle görünüşleri renk değiştirerek kırmızı halini almış, kenar ve konsol kirişlerde de normal sıcaklıklarda yeşil renkten 940°C'deki görünüşleri kırmızı renge dönüşmüştür. Ayrıca sıcaklığa maruz bıraktığımız kolon kirişlerin haricinde farklı katlarda ve farklı akslardaki çelik taşıyıcılarında etkilendiği ve gerilmelerinde artış meydana geldiği farklı sıcaklıktaki kolon-kiriş şeması renk kartelasında açıkça görülmektedir. Elde ettiğimiz analiz sonuçlarımıza göre en fazla dayanım kaybı 1. Kat olduğu gerilme oranlarındaki değişimlerde görülmüştür.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

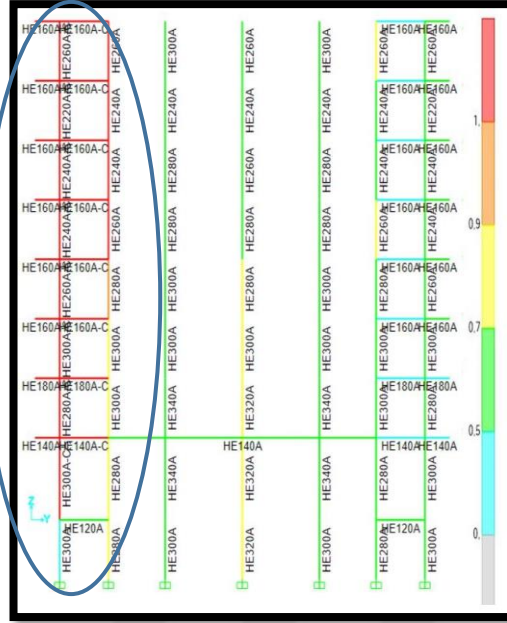
Çizelge 6.15. İlk 3 katta (zemin, 1 ve 2) farklı yangın senaryoları için çelik elemanlarında eksenel, moment, kesme kuvvet ve gerilme oran değerleri

	Sıcaklık	HE300A kolon				HE 140A konsol kiriş				HE 140A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
Zemin Kat	25 °C	-1869	0	4,574	0,636	0	-18,3	26,23	0,331	0	-25,6	41,61	0,463
	300 °C	-1847	0	4,642	0,754	0	-18,27	26,215	0,413	0	-25,64	41,639	0,58
	450 °C	-1781,4	0	3,08	0,738	0	-14,898	23,536	0,308	0	-21,584	38,946	0,446
	600 °C	-1602	0	0,75	1,289	0	-9,982	20,463	0,393	0	-19,53	37,789	0,768
	940 °C	-956,2	0	2,359	6,084	0	-4,3	16,196	1,497	0	-18,29	38,203	6,367
1. Kat	Sıcaklık	HE 280A kolon				HE 180A konsol kiriş				HE180A kenar kiriş			
	25 °C	-1440	-17,2	7,744	0,66	0	-48,6	49,61	0,471	0	-42,8	52,72	0,415
	300 °C	-1428	-16,77	7,599	0,666	0	-44,57	46,273	0,444	0	-37,15	48,808	0,37
	450 °C	-1384,4	-19,042	9,547	0,769	0	-40,64	43,08	0,466	0	-30,557	44,136	0,35
	600 °C	-1253	-22,16	12,019	1,384	0	-27,43	32,543	0,597	0	-25,25	40,28	0,55
	940 °C	-730,4	-26	15,067	7,536	0	-8E+00	19,183	1,606	0	-20,76	38,626	3,835
2. Kat	Sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
	25 °C	-995,97	63,668	40,073	0,595	-0,223	-41,999	44,773	0,537	0	-35,821	47,788	0,458
	300 °C	-991,59	64,664	40,04	0,735	-0,183	-37,837	41,386	0,492	0	-31,262	44,686	0,406
	450 °C	-963,44	57,42	35,65	0,673	-0,152	-34,101	38,37	0,509	0	-26,674	42	0,398
	600 °C	-995,03	36,246	22,266	1,189	-0,077	-22,313	28,947	0,633	0	-25,367	40,941	0,719
	940 °C	-578,84	30,485	16,8	6,062	-1,98E-04	-7,873	18,603	1,932	0	-21,997	40,296	5,397

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.16. İlk üç kat yangın senaryosunda 25°C - 940°C arasındaki eksenel basınç moment kuvveti ,kesme kuvvet ve gerilme oran değişimleri %'lik olarak belirlenmesi.

zemin kat yangın içindeki analiz sonucu	sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 140 A konsol kiriş				HE140 A kenar kiriş			
		P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %
	25 °C-940°C arası değişim	48,82 azalma	0	48,42 azalma	856,6 artış	0	76,47 azalma	38,25 azalma	251,6 artış	0	28,46 azalma	8,17 azalma	1070,1 artış
1. katın yangın içindeki analiz sonucu	sıcaklık	HE 280 A kolon				HE 180 A konsol kiriş				HE180 A kenar kiriş			
		P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %
	25 °C-940°C arası değişim	49,29 azalma	50,78 artış	94,56 artış	1041,8 artış	0	82,11 azalma	61,31 azalma	269,9 artış	0	51,53 azalma	26,73 azalma	824,9 artış
2. katın yangın içindeki analiz sonucu	sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE160 A kenar kiriş			
		P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %	P _u %	M _u %	V _u %	Ratio (Gerilme oranı) %
	25 °C-940°C arası değişim	41,88 azalma	52,11 azalma	58,07 azalma	918,8 artış	99,9 azalma	81,25 azalma	68,45 azalma	324,7 artış	0	38,59 azalma	15,67 azalma	1078,3 artış



(e)

Şekil 6.25. Tüm binanın (8 kat) yangın senaryosu sonucu gerilme durumu (a) 25°C, (b) 300°C, (c) 450°C, (d) 600°C ve (e) 940°C sıcaklıktaki SAP2000'den kolon-kiriş şema görünüşleri.

Farklı sıcaklıklar altında sekiz katta yangın senaryosu olması sonucu katların eksenel, moment, kesme kuvvetleri ve gerilme oran değişimleri Çizelge 6.17'de verilmiştir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.17. Farklı sıcaklık altında sekiz katta yangın senaryosu olması sonucu katların eksenel moment kesme kuvvetleri ve gerilme oranı

	Sıcaklık	HE300A kolon				HE 140A konsol kiriş				HE 140A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
Zemin Kat	25 °C	-1868,52	0	4,574	0,636	0	-18,281	26,226	0,331	0	-25,572	41,605	0,463
	300 °C	-1817,189	0	4,68	0,742	0	-18,264	26,214	0,413	0	-25,778	41,74	0,583
	450 °C	-1731,178	0	3,064	0,717	0	-14,896	23,534	0,308	0	-21,753	39,069	0,449
	600 °C	-1516,618	0	0,745	1,22	0	-9,975	20,458	0,392	0	-19,621	37,849	0,772
	940 °C	-968,503	0	2,711	6,162	0	-4,277	16,182	1,489	0	-18,499	38,335	6,439
1. Kat	Sıcaklık	HE 280A kolon				HE 180A konsol kiriş				HE180A kenar kiriş			
	25 °C	-1440,4	-17,243	7,744	0,66	0	-48,6	49,605	0,471	0	-42,832	52,718	0,415
	300 °C	-1413,889	-16,497	7,447	0,658	0	-44,58	46,28	0,444	0	-37,498	49,068	0,373
	450 °C	-1362,138	-18,407	9,216	0,754	0	-40,67	43,099	0,466	0	-31,029	44,496	0,355
	600 °C	-1222,955	-20,454	11,191	1,333	0	-27,546	32,618	0,6	0	-25,853	40,812	0,563
	940 °C	-776,244	-28,911	17,58	7,944	0	-8,885	19,307	1,642	0	-21,883	39,487	4,043
2. Kat	Sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
	25 °C	-995,969	63,668	40,073	0,595	-0,223	-41,999	44,773	0,537	0	-35,821	47,788	0,458
	300 °C	-993,884	65,225	41,146	0,739	-0,183	-37,807	41,367	0,492	0	-31,587	44,901	0,411
	450 °C	-970,215	58,776	38,038	0,683	-0,152	-34,02	38,319	0,507	0	-26,456	41,725	0,395
	600 °C	-900,527	54,545	36,7	1,223	-0,077	-22,028	28,767	0,624	0	-24,882	40,265	0,705
	940 °C	-633,883	-50,342	33,49	7,52	-2,02E-04	-7,107	18,079	1,744	0	-21,533	39,351	5,283

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.17. (devam)

	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C	-917,752	-28,732	18,036	0,663	-0,269	-42,773	45,467	0,547	0	-36,575	48,006	0,467
3. Kat	300 °C	-906,573	-28,374	17,254	0,677	-0,221	-38,442	41,963	0,5	0	-32,127	44,966	0,418
	450 °C	-877,296	-31,272	19,563	0,777	-0,183	-34,615	38,866	0,516	0	-26,415	41,426	0,394
	600 °C	-818,968	-34,947	21,861	1,408	-0,092	-22,289	29,039	0,632	0	-25,494	40,351	0,723
	940 °C	-509,068	-42,148	27,017	8,423	-2,15E-04	-6,871	17,918	1,686	0	-22,241	39,543	5,457
4. Kat	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C	-669,546	45,621	30,993	0,684	-0,31	-42,83	45,522	0,547	0	-36,346	47,591	0,464
	300 °C	-665,998	43,901	29,908	0,704	-0,255	-38,537	42,043	0,501	0	-31,454	44,311	0,409
	450 °C	-648,574	43,638	29,999	0,795	-0,211	-34,707	38,945	0,518	0	-26,623	41,779	0,397
	600 °C	-592,945	-43,776	29,833	1,439	-0,106	-22,386	29,118	0,635	0	-26,372	41,037	0,747
	940 °C	-369,124	-43,588	29,29	8,501	-1,19E-04	-6,781	17,848	1,664	0	-23,051	39,999	5,655
5. Kat	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C	-503,761	-47,534	31,25	0,662	-0,353	-42,222	45,059	0,54	0	-36,424	47,417	0,465
	300 °C	-500,367	-46,933	30,854	0,679	-0,29	-38	41,644	0,494	0	-31,42	44,073	0,408
	450 °C	-486,856	-48,576	31,997	0,777	-0,24	-34,21	38,581	0,51	0	-25,553	40,794	0,381
	600 °C	-444,786	-50,82	33,637	1,406	-0,121	-21,993	28,838	0,623	0	-26,147	40,653	0,741
	940 °C	-270,954	-49,899	33,52	8,264	-8,70E-05	-6,499	17,631	1,594	0	-23,38	40,071	5,736
6. Kat	Sıcaklık	HE 220 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C	-338,926	35,657	23,498	0,579	-0,398	-43,242	45,809	0,553	0	-34,572	46,617	0,442
	300 °C	-336,21	34,811	22,912	0,595	-0,327	-38,982	42,352	0,507	0	-29,292	42,998	0,381
	450 °C	-326,878	35,531	23,38	0,682	-0,271	-35,179	39,273	0,525	0	-28,319	42,99	0,422
	600 °C	-297,455	36,658	24,283	1,243	-0,136	-22,893	29,474	0,649	0	-28,797	42,792	0,816
	940 °C	-177,747	36,499	24,945	7,467	-2,06E-05	-6,877	17,906	1,687	0	-24,704	41,054	6,061

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.17. (devam)

7. Kat	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C	-173,247	-71,808	43,609	0,642	-0,441	-43,047	45,786	0,55	0	-34,247	45,453	0,438
	300 °C	-171,87	-71,174	43,494	0,656	-0,363	-38,739	42,299	0,504	0	-29,746	42,523	0,387
	450 °C	-167,494	-73,658	45,313	0,754	0,3	-34,835	39,142	0,52	0	-24,512	38,965	0,366
	600 °C	-153,736	-77,23	48,575	1,365	-0,151	-22,26	29,1	0,631	0	-24,347	39,243	0,69
	940 °C	-96,547	-73,719	48,988	7,74	3,80E-05	-6,381	17,556	1,565	0	-23,305	39,889	5,718

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.18. 25°C - 940°C arasındaki eksenel basınç moment kuvveti ,kesme kuvvet ve gerilme oran değişimleri %'lik olarak belirlenmesi

Zemin Kat	Sıcaklık	HE300A kolon				HE 140A konsol kiriş				HE 140A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
	25°C-940°C	48,16 azalış	0	40,73 azalış	868,8 artış	0	76,6 azalış	38,29 azalış	349,8 artış	0	27,65 azalış	7,85 azalış	1290,7 artış
1. Kat	Sıcaklık	HE 280A kolon				HE 180A konsol kiriş				HE180A kenar kiriş			
	25°C-940°C	46,1 azalış	67,68 artış	127 artış	1103,6 artış	0	81,7 azalış	61,07 azalış	248,6 artış	0	48,9 azalış	25,09 azalış	874,2 artış
2. Kat	Sıcaklık	HE 300 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A kenar kiriş			
	25°C-940°C	36,35 azalış	179 azalış	16,4 azalış	1163,8 artış	99,9 azalış	83,07 azalış	59,62 azalış	224,7 artış	0	39,88 azalış	17,65 azalış	1053,5 artış
3. Kat	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C-940°C	44,53 azalış	46,69 artış	49,79 artış	1170,4 artış	99,9 azalış	83,93 azalış	60,59 azalış	208,2 artış	0	39,19 azalış	17,62 azalış	1068,5 artış

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.18. (devam)

4. Kat	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C-940°C	44,86 azalış	195,5 azalış	5,49 azalış	1142,8 artış	99,9 azalış	84,16 azalış	60,79 azalış	204,2 artış	0	36,5 azalış	15,95 azalış	118,75 artış
5. Kat	Sıcaklık	HE 240 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C-940°C	46,2 azalış	4,97 artış	7,26 artış	1148 artış	99,9 azalış	84,6 azalış	60,87 azalış	195,1 artış	0	35,8 azalış	15,49 azalış	1133,5 artış
6. Kat	Sıcaklık	HE 220 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C-940°C	47,55 azalış	2,36 artış	6,15 artış	1189,6 artış	99,9 azalış	84,1 azalış	60,9 azalış	205,1 artış	0	28,54 azalış	11,93 azalış	1271,2 artış
7. Kat	Sıcaklık	HE 260 A kolon				HE 160 A konsol kiriş				HE 160 A konsol kiriş			
	25 °C-940°C	44,27 azalış	2,66 artış	12,33 artış	1105,6 artış	100 azalış	85,1 azalış	61,65 azalış	184,5 artış	0	31,95 azalış	12,24 azalış	1205,5 artış

Elde edilen bulgular neticesinde katların 25°C - 940°C arasındaki eksenel basınç moment kuvveti, kesme kuvvet ve gerilme oran değişimleri %'lik olarak Çizelge 6.18'de düzenlenmiştir. Yangın senaryosunun tüm katlarda olması sonucu Çizelge 6.18'deki değişim yüzdelerine göre kolonda eksenel kuvvetteki en büyük değişim zemin katta görülmüş momentteki değişim ara katlarda (2 ve 4), kesme kuvvetindeki en büyük değişim 1. katta görülmektedir.

Konsol kirişte momentteki değişim yüzdesi genel olarak yakın değerlerde değişim göstermekte kesme kuvvetinde zemin kat harici diğer katlar birbirine yakın oranda değişim içerisindedir.

Kenar kirişte moment ve kesme kuvvetindeki değişim 1. Katta daha fazla olduğu görülmektedir.

Sekiz katın yangın senaryosunda farklı sıcaklıklar sonucu gerilme oranında tüm katlarda artış oluşmuş en fazla etki ara katlarda (3 ve 4 kat) meydana geldiği görülmüştür.

6.2.5. Birinci katın yangın senaryo durumlarının karşılaştırılması (tek başına, ilk üç kat ve tüm yapı yangın senaryoları)

Çizelge 6.19'da karşılaştırma sonuçları verilen 1. Katın üç farklı koşul durumuna göre HE280A kolonunda eksenel kuvvetteki değişim verilerine göre, katın ilk üç katta yangın meydana gelmesi durumunda %49,29 azalma meydana gelmektedir. Moment'teki değişim katın sadece kendisinde oluşan yangında %100 azalış varken ilk üç katındaki yangın senaryosunda %50,79 artış sekiz kattaki yangın senaryo durumunda ise %67,67 oranında artış görülmektedir. Kesme kuvvetindeki en fazla değişim %127 artış ile sekiz katlı yangın senaryosunda meydana gelmektedir.

HE180A Konsol kirişindeki moment değişimleri ilk üç kattaki yangın senaryo durumu tüm katlarda olabilecek yangın senaryo durumuna, tüm katlarda oluşan yangın senaryo durumunun ise katın tek olarak yangın senaryo meydana gelmesine göre azalış görülmektedir. Kesme kuvvetinde kat sayısının artması durumuyla paralellik görülmekte

HE 180A Kenar kiriş momenti katın tek başına yangın durumunda olma durumundaki azalış diğer koşullara göre daha fazladır. Kesme kuvvet durumu ise ilk üç katta fazla sonra tüm katlarda, en son ise katın kendi durumundaki hali ile azalış sıralaması görülmektedir. Gerilme artış oranı ise tüm katlardaki yangın senaryo durumu diğer koşullara göre fazla olduğu anlaşılmaktadır.



6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 6.19. Birinci katın üç farklı koşullardaki yangın senaryo sonuçları

Tek başına yanma durumu	Sıcaklık	HE 280A kolon				HE 180A konsol kiriş				HE180A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
Tek başına yanma durumu	25 °C	-1440,4	-17,243	7,744	0,66	0	-48,6	49,605	0,471	0	-42,832	52,718	0,415
	300 °C	-1429,69	-16,936	7,679	0,667	0	-44,582	46,283	0,444	0	-37,178	48,842	0,37
	450 °C	-1418	-16,12	7,377	0,748	0	-40,67	43,079	0,466	0	-32,62	45,693	0,374
	600 °C	-1623,06	0	5,369	1,339	0	-27,573	32,573	0,6	0	-23,529	39,72	0,512
	940 °C	-1251,53	0	1,66	8,614	0	-9,417	18,649	1,74	0	-20,308	39,156	3,752
Üç kat yanma durumu	25 °C	-1440,4	-17,243	7,744	0,66	0	-48,6	49,605	0,471	0	-42,832	52,718	0,415
	300 °C	-1427,984	-16,765	7,599	0,666	0	-44,569	46,273	0,444	0	-37,145	48,808	0,37
	450 °C	-1384,4	-19,042	9,547	0,769	0	-40,64	43,08	0,466	0	-30,557	44,136	0,35
	600 °C	-1253,024	-22,163	12,019	1,384	0	-27,429	32,543	0,597	0	-25,252	40,28	0,55
	940 °C	-730,414	-26	15,067	7,536	0	-8E+00	19,183	1,606	0	-20,757	38,626	3,835
Sekiz kat (tüm bina) yanma durumu	25 °C	-1440,4	-17,243	7,744	0,66	0	-48,6	49,605	0,471	0	-42,832	52,718	0,415
	300 °C	-1413,889	-16,497	7,447	0,658	0	-44,58	46,28	0,444	0	-37,498	49,068	0,373
	450 °C	-1362,138	-18,407	9,216	0,754	0	-40,67	43,099	0,466	0	-31,029	44,496	0,355
	600 °C	-1222,955	-20,454	11,191	1,333	0	-27,546	32,618	0,6	0	-25,853	40,812	0,563
	940 °C	-776,244	-28,911	17,58	7,944	0	-8,885	19,307	1,642	0	-21,883	39,487	4,043

6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

1. kat için düzenlenen Çizelge 6.19’da yangın senaryo sonuçlarının %’lik olarak değişimi Çizelge 6.20’de verilmiştir.

Çizelge 6.20. Birinci katın üç farklı koşul durumu ve 25°C ile 940°C arasındaki değişimlerin %’lik olarak belirlenmesi

	Sıcaklık	HE 280A kolon				HE 180A konsol kiriş				HE180A kenar kiriş			
		P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)	P _u (kN)	M _u (kNm)	V _u (kN)	Ratio (Gerilme oranı)
Tek başına yanma durumu	25°C-940°C	13,11 azalış	100 azalış	78,56 azalış	1205 artış	0	80,62 azalış	62,4 azalış	269,4 artış	0	52,59 azalış	25,73 azalış	804,1 artış
Üç kat yanma durumu		49,29 azalış	50,79 artış	94,56 artış	1042 artış	0	82,11 azalış	61,33 azalış	241 artış	0	51,54 azalış	26,73 azalış	824,1 artış
Sekiz kat (tüm bina) yanma durumu		46,11 azalış	67,67 artış	127 artış	1104 artış	0	81,72 azalış	61,08 azalış	248,6 artış	0	48,91 azalış	25,1 azalış	874,2 artış

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çelik yapıların yangın performansını etkileyecek birçok parametre araştırılmıştır. 8 katlı bir konut projesi SAP2000 programı yardımıyla tasarım modellemesi yapılmış olup yapı elemanlarının kesitleri belirlenmiştir. Belirlenen bu kesitlere 1 saat süresince Standard yangın (ISO834) etki ettirilerek korumalı ve korumasız çelik yapı elemanlarının sıcaklıkları belirlenmiştir. Koruma olarak farklı pasif koruma malzemeleri (alçıpan ve mineral lifli spreyci boya) tercih edilmiştir. Analiz sonrası yangın senaryo analizleri yapılmıştır. Tüm yangın senaryolarında sıcaklıkların artmasıyla çelik taşıyıcı elemanlar üzerindeki değişimler, kolon-kiriş şemasındaki renk kartelasında farklı sıcaklıklar altında farklı renklerdeki durumları görülmüş ve sıcaklıkların artmasıyla gerilme oranlarındaki artışlar belirlenmiştir. Elde edilen korumasız çelik sıcaklıklarına göre her yapı elemanının yüksek sıcaklıklarda düşmüş (azalmış) mekanik özellikleri (dayanım ve elastisite modülü) belirlenip bu mekanik özelliklere göre tekrar SAP2000 yapısal analizleri yapılarak yapının yangına karşı yapısal performansı belirlenmiştir. Bu senaryolar;

- Her katın köşe bölümü yangına maruz bırakılmıştır.
- İlk 3 kat yangına maruz bırakılmıştır.
- Tüm bina (8 kat) yangına maruz bırakılmıştır.

Ayrıca, yapıda döşeme olarak hafif betondan kompozit döşemeler modellenmiş ve bu kompozit döşemelere de yangın analizleri yapılmıştır. Kompozit döşemeye ait ana ve tali kirişlerin yangına karşı korumalı olup olmamasına göre yapılan analizler sonucunda döşemede olması muhtemel deformasyonlar ve döşeme içerisinde bulunan donatıların farklı yüksekliklerdeki sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu sonuçlarda bize, döşemenin yangın etkisinde yapısal performansı hakkında bilgi vermiştir.

Bu tez çalışması kapsamında varılan sonuçlar ana hatlarıyla şöyle sıralanabilir:

- Tüm katlarda korumalı çelik sıcaklığı yaklaşık olarak korumanın türüne ve kalınlığına göre (13,5 – 22 mm arasında farklı kalınlıklarla) 550°C civarındadır ve bu

sıcaklıklarda dayanımının büyük bir kısmını kaybetmemiştir. Koruma türlerinde kolonlarda alçıpan panel ve spreyc boya uygulanmış ve kıyaslamada ekonomiklik açısından alçıpan panellerin kullanılması, kirişlerde ise estetiklik ve uygulama kolaylığı açısından spreyc boya ile koruma yapılması öngörülmüştür. Korumasız çelik sıcaklıkları ise 60 dakika sonunda yaklaşık olarak 940°C civarındır.

- 60 dakikalık dizayn sonucunda oluşan deplasman döşeme alanına bağlı olarak zemin katta 160,65 mm normal katlarda 155,44 mm olarak elde edilmiş ve bu değerler bulmuş olduğumuz müsaade edilebilir deplasman miktarı 149,58 mm'yi aşmıştır. TSlab sehimi hesaplaması da Newman vd. (2006) çalışmasına göre yapılmış ve değeri 150,63 mm olarak bulunmuştur. Süre olarak da 41. dakikaya kadar herhangi bir değişim yokken 41. dakikadan sonra sehimi miktarında artma meydana gelip yaklaşık dizayn süresi olan 60. dakikada müsaade edilebilir sehimi miktarını geçmektedir
- Döşemede kullanılan A393 ($\phi 10$) donatının 60 dakika sonunda sıcaklık etkisinde farklı derinlikteki koşullarda (tam derinlik, ortalama derinlik, ağırlıklı ortalama derinlik ve sürekli derinliklerde) analizleri yapılmıştır. Sürekli derinlik koşulu 52,5. dk da 549,4°C ile sınır değeri almakta ve bu dk dan sonra çeliğin kopma değeri olan 550°C'yi geçtiği görülmektedir. Ortalama derinlikteki sıcaklık genellikle baz alınır ve kat döşemelerinde ortalama sıcaklık değeri 285,675 °C'dir. Eurocode 4 Part 1.2 Tablo 3.4'e göre bu sıcaklıktaki dayanım düşme katsayısı 1.0'dır.
- Yüksek sıcaklıklarda çelik malzemenin düşürülmüş mekanik özellikleri (dayanım ve elastisite modülü) Eurocode 3 standardına göre belirlenmiş olup 300°C-450°C -600°C ve 940°C'lerde sırasıyla oda sıcaklığındaki dayanımının sırasıyla yaklaşık %1-2, %7-8 , %60 ve %95'ini kaybetmiştir. Düşürülmüş kopma dayanımı da akma dayanımına göre belirlenmiştir.
- Tek kat yangın senaryolarından zemin kat için yapılan analizler sonucunda, 60 dk sonunda HE300A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %33,2 azalma, kesme kuvvet altında %99,4

oranında azalma görülmektedir. HE140A konsol kiriş moment değişiminde %75,13, kesme kuvvetinde %38,89 azalma, HE140A Kenar kiriş moment değişimi %24,74, kesme kuvvetteki azalma %6,16'dır.

- Tek kat yangın senaryolarından 4. kat için yapılan analizler sonucunda, HE240A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %12,82 artma moment değişimi %100 azalma, kesme kuvvet altında %96,49 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %99,96 azalma, moment değişiminde %82,78 azalma, kesme kuvvetinde %59,9 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %49,44, kesme kuvvetteki azalma %20,85'dir.
- Yine tek kat yangın senaryolarından 7. kat için yapılan analizler sonucunda, HE260A kolonu oda sıcaklığından 940 C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %10,64 artma (basınç), moment değişimi %66,99 azalma, kesme kuvvet altında %69,89 oranında azalma görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet altında %100 azalma, moment değişiminde %84,3 azalma, kesme kuvvetinde %60,9 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %44,4, kesme kuvvetteki azalma %17,16'dır.
- İlk 3 kat yangınına maruz kalındığında, zemin kattaki yapı elemanlarının performansı belirlendiğinde, 60 dakika sonunda HE300A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %48,82 azalma (basınç), moment değişimi bulunmazken, kesme kuvvet altında %48,42 oranında azalma görülmektedir. HE140A konsol kiriş eksenel kuvvet bulunmazken, moment değişiminde %76,47 azalma, kesme kuvvetinde %38,25 azalma, HE140A Kenar kiriş moment değişimi %28,46 azalma, kesme kuvvetteki azalma ise %8,17'dir. 1. kat için elde edilen sonuçlara göre 60'dk sonunda HE 280A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %49,29 azalma (basınç), moment değişimi %50,78 artış, kesme kuvvet altında %94,56 oranında artış görülmektedir. HE 180A konsol kiriş eksenel kuvvet bulunmazken, moment değişiminde %82,11 azalma, kesme kuvvetinde %61,32 azalma, HE 180A Kenar kiriş moment değişimi %51,53,

kesme kuvvetteki azalma %26,73'dir. 2. kat için elde edilen bulgulara göre 60'dk sonunda HE 300A kolonu oda sıcaklığından 940°C sıcaklığa kadar geçen sürede eksenel kuvvet altında %41,88 azalma (basınç), moment değişimi %52,11 azalma, kesme kuvvet altında %58,07 oranında azalış görülmektedir. HE160A konsol kiriş eksenel kuvvet %99,9 azalma, moment değişiminde %81,25 azalma, kesme kuvvetinde %68,45 azalma, HE160A Kenar kiriş moment değişimi %38,59 azalma, kesme kuvvetteki azalma %15,67'dir.

- Tüm bina (8 kat) yangına maruz bırakılan senaryo sonucunda, kolonda eksenel basınçtaki en büyük değişim zemin katta görülmüş momentteki değişim ara katlarda (2 ve 4), kesme kuvvetindeki en büyük değişim 1. katta görülmektedir. Konsol kirişte momentteki değişim yüzdesi genel olarak yakın değerlerde değişim göstermekte kesme kuvvetinde zemin kat harici diğer katlar birbirine yakın oranda değişim içerisinde. Kenar kirişte moment ve kesme kuvvetindeki değişim 1. Katta daha fazla olduğu görülmektedir.
- 1. Katın üç farklı koşul durumuna göre HE280A kolonunda eksenel kuvvetteki değişim katın ilk üç katta yangın meydana gelmesi durumunda %49,29 azalma meydana gelmektedir. Moment teki değişim katın sadece kendisinde oluşan yangında %100 azalış varken ilk üç katındaki yangın senaryosunda %50,79 artış sekiz kattaki yangın senaryo durumunda ise %67,67 oranında artış görülmektedir. Kesme kuvvetteki en fazla değişim %127 artış ile sekiz katlı yangın senaryosunda meydana gelmektedir. HE180A Konsol kirişindeki moment değişimleri ilk üç kattaki yangın senaryo durumu tüm katlarda olabilecek yangın senaryo durumuna, tüm katlarda oluşan yangın senaryo durumunun ise katın tek olarak yangın senaryo meydana gelmesine göre azalış görülmektedir. Kesme kuvvetinde kat sayısının artması durumuyla paralellik görülmekte HE 180A Kenar kiriş momenti katın tek başına yangın durumunda olma durumundaki azalış diğer koşullara göre daha fazladır. Kesme kuvvet durumu ise ilk üç katta fazla sonra tüm katlarda, en son ise katın kendi durumundaki hali ile azalış sıralaması görülmektedir. Gerilme artış oranı ise tüm katlardaki yangın senaryo durumu diğer koşullara göre fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışması sonucunda tez çalışması kapsamında incelenmeyen farklı yangın etkilerinin (hızlı, yavaş ve Smouldering) yapısal performansı yukarıda bahsedilen kriterlerde nasıl etkileyeceğinin değerlendirilmesi ön görülmektedir. Buna ilaveten bu tez çalışmasında yapılan köşe yangınlarının (corner fire) dışında farklı kompartmanlarda (yangın bölümlerinde) ortaya çıkacak yangınların yine yukarıda belirtilen kriterlerle tüm binanın yapısal performansı nasıl ve ne ölçüde etkileyeceği araştırılabilir. Ayrıca, farklı deprem etkilerinde benzer analizlerin yapılarak tüm binanın yatay ötelenmesinin saptanması ve bu ötelenmeye göre yapısal performansının hangi ölçüde ne kadar etkileneceğinin belirlenmesi ve incelenmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- ASTM E119-20. 2020. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Beyen, K. 2008. Web Sitesi: <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer/KBEYEN-2008Mayis.pdf>, Eriřim Tarihi: 01.05.2008.
- Binaların Yangından Koruması Hakkında Yönetmelik, 2007. 19/12/2007 tarih ve 26735 sayılı Resmi Gazete.
- Bingöl, A. F. 2008. Beton-donatı aderansına yüksek sıcaklıkların etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 85-137, Erzurum.
- Buchanan, A. H., Abu, A. K. 2017. Structural design for fire safety. Second John Wiley & Sons, 20-30, Yeni Zelanda.
- CEN 2002. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1. Actions on structures. Part 1.2: General actions - Actions on structures exposed to fire. BSI: London.
- CEN 2005a. EN 1993-1-2 Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.2: General Rules - Structural fire design. BSI: London.
- CEN 2005b. BS EN 1993-1-1 Eurocode 3. Design of Steel Structures, Part 1-1, BS.
- CEN 2005c. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4. Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design. Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design. BSI: London.
- Cirpici, B. K., Wang, Y. C. & Rogers, B. 2016a. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. Fire Safety Journal, 81, 74-84.
- Cirpici, B. K., Wang, Y. C., Rogers, B. D. & Bourbigot, S. 2016b. A theoretical model for quantifying expansion of intumescent coating under different heating conditions. Polymer Engineering & Science, 56(7), 798-809.
- Cirpici, B. K. 2020. Design analysis of a steel industrial building with wide openings exposed to fire. Challenge Journal of Structural Mechanics, 6(3), 99-109.
- Cirpici, B. K., Orhan, S. N. & Kotan, T. 2020. Finite element study on composite slab-beam systems under various fire exposures. Steel and Composite Structures, 37(5), 589-603.
- Cirpici, B. K., Orhan, S.N. ve Kotan, T. 2019. Numerical modelling of heat transfer through protected composite structural members. Challenge J. Struct. Mech., 5(3), 96-107.
- Cordeiro, L. C., ve Silva, V. P. 2016. Sobre o dimensionamento de laje mista de aço e concreto em situação de incêndio. Revista da Faculdade de Educação, 5(1), 12.

- Çavdar, Ö. 2017. Farklı Şekilde Çapraz Elemanlı Çelik Yapıların Dinamik Davranışının İncelenmesi, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, 26 Ekim, 193, 3, Gaziantep.
- Demirel, F. ve Özkan, E. 2003. Çelik Yapı Bileşenleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri, Gazi Üniversitesi Müh. ve Mim. Fak. Dergisi, 18(4), 89-107.
- Ermancık, M. 2021. Kompozit döşemelerin yangın performansının çeşitli parametrelerle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 8-17, Erzurum.
- ISO834-1. 1999. International Organization for Standardization, Fire Resistance Tests Elements of Buildings Construction- Part 1: General Requirements.
- Li, G. Q. ve Wang, W. Y. 2013. A simplified approach for fire-resistance design of steel-concrete composite beams. Steel and Composite Structures, 14(3), 295-312.
- Işık, N. 2020. Çelik endüstri yapıların yangın güvenliği. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 6-13, İstanbul.
- Newman, G. M., Robinson, J. T. & Bailey, C. G. 2006. Fire safe design: A new approach to multi-storey steel-framed buildings. UK: The Steel Construction Institute.
- Özberk, Doğan, D. 2010. Çelik yapılarda pasif yangından koruma yöntemlerinin karşılaştırılmalı maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 6-17, Denizli.
- Öven, V. A., Parlak, İ. Y. 2003. Korumasız Çeliğin Yüksek Sıcaklıklarda Performansı. Türkiye Mühendislik Haberleri, (427), 79-86.
- Phan, L. T., Mcallister, T. P., Gross, J. L. & Hurley, M. J. 2010. Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings, U.S. Department of Commerce.
- TS EN 1991-1-2 2004. Yangına maruz kalan yapılar üzerinde etkiler Bölüm 1–2: genel kurallar- yangın güvenlik tasarımı, TSE.
- TS EN 1993-1-2 2007. Çelik yapıların tasarımı-Bölüm 1–2: Genel kurallar Yangına karşı yapısal tasarım.
- Yazgan, M. T. 2010. Yangın geçirmiş çelik binaların dayanımlarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Ana bilim Dalı, 37-57, Gebze.