

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIKLARA MARUZ KALAN ÇELİK
T-BİRLEŞİMLERİNİN YÜK DEFORMASYON
EĞRİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüsna EKŞİ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMELERİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN
Ortak Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mahyar MAALİ

Eylül 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hüsna EKŞİ

07.09.2020



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında değerli katkı ve eleőtirileriyle yol gösteren eğitimim boyunca benden değerli bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen yüksek lisans tezimin planlanmasından yazılmasına kadar her aőamada yanımda bulunan; eğitimci kiőtilięi, çalıőkanlıęı ve azmiyle bana őrnek olan saygıdeğer danışman hocalarım Dr. őr. Üyesi Zeynep YAMAN ve Dr. őr. Üyesi Mahyar MAALİ'ye, ayrıca fikir ve tecrübeleriyle tez çalıőmalarıma yön veren Dr. őr. Üyesi Elif AğCAKOCA'ya teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen, moral ve motivasyonumu yükselten, verdiğim her karara güvenen, yanımda olan AİLEM'e, bu süreçte bana manevi destek olan değerli eőim Ünal EKŞİ'ye ve yaőam enerjim, birtanecik kızım Ayőe İnci EKŞİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	3
BÖLÜM 2.	
MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
2.1. Yangın Testlerinde Sıcaklık- Zaman Eğrisi	14
2.2. Çeliğin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi	19
2.3. Yangına Dayanıklı Boya	22
2.4. Deformasyon Ölçme Aleti (LVDT)	24
2.5. Fırın	25
2.6. Veri Toplayıcı (Data Logger)	26
2.7. Deneysel Çalışmalar	27
BÖLÜM 3.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	30
3.1. Bulgular	33

3.1.1. IPE 200 deney grubu bulguları	33
3.1.1.1. Boyauygulaması yapılmamış ipe200 grup modeller.....	34
3.1.1.2. 200 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller.....	37
3.1.1.3. 400µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller.....	40
3.1.1.4. 600 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller.....	42
3.1.1.5. IPE200 grup deney numunelerinde genel değerlendirme	45
3.1.2. IPE 220 deney grubu bulguları	45
3.1.2.1. Boya uygulaması yapılmamış IPE220 grup modeller.....	46
3.1.2.2. 200 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe220 grup modeller.....	49
3.1.2.3. 400 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış IPE220 grup modeller	52
3.1.2.4. 600 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe220 grup modeller.....	54
3.1.2.5. IPE220 grup deney numunelerinde genel değerlendirme	57
3.1.3. IPE 240 deney grubu bulguları	57
3.1.3.1. Boya uygulaması yapılmamış ipe240 grup modeller.....	58
3.1.3.2. 200 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller.....	61
3.1.3.3. 400 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller.....	64
3.1.3.4. 600 µ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller.....	66
3.1.3.5. IPE240 grup deney numunelerinde genel değerlendirme	69
3.1.4. Referans kontrol grubu	70
3.2. Tüm Grupların Enerji Sönümleme Kapasitesi Açısından Karşılaştırılması.....	72
3.2.1. 300 °C sıcaklık etkisindeki numuneler.....	72
3.2.2. 450 °C sıcaklık etkisindeki numuneler.....	74

3.2.3. 600 °C sıcaklık etkisindeki numuneler.....	76
3.2.4. 1000 °C sıcaklık etkisindeki numuneler.....	78
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
4.1. Sonuçlar.....	80
4.2. Öneriler.....	83
KAYNAKÇA.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yangına dayanıklılık testlerinde kullanılan zaman-sıcaklık eğrisi	15
Şekil 2.2. Standart yangınlara ilişkin sıcaklık- zaman grafiği	18
Şekil 2.3. Standart Yangın Eğrisi ve Tezde Kullanılan Yangın Sıcaklık Değerleri	19
Şekil 2.4. Çeliğin Çekme Kuvveti Altında Gerilme- Deformasyon Diyagramı	20
Şekil 2.5. Kullanılan boya ve boyanmış numuneler	24
Şekil 2.6. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT)	25
Şekil 2.7. Fırın ve Numuneler	26
Şekil 2.8. Deney düzeneği ve Veri toplayıcı.....	27
Şekil 3.1. T-birleşim detay çizimleri.....	32
Şekil 3.2. Boya Kaplaması Uygulanmamış Numunelere Ait Yük –Deformasyon Eğrisi	34
Şekil 3.3. IPE200-T300 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu	35
Şekil 3.4. IPE200-T450 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu	36
Şekil 3.5. IPE200-T600 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu	36
Şekil 3.6. IPE200-T1000 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu	36
Şekil 3.7. IPE200- 200 mikrona ait Yük-Deformasyon Eğrisi	37
Şekil 3.8. IPE200-T300-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	38
Şekil 3.9. IPE200-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	39
Şekil 3.10. IPE200-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	39
Şekil 3.11. IPE200-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	39
Şekil 3.12. IPE200-400 μ 'a ait Yük–Deformasyon Eğrisi.....	40

Şekil 3.13. IPE200-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	41
Şekil 3.14. IPE200-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	41
Şekil 3.15. IPE200-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	42
Şekil 3.16. IPE200-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	42
Şekil 3.17. IPE200-600 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.....	43
Şekil 3.18. IPE200-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	44
Şekil 3.19. IPE200-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	44
Şekil 3.20. IPE200-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	44
Şekil 3.21. IPE200-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	45
Şekil 3.22. Boya Kaplaması Uygulanmamış IPE220 Numunesine Ait Yük – Deformasyon Eğrisi.....	47
Şekil 3.23. IPE200-T300 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	48
Şekil 3.24. IPE200-T450 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	48
Şekil 3.25. IPE200-T600 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	48
Şekil 3.26. IPE200-T1000 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu...	49
Şekil 3.27. I220-200 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi	49
Şekil 3.28. I220-T300-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	50
Şekil 3.29. I220-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	51
Şekil 3.30. I220-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	51
Şekil 3.31. I220-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	51

Şekil 3.32. I220-400 μ 'a ait Yük -Deformasyon Eğrisi.....	52
Şekil 3.33. I220-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	53
Şekil 3.34. I220-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	53
Şekil 3.35. I220-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	54
Şekil 3.36. I220-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	54
Şekil 3.37. I220-600 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi	55
Şekil 3.38. I220-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	56
Şekil 3.39. I220-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	56
Şekil 3.40. I220-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	56
Şekil 3.41. I220-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	57
Şekil 3.42. Boya Kaplaması Uygulanmamış IPE240 Numunesine Ait Yük – Deformasyon Eğrisi.....	58
Şekil 3.43. I240-T300 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu	60
Şekil 3.44. I240-T450 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu	60
Şekil 3.45. I240-T600 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu	60
Şekil 3.46. I240-T1000 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu	61
Şekil 3.47. I240-200 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi	61
Şekil 3.48. I240-T300-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	62
Şekil 3.49. I240-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	63
Şekil 3.50. I240-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	63

Şekil 3.51. I240-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	63
Şekil 3.52. I240-400 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi	64
Şekil 3.53. I240-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	65
Şekil 3.54. I240-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	65
Şekil 3.55. I240-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	66
Şekil 3.56. I240-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	66
Şekil 3.57. I240-600 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi	67
Şekil 3.58. I240-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	68
Şekil 3.59. I240-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	68
Şekil 3.60. I240-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	69
Şekil 3.61. I240-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.....	69
Şekil 3.62. I200-I220-I240 boyanmamış numuneye ait Yük -Deformasyon Eğrisi	70
Şekil 3.63. I200 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.....	71
Şekil 3.64. I220 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.....	71
Şekil 3.65. I240 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.....	71
Şekil 3.66. 300 °C Sıcaklık-200 μ boyauygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	72
Şekil 3.67. 300 °C Sıcaklık-400 μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	72
Şekil 3.68. 300 °C Sıcaklık-600 μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	73
Şekil 3.69. 300 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri.....	73

Şekil 3.70. 450 °C Sıcaklık-200µ boyauygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	74
Şekil 3.71. 450 °C Sıcaklık-400µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	74
Şekil 3.72. 450 °C Sıcaklık-600µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	75
Şekil 3.73. 450 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri.....	75
Şekil 3.74. 600 °C Sıcaklık-200µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	76
Şekil 3.75. 600 °C Sıcaklık-400µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	76
Şekil 3.76. 600 °C Sıcaklık-600µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	77
Şekil 3.77. 600 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri.....	77
Şekil 3.78. 1000 °C Sıcaklık-200µ boyauygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	78
Şekil 3.79. 1000 °C Sıcaklık-400µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteler	78
Şekil 3.80. 1000 °C Sıcaklık-600µ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri	79
Şekil 3.81. 1000 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlene kapasiteleri.....	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Isonem (Anti-fire paintplus) Boyanın Teknik Özellikleri	23
Tablo 2.2. Deney Grupları ve İsimleri	27
Tablo 3.1. IPE 200 Deney Numunesi Özellikleri.....	30
Tablo 3.2. IPE 220Deney Numunesi Özellikleri.....	31
Tablo 3.3. IPE240 Deney Numunesi Özellikleri.....	31
Tablo 3.4. Deney Grupları ve İsimleri	33
Tablo 3.5. IPE 220 Deney Grubu Bulguları.....	46
Tablo 3.6. IPE 240 Deney Grubu Bulguları.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

σ_e	: Gerilme orantılılık sınırı
σ	: Gerilme
σ_f	: Akma Gerilmesi
μ	: Milimetrenin binde biri
A_0	: Numune Kesit Alanı
AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği
ABAQUS	: Mühendislik için bilgisayar destekli sonlu elemanlar analiz yazılımı
ANSYS	: Ürün tasarımının, testi ve işletimi için çoklu fizik mühendisleri tarafından geliştirilen simülasyon yazılımı
ASTM E119	: Yapı İnşaat ve Malzemelerinin Yangın Testleri için Standart Test Yöntemleri
b	: Başlık genişliğinin yarısı (mm)
B	: Profil başlık genişliği (mm)
E	: Elastisite Modülü
e	: Bulon deliği ağırlık merkezinin kenara olan uzaklığı (mm)
Eurocode 3	: Çelik yapıların dizayn kuralları
Eurocode 8	: Yapıların depreme dayanımı için dizayn kuralları
H	: Profil yüksekliği (mm)
H _w	: Profil gövde yüksekliği (mm)
ISO834	: Yangına Dayanıklılık Standartı Testleri
K _e	: Elastik Rijitlik
K _p	: Plastik Rijitlik
KR (kneerange)	: Knee Bölgesi
L-Lo	: Şekil Değiştirme
p	: Bulon ağırlık merkezleri arasındaki mesafe (mm)

P	: Numuneye İki Yönlü Eksenel Uygulanan Kuvvet
SAFIR	: Yapı Elemanlarının Yangın Etkisindeki Davranışını Hesaplayan Bir Paket Program
SAP 2000	: Yapının Analitik Modelinin Kurgulanıp Çözümlendiği Yapısal Analiz ve Tasarım Yazılımı
SCIA Engineer	: Tüm yapı tipleri için entegre, çok malzemeli yapısal analiz ve tasarım yazılımı
t	: Zaman
T	: Yangın Derecesi [°C]
tf	: Profil başlık kalınlığı(mm)
TS 3357	: Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları
TS 648	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS EN 13381-4	: Yük Taşımayan Elemanlardaki Yangına Dayanıklılık Deneyleri Bölüm1: Duvarlar
TS EN 1363-1	: Yangına Dayanıklılık Deneyleri Bölüm 1: Genel Kurallar
TS EN 1993-1-2	: Çelik Yapıların Tasarımı-Bölüm 1-2:genel kurallar – Yangına Karşı Yapısal Tasarım (Eurocode 3)
TS4561	: Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları
Tw	: Profil gövde kalınlığı (mm)
Vulcan	: Döküm prosesleri içinsimülasyonprogramı

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik yapı, Isıl genişleme, Yangın güvenliği, Çelik yapılarda yalıtım, Korumasız çelik, Yüksek sıcaklık etkisi, Bulonlu birleşimler, Kolon-kiriş birleşimleri, Termal iletkenlik

Bina yangınları dünya çapında çok sayıda can kaybına ve ciddi ekonomik zararlara neden olmaktadır. Gerektiğinde sökülebilir olması, yüksek mukavemetli olması, m² ye düşen yapı ağırlığının az olması ve süneklik gibi avantajları ile mühendislere çok katlı ve hafif yapılar tasarlama imkânı sunan çelik yapı elemanlarının, yangın güvenliği sağlanmazsa yangın bu yapılarda tamamen felakete dönüşebilmektedir.

Çelik yüksek ısı iletkenliğine sahip bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybeder ve yumuşamaya başlar. Eurocode tasarım yönergelerine göre, 550-600° C lik bir ortam sıcaklığında çeliğin mukavemetinin %50 sini kaybettiği kabul edilir. Bu nedenle yangın güvenliği özellikle tasarım aşamasında yapısal bütünlüğün olmazsa olmaz bir parçası olarak düşünülmesi ve yapı için gerekli olan yangın güvenlik stratejileri belirlenmelidir. Ayrıca çelik yapılar betonarme yapılar gibi monolitik ve rijit olmadığı için, yangına veya yüksek sıcaklığa maruz kalan çelik yapıların, birleşim bölgelerinden hasar görerek, göçmelerin oluşması kaçınılmaz bir durumdur. Yangına ve yüksek sıcaklığa maruz kalan çelik yapılarda yapı elemanlarının kısmen de olsa korunması ve yüksek sıcaklığın çelik yapı elemanları üzerindeki etkilerinin geciktirilerek, oluşması muhtemel yapı hasarları için tedbir alınmasına yönelik zaman kazanımı ile can güvenliğinin sağlanması amacıyla yapı elemanlarının termal bariyer etkisi oluşturabilecek malzemelerle kaplanması bir yangın güvenlik yöntemidir.

Bu çalışmada, çelik yapılarda taşıyıcı elemanların en yaygın birleşim şekli olan T birleşim bölgelerinin yangın vb. durumlarda ortaya çıkacak yüksek sıcaklığa maruz kalmalarından sonraki durumun yük deformasyon ilişkileri incelenmiştir. Çelik yapı elemanlarının yüksek sıcaklık korunması için geliştirilmiş, yangın etkisine karşı termal bariyer etkisi oluşturabilecek, genişleterek yangın yalıtımı sağlayan su bazlı boya ile T birleşimler farklı kalınlıklarda boyanarak, boya kalınlığının birleşim bölgelerinin yük deformasyon eğrileri üzerine etkileri incelenmiştir.

INVESTIGATION OF LOAD DEFORMATION CURVES OF STEEL T JOINTS EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

SUMMARY

Keywords: Steel structure, thermal expansion, fire security, insulation in steel structures, unshielded steel, high temperature effect, bolted connections. column and beam connections, thermal conductivity.

Building fires cause worldwide casualties and serious economic losses. Steel structure elements, which offer engineers the opportunity to design multi-storey and light structures with advantages such as being dismantled when necessary, high strength, low structure weight per square meter and ductility, can turn into a disaster in these structures if fire safety is not provided.

Steel is a material with high thermal conductivity. It starts to melt at high temperatures. According to Eurocode design guidelines, it loses 50% of steel strength at 550-600 degrees. For this reason, fire safety should be considered as an indispensable part of structural integrity, especially at the design stage, and the fire safety strategies required for the building should be determined.

In addition, since steel structures are not monolithic and rigid, such as reinforced concrete structures, the building elements are partially protected in steel structures exposed to fire or high temperature and in order to take measures for possible structural damage by delaying the effects of high temperature on steel structure elements and to ensure life safety. It is a fire safety method to cover the elements with materials that can create a thermal barrier effect.

In this study, the load deformation relations of the T joints, which are the most common form of informatics of bearing elements in steel structures, are investigated after exposure to high temperatures that will occur in cases such as fire. The effects of paint thickness on the load deformation curves of the joints were investigated by painting T compositions in different thicknesses with water-based paint, which was developed for high temperature protection of steel construction elements, which can create a thermal barrier effect against its widespread effect, and provides fire insulation by expanding.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapılar kullanım ömürleri boyunca birçok yük etkisine maruz kalmakta ve yük etkilerinin elverişsiz değerlere ulaşması pek çok risklerin ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir. Etki eden yükleri taşıyabilmesi ve oluşabilecek riskleri karşılayabilmesi için yapının ve yapıyı oluşturan yapısal elemanların belli bir dayanıma sahip olması gerekmektedir.

Aynı hacimdeki betonarme yapısal elemanlarla kıyaslandığında dayanımı yüksek olan çelik yapı elemanlarının, imalat esnasında belli bir denetimden geçirilerek yapı inşaatında kullanılıyor olması, montajının kolay olması ve sökümünün mümkün olması gibi nedenlerden dolayı çelik yapılar özellikle sanayi tipi yapılarda, iş merkezlerinde, alışveriş merkezlerinde tercih edilmektedir.

Her yapı türünde olduğu gibi avantajlarının yanı sıra dezavantajları da olan çelik yapıların, gerek imalat ve montaj aşamasında gerekse kullanım ömürleri boyunca sorun teşkil edecek eksik ve zayıf yönleri belirlenerek bu yönleri güçlendirilmeye çalışılmalıdır.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Günümüzde çelik yapılar modern endüstrinin çeşitli dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak endüstriyel gelişime bağlı olarak enerji kullanımının artması aynı oranda yangın riskini de beraberinde getirmektedir. Çelik yapıların, en büyük dezavantajı yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik özelliklerinin hızla olumsuz yönde etkilenmesidir. Sıcaklık arttıkça çeliğin dayanımında önemli derecede azalmalar görülmekte buna bağlı olarak elastisite modülü de küçülmektedir. Çelik 427 °C sıcaklıkta çekme mukavemetini kaybetmekte ve 500 °C sıcaklıkta dayanımı

neredeysi yarıya inmektedir. Sıcaklık 538 °C'yi aştığında çelikte deformasyonlar başlamakta ve 700 °C sıcaklığa ulaşıldığında akma gerilmesi değeri dörtte bir oranına düşmektedir. Sıcaklık 1000 °C'ye eriştiğinde ise çelik taşıma kapasitesini tamamen kaybetmekte, akma dayanımı sıfır değerine yaklaşmaktadır.

Yangının çelik yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesi üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı, yangına maruz kalan bir çelik yapıda meydana gelebilecek dayanım kaybını belirleyebilmek için yapının sıcaklık zaman grafiği çıkarılmalı, ne kadar süreyle hangi sıcaklığa maruz kaldığı belirlenmelidir. Çelik yapı elemanlarının ek yapılmamış bölgelerindeki dayanım kaybı elemanın daha kısa sürede şekil değiştirme yapması ile sonuçlanırken, ek bölgelerindeki dayanım kaybı tüm yapı sisteminin bütünlüğünü bozarak göçme ile sonuçlanabilmektedir.

Kaynaklı plakalardan oluşan bulonlu T-birleşimiyle meydana gelen çelik yapılar yüksek dayanıma sahiptir. Bu tarz birleşimlerin davranışının deneysel olarak değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve çalışmalar belli bir yükleme altında ortaya çıkan yük deformasyon durumlarında T-birleşim düzeneğini oluşturan elemanların davranış karakterleri belirlenerek tamamlanmıştır.

Bu çalışmada; ideal koşullara uygun olarak oluşturulan bir T-birleşiminin, yangın etkilerine karşı koruyucu bir boya ile yangına karşı dayanımının artırılması hedeflenmektedir. Deneysel çalışmada, aksenal çekmeye maruz bırakılan T birleşimlere, yangın etkilerini geciktirici bir boya 200 µ, 400 µ ve 600 µ kalınlıklarda uygulanmış, T-birleşimlerinin yük deformasyon eğrileri, zamana ve maruz kalınan sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmada deneyler iki temel grup altında yapılmıştır. Referans numunesi olarak dikkate alınan ilk grupta boya kullanılmamış, T birleşimleri sıcaklığa maruz bırakılarak yük deformasyon eğrileri, zamana ve maruz kalınan sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir. Referans numunelerde farklı enkesit, farklı sıcaklık değerleri kullanılmıştır. İkinci grupta ise T birleşimleri boyanarak sıcaklığa maruz bırakılmış ve yük deformasyon eğrileri, zamana ve maruz kalınan sıcaklığa bağlı olarak

incelenmiştir. İkinci grup numunelerde de farklı en kesit ve farklı sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Deneyle 48 adet numune ile yapılmıştır. Deneyde IPE 200, IPE 220, IPE 240 profilleri kullanılmıştır. IPE profiller gövdelerinden iki eşit parçaya ayrılarak oluşturulan T profilleri başlıklarından eksantrisite oluşturmayacak şekilde M12 bulonları ile bulonlanmıştır. 120 dakika süre ile laboratuvar ortamında yüksek sıcaklıklı fırında farklı sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler, fırından alındıktan sonra üzerine gerinim ölçer pul(Strain gauge) yapıştırılarak, çekme deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Çekme deneyine tabi tutulan her bir numunenin yük etkisi altındaki şekil değiştirmeleri incelenmiştir.

Çalışmada farklı kalınlıklarda boya kaplaması kullanılmış numunelerin, farklı sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonraki dayanımları tespit edilerek, deney numuneleri için optimum koruyucu boya katmanı kalınlığının tespit edilmesi hedeflenmiş olup, böylece yüksek sıcaklığa maruz kalacak çelik T birleşimlerin kullanım ömrünün uzatılması amaçlanmıştır.

1.2. Kaynak Özetleri

Geçmişten günümüze kadar çelik malzemesi ile ilgili yapılan çalışmalar bugünün dünyasında çelik yapılarla alakalı muazzam büyük ve kusursuz yapılar yükselmesine imkân sağlamaktadır. Çelik yapıların; tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarında ortaya çıkan deprem, yangın vb. etkiler dikkate alınarak ideal bir çelik yapı tasarımı üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmaların yapılması noktasında birtakım standartlar dikkate alınmaktadır. Türkiye’de, bugün çelik binaların tasarım ve yapımı aşamasında kullanılan temel standartlar TS 648, çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar (2018) ve kaynaklı bileşimlerin hesabında kullanılan TS 3357, cıvatalı birleşimlerin hesabında kullanılan TS EN ISO 898-1’dir. Çelik yapılarla ilgili diğer standartlar ise profiller ve bulon tipleri gibi yapısal eleman ve birleşimlerle ilgilidir. TS 648, yapısal çelik tasarımında emniyet gerilmeleri yöntemine göre hesap yaparken; 2018 çelik yönetmeliği binaların tasarımı için taşıma gücüne göre hesap

yöntemini kullanmaktadır. Diğer taraftan, Eurocode 3 ve Eurocode 8 gibi Avrupa standartları, ASD, LRFD ve depreme dayalı tasarım için FEMA, ATC gibi Amerikan standartları ülkemizde de ulusal ve uluslararası proje ve çalışmalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında çelik malzemesi ve yangından koruyucu malzemeler hakkında literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu bölümde kendi çalışmamıza alternatif ve temel olması adına literatür çalışmalarında kullanılmış olan yöntem, Teknik ve çalışma içerikleri özet olarak sunulmuştur.

Coelho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; kaynaklı plakalardan oluşan bulonlu T-birleşim bağlantıları üzerine 32 ayrı test yapmış ve sonuçlarını sunmuşlardır. Bu araştırmayla, esas olarak T-birleşim elemanları olarak haddelenmiş profiller üzerinde yoğunlaşmış ve yaptıkları çalışmayla uygulanan montaj tipi, özellikle deformasyon, rijitlik, deformasyon kapasitesi ve burkulma davranışları hakkında fikir vermişlerdir. Test ettikleri anahtar değişkenler arasında kaynak kalınlığı, bulonların tipi ve çapı, çelik sınıfı, berkitmelerin varlığı ve T-birleşim yönü bulunmuştur. Yaptıkları bu çalışmanın sonuçlarını incelediğimizde bağlantının sünek davranışını sağlamak için kaynak prosedürünün özellikle önemli olduğunu söylemektedirler. Ayrıca T-birleşim'lerinin çoğunun, başlıkta meydana gelen çekme deneyinden sonra bulonların gevrek kırılması ile başarısız olduğunu ve bazı numunelerde, erken çatlamaya neden olan ve genel deformasyon kapasitesini azaltan kaynak malzemesinin etkisinden dolayı kaynak eşiğinin yakınında plaka malzemesinin de erken hasar gördüğünü belirtmişlerdir ve buna çözüm olarakta kaynak için bazı gereksinimlere ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır [1].

Maali yaptığı çalışmada; çelik çerçevelerde dikey ve yatay berkitmelerin yarı rijit kolon-kiriş bulonlu bağlantılarının statik davranışına etkisini incelemiştir. Bu araştırmayla Eurocode 3'ün iyileştirilmesi için gerekli verileri sağlamak ayrıca profillerin verimli kullanımı için dikey ve yatay berkitme kaynaklı IPE profillerini kullanmaya yönelik uç plaka bağlantılarının etkisini analiz etmeyi amaçlamıştır. İki grupta gerçekleştirdiği deneyde, bulonlu uç plakalı kolon-kiriş bağlantısının deneysel

ve sayısal sonuçlarının burkulma modlarını, altı model için tasarlamış ve test etmiştir. Statik yük altındaki uç plaka bağlantıları olan bu modelleri dikey ve yatay berkitme grupları olarak etiketlemiş ve yazılım programında ayrıca bu modelleri kendi içinde karşılaştırmıştır. Kolonları HEB160, kirişleri IPE160 ve kiriş kolon profil kesitlerini ise S235 olarak seçmiş ardından 10 mm kalınlıktaki dikey ve yatay uç plaka berkitmelerine sahip kolon takviyelerini, kesintisiz bir 45 adet dolgu ile kaynak yapmıştır. Manuel kaynakta kullanılan örtülü elektrot E43'tür ve alt köşe kaynaklarının minimum kalınlığını 5 mm seçmiştir. Bu çalışmada 14 mm deliklerde elle sıkılmış tam dişli 8.8 M12 bulonları, test edilen tüm numuneler için sabit tutulup, ilgili standartın hükümlerine göre çekme testleri yapılarak, uç plaka ve berkitmelerden gerilim ölçmek için numuneler hazırlamıştır. Ayrıca deney sonucunun ortalama değerleri hesaplanarak çalışmayla alakalı; deformasyon, rijitlik, dönme kapasitesi, bir eklemin sünekliği, burkulma ve enerji yayılımı gibi parametreleri hakkında bilgi vermiştir [2].

Çırpıcı ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; standart yangın (ISO 834) etkisinde yapısal sistemi tasarlanan ve tasarımı yapılan bir çelik sanayi yapısının davranışını inceleyip, yapı elemanlarında sıcaklıkların dağılımını belirleyerek gerekli yangın koruma malzemesini seçip hem korumalı hem de koruyucu yangın katmanı bulunmayan çelik yapı elemanlarının sıcaklıklarını belirlemişler ve bu tasarımı, 60 dakika boyunca yapıda yüksek sıcaklık dayanımı sağlamak için yapmışlardır. Bu süre zarfında çelik malzemesi için, dayanımının büyük bir oranını kaybedeceği ve hasar göstereceği kritik sıcaklık değerlerine ulaşmadan önce uygulanacak olan koruma malzemesinin türüne ve optimum kalınlığına karar vererek yangın koruması uygulanmadan yapı elemanlarında oluşacak olan sıcaklıklarla karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri bulgulara göre, iç kolonlarda 25 mm, kenar ve köşe kolonlarda 20 mm alçıpan kutu koruma malzemesi uygulanması gerektiğine ve kirişlerde ise bulunduğu yer, etki edecek yüke ve birleşim tipine göre 15-20 mm arasında farklı kalınlıklarda spreyci boya uygulanması sonucuna varmışlardır. Uygulanan pasif yangın koruma malzemelerinden sonra 60 dakikalık yangın dizaynı sonucunda yapı elemanlarında elde edilen sıcaklıklar 500-550°C'lere ulaşmış ve bu sıcaklıklarda, 60 dakikalık yangın sonucunda çelik için kritik sıcaklık

aralıklarında, dayanım düşmesi göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir sıcaklık değerleri olduğu sonucuna varmışlardır [3].

Crosti yaptığı çalışmada; çelik yapıların yangın etkisi altındaki performansını sunmaktadır. Ayrıca bu çalışmayla uygun senaryolarda uygun yangın modellemesi yapılarak doğrusal olmayan analizin malzemelerin termo-mekanik davranışına etkisini ve bir bütün olarak yapılara uygulanması durumunda, yapının tasarım aşamasında yangına dayanımı açısından performansını göstermeyi amaçlamışlardır. Tüm bunlar, karmaşık bir yapının yapısal göçmesindeki temel düşüncenin, yapının bir bütün olarak davranışı olduğuna dikkat çekerek, tek tek unsurların davranışını anlamının önemine bu çalışmayla vurgu yapılmıştır [4].

Hong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; tipik çelik bina yapılarının temel davranışını ve göçme dayanımını değerlendirmiştir. 3B yapının tamamını, Abaqus yazılımı kullanarak modellemişler ve yaptıkları bu çalışmanın sonuçlarını incelediğimizde kapalı alan yangınının iç kolonlarda esnek olmayan burkulma kırılmasına yol açacağını belirterek döşeme sisteminde zincir eğrisi hareketi ile iç kolonun taşıdığı yükleri kalan kolonlara yeniden dağıtabileceğini ve iç kolon burkulmasına rağmen yapının sabit kaldığını söylemişlerdir. Ayrıca tüm kat yangına maruz kaldığında, bir iç kolonunun esnek olmayan burkulmasıyla burkulmanın başladığını ve diğer kolonların esnek olmayan burkulmasıyla daha da yayıldığını, ardından toplam yapısal yük kapasitesinin, her bir kolonun burkulmasıyla yaklaşık %15 azaldığını ve yüklerin, birinci kolonun burkulmasına karşılık gelen seviyede sabit tutulduğunda, tam kat göçmesi kaçınılmaz hale geleceğini belirtmişlerdir [5].

Liuve arkadaşları yaptıkları çalışmada; yangın koşulları altında kutu-muhafaza yalıtımı ile korunan H-kesitli çelik kolonların sıcaklık geçişinin hesaplanması için sonlu bir eleman analizi sunmaktadırlar. Bu çalışmayla önerdikleri model, yangın koşulları altında kutu muhafaza izolasyonlu H-kesitli çelik kolonların enine kesitlerinin sıcaklık dağılım geçmişlerini oldukça iyi bir doğrulukla tahmin edebilmektedir. Ayrıca boşluktaki radyoaktif ısı transferi, sıcaklık gelişimi ve bunun

bir sonucu olarak kolonun yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [6].

Cedeno ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Abaqus yazılımını kullanarak on kompozit kiriş numunesinin standart yangın davranışını modellemiş ve tahmin etmek için analitik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bunu, sıralı olarak birleştirilmiş iki sayısal analiz adımından oluşturmuşlar ve ikinci adım olarak, uygulanan mekanik yükleme ve ilk adımdan gelen maruz kalınan sıcaklığa bağlı olarak oluşan tepkiler için kompozit kirişin doğrusal olmayan gerilim analizini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmayla elde ettikleri analitik sonuçlarla, deformasyonlar, 3D gerilmeler ve gerilimler dâhil olmak üzere kompozit kirişin tam yapısal davranış içerdiğini ayrıca onaylanmış analitik yaklaşım ve sonlu eleman modellerini, kompozit kiriş numunelerinin standart yangın davranışını modellemek ve tahmin etmek için önermişlerdir. Önerilen bu yaklaşımla, tahminlerin Ansys yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen titiz sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasıyla doğrulamışlar ve karşılaştırma, uç sınırlama, bağlantı konfigürasyonu, yük seviyesi, narinlik ve termal gradyan gibi çeşitli faktörlere sahip geniş bir kiriş yelpazesini kapsadığını belirtmişlerdir [7].

Aziz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Ansys yazılımını kullanarak bir çelik köprü kirişinin yangına tepkisini değerlendirmişler. Köprü kirişlerinin yangın deformasyonunun değerlendirilmesinde bileşik eylemin uygun şekilde hesaba katılmasını ve yangına maruz kalma türü, yalıtımın varlığı, köprü kirişlerinin ortaya çıkan yangına dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmayla maksimum 680 °C sıcaklığa sahip harici tasarım yangına maruz kaldığında bir köprü kirişi, 800 °C'ye ulaşan maksimum sıcaklığı ile orta dereceli tasarım yangına maruz kaldığında %70'e kıyasla yaklaşık %84'lük bir artış kapasiteye sahip olduğunu belirtmişler ve çelik bir köprü kirişinin, tipik hidrokarbon yangınlarında olduğu gibi, maksimum sıcaklığının 1100 °C civarında olduğu yangın koşullarında burkulma verdiği sonucuna varmışlardır [8].

Lin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; farklı yangın senaryoları altında gerçekçi yükleme koşulları ve yapısal yerleşim düzenine sahip üç boyutlu 45m x45m kompozit bina üzerinde yapılan kapsamlı bir çalışma sunmuşlardır. Uç plaka bağlantıları, birincil kirişleri kolonlara bağlamak için kullanılmış ve kısmi uç plaka bağlantıları, sırasıyla ikincil kirişleri kolonlara daha sonra birincil kirişleri ikincil kirişlere bağlamak için kullanmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda, korumasız çelik kirişlerin dayanım ve rijitliğinin hızla azaldığını, yangın alanının üzerindeki yükler büyük ölçüde beton zemin plakaları tarafından taşındığını ve bu nedenle, çelik donatıların döşeme plakalarının davranışına etkisinin daha da önemli olduğunu belirtmişlerdir. Korunan kirişlerin bağlantıları burkulma verdiğinde, döşeme paneli için dikey desteğin azalacağını, bu nedenle çelik çerçeveli kompozit binaların gerçek yangın performansına dayalı tasarımında, bağlantıların etkisinin dikkatlice değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [9].

Sun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; çelik çerçevelerin destek sistemlerinin yangında göçme mekanizmaları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Statik-dinamik bir prosedür kullanan farklı destek sistemlerine sahip çelik çerçeveli yapıların aşamalı göçme mekanizmalarını, Vulcan bilgisayar programı kullanarak yürütmüşlerdir. Bu çalışmayla bir takviye sisteminin, yangın koşulları altında aşamalı göçmeye direnme için çelik çerçevenin kapasitesini artırabileceğini ayrıca destek sisteminin, yapının fazlalığını arttırdığını ve yerel bir stabilitesizlik meydana geldikten sonra alternatif yük paylaşım yolları sağladığını belirtmişlerdir [10].

Payá-Zaforteza ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; sonlu eleman yazılımı Abaqus ile basitçe desteklenen bir çelik otoyol üst geçit köprüsünün yangına tepkisinin sayısal araştırmasını sunmuşlardır. Sonuçları incelediğimizde, bitişik bir açıklıktan veya köprü ayağından gelen köprü tabliyesi genişlemesine yönelik kısıtlamanın sayısal modelde dikkate alınması gerektiğini ayrıca, köprü kirişleri karbon çeliğinden yapıldığında (8,5 ila 18 dakika arasında) göçme sürelerinin çok az olduğunu, ancak kirişler için paslanmaz çelik kullanılırsa neredeyse iki katına çıkabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle paslanmaz çeliğin, yüksek yangın riski durumunda, özellikle köprü korozif bir ortamda bulunuyorsa ve estetiği özel ilgi gerektiriyorsa,

çelik kirişli köprüler için dikkate alınması gereken bir malzeme olduğu sonucuna varmışlardır [11].

Aziz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; köprülerde kullanılan tipik çelik kirişler için yangın performansına dayalı deneysel ve sayısal çalışmalar sunmuşlardır. Çelik kirişleri AASHTO şartnamelerine göre tasarlamışlar ve sayısal model Ansys yazılımını kullanarak geliştirmişlerdir. Genel olarak, Ansys'de öngörülen sapmaları, burkulmaya kadar geçen süre ve burkulma modlarını, yangın testlerinde bildirilen verilerle karşılaştırmışlardır. Tipik çelik köprü kirişlerinin, standart yangına maruz kaldığında yaklaşık 30 ila 40 dakika içinde burkulmaya başlayabildiğini, burkulma süresi, burkulma modu, ağ narinliğinden ve takviye aralıklarından büyük ölçüde etkilendiğini ayrıca Ansys'de geliştirilen ve önerilen sonlu eleman modelinin, ön yükleme aşamasından burkulmaya kadar tüm yükleme aralığında, yangın koşullarında çelik köprü kirişlerinin tepkisini izleyebileceği sonucuna varmışlardır [12].

Zografopoulou ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; çelik bir elemana uygulanan kaplamanın mekanik hasarını ve bu hasarın etkisini sayısal olarak modelleyerek, hasarlı çimentolu yangına dayanıklı (SFRM) kaplamalara sahip çelik elemanların yangın davranışı sorununa çözüm olacak bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan çelik elemanlar normalde Standart Yangın (ISO-834) etkisi altında çelik elemanın yapısal davranışına sahip olduğunu, plakanın sıkıştırma tarafında, yangına dayanıklı (SFRM) kaplama, kendisine en az zarar gelecek şekilde iki malzeme arasındaki ara yüzde meydana gelen ayrılma nedeniyle burkulma verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çimento esaslı yangına dayanıklı (SFRM) kaplamanın düşük mekanik dayanımı ve düşük bağlanma ara yüzey dayanımları nedeniyle, mekanik gerilme, çelik yapı elemanının yangından korunmasında önemli hasara neden olabileceğini böylece daha hızlı sıcaklık artışı ortaya çıktığını bu da daha fazla sapma ve hasarsız bir kaplamaya kıyasla, yangına dayanıklı (SFRM) kaplamanın hasar derecesine bağlı olarak %27'den %70'e kadar plastik deformasyon oluşturma süresini düşüreceğini söylemişlerdir. Bu nedenle, bu tür bir hasar dikkate alınmazsa, bir çelik elemanın yangına dayanıklılığının fazla hesaplanacağını, bunun da yapının ve

kurtarma ekiplerinin güvenliği için bekleyen risklerle birlikte bir yangın sırasında elemanın çok daha erken burkulmasına neden olabileceği sonucuna varmışlardır [13].

Petrina yaptığı çalışmada; çelik bir binanın alt yapısında, yani kolon-kiriş uç plaka bağlantısı üzerinde gerçekleştirilen sayısal simülasyonları açıklamıştır. Vulcan yazılımını kullanarak simülasyonlar yapmış ve elde edilen verilerden yola çıkarak, normal yükleme altında çok sağlam olan bir bağlantı türü için yangın deformasyonunun 30 dakikanın altında olduğunu, çalışılan tipteki elemanlardan oluşan bir çelik yapı için sonuçların tatmin edici olmadığı sonucuna varmıştır. Bağlantı için yangından korunma ihtiyacının gerekli olduğunu ayrıca belirtmiştir [14,15].

Lukomski ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; EN 1993-1-2'de verilen korumasız çelik kirişlerin yangına dayanıklılık testinin sonuçlarını sunmuşlardır. Ölçülen ortalama çelik sıcaklığının %2'den fazla farklılık gösterdiğini ve makalede sundukları üç yöntemin tümü için, kiriş burkulma süresi açısından benzer sonuçlara yol açtığını, bununla birlikte, Eurocode 3'te verilen değerlendirme yöntemlerinin yangına dayanıklılığı tahmin etmede çok etkili ve güvenli tarafta olduğunu belirtmişlerdir. Uygulamada bu tür kirişler için, kirişin enine kesiti içinde daha büyük sıcaklık dağılımı oluşturacak şekilde bir betonarme döşemeye bağlanacağını ve bu tür elemanların ayrıca farklı mekanik özelliklere sahip olacağı sonucuna varmışlardır [16].

Wong yaptığı çalışmada; kısmen ısıtılmış bir çelik elemanın sıcaklık dağılımını parametrik olarak kodlanmış jenerik elemanlarla basit bir sonlu fark şeması kullanarak yapmışlardır. Bu metodun, Eurocode 3 tarafından sağlanan metoda kıyasla çelik elemanların sıcaklık dağılımının tahmini için daha doğru sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlarla, elemanların birden çok yangın alanından geçmesi, yerel yangınlara maruz kalması gibi durumlarda kısmi ısıtmaya maruz kalmış veya kısmi olarak hasar görmüş çelik elemanlar için yalıtım gereksinimleri hakkında bilgi sağladığını belirtmişlerdir [17].

Lausova ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; malzeme ve geometrik sapmaları içeren hem termal hem de yapısal tepkilerin etkisini göz önünde bulundurarak, yüksek sıcaklıklara maruz kalan çelik içi boş kesitli bir çerçevenin davranışıyla ilgilenen SAFIR yazılımından önerilen modelin sonuçları ile SCIA Engineer yazılımının sonuçları arasında karşılaştırmalı sayısal bir çalışma sunmuşlardır. Bu çalışmada, 2D ve 3D modellerle incelenen değişkenlerin benzer gelişimini göstermişler ve burkulma sıcaklığının 600 °C olduğunu, bu sıcaklık değerinde standart yangın eğrisine göre $t = 19$ dakika süresine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlarla, içi boş kesitli çerçeve kirişinin üç taraftan mı yoksa her taraftan mı sıcaklığa maruz kalarak farklı plastik deformasyonlar oluşturacağını göstermişler ve termal analizle özellikle yangının başlangıcında tek tip olmayan sıcaklığın etkisinin, yangının sonraki aşamalarından daha önemli olabileceği durumlarda, kesit yüksekliği boyunca kesin sıcaklık dağılımını elde etmek için çok kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır [18].

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; farklı özelliklerdeki şişen kaplamaların sürekli etkili termal iletkenliklerinin ve yangın testlerinin kapsamlı analiz verilerine dayalı olarak elde edilmesi için yaptıkları bir araştırmadır. Sürekli etkili ısı iletkenliğinin, şişen kaplamanın temel özelliği olmadığını ancak basitleştirilmiş yangına dayanıklılık tasarımı için yeterli miktarda olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda çelik yapıların yangına dayanıklılık tasarımını sıcaklığa bağlı etkin ısı iletkenliği sıcaklık ortalaması olarak tanımlamış, sürekli etkili ısı iletkenliğinin azalan çelik kesit faktörü ile artma ve artan kaplama kalınlığı ile azalma eğiliminde olduğunu ayrıca şişen kaplama korumalı çelik I-kesitler için, gölge efektini birleştiren hesaba göre sabit ısı iletkenliğinin daha tutarlı değerler verdiğini ve Standart yangın (ISO 834) testlerinden elde edilen aynı sabit etkili ısı iletkenliğinin, çelik sıcaklığı 400 °C'nin üzerinde olduğu sürece farklı yangın koşulları için kullanılabilmesini belirtmişlerdir. Bu araştırmanın sonuçlarıyla, farklı yangın koşullarında göbek kaplama korumalı çelik bölümlerin sıcaklıklarını hesaplamak için basit bir yöntem geliştirilebileceğinin mümkün olduğunu söylemişlerdir [19].

Cattani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; yangın olayının yanmaya bağlı genişleme sürecinde önemli ölçüde farklılık göstermesinden dolayı tahmin edilmesinin zor olduğunu; bu nedenle ticari kaplamaların yangına dayanıklılık doğrulamasının kaplama/kiriş konfigürasyonunun tek tek test edilmesine dayanmasından dolayı pahalı ve büyük ölçekli yöntemlere ihtiyaç olduğunu belirtmiş, bunun yerine şişen kaplamanın termal modellemesine dayalı yaklaşımların benimsenmesi gerektiğine ve test prosedürünün basitleştirilerek, yangına dayanıklı yapının tasarımını desteklemek için şişen boyaların yapılarda pasif yangın koruma sistemi olarak kullanılabileceğini açıklamışlardır. Bu araştırmayla, şişen kaplamaların davranışını modellemek için kullanılabilecek termal özelliklerin değerlendirilmesi üzerine odaklanılmış ve parametre tahmin prosedürü ilk olarak IPE 400 çelik kiriş ile ilgili olarak elde edilen verilere dayanarak doğrulanmış, ardından analiz en 1363-1 ve ENV 13381-4 standartlarına göre yangın testine tabi tutulan korumalı çelik kirişlerin deneysel sıcaklık geçmişine uygulanmasıyla çalışmayı tamamlamışlardır. Sonuç olarak, şişen boyanın davranışının eşdeğer bir ısı iletkenliği ile modelleştirilmesine dayanarak burada önerilen yaklaşımın, koruyucu kaplamanın yangın geciktirici etkisini ölçmek için uygun olabileceğini göstermektedirler [20].

Bailey ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; koni kalorimetre testlerinde kullanılan çelik plaka kalınlığı ve kuru film kalınlığı aynı kombinasyonlara sahip, farklı yangın sıcaklık-zaman ilişkileri (yavaş, hızlı ve standart) altında fırın yangın testlerinin deneysel sonuçlarını sunmaktadırlar. Tahmin ve deneysel sonuçlar arasında yapılan bir karşılaştırmayla, çelik plaka sıcaklık sonuçlarının genellikle %10'da son genişletilmiş kalınlığın ise %20'si kadar olduğunu göstermektedirler [21].

Sulong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; şişen alev geciktirici boyaların bir yangın durumunda çeliğin performansı üzerindeki etkinliğini ve etkisini incelemişlerdir. Bu boyaların, bağlayıcı olarak su bazlı şişen kaplamaları sentezlemek için silika dumansı (SF) ve alev geciktirici dolgu malzemesi olarak tavuk yumurta kabuğu (CES) içeren katkı maddelerine dayandığını, bağlayıcı ve dolgu malzemelerinin özelliklerini ve yangına dayanıklı performansı üzerindeki etkisini termogravimetrik analiz (TGA), taramalı elektron mikroskobu (SEM), küçük ölçekli Bunsen brülör testi ve fırın testi

kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada TGA sonuçlarıyla, SF'nin tek başına veya CES ile birlikte eklenmesiyle, kaplamaların artık ağırlığının ve termal stabilitesinin arttığını ve SEM görüntülerinde gelişmiş yüzey yapısının oluştuğunu belirtmişler. Ayrıca SF, CES ve yangın geciktirici katkı maddelerinin birleşiminin, yangına maruz kalma sırasında yerinde kalmak için yeterli yapışma sağlayarak yüksek termal stabilite, en büyük genleşme ve en yoğun yüzey yapısı olmak üzere en iyi yangın koruma performansını gösterdiği sonucuna varmışlardır [22].

Zhang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; şişen yangın geciktirici polipropilen (IFR-PP) malzemeleri, öncelikle polipropilen, amonyum polifosfat (APP), pentaerythritol (PER) ve poliamid-6'dan oluşan malzemeler hazırladılar, ardından IFR-PP malzemelerinin yanma davranışını koni kalorimetre kullanarak ölçüp, çok kanallı veri toplayıcı kullanarak elde edilen sonuçları incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara dayanarak IFR-PP malzemelerinin içindeki sıcaklık dağılımı sonuçlarını incelediklerinde numunenin üst yüzeyine yakın ölçülen sıcaklığın, üst yüzeyden çok daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca IFR-PP numunelerinin dış sıcaklık alanı ölçüm sonuçlarını incelediklerinde ise şişen boyalarda kömür oluşmadan önce sıcaklığın zamanla kademeli olarak arttığını, daha sonra numunenin sıcaklık değerlerinin kömür kapağının oluşumu ve biriken gazlar nedeniyle keskin bir şekilde azaldığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak IFR-PP malzemelerinin ısı transfer süreçlerin de APP ve PER içeriğindeki değişiklikler gibi boyalar arasındaki farkın etkilendiğini gözlemlediklerini söylemişlerdir [23].

BÖLÜM 2. MATERYAL ve YÖNTEM

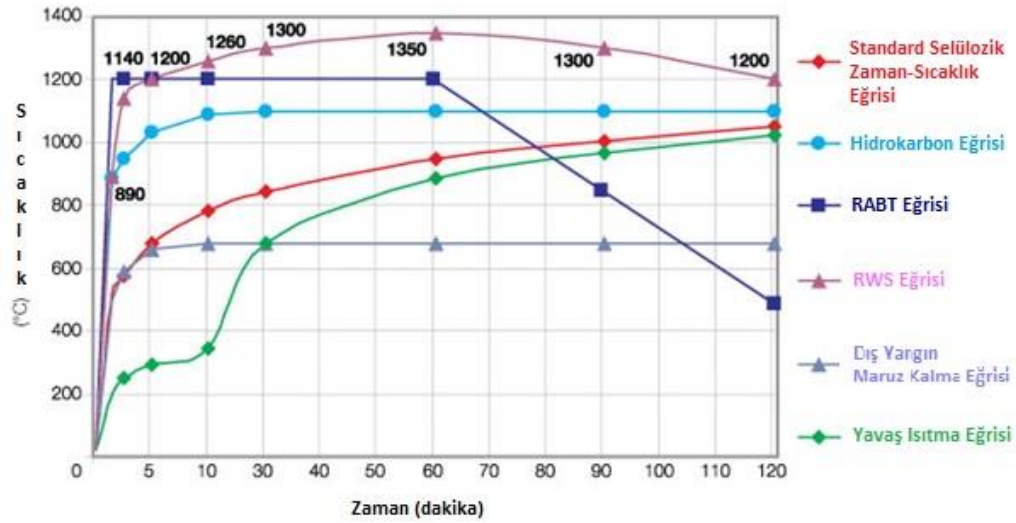
Çalışmada, yangın koruyucu boya kullanılarak oluşturulmuş çelik yapı elemanlarının T birleşimlerinin, olası bir yangın durumunda aksel çekme yükü etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bu bölümde kullanılan yöntem ve malzemeye ait bilgiler sunulmuştur.

2.1. Yangın Testlerinde Sıcaklık- Zaman Eğrisi

Malzemelerin yangın esnasındaki dayanıklılıkları zaman ve sıcaklığın etkisine bağlı olarak değişim göstermektedir. Yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının yangın performansını değerlendirmek için uzun yıllardır yangına dayanıklılık testleri yapılmaktadır. Yangına dayanıklılık testlerinde kullanılan zaman-sıcaklık eğrisi standart bir yangın senaryosunu temsil etmektedir.

- Standart yangınlar (ISO834, ASTM E119, Hidrokarbon)
- Oda yangınları (Parametrik, Pencere yangınları)
- Bölge Modelleri (Tek bölge ve ileri bölge modelleri)
- Alan Modelleri (İleri yangın ve duman modellemesi)

Standart yangınlar ve oda yangınları basit modeller, bölge ve alan modelleri ise ileri model olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.1. Yangına dayanıklılık testlerinde kullanılan zaman-sıcaklık eğrisi [33].

- Selülozik Yangın Eğrisi (Standart Selülozik Eğri)

Standart yangın testleri ISO 834, BS 476: part 20, DIN 4102, AS 1530 gibi çeşitli ulusal standartlarda tanımlanan selülozik zaman/sıcaklık eğrisine dayanarak yapılır. BS 7436 gibi çeşitli yangın test eğrileri olmasına rağmen, yukarıda tanımlanan eğri pratikte en düşük kullanılandır. Bu eğri genel yapı içerisinde kullanılan malzemelerin yanma hızını ve içeriğini baz alır. ISO834'de verilen sıcaklık-zaman eğrisi,

$$T - T_0 = 345 \log (8t + 1)$$

- Hidrokarbon Yangın Eğrisi

Petrokimya endüstrisinde kullanılan malzemeler ve yapılar üzerinde test yapma ihtiyacına göre oluşturulmuş bir yangın eğrisidir.

Hidrokarbon eğrisi oluşan küçük petrol yangınlarında örneğin araç yakıt depoları, petrol veya yağ tankerleri, bazı kimyasal tankerler vb. yangınlara uygulanabilmektedir. Aslında hidrokarbon eğrisi standart bir yangın çeşidine dayanmasına rağmen, petrokimya yakıtları ile birçok ilişkili yangın türü vardır.

Eurocode hidrokarbon eğrisi olarak anılan,

$$T = 1080 (1 - 0.325 e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t}) + T_0$$

şeklindeki sıcaklık-zaman eğrisini standart yangın olarak tanımlamıştır.

- Hidrokarbon Yangın Eğrisi (Geliştirilmiş)

Fransız yönetmeliği, hidrokarbon eğrisinden türetilmiş Geliştirilmiş Hidrokarbon Eğrisi (HCM) olarak adlandırılan Hidrokarbon Eğrisinin bir üst versiyonuna ihtiyaç duymuştur.

Standart HC eğrisinde oluşan maksimum sıcaklık 1100°C iken Geliştirilmiş Hidrokarbon Eğrisinde 1300 °C'dir. Fakat, HCM yangının ilk birkaç dakikasındaki ısı değişimi tüm hidrokarbon esaslı yangınlar (RWS, HCM, HC) kadar şiddetli olup yapısal betonun dağılmasına yol açan bir sıcaklık şokuna neden olur.

Geliştirilmiş Hidrokarbon Eğrisinin sıcaklık gelişimi için şu eşitlik verilmiştir:

$$T = 1280 (1 - 0.325 e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t}) + T_0$$

- RABT ZTV Yangın Eğrisi (Tünel)

RABT eğrisi Eureka projesi gibi test programları serisinin bir sonucu olarak Almanya'da geliştirilmiştir. RABT eğrisinde, sıcaklık çok hızlı olarak 5 dakika içerisinde 1200 °C'e ulaşır. 1200 °C'ye maruz kalma süresi araç yangınları için 30'uncu dakikada oluşan sıcaklık düşüşünün başlangıcıyla diğer eğrilerden daha kısadır. Sıcaklık düşüşü tren yangınları için sadece 60 dakikada başlaması söz konusudur. Her iki yangın eğrisine de 110 dakika soğutma periyodu uygulanır.

RABT-ZTV zaman/sıcaklık eğrisine maruz kalan numuneler için hata kriteri güçlendirilmiş sıcaklık 300 °C'yi geçmemelidir. Maksimum sıcaklığı için gereklilik bulunmamaktadır.

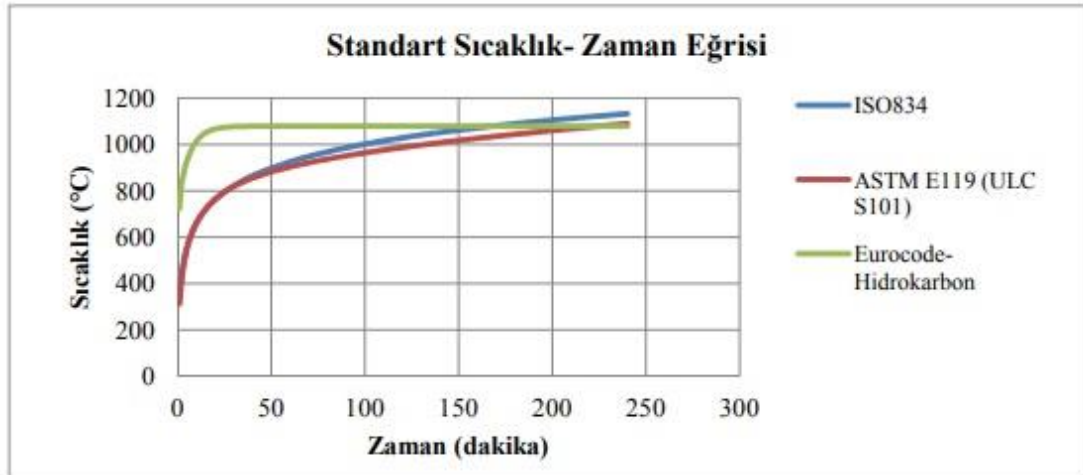
- RWS Yangın Eğrisi (Tünel)

RWS yangın eğrisinin sıcaklık gelişimi aşağıdaki yönergeler tarafından tarif edilmiştir:

RWS eğrisi Hollanda'da ulaştırma bakanlığında Rijkswaterstaat tarafından geliştirilmiş ve TNO tarafında gerçekleştirilen test sonuçlarına dayanmaktadır. En kötü senaryoda bu eğri için 300 MW yangın yükü ile 50 m³ yakıt, petrol veya benzinli tanker ateşinin oluşabileceği ve 120 dakikaya kadar sürebileceği varsayımına dayanmaktadır. RWS eğrisi 1979 yılında Hollanda'da TNO tarafında gerçekleştirilen test sonuçlarına dayanmaktadır [30].

Dünyanın birçok ülkesinde yapılan deney ve çalışmalarda yangın başarımlarının belirlenmesi için birebir ölçekli ya da ölçekli numuneler üzerinde yangın deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan sıcaklık-zaman eğrileri standart yangın eğrileridir. Sıklıkla kullanılan yangın eğrileri arasında ISO834 ve ASTM E119 bulunmaktadır. Bu yangın modellerinde odanın gaz sıcaklığı uniform olarak alınmaktadır. Duman hareketi ve alev sıçraması dikkate alınmaz. Genel tutuşma sonrası yangınlar için daha uygundur.

Oda yangınlarında ise ortamdaki yangın yükü ve havalandırma koşullarına bağlı olarak değişen gerçek sıcaklık-zaman eğrisi de kullanılabilir. Bu eğride standart yangından farklı olarak sönme aşaması da görülebilmektedir. Ancak yangının sönme aşamasına kadar standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre belirlenen sıcaklık dağılımlarının pratik olarak birbirine eşit olduğu söylenebilir.



Şekil 2.2. Standart yangınlara ilişkin sıcaklık- zaman grafiği [30].

Anlaşılabacağı üzere ISO834 ve ASTM E119 sıcaklık-zaman eğrileri birbirlerine oldukça yakın eğrilerdir. Bu çalışma kapsamında “standart yangın” olarak seçilen yangın eğrisi ISO 834’dür. Bir alanda bulunan ve duvarların, bölmelerin, döşemelerin ve tavanların yüzeylerini de içeren tüm yanabilir malzemelerin yanması ile serbest kalabilecek olan enerjilerin toplamı yangın yükünü oluşturur. Yangın süresi ise bir bölme içindeki yangının standart sıcaklık / zaman eğrisine göre, itfaiye müdahalesi olmadan devam edeceği süredir. Bu süre yangın yükü ile belirlenir. Bu çalışma kapsamında ortamda sürekli olarak yangın yükü oluşturacak yanıcı malzemelerin olduğu varsayımı [32] ile yangının 60-120 ve 180 dakika devam ettiği düşünülerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yangın eğrisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

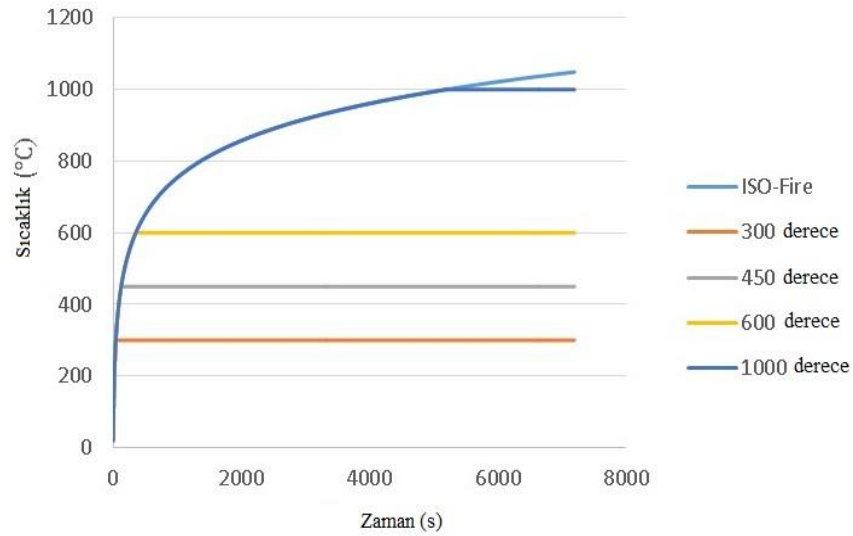
Standart yük-zaman grafiği: $T=20+345 \log_{10}(8t+1)$ [°C]

Burada:

T: Yangın bölmesindeki gaz sıcaklığı [°C]

t: zaman-minimum

Standart yangın eğrisi ve tezde kullanılan sıcaklık değerleri Şekil 2.3.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Standart Yangın Eğrisi ve Tezde Kullanılan Yangın Sıcaklık Değerleri.

2.2. Çeliğin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Çelik yapılarda, yarı rijit moment aktaran birleşimlerde, birleşen elemanlar arasındaki görelî dönme hareketinin tam olarak sınırlandırılmadığı varsayılmaktadır. Bu durumda, yapı sistemlerinin analizleri için geliştirilen analitik modeller, birleşimlerin kuvvet etkisi altında gerilme-şekil değiştirme davranışlarını göz önüne alacak şekilde oluşturulmalıdır. Birleşimler, öngörülen görelî dönme hareketini sağlayacak yeterli dayanım, süneklik ve deformasyon kapasitesine sahip olmalıdır.

Dayanım kullanılan malzemeye özeldir ve deney yoluyla belirlenir. Bir malzemenin dayanımı, çok büyük şekil değiştirme yapabilme kapasitesi ile birlikte taşıyabileceği en fazla kuvvet miktarı ile ilişkilidir. Numuneye etkiyen kuvvet, kuvvet ölçerlerle ve numunedeki deformasyon kontrollü gerilmeler ise direnç tabanlı gerinim pulları ile ölçülür.

Kesit alanı A_0 olan bir çelik çubuk iki ucundan, sıfırdan başlayarak doğrusal olarak artan P kuvvetleri ile çubuk kopuncaya kadar çekildiğinde, P kuvvetlerinin etkisiyle boyu uzayan çubukta

$$E = \tan \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\sigma \leq \sigma_e) \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır. Elastisite modülü yapısal çelik için 200000 MPa'dır. Bu bölgede malzeme elastik olduğundan, yükler boşaltılınca şekil değiştirmeler sıfıra gidip cisim ilk haline geri dönmektedir. Ayrıca bu bölgede şekil değiştirmeler küçüktür.

AB bölgesi: Orantılılık sınırı geçilince diyagramın ikinci bölgesine gelinir. Bu bölgede gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal olmaz, buna karşın malzeme; elastiklik sınırı veya esneklik sınırı adı verilen ve σ_e ile gösterilen sınıra kadar elastik davranır. Gerilmenin σ_e değerinden büyük olması halinde, yük kaldırıldığında malzemede kalıcı deformasyonlar ortaya çıkar. Elastiklik sınırı orantılılık sınırından büyük olmakla birlikte ona çok yakın bir gerilmedir ve bu bölgede şekil değiştirmeler küçüktür.

Elastiklik sınırından sonra yükler boşaltıldığında çubukta kalıcı şekil değiştirmeler görülmeye başlar. Bu bölgede gerilmenin artırılmasına devam edildiğinde; gerilme artışına oranla şekil değiştirmenin fazla olduğu, noktaya gelinir. Bu noktaya malzemenin akma sınırı (plastikleşme sınırı), gerilmeye de akma gerilmesi adı verilir ve σ_f ile gösterilir.

BC bölgesi: Akma başladığı bu bölgede, gerilme akma gerilmesi değerinde sabit olarak devam ederken şekil değiştirmede hızlı bir ilerleme gözlenir. Akma sahanlığı olarak tanımlanan bu bölgede eğri fazla devam etmez. Sahanlığın sonundaki şekil değiştirme değeri yumuşak çelik için yaklaşık 0.03 dür. Bu değerden sonra şekil değiştirmeyi artırmak için gerilmenin de artması gerekir. Yani diyagramın eğimi artar. Yeni eğim, elastik bölgedeki eğim kadar değildir. Bu olaya pekleşme adı verilir. Pekleşme esnasında malzemenin kristal yapısında değişim gözlenir. Bu nedenle deformasyonu arttırmak için daha fazla kuvvet uygulanması gerekir.

CD bölgesi: C noktası eğrinin en tepe noktasıdır ve bu noktaya karşılık gelen gerilme çekme dayanım değeri olarak tanımlanır. Bu noktadan sonra gerilme değerinde ciddi bir düşüş gözlenir. Nedeni, aksenal çekme yükü etkisi altındaki eleman boyunca

belirli bir bölgede en kesitte daralma meydana gelen bir boyun bölgesi oluşmasıdır. Boyun oluşumu gerilmenin maksimum olduğu C noktasında başlar ve çubuğun kopmasına kadar devam eder. Sonunda, daralan en kesit uygulanan kuvvet etkisiyle oluşan gerilmeleri taşıyamaz ve çubuk kopar.

Gerilme-Şekil Değişirme eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiye eşit olup; tokluk adı verilir ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama veya yutma yeteneğini gösterir. Çalışma kapsamında incelenen T birleşimler aksenal çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen yük deformasyon eğrileri bulgular kısmında yorumlanmıştır.

2.3. Yangına Dayanıklı Boya

Boya, elastik yapısı nedeniyle yüzeyde su geçirmeyi engellediği gibi, yüzeyin nefes almasını sağlar, ayrıca düşük ısı iletkenlik katsayılı ve özel yanmazlık katkıları içermesinden dolayı binaların yangından korunması amacıyla özel olarak tasarlanmış fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Yangın esnasında sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak içeriğindeki özel kimyasallar sayesinde şişme reaksiyonu göstererek sıcaklığın uygulandığı yüzeyde ilerlemesini engelleyerek TS EN 13501-2 ye göre 120 dakika yangın dayanımına sahip su bazlı şişen yapıda yangın geciktirici boyadır.

Çalışmada kullanılan boya, fabrikalar ve üretim tesislerinin, enerji santrallerinin, petrokimya tesislerinin, kâğıt fabrikalarının, ahşap mobilya üretim tesislerinin, telekomünikasyon ve bilgi işlem merkezlerinin ve tüm çelik yapı türlerinin kullanımına sunulmuş, yangın etkilerinden koruyucu malzemedir ve boyaya ait Teknik bilgiler Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Isonem (Anti-fire paintplus) Boyanın Teknik Özellikleri [35].

Teknik Özellikler;	
Belgelendirme	TSE K 127 Isıl Boyalar
Sınıf	Soğuk İklim Boyası
Parlaklık	N/A (Değer Aranmaz)
Yaş ovma direnci (μm)	SINIF II
Örtme gücü (m^2/L)	SINIF I
Kuru Film Kalınlığı	SINIF E5
Tane Büyüklüğü	SINIF S2
Su buharı geçirgenliği (m)	SINIF II
Su aktarım hızı ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)	SINIF W3
Çatlak örtme özelliği (μm)	Değer Aranmaz, SINIF Ao
Karbondioksit geçirgenliği ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	Değer Aranmaz, SINIFCo
Yüzey ısı vericiliği değeri	min. 0.80
Güneş ışığını soğurganlık değeri (α)	0.820, min.0.80
Isıl boya yüzey direnci (RS)	0.0495 \pm 1,5%
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.023, $\lambda < 0.060$
Darbeye direnç	Çatlama, Kopma yok
Yoğunluk (25°C, g/mL)	0.85 \pm 0.10
pH (25 °C)	7.0-9.0
Viskozite (25°C, mPa.s)	12500-13500
Ölçme Boyu	30...150 mm
Linearite	$\pm 0,1$ (130-200 mm), $\pm 0,2$ (75-130 mm), $\pm 0,5$ (<75 mm)
Tekrarlanabilirlik	<0,01 mm
Çözünürlük	Sonsuz
Direnç	5 kOhm: 30....150 mm
Direnç Toleransı	± 20
Yük Direnci	100 kOhm min.
Tavsiye Edilen Kontak Akımı	<1 μA
Maksimum Besleme Voltajı	28 VDC maks.
Elektriksel Bağlantı	4 kutuplu hidrolik tip konnektör
Hız	<5 m/s
Mekanik Ömür	100 milyon hareket
Gövde Ölçüleri	33 mm x 33 mm
Gövde Malzemesi	Eloksallı Alüminyum
Mil Malzemesi	Paslanmaz Çelik
Mil Çapı	Ø6 mm
Mekanik Bağlantı	Hareketli ayaklar
IP Koruma Sınıfı	IP 54
Çalışma Sıcaklığı	(-20 °C...+80 °C)
Saklama Sıcaklığı	(-30 °C...+90 °C)

Deney numunelerinde Isonem tarafından TS-EN 1504-2 standartına uygun olarak üretilmiş yangına dayanıklı boya kullanılarak, numuneler yüksek sıcaklık etkisine karşı korumaya alınmıştır. Kullanmış olduğumuz bu boya, yapıların yangından korunması için geliştirilmiştir. Yangın anında kimyasal reaksiyona girip genişerek yangın yalıtımı sağlayan şişen yapıda yangın geciktirici, su bazlı ve yüzeydeki sıcaklığın kritik derecelere yükselmesini engelleyen bir yapıya sahiptir. Su buharı geçirgen özelliği sayesinde uygulandığı yüzeyin nefes almasını sağlar.

Boya uygulaması yapılmadan önce yüzeyler temizlenmeli ve kuru olmasına dikkat edilmelidir. Yağ, kir, çamur gibi maddelerden arındırılmalı, kalan partiküller temizlenmelidir. Uygulamadan önce yüzeye uygun bir kat astar uygulanmalıdır. Daha sonra boya, homojen bir karışım oluşturacak şekilde karıştırılıp uygun bir fırça, rulo ya da uygun bir püskürtücüyle çelik yüzeylere uygulanabilir. Astar uygulaması sonrası boya yüzeye iki kat halinde, 4 saat arayla sulandırmadan uygulanır ve boyama işlemi bitirilir. Dış mekân uygulamalarında, su ve yüksek neme maruz kalan iç mekân uygulamalarında yangın koruyucu boya son kat olarak fırça, rulo veya uygun bir püskürtürücü ile metrekareye 0,3-0,5 kg boya gelecek şekilde uygulanır. Bir diğer önemli ayrıntı ise uygulama yapılacak yüzeyin, uygulama esnasında ve sonrasında yağmur, su, mekanik darbeler vb. tüm dış etkenlerden 24 saat korunması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanmış olduğumuz boya ve boyanmış deney numuneleri Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kullanılan boya ve boyanmış numuneler.

2.4. Deformasyon Ölçme Aleti (LVDT)

Deformasyon ölçüm cihazları deneylerde yük altında eğilmeleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılmaktadır. Bu cihazlarda, en düşük ölçü gösteren deformasyon cihazı 100 mm ve en yüksek 250 mm'dir, cihazların hata oranı 0.001 mm'dir. Dijital ve analog olmak üzere iki çeşit LVDT vardır. Yapılan deneylerde kullanılan LVDT(Linear Variable Differential Transformers-Doğrusal Değişken Fark Dönüştürücü) 100mm'ye kadar ölçüm yapabilen, SDP-100C modelde Japonya

üretimli cihazdır. Şekil 2.6.'da kullanılan LVDT'nin görünümü verilmiştir. Deney esnasında, düşmesini engellemek ve doğru ölçü vermesini sağlamak için LVDT'ler sabitlenmiştir.



Şekil 2.6. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT).

2.5. Fırın

Laboratuvar deneyleri için kullanılan fırınlar yüksek sıcaklıklara dayanıklı seramik hücreler ve düşük ısı transfer katsayısına sahip yüksek kaliteli fiber plaklar kullanılarak imal edilmiş cihazlardır. Gerekli yalıtım ve havalandırma boşluklu yapısı ile fırınların dış yüzey sıcaklığı minimuma indirilmektedir. Fırın kapağı açıldığında elektriği kesen emniyet sistemi ve yüksek sıcaklık koruma alarmı bulunmaktadır. Isıtıcı elemanlar fırınların sıcaklığına, ihtiyaç duyduğu güce ve sıcaklık dayanımlarına göre hesaplanarak uygulanır. Fırınların sıcaklıklarına göre uygun rezistanslar kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan yangın fırını 800x800x800 mm boyutlarındadır. 512 lt. iç hacim ve maksimum 1000°C sıcaklığa çıkabilen tek hücreli yapıya sahiptir. Tek hücreli yapı sayesinde rezistansları kapalı bir alanda tutulmakta, numune sıçramalarından ve ark yapmalardan korunmaktadır (Şekil 2.7.).

Çalışma kapsamında incelenen T enkesitli numuneler boyandıktan sonra deney matrisinde verilen sıcaklık derecelerine kadar ısıtılan fırın içine uygun bir şekilde yerleştirilerek yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.

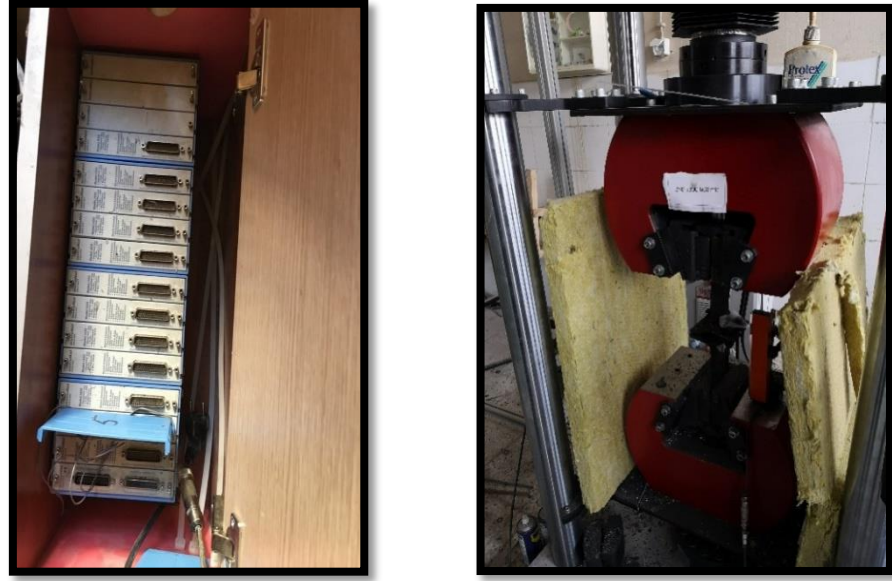


Şekil 2.7. Fırın ve Numuneler.

2.6. Veri Toplayıcı (Data Logger)

Veri toplayıcı deney gerçekleştirilirken kullanılan cihazlardan gelen elektrik sinyallerini alıp sayısallaştıran cihazlardır. Sorun belirleme, ısıtma/soğutma/havalandırma testleri, saha çalışmaları, taşıma esnasındaki izlenimler, kalite kontrol çalışmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bir veya birden fazla veri girişi için uygundur. Kaydet başlama talimatı verildikten sonra önceden belirlenmiş aralıklarla gelen elektrik sinyallerini otomatik olarak kaydeder ve belirtilen süre bittiğinde kayıt işlemini durdurur. Veri toplayıcı ayrıca kaydedilen verileri analiz ederek karşılaştırmalı olarak sunabileceği gibi, tablo ve grafik gibi yöntemlerle de incelemeye olanak sağlar.

Veri toplayıcı, LVDT ve gerinim pullarından elektrik kabloları vasıtasıyla gelen sinyalleri alarak bilgisayara ileten cihazlardır. Bilgisayarda ayrıca veri toplayıcının aldığı elektrik sinyallerini sayısallaştırarak bilgisayar ortamına aktaran programlar kullanılmaktadır. Şekil 2.8.'de deney düzeneği ve veri toplayıcının görselleri verilmiştir.



Şekil 2.8. Deney düzeneği ve Veri toplayıcı.

2.7. Deneysel Çalışmalar

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tatbiki Mekanik, Yapı ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler 48 adet numune ile yapılmıştır. Deneysel çalışma matrisi Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Deney Grupları ve İsimleri.

ÇELİK SINIFI	PROFİL	BOYA KALINLIĞI (μ)	SICAKLIK ($^{\circ}$ C)
S275		300	300
			450
			600
			1000
	IPE200	450	300
			450
			600
			1000
		600	300
			450
			600
			1000
IPE220	300	300	
		450	
		600	
		1000	
	450	300	
		450	

Tablo 2.2. (Devamı)

		600
		1000
		300
	600	450
		600
		1000
		300
	300	450
		600
		1000
IPE240	450	300
		450
		600
		1000
	600	300
		450
		600
		1000

Deneyde T- birleşim numunelerinin hepsi S275 çelikten üretilmiş, IPE200, IPE 220 VE IPE240 profilleridir. IPE 200, IPE 220, IPE 240 profillerinin gövdelerinden kesilerek oluşturulan T profiller başlıklarından M12 bulonları ile eksantrisite oluşturmayacak şekilde birleştirilmiştir.

T en kesitli elemanların birleşimi ile elde edilen numunelere, yangından ve yüksek ısı etkilerinden koruyucu boya kullanılarak, 200, 400 ve 600 μ kalınlılıkta boya uygulanmıştır. Toplam 4 grup deney düzeneği hazırlanıp, incelenmiştir. Numuneleri belirlenen yüksek sıcaklıklara maruz bırakmak için fırın kullanılmıştır. Sıcaklık dereceleri 300, 450, 600 ve 1000 °C olarak, standart yangın eğrisi göz önüne alınarak planlanmıştır. Örneğin 300 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler için; numuneler fırının içine konulduktan sonra, standart yangın eğrisi dikkate alınarak fırın sıcaklığı 300 °C'ye yükseltilir ardından 120 dakika 300 °C de beklenerek numuneler fırından çıkarılıp, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Numuneler, fırından alındıktan sonra, meydana gelecek küçük yer değiştirmeleri ölçmek için üzerine gerinim pulları (Strain gauge) yapıştırılarak, çekme deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Eksenel çekme deney düzeneğinde, deney esnasında büyük yer değiştirmeleri ölçmek için doğrusal yer değiştirme ölçüm cihazı (LVDT)

sabitlenmiştir. Çekme deneyine tabi tutulan her bir numuneden gerinim pulları(Strain guage) ve LVDT kullanılarak şekil değiştirme ölçümleri alınmıştır. Deneylede 118 kanallı veri toplama ünitesi (Data Logger) kullanılmıştır LVDT yardımı ile ilgili birleşim bölgelerinde meydana gelen boy değişimleri ölçülerek veri toplama cihazı (Data logger) yardımıyla veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Deneyleler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tatbiki Mekanik, Yapı ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada; farklı kalınlıkta yangına dayanıklı boyayla kaplanan T-birleşimlerin farklı derecelerde sıcaklığa maruz kalması durumunda akseneel yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerindeki değişimle boya kalınlığı ve sıcaklık değişiminin etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada, çelik yapılarda T-birleşimlerin yangın ve benzeri nedenlerle yüksek ısıya maruz kalması durumunda aksel çekme yükü altındaki dayanım ve davranışı incelenmiştir. Çalışmada çelik sınıfı çalışma matrisinin sabit parametresi olarak belirlenmiş ve tüm deney numuneleri S275 çeliğinden üretilmiştir. Çalışmanın değişken parametrelerinde biri sıcaklık olarak seçilmiş ve farklı sıcaklık derecelerine tabi tutulan T birleşimlerde sıcaklık etkisinin dayanım ve davranış üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma matrisinde ikinci değişken parametre olarak, yangın ve yüksek sıcaklık etkilerine karşı koruyucu özelliği olan boya malzemesinin farklı kalınlıklarda uygulanmış olması dikkate alınmış, farklı kalınlıkta boya tatbik edilen ve yüksek sıcaklığa maruz kalmış T birleşimlerin aksel çekme yükü etkisi altındaki dayanım ve davranışları incelenmiştir. Tüm bu deneyler üç farklı en kesit üzerinde gerçekleştirilmiştir (Tablo3.1., Tablo 3.2., Tablo 3.3.).

Tablo 3.1. IPE 200 Deney Numunesi Özellikleri.

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi(°C)	Bulon	t_w (mm)	t_f (mm)	$H(2h_w+2t_f)$ (mm)	B (mm)	b (2e+P)(mm)	e (mm)	p (mm)
IPE 200	200	I200-T300-200 μ	300	M12	8.5	5.6	380	100	100	20	60
		I200-T450-200 μ	450								
		I200-T600-200 μ	600								
		I200-T1000-200 μ	1000								
	400	I200-T300-400 μ	300								
		I200-T450-400 μ	450								
		I200-T600-400 μ	600								
		I200-T1000-400 μ	1000								
	600	I200-T300-600 μ	300								
		I200-T450-600 μ	450								
		I200-T600-600 μ	600								
		I200-T1000-600 μ	1000								
	-	I200-T300	300								
	-	I200-T450	450								
	-	I200-T600	600								
	-	I200-T1000	1000								
-	I200	-									

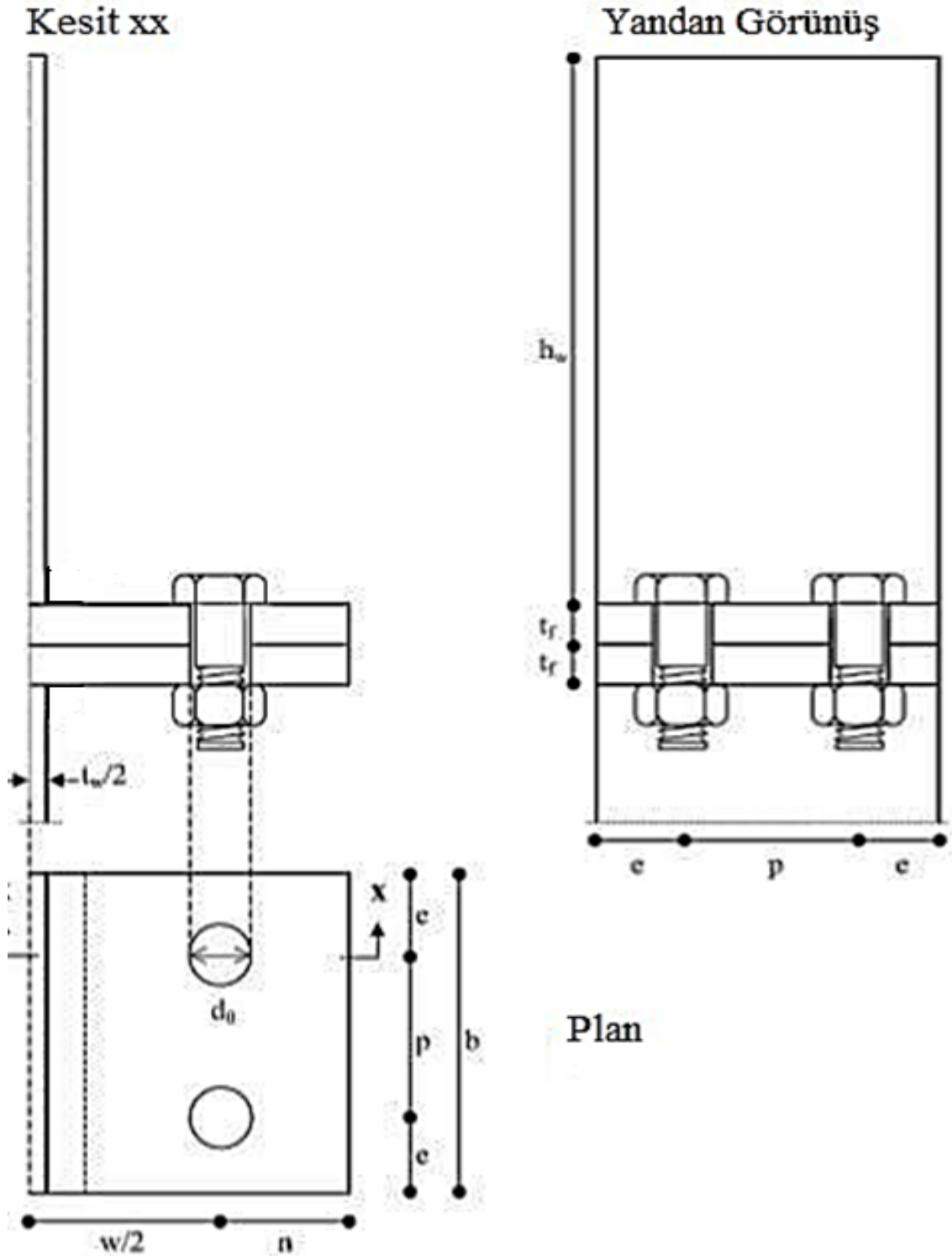
Tablo 3.2. IPE 220Deney Numunesi Özellikleri.

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	NumuneAdı	Yangın derecesi(°C)	Bulon	t_w (mm)	t_f (mm)	$H(2h_w+2t_f)$ (mm)	B (mm)	b (2e+P) (mm)	e (mm)	p (mm)
IPE 220	200	I220-T300-200 μ	300	M12	9.2	5.9	420	110	100	20	60
		I220-T450-200 μ	450								
		I220-T600-200 μ	600								
		I220-T1000-200 μ	1000								
	400	I220-T300-400 μ	300								
		I220-T450-400 μ	450								
		I220-T600-400 μ	600								
		I220-T1000-400 μ	1000								
	600	I220-T300-600 μ	300								
		I220-T450-600 μ	450								
		I220-T600-600 μ	600								
		I220-T1000-600 μ	1000								
	-	I220-T300	300								
	-	I220-T450	450								
	-	I220-T600	600								
	-	I220-T1000	1000								
-	I220	-									

Tablo 3.3. IPE240 Deney Numunesi Özellikleri.

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Bulon	t_w (mm)	t_f (mm)	$H(2h_w+2t_f)$ (mm)	B (mm)	b (2e+P) (mm)	e (mm)	p (mm)
IPE240	200	I240-T300-200 μ	300	M12	9.8	6.2	460	120	100	20	60
		I240-T450-200 μ	450								
		I240-T600-200 μ	600								
		I240-T1000-200 μ	1000								
	400	I240-T300-400 μ	300								
		I240-T450-400 μ	450								
		I240-T600-400 μ	600								
		I240-T1000-400 μ	1000								
	600	I240-T300-600 μ	300								
		I240-T450-600 μ	450								
		I240-T600-600 μ	600								
		I240-T1000-600 μ	1000								
	-	I240-T300	300								
		I240-T450	450								
		I240-T600	600								
		I240-T1000	1000								
I240		-									

Eksenel çekme deneyine tabi tutulan T birleşimlerin nasıl teşkil edildiklerini gösteren çizimler Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. T-birleşim detay çizimleri.

3.1. Bulgular

Çalışmada T enkesitli kiriş-kolon birleşimlerinin ve/veya bu birleşimlerde kullanılan bulonların aksenal yük taşıma kapasitesi açısından mukavemetinin yüksek ve şekil değiştirme kapasitesi açısından da sünek davranış sergilemesi amaçlanmıştır. Deney sonucu elde edilen veriler ile numunelere ait yük deformasyon grafikleri çizilerek her bir numuneye ait değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1.1. IPE 200 deney grubu bulguları

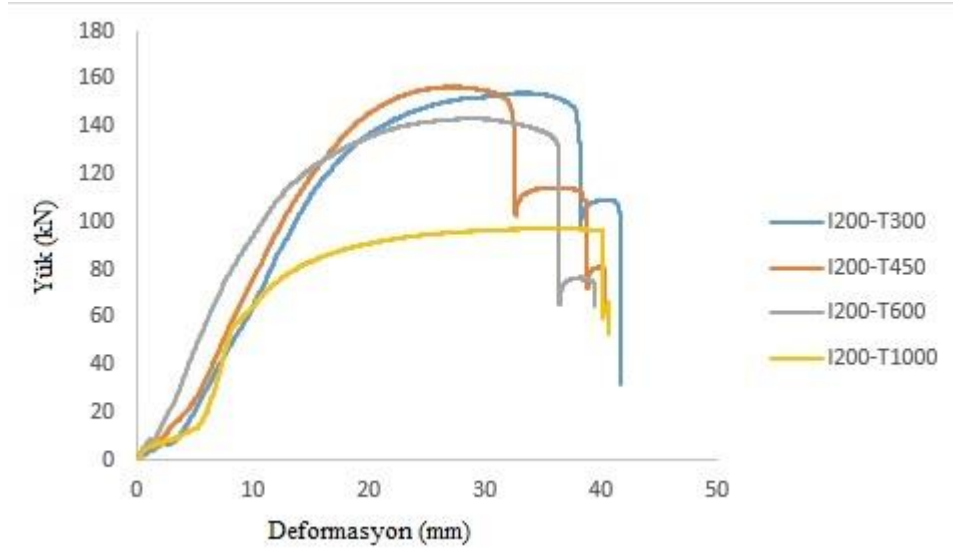
IPE 200 deney numunelerine ait sonuçlar Tablo 3.4.'de verilmiştir. Tabloda, KR (knee range) [37,38] olarak tanımlanan değer; yük deformasyon eğrisinde başlangıçtaki rijitlik ile ve maksimum rijitlik doğruları arasındaki fark, Ke elastik rijitlik, Kp ise plastik rijitlik olarak tanımlanabilir.

Tablo 3.4. Deney Grupları ve İsimleri.

Grup	Numune Adı	Yük (kN)		Rijitlik (kN/mm)			Deformasyon Kapasitesi (mm)	Enerji Dağılımı (kNxmm)
		KR	Fmax	Ke	Kp	Ke/Kp		
IPE200	I200-T300-200 μ	-111,380	139,160	0,790	6,860	0,115	40,570	3987,500
	I200-T450-200 μ	-28,040	156,240	0,970	7,570	0,128	33,880	3836,200
	I200-T600-200 μ	-54,210	132,780	0,670	19,690	0,034	36,500	3449,250
	I200-T1000-200 μ	-32,040	100,100	0,700	10,020	0,070	41,040	3310,530
	I200-T300-400 μ	-69,120	151,520	0,760	25,290	0,030	32,250	3440,280
	I200-T450-400 μ	-27,110	144,480	1,100	14,710	0,075	40,500	4317,100
	I200-T600-400 μ	-31,930	133,450	0,980	8,160	0,120	32,300	3192,200
	I200-T1000-400 μ	-36,030	103,680	0,680	8,790	0,077	40,730	3296,080
	I200-T300-600 μ	-40,690	141,170	0,760	9,780	0,078	37,870	4170,300
	I200-T450-600 μ	-48,860	128,590	0,550	8,720	0,063	33,703	3529,120
	I200-T600-600 μ	-34,730	97,960	0,640	13,040	0,049	40,770	2819,740
	I200-T1000-600 μ	-40,810	82,170	0,570	13,140	0,043	40,220	2514,180
	I200-T300	-33,920	153,070	0,950	63,540	0,015	41,690	5049,840
	I200-T450	-22,120	156,600	1,030	5,800	0,178	40,630	4250,360
	I200-T600	-41,680	142,790	0,730	14,320	0,051	39,460	3818,160
	I200-T1000	-9,710	96,060	0,960	7,780	0,123	40,680	3459,030
	I200	-54,410	148,950	0,350	6,680	0,052	35,380	4538,500

3.1.1.1. Boyauygulaması yapılmamış ipe200 grup modeller

Boya uygulaması yapılmadan yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 200 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilerek, numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Boya Kaplaması Uygulanmamış Numunelere Ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

Sıcaklık arttıkça aksenal yük taşıma kapasitesi değerlerinde genel olarak düşme gözlemlenmiştir. Numuneler arasında maksimum deformasyon kapasitesi 41,69 mm ve maksimum enerji dağılımı 5049,84 olarak tespit edilmiştir. I200-T300 numunesinin aldığı maksimum kuvvet 153.07kN olarak ölçülmüştür. Numune 300 °C sıcaklığa maruz bırakıldığında 153.07kN'luk yüklemeye bağlı olarak meydana gelen kopma uzama miktarının 33,92 mm olduğu görülmüştür. Sıcaklık artışına bağlı olarak diğer değerler incelendiğinde I200 profili 450 °C'ye geldiğinde Fmax değerinin %2,3 oranında arttığı görülmüştür. Sıcaklık 600 °C'ye geldiğinde 450 °C baz alındığında Fmax değeri %8,81 oranında azalmıştır. Sıcaklık 1000 °C'ye geldiğinde ise numunenin yumuşamasına bağlı olarak kolon kiriş birleşim bölgesinin taşıyabileceği maksimum kuvvet Fmax %32,72 oranında azalmıştır. Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde 300 °C sıcaklık deformasyon kapasitesinin en yüksek olduğu değerdir. Numune en sünek davranışı 1000°C'de göstermiş fakat kolon kiriş birleşim bölgesi, alabileceği maksimum kuvvet değerinde ani gevrek

kırılma gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak enerji yutma kapasite değerleri azalmıştır.

I200 profilleri sıcaklık artışına bağlı olarak kendi içinde birbirleriyle kıyaslandığında aldığı kuvvete bağlı olarak en yüksek mukavemeti gösteren numune 450 °C'deki I200 numunesidir. 300 °C'de numunenin deformasyon kapasitesi ve enerji yutma kapasitesinin en yüksek olduğu değerlerdir. Ayrıca boyasız numunelerde 450-600 °C'lerde mukavemet ve enerji yutma kapasiteleri yüksektir.

Şekil 3.3., Şekil 3.4., Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da numunelerin deneyden önce ve deneyden sonra görselleri verilmiştir. Şekillerde boyanmamış farklı sıcaklıklarda numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri verilmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ayrıca sıcaklık artarken kesilen bulon sayısı T300numunesinde 2 diğer, numunelerde 3'e çıkmıştır.



Şekil 3.3. IPE200-T300 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.4. IPE200-T450 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



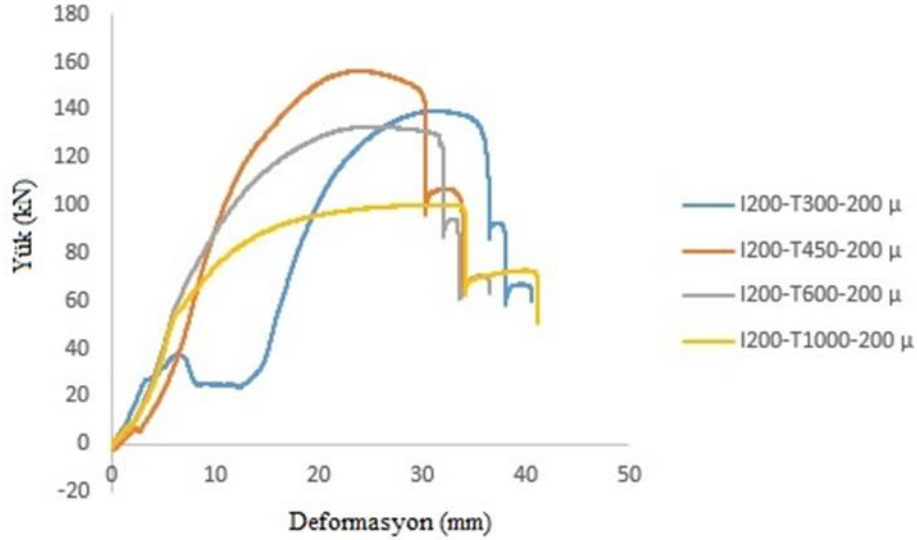
Şekil 3.5. IPE200-T600 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.6. IPE200-T1000 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.1.2. 200 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller

200 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 200 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.7.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.7. IPE200- 200 mikrona ait Yük-Deformasyon Eğrisi.

I200-T300-200 numunesi, 200 μ boya kullanılarak 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Maksimum 139,6 kN'luk yüklemeye bağlı olarak meydana gelen kopma uzama miktarı 111,38 mm olarak ölçülmüştür. Kopma anına kadar 40,57 mm deformasyon yaptığı gözlemlenmiştir. 300 °C sıcaklığa maruz kalmış 200 μ kalınlıkta boya ile kaplı numune baz alındığında, 450 °C sıcaklığa maruz kalmış numunede F_{max} değeri %12,2 oranında artarak maksimum kuvvet değerine ulaşmıştır. Sıcaklık düzeyi 600 °C olan numune, 450 °C sıcaklığa maruz kalan numune baz alındığında F_{max} değeri %15 oranında azalmıştır. Sıcaklık düzeyi 600 °C olan numune baz alındığında, 1000 °C sıcaklığa maruz kalmış numunede F_{max} %24,6 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıcaklık artışına bağlı olarak numunelerin yumuşadığı düşünülürse 1000 °C sıcaklık deformasyon kapasitesinin en yüksek olduğu değerdir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde numunenin 1000 °C sıcaklıkta sünekliği en fazla ve enerji yutma kapasitesi ise en azdır. 300 °C'deki mukavemet 450 °C'ye oranla düşük, enerji yutma kapasitesi ise bu sıcaklıkta en yüksek değerdedir; 450°C'de mukavemet en yüksektir.600 °C'de ise mukavemet diğer sıcaklık değerlerine kıyasla daha düşük, enerji yutma kapasitesi 1000 °C sıcaklık baz alındığında yüksektir.

Şekil 3.8., Şekil 3.9., Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri verilmiştir. Şekillerde 200µ kalınlıkta boya ile boyanmış farklı sıcaklıklara maruz kalmış numunelerde, bulonların kopma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopma modelleri bulonlarda meydana gelmiş ayrıca sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Ve düşük sıcaklıklarda bulonda yanma performansı artmış, 1000 °C sıcaklıkta yer değişim fazlalığı çelik malzemenin yumuşadığını göstermiştir.



Şekil 3.8. IPE200-T300-200µ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.9. IPE200-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



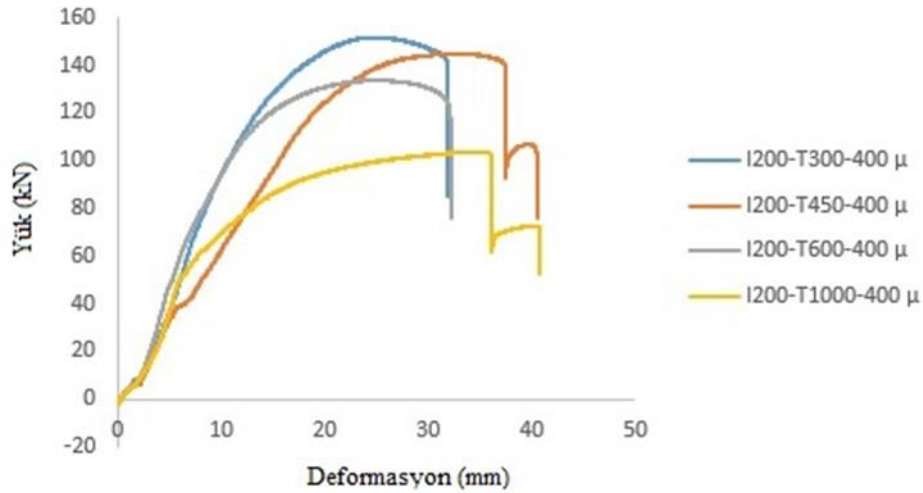
Şekil 3.10. IPE200-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.11. IPE200-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.1.3. 400 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller

400 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 200 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.12.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.12. IPE200-400 μ 'a ait Yük-Deformasyon Eğrisi.

400 μ boya kullanılarak 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış I200-T300-400 numunesinde maksimum 151,52 kN'luk yüklemde kopma uzama miktarı 25,12 mm olarak ölçülmüştür. 400 μ boya kalınlığına sahip numunelerde sıcaklık arttıkça aksenal yük taşıma kapasitesi değerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. 450 °C sıcaklığa maruz kalan numunede Fmax değeri 300°C sıcaklığa maruz kalmış numuneye oranla %4,64 oranında azalmıştır. Sıcaklık 600 °C'ye geldiğinde 450 °C baz alındığında Fmax değeri %7,63 oranında azalmıştır. 1000 °C'ye geldiğinde ise sıcaklık 600 °C baz alındığında Fmax %22,3 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak Fmax değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıcaklık artışına bağlı olarak numunenin yumuşadığı düşünülürse 1000 °C sıcaklık, deformasyon kapasitesinin en yüksek olduğu değerdir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde numunenin 1000 °C sıcaklıkta sünekliği en fazladır. 600°C'de mukavemet en yüksek değere sahip ayrıca enerji yutma kapasitesi

sıcaklık arttıkça azalmış;450 °C’de mukavemet 600 °C’ye kıyasla daha az, enerji yutma kapasitesi diğer sıcaklık değerlerine oranla daha yüksek; 300 °C’de taşıdığı maksimum yüke karşılık mukavemet yüksek fakat enerji yutma kapasitesi azdır.

Şekil 3.13., Şekil 3.14., Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.’da numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi 400 μ kalınlığında boyanmış farklı sıcaklıklardaki numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopma bulonlarda meydana gelmiş ayrıca sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Tüm kopmalar 2 bulonun aynı anda kesilmesi ile gerçekleşmiştir.



Şekil 3.13. IPE200-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.14. IPE200-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



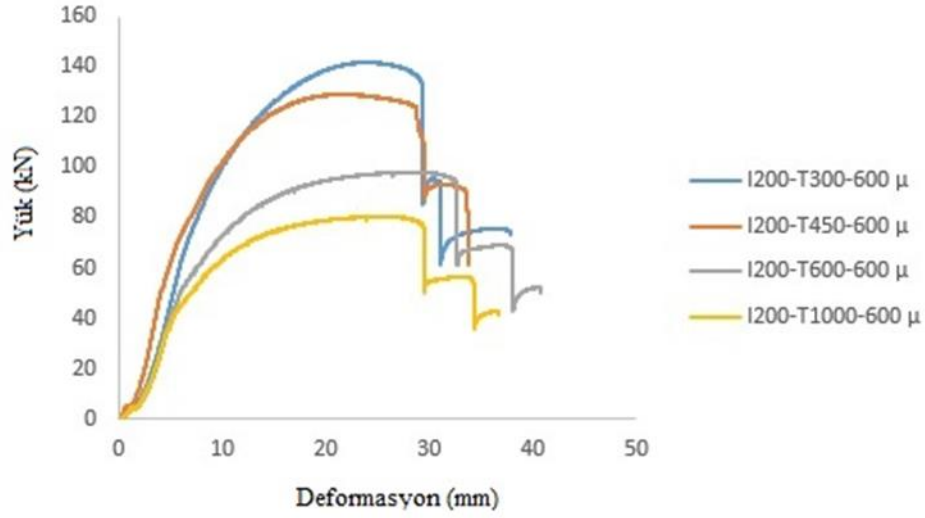
Şekil 3.15. IPE200-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.16. IPE200-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.1.4. 600 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe200 grup modeller

600 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 200 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiş (Şekil 3.17.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.17. IPE200-600 µ'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

600µ boya kullanılarak oluşturulmuş numunelerden T300 numunesi 141,17 kN'luk maksimum aksenal yük taşıma kapasitesine sahip erişirken, en büyük kopma uzama miktarı T600 numunesinde 40,69 mm olarak ölçülmüştür. T300 numunesi baz alındığında, T450 numunesinde F_{max} değeri %8,91 oranında azalmıştır. T450 numunesi baz alındığında, T600 numunesinde F_{max} değeri %23,82 oranında azalmıştır. T1000 numunesinde ise F_{max} değeri T600 numunesine oranla %16,12 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak numunenin deformasyon kapasitesi de aynı zamanda artmış ve enerji yutma kapasite değerleri azalmıştır.

Sıcaklık artışına bağlı olarak yük deformasyon eğrisi incelendiğinde; 600 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda numunenin sünekliğinin en fazla, 300 °C'de mukavemet ve enerji yutma kapasitesinin en fazla, olduğu görülür.

Şekil 3.18., Şekil 3.19., Şekil 3.20. ve Şekil 3.21.'de numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri, 600 µ'la boyanmış farklı sıcaklıklarda numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.18. IPE200-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.19. IPE200-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.20. IPE200-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.21. IPE200-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.1.5. IPE200 grup deney numunelerinde genel değerlendirme

IPE200 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağlı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken enerji yutma kapasite değerlerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrileri incelendiğinde 200 μ kalınlıktaki I200 numunelerinin kolon- kiriş birleşim bölgeleri 300 °C sıcaklıkta daha sünek davranış sergilediği daha sonra numunelerde boya kalınlığı arttıkça mukavemet artmış ancak enerji yutma kapasiteleri azalmıştır. Ayrıca sünekliğin azalmasına bağlı olarak birleşim bölgelerinde gevrek kırılma eğilimi artmıştır. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslandığında en ideal numune 450 °C'deki 200 μ kalınlıkta boya tatbik edilmiş olan I200-450-200 μ numunesinin olduğu söylenebilir.

3.1.2. IPE 220 deney grubu bulguları

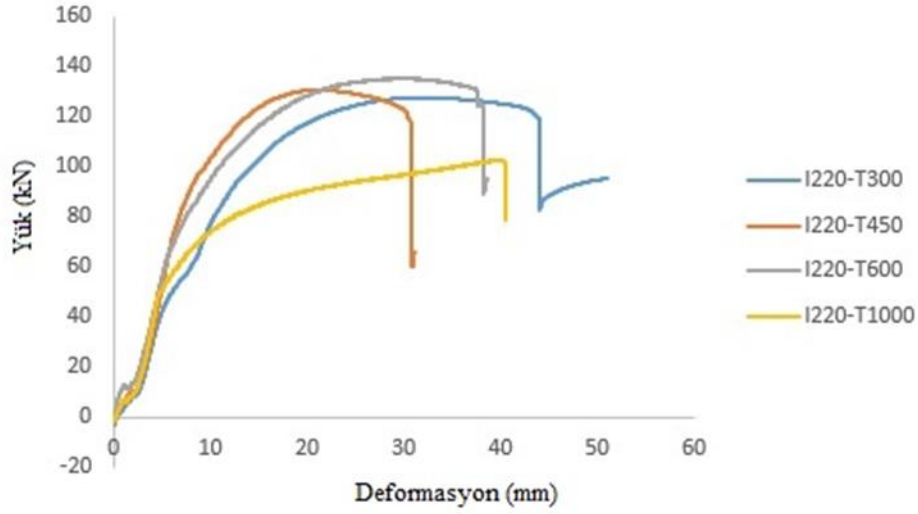
IPE 220 deney numunelerine ait sonuçlar Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5. IPE 220 Deney Grubu Bulguları.

Grup	Numune Adı	Yük (kN)		Rijitlik (kN/mm)			Deformasyon Kapasitesi (mm)	Enerji Dağılımı (kNxmm)
		KR	Fmax	Ke	Kp	Ke/Kp		
IPE220	I220-T300-200 μ	-36,970	130,680	0,760	8,580	0,089	33,160	3380,120
	I220-T450-200 μ	-22,090	135,610	0,720	7,160	0,101	40,360	3904,330
	I220-T600-200 μ	-28,255	114,950	1,100	8,310	0,132	40,590	3321,180
	I220-T1000-200 μ	-29,900	102,220	0,820	8,450	0,097	39,140	3125,120
	I220-T300-400 μ	-18,880	130,052	0,890	13,000	0,068	38,200	3644,110
	I220-T450-400 μ	-20,320	126,280	0,770	9,380	0,082	40,660	3378,970
	I220-T600-400 μ	-16,460	118,480	0,960	6,090	0,158	40,770	3869,000
	I220-T1000-400 μ	-30,110	97,690	0,440	8,400	0,052	39,120	3107,280
	I220-T300-600 μ	-36,000	126,480	0,830	8,000	0,104	35,760	3325,820
	I220-T450-600 μ	-27,730	114,420	0,960	6,090	0,158	40,550	3099,800
	I220-T600-600 μ	-31,180	92,660	0,420	8,910	0,047	40,440	3205,370
	I220-T1000-600 μ	-28,250	85,650	0,450	8,920	0,050	38,120	2995,220
	I220-T300	-63,670	127,130	0,540	5,030	0,107	51,070	4594,690
	I220-T450	-27,320	129,470	0,700	4,300	0,163	30,880	3179,250
	I220-T600	-48,040	134,760	0,680	6,970	0,098	38,300	4003,180
	I220-T1000	-30,020	101,510	0,530	8,120	0,065	40,510	3654,690
I220	-3,250	136,680	1,690	23,920	0,071	32,900	2649,850	

3.1.2.1. Boya uygulaması yapılmamış IPE220 grup modeller

Boya uygulaması yapılmadan yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 220 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilerek, numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. Boya Kaplaması Uygulanmamış IPE220 Numunesine Ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

I220-T300 numunesi 300 °C sıcaklığa maruz bırakıldığında 127,13 KN'luk yüklemeye bağlı olarak meydana gelen kopma uzama miktarı 53,67 mm olarak ölçülmüştür. 450 °C sıcaklığa maruz kalan I220-T450 numunesinde F_{max} değeri, I220-T300 numunesine oranla %1,84 oranında artmıştır. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış I220-T600 numunesinde, I220-T450 numunesi baz alındığında, F_{max} değeri %4,08 oranında azalmıştır. 1000 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış olan I220-T1000 numunesinde F_{max} değerindeki bu düşüş I220-T600 numunesine oranla %24,67 oranında olmuştur. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde 450 °C sıcaklığa maruz kalmış T birleşimde numunenin mukavemeti en yüksek ancak enerji yutma kapasite değeri en düşük olduğu görülmüştür. 300 °C sıcaklığa maruz kalmış numunenin enerji yutma kapasite değeri en yüksek olmasına karşın, 450 °C'ye kıyasla daha düşük bir mukavemet sergilemiştir. Eğri incelendiğinde genel olarak numuneler alabilecekleri maksimum yük altında gerekli mukavemeti gösterdikten sonra gevrek kırılma gözlemlenmiştir.

Şekil 3.23., Şekil 3.24., Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.'da numunelerin deneyden önce ve deneyden sonra görselleri verilmiştir. Şekillerde boyanmamış farklı sıcaklıklarda numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri verilmiştir. Tüm

kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ayrıca sıcaklık artarken kesilen bulon sayısı T300 numunesinde 2 diğer, numunelerde 3'e çıkmıştır.



Şekil 3.23. IPE200-T300 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.24. IPE200-T450 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



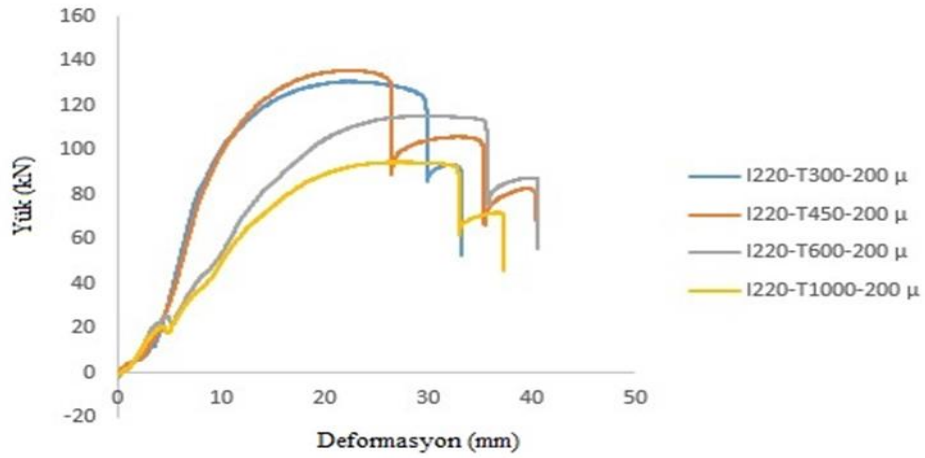
Şekil 3.25. IPE200-T600 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.26. IPE200-T1000 numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.2.2. 200 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe220 grup modeller

200 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 220 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiş (Şekil 3.27.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



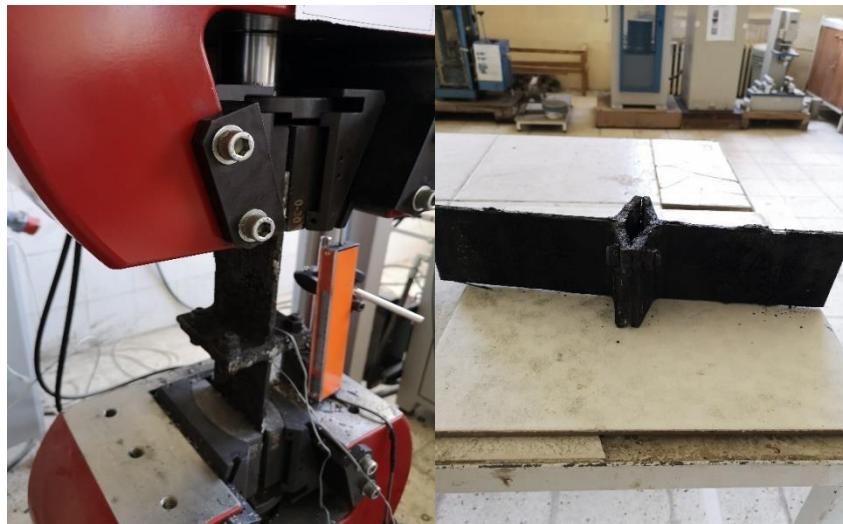
Şekil 3.27. I220-200 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış olan I220-T300-200 μ numunesi maksimum 130.68kN'luk yüke karşı mukavemet gösterirken, numunedeki maksimum kopma uzama miktarı 36,97 mm olarak ölçülmüştür. Aynı boya kalınlığında sıcaklık arttıkça gerilme kapasitesi değerinde ilk gerilme sonrasında artma olduğu, daha sonra gerilme kapasitesi değerlerinde genel olarak düşme olduğu gözlemlenmiştir. 450 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış I220-T450-200 μ numunesinde Fmax değeri, I220-T300-200 μ numunesinin Fmax değerine oranla %3,77 oranında artmıştır. 600 °C sıcaklık

etkisine maruz bırakılmış I220-T600-200 μ numunesinde F_{max} değeri, 450 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış I220-T450-200 μ numunesinin F_{max} değerine oranla %15,23 oranında azaldığı görülmüştür. 1000 °C sıcaklığa maruz kalan I220-T1000-200 μ T birleşim numunesinde ise F_{max} , I220-T600-200 μ numunesine oranla %11,07 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin ve enerji yutma kapasite değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde numunenin 1000 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış numunede sünekliğin en fazla ve enerji yutma kapasitesi ise en az olduğu, 300 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış numunede mukavemetin ve enerji yutma kapasitesinin yüksek olduğu ölçülmüştür. 450 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış numunede mukavemetin en yüksek numune olduğu görülmüştür.

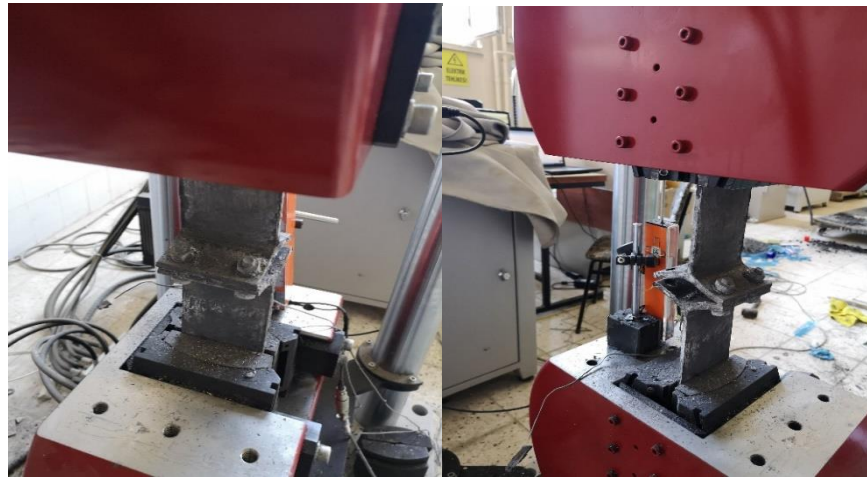
Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri Şekil 3.28., Şekil 3.29., Şekil 3.30. ve Şekil 3.31.'de gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi 200 μ 'la boyanmış farklı sıcaklıklarda numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiştir. Ayrıca sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmış ve sıcaklık artarken şekil değiştirme fazlalaşmıştır.



Şekil 3.28. I220-T300-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.29. I220-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



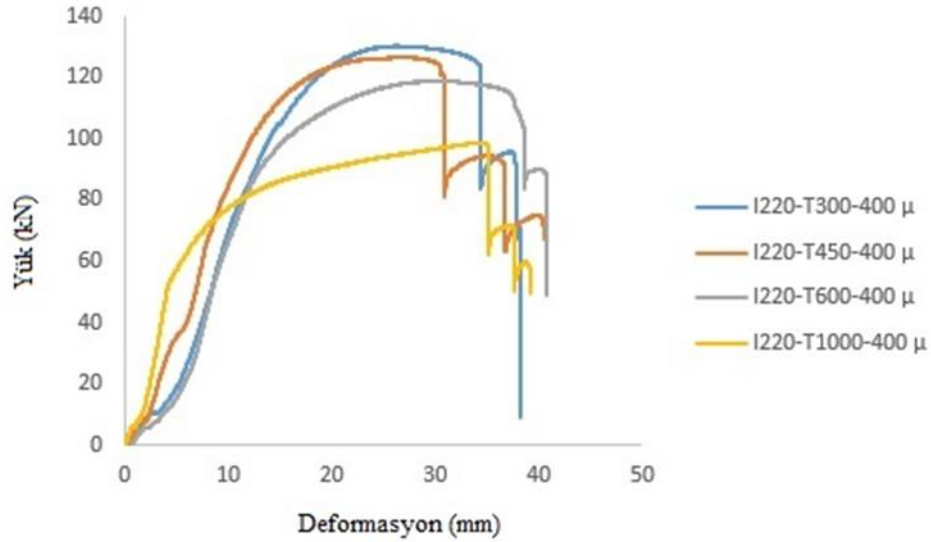
Şekil 3.30. I220-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.31. I220-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.2.3. 400 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış IPE220 grup modeller

400 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 220 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.32.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.32. I220-400 μ 'a ait Yük -Deformasyon Eğrisi.

I220-T300-400 μ deney numunesi 130.052 kN'luk aksenal yük taşıma kapasitesine sahip olup, bağlı olarak meydana gelen kopma uzama miktarı 38,88 mm olarak ölçülmüştür. I220-T450-400 μ numunesinde F_{max} değeri, I220-T300-400 μ deney numunesi F_{max} değerine oranla %2,9 oranında artmıştır. I220-T600-400 μ numunesinde F_{max} değeri, I220-T450-400 μ numunesi F_{max} değeri baz alındığında %6,17 oranında azalmıştır. I220-T1000-400 μ numunesinde ise, I220-T600-400 μ numunesine oranla, F_{max} değerinde %17,54 lük bir azalma gerçekleşmiştir. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin ve enerji yutma kapasite değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 1000 °C sıcaklık etkisinde deney numunesinin sünekliğinin en fazla enerji yutma kapasite değerinin ise en az olduğu, 600 °C sıcaklık etkisinde mukavemetin ve enerji yutma kapasite değerinin en fazla olduğu analiz edilmiştir. 300-450 °C sıcaklık etkisinde mukavemet ve enerji yutma kapasite değerlerinin 600 °C sıcaklık etkisindeki numuneye kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir.

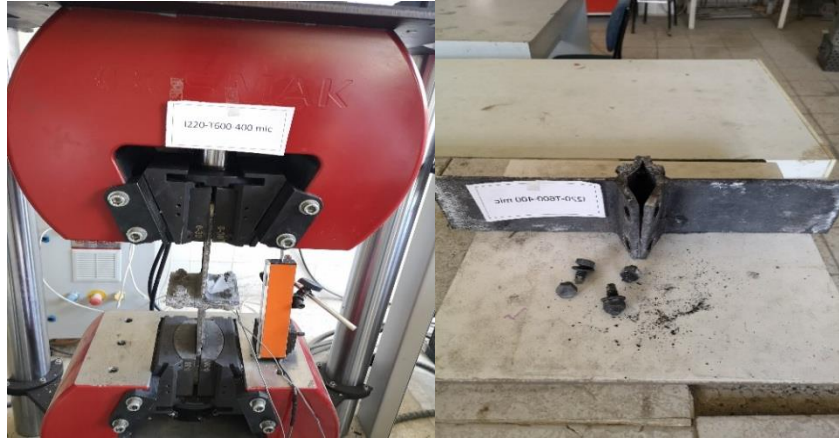
Şekil 3.33., Şekil 3.34., Şekil 3.35. ve Şekil 3.36.'da numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri verilmiştir. Şekillerde 400 μ 'la boyanmış farklı sıcaklıklarda numunelerin kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopmalar bulonlar da meydana gelmiştir.



Şekil 3.33. I220-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.34. I220-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



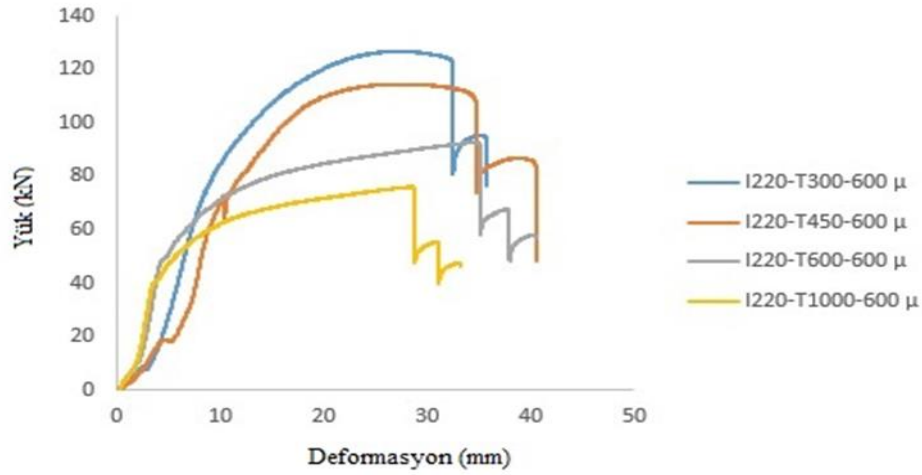
Şekil 3.35. I220-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.36. I220-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.2.4. 600 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe220 grup modeller

600 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 220 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiş (Şekil 3.37.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.

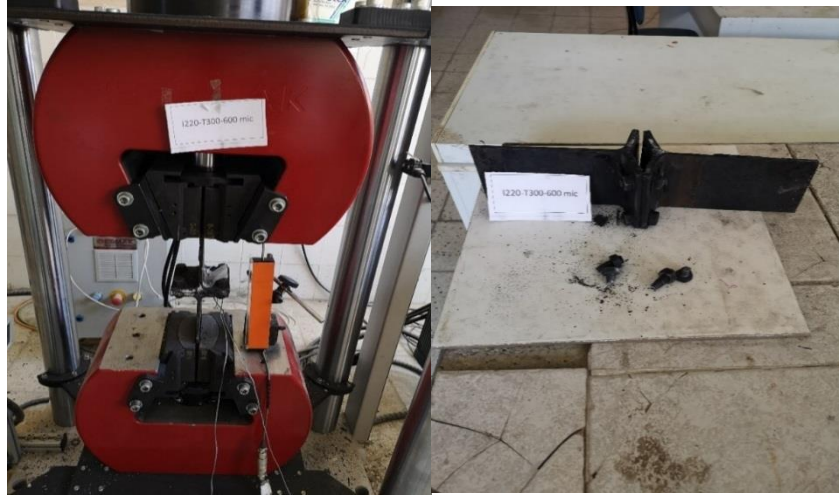


Şekil 3.37. I220-600 µ'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

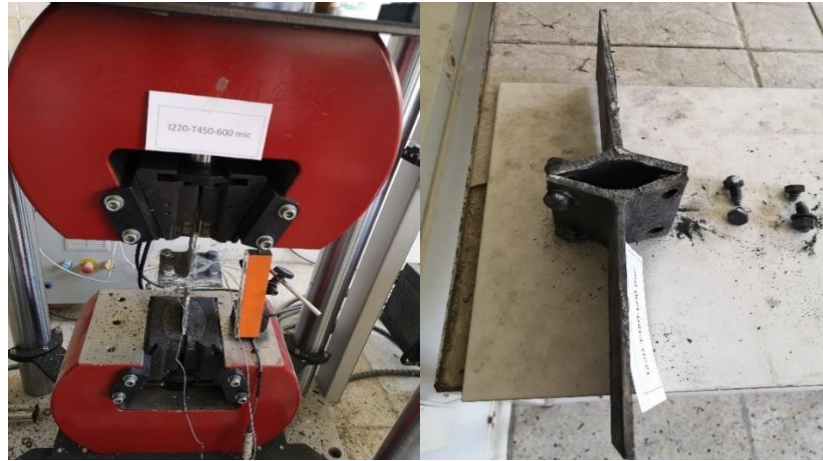
I220-T300-600µ numunesinde 126,48 kN'luk aksenal yük taşıma kapasitesi ve buna bağlı olarak 36 mm kopma uzama miktarı ölçülmüştür. 450 °C sıcaklık etkisindeki deney numunesinin Fmax değeri, I220-T300-600µ numunesine oranla %9,53 oranında azalmıştır. 600 °C sıcaklık etkisindeki deney numunesinin Fmax değeri I220-T450-600µ numunesi baz alındığında %19,01 oranında azalmıştır. I220-T1000-600µ numunesinde bu düşüş I220-T600-600µ numunesi Fmax değerine oranla %7,56 hesaplanmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak Fmax değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Numunelerde boya kalınlığı artıka sünelik azalmış mukavemet artmıştır. Dolayısıyla numunelerin gevrek kırılma eğilimi daha fazla olmuştur. 450 °C sıcaklık etkisindeki numunede mukavemet değeri en yüksek olarak ölçülürken, 300 °C sıcaklık etkisindeki numunede enerji yutma kapasitesi en yüksek değer olarak tespit edilmiştir

Şekil 3.38., Şekil 3.39., Şekil 3.40. ve Şekil 3.41.'de numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri verilmiştir. IPE220 profilinden üretilmiş 600 µ'laboyanmış farklı sıcaklıklarda numunelerin aksenal yük altında ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ve sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Ayrıca numunede tüm kopmalar 2 bulonun aynı anda kesilmesi ile gerçekleşmiştir.



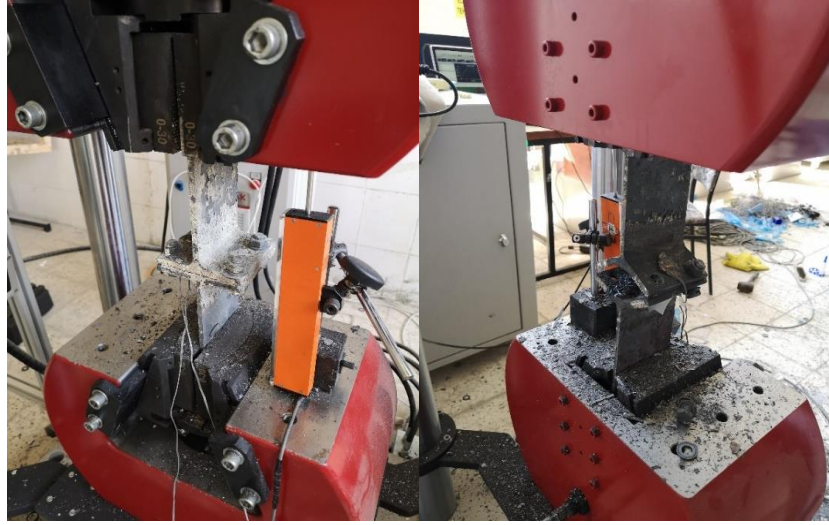
Şekil 3.38. I220-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.39. I220-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.40. I220-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.41. I220-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.2.5. IPE220 grup deney numunelerinde genel değerlendirme

IPE220 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağlı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken sıcaklık etkisiyle genişlemeye bağlı olarak birim uzamaların daha fazla olduğu ve enerji yutma kapasite değerlerinin de boyalı duruma kıyasla fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yük deformasyon eğrileri incelendiğinde 200 μ kalınlıkta boya tatbik edilmiş I220 numunelerinin 300 °C sıcaklığa maruziyet halinde daha sünek davranış sergilediği, numunelerde boya kalınlığı arttıkça aksenal yüke bağlı olarak mukavemetin artmış olduğu buna karşılık enerji yutma kapasitelerinin azalmış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca boya kalınlığı arttıkça sünekliğin azalmasına bağlı olarak birleşim bölgelerinde gevrek kırılma eğilimi artmıştır. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslandığında en ideal numune 300 °C sıcaklık etkisinde 200 μ kalınlıkta boya tatbik edilmiş olan I220-300-200 μ numunesinin olduğu söylenebilir.

3.1.3. IPE 240 deney grubu bulguları

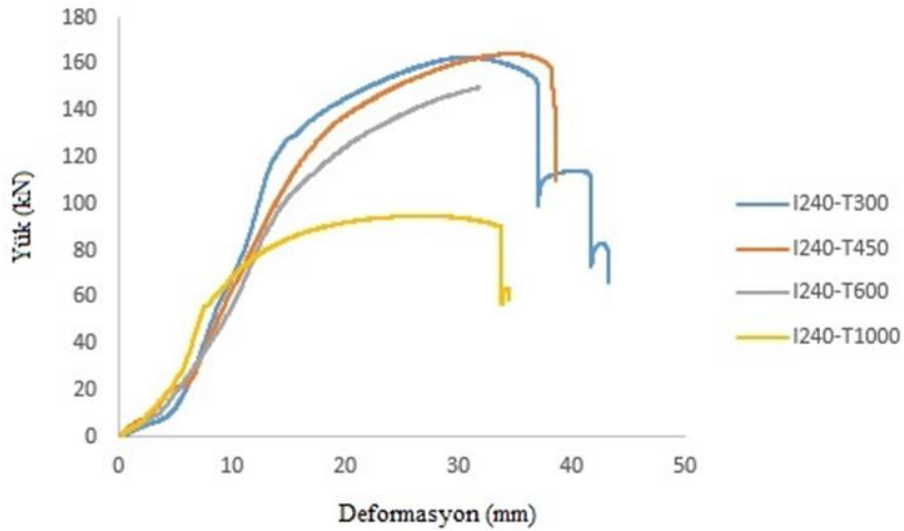
IPE 240 deney numunelerine ait sonuçlar Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. IPE 240 Deney Grubu Bulguları.

Grup	Numune Adı	Yük (kN)		Rijitlik (kN/mm)			Deformasyon Kapasitesi (mm)	Enerji Dağılımı (kNxm)
		KR	Fmax	Ke	Kp	Ke/Kp		
IPE240	I240-T300-200 μ	-37,860	171,490	0,890	8,550	0,104	39,310	5016,560
	I240-T450-200 μ	-19,180	161,440	0,870	8,950	0,097	40,390	4576,780
	I240-T600-200 μ	-31,100	134,230	1,060	13,350	0,079	30,540	3084,030
	I240-T1000-200 μ	-34,770	103,090	0,700	6,670	0,105	26,740	1815,090
	I240-T300-400 μ	-25,860	169,890	0,960	5,980	0,161	40,054	4589,940
	I240-T450-400 μ	-32,990	163,140	0,910	7,920	0,115	36,710	4459,430
	I240-T600-400 μ	-30,210	116,070	0,600	14,770	0,041	40,510	3315,000
	I240-T1000-400 μ	-23,600	94,050	0,840	7,180	0,117	40,600	2241,200
	I240-T300-600 μ	-54,720	179,960	0,890	8,120	0,110	41,120	5112,200
	I240-T450-600 μ	-35,540	134,510	1,070	11,340	0,094	37,990	3708,640
	I240-T600-600 μ	-38,590	102,460	0,560	12,770	0,044	36,160	2874,880
	I240-T1000-600 μ	-34,000	95,120	0,800	13,120	0,061	34,360	2184,120
	I240-T300	-28,500	162,860	0,840	6,600	0,127	43,210	4744,680
	I240-T450	-31,450	164,390	1,110	7,660	0,145	38,530	5006,020
	I240-T600	-23,090	149,910	1,390	4,800	0,290	31,690	2935,660
	I240-T1000	-20,160	94,820	0,790	14,820	0,053	34,500	2540,000
I240	-33,490	129,460	0,800	8,560	0,093	45,120	4550,530	

3.1.3.1. Boya uygulaması yapılmamış ipe240 grup modeller

Boya uygulaması yapılmadan yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 240 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilerek, numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir (Şekil 3.42.).



Şekil 3.42. Boya Kaplaması Uygulanmamış IPE240 Numunesine Ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

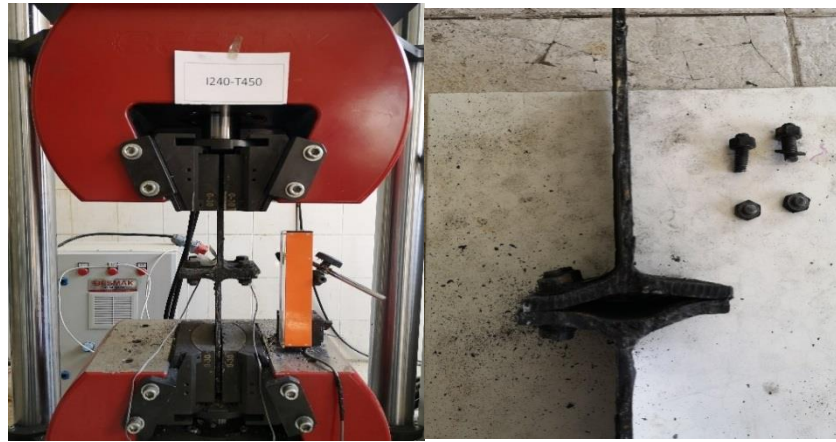
I240-T300 numunesinde maksimum aksenal yük taşıma kapasitesi 162,86 kN ve bu yükleme altında meydana gelen kopma uzama miktarı 28,5 mm olarak ölçülmüştür. Aynı numunede maksimum kopma uzaması 44,5 mm olarak tespit edilmiştir. 450 °C sıcaklık etkisinde F_{max} değeri, I240-T300 numunesi F_{max} değerine kıyasla %0,93 oranında artmıştır. 600 °C sıcaklık etkisinde ise F_{max} değerinin, 450 °C sıcaklık etkisindeki numunenin F_{max} değerine kıyasla %8,81 oranında azaldığı gözlenmiştir. Benzer olarak, I240-T1000 numunesinde F_{max} değeri, I240-T600 numunesi F_{max} değerine oranla %36,74 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde 600 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış numunenin 149,91 kN'luk aksenal yükleme altında ani gevrek kırılmaya uğradığı, 300-450 °C sıcaklıklara maruz kalmış numunelerde aksenal yük mukavemet değerlerinin yüksek olduğu, ancak sıcaklığın artışı ile ters orantılı olarak enerji yutma kapasitelerinin azaldığı gözlenmektedir. Sıcaklığın artışına bağlı olarak numunenin yumuşamasıyla en sünek davranış 1000 °C sıcaklık etkisine maruz kalmış numunede gözlemlenmiştir.

Şekil 3.43., Şekil 3.44., Şekil 3.45. ve Şekil 3.46.'da numunelerin deney öncesi ve deney sonrası resimleri ve numunelerin ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiş sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Ayrıca tüm numunelerde kopmalar 2 adet bulonda aynı anda kesilme meydana gelmesi ile oluşmuştur.



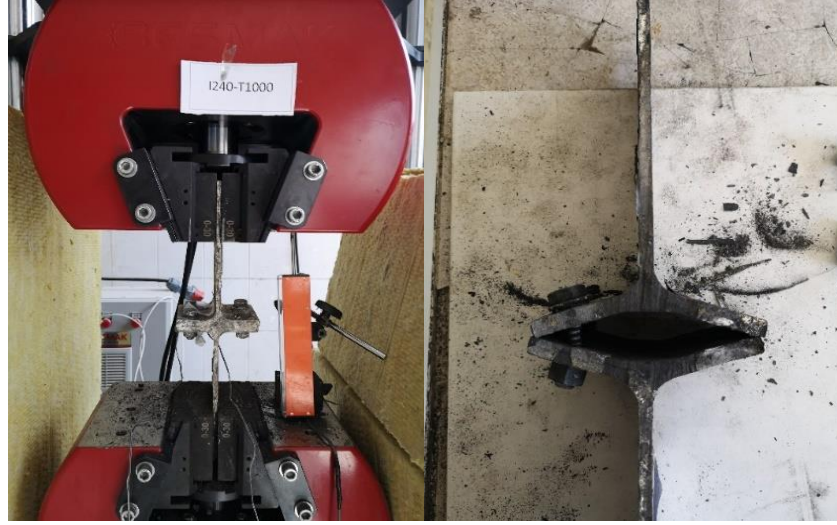
Şekil 3.43. I240-T300 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.



Şekil 3.44. I240-T450 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.



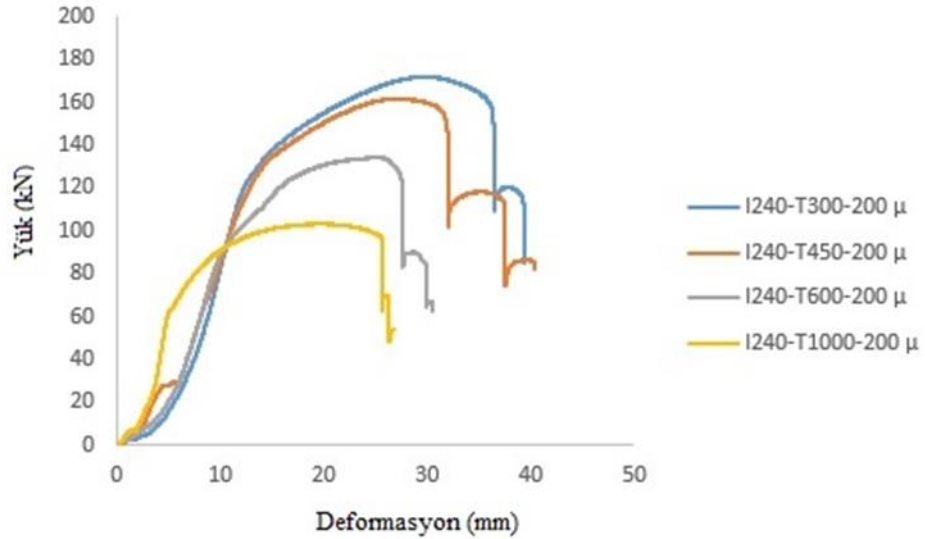
Şekil 3.45. I240-T600 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.



Şekil 3.46. I240-T1000 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.

3.1.3.2. 200 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller

200 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 240 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiş (Şekil 3.47.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.47. I240-200 μ 'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

I240-T300-200 μ numunesinin 171,49 kN'luk aksel yük mukavemetine bağlı olarak meydana gelen 33,86 mm uzama miktarına sahip olduğu, aynı numunenin

maksimum 39,86 mm kopma uzama miktarına sahip olduğu ölçülmüştür. 450 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış I240-T450-200 μ numunesinde Fmax değeri I240-T300-200 μ numunesinin Fmax değerine oranla %5,86 oranında azalmıştır. 600 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış I240-T600-200 μ numunesinde Fmax değeri, 450 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış I220-T450-200 μ numunesinin Fmax değerine oranla %16,85 oranında azalmıştır. 1000 °C sıcaklığa maruz I240-T1000-200 μ T birleşim numunesinde ise Fmax, I240-T600-200 μ numunesine oranla %23,19 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak Fmax değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde numunelerin 300 °C’de mukavemeti ve enerji yutma kapasitesi en yüksektir. Sıcaklık artışına bağlı olarak numunelerde mukavemet ve enerji yutma kapasiteleri düşmüştür.

Şekil 3.48., Şekil 3.49., Şekil 3.50. ve Şekil 3.51.’de numunelerin deney öncesi ve deney sonrası resimleri ve deney sonrası birleşimdeki ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ve sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Ayrıca sıcaklık artarken kopan bulon sayısı da artmıştır.



Şekil 3.48. I240-T300-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.49. I240-T450-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



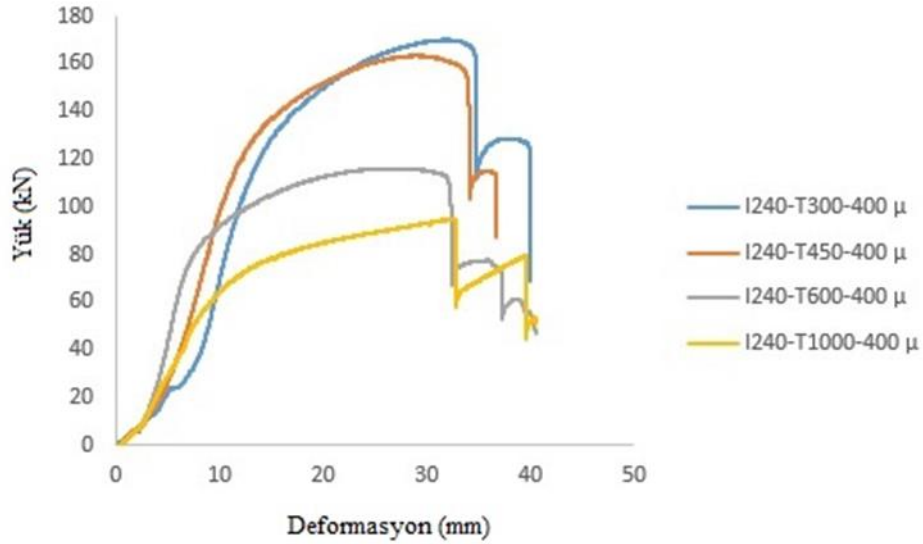
Şekil 3.50. I240-T600-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.51. I240-T1000-200 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.3.3. 400 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller

400 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 240 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.52.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.52. I240-400 μ 'a ait Yük -Deformasyon Eğrisi.

I240-T300-400 μ numunesinin 169,89 kN'luk aksel yük mukavemetine bağlı olarak meydana gelen 35,86 mm uzama miktarına sahip olduğu ve aynı numunede kopma uzama miktarının 40,05 mm olduğu tespit edilmiştir. Aynı boya kalınlığında sıcaklık arttıkça gerilme kapasitesi değerlerinde genel olarak düşme gözlemlenmiştir. I240-T450-400 μ numunesinde F_{max} değeri, I240-T300-400 μ F_{max} değerine kıyasla %3,97 oranında azalmıştır. I240-T600-400 μ numunesinde F_{max} değeri I240-T450-400 μ numunesi F_{max} değeri baz alındığında %28,85 oranında azalmıştır. Benzer olarak, I240-T1000-400 μ numunesi F_{max} değerinin de I240-T600-400 μ numunesi F_{max} değerine oranla %18,97 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak F_{max} değerlerinin ve enerji yutma kapasitelerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunenin mukavemet ve enerji yutma kapasite değerinin en yüksek olduğu, 1000 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunenin en sünük

davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak aksenal yük mukavemet değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 3.53., Şekil 3.54., Şekil 3.55. ve Şekil 3.56.'da numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri ve T birleşimlerin ayrılma şekilleri sergilenmiştir. Tüm kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ve sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Aynı zamanda sıcaklık artarken bulon kırılma sayısı da artmıştır.



Şekil 3.53. I240-T300-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.54. I240-T450-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



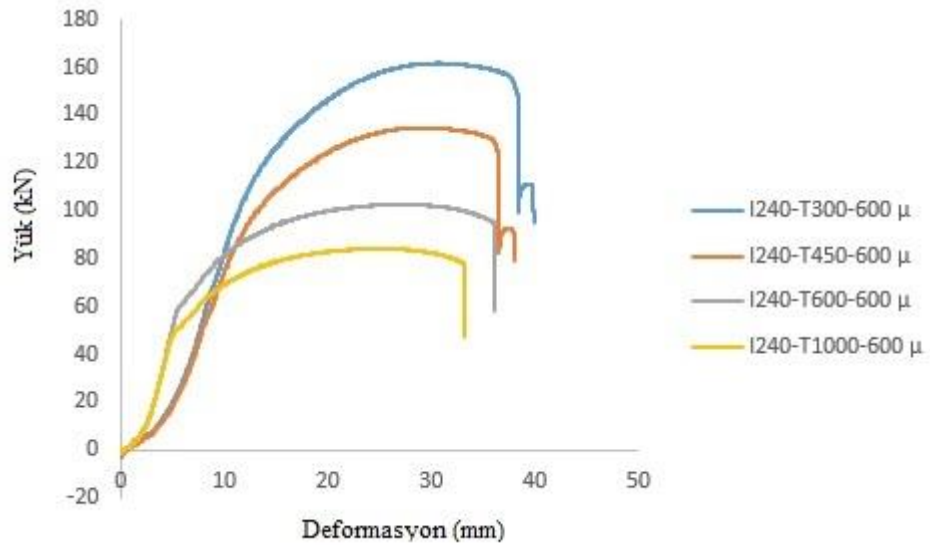
Şekil 3.55. I240-T600-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.56. I240-T1000-400 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

3.1.3.4. 600 μ kalınlıkta boya uygulaması yapılmış ipe240 grup modeller

600 μ boya uygulaması yapılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış olan IPE 240 profillerine ait yük-deformasyon grafikleri çizilmiş (Şekil 3.57.) ve numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak mekanik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.57. I240-600 μ'a ait Yük –Deformasyon Eğrisi.

I240-T300-600 numunesinin 179,96 KN'luk aksenal yük mukavemetine bağlı olarak meydana gelen 54,72 mm uzama miktarına sahip olduğu ve aynı numunede kopma uzama miktarının 41,12 mm olduğu tespit edilmiştir. Aynı boya kalınlığında sıcaklık arttıkça gerilme kapasitesi değerlerinde genel olarak düşme gözlemlenmiştir. Sıcaklık 450 °C'ye geldiğinde I240-T450-600μ numunesinde Fmax değeri %25,25 oranında azalmıştır. Sıcaklık 600 °C'ye geldiğinde I240-T600-600 μ numunesi 450 °C baz alındığında I240-T450-600 μ numunesinde Fmax değeri %23,83 oranında azalmıştır. Benzer olarak, I240-T1000-600 μ numunesi Fmax değerinin de %7,16 oranında azalmıştır. Sonuç olarak numuneler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak Fmax değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrisi incelendiğinde numunelerin 600 μ kalınlıkta boya ile kaplanmasıyla kolon kiriş birleşim bölgelerinin daha sünek davranış sergilediği gözlemlenmiştir. 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunenin mukavemet ve enerji yutma kapasite değerinin en yüksek olduğu, 1000 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunenin en sünek davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık arttıkça numunelerde deformasyon kapasitesi ve enerji yutma kapasiteleri azalmıştır.

Şekil 3.58., Şekil 3.59., Şekil 3.60. ve Şekil 3.61.'de numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görselleri ve T birleşimlerin ayrılma şekilleri sergilenmiştir. Tüm

kopmalar bulonlarda meydana gelmiş ve sıcaklık artarken enerji yutma kapasitesi azalmıştır. Ayrıca numunede tüm kopmalar 2 bulon şeklinde oluşmuştur.



Şekil 3.58. I240-T300-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.59. I240-T450-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.60. I240-T600-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.



Şekil 3.61. I240-T1000-600 μ numunesinin çekme deneyi önce ve sonrası durumu.

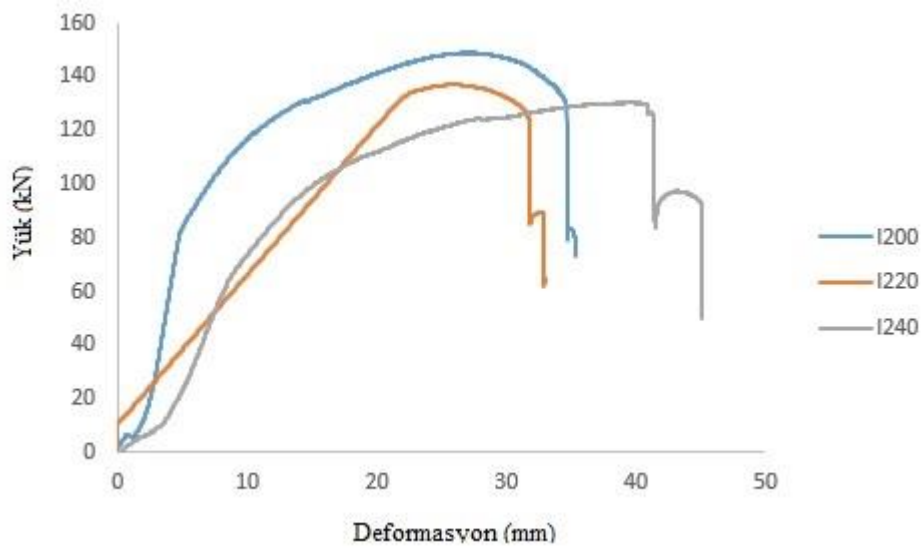
3.1.3.5. IPE240 grup deney numunelerinde genel değerlendirme

IPE240 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağlı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken sıcaklık etkisiyle genişmeye bağlı olarak birim uzamaların azaldığı ve enerji yutma kapasite değerlerinin de boyalı duruma kıyasla fazla olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler et kalınlığına bağlı olarak incelendiğinde I220 numunesinin I240 numunesine kıyasla mukavemetinin yüksek, sünekliğinin az olduğu gözlemlenmiştir. Boya kalınlığına bağlı olarak I240 numuneleri incelendiğinde ise 400 μ boya tatbik edilmiş numunelerin 200 μ boya

tatbik edilmiş numunelere kıyasla daha sünek davranış sergilediği benzer şekilde 600 μ kalınlıktaki numunelerin ise 400 μ 'a kıyasla daha sünek davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslandığında en ideal numune 300 °C'de 600 μ kalınlıkta boya tatbik edilmiş olan I240-300-600 μ numunesinin olduğu söylenebilir.

3.1.4. Referans kontrol grubu

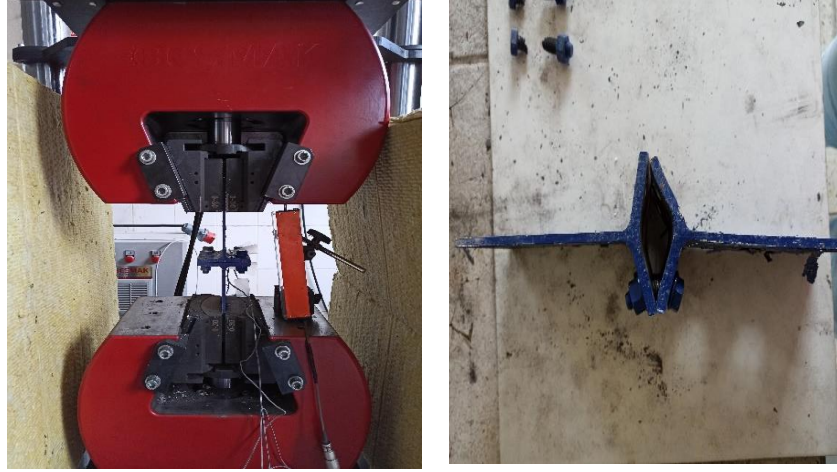
Numunelerin hepsi S275 çelikten üretilmiştir. Bu grup numuneler, sıcaklık maruziyeti ve boya uygulaması yapılmadan deneye tabi tutulmuşlardır. I200, I220 ve I240 numunelerine ait Yük-deformasyon grafikleri Şekil 3.62.'de verilmiştir.



Şekil 3.62. I200-I220-I240 boyanmamış numuneye ait Yük -Deformasyon Eğrisi.

I240 numunesinin diğer numunelere oranla mukavemetinin, deformasyon kapasitesinin ve enerji yutma kapasitesinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığa maruz kalan I200, I220 ve I240 numuneleri ile sıcaklığa maruz kalmayan aynı profillerle kıyaslandığında, daha sünek davranış sergilediği görülmüştür.

Şekil 3.63., Şekil 3.64. ve Şekil 3.65.'de sıcaklığa maruz kalmamış I200, I220 ve I240 numunelerinin deney öncesi ve deney sonrası görselleri verilmiştir. Numunede tüm kopmalar 2 adet bulon kopması ile gerçekleşmiştir.



Şekil 3.63. I200 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.



Şekil 3.64. I220 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.

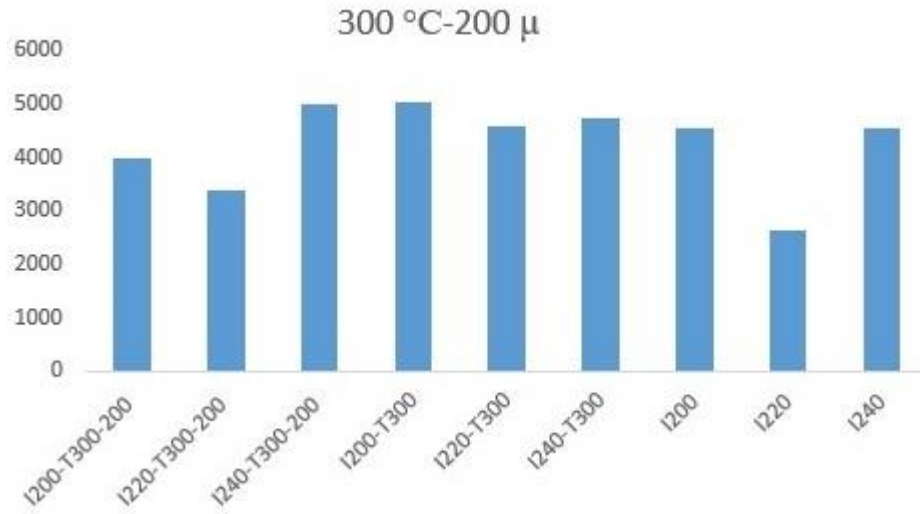


Şekil 3.65. I240 Numunesinin çekme deneyi sonrası durumu.

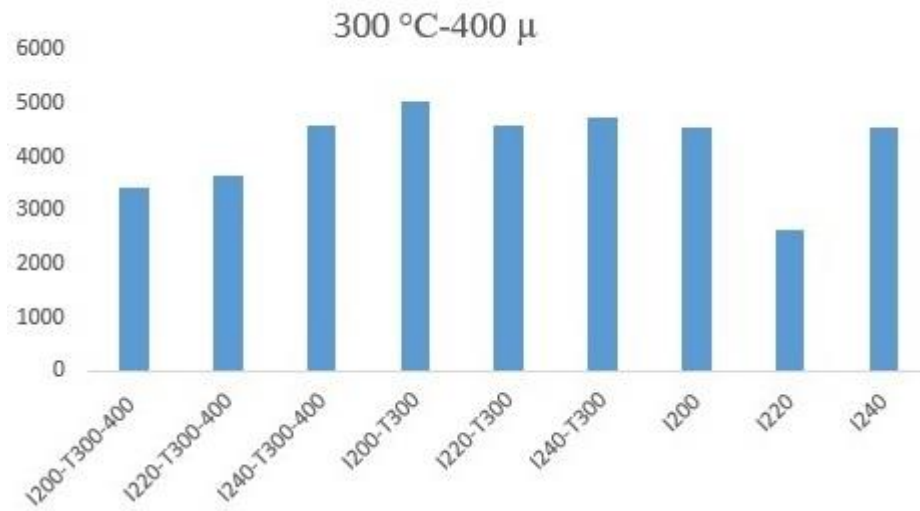
3.2. Tüm Grupların Enerji Sönümleme Kapasitesi Açısından Karşılaştırılması

3.2.1. 300 °C sıcaklık etkisindeki numuneler

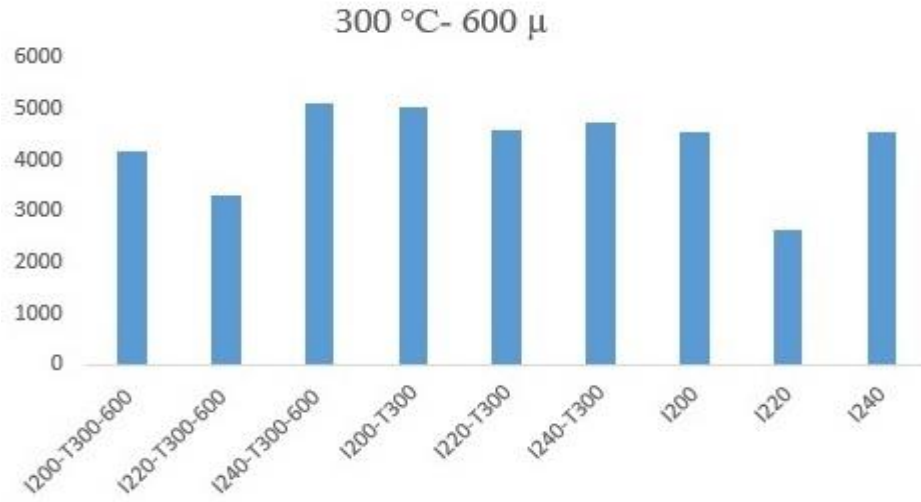
300 °C Sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerin sönümleme kapasiteleri Şekil 3.66., Şekil 3.67., Şekil 3.68., Şekil 3.69.'da verilmiştir.



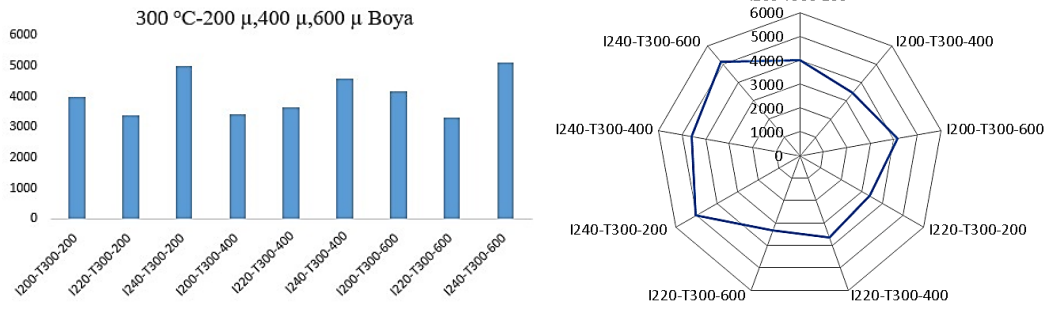
Şekil 3.66. 300 °C Sıcaklık-200μ boya uygulanan numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.67. 300 °C Sıcaklık-400μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.68. 300 °C Sıcaklık-600μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.

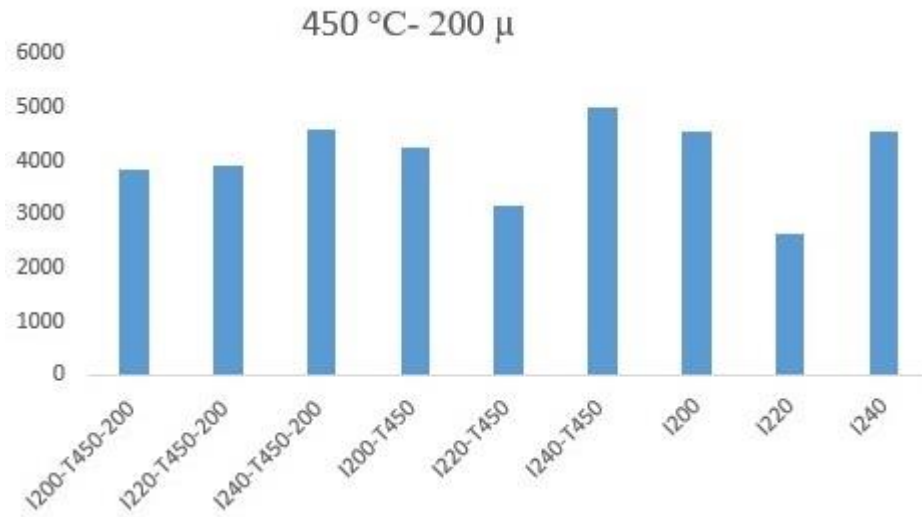


Şekil 3.69. 300 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.

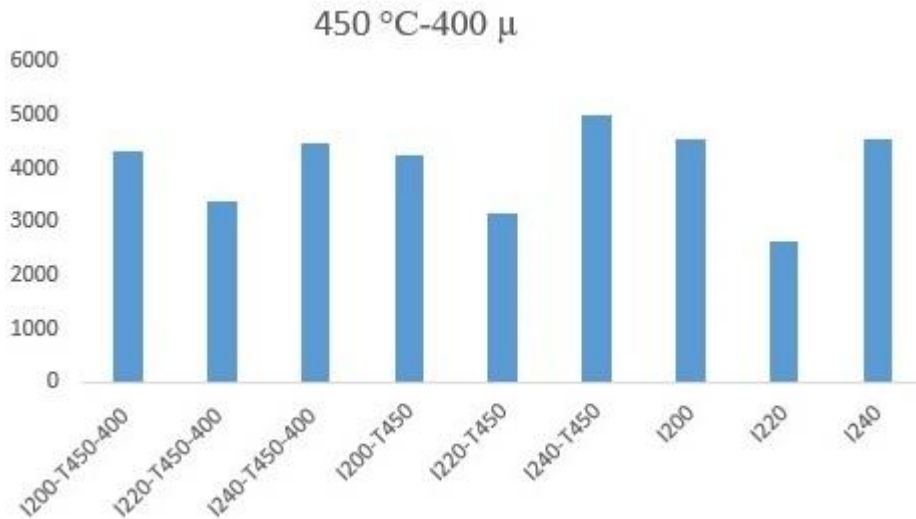
Tablolar incelendiğinde 300°C sıcaklığa maruz kalan numunelerin, sıcaklığa maruz kalmayan numunelere kıyasla enerji yutma kapasitelerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Yangına dayanıklı şişen boya uygulaması yapılmış numunelerde ise I200 ve I220 profillerinde enerji yutma kapasiteleri azalmıştır. I240-T300-200 numunesinin enerji yutma kapasitesi, aldığı yük ve şekil değişimine karşı gösterdiği direncin daha fazla olduğu görülmüştür. Boya kalınlığı 400 μ'a çıkarıldığında enerji yutma kapasite değerlerinin boya uygulanmayan numunelere kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Ancak aldığı yük ve eksenel şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç diğer numunelerden daha fazladır. I240-T300-600 numunesinde aynı sıcaklıkta boya kalınlığı arttıkça enerji yutma kapasitesi ve aldığı yük miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Numuneler kıyaslandığında I240-T300-200 numunesinin bu şartlarda en ideal davranışı sergilediği görülmüştür.

3.2.2. 450 °C sıcaklık etkisindeki numuneler

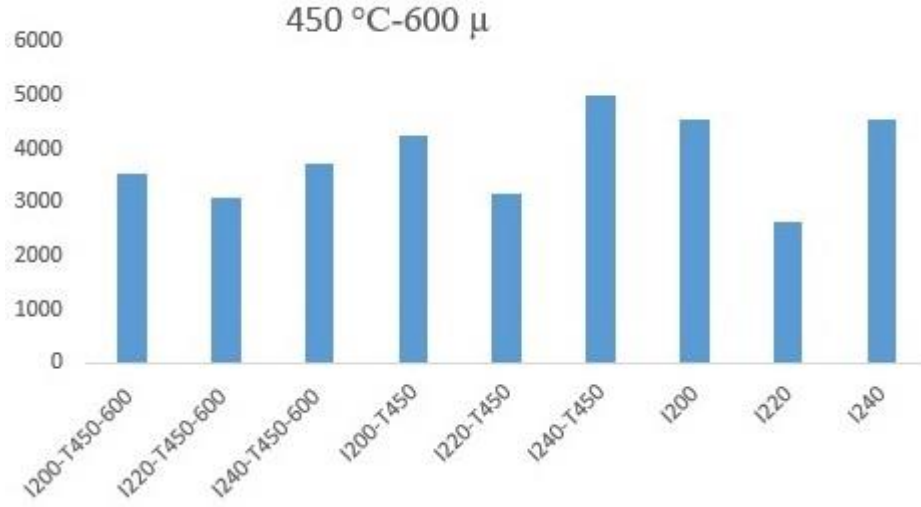
450 °C Sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri Şekil 3.70., Şekil 3.71., Şekil 3.72., Şekil 3.73.'de verilmiştir.



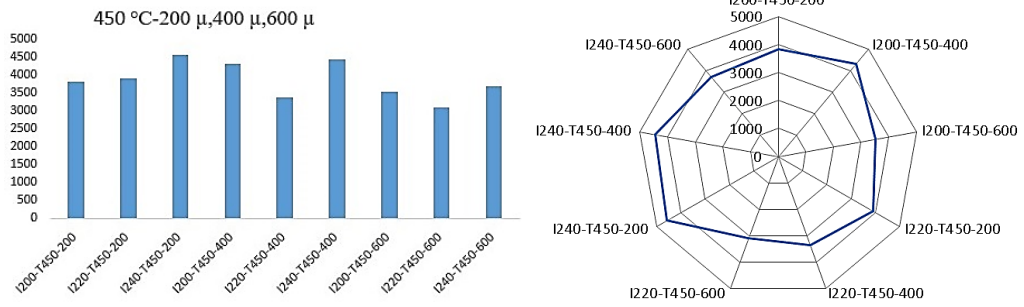
Şekil 3.70. 450 °C Sıcaklık-200 μ boyauygulanmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.



Şekil 3.71. 450 °C Sıcaklık-400 μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.



Şekil 3.72. 450 °C Sıcaklık-600μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.



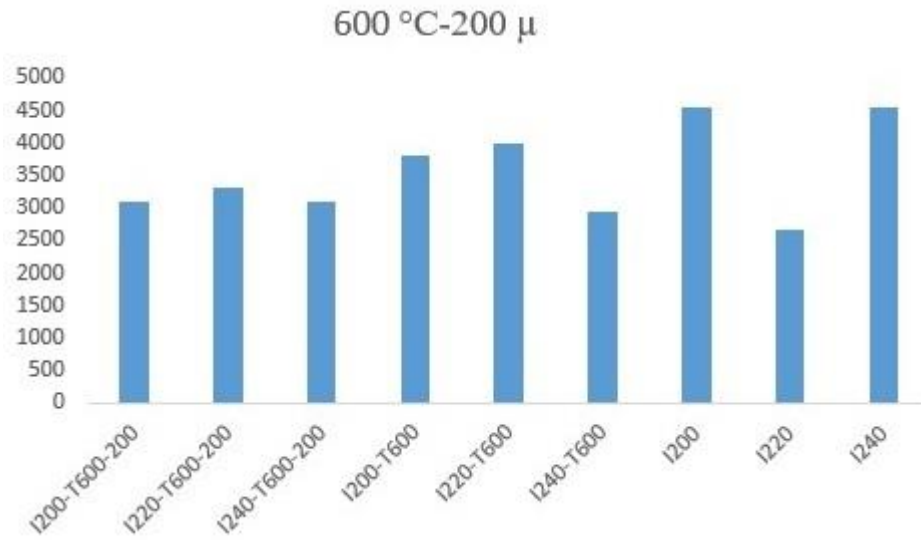
Şekil 3.73. 450 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.

Boyalı ve boyasız olarak numuneler incelendiğinde boyasız numunelerin boyalı numunelere kıyasla enerji yutma kapasiteleri ve aldığı yük miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. I240-T450 numunesi diğer numunelerle kıyaslandığında; enerji yutma kapasitesinin, aldığı yük miktarının ve şekil değişimine karşı gösterdiği direncin diğer numunelere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür.

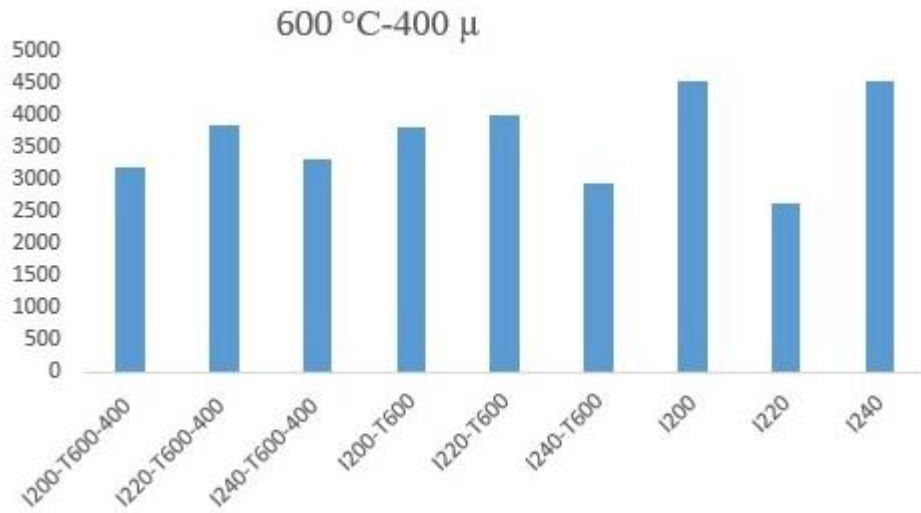
450 °C'de I200, I220 ve I240 profilleri 200 μ, 400 μ, 600 μ boya kalınlıklarının etkisinde incelendiğinde I240-T450-200 numunesi enerji yutma kapasitesi, aldığı yük ve şekil değişimine karşı göstermiş olduğu direnç bakımından diğer tüm numunelerle kıyaslandığında en iyi performansı sergileyen numune olduğu gözlenmiştir. 450 °C sıcaklıkta en ideal numunenin I240-T450-200 numunesi olduğu söylenebilir.

3.2.3. 600 °C sıcaklık etkisindeki numuneler

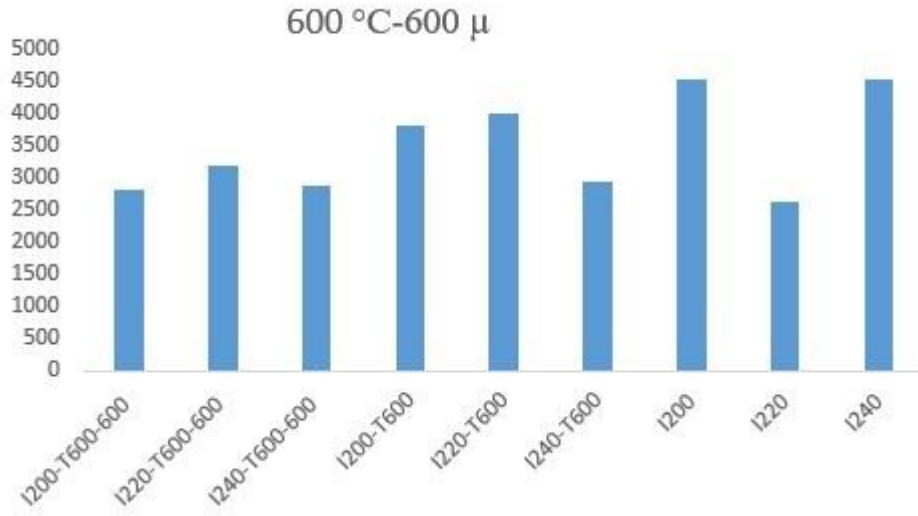
600 °C Sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri Şekil 3.74., Şekil 3.75., Şekil 3.76., Şekil 3.77.'de verilmiştir.



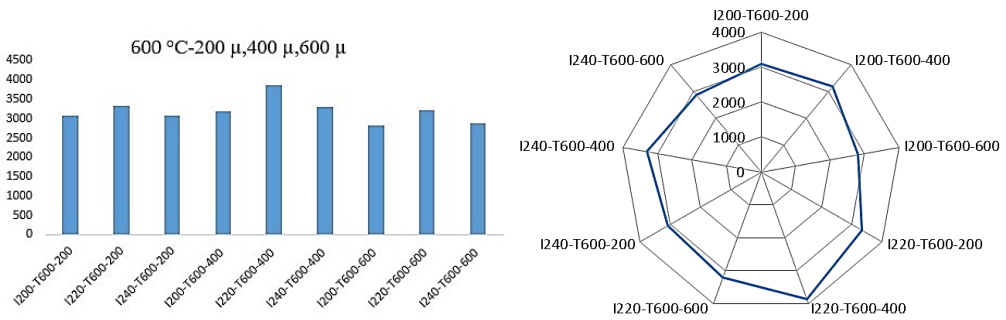
Şekil 3.74. 600 °C Sıcaklık-200 μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.75. 600 °C Sıcaklık-400 μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.76. 600 °C Sıcaklık-600μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.



Şekil 3.77. 600 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri.

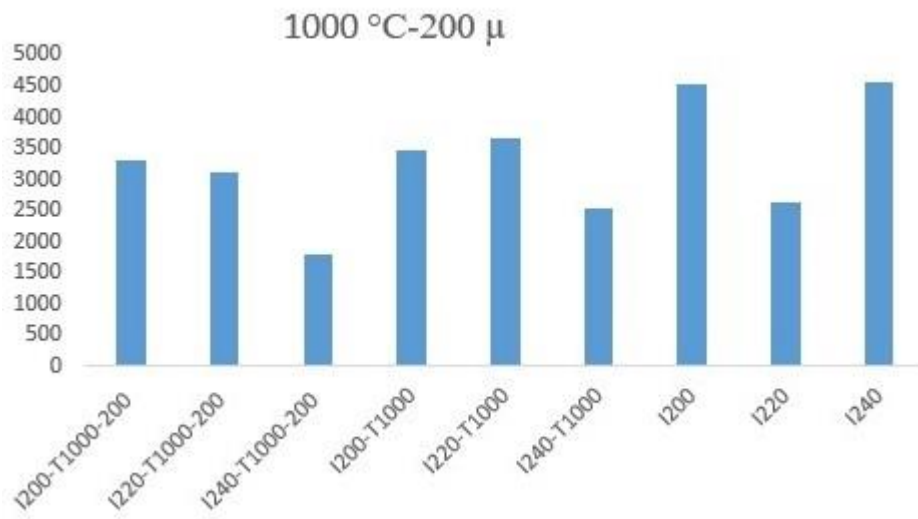
Numuneler boyalı ve boyasız olarak kıyaslandığında boyasız ve sıcaklığa maruz kalmamış numunelerin enerji yutma kapasitesi ve aldıkları yük miktarının boyalı numunelere oranla daha fazla olduğu görülmüştür.

Numuneler en kesit boyutları bakımından kıyaslandığında, I200 numunesinin aldığı yük ve enerji yutma kapasitesinin I240 numunesine oranla daha fazla olduğu, ancak I240 profilinin şekil değiştirmeye karşı göstermiş olduğu direncin fazla olduğu görülmüştür. Numuneler 400 μ ve 600 μ boya uygulaması altında incelendiğinde 400 μ boya tatbiki yapılmış olan numunelerin enerji sönümlenme kapasitelerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. 600 °C de I200, I220 ve I240 profilleri 200 μ, 400 μ ve 600 μ boya kalınlıklarının etkisinde incelendiğinde I220-T600-400 numunesinin enerji yutma kapasitesi, aldığı yük ve şekil değişimine karşı göstermiş olduğu direncin

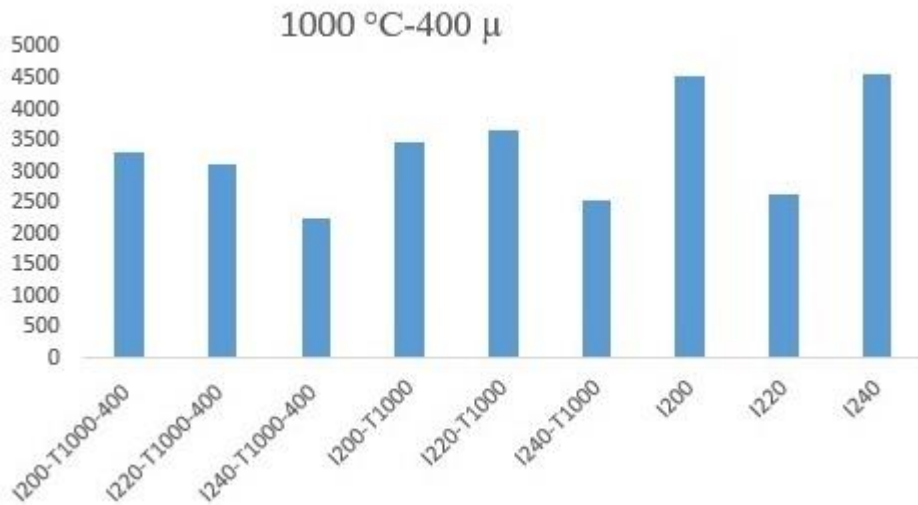
diğer tüm numunelere kıyasla fazla olduğu görülmüştür. I220-T600-400 numunesinin 600 °C’de en ideal davranışı sergileyen numune olduğu söylenebilir.

3.2.4. 1000 °C sıcaklık etkisindeki numuneler

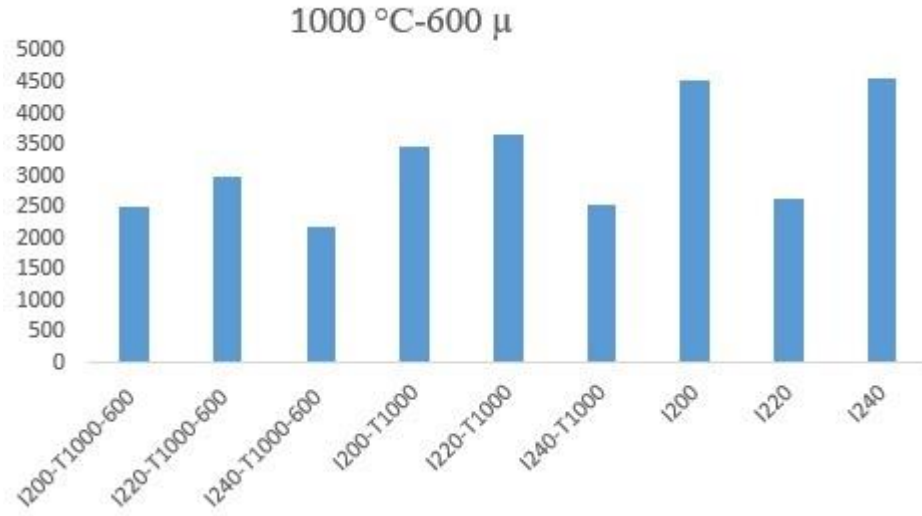
1000 °C Sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri Şekil 3.78., Şekil 3.79., Şekil 3.80., Şekil 3.81.’de verilmiştir.



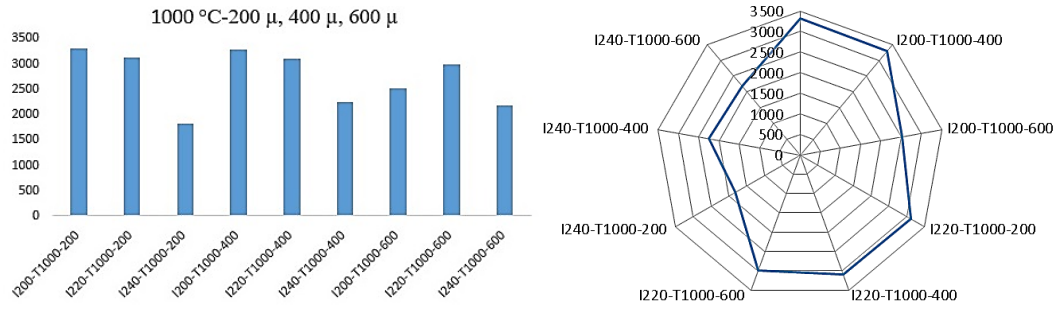
Şekil 3.78. 1000 °C Sıcaklık-200μ boyauygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.79. 1000 °C Sıcaklık-400μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.80. 1000 °C Sıcaklık-600μ boya uygulanmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.



Şekil 3.81. 1000 °C Sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.

Boyasız ve sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin beklenen ideal davranışı sergilediği görülmüştür. I240 numunesinin enerji yutma kapasitesi açısından daha iyi bir performansa sahip olduğu gözlemlenmekle beraber, şekil değişimine karşı göstermiş olduğu direnç ve aksenal yük mukavemeti açısından oldukça zayıf bir davranış sergilediği gözlenmiştir. 1000 °C sıcaklıkta 200μ, 400μ ve 600μ yangına dayanıklı boya altında numuneler incelendiğinde I200-T1000-200 numunesinin en ideal davranış sergileyen numune olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında, literatürde mevcut olan alın levhali kolon-kiriş T birleşimlerinden farklı olarak tasarlanmış olan kiriş-kolon T birleşimlerine, yangın koruyucu boya tatbik edilerek, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve birleşimlerin aksenal çekme yükü etkisi altındaki deformasyon davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

Literatürde yaygın bir şekilde incelenen, levhaların kaynaklanarak birleştirilmesi ile elde edilen T birleşimler, bu çalışmada literatürden farklı olarak IPE profillerinden teşkil edilmiştir. Böylece, kaynaklı levha birleşimleri ile elde edilen T birleşimlerinde sıkça rastlanan; kaynak malzemesi ve kaynak işçiliğine bağlı olarak ortaya çıkan işçilik hataları, erken kopma noktası oluşumu, yerinde kaynağın iyi performans gösterememesi gibi problemlerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür.

4.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmada T birleşimler 3 çeşit IPE profilden inşaa edilmiş olup, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tatbiki Mekanik-Yapı ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler yardımıyla yük-deformasyon eğrileri oluşturulmuştur. Böylece, birleşimlerin aksenal çekme yük etkisi altındaki davranışı ve süneklik düzeyi ve enerji yutma kapasitesi grafiksel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen deney, gözlem, hesap ve analizlerden çıkarılan sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

IPE200 numuneler:IPE200 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağılı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken, beklenildiği üzere, enerji yutma kapasite değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Yük deformasyon eğrileri incelendiğinde 200 μ kalınlıktaki I200 numunelerinin 300 $^{\circ}$ C sıcaklık etkisi sonrası daha sünek davranış sergilediği, numunelerde boya kalınlığı arttıka mukavemet yükünün arttığı, ancak enerji yutma kapasitelerinin azaldığı görülür. Ayrıca sünekliğin azalmasına bağılı olarak birleşim bölgelerinde gevrek kırılma eğilimi artmıştır. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağılı olarak kıyaslandığında en ideal numune 450 $^{\circ}$ C'deki 200 μ kalınlıkta boyanmış I200-450-200 numunesidir.

IPE220 numuneler: IPE220 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağılı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken sıcaklık etkisiyle genleşmeye bağılı olarak birim uzamaların daha fazla olduğu ve enerji yutma kapasite değerlerinin de boyalı duruma kıyasla fazla olduğu görülmektedir. Yük deformasyon eğrileri incelendiğinde 200 μ kalınlıktaki I220 numunelerinin 300 $^{\circ}$ C sıcaklığa maruziyetten sonra daha sünek davranış sergilediği, numunelerde boya kalınlığı arttıka aksenal çekme yükü mukavemetinin arttığı ancak enerji yutma kapasitelerinin azaldığı, ayrıca boya kalınlığı arttıka sünekliğin azalmasına bağılı olarak birleşim bölgelerinde gevrek kırılma eğiliminin arttığı gözlenmektedir. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağılı olarak kıyaslandığında en ideal numune 300 $^{\circ}$ C'de 200 μ kalınlıkta boya tatbik edilmiş olan I220-300-200 numunesi olduğu söylenbilir.

IPE240 numuneler:IPE240 numunelerinde sıcaklık ve boya kalınlığına bağılı olarak değerler incelendiğinde numune boyasız durumdayken sıcaklık etkisiyle genleşmeye bağılı olarak birim uzamaların azaldığı ve enerji yutma kapasite değerlerinin de boyalı duruma kıyasla fazla olduğu gözlenmiştir. I240 numuneleri en kesit bazında I220 serisi ile kıyaslandığında IPE240 ile teşkil edilen t birleşimlerin sünekliğinin düşük, aksenal çekme mukavemetinin yüksek olduğu görülmektedir. I240 numunelerinde boya kalınlığı arttıka T birleşimlerin daha sünek davranış

sergilediği gözlemlenmiştir. Numuneler kendi içerisinde boya kalınlığına ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslandığında en ideal numune 300 °C’de 600 µ kalınlıkta boyanmış I240-300-600 numunesi olduğu görülmüştür.

Genel tartışma:

Bu çalışmada elde edilen enerji sönümlenme ve yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde,

- 300 °C ve 450°C sıcaklığa maruz kalmış tüm numunelerin ortalama enerji sönümlenme kapasitesi 4000j civarında iken 600 °C üstü sıcaklık için bu değer 3000j ve altında olduğu gözlenmektedir. Kullanılan yangına dayanıklı boya malzemesinin 450 °C ve altındaki sıcaklıklarda iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.
- Enerji sönümlenme radar eğrileri incelendiğinde çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda, T birleşimlerin enerji sönümlenme kapasiteleri üzerinde enkesit boyutlarının önemli bir rol oynadığı gözlenmektedir. Düşük sıcaklıklarda büyük enkesitler daha iyi enerji sönümlenme kapasitesine sahipken yüksek sıcaklıklarda en düşük kapasiteye sahip olduğu görülmektedir. Bu durum 600°C ve üstü sıcaklıklar için enkesit boyutu ile orantılı boya kalınlığının artırılması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır.
- Boya uygulaması yapılmış ve yapılmamış her bir grupta, maksimum eksenel yük taşıma kapasitesi 300°C ve 450 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmış elemanlarda gözlenmiştir. Tüm numunelerin ortak noktası S275 çelik sınıfından yapılmış olmalarıdır. Bu noktadan hareketle yüksek sıcaklıklara maruz kalan S275 çeliği için kritik sıcaklık değerinin 450 °C olduğu söylenebilir.
- Birleşim bir bütün olarak düşünüldüğünde, IPE profil enkesitlerinde plastik deformasyon oluşmadan, birleşim bulonların taşıyabileceği maksimum eksenel yük taşıma kapasitesine erişince, bulonların gevrek kırılmasıyla deneylerin sonlanmış olduğu görülür.

- Bu çalışmada kolon kiriş birleşimlerinin ve/veya kullanılan bulonların aldığı yük miktarına bağlı olarak daha sünek davranması ve numunenin aldığı yük etkisi altında mukavemetinin de yüksek olması amaçlanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar beklentiyi karşılar yöndedir
- Numuneler kendi içinde kıyaslama yapılarak incelendiğinde; sıcaklığa maruz kalan numunelerin, sıcaklığa maruz kalmayan numunelere kıyasla enerji yutma kapasitelerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Yangına dayanıklı şişen boya uygulaması yapılmış numuneler ile boya uygulaması yapılmamış numuneleri karşılaştırdığımızda ise boya uygulamasının numunelerin eksenel yük mukavemetini arttırdığını ancak enerji sönümleme kapasitesini düşürdüğü söylenebilir.

4.2. Öneriler

Bu çalışmada kolon kiriş birleşimlerinin ve/veya kullanılan bulonların aldığı yük miktarına bağlı olarak daha sünek davranması ve numunenin aldığı yük etkisi altında mukavemetinin de yüksek olması amaçlanmıştır.

Çalışma farklı en kesitte profiller, farklı sıcaklık uygulamaları için tekrarlanarak enkesit değişimi ve sıcaklık değişiminin etkileri daha açık değerlendirilebilir. Ayrıca çalışmada tek tip yangına dayanıklı boya kullanılmış olup, yangına dayanıklı farklı boya türleri için deneyler tekrarlanabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Coelho, A.M.G. &Bijlaard, F.S.K. &Gresnigt, N. &Silva, L.S.S. (2003). Experimentalassessment of thebehaviour of bolted T-birleşimconnections madeup of weldedplates. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(2004),269-311.
- [2] Maali, M. (2020). Failuremodes of end-plateconnections withouterflangestiffeners: an experimentalandnumericalstudy. *Sâdhanâ* (2020) 45:18. <https://doi.org/10.1007/s12046-019-1262-2>.
- [3] Çırpıcı, B.K. &Dumlu, F. (2019). Çelik bir Endüstriyel Yapının Yangına Karşı Dizaynı. Erzurum Teknik Üniversitesi, 2019.
- [4] Crosti, C. (2009). Structural Analysis of Steel Structuresunder Fire Loading. *ActaPolytechnica*, 49(1), 21–28.
- [5] Hong, S., Varma, A. H., Agarwal, A., &Prasad, K. (2008). Behavior of steelbuildingstructures underrealistic fire loading. *Proceedings of the 2008 StructuresCongress-StructuresCongress 2008: CrossingtheBorders*, 314.
- [6] Liu, Y.,&Jia, J., (2010). Study on HeatFlow Analysis Model of H-Section Steel Columnswith Box Protectionunder Fire Conditions. In *Earth and Space 2010: Engineering, Science, Construction, and Operations in ChallengingEnvironments* © 2010 ASCE 3083 (pp. 3083– 3091).
- [7] Cedeno, G. A.,& Gore, J. A. Y. (2011). PredictingtheStandart Fire Behavior of Composite Steel Beams. In *Composite Construction in Steel andConcrete VI* (pp. 642–656).
- [8] Aziz, E.,&Kodur, V. (2013). An approachforevaluatingtheresidualstrength of fire exposedbridgegirders. *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.04.007>.
- [9] Lin, S.,Huang, Z., & Fan, M. (2015). Theeffects of protectedbeamsandtheirconnections on the fi re resistance of compositebuildings. *Fire SafetyJournal*, 78, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.08.003>.

- [10] Sun, R., Huang, Z., & Burgess, I. W. (2012). The collapse behaviour of braced steel frames exposed to fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 72, 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.11.008>.
- [11] Payá-Zaforteza, I., & Garlock, M. E. M. (2012). A numerical investigation on the fire response of a steel girder bridge. *Journal of Constructional Steel Research*, 75, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.03.012>.
- [12] Aziz, E. M., Kodur, V., Glassman, J. D., & Moreyra Garlock, M. E. (2015). Behavior of steel bridge girders under fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*, 106, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.12.001>.
- [13] Zografopoulou, K., & Mistakidis, E. (2017). Numerical simulation of the behaviour of steel members with damaged SFRM fire protection coatings at elevated temperatures. In *Ce/Papers* (Vol. 1, pp. 2688–2697). <https://doi.org/10.1002/cepa.318>.
- [14] Petrina, T. (2016a). Fire Resistance of Steel Beam to Column End Plate Connections. *Procedia Engineering*, 161, 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.512>.
- [15] Petrina, T. (2016b). Steel Connections Post Earthquake Fire Tests Setup. *Procedia Engineering*, 161, 133–136. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.510>.
- [16] Łukomski, M., Turkowski, P., Roszkowski, P., & Papis, B. (2017). Fire Resistance of Unprotected Steel Beams – Comparison between Fire Tests and Calculation Models. *Procedia Engineering*, 172, 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.078>.
- [17] Wong, M. B. (2017). Temperature analysis of partially heated steel members in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.08.008>.
- [18] Lausova, L., Kolos, I., Mhalcova, V., & Skotnicova, I. (2017). Numerical Analysis of Steel Portal Frame Exposed to Fire. *Procedia Engineering*, 190, 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.332>.
- [19] Wang C. Y. & Han C. (2017). Constant effective thermal conductivity of intumescent coatings: Analysis of experimental results. *Journal of Fire Sciences* 35(4301).
- [20] Cattani, L. & Calabrese, L. & Vocale, P. (2014). Parameter estimation approach applied to the characterization of an intumescent fire retardant paint. *JP Journal of Heat and Mass Transfer*. 9(2):101-116

- [21] Bailey, C. G. & Zhang Y. & Wang Y. C. & Taylor A. P. (2012). Global modelling of fire protection performance of an intumescent coating under different furnace fire conditions. *Journal of Fire Sciences* 31(1):51-72.
- [22] Sulong, H. R. & Yew M. C. (2012). Fire-resistive performance of intumescent flame-retardant coatings for steel. *Materials & Design*. 34:719-724.
- [23] Zhang F. & Cheng Y. (2015). Experimental Study on Heat Transfer of Intumescent Fire Retardant Polypropylene Materials. *Journal of Macromolecular Science Part B* 54(1).
- [24] Altay, G. & Güneyisi, E.M. (2005). Türkiyede Yapısal Çelik Sektörü ve Yeni Gelişimler.
- [25] (ISO 834-Eurocode 1). Actions on structures-Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire.
- [26] Binaların Yangından Koruması Hakkında Yönetmelik, (2007). 19.12.2007 tarih ve 26735 sayılı Resmi Gazete.
- [27] TS EN 1993-1-1 (2014). Çelik yapıların tasarımı Bölüm 1.1: Genel kurallar ve binalarda uygulanacak kurallar.
- [28] Öven, V. A. & Parlak, İ. Y. (2003). Korumasız Çeliğin Yüksek Sıcaklıklarda Performansı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427(5), 79-86.
- [29] Demirel, F. & Özkan, E. (2003). Çelik yapı bileşenler ve yangın güvenlik önlemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* Sayı: 18.
- [30] Hacıemiroğlu, M. (2014). Yangın Geçirmiş Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının Değerlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- [31] Işık, N. Çelik Endüstri Yapılarının Yangın Güvenliği. (2020). *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- [32] Comité Européen de Normalization (CEN). "EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures-Part 1-2: General rules - Structural fire design". Brussels, Belgium, 2005.
- [33] URL1: <<https://www.profire.com.tr/yangin-egrisi.html>>., Erişim Tarihi: 30/09/2020.
- [34] URL2: <http://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/75/files/Gokhan/Celik_Yapilar_2019/Celik_Yap_lar_2019_Sunum-2.pdf>., Erişim Tarihi: 10/09/2020.

- [35] URL-1:<<https://www.isonem.com.tr/ozel-boyalar/isonem-anti-fire-paint>>., Erişim Tarihi: 30/09/2020.
- [36] Agustini, N. K. A. &Triwiyono, A. &Sulistyo, D. (2017). TheBehavior Of StellStructureExposedToFire: A Review. <https://www.researchgate.net/publication/322568547>.
- [37] Ma, H., Ren, S., & Fan, F. (2016). Experimentalandnumericalresearch on a new semi-rigidjointforsingle-layerreticulatedstructures. *EngineeringStructures*, 126, 725-738.
- [38] Sagirolu, M. (2018). Experimentalevaluation of the post-fire behavior of steel T-component in thebeam-to-columnconnection. *Fire safetyjournal*, 96, 153-164.
- [39] Cirpici, B. K., Orhan, S. N., Kilic, M., Maali, M., &Sagirolu, M. (2020). ExperimentalBehavior of Cold-FormedStainless Steel ScrewedBeam–ColumnConnections at Post-Fire Condition. *IranianJournal of ScienceandTechnology, Transactions of CivilEngineering*, 1-17.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Gebze’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gebze’de tamamlayan Hüsna EKŞİ 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fizik bölümünden yine aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. İnşaat mühendisliğin de özel sektörde İnşaat firmalarında projeci ve teknik ofis şefi olarak 6 yıl aktif olarak çalıştı. Kariyerine kentsel dönüşüm ve çelik proje işleri yaparak devam etmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.