



**HAFİF ÇELİK YAPILARDA YÜKSEK SICAKLIK
GEÇMİŞİ OLAN BİRLEŞİM ELEMANLARININ
VİDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERDE TERSİNİR
YÜKLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞIN DENEYSEL
VE SAYISAL İNCELENMESİ**

Oktay ÇAKAR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI**

2023

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAFİF ÇELİK YAPILARDA YÜKSEK SICAKLIK GEÇMİŞİ OLAN
BİRLEŞİM ELEMANLARININ VİDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERDE
TERSİNİR YÜKLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL VE
SAYISAL İNCELENMESİ**

Oktay ÇAKAR

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

08 / 12 / 2023

Oktay ÇAKAR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK YAPILARDA YÜKSEK SICAKLIK GEÇMİŞİ OLAN BİRLEŞİM ELEMANLARININ VIDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERDE TERSİNİR YÜKLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Oktay ÇAKAR

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte ağır çelik olarak nitelendirilen sıcak haddelenmiş çeliğinin ağır maliyetleri ile birlikte imalat zorluklarının da olmasından dolayı soğukta şekil verilmiş çelik günümüzde daha kullanışlı hale gelmiştir. Soğuk şekillendirilmiş çelikler aynı zaman da hafif çelik olarak da isimlendirilmektedir. Hafif çeliklerin sismik performanslarında iyi olduğu gözlemlendikten sonra daha da kullanışlı hale gelmiştir. Hafif çelikler, ağır çeliğe nazaran birleşimleri konusunda daha rahat ve kolay bir çelik türüdür. Literatürde birleşim olarak genellikle bulonlu ve vidalı birleşimler daha çok irdelenmiştir. Aynı zamanda bu birleşimlerin statik yükler altında nasıl davrandığı incelenmiştir. Döngüsel yükler altında fazla literatürde yer verilmediğinden deneyde döngüsel yük altındaki davranışı incelenmektedir. Deneyde yangından sonra oluşabilecek hasarlardan dolayı hafif çelik vidalı birleşimin döngüsel yük altındaki davranışı incelenmiştir. Daha önceden yapılmış olan kiriş-kolon vidalı birleşimlerinin literatürde de paylaşıldığı gibi ABAQUS sonlu eleman analiz programı yardımıyla modellenip deney sonuçlarının doğruluğunu kontrol edebilmek için birbirleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada yangından sonra meydana gelen hasarların ABAQUS sonlu eleman programı yardımıyla modellenip gerçek deneyle arasındaki farklar incelenmiştir. Bu kıyaslama sonucu deney sonuçları ile ABAQUS verilerinin birbirleriyle çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

2023, 83 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Yükleme, Kolon Kiriş Vidalı Birleşim, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik, Çelik Yapılarda Yangın, Sonlu Eleman Analizi, Çelik Yapıların Yangın Sonrası Davranışı

ABSTRACT

MS. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF CONNECTION ELEMENTS WITH HIGH-TEMPERATURE HISTORY IN LIGHT STEEL STRUCTURES UNDER REVERSIBLE LOADS IN SCREWED COLUMN-BEAM CONNECTIONS

Oktaç ÇAKAR

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

Due to high costs and manufacturing challenges associated with hot-rolled steel, cold-formed steel, also known as light steel, has become more practical with technological advancements. Light steel structures offer increased usability, particularly noted for their positive seismic performance. Compared to heavy steel, light steels are more convenient and easily assembled. While bolted and screwed connections are commonly explored in the literature, this study focuses on the behavior of light steel screwed connections under cyclic loads, with a consideration for potential post-fire damage. Using the ABAQUS finite element analysis program, beam-column screw connections were modeled and compared with experimental data, revealing close correspondence. The study concludes that light steel screwed connections may experience a loss of strength after a fire.

2023, 83 page

Keywords: Cyclic Loading, Screw Beam to Column Connection, Cold Formed Steel, Fire in Steel Structures, Finite Element Analysis, Post-Fire Behavior of Steel Structures

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamım tamamında bana yardımcı olan bilgi birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve aynı zamanda büyük destekçim olan kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALI' ye, tez çalıőmamın belli bölümlerinde tecrübelerini ve deneyimlerini benimle paylaşan kıymetli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ırpıcı' ya, Tez alıőmamım büyük bölümünde bana yardımcı olan kıymetli arkadaşım Mustafa Ensar Tavlaşoğlu'na, yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını ve desteklerini asla esirgemeyen özellikle babam ve tüm aileme teşekkür ederim.

Oktay ÇAKAR
Aralık 2023



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | x |
| | |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı | 1 |
| 1.1.1 Hafif çelik malzemelerin özellikleri..... | 2 |
| 1.2 Hafif Çelik Yapılarda Birleşim | 5 |
| 1.3 Yangın Hakkında Genel Bilgiler..... | 6 |
| 1.3.1 Yapılarda yangın | 8 |
| 1.3.1.1 Çelik bir yapıda yangın..... | 8 |
| 1.4 Çelik Yapıların Yangına Karşı Dayanıklılıkları..... | 10 |
| 1.5 Döngüsel Yükleme ve Yükleme Protokolleri | 11 |
| 1.5.1 FEMA-350 yükleme protokolü | 11 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 13 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 27 |
| 3.1 Deneysel Çalışmalar..... | 27 |
| 3.2 Deneylerde Kullanılan Aletler | 28 |
| 3.2.1 Hidrolik aktüatör | 28 |
| 3.2.2 Deformasyon ölçme cihazı (LVDT) | 28 |
| 3.2.3 Veri toplama ve kaydetme sistemi (Data logger)..... | 29 |
| 3.2.4 Yangın fırını | 30 |
| 3.3 Deneyin Yapılışı ve Deney Düzeneği | 31 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA | 32 |
| 4.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 36 |
| 4.1.1 Deneylerin yapılışı ve değerlerinin incelenmesi | 37 |
| 4.1.2 Yangına maruz kalmamış literatürdeki deneyler ile yangına maruz kalmış deneylerinin incelenmesi | 40 |
| 4.1.3 Sayısal inceleme | 48 |
| 4.1.3.1 Eleman türü ve ağ boyutu..... | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.3.2 Sınır koşulları ve yük uygulama prosedürü..... | 50 |
| 4.1.4 Literatürdeki deneyler ile abaqus sonlu eleman programı arasında karşılaştırma . | 50 |
| 4.1.5 Yangına maruz kalmış deney numuneleri ile abaqus modellerinin incelenmesi ... | 71 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 78 |
| KAYNAKLAR | 80 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

| | |
|-----------------|------------------------|
| cm | Santimetre |
| F_{max} | Maksimum Kuvvet |
| kN | Kilonewton |
| kNm | Kilonewtonmetre |
| m | Metre |
| mm | Milimetre |
| $M_{j,max}$ | Moment dayanımı |
| M_{max} | Maksimum Moment |
| M_p | Plastik Moment |
| rad | Radyan |
| $S_{j,ini}$ | Dönme Rijitliği |
| Δ | Yer Değişirme |
| Δ_{Fmax} | Maksimum Yer Değişirme |
| θ | Dönme |
| θ_{cd} | Dönme Kapasitesi |
| θ_{Fmax} | Maksimum Dönme |
| θ_p | Plastik Dönme |

Kısaltmalar

| | |
|-----------|---|
| AISI | American Iron and Steel Institute Specification |
| ASTM | American Society for Testing Materials |
| CBM | Component Based Method |
| CFS | Cold Formed Steel |
| FE | Sonlu Eleman |
| FEMA | Federal Emergency Management Agency |
| F_{max} | Maksimum Kuvvet |
| JIFS | Japon Iron and Steel Federation |
| VMS | Von Mises Stress |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Hafif Çelik Yapı Yapımı | 3 |
| Şekil 1.2. Hafif Çelik Yapı Örneği | 4 |
| Şekil 1.3. Hafif Çelik Yapılarda Meydana Gelen Deformasyon Şekilleri..... | 5 |
| Şekil 1.4. Soğuk Şekillendirilmiş Çeliğin Burulma Şekilleri | 5 |
| Şekil 1.5. Hafif Çelik Çatı Birleşimleri | 6 |
| Şekil 1.6. Yangın Üçgeni | 8 |
| Şekil 1.7. Yanma Sürecindeki Sıcaklık-Zaman İlişkisi | 9 |
| Şekil 1.8. Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Anındaki Davranışı..... | 9 |
| Şekil 1.9. FEMA-350 Yükleme Protokolü | 12 |
| Şekil 2.1. Deney Düzeneği (Senger 2021)..... | 14 |
| Şekil 2.2. Deneyde Kullanılan Yapma Kesit (Yang et al. 2020) | 16 |
| Şekil 2.3. Deney Görselleri (Yang et al. 2020)..... | 17 |
| Şekil 2.4. SAFİR Yazılımı Modeli (Algül 2019)..... | 18 |
| Şekil 2.5. ABAQUS Sonlu Eleman Modeli (Özdemir 2019) | 19 |
| Şekil 2.6. Deney Göçme Modu (Solak 2019)..... | 20 |
| Şekil 2.7. Deney Düzeneği (Yazıcı 2018) | 21 |
| Şekil 2.8. Kolon-Kiriş Birleşimi (Sabbagh 2012)..... | 23 |
| Şekil 2.9. Çaprazlı Çerçeve Duvar Modeli (Büyüksişli 2004) | 24 |
| Şekil 2.10. Deneyde Homojen Olmayan Sıcaklık Dağılımı (Feng and Wang 2003) | 25 |
| Şekil 3.1. Hidrolik Aktüatör Deney Görseli | 28 |
| Şekil 3.2. Data Logger Sistemi | 29 |
| Şekil 3.3. Yangın Fırını..... | 30 |
| Şekil 3.4. Deney Düzeneği | 31 |
| Şekil 4.1. Çelik Yapının Montajının Görselleri | 32 |
| Şekil 4.2. Deney Numunesi Genel Görünümü ve Özellikleri..... | 33 |
| Şekil 4.3. Fırın ve Fırının İçine Koyulan Kiriş Numuneleri | 34 |
| Şekil 4.4. ISO 834 Standart Yangın Eğrisi (°C) Grafiği..... | 35 |
| Şekil 4.5 Çekme Kupası Testi ve Gerilme-Gerinim Eğrisi | 36 |
| Şekil 4.6. D1-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği ve Selektion Eğrisi Grafiği | 37 |
| Şekil 4.7. D2-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği ve Selektion Eğrisi Grafiği | 38 |
| Şekil 4.8. C Profilinin Kalınlığının Maksimum Momente Etkisi | 38 |
| Şekil 4.9. C Profilinin Kalınlığının Maksimum Dönmeye Etkisi..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.10. C profilinin Kalınlığının Guse Levhasındaki Maksimum Yırtılmaya Etkisi | 39 |
| Şekil 4.11. C Profil Kalınlığının Enerji Yutma Kapasitesine Etkisi..... | 40 |
| Şekil 4.12. EXP-1-C1.5-P1.5-S ve D1-C1.5-P-1.5-S Moment-Dönme Grafiği..... | 41 |
| Şekil 4.13. EXP-2-C2-P1.5-S ve D2-C2-P-1.5-S Moment-Dönme Grafiği..... | 42 |
| Şekil 4.14. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Momente Etkisi..... | 43 |
| Şekil 4.15. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Dönmeye Etkisi | 43 |
| Şekil 4.16. Yangına Maruz Kalmanın Guse Levhasındaki Yırtılmaya Etkisi | 44 |
| Şekil 4.17. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Momente Etkisi..... | 45 |
| Şekil 4.18. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Dönmeye Etkisi | 45 |
| Şekil 4.19. Yangına Maruz Kalmanın Guse Levhasındaki Yırtılmaya Etkisi | 46 |
| Şekil 4.20. (a) D1-C1.5-P1.5-S ve (b) EXP-1-C1.5-P1.5-S Deney Sonrası Görseli | 47 |
| Şekil 4.21. (a) D2-C2-P1.5-S ve (b) EXP-2-C2-P1.5-S Deney Sonrası Görseli | 47 |
| Şekil 4.22 Sonlu Eleman Modeli (ABAQUS) | 48 |
| Şekil 4.23 Deneysel Örneklerin Sonlu Eleman Modeli ve Sınır Koşulları..... | 49 |
| Şekil 4.24. EXP-1-C1.5-P1.5-S ve EXP-FE-1-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği .. | 50 |
| Şekil 4.25. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 51 |
| Şekil 4.26. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 51 |
| Şekil 4.27. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 52 |
| Şekil 4.28. EXP-2-C2-P1.5-S ve EXP-FE-2-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği | 53 |
| Şekil 4.29. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 54 |
| Şekil 4.30. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 54 |
| Şekil 4.31. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 55 |
| Şekil 4.32. EXP-3-C1.5-P1.5 ve EXP-FE-3-C1.5-P1.5 Moment-Dönme Grafiği | 56 |
| Şekil 4.33. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 56 |
| Şekil 4.34. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 57 |
| Şekil 4.35. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 57 |
| Şekil 4.36. EXP-4-C2-P1.5 ve EXP-FE-4-C2-P1.5 Moment-Dönme Grafiği | 58 |
| Şekil 4.37. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 59 |
| Şekil 4.38. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 59 |
| Şekil 4.39. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 60 |
| Şekil 4.40. EXP-5-C1.5-P2-S ve EXP-FE-5-C1.5-P2-S Moment-Dönme Grafiği | 61 |
| Şekil 4.41. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 61 |
| Şekil 4.42. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 62 |
| Şekil 4.43. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 62 |
| Şekil 4.44. EXP-6-C2-P2-S ve EXP-FE-6-C2-P2-S Moment-Dönme Grafiği | 63 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.45. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 64 |
| Şekil 4.46. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 64 |
| Şekil 4.47. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 65 |
| Şekil 4.48. EXP-7-C2-P2 ve EXP-FE-7-C2-P2 Moment-Dönme Grafiği | 66 |
| Şekil 4.49. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 66 |
| Şekil 4.50. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 67 |
| Şekil 4.51. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 67 |
| Şekil 4.52. EXP-8-C2-P3 ve EXP-FE-8-C2-P3 Moment-Dönme Grafiği | 68 |
| Şekil 4.53. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 69 |
| Şekil 4.54. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 69 |
| Şekil 4.55. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri..... | 70 |
| Şekil 4.56. D1-FE-C1.5-P1.5-S ABAQUS Deney Modeli..... | 71 |
| Şekil 4.57. D1-FE-C1.5-P1.5-S ABAQUS Deney Mesh Modeli..... | 71 |
| Şekil 4.58. D1-C1.5-P1.5-S ve D1-FE-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği | 72 |
| Şekil 4.59. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 72 |
| Şekil 4.60. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 73 |
| Şekil 4.61. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli..... | 73 |
| Şekil 4.62. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli Kiriş Burkulması | 73 |
| Şekil 4.63. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli Guse Levhası Burkulması | 74 |
| Şekil 4.64. D2-FE-C2-P1.5-S Deney Modeli | 74 |
| Şekil 4.65. D2-FE-C2-P1.5-S Deney Mesh Modeli | 74 |
| Şekil 4.66. D2-C2-P1.5-S ve D2-FE-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği | 75 |
| Şekil 4.67. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri..... | 75 |
| Şekil 4.68. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri..... | 76 |
| Şekil 4.69. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli..... | 76 |
| Şekil 4.70. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli Kiriş Burkulması | 77 |
| Şekil 4.71. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli Guse Levhası Burkulması | 77 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 1.1. FEMA-350 Yükleme Protokolü Değerleri | 12 |
| Çizelge 4.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Özellikleri | 33 |
| Çizelge 4.2 ISO 834 Standart Yangın Eğrisi Değerleri | 34 |
| Çizelge 4.3 Yapısal Çelikler için Ortalama Karakteristik Değerler | 35 |
| Çizelge 4.4. D1 ve D2 Deney Numunelerinin Değerleri | 38 |
| Çizelge 4.5. Literatür ve Deney Verilerinin Değerleri | 42 |
| Çizelge 4.6. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 51 |
| Çizelge 4.7. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 53 |
| Çizelge 4.8. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 56 |
| Çizelge 4.9. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 58 |
| Çizelge 4.10. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 61 |
| Çizelge 4.11. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 63 |
| Çizelge 4.12. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 66 |
| Çizelge 4.13. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 68 |
| Çizelge 4.14. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 72 |
| Çizelge 4.15. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri | 75 |

1. GİRİŞ

1.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Deprem insanlıktan önce de olduğu gibi günümüzde de dünyamızın büyük bir problemidir. Ülkemizin de coğrafi konumu gereği etkin deprem kuşağına sahiptir. Ülkemizde yaşanmış olan büyük depremler sonucu yapı sektöründe büyük değişikliklere gidilmek zorunda kalınmıştır. Özellikle 2023 Kahramanmaraş Depremi sonrası depreme karşı nasıl yetersiz olduğumuz görülmüştü. Artık depremle birlikte yaşanması gerektiği tüm ülke tarafından kabul görülmüştü.

Depremden sonra betonarme yapıların tasarım olarak ne kadar kusursuz yapılsa da imalat aşamasında yapılmış hatalardan ve gözden kaçmalardan dolayı (vibrasyon işleminin tam yapılmaması, beton dökülürken su ayarının tam düzgün bir şekilde kontrol edilememesi vb.) betonarme yapıların çelik yapılara göre daha dayanıksız olduğu görülmüştür. Betonarme yapıların, çelik yapılara göre daha heterojen bir yapıya sahip olmasından dolayı depreme karşı daha zafiyete açık elemanlardır.

Depremin en çok etki gösterme nedenlerinden biri de yapıların kendi ağırlıklarındadır. Depremde yapı ne kadar ağır ise depremin etkisi de bir o kadar ağırdır. Biz tasarım olarak deprem için dikkat ettiğimiz hususlardan biri de yapılarımızı olabildiğince hafif yapılar yapmaya çalışmaktır. Bu yüzden de hafif çeliğin deprem için büyük avantajlara sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Hafif çelik yapılar, günümüzde artık daha kullanışlı hale gelmesindeki en büyük sebeplerden olsa da aslında depreme karşı binanın kendi ağırlığını azalttığından depreme karşı daha güvenli yapılar haline gelmiştir. Tabi diğer tercih edilme sebeplerinden birkaçı ise maliyet, imalat süresi, imalat kolaylığı, kolay üretilebilme ve sürdürülebilirlik olmasıdır. Hafif çeliğin kullanışlılığı ile beraber birçok araştırmayı da beraberinde getirmiştir.

Çelik yapıların en büyük dezavantajı ise yangına karşı olan dayanıksızlığıdır. Hafif çelik bir yapının elemanlarının birleşiminin yangına maruz kaldıktan sonra büyük ölçüde dayanım kaybedeceği öngörülmüştür.

Sıcak haddelenmiş çelik birleşimleri için yönetmelik olarak iyi yol katedilmiş olursa da soğukta şekillendirilmiş çelik birleşimlerinde birçok eksik ve yetersizlik bulunmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek için birleşimlerin deneysel olarak davranışlarının incelenip tasarımlarının da bu davranış hareketlerine göre yapılmasıdır. Daha önceden kolon-kiriş birleşimlerinin monotonik olarak yani statik olarak deneylerin yapıldığı gözlemlenmiştir. Monotonik yüklemelerde deprem etkilerini gözlemlemek için yeterli değildir.

Çalışmanın daha çok yangından sonra meydana gelebilecek depremler gibi etki yaratabilecek olan döngüsel yükler altında nasıl bir davranış sergilediğini görmek ve bu davranışların da sayısal olarak da deney ile uyumlu olup olmadığını görmek için yapılmıştır. Sayısal olarak incelenecek deneylerde doğruluğunu ya da hata payını görebilmek için literatürde olan (Tavlaşoğlu 2022) deneylerle de desteklenmiştir. Deney olarak ise C profillerden oluşan kirişler ve bu kirişleri kolona bağlayan guse levhası ve birleşim bölgesinde yük dağılımını düzenli dağıtabilmek için berkitmeli olarak farklı 2 adet deney numunesi kullanılmıştır. Yükleme protokolü olarak ise FEMA-350 yükleme protokolü kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda ise birleşimin moment-dönme eğrileri elde edilmiştir. Aynı zamanda sayısal olarak da moment-dönme eğrileri elde edilmiştir. Bu iki moment-dönme eğrileri birbirleriyle kıyaslanarak birleşimin rijitliği, moment dayanımı, dönme kapasitesi ve göçme modları belirlenmiştir.

1.1.1 Hafif çelik malzemelerin özellikleri

Soğuk şekillendirilmiş çelik, geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha hafif bir yapıya sahip olması nedeniyle, inşa edilen yapının ölü ağırlığını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, diğer yapı elemanlarına göre depremin etkilerine daha az duyarlıdır, bu da özellikle deprem riski yüksek bölgelerde tercih edilmesine neden olmaktadır. Soğuk şekillendirme işlemi sırasında ortaya çıkan sertleşme, çeliğin akma mukavemetini artırmakta ve böylece soğuk şekillendirilmiş çeliğin birim ağırlık başına sıcak haddelenmiş çelikten daha yüksek bir mukavemet değerine sahip olmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.1. Hafif Çelik Yapı Yapımı

Özellikle, malzemenin köşe bölgelerinde soğuk şekillendirme işlemi, mekanik yapısında önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu durum, malzemenin köşe bölgelerinin düz bölgelere kıyasla daha fazla plastik şekil değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller, özellikle korozyona karşı koruma amacıyla galvanizlenmiş kesitlerle kullanıldığında, dayanıklılıklarını artırmaktadır. Yapı elemanına uygulanan yüklerin kaldırılmasının ardından, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerde kalan artık gerilmeler, yapısal bütünlüğünü etkileyen önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, soğuk şekillendirilmiş çelik kullanımında, malzemenin mekanik özelliklerinin ve gerilme durumlarının dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

Soğuk şekillendirme işleminin etkisiyle akma gerilmesi ortalama %15 ila %30 artmaktadır. Tasarım parametrelerinde kullanmak için, akma gerilmesinin minimum %15 oranında arttığı kabul edilebilir (Yu and LaBoube 2010).

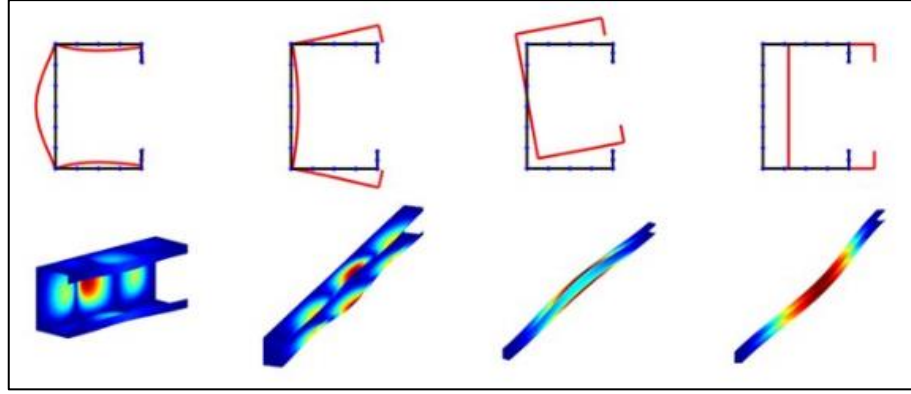
Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller, yüksek esneklik özellikleri ve sürekli denetim altında gerçekleştirilen üretimleri ile sağlam bir yapı malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel betonarme inşaat yöntemlerinden ayrılan bir özellikleri de kalıp kullanımına gerek duymamalarıdır, bu da imalat sonrası ölü malzeme maliyetini ortadan kaldırmaktadır. Hafif olmalarının yanı sıra, kolay nakliye ve montaj avantajları sunmaları, tamamen geri dönüştürülebilmeleriyle birlikte sürdürülebilir ve çevreci bir yapılaşma fırsatı sunmaktadır.



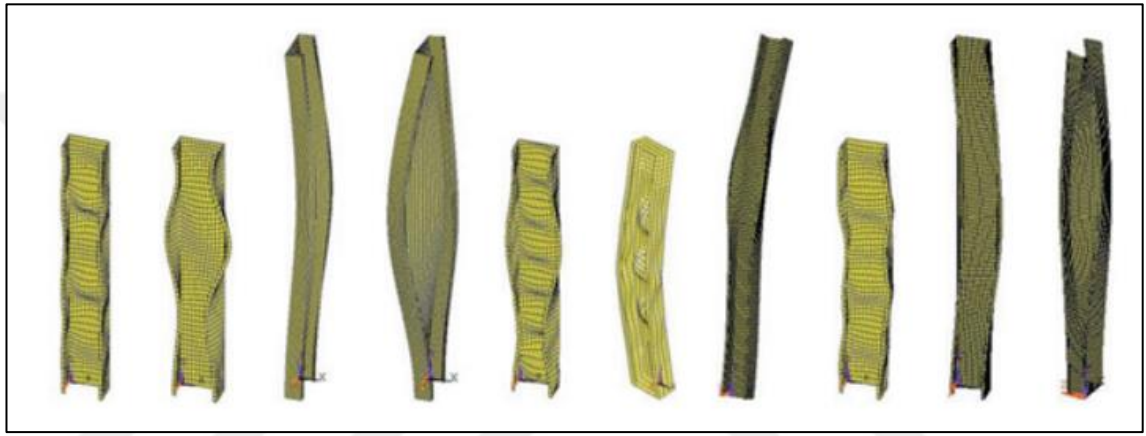
Şekil 1.2. Hafif Çelik Yapı Örneği

Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller, yük taşıma kapasitesinin ağırlığa oranının yüksek olmasıyla ekonomik ve hızlı bir üretim sürecini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, çeşitli kesit şekillerini elde etme esnekliğine sahip olmaları, tasarım açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Mekanik bir perspektiften bakıldığında, sıcak haddelenmiş ve soğuk haddelenmiş kesitlerin karşılaştırmasında, soğuk şekillendirilmiş kesitlerin cidar kalınlıklarının daha ince olması, bu profillerin daha büyük atalet momentine sahip olmalarını sağlamaktadır. Bu durumda, daha yüksek eğilme momenti değerlerine ulaşmalarını mümkün kılmaktadır.

Ancak, ince malzeme kullanımının dayanıklılık-ağırlık oranlarını artırmasının yanı sıra, beklenen burkulma problemlerini önlemek için uygun tasarım koşullarına özellikle titizlikle uyulmalıdır. Bu bağlamda, yapı mühendisliği tasarım standartları ve prensipleri, bu avantajlı malzemenin etkin ve güvenli bir şekilde kullanımını destekleyecek biçimde sıkı bir şekilde gözetilmelidir.



Şekil 1.3. Hafif Çelik Yapılarda Meydana Gelen Deformasyon Şekilleri



Şekil 1.4. Soğuk Şekillendirilmiş Çeliğin Burulma Şekilleri

1.2 Hafif Çelik Yapılarda Birleşim

Birleşim, bir yapı içerisindeki elemanların birbirine entegrasyonunu sağlayan ve mekanik sabitleme işlevi gören önemli bir fiziksel bileşeni ifade eder. Bu entegrasyon süreci, tekil elemanların yapıya katılmasını mümkün kılar ve birleşimler aracılığıyla, bu elemanların üzerlerine uygulanan kuvvetlerin ve momentlerin taşıyıcı elemanlara etkili bir şekilde aktarılmasını hedefler.

Birleşim tipinin doğru seçimi, uygulanan kuvvetlere karşı gerekli dayanıklılığı sağlamak adına oldukça önemlidir. Bu seçim sürecinde, özellikle kullanılan malzemenin özellikleri ve yapı elemanlarının imalatının gerçekleştirileceği yer gibi faktörler titizlikle değerlendirilmelidir. Ayrıca, birleşim tasarımı sırasında elemanların eğilme, burkulma ve çekme gibi mekanik davranışları göz önünde bulundurulmalı ve birleşimlerin dayanıklılığına dair bilgiler, yapılan deneylerden elde edilmelidir.



Şekil 1.5. Hafif Çelik Çatı Birleşimleri

AISI, birleşimlerin maksimum tasarım kuvvetini etkili bir şekilde iletebilmesi için özel bir dikkat gerektiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, soğuk şekillendirilmiş çelik malzemelerin birleşimlerinde geleneksel yöntemler arasında vida, kaynak, bulon, perçin ve çivilerin yanı sıra, rozetler ve baskı tekniklerinin de tercih edilebileceği belirtilmelidir.

Vidalı, kaynaklı ve bulonlu birleşimler, AISI'nin önerilerine uygun olarak özenle dizayn edilmiş ve yapı elemanları arasında güçlü bir entegrasyon sağlayan, yaygın olarak tercih edilen birleşim yöntemleridir. Bu sayede, bir yapıda kullanılan birleşimlerin, dayanıklılık ve güvenilirlik açısından optimal performansı sergilemesi amaçlanır.

1.3 Yangın Hakkında Genel Bilgiler

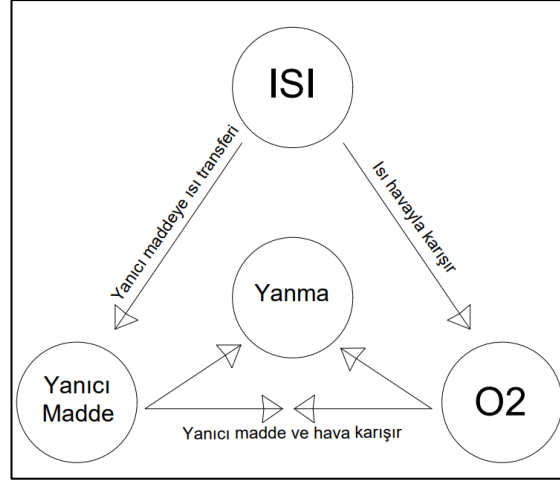
Tarihsel süreç boyunca, insan hayatı için karşılaşılan önemli risklerden biri yangındır. Yangınlar, çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkabilir ve bu doğal afet engellenemese de etkileri müdahale ile sınırlanabilir. Ancak, müdahale olmadığında, büyük felaketlere neden olabilir. Zaman içinde toplumların bilinçlenmesi artsa da çevresel faktörlerin ve sentetik malzemelerin kullanımının artması, yangın riskini

1. GİRİŞ

artırmaktadır. Yangınlar genellikle insanların sorumsuzluklarından ve bilinçsizliklerinden kaynaklanır. Ancak, daha ciddi sorunlar arasında doğal etkenler de bulunmaktadır. Bu dış etkenlere örnek olarak, ağaç dallarının sürtünmesi, güneş ışınları ve yıldırım düşmesi gösterilebilir.

İnsanlar genellikle yangını kontrol altına alabilirler, ancak kontrol dışına çıktığında büyük felaketlere yol açabilir. Kontrolden çıkan yangınlar, ekonomik ve sosyal açıdan hem bireyler hem de ülkeler için ciddi zararlara neden olabilir. Bu zararları en aza indirmek ve yangınları tehdit olmaktan çıkarmak için, yangınların etkilerini kontrol altına almak ve etkili bir şekilde yönetmek önemlidir. Yangınlar, dünya genelinde ve özellikle Türkiye'de önemli maddi ve manevi kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle, yangınların etkilerini sınırlamak ve önlemek için bilinçli bir yangın yönetimi stratejisi benimsemek hem bireyler hem de toplumlar için kritik bir öneme sahiptir.

Yangın; yanıcı maddelerin, yakıcı maddelerle etkileşimi sonucu çevresine farklı oranlarda ısı ve ışık yayarak, kontrol dışına çıkıp yanmasıdır. Yanmanın başlaması için gereken; yanıcı madde (yakıt), yakıcı madde (oksijen) ve tutuşturma (ateşleme kaynağı) uygun koşullarda bir araya gelmesine yanma üçgeni denir. (Şekil 1.6) Yanıcı madde, normal koşullarda katı, sıvı ve gaz halindeki yanabilir maddelerdir. Yanıcı maddeler fiziksel ve kimyasal yapıları gereği farklı yanma özellikleri gösterir. Yakıcı madde, soluduğumuz havada bulunan, yanmanın başlaması ve sürmesi için gereken gaz halindeki maddedir. Tutuşma ısı, yanıcı madde ile yakıcı maddeyi buluşturup tutuşmayı başlatan ateşleme kaynağıdır.



Şekil 1.6. Yangın Üçgeni

Yangın üç evreden oluşmaktadır. Bunlar;

Başlangıç evresi: Başlangıç evresi yangının başlangıç kısmıdır. Bu aşamadaki yangın, fazla riskli değildir. Can ve mal kaybı az görülür. Bu evrede yanma, büyüme hızı az olmakla beraber belli bir bölgede gelişmektedir.

Yüksek sıcaklık evresi: Yangın anında yanmakta olan yanıcı malzemelerden yanmamış gazlar çıkar. Bu gazlar için oksijen ve sıcaklık açısından uygun ortam oluştuğunda patlama meydana gelir. Bu evrede yüksek sıcaklığın yanında, patlamayla oluşan basınçta büyük zararlara neden olur (Özkan 2002).

Soğuma evresi: Bu evre yangınlarda son evre olan soğuma yani sönme evresidir. Bu evrede ortamdaki yanıcı maddeler bitmiştir ve yangın sönmeye başlamıştır.

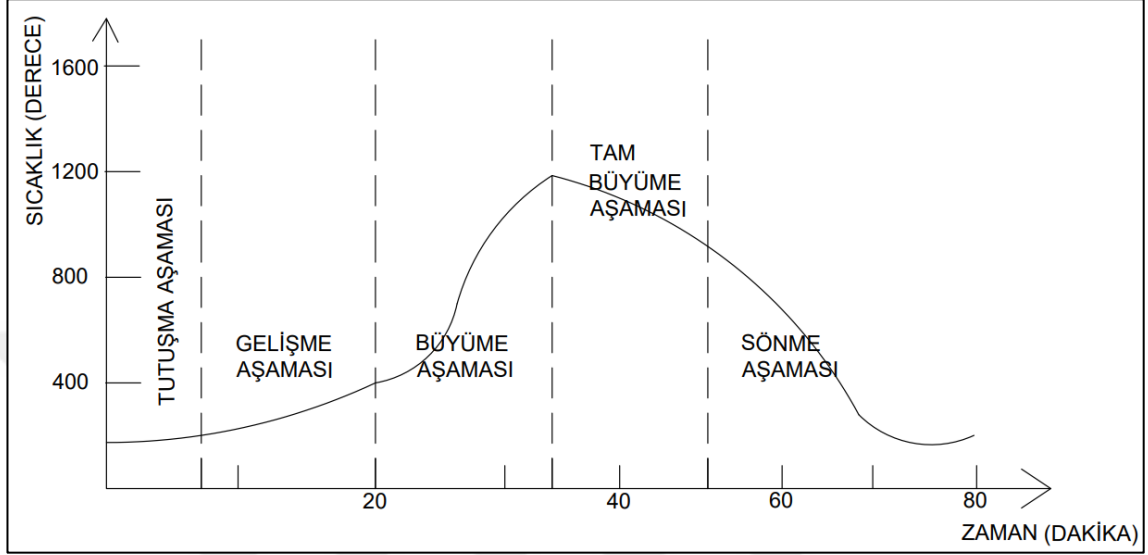
1.3.1 Yapılarda yangın

1.3.1.1 Çelik bir yapıda yangın

Yangın durumlarında çelik malzeme, yapısal dayanımını kaybederek ciddi bir şekilde etkilenebilen bir malzemedir. Çelik, yangında kendisi yanmasa da belirli bir sıcaklık seviyesine ulaştığında dayanımını yitirir ve erimeye başlar. Yangın koşullarında, çeliğin akma değeri genellikle 400 °C civarında olup, bu sıcaklık seviyesinde emniyet

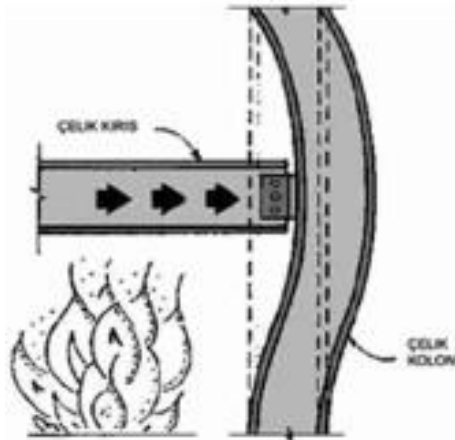
1. GİRİŞ

gerilmeleri sınırlarına düşer. Çelik, yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında çekme mukavemeti başlangıçta artabilir (150-300 °C'ye kadar), ancak sıcaklık daha da yükseldikçe hızla azalmaya başlar. Çelik malzeme, dayanımını kaybetmeye başladığı nokta genellikle 600 °C civarındadır.



Şekil 1.7. Yanma Sürecindeki Sıcaklık-Zaman İlişkisi

Bu yüksek sıcaklıklarda çelik, elastisite modülünde bir azalmaya neden olur. Akma dayanımı sınırının kaybolmasıyla birlikte çeliğin plastik şekil değiştirmesi belirgin bir şekilde artar. Bu plastik deformasyonlar, yapısal bütünlüğün bozulmasına ve çelik elemanlardaki çökmelere kadar ilerleyebilir. Bu durum, yapısal tasarımdaki zayıflıkların ve yangına karşı dayanıklılığı artırmak için alınan tedbirlerin önemini vurgular.



Şekil 1.8. Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Anındaki Davranışı

Bu nedenle, çelik yapı elemanlarının yangına karşı dayanıklılığını artırmak için yangın dayanıklı kaplamalar, izolasyon malzemeleri ve stratejik yangın güvenlik önlemleri gibi tedbirler alınmalıdır. Yangın mukavemetini artırmaya yönelik bu önlemler, yapısal güvenliği korumak ve olası yangın durumlarında hasarı en aza indirmek için önemlidir.

1.4 Çelik Yapıların Yangına Karşı Dayanıklılıkları

Çelik yapıların yangın dayanıklılığı, bir binanın yangına maruz kaldığında yapısal bütünlüğünü ve stabilitesini ne kadar süre koruyabileceğini ifade eder. Çelik her ne kadar yangına karşı dayanıklı sayılabilecek bir malzeme olsa da çelik yapıların tasarımında yangın kritik bir faktördür. Çelik yapıların yangın dayanıklılığı, çeliğin kalitesi, tasarımı ve inşası gibi bir dizi faktöre bağlıdır.

Çelik yapıların yangın dayanıklılığını artırmak için bir dizi önlem alınabilir. Bu önlemler, yangın sırasında çeliğin ısıya dayanıklılığını artırmayı, yangının yapının diğer bölümlerine yayılmasını önlemeyi ve yangın sırasında yapının çökmesini önlemeyi içerir.

Yangın sırasında çeliğin ısıya dayanıklılığını artırmak için, çelik yapıların yüzeyine yangın geciktirici malzemeler uygulanabilir. Yangın geciktirici malzemeler, çeliğin ısıyı emmesini ve daha yavaş ısınmasını sağlar. Bu, çeliğin yangına maruz kaldıktan sonra daha uzun süre güçlü kalmasını sağlar.

Yangının yapının diğer bölümlerine yayılmasını önlemek için, çelik yapıların etrafına yangın bariyeri inşa edilebilir. Yangın bariyerleri, yangının yapının diğer bölümlerine yayılmasını engelleyen fiziksel bir engeldir.

Yangın sırasında yapının çökmesini önlemek için, çelik yapıların tasarımında ve inşasında yangın dayanıklılığı dikkate alınmalıdır. Çelik yapıların tasarımında, yangın sırasında yapının taşıyıcı sistemlerinin çökmesini önleyecek şekilde hesaplamalar yapılır. Çelik yapıların inşasında, yangın dayanıklılığı sağlayan malzemeler ve teknikler kullanılır.

1.5 Döngüsel Yükleme ve Yükleme Protokolleri

Deney düzeni, kolon-kiriş bağlantılarını ve yapı elemanlarını incelemek, deprem yükü etkilerini ilgili ortamda kontrol etmek amacıyla gerçekçi bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu amaçla, yük frekansı ve döngü sayısı, öne çıkan depremlerin hareketlerine bakılarak belirlenmiştir; bina yapısı türü ve bağlantı türü, yük protokollerini oluştururken dikkate alınmıştır. Her ülkenin farklı bir genlik ve frekansı olduğundan, her ülkenin protokolü farklıdır. Genellikle ülkeler tarafından kullanılan protokoller aşağıda sıralanmıştır.

- ATC-24 yükleme protokolü
- FEMA-350 yükleme protokolü
- FEMA-461 yükleme protokolü
- Rastgele yükleme protokolü
- JISF-2002 yükleme protokolü
- Sac-2000 yükleme protokolü
- AISC yükleme protokolü
- Lizbon deneyi yükleme protokolü
- Milan deneyi yükleme protokolü
- Sabit, düşükten yükseğe ve yüksekte düşüğe genlikli yükleme protokolü

1.5.1 FEMA-350 yükleme protokolü

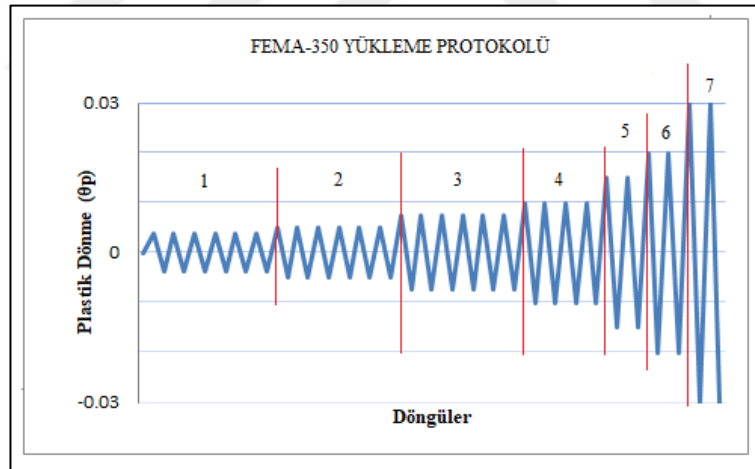
Türk Standartları ile FEMA-350 arasındaki benzerlik sonucunda, bu çalışmada FEMA-350 protokolü kullanılmıştır. Şekil 1.9 ve Çizelge 1.1'de, FEMA-350 yük protokolünü göstermektedir. Bu protokol, çelik yapı elemanlarını birleştirmek için Amerikan Çelik İnşaat Enstitüsü'nün referans protokolüdür. Katlar arasındaki plastik dönme değerleri radyan cinsindedir. Her adımda iki döngü meydana gelir. Hasar, hasar en fazla yükün %20'sinin altına düştüğünde ve yüksüz kararlılık belirsiz hale geldiğinde meydana geldi olarak kabul edilir.

1. GİRİŞ

Çizelge 1.1. FEMA-350 Yükleme Protokolü Değerleri

| Döngü Numarası | Maksimum Plastik Dönme (θ_p) | Döngü Adedi |
|----------------|---------------------------------------|-------------|
| 1 | 0,00375 | 6 |
| 2 | 0,005 | 6 |
| 3 | 0,0075 | 6 |
| 4 | 0,01 | 4 |
| 5 | 0,015 | 2 |
| 6 | 0,02 | 2 |
| 7 | 0,03 | 2 |

7. yükleme adımından sonra, birleşimde montaj hasarı oluşana kadar 0,01 radyanlık adımlarla θ_p artırmaya devam edilir ve her adımda iki döngü gerçekleştirilir. Bir çevrimdeki tepe yükleme, maksimum yükte elde edilenin %20' sine düştüğünde, yerçekimi yükü altında stabilitenin belirsiz hale geldiği bir duruma düştüğünde, hasar meydana geldiği kabul edilecektir.



Şekil 1.9. FEMA-350 Yükleme Protokolü

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tavlaşoğlu (2022) hafif elik yapı sistemlerinde, vidalı kolon-kiriş birleşimlerinin döngüsel yük etkisi altındaki davranışı üzerine sistemli deneyler gerçekleştirilmiştir. İki farklı kalınlıkta C profilleri ve üç farklı kalınlıkta gusset levhaları kullanılarak oluşturulan sekiz farklı deney numunesi, berkitme levhasının kullanımı ve kullanılmaması durumlarıyla çeşitlendirilmiştir. Her bir deney numunesine FEMA-350 Yükleme Protokolü doğrultusunda göçme meydana gelene kadar döngüsel yük uygulanmıştır.

Elde edilen moment-dönme eğrileri, birleşimlerin karakteristik özelliklerini incelemek için analiz edilmiş ve yüksek mukavemet ile süneklik elde etme potansiyelini değerlendirmek amacıyla detaylı bir çözümleme yapılmıştır. Ayrıca, birleşimlerin göçme modları sistematik bir şekilde belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, kiriş profilinin ve gusset levhasının kalınlığının artması, berkitme levhası kullanımıyla birlikte maksimum moment değerini ve dönme rijitliğini artırmış ve göçme modunu etkileyerek değiştirmiştir.

Senger (2021) hafif elik yapıların yangına karşı dirençleri hakkında çalışmalar yürütmüştür. Hafif elik yapılarda yangına karşı can ve mal güvenliğini sağlamak için koruyucu boya maddeleri kullanarak bir takım deneysel çalışmalar yapmıştır.

Deneylerinde sıcak hadde profillerde kullanılan intümesan boya ları kullanarak, akıllı vida ile yapılmış kolon-kiriş birleşimi üzerinde durmuştur. 2xC200 profillerin guse plakası ile bir arada kullanıldığı kiriş kesitini yangın deneylerinin ardından döngüsel yüke maruz bırakmıştır.

Deneylerinde 2 farklı et kalınlığına sahip profiller, 3 farklı kalınlıkta plakalar ve 2 farklı boya kalınlığı kullanmış olup, toplamda 10 deney ayrı deney çalışması yapmıştır. Oluşturduğu tam ölçekli deneylerde 10 adet kiriş yangına maruz kalmak koşuluyla standart yangın eğrisine göre fırında ısıtmış, ardından kiriş-kolon birleşim davranışını; moment-dönme eğrileri ve göçme modları ile 4 grup altında karşılaştırmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Deney profilinin göçme modu Şekil 2.1’de gösterilmiştir Çalışmalarının sonucunda hafif çelik yapı birleşimlerine, yangına karşı intümesan boya sürüldüğünde yangın karşısında koruyuculuğun önemli ölçüde arttığını gözlemlemiştir.



Şekil 2.1. Deney Düzenegi (Senger 2021)

Çırpıcı vd (2021) soğuk şekillendirilmiş hafif çelik kolon-kiriş elemanlarının vidalı bağlantılarının deneysel davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Toplamda 8 adet vidalı kolon-kiriş bağlantı deneyi yapan araştırmacılar, oda sıcaklığından başlayıp 600 °C'ye kadar ısıttıkları deney numunelerini bu sıcaklıkta 5 saat kadar tutmuşlardır. Ardından tekrar oda sıcaklığına ulaşması için soğumaya bırakmışlardır. Deneylerde numunelerin; enerji sönmüleme kapasitesi, moment-dönme davranışı ve yangın sonrası koşullarda bağlantının dayanıklılığı, çeşitli kiriş kalınlıkları, gusset kalınlıkları ve takviyelerle incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler neticesinde; gusset levhası kalınlığının artmasıyla vidaların ani kırılması nedeniyle enerji emilme ve dönme miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuca karşın, berkitme kullanıldığında rijitlik azalma eğilimindeyken, dönme artmaktadır. Kiriş kalınlığı arttıkça dönme davranışının arttığını görmüşlerdir. Yangın sonrası durum altında meydana gelen göçme modlarını, oda sıcaklığı koşullarıyla karşılaştıran araştırmacılar, yüklenmeden önce ısıtmanın, vidaların dayanıklılığını daha fazla etkilediğini, bu da vidaların etrafında bir yırtılma oluşturarak bağlantının tam göçmesine neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Berkitme kullanıldığında, kirişin oda sıcaklığı koşullarında dayanıklılığının artırmasının yanı sıra, yangın durumunda da avantaj sağladığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, kiriş kalınlığına ve

2. KAYNAK ÖZETLERİ

gusset levhası kalınlığına bağlı olarak vidalarda ciddi bir deformasyon gözlemlenmemişlerdir. Buna karşın gusset levhasının lokal burkulduğu ve kirişin burulduğunu gözlemlemişlerdir.

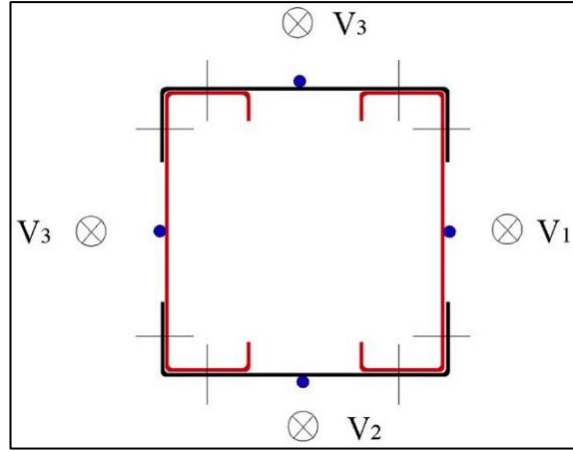
Alemdar (2020) çalışmalarında soğuk şekillendirilmiş hafif çelik yapıların döngüsel yükleme altında, köşebent plakaları kullanılarak yapılan civatalı bağlantıların davranışlarını irdelemiştir.

Mukavemet ve sertliklerine göre basit, yarı rijit ve rijit bağlantılar olarak sınıflandırıp detaylı analizler yapmıştır. Sonlu eleman analizi yazılımını kullanarak hafif çelik bağlantılarının döngüsel yükler altındaki modelini incelemiştir. Bu incelemelerinde Abaqus yazılımından yararlanan Alemdar, maksimum Von Mises Stress/gerilme (VMS) arıza kriterlerini kullanmıştır.

Ana kolonlar ve kirişler arasındaki bağlantıyı L profil kullanarak yapmış olup, sonlu elemanlar analizinde rulman ve yırtılma arızasını gözlemlemiş ve en yaygın arıza türleri olduğunu ortaya koymuştur.

Özetle soğukta şekillendirilmiş hafif çelik bağlantılarının özelliklerinin yarı-rijit (semi-rigid) olduğu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra sertliği etkileyen temel faktörlerin civata deliği etrafındaki yatak kuvvetleri olduğunu öne sürmüştür.

Yang et al. (2020) orta yükseklikteki çelik binalarda kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik yapma kutu profilli kolonların, yangın dayanımını inceleyen tam ölçekli 16 numuneden oluşan deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyler için tasarlanan yapma profil kesiti (built-up) Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deneyde Kullanılan Yapma Kesit (Yang et al. 2020)

Deneylerinde ilk olarak yangına maruz bırakılacak profillere eşdeğer profillerin, normal sıcaklıkta aksel yük etkisi altındaki davranışı gözlemlenmiştir. Ardından yangın deneylerinde profillerin ısıtma hızı, yük oranı ve sıcaklık dağılımının, kolonların yangın tepkileri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.

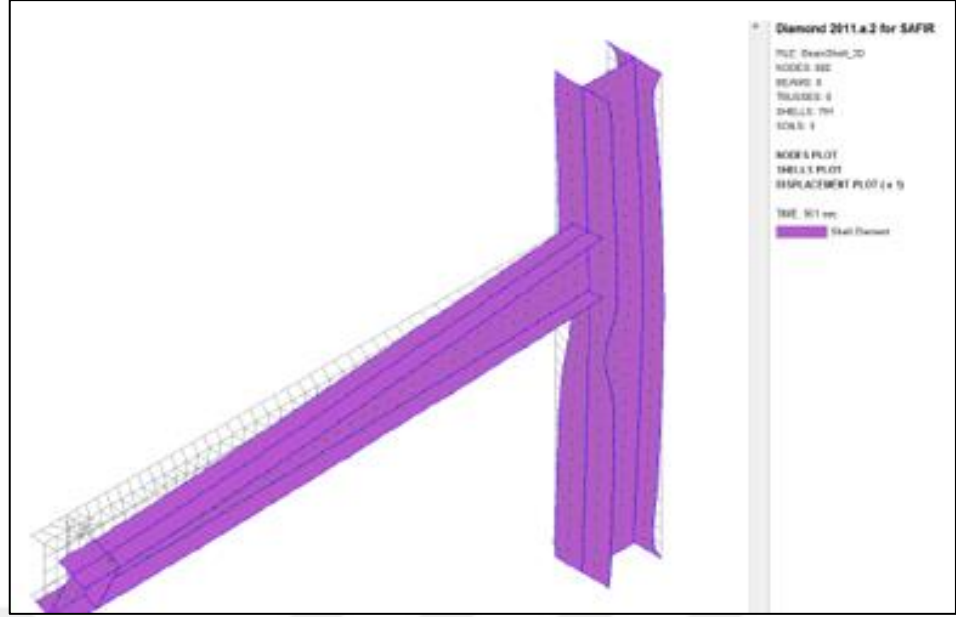
Araştırmalarının sonuçlarında, yük/kapasite oranının artmasının kolonların yangın dayanımını önemli ölçüde azalttığını gösterilmiştir. Yük/kapasite oranı 0.6'dan düşük olan kolonlar için, 500 °C'den yüksek kritik sıcaklıklara sahip olması beklenmesine karşın daha düşük performans gösterildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, ince cidarlı çelik ve yangın koruması olmaksızın kolonların hızlı bir yangında kısa sürede başarısız olabileceği belirtilmiştir.

Düşük ısıtma hızıyla ilişkilendirilen deformasyonunun da yangın dayanımını ve kritik sıcaklığı olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır. Sıcaklık dağılım deseninin ise homojen olmayan durumlarda kritik sıcaklığı üzerinde etkisi olduğu ifade edilmiştir. Araştırmacıların yapmış oldukları deney sonuçlarına ait görsel Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Deney Görselleri (Yang et al. 2020)

Algül (2019) çelik çerçevelerden oluşan bir taşıyıcı sistemin termal (yangın yükü) yükler altında sergileyeceği davranışı gözlemlemek üzerine birtakım çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmalar kapsamında SAP2000 yazılımında statik ve dinamik yükler altında 2 farklı endüstri yapısı tasarlanmıştır. Yapılan analiz neticesinde belirlenen profiller WIZARD yazılımı ile ISO 834 standardına göre termal yüklere maruz bırakılmıştır. Ardından GiD arayüz yazılımını kullanarak SAFİR yazılımı ile termal yükler altındaki analizini Şekil 2.4'te görüldüğü gibi tamamlamıştır. Bu sayede birkaç türlü endüstri yapısını nümerik olarak kıyaslama imkânı elde etmiştir.

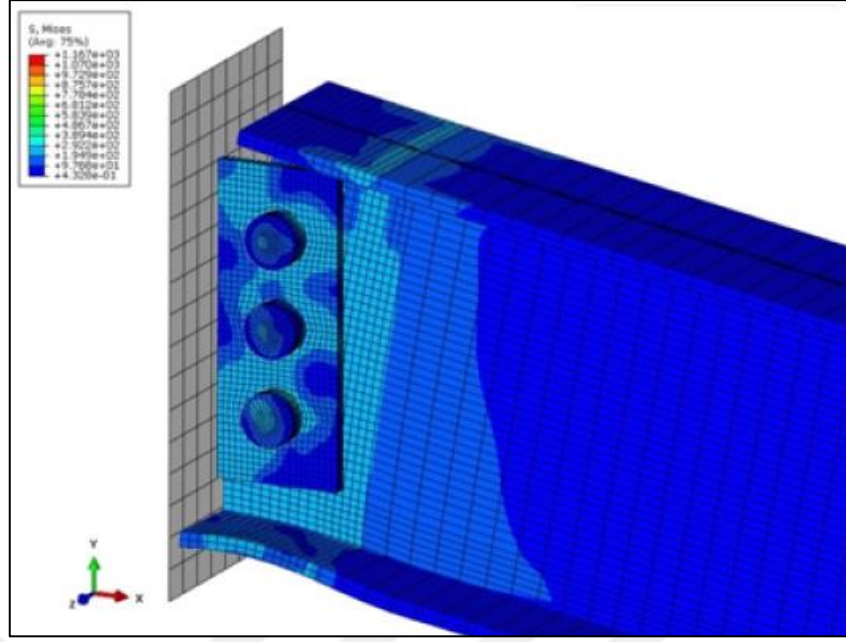


Şekil 2.4. SAFİR Yazılımı Modeli (Algül 2019)

Özdemir (2019) çelik yapıların termal (yangın yükü) yükler altındaki tasarımını Component Based Method (CBM) metodu yaklaşımı ile değerlendirmiştir. Bu metod matematiksel metot plakalı kesme bağlantılarının yüksek sıcaklık altındaki temel davranışlarını analiz etmek için geliştirilmiştir.

Çalışmalarında çelik yapıların birleşimlerinde kesme kuvveti etkisi hakim kuvvet olduğu bağlantılarının yüksek sıcaklıktaki performanslarını değerlendirmeyi ve CBM analizi ile gerçek yangın şartları altındaki yapısal bir sistem için gerçekçi sonuçlar elde etmeyi hedeflemiştir.

Component Based Method (CBM) ile, pinned ve fixed bağlantıları ile, plakalı kesme bağlantıları karşılaştırılarak, plakalı kesme bağlantılarının yüksek sıcaklıktaki davranışlarını analiz etmiştir. Çalışmasında Şekil 2.5'te gösterilen ABAQUS yazılım modelini kullanılarak plakalı kesme bağlantılı CBM modeli üzerine ilerlemiştir. Daha sonra bu sonlu eleman modeli ile CBM modelini kıyaslamıştır.



Şekil 2.5. ABAQUS Sonlu Eleman Modeli (Özdemir 2019)

Çalışmalarının neticesinde kesme bağlantılarının idealleştirilmiş pinned veya fixed bağlantılarından farklı davrandığını gözlemlemiştir. Bunun yanı sıra sonlu eleman modeli ile CBM modelinin birbirleriyle örtüştüğü sonucuna varmıştır.

Kalemci (2019) yapmış olduğu çalışmalarda çelik konstrüksiyon yapılarda yangın durumlarında ortam sıcaklığının yüksek değerlere ulaşması durumunu irdelemiştir. Çalışmasının temelinde ilgili yüksek sıcaklık durumunda çelik elemanların termal ve mekanik davranış değişimini analitik yönden irdelenmesi yer almaktadır.

Yangın esnasında ortam sıcaklığının sıcaklık-zaman eğrisi üzerinden yorumlanması ile çelik eleman üzerindeki iletim ve taşınımın transfer mekanizmalarını kullanarak, üç boyutlu ısı transfer denklemlerini elde etmiştir.

Çalışmasında Avrupa ve Amerika standartlarında yer alan sıcaklık değişimlerinin elastisite modülü ve akma mukavemetine olan etkilerine yönelik bağıntıları kullanmıştır. Bu bağıntılardan yola çıkarak dayanım ve rijitlik değerlerini elde etmiştir. Çalışmasında ele aldığı elemanın orta nokta deplasman miktarını birden fazla metod ile hesaplamış ve ortam sıcaklığı ile bağıntısını irdelemiştir. Bunun yanında ilgili elemanların orta noktaları için birim şekil değiştirme ve toplam uzama miktarlarını hesaplamıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapmış olduğu çeşitli analizler neticesinde yangın durumunda ya da yüksek sıcaklık durumunda elemanda meydana gelen değişimleri sayısal olarak ifade etmiştir. Ve bu analizlerin asıl sonucu olarak çelik yapıların tasarımında yangın etkisinin önemine değinmiştir.

Solak (2019) soğukta haddelenmiş hafif çelik yapıların birleşimleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde akıllı vida kullanımının birleşim davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmalarında 4 farklı kalınlığa sahip 2xC kesitli kiriş profil ve bunlara bağlı 3 farklı kalınlığa sahip guse levhalarından oluşan toplamda 12 tam ölçekli deney numunesine yer vermiştir.

Birleşimin davranışını moment-dönme eğrileri üzerinden rijitlik ve enerji sönümlenme kapasitesi gibi karakteristik değerleri incelemiş ve meydana gelen göçme modlarını değerlendirmiştir. Bunlardan bazıları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Deney Göçme Modu (Solak 2019)

Çalışmalarının sonucunda kiriş profil kalınlığının ve guse levhası kalınlığının artmasının moment dayanımının, dönme rijitliğinin ve dönme kapasitesinin arttığını gözlemlemiştir.

Yazıcı (2018) civatalı bağlantılardan oluşan kolon-kiriş birleşimini daha ekonomik sonuçlar doğuracağını öngörmüş ve bu doğrultuda çalışmalar yapmıştır. Gözlemlerini, hafif çelik kolon-kiriş birleşimlerinde akıllı vida kullanımı üzerinde yoğunlaştırmış olup, çalışmasında bu yönde bir takım deneysel çalışmalar yürütmüştür. Deney düzeneğine ait görsele Şekil 2.7'de yer verilmiştir.



Şekil 2.7. Deney Düzeneği (Yazıcı 2018)

Deneylerinde birleşimin davranışını gözlemleyebilmek adına kiriş gövdesini berkitmeler yardımı ile güçlendirmiştir. Deneylerinde kirişi ve bayrak levhasını farklı kalınlıklarda seçerek birleşimin tam ölçekli konsol testlerini gerçekleştirmiştir. Birleşimlerin yapısal davranışını gözlemek adına moment-dönme eğrilerinin özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda, birleşimlerin göçme modlarını da belirlemiştir.

Bu çalışmada yapılan deneylerin sonuçları berkitme kullanımının göçmeyi ciddi manada önlememekle birlikte geciktirdiğini, rijitlik ve maksimum momenti artırdığını göstermiştir. Ayrıca çalışmada alınan bir diğer önemli sonuç; kiriş kalınlığının ve bayrak levhasının kalınlığının artması rijitlik ve göçme davranışını değiştirdiğinin gözlenmesidir.

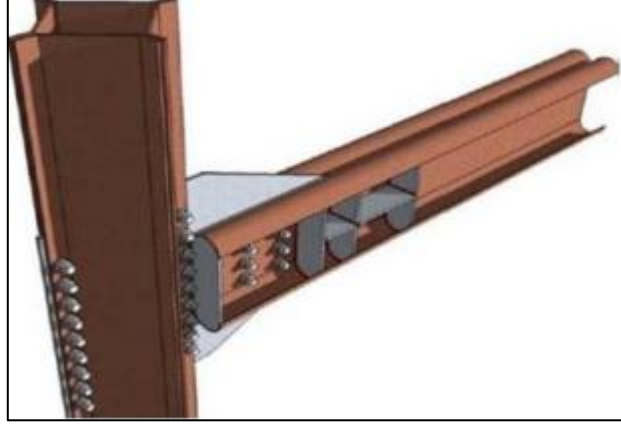
Maali vd (2018), hadde profil kolon ve soğuk şekillendirilmiş hafif çelik kiriş elamanlarının vidalı bağlantılarını incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma kapsamında bir dizi deney numunesinin çeşitli yükler altındaki davranışını gözlemlemişlerdir. Deneylerinde hadde profil HEB 280 kesitini kolon olarak, soğuk şekillendirilmiş 2xC profilleri kiriş olarak kullanmışlardır. Deneylerinde kalınlıkları farklı 3 kiriş numunesi kullanan araştırmacılar, yük kaynağı olarak statik yükleme kapasitesi 900 kN/300 mm olan hidrolik kriko kullanmışlardır. Kolon kiriş bağlantılarının göçme mekanizmasını

görmeyi amaçlayan araştırmacılar, bağlantıların davranışı moment-dönme eğrileri ile ifade edildiği için çalışmalarının sonucunda moment-dönme eğrilerini de değerlendirmişlerdir. Yaptıkları deneyler neticesinde kiriş profil kalınlığı arttığında, plastik moment, maksimum moment ve rijitliğin arttığını, maksimum deformasyonun azaldığını gözlemlemişlerdir.

Maali vd (2018), berkitme takviyeli; cıvatalı kolon-kiriş bağlantılı 9 adet deneysel gözlem ve araştırma yapmışlardır. Deney numunelerinin bağlantıların tamamında açılar ve kirişler, uzatılmış bölgelerinde berkitme takviyeleri ile güçlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmaların neticesinde genel moment-dönme eğrileri üzerinde durmuşlardır. Gözlemledikleri ana parametreler arasında göçme modları, direncin evrimi, rijitlik, dönme kapasitesi, birleşim sünekliği ve enerji sönümleme kapasiteleri yer almaktadır. Araştırmacılar çalışmalarında Eurocode 3'ü geliştirmek için gerekli verileri sağlamağı hedeflemişlerdir. Yapmış oldukları deneyler ve analizler sonucunda 5–10 mm kalınlığındaki kiriş berkitme takviyelerinin artmasıyla rijitlik azalırken, üst ve oturma açısının artan uzunluğuyla maksimum eğilme momenti ($M_j.max$) artmıştır.

Sabbagh (2012) yapmış olduğu çalışmalarda öncelikle soğuk şekillendirilmiş hafif çelik yapılarıdaki bulonlu birleşimlerin şekil değiştirmesi ve moment-dönme davranışını incelemiştir, bu amacı gerçekteştirmek üzere sonlu eleman modelleri oluşturarak bunları önceki deney sonuçlarıyla kıyaslamıştır.

Çalışmalarında eğik başlıklı kiriş, kolon ve birleşim levhasından oluşan moment-dönme davranışları, çevrimsel yükleme altında detaylı bir şekilde incelenmiş; eğilme deformasyonları ile bulon delik deformasyonları arasındaki ilişki dikkatle gözlemlenmiştir.



Şekil 2.8. Kolon-Kiriş Birleşimi (Sabbagh 2012)

Bu çalışmanın devamında, araştırmacı çok katlı çerçeve tipi yapıların sismik moment dayanımları için enerji sönümleyici elemanlar olarak kullanılacak hafif çelik profil tipleri geliştirmiştir.

Eleman düzeyinde yapılan analizlerde başlık bükümlerini artırmanın hem elastik hem de plastik davranışı olumlu yönde etkilediği belirlenmiş; özellikle kavisli başlıklara sahip kirişlerin yüksek dayanım, rijitlik ve süneklik özellikleri gösterdiği gözlemlenmiştir.

Araştırmacı, birleşim düzeyinde gerçekleştirdikleri çalışmada ise, birleşim plakalarını kullanarak birleştirdikleri hafif çelik kolon ve kirişlerin farklı birleşim kombinasyonları üzerinde sayısal ve deneysel olarak detaylı bir analiz yapmıştır.

Elde edilen sayısal sonuçların deneysel bulgularla uyumlu olduğu gözlemlenmiş; bu çalışma, hafif çelik yapıların birleşim elemanlarının performansını anlamak ve geliştirmek adına önemli bir adım niteliği taşımaktadır.

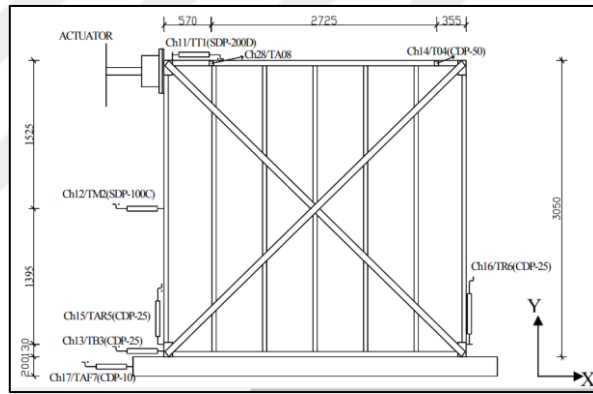
Whittle and Ramseyer (2009) soğuk şekillendirilmiş hafif çelik elemanların basınç dayanımı üzerine birtakım çalışmalar yürütmüşlerdir. Çalışmalarında bir araya getirilmiş 2 adet C profilden oluşan kesitleri ele almışlardır. Bu hafif çelik 2xC kesitlerin tasarımını, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü 2001 Şartnamesinin C4.5 bölümüne göre yapmışlardır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaynaklı C kesitten oluşan kapalı kesitli birleştirilmiş elemanlar ile 150'den fazla deneysel basınç testi gerçekleştirmişler ve bu deneysel değerler, Amerikan şartnamesinin C4.5 maddesindeki incelik oranına dayalı teorik burulma kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. İncelik oranının kullanımı aşırı derecede kritik olmuştur.

Deneylerde ortaya çıkan kapasiteler ile C4.5 bağlayıcı ve boşluk düzenlemelerine dayalı kapasitelerin birbiri ile tutarlı olduğu ortaya konmuştur.

Büyükşişli (2004) soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşturduğu Şekil 2.9'da düzenek detayları gösterilen çaprazlı çerçeve duvarı deneyleri yapmıştır. Deneylerinin neticesinde Uluslararası Amerikan Standardına göre çerçeve duvarın global kayma rijitliği ve nihai kayma dayanımı hesaplamıştır.



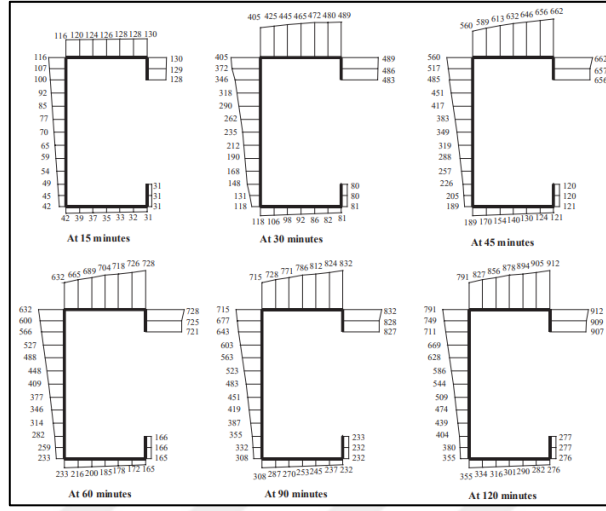
Şekil 2.9. Çaprazlı Çerçeve Duvar Modeli (Büyükşişli 2004)

Deneysel çalışmaya paralel olarak, elde edilen sonuçlarla sonlu elemanlar yöntemiyle modellemeler yapmıştır. Ve bu iki veri setinin kıyaslamasını değerlendirmiştir. SAP2000 modeli ile deneysel verilerin birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlemleyen Büyükşişli ortalama 4.5 mm ile 4.9 mm'lik bir yer değiştirme saptamıştır.

Feng and Wang (2003) soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı C kesitli profillerin (kolonların) aksenal kuvvet dayanımının, yangın durumundaki homojen olmayan yüksek sıcaklıklar altındaki numerik çalışmalarını yürütmüşlerdir. Şekil 2.10'da gösterine (100 × 54 × 15 × 1.2) kesitli C profilin homojen olmayan sıcaklık dağılımları, yazarlar

2. KAYNAK ÖZETLERİ

tarafından gerçekleştirilen ince cidarlı perde panellerinin termal analizi sonuçlarına dayandırılmıştır.



Şekil 2.10. Deneyde Homojen Olmayan Sıcaklık Dağılımı (Feng and Wang 2003)

Farklı uzunluktaki soğukta şekillendirilmiş hafif çelik kolonların farklı yangın maruziyet sürelerindeki dayanımlarını elde etmek için genel sonlu eleman analiz yazılımı ABAQUS kullanılmıştır.

Kolon dayanımının yangın durumunda el hesaplama yönteminin geliştirilmesine yardımcı olmak için, homojen olmayan sıcaklık dağılımını basitleştirmenin iki farklı yolunun kullanılmasının doğruluğu incelemişlerdir. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kolon kesitleri için Eurocode 3 bölüm 1.3'teki (EN1993-1-3, Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı, Bölüm 1.3: Genel kurallar, ince cidarlı elemanlar ve kaplamalar için ilave kurallar, Avrupa Standartları Komitesi, Brüksel, 2001) normal sıcaklık tasarım yöntemi, çelik dayanımının ve rijitliğinin yüksek sıcaklıklardaki değişikliklerini ve termal eğilme etkilerini hesaba katmak üzere modifiye etmişlerdir. Bu tasarım yönteminin sonuçlarını, ABAQUS simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Wong and Chung (2002) Hafif çelik yapıların cıvatalı kolon kiriş birleşimlerinin yapısal davranışı üzerinde çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu kapsamda toplamda 20 adet kolon-kiriş birleşimini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerini art arda dizilmiş C profillerin oluşturduğu ölçekli çerçevesel sistem üzerinden yapmışlardır. Kesme yükü ve eksenel yükler etkisi altında yapılan deneylerde cıvatalı (4 adet) bağlantı kullanmışlardır. Yapılan deneylerde bazı numunelerin bulon deliği yırtılırken bazılarında L profilde lokal

2. KAYNAK ÖZETLERİ

burkulma gerçekleşmiştir. Bu çalışmalar hafif çelik kullanımının pek yaygın olmadığı dönemlerde yapılan önemli çalışmalar arasında kendine yer bulmuştur.

Uy and Bradford (1995) yüksek sıcaklıklarda kompozit çelik-beton yapı elemanlarının soğuk şekillendirilmiş çelik levhalarının yerel burkulma davranışını analiz etmek için plastik olmayan yarı-analitik bir sonlu şerit yöntemi kullanmışlardır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik levhaların akma gerilmesindeki azalma ve elastik modüldeki değişiklik, yüksek sıcaklıklarda bir dizi doğrusal olmayan gerilme-gerinme ilişkisi ile temsil edilmiştir. Malzeme özelliklerindeki değişikliklerin, çelik-beton kompozit yapılarıdaki çelik levha elemanının yerel burkulma davranışını etkilediğini göstermişlerdir.

Yapmış oldukları parametrik bir çalışmada çeşitli sınır koşulları seçilmiş olup, farklı değişkenlerin etkisi belirlenmiştir. Slenderness sınırlarının belirlenmesi için önerilerde bulunulmuş ve yüksek sıcaklıklarda yerel burkulma gerilimlerini elde etmek için basit bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntemi açıklamak için profilli bir kompozit kiriş tasarım örneği kullanmışlardır.

Craveiro et al. (1993) çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik ince kolonların, sınırlı termal uzama koşullarına maruz kalarak yangın durumundaki yapısal davranışının deneysel bir araştırma yapmışlardır. Ayrıca, bu deneyleri gerçekleştirmek üzere geliştirilen ve Coimbra Üniversitesi'nde inşa edilen deneysel düzenlemeyi de açıklamışlardır.

Yaptıkları deneysel araştırmanın temel amacı, yangın direncini değerlendirmek, mekanik davranışı incelemek, farklı kesit tiplerine, uç destek koşullarına ve yük seviyelerine sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların, sınırlı termal uzama koşullarında yangın durumunda karakteristik göçme modlarını belirlemek ve gelecekteki sayısal çalışmalar için deneysel veri sağlamaktır.

Çalışmada, uygulanan yük seviyesinin soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların yangın davranışı üzerinde büyük bir etkisi olduğu gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşimlerinin yangından sonra döngüsel yükler altındaki davranışının incelenmesi ve bu davranışın sonlu eleman analiz programı ile kıyaslanması yapılmıştır.

Modellerde sırt sırta birleştirilmiş, 2 farklı kalınlıktaki C profillerden elde edilen tek tip kalınlıkta guse levhası ve birleşim detayında berkitme kullanılarak 2 adet deney yapılmıştır.

Deney sonucunda birleşim bölgesinde meydana gelecek deformasyonları inceleyeceğimizden, deney için hazırlanacak düzeneğin sadece birleşimi ve üst yapıyı etkilemesini istediğimizden guse levhasının rijitliği yüksek bir levha ile kaynaklayıp, levhayı da oldukça rijit bir profilin üzerine 14 adet M20 bulon ile bağlanmıştır. Bu şekilde yüklemenin birleşim bölgesinde yoğunlaşması hedeflenmiştir.

Farklı kalınlıklara sahip C profillerin yangından sonra davranışını aynı yükleme protokolünü kullanarak yapılan deneylerde kiriş-kolon birleşimleri tamamen hasar moduna ulaşıncaya kadar döngüsel yüklemeye devam edilmiştir. Sayısal modellerde ise deneydeki yüklemeler dikkate alınarak modellenmiştir ve birbirleri ile farklılıkları kıyaslanmıştır.

Sayısal analiz için, numunelerin doğruluğunu ve hata payını değerlendirebilmek için literatürdeki (Tavlaşoğlu 2022) daha önceden yapılmış deneylerin örnek modelleri oluşturulup, deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

3.2 Deneylerde Kullanılan Aletler

3.2.1 Hidrolik aktüatör

Aktüatör, bir mekanizmayı veya sistemi kontrol eden veya hareket ettiren bir tür motordur. Bir enerji kaynağı tarafından çalıştırılır. Bu kaynak genellikle elektrik akımı, hidrolik akışkan basıncı veya pnömotik basınçtır ve bazı tür hareketlerle enerjiye dönüşür.



Şekil 3.1. Hidrolik Aktüatör Deney Görseli

Hidrolik aktüatörler, hidrolik basınç kullanarak hareket ettirilen bir mekanizmadır. Hidrolik sıvı, bir pompa tarafından basınçlandırılır ve bu basınç, piston veya silindir gibi bir hareketli parçayı hareket ettirmek için kullanılır. Hidrolik aktüatörler, doğrusal veya dögüsel hareket sağlayabilir.

Bu tezde 150 tonluk Besmak markalı aktüatör kullanılmıştır.

3.2.2 Deformasyon ölçme cihazı (LVDT)

Deney düzeneğinde yük etkisi altındaki numunelerin deformasyonlarını ölçmek için kullanılan deformasyon ölçme cihazları, meydana gelen eğilmeleri, yatay veya düşey yer değiştirmeleri hassas bir şekilde ölçme yeteneğine sahiptir. Bu cihazlar genellikle dijital ve analog LVDT (Linear Variable Differential Transformer) tiplerini içerirler.

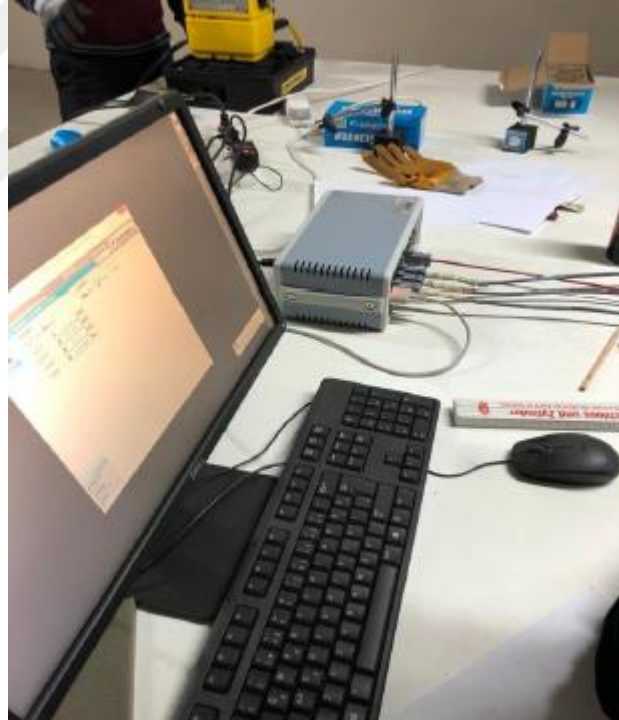
3. MATERYAL ve YÖNTEM

LVDT'ler farklı uzunluklarda, 10 mm ile 300 mm aralığında üretilebilir ve 0.001 mm hata oranıyla deformasyonları ölçme kapasitesine sahiptirler. Özellikle Japonya'da üretilen LVDT'ler, yapılan deneylerde tercih edilen bir seçenektir.

Biz bu deneyde 300 mm LVDT japon markası kullanılmıştır.

3.2.3 Veri toplama ve kaydetme sistemi (Data logger)

Veri kaydedici; zamana veya başka bir sinyal voltajına karşı çizilen sinyal voltajlarını ölçmek ve görüntülemek için doğrudan bir kayıt cihazıdır. Veri toplama sistemi bir bilgisayara bağlı olup aldığı verileri bilgisayara kaydetmektedir. Bu toplanan verileri depolamaktadır.



Şekil 3.2. Data Logger Sistemi

Deneylerde, ABD menşeli Insturinet I420 modeli tercih edilmiştir; bu model, 120 kanallı ve 13 portlu giriş kablolarına sahip bir veri toplama cihazını içermektedir. Giriş voltaj aralıkları, -10 mV ile +10 V arasında değişen geniş bir spektruma yayılmaktadır. Veriler, portlara takılan dirençler aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu dirençler, portlara bağlı algılayıcılar sayesinde uçtaki elektriksel büyüklükleri

3. MATERYAL ve YÖNTEM

kaydetmiştir. Elde edilen elektrik yükü verileri, bir arayüz programı yardımıyla fiziksel büyüklüklere dönüştürülmüştür.

3.2.4 Yangın fırını

Fırının tipi vagon tabanlı fırın olup 2018 yılı üretimidir. Fırın iki farklı parçadan oluşmaktadır. Bu farklı iki parça raylar üzerinde hareket edebilmektedir. Parçalar numuneye yaklaştırılarak deney numunesini içine alabilir ya da uzaklaştırılarak hem deney numunesinin gözlemlenmesine hem de soğutulmasına imkân sağlayabilmektedir. Fırının hacmi 6 m³'tür.



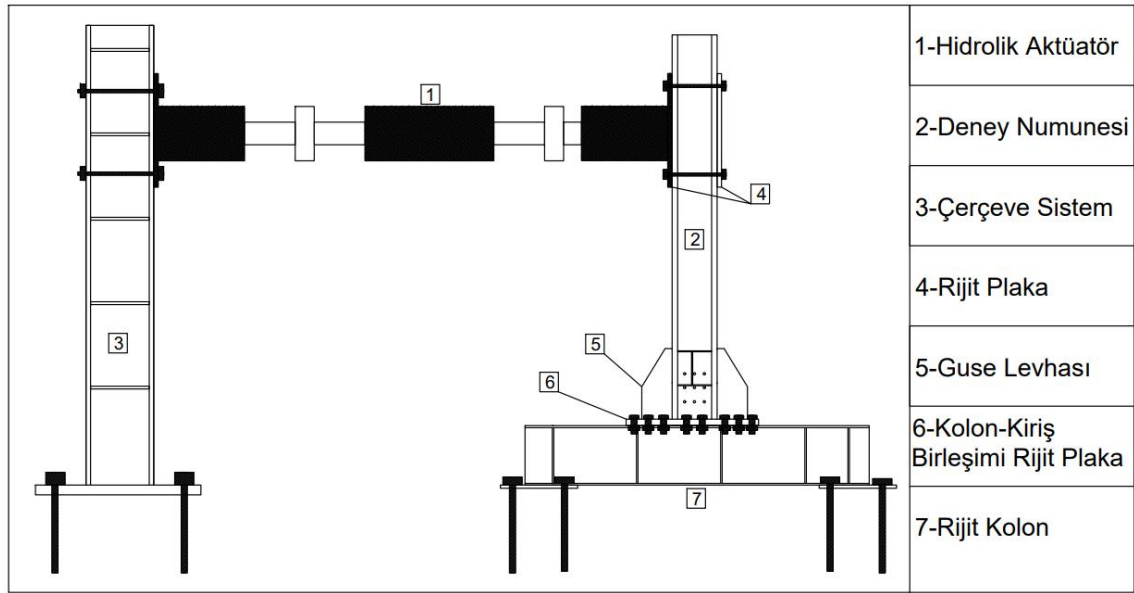
Şekil 3.3. Yangın Fırını

Fırın elektrik ile çalışmaktadır. Elektrik rezistanslarıyla ısı üretmektedir. Çalışma sıcaklığı 1100 °C olup maksimum sıcaklığı 1120 °C'dir. Ayrıca ISO-FIRE grafiklerle yangın uygulamaktadır. Fırın, elektrik rezistansları yardımıyla ısı üretmektedir. Fırının dış gövdesi çelik iskelet ve sac kaplamadan oluşmaktadır. Isı kayıplarının önüne geçilmek amacıyla fırın gövdelerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğla ve harç ile oluşturulmuş yalıtım katmanı bulunmaktadır.

3.3 Deneyin Yapılışı ve Deney Düzenegi

Bu çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan Yapı ve Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır.

Laboratuvardaki çerçeve sisteme bulonlar yardımıyla hidrolik aktüatör bağlanmıştır. Aktüatör modele iki adet rijit plaka ile sabitlenmiştir. Göçmenin sadece birleşimde meydana gelmesi için rijit bir kolon seçilmiştir. Rijit kolon ile modelin birleşimi de yine rijit plaka ile bulonlamıştır. Seçilen rijit kolon ise zemine ankrajlanmıştır. Ayrıca kirişin burkulmasını engellemek için sağ ve solundan sıkıştırılmıştır. Deney düzeneginin modellenip görselleştirilmiş hali Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney Düzenegi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan bu araştırmada hafif çelik yapılarda yangına maruz bırakılmış vidalı kolon kiriş birleşiminin döngüsel yükler altındaki davranışının deneysel ve sayısal olarak irdelenmiştir.

Deney düzeneklerindeki kirişlerin yapılması için, 1.5 mm ve 2 mm levhalar temin edilmiştir. Bu levhalar pres makinasıyla C profil şekline getirilmiştir. Aynı şekilde guse levhaları, alın levha plakaları (20mm) ve berkitme levhaları kesilerek hazırlanmıştır. Guse levhaları alın levha plakalarına kaynatılmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi birleşimin yapım aşamaları gösterilmiştir.

Tüm kaynak işlemleri bittikten sonra kirişler akıllı vidayla birbirine monte edilmiştir. Berkitme levhaları C profillere kaynatılmıştır.



Şekil 4.1. Çelik Yapının Montajının Görselleri

Bu deneysel çalışmada toplamda 2 adet deney numunesi hazırlanıp yapılmıştır. Deneyler; deney sırası ile, C profil kiriş et kalınlığına göre isimlendirilmiştir. Deney numunelerinin genel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Özellikleri

| Grup | Deney No | Kiriş Boyutları | Kiriş Yükseklik h (mm) | Kiriş Genişlik w (mm) | İç Uzunluk e (mm) | C Kesit Kalınlık t (mm) | Guse Levhası Kalınlık (mm) | Berkitme |
|------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | D1-C1.5-P1.5-S | C-200*85*20 | 200 | 85 | 20 | 1.5 | 1.5 | Var |
| 2 | D2-C2-P1.5-S | C-200*85*20 | 200 | 85 | 20 | 2 | 1.5 | Var |

Örnek olarak D1 deneyinin isimlendirilmesi aşağıda gösterilmiştir.

D1-C1.5-P1.5-S

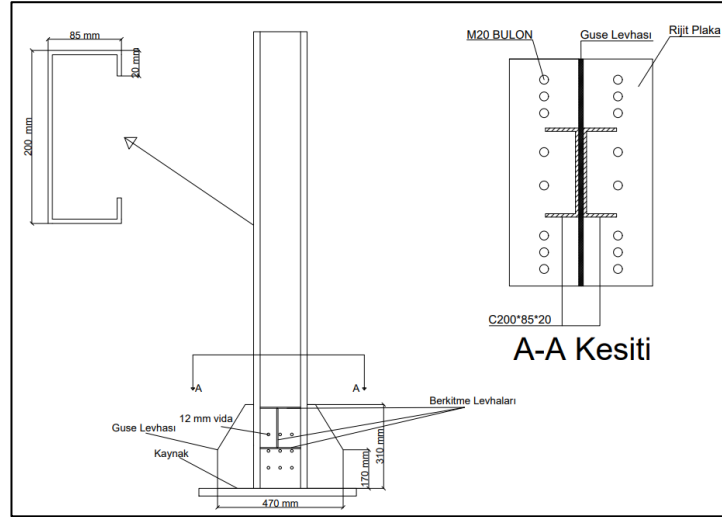
D1; Deney ismini (1. Deney)

C1.5; C profilinin et kalınlığı

P1.5; Guse levhasının et kalınlığı

S; Berkitme levhasının olduğunu belirtir.

Çizelge 4.1’de verilen kiriş yüksekliği, kiriş genişliği ve kiriş iç uzunluğu Şekil 4.2’de genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deney Numunesi Genel Görünümü ve Özellikleri

Deney numuneleri, hazırlık sürecini tamamladıktan sonra, yangına maruz bırakılmak üzere fırına yerleştirilmiştir. Numunelerin, ISO 834 Standart Yangın Eğrisine göre belirlenen logaritmik artan sıcaklık profilinde 120 dakika boyunca bekletilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

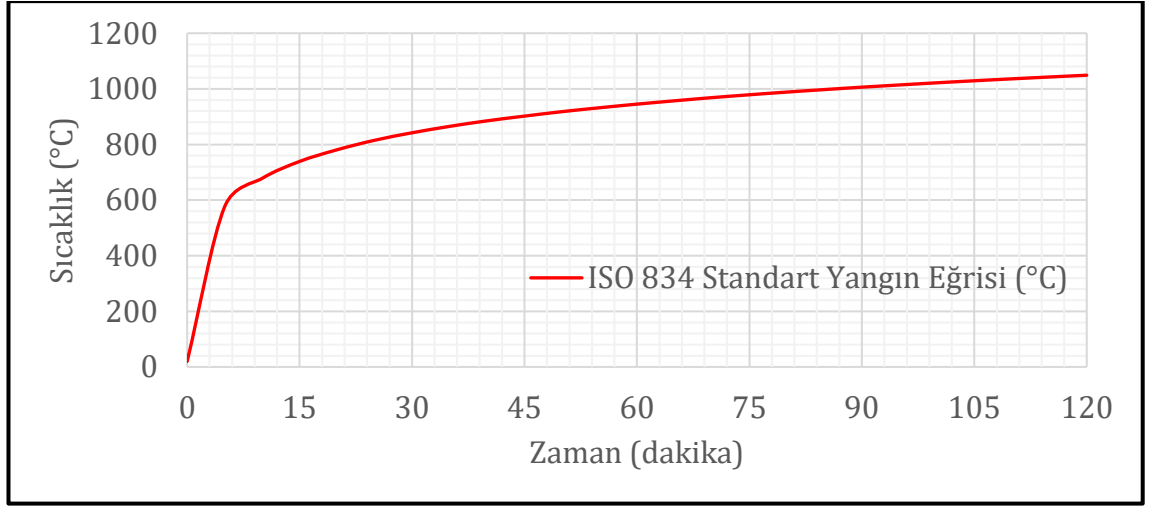
amaçlanmıŐtır. Çizelge 4.2’de ISO 834 Yangın Eğrisi değerleri ve Şekil 4.4’te ISO 834 Yangın Eğrisi gösterilmiŐtır.



Şekil 4.3. Fırın ve Fırının İçine Koyulan Kiriş Numuneleri

Çizelge 4.2 ISO 834 Standart Yangın Eğrisi Değerleri

| Adım No | Adım Süresi (Dakika) | Toplam Süre (Dakika) | ISO 834 Standart Yangın Eğrisi (°C) |
|---------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| - | - | 0 | 20 |
| 1 | 5 | 5 | 576 |
| 2 | 5 | 10 | 678 |
| 3 | 5 | 15 | 739 |
| 4 | 5 | 20 | 781 |
| 5 | 5 | 25 | 815 |
| 6 | 5 | 30 | 842 |
| 7 | 5 | 35 | 865 |
| 8 | 5 | 40 | 885 |
| 9 | 5 | 45 | 902 |
| 10 | 5 | 50 | 918 |
| 11 | 5 | 55 | 932 |
| 12 | 5 | 60 | 945 |
| 13 | 5 | 65 | 957 |
| 14 | 5 | 70 | 968,4 |
| 15 | 5 | 75 | 978,7 |
| 16 | 5 | 80 | 988,4 |
| 17 | 5 | 85 | 997,4 |
| 18 | 5 | 90 | 1.006 |
| 19 | 5 | 95 | 1.014 |
| 20 | 5 | 100 | 1.021,8 |
| 21 | 5 | 105 | 1.029 |
| 22 | 5 | 110 | 1.036 |
| 23 | 5 | 115 | 1.042,6 |
| 24 | 5 | 120 | 1.049 |



Şekil 4.4. ISO 834 Standart Yangın Eğrisi (°C) Grafiği

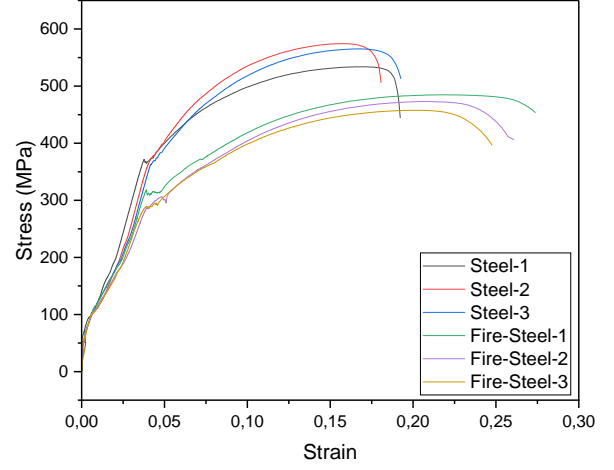
Fırından çıkan numunelerimiz rijit kolona bulonlu birleşim yapılarak çerçeve oluşturulmuştur. Sonra bu çerçeve yapıda kirişe FEMA'nın çelik yapılarda sismik tasarımlar için önerdiği FEMA-350 yükleme protokolü kullanılmıştır. Hidrolik aktüatör ile döngüsel yük uygulanmıştır. Modellerde meydana gelen deformasyonlar ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Deney numunelerinin mekanik özelliklerini elde etmek amacıyla toplamda 6 çekme kupası testi gerçekleştirildi. İlk olarak, yapısal çelik malzemesinin kupada gerilme testi UNE-EN 10002-11504-2 standartlarına uygun olarak yapıldı. Daha sonra, bu testler 150 kN kapasiteli Besmak makinesi kullanılarak gerçekleştirildi. Test kuponları Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan eksenel çekme testlerinin aktif matrisi Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Yapısal Çelikler için Ortalama Karakteristik Değerler

| | Çelik-1 | Çelik-2 | Çelik-3 | Ort. | Yanmış-Çelik-1 | Yanmış-Çelik-2 | Yanmış-Çelik-3 | Ort. |
|---|---------|---------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|---------|
| E (MPa) | 198.750 | 201.222 | 198.212 | 199.394 | 191.214 | 191.365 | 191.001 | 191.193 |
| f_y (MPa) | 366,65 | 377,39 | 365,75 | 369,93 | 310,66 | 306,27 | 288,43 | 301,79 |
| f_u (MPa) | 533,96 | 574,41 | 565,26 | 557,88 | 484,79 | 473,06 | 457,72 | 471,86 |
| ρ_y= f_y/f_u | 0,69 | 0,66 | 0,65 | 0,66 | 0,64 | 0,65 | 0,63 | 0,64 |

E= Elastite Modülü, f_y= Akma Dayanımı, f_u= Çekme Dayanımı



Şekil 4.5 Çekme Kupaşı Testi ve Gerilme-Gerinim Eğrisi

4.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneylerden sonra verilerin incelemesi yapılarak moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Birleşimlerin moment dayanımları, dönme kapasiteleri ve göçme modları gibi karakteristik özellikleri de ayrıca incelenmiştir.

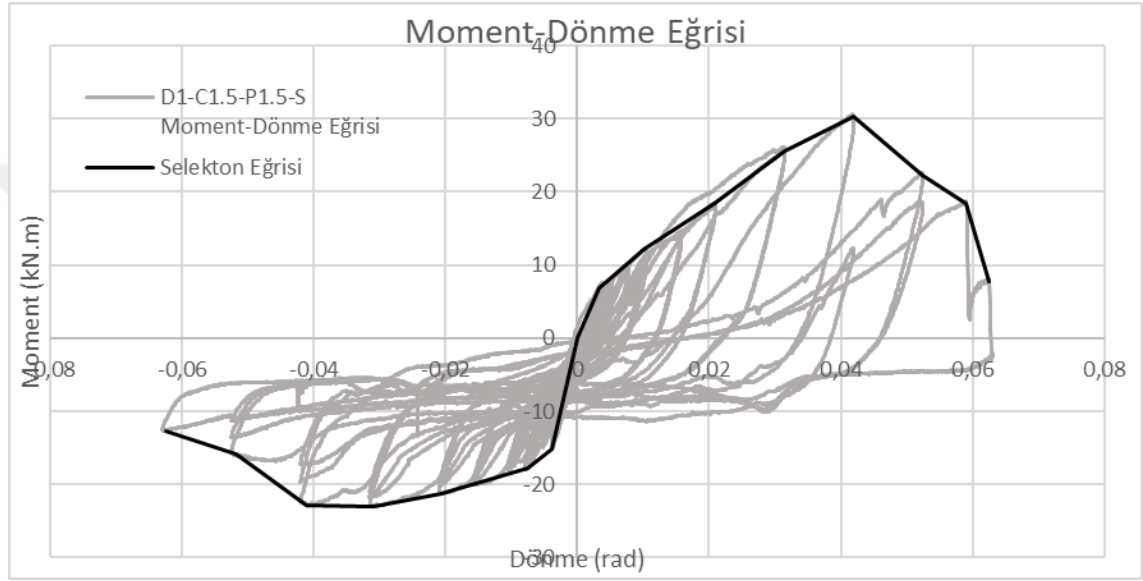
Deneylerin ABAQUS programı ile de modellenmesi yapıp, gerçek deneyler ile sayısal model arasındaki kıyaslamaları yapılmıştır. Sayısal modelinde moment-dönme eğrileri çizdirilip gerçek deneylerin moment-dönme eğrileri yapıp, moment dayanımları, dönme kapasiteleri ve göçme modları birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Sayısal modellerin doğruluğunu daha detaylı anlayabilmek için, literatürde daha önceden yapılmış deneylerin sayısal modellemeleri yapıp deneylerin moment-dönme eğrileri oluşturulup moment dayanımları, dönme kapasiteleri ve göçme modları incelenip hata payının ne kadar olduğu incelenmiştir.

4.1.1 Deneilerin yapılışı ve değerlerinin incelenmesi

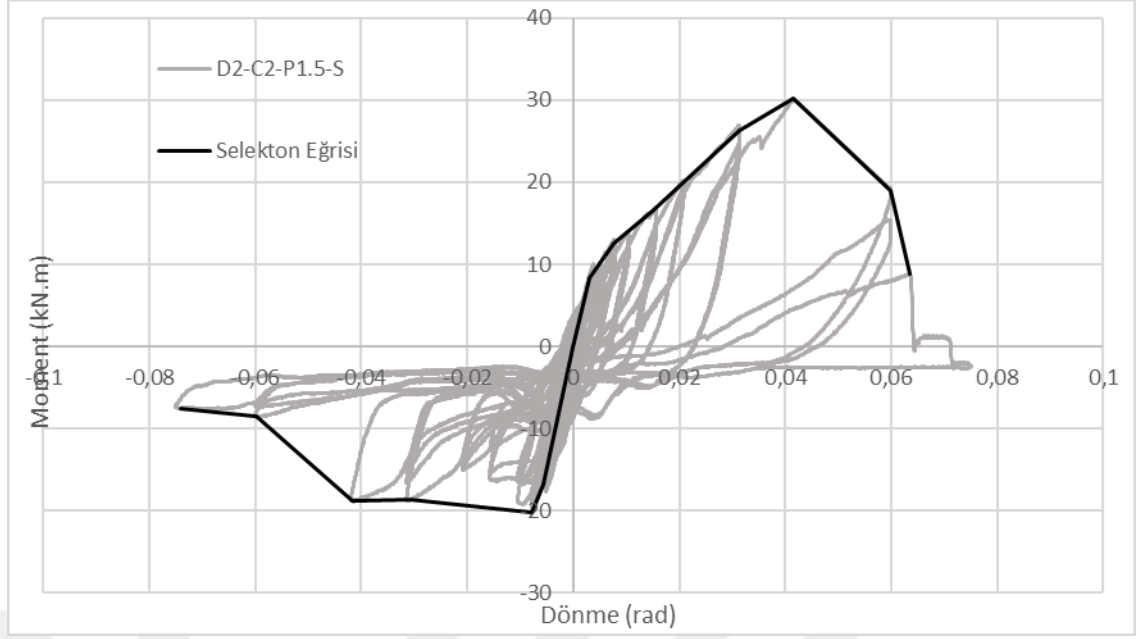
Deneilerde D1-C1.5-P1.5-S ve D2-C2-P1.5-S isimli 2 adet deney bulunmaktadır.

Deneilerde birinci deney D1-C1.5-P1.5-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 1,5 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır. D1-C1.5-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. D1-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği ve Selekton Eğrisi Grafiği

Deneilerde ikinci deney D2-C2-P1.5-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır. D2-C2-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.

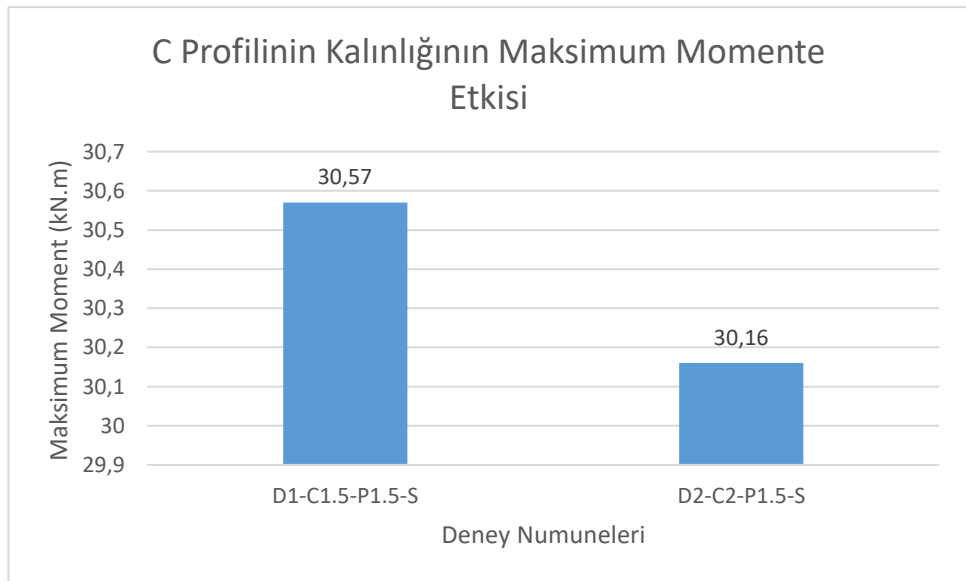


Şekil 4.7. D2-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği ve Selektion Eğrisi Grafiği

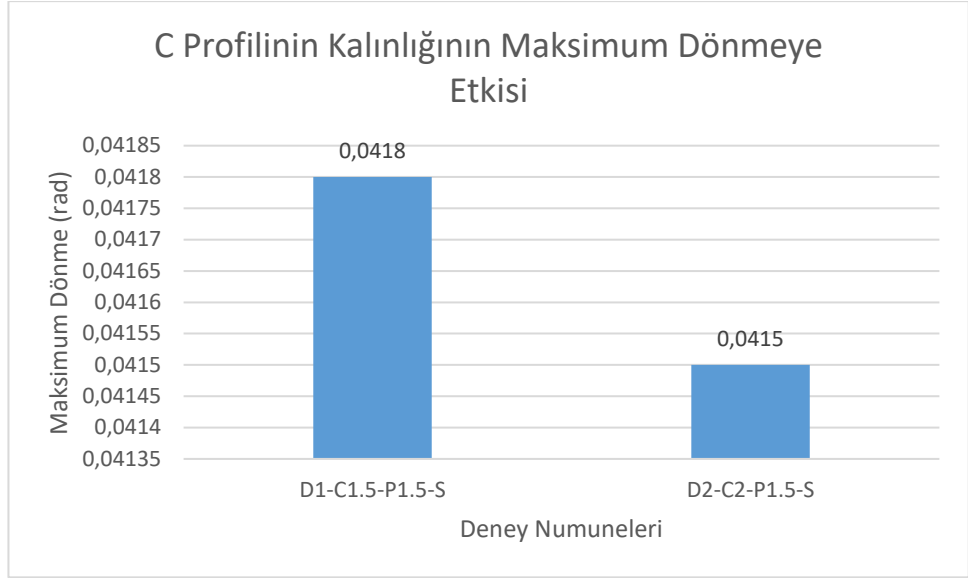
D1-C1.5-P1.5-S ve D2-C2-P1.5-S deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4. D1 ve D2 Deney Numunelerinin Değerleri

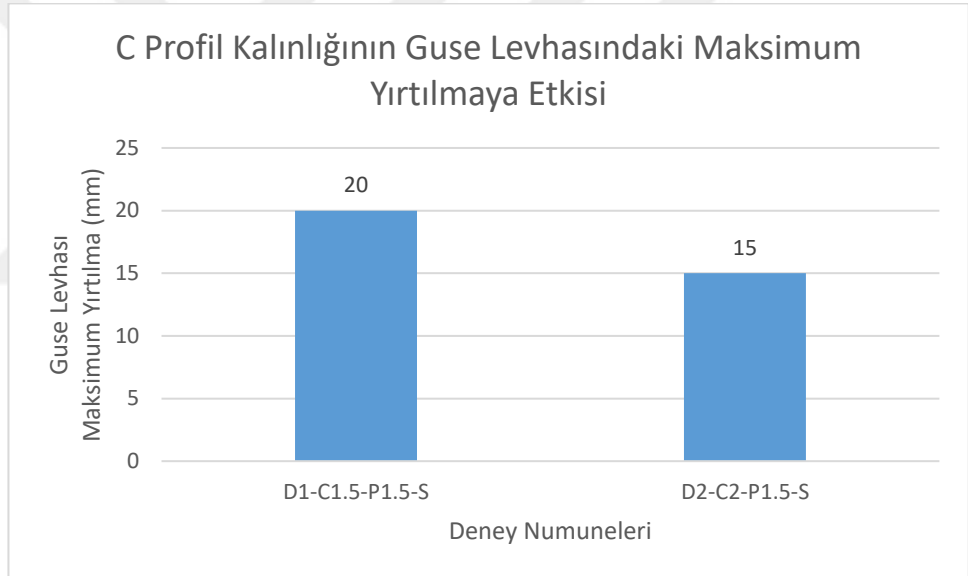
| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} | Enerji Yutma Kapasitesi |
|----------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| D1-C1.5-P1.5-S | 30,5739 | 13,5884 | 0,0418 | -59,67 | 2,629 |
| D2-C2-P1.5-S | 30,1592 | 13,4041 | 0,0415 | -59,46 | 2,685 |



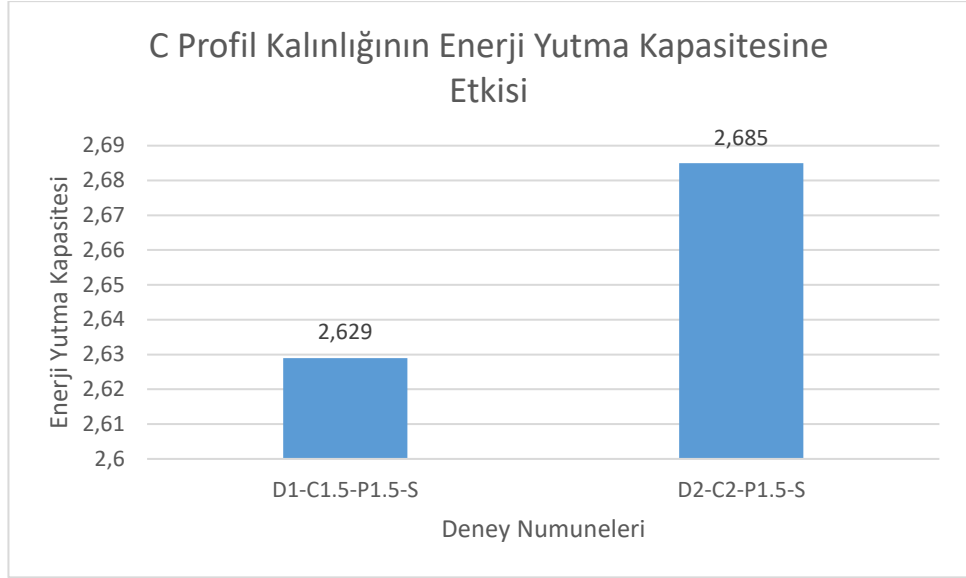
Şekil 4.8. C Profilinin Kalınlığının Maksimum Momente Etkisi



Şekil 4.9. C Profilinin Kalınlığının Maksimum Dönmeye Etkisi



Şekil 4.10. C profilinin Kalınlığının Guse Levhasındaki Maksimum Yırtılmaya Etkisi



Şekil 4.11. C Profil Kalınlığının Enerji Yutma Kapasitesine Etkisi

Kiriş profilinin kalınlığı arttığında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %1,13 azalmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %0,21 azalmıştır. D1-C1.5-P1.5-S ve D2-C2-P1.5-S deneylerinde guse levhalarındaki maksimum yırtılmalar karşılaştırıldığında her iki deneyde de yırtılmalar sırayla 20 mm ve 15 mm olarak ölçülmüştür. Her iki deneyde de vida kırılması gözlemlenmiştir. Kiriş gövdesindeki burkulma iki deney numunesinde de meydana gelmiştir.

4.1.2 Yangına maruz kalmamış literatürdeki deneyler ile yangına maruz kalmış deneylerinin incelenmesi

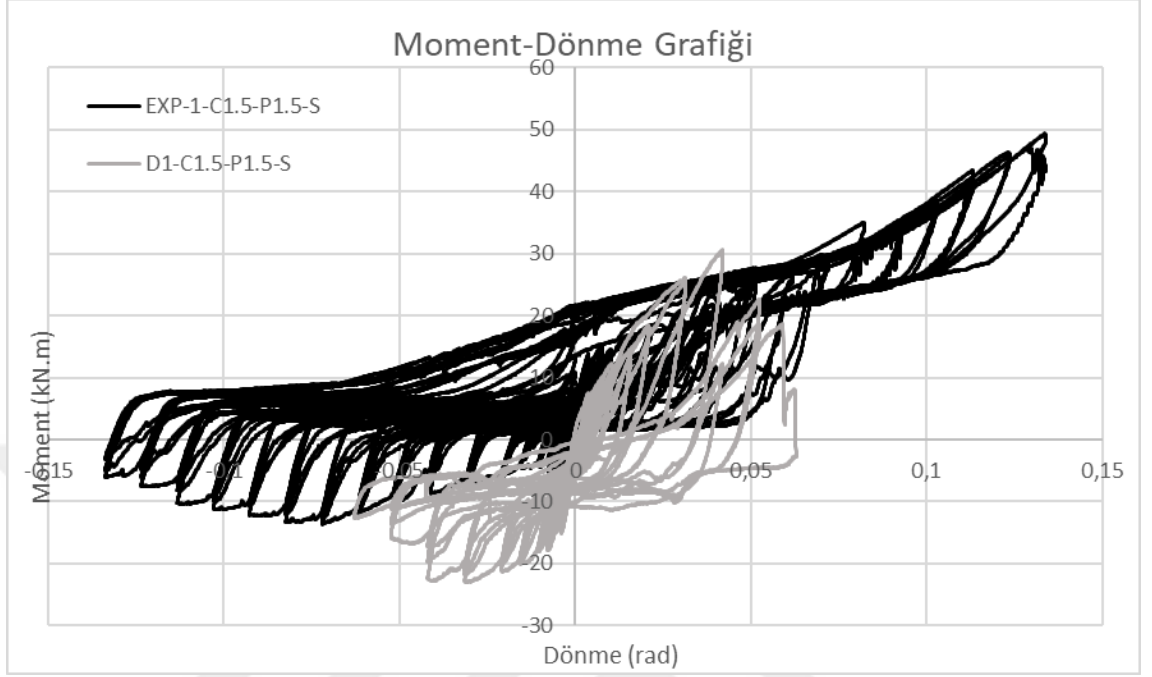
Literatürde bulunan EXP-1-C1.5-P1.5-S ve EXP-2-C2-P1.5-S deneylerinin FEMA-350 yükleme protokolü ile yüklenmiştir.

Bu deney numunelerini, yangına maruz kalmış D1-C1.5-P1.5-S ve D2-C2-P1.5-S deney numuneleri ile kıyaslamaları yapılmıştır.

Literatürde olan deneylerde birinci deney EXP-1-C1.5-P1.5-S deneyi olup kiriş profil kalınlığı 1,5mm, guse levhası kalınlığı 1,5mm'dir. Bu deneyde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

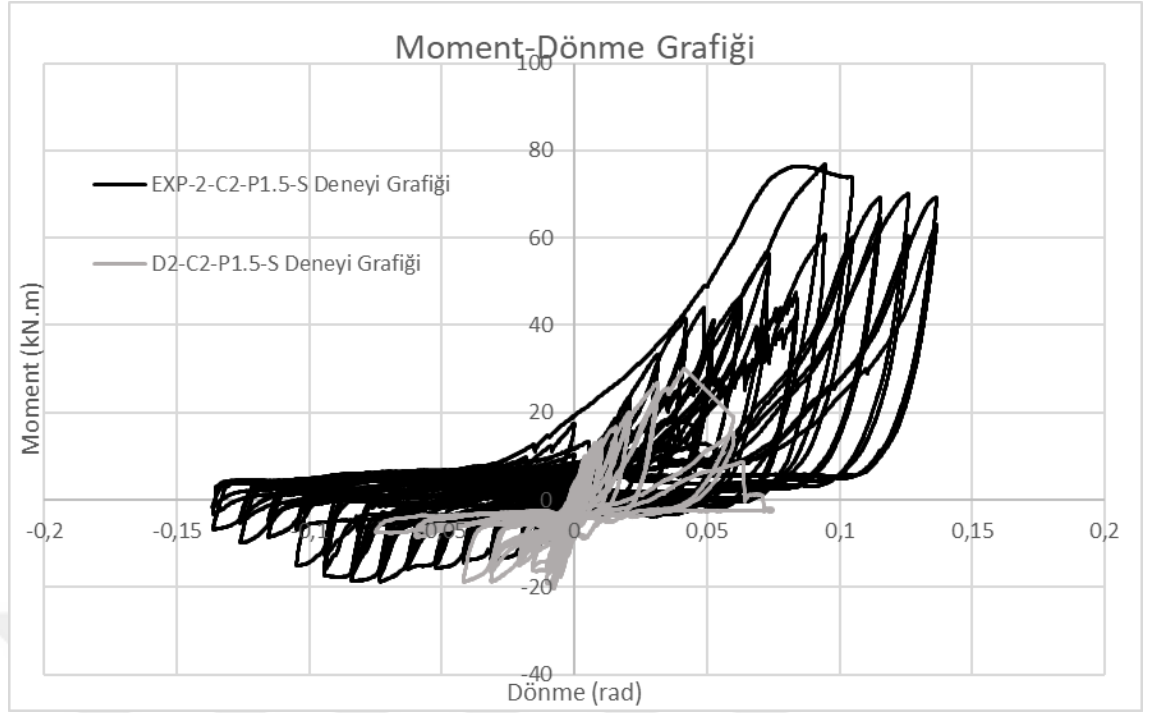
EXP-1-C1.5-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği ile D1-C1.5-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği Şekil 4.12’de beraber verilmiştir.



Şekil 4.12. EXP-1-C1.5-P1.5-S ve D1-C1.5-P-1.5-S Moment-Dönme Grafiği

Literatürde olan deneylerde ikinci deney EXP-2-C2-P1.5-S deneyi olup kiriş profil kalınlığı 2mm, guse levhası kalınlığı 1,5mm’dir. Bu deneyde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

EXP-2-C2-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği ve D2-C2-P1.5-S deneyinin moment-dönme grafiği Şekil 4.13’de beraber verilmiştir.

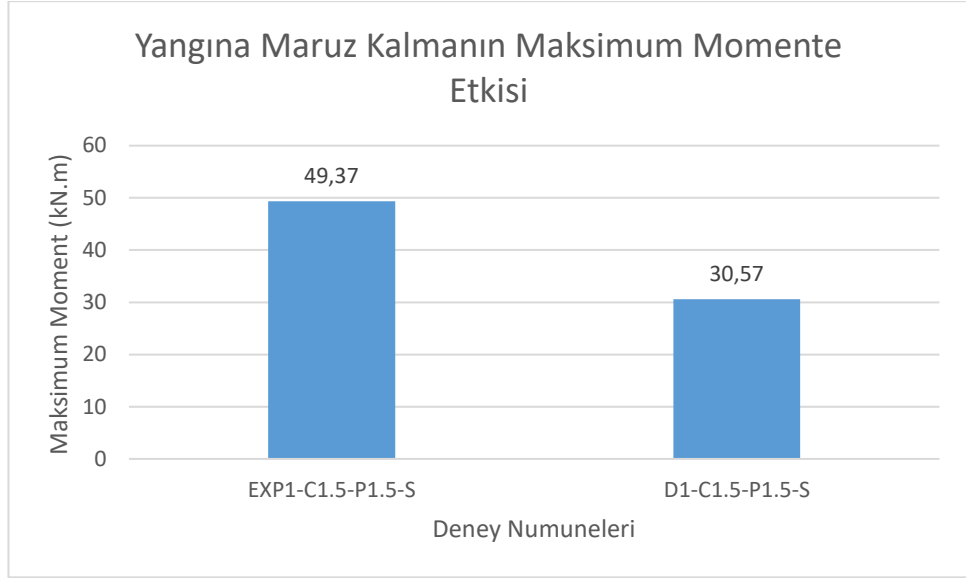


Şekil 4.13. EXP-2-C2-P1.5-S ve D2-C2-P-1.5-S Moment-Dönme Grafiği

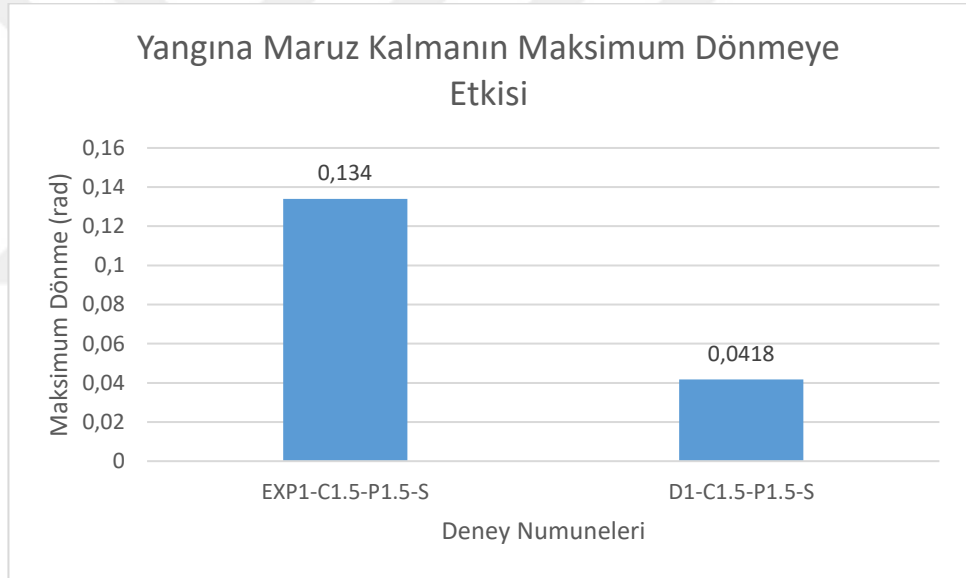
Çizelge 4.5. Literatür ve Deney Verilerinin Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | ΔF_{max} |
|-------------------|-----------|-----------|-----------------|------------------|
| EXP-1-C1.5-P1.5-S | 49,3737 | 32,9158 | 0,1335 | -194,4860 |
| EXP-2-C2-P1.5-S | 77,0034 | 51,3356 | 0,0943 | -134,7740 |
| D1-C1.5-P1.5-S | 30,5739 | 13,5884 | 0,0418 | -59,6710 |
| D2-C2-P1.5-S | 30,1592 | 13,4041 | 0,0415 | -59,4600 |

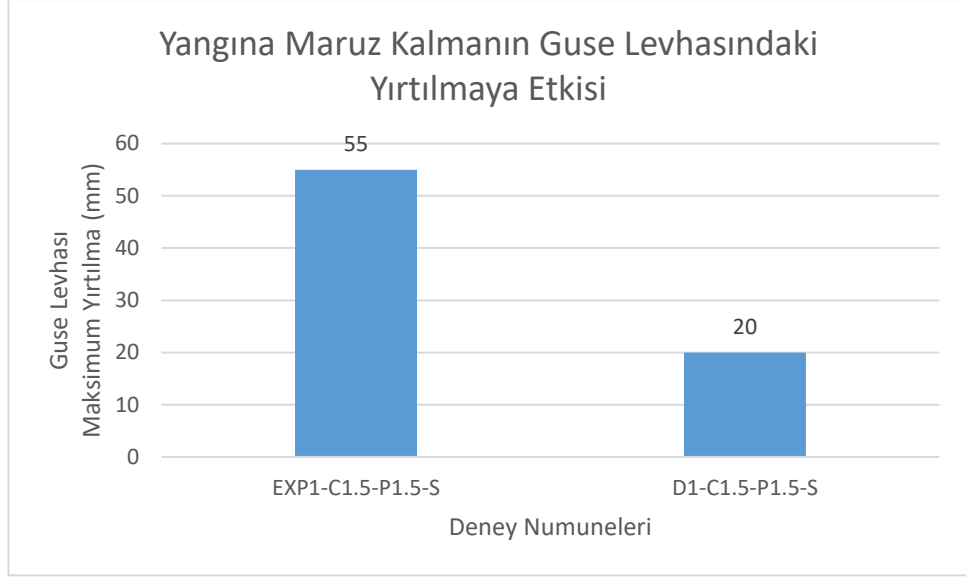
Exp1-C1.5-P1.5-S ve Exp2-C2-P1.5-S deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Kiriş profilinin kalınlığı arttığında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %52,99 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θ_{Fmax}) %44,30 azalmıştır. Exp1-C1.5-P1.5-S ve Exp2-C2-P1.5-S deneylerinde guse levhalarındaki maksimum yırtılmalar karşılaştırıldığında her iki deneyde de yırtılmalar 55 mm olarak ölçülmüştür. Her iki deneyde de vida kırılması gözlemlenmemiştir. Kiriş gövdesindeki burkulma iki deney numunesinde de meydana gelmiştir (Tavlaşoğlu 2022).



Şekil 4.14. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Momente Etkisi



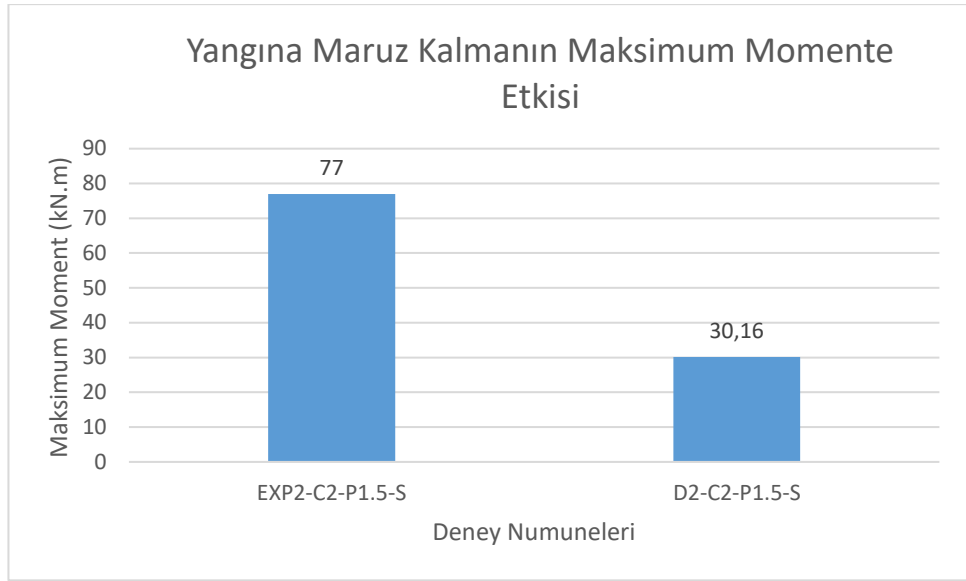
Şekil 4.15. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Dönmeye Etkisi



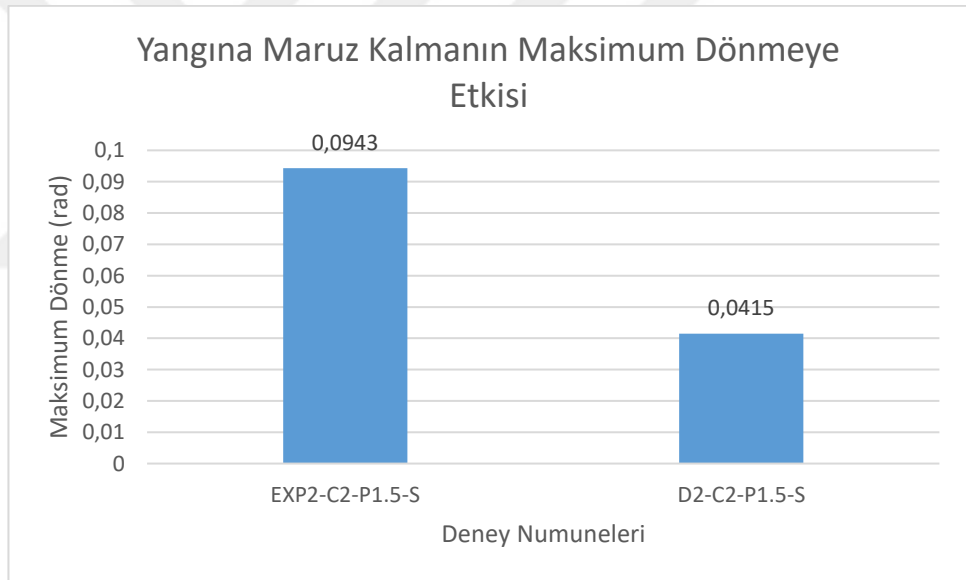
Şekil 4.16. Yangına Maruz Kalmanın Guse Levhasındaki Yırtılmaya Etkisi

D1-C1.5-P1.5-S ve Exp1-C1.5-P1.5-S deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yangına maruz kalmış kirişin yangına maruz kalmamış kirişin kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %37,90 azalmıştır. D1-C1.5-P1.5-S ve Exp1-C1.5-P1.5-S deneylerinde guse levhalarındaki maksimum yırtılmalar karşılaştırıldığında D1-C1.5-S deneyinde 20 mm yırtılma Exp1-C1.5-P1.5-S deneyinde 55 mm olarak ölçülmüştür.

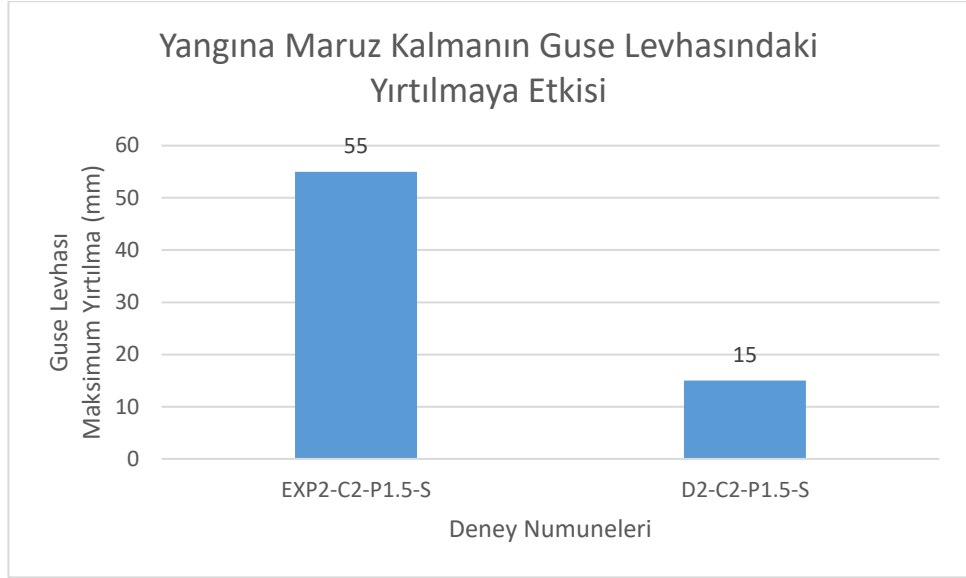
D1-C1.5-P1.5-S deneyinde vida kırılması meydana gelmiştir ama Exp1-C1.5-P1.5-S deneyinde vida kırılması meydana gelmemiştir. Kiriş gövdesindeki burkulma iki deney numunesinde de meydana gelmiştir. Deneylerde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Momente Etkisi



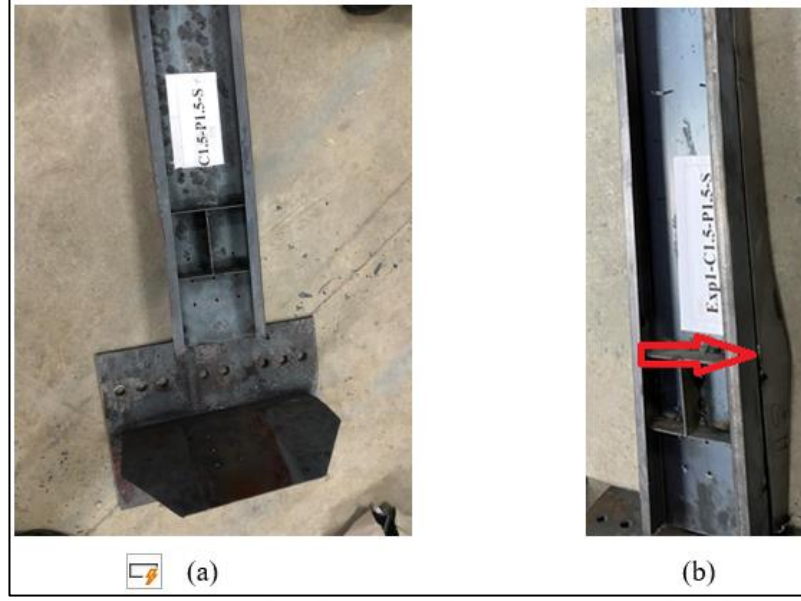
Şekil 4.18. Yangına Maruz Kalmanın Maksimum Dönmeye Etkisi



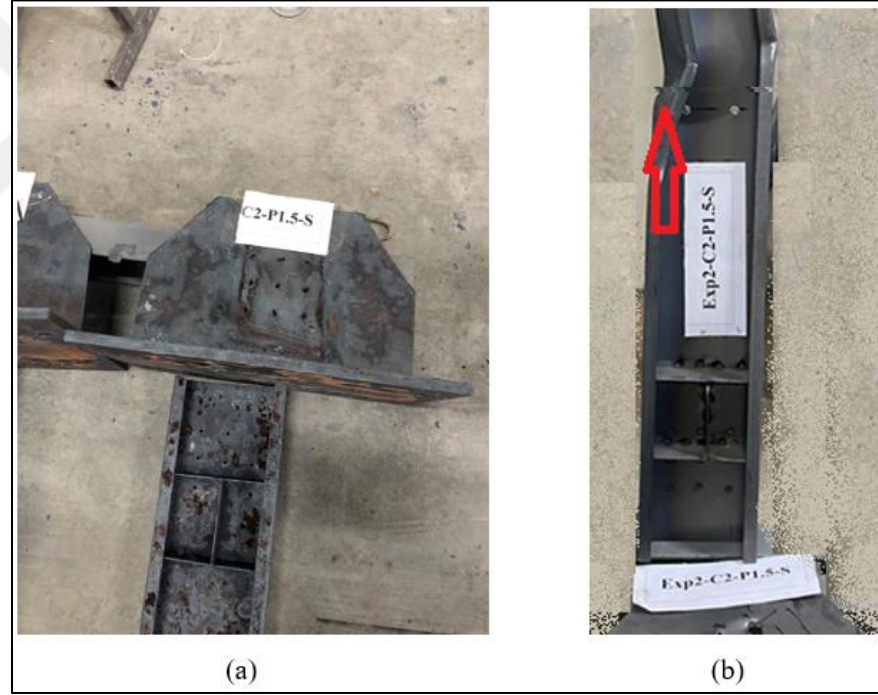
Şekil 4.19. Yangına Maruz Kalmanın Guse Levhasındaki Yırtılmaya Etkisi

D2-C2-P1.5-S ve Exp2-C2-P1.5-S deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yangına maruz kalmış kirişin yangına maruz kalmamış kirişin kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %60,75 azalmıştır. D2-C2-P1.5-S ve Exp2-C2-P1.5-S deneylerinde guse levhalarındaki maksimum yırtılmalar karşılaştırıldığında D2-C2-S deneyinde 15 mm yırtılma Exp2-C2-P1.5-S deneyinde 55 mm olarak ölçülmüştür.

D2-C2-P1.5-S deneyinde vida kırılması meydana gelmiştir ama Exp2-C2-P1.5-S deneyinde vida kırılması meydana gelmemiştir. Kiriş gövdesindeki burkulma iki deney numunesinde de meydana gelmiştir. Deneylerde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.20 ve 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. (a) D1-C1.5-P1.5-S ve (b) EXP-1-C1.5-P1.5-S Deney Sonrası G3rseli



Şekil 4.21. (a) D2-C2-P1.5-S ve (b) EXP-2-C2-P1.5-S Deney Sonrası G3rseli

Bu sonuçlara bakıldığı zaman yangına maruz kalmış D1-C1.5-P1.5-S deney numunesinin yangından sonra %40 gibi bir dayanım kaybettiği g3r3lm3Őt3r.

D2-C2-P1.5-S deney numunesinin yangından sonra %60 gibi bir dayanım kaybettiği g3zlenmiŐtir.

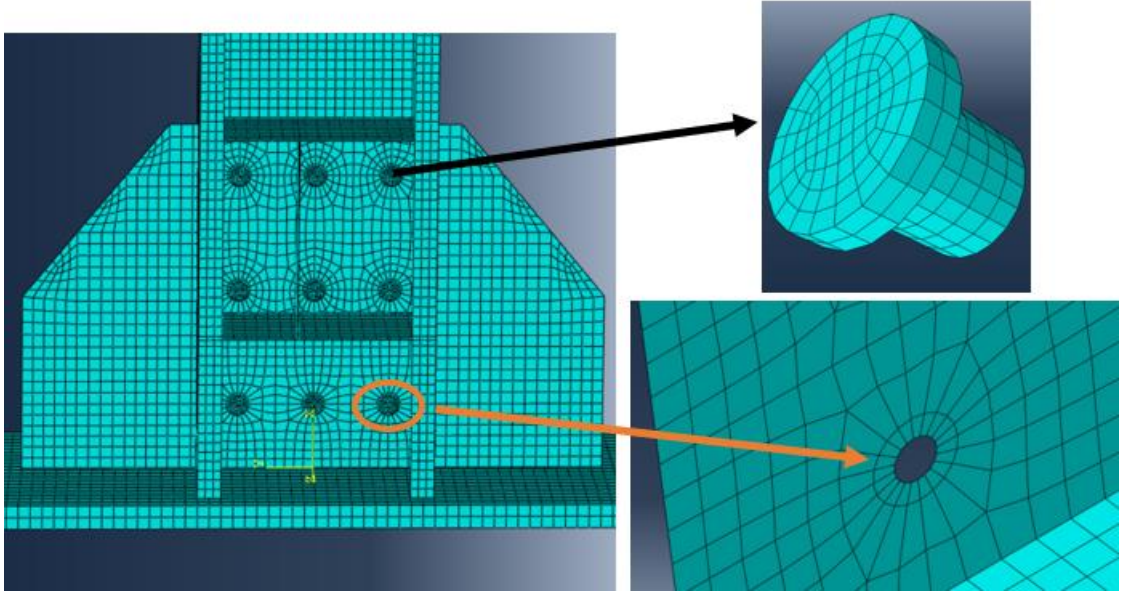
4.1.3 Sayısal inceleme

Yangın koşullarında cıvatalı kolon-kiriş bağlantılarının nasıl davranacağını değerlendirmek için sonlu eleman programı olan ABAQUS kullanılarak 10 adet üç boyutlu sayısal model oluşturuldu.

Gözlemlenen kesit boyutları, başlangıç geometrik kusurlar, çekme kupası testlerinden elde edilen malzeme özellikleri ve diğer bilgiler, tümü FE modeline entegre edildi.

4.1.3.1 Eleman türü ve ağ boyutu

Tüm model, geometrik ve malzeme davranışındaki doğrusal olmayan simüle edebilen sekiz düğümlü azaltılmış entegrasyonlu C3D8R (katı eleman) kullanılarak oluşturuldu. Ağ hassasiyet analizi yoluyla belirlendi ki kolon-kiriş bağlantısı için uygun bir ağ boyutu 3 mm x 3 mm (uzunluk x genişlik) idi. Bu nedenle, cıvata bağlantıları için 2 mm x 2 mm (uzunluk x genişlik) ağ boyutu kullanıldı. Doğru FE analizi için, flanş delikleri etrafında ağ rafinasyonu yapıldı ve yuvarlatılmış köşelere yakın bölgelerde daha küçük ağ boyutları kullanıldı. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi ABAQUS de modellenip mesh ayarları yapılmıştır.

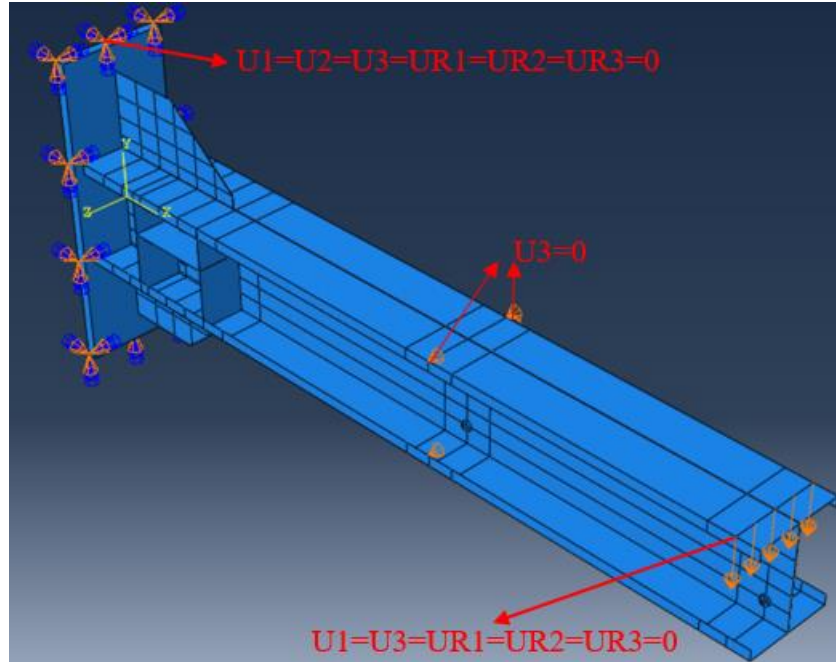


Şekil 4.22 Sonlu Eleman Modeli (ABAQUS)

4.1.3.2 Sınır koşulları ve yük uygulama prosedürü

Sonlu eleman modeline, birbirlerinin yüzeylerine temas eden yerlerde kontrak tanımlamak gereklidir, bunlar arasında cıvata başının flanşın üst yüzeyi ile etkileşimleri ve cıvata gövdesinin cıvata deliğinin iç yüzeyi ile etkileşimleri bulunmaktadır. Tüm bu temas çiftleri için "sert temas" komutu kullanılarak temas yüzeyleri arasında ayırım yapılmasına izin verildi.

Her temas çiftinin özelliklerini belirlemek için iki dik yönlü olan teğet ve standart yönlülükler kullanıldı. "Sert temas" özelliği, temas sonrasında ayrılmaya izin veren normal yöndeki konstitütif ilişkiyi tanımlamak için kullanıldı. 0,3 sürtünme katsayısı ile tanımlanan sürtünme modeli, teğetsel davranışı açıkladı. Tüm sonlu eleman model analizi dört adımdan oluşuyordu. İlk olarak, her cıvataya geçici olarak kısıtlama uygulanması için bir ön gerilim uygulandı. Ardından ikinci ve üçüncü adımlar için model sırasıyla deneyden ölçülen sıcaklık geçmişine göre ısıtıldı ve soğutuldu, yani termal yüklemeye tabi tutuldu. Son olarak, son adımda, C profillerin ucuna hedef deplasman değerine ulaşana kadar döngüsel artan bir deplasman yükü uygulandı.



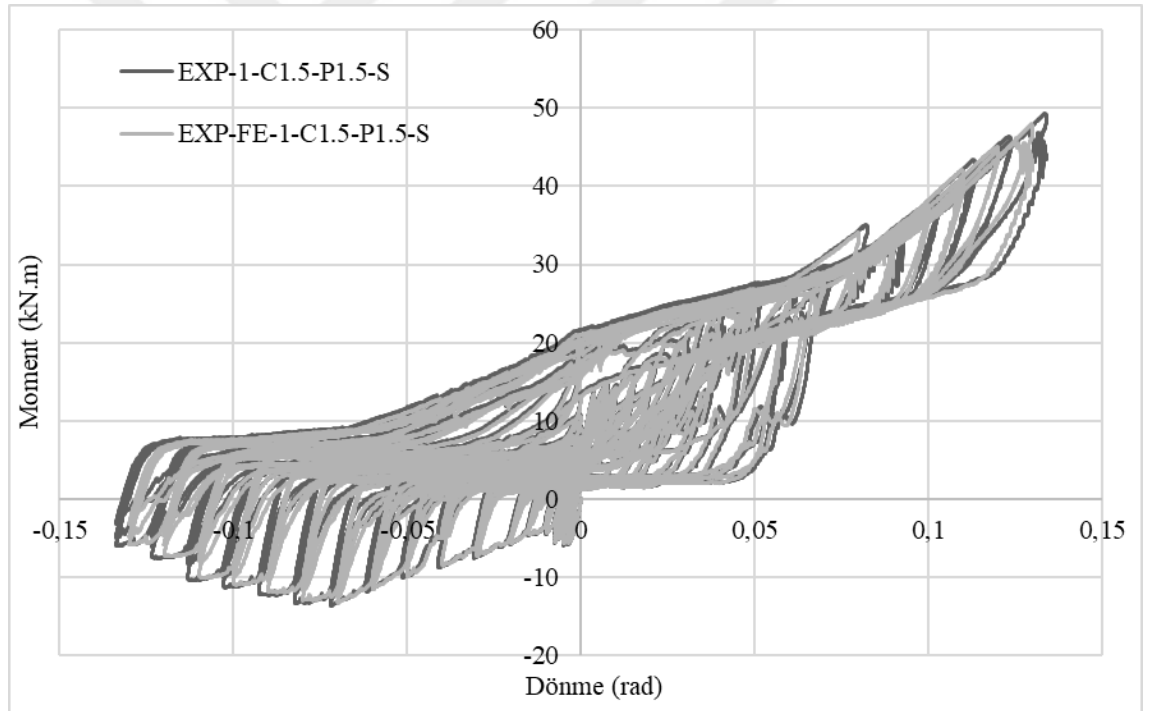
Şekil 4.23 Deneysel Örneklerin Sonlu Eleman Modeli ve Sınır Koşulları

4.1.4 Literatürdeki deneyler ile abaqus sonlu eleman programı arasında karşılaştırma

Literatürde olan deneylerde birinci deney EXP-1-C1.5-P1.5-S deneyi olup kiriş profil kalınlığı 1,5mm, guse levhası kalınlığı 1,5mm'dir. Bu deneyde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

Abaqus modellerinin isimlendirilmesi de EXP-FE-1-C1.5-P1.5-S olarak isimlendirilmiştir.

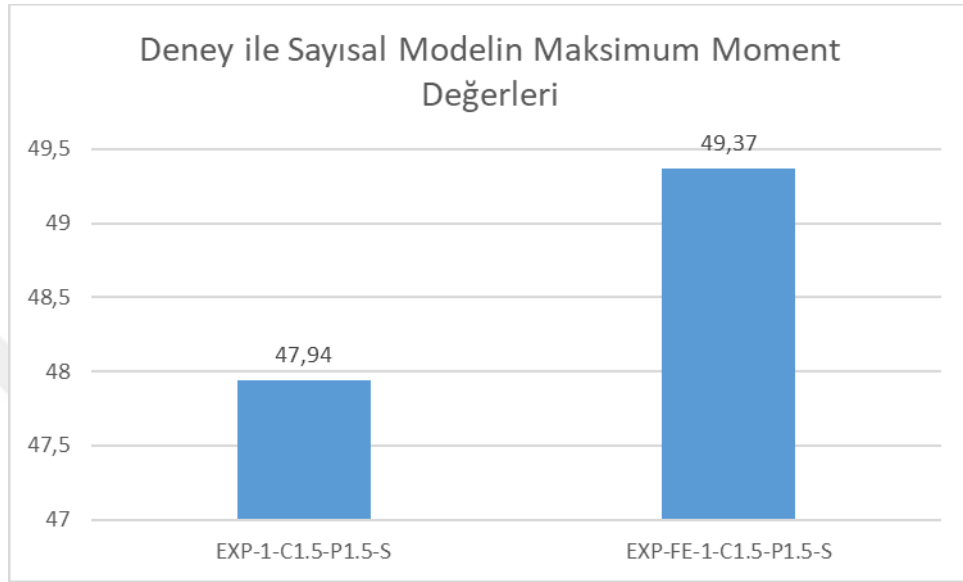
EXP-1-C1.5-P1.5-S ve EXP-FE-1-C1.5-P1.5-S moment-dönme grafiği Şekil 4.24'de verilmiştir.



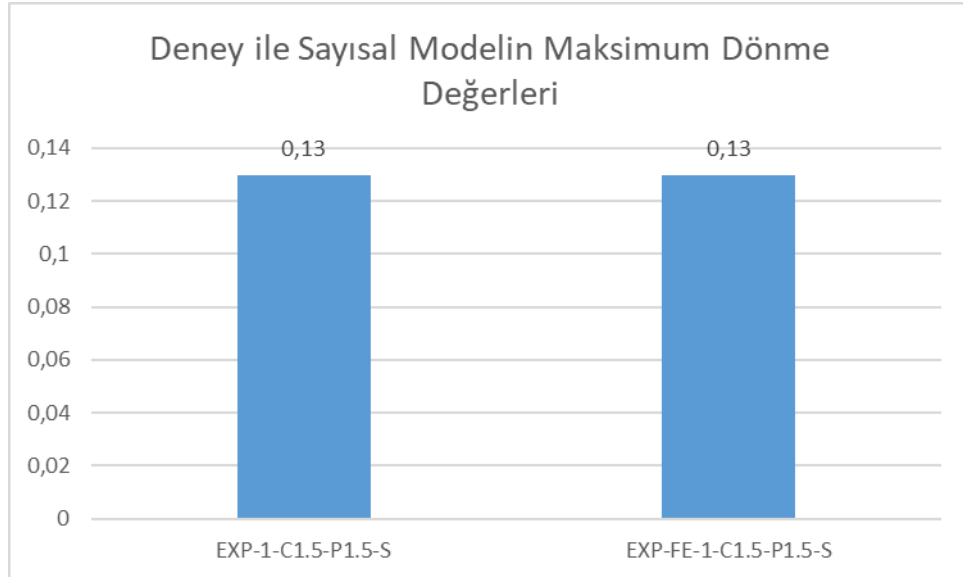
Şekil 4.24. EXP-1-C1.5-P1.5-S ve EXP-FE-1-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.6. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{\max} | F_{\max} | $\theta_{F\max}$ | $\Delta_{F\max}$ |
|----------------------|------------|------------|------------------|------------------|
| EXP-1-C1.5-P1.5-S | 47,94 | 31,96 | 0,13 | -194,49 |
| EXP-FE-1-C1.5-P1.5-S | 49,37 | 32,92 | 0,13 | -194,49 |



Şekil 4.25. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri



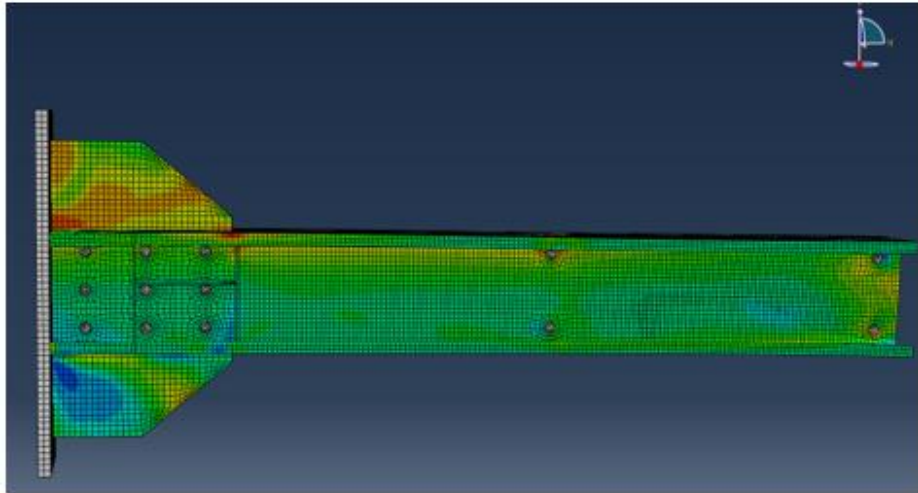
Şekil 4.26. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %2,9 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %0,05 artmıştır.



(a)



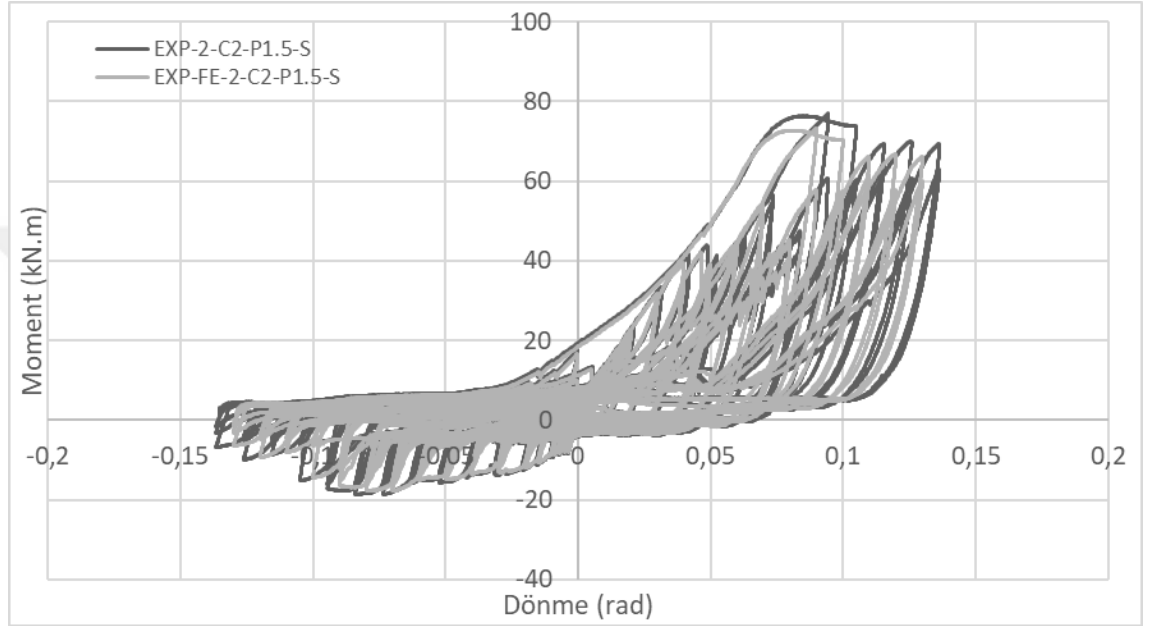
(b)

Şekil 4.27. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Gørselleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Literatürde olan deneylerde ikinci deney EXP-2-C2-P1.5-S deneyi olup giriş profil kalınlığı 2mm, guse levhası kalınlığı 1,5mm'dir. Bu deneyde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

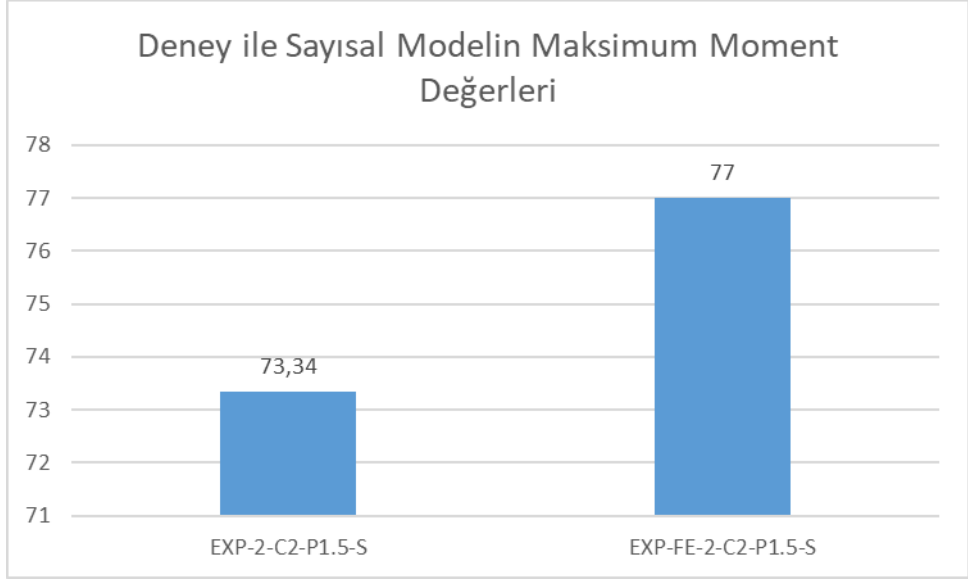
EXP-2-C2-P1.5-S ve EXP-FE-2-C2-P1.5-S moment-dönme grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir.



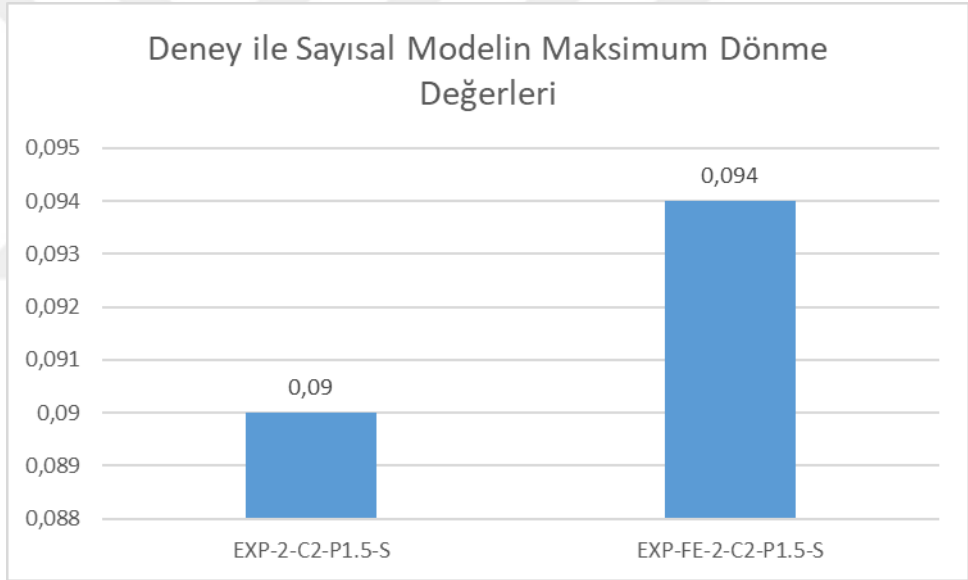
Şekil 4.28. EXP-2-C2-P1.5-S ve EXP-FE-2-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.7. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|--------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| EXP-2-C2-P1.5-S | 73,337 | 48,891 | 0,090 | -134,774 |
| EXP-FE-2-C2-P1.5-S | 77,003 | 51,336 | 0,094 | -134,774 |



Şekil 4.29. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

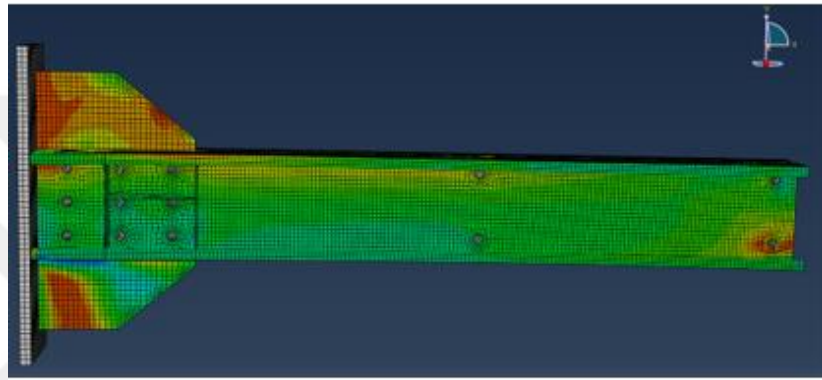


Şekil 4.30. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %4,76 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %4,26 artmıştır.



(a)



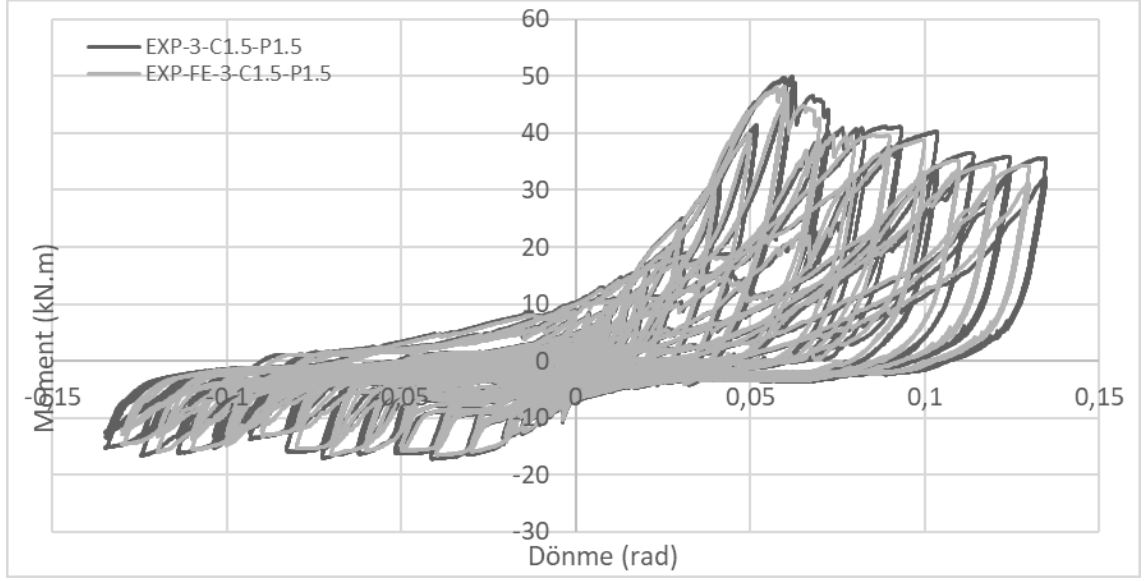
(b)

Şekil 4.31. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin G3rselleri

Literat3rde olan 333nc3 deney Exp3-C1.5-P1.5 deneyi olup kiriş profili kalınlığı 1,5 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmamıştır (Tavlaşoğlu 2022).

Exp3-C1.5-P1.5 ve Exp3-FE-C1.5-P1.5 grafiği Şekil 4.32'de verilmiştir.

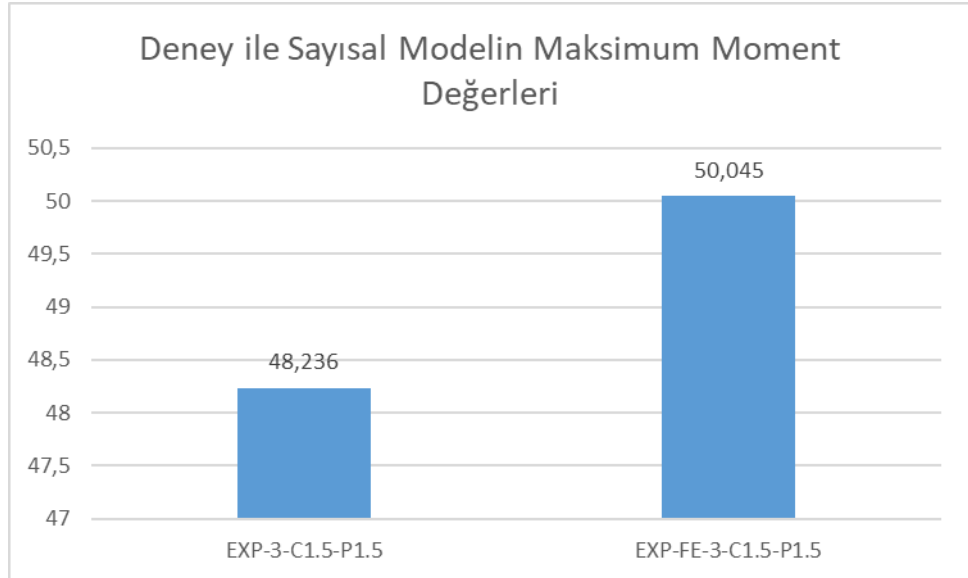
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



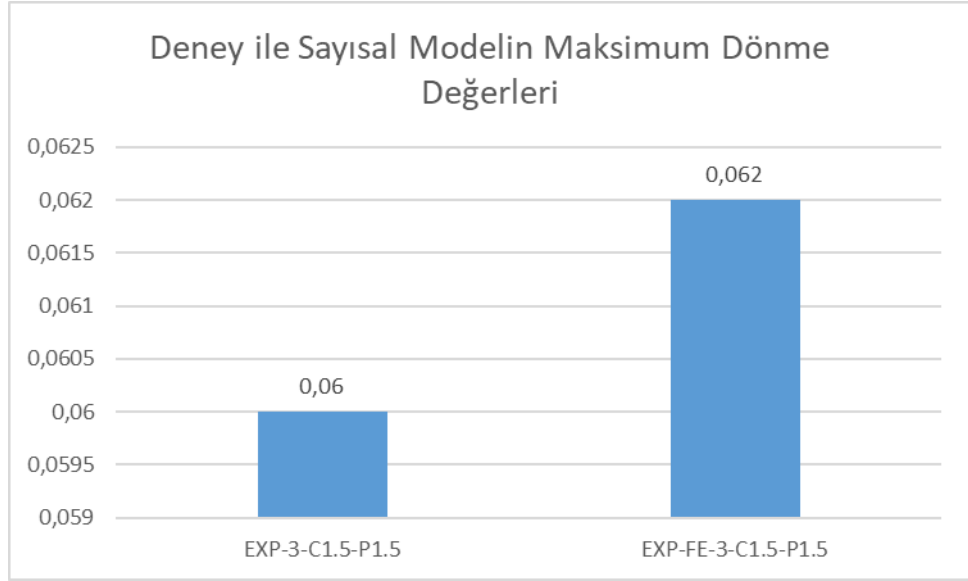
Şekil 4.32. EXP-3-C1.5-P1.5 ve EXP-FE-3-C1.5-P1.5 Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.8. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{\max} | F_{\max} | $\theta_{F_{\max}}$ | $\Delta_{F_{\max}}$ |
|--------------------|------------|------------|---------------------|---------------------|
| EXP-3-C1.5-P1.5 | 48,236 | 32,157 | 0,060 | -89,813 |
| EXP-FE-3-C1.5-P1.5 | 50,045 | 33,363 | 0,062 | -89,813 |

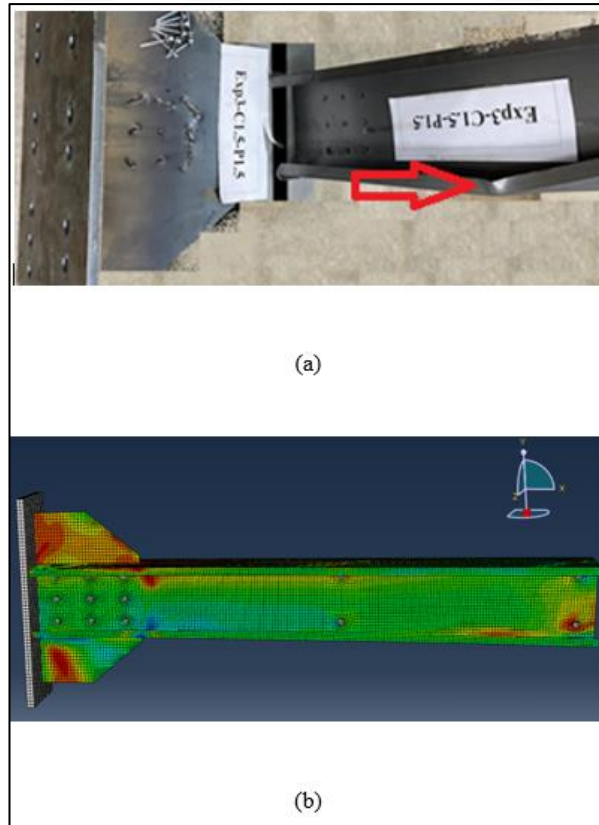


Şekil 4.33. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri



Şekil 4.34. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %3,61 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %3,23 artmıştır.

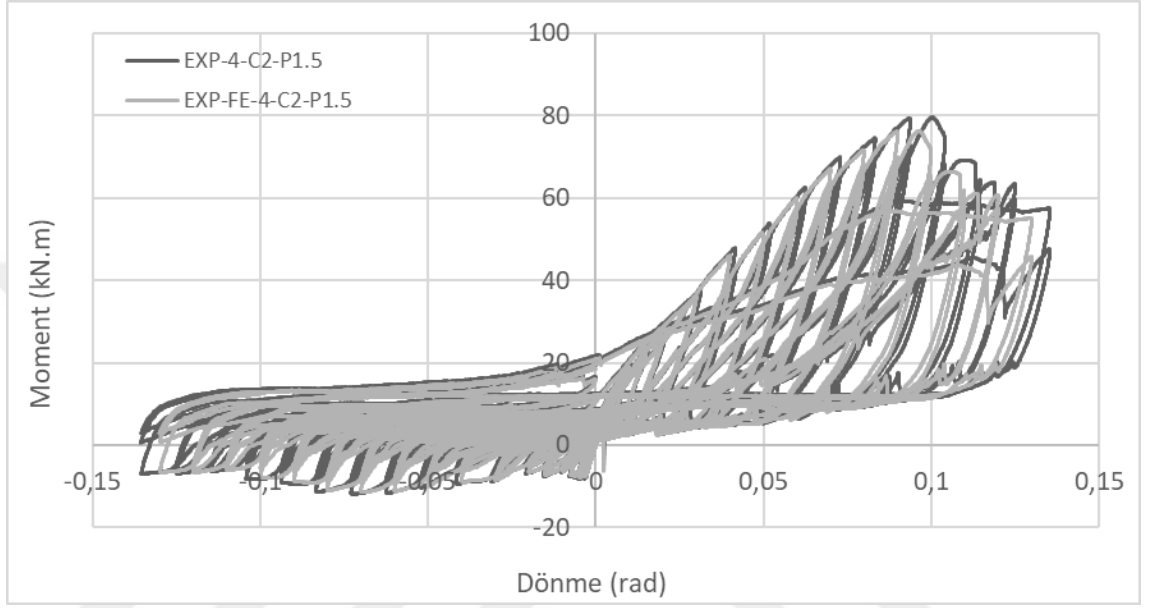


Şekil 4.35. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Literatürde olan dördüncü deney Exp4-C2-P1.5 deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmamıştır (Tavlaşoğlu 2022).

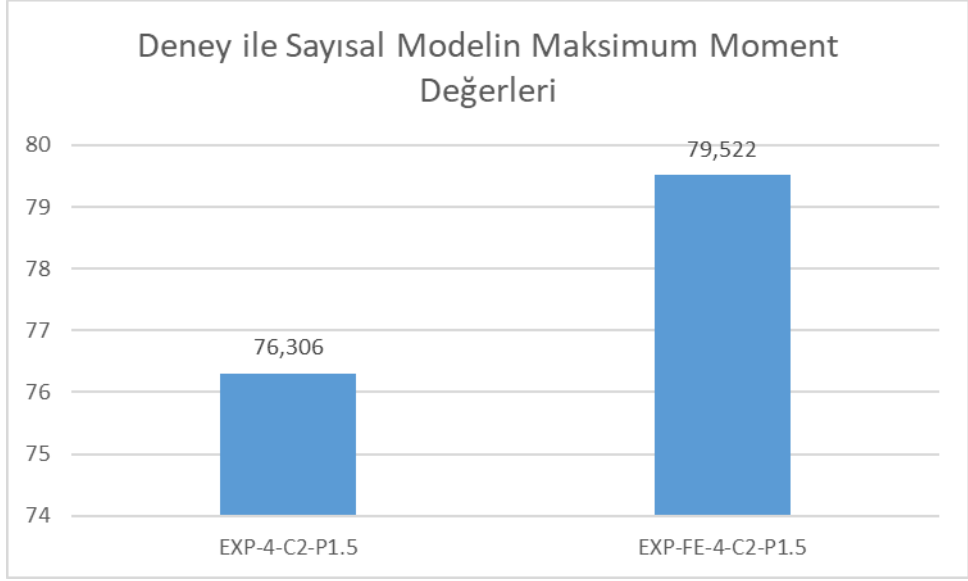
Exp4-C2-P1.5 ve Exp4-FE-C2-P1.5 grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir.



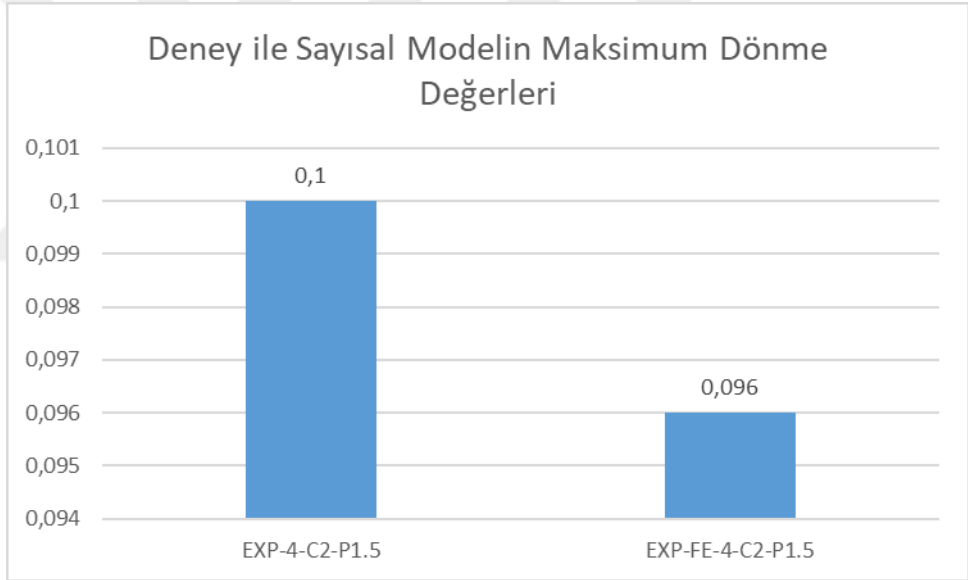
Şekil 4.36. EXP-4-C2-P1.5 ve EXP-FE-4-C2-P1.5 Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.9. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| EXP-4-C2-P1.5 | 76,306 | 50,871 | 0,100 | -143,823 |
| EXP-FE-4-C2-P1.5 | 79,522 | 53,015 | 0,096 | -143,823 |



Şekil 4.37. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

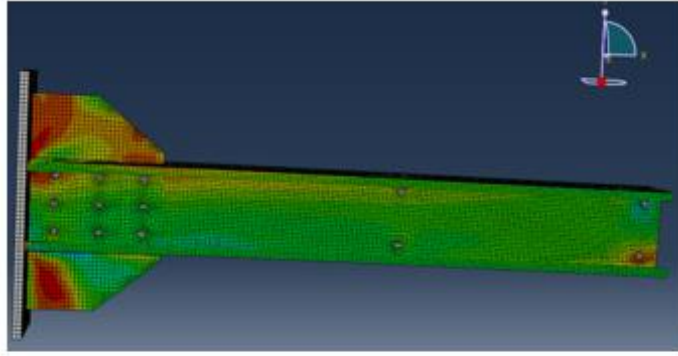


Şekil 4.38. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %4,04 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %4 artmıştır.



(a)



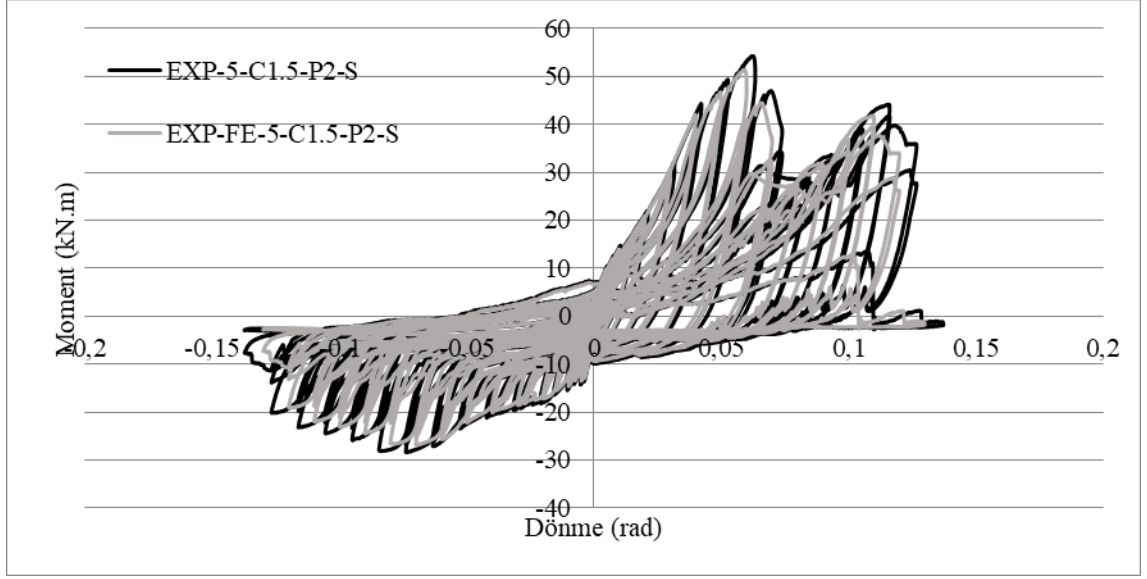
(b)

Şekil 4.39. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin G3rselleri

Literat3rdeki beŐinci deney Exp5-C1.5-P2-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 1.5 mm, guse levhası 2 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

Exp5-C1.5-P2-S ve Exp5-FE-C1.5-P2-S grafiği Şekil 4.40'da verilmiştir.

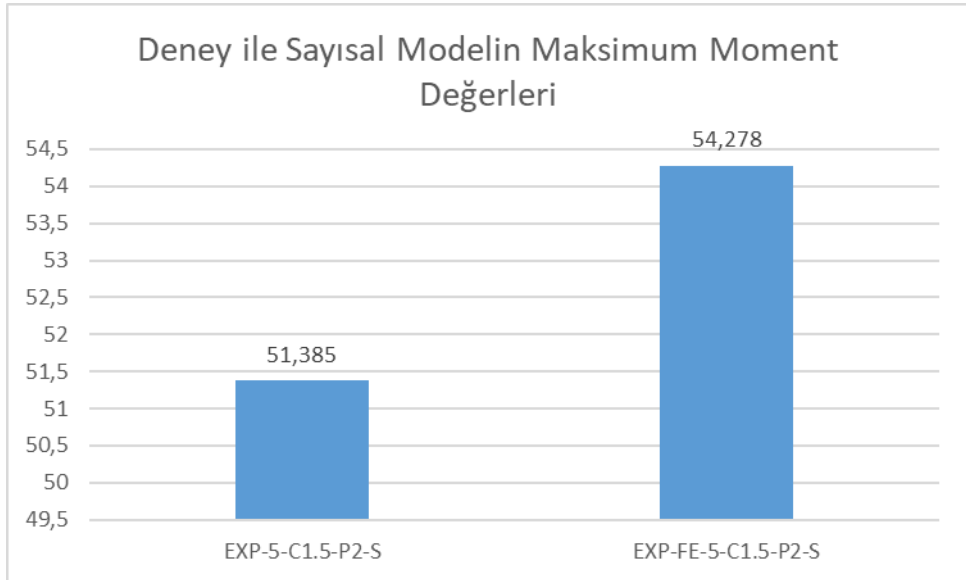
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



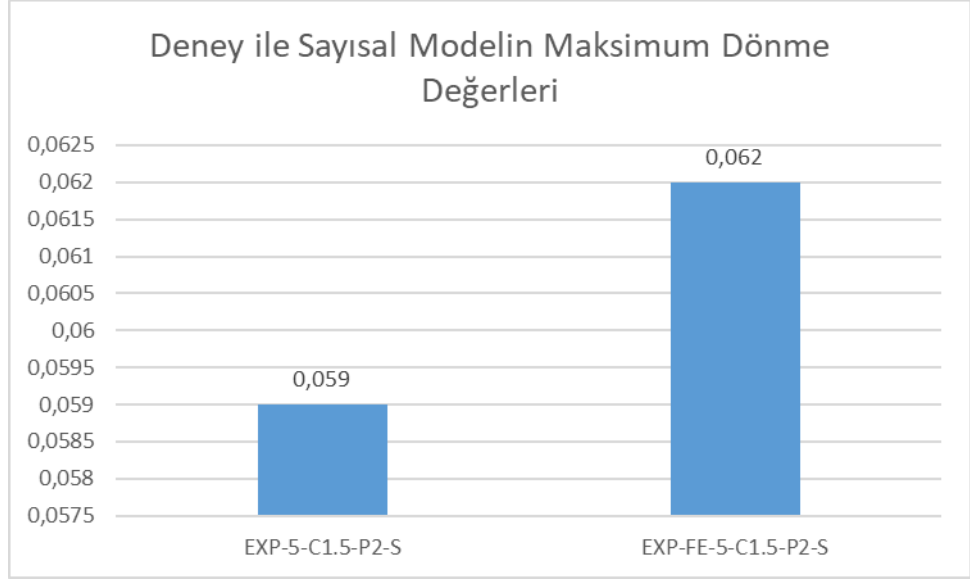
Şekil 4.40. EXP-5-C1.5-P2-S ve EXP-FE-5-C1.5-P2-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.10. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|--------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| EXP-5-C1.5-P2-S | 51,385 | 34,257 | 0,059 | -88,158 |
| EXP-FE-5-C1.5-P2-S | 54,278 | 36,185 | 0,062 | -88,406 |

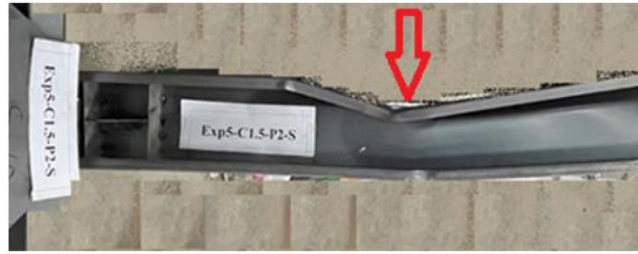


Şekil 4.41. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

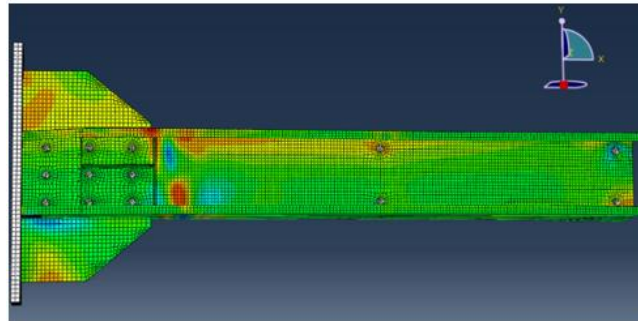


Şekil 4.42. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %5,33 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %5,11 artmıştır.



(a)



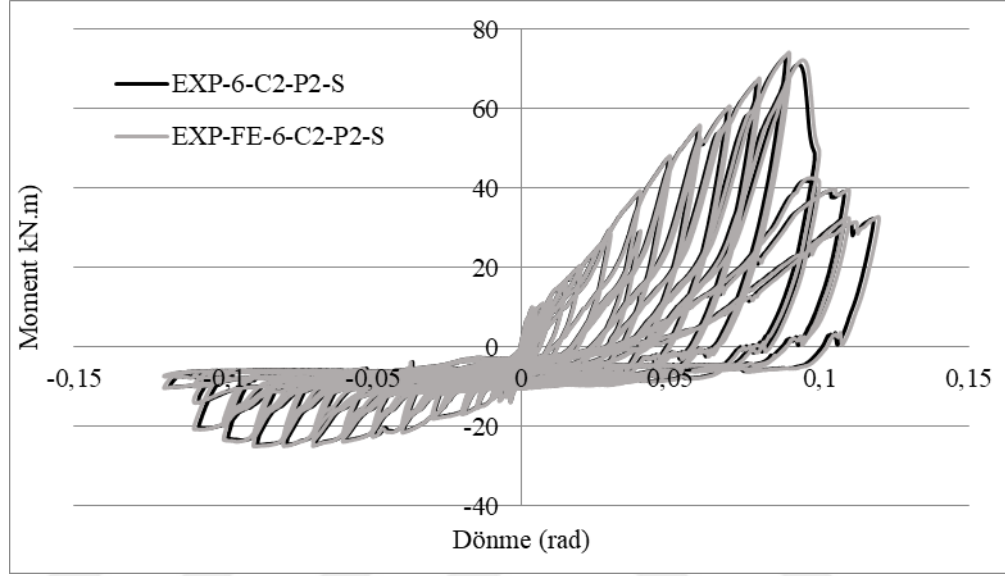
(b)

Şekil 4.43. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin Görselleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Literatürdeki altıncı deney Exp6-C2-P2-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 2 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır (Tavlaşoğlu 2022).

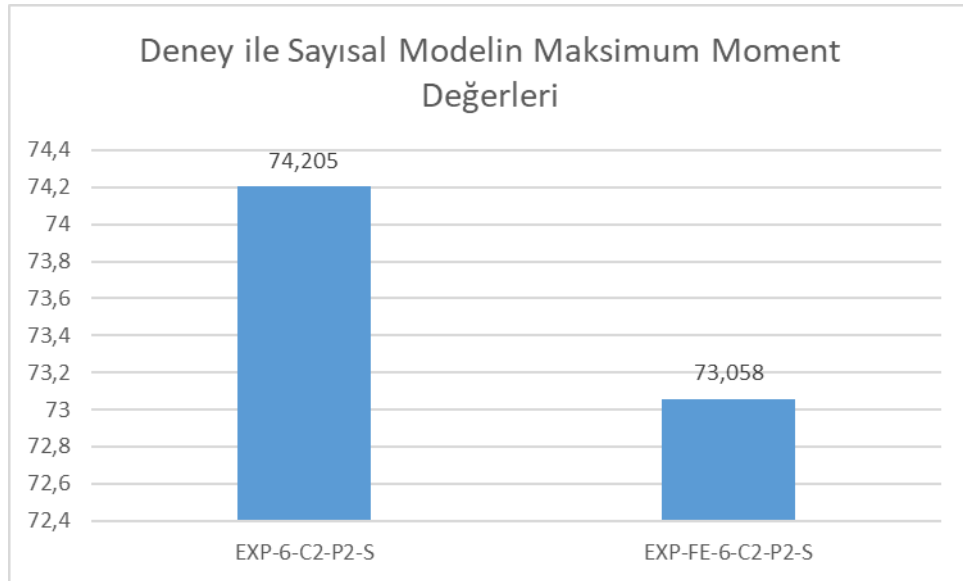
Exp6-C2-P2-S ve Exp6-FE-C2-P2-S grafiği Şekil 4.44'de verilmiştir.



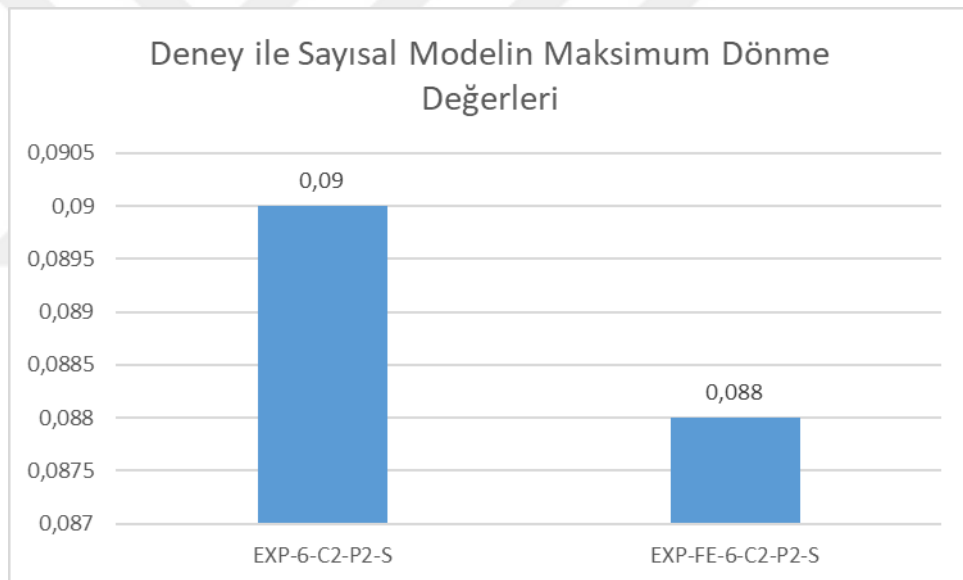
Şekil 4.44. EXP-6-C2-P2-S ve EXP-FE-6-C2-P2-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.11. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| EXP-6-C2-P2-S | 74,205 | 49,470 | 0,090 | -134,652 |
| EXP-6-FE-C2-P2-S | 73,058 | 48,705 | 0,088 | -134,652 |



Şekil 4.45. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

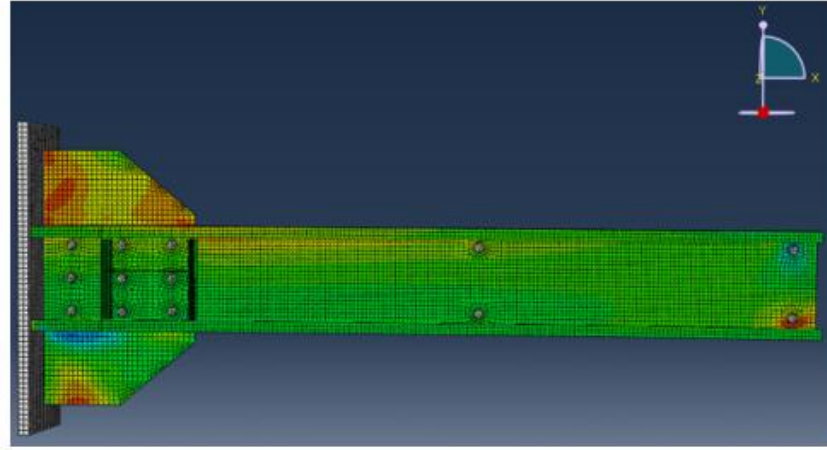


Şekil 4.46. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %1,55 azalmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %1,67 azalmıştır.



(a)

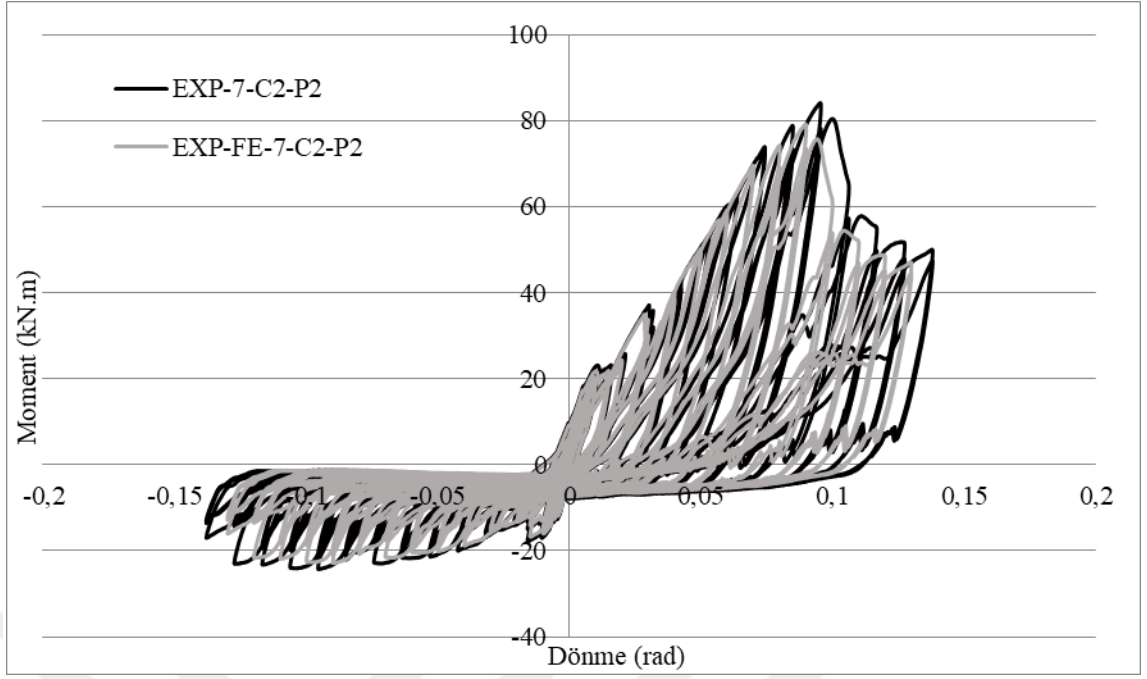


(b)

Şekil 4.47. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin G3rselleri

Literat3rdeki deney Exp7-C2-P2 deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 2 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmamıştır (Tavlaşoğlu 2022).

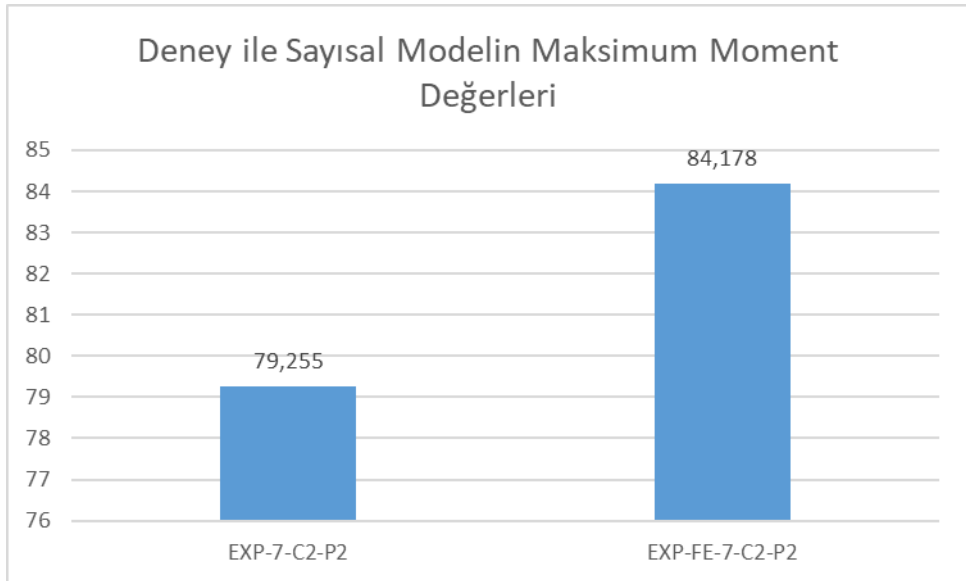
Exp7-C2-P2 ve Exp7-FE-C2-P2 moment-d3nme grafiği Şekil 4.48'de verilmiştir.



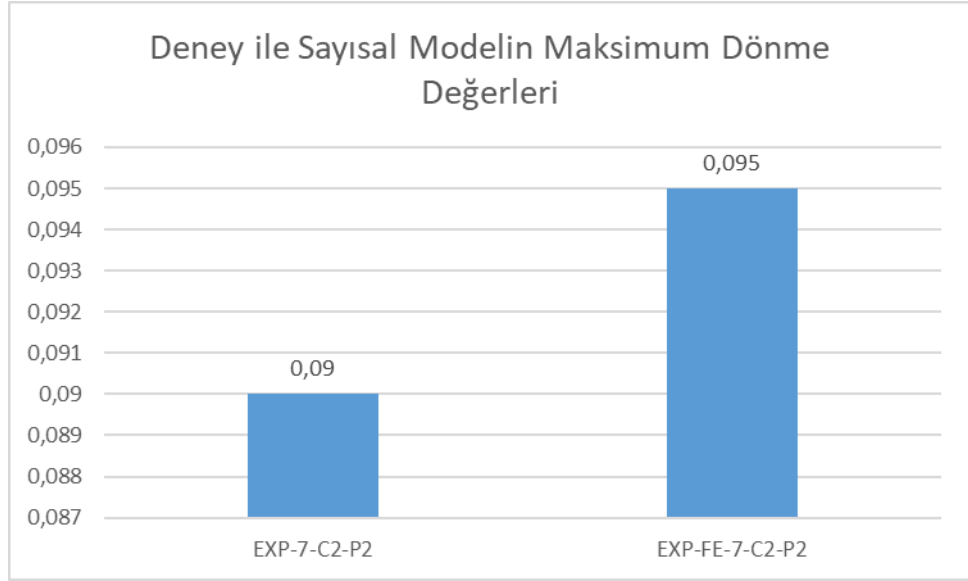
Şekil 4.48. EXP-7-C2-P2 ve EXP-FE-7-C2-P2 Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.12. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | ΔF_{max} |
|----------------|-----------|-----------|-----------------|------------------|
| EXP-7-C2-P2 | 79,255 | 52,837 | 0,090 | -134,629 |
| EXP-FE-7-C2-P2 | 84,178 | 56,119 | 0,095 | -134,629 |

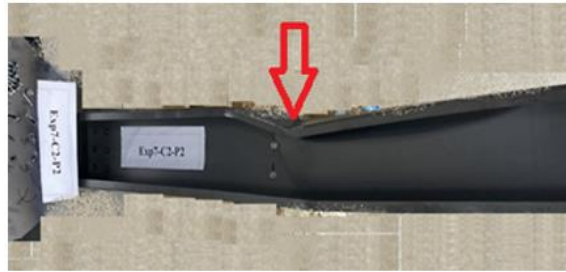


Şekil 4.49. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

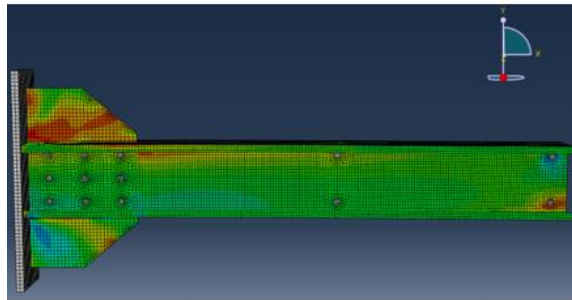


Şekil 4.50. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %5,85 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %5,80 artmıştır.



(a)



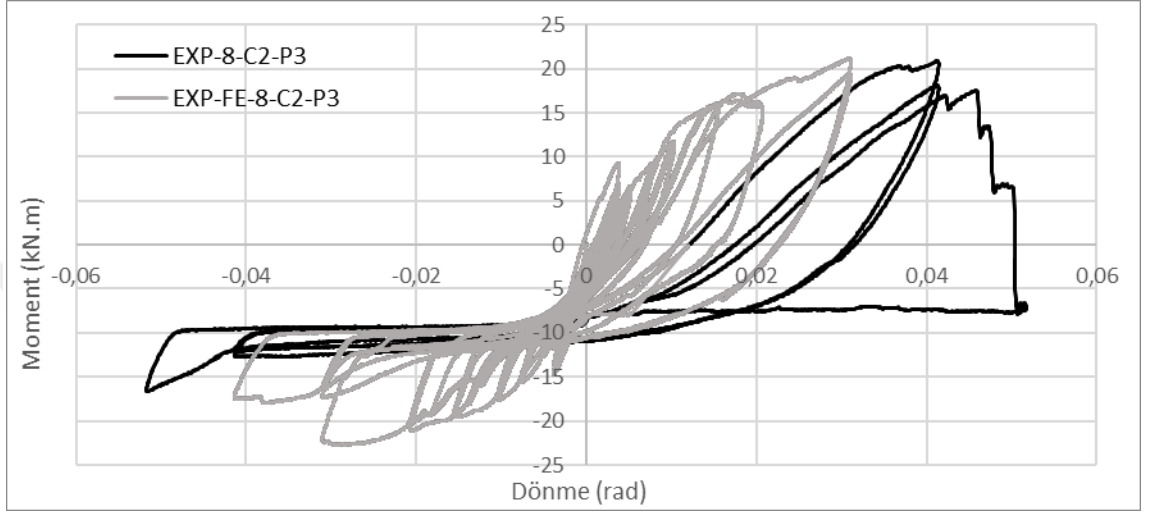
(b)

Şekil 4.51. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin GörSELLERİ

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Literatürdeki deney Exp8-C2-P3 deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 3 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmamıştır (Tavlaşoğlu 2022).

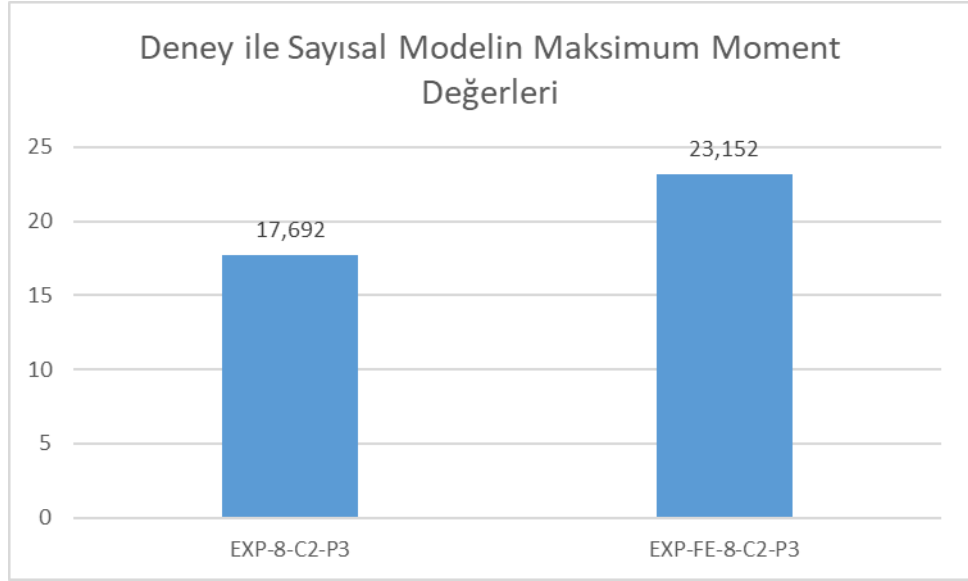
Exp8-C2-P3 ve Exp8-FE-C2-P2 moment-dönme grafiği Şekil 4.52'de verilmiştir.



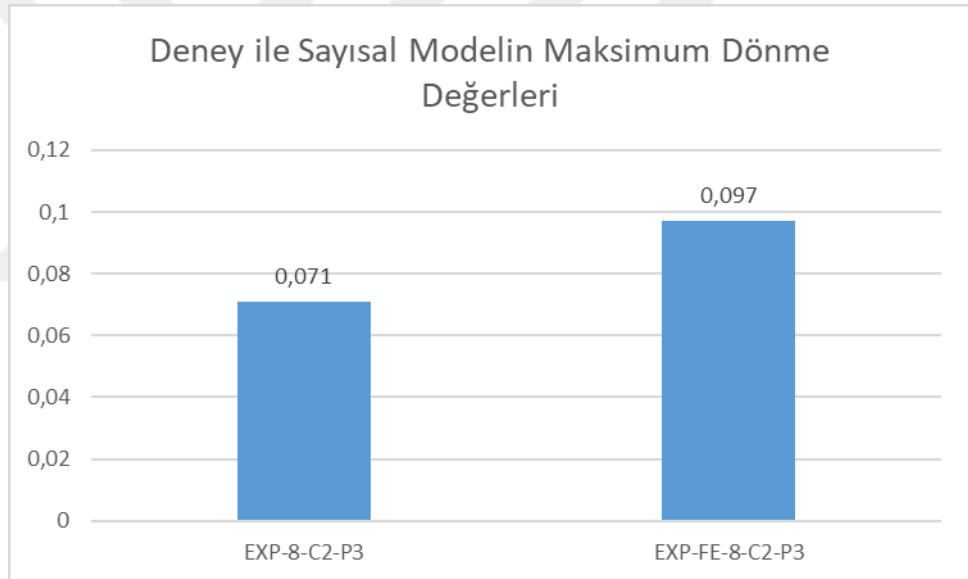
Şekil 4.52. EXP-8-C2-P3 ve EXP-FE-8-C2-P3 Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.13. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|----------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| EXP-8-C2-P3 | -17,692 | -13,612 | 0,071 | 42,465 |
| EXP-8-FE-C2-P3 | -23,152 | -17,695 | 0,097 | -44,758 |



Şekil 4.53. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

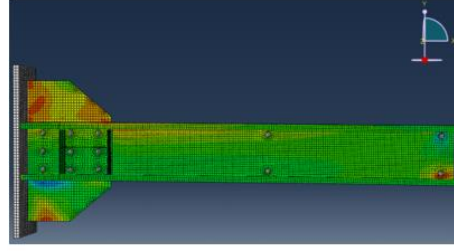


Şekil 4.54. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %3,55 azalmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %3,84 artmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.55. (a)Deney ve (b)ABAQUS Modelinin GörSELLERİ

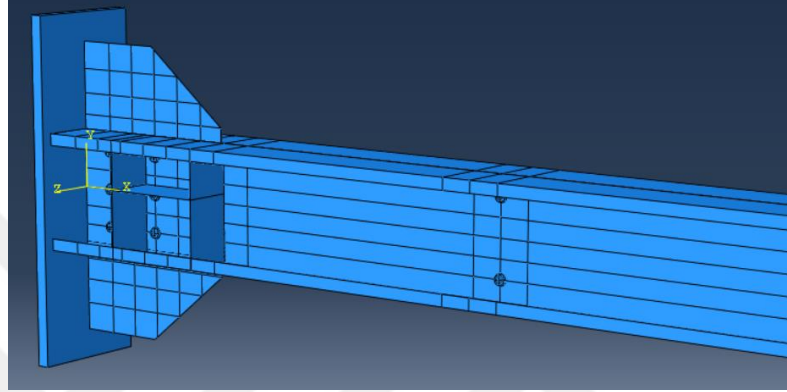
ABAQUS sonlu eleman modeli ile literatürdeki deney modelleri arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %2 ile %6 arasında değer farklılıkları, maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %0,05 ile %5 arasında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu değerlerde malzeme üretim hatası, imalat hatası vb. ya da deney düzeneği hazırlanırken yapılacak hatalardan kaynaklanabilmektedir.

Sonuç olarak ABAQUS sonlu eleman analiz programı ile deney düzeneğinde yapılmış deneyler arasında çok büyük farklılıklar olmadığı literatürdeki deneyler sayesinde tekrardan teyit edilmiştir.

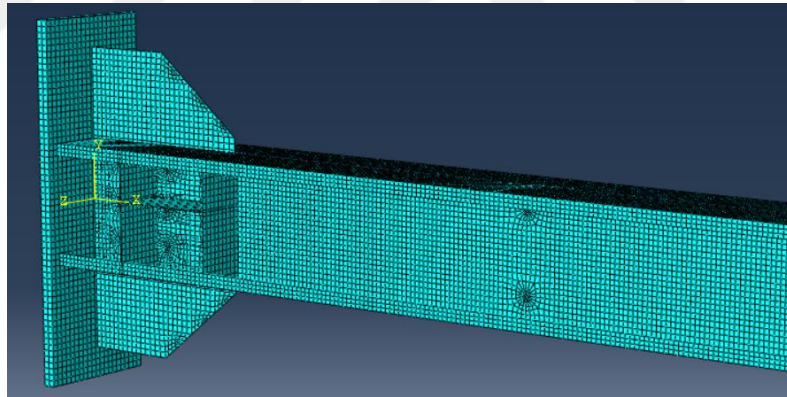
Bu sonuçlar üzerine deneylerimizin ABAQUS modeli yapıp onlarda kendi içlerinde değerlendirilmiştir.

4.1.5 Yangına maruz kalmış deney numuneleri ile abaqus modellerinin incelenmesi

ABAQUS de yapmış olduğumuz birinci deney D1-FE-C1.5-P1.5-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 1,5 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır.

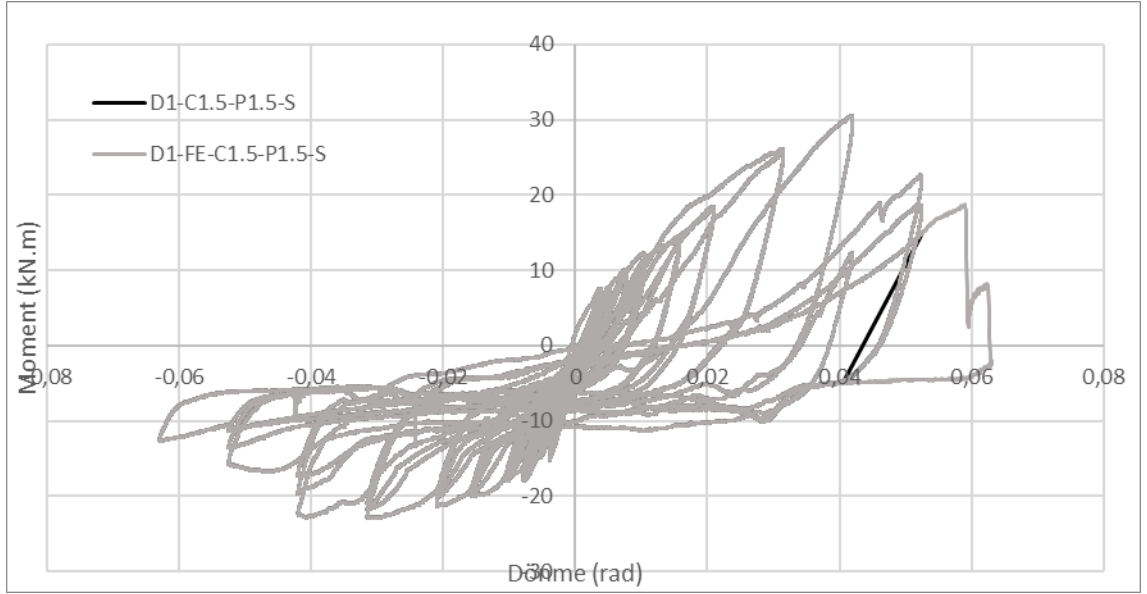


Şekil 4.56. D1-FE-C1.5-P1.5-S ABAQUS Deney Modeli



Şekil 4.57. D1-FE-C1.5-P1.5-S ABAQUS Deney Mesh Modeli

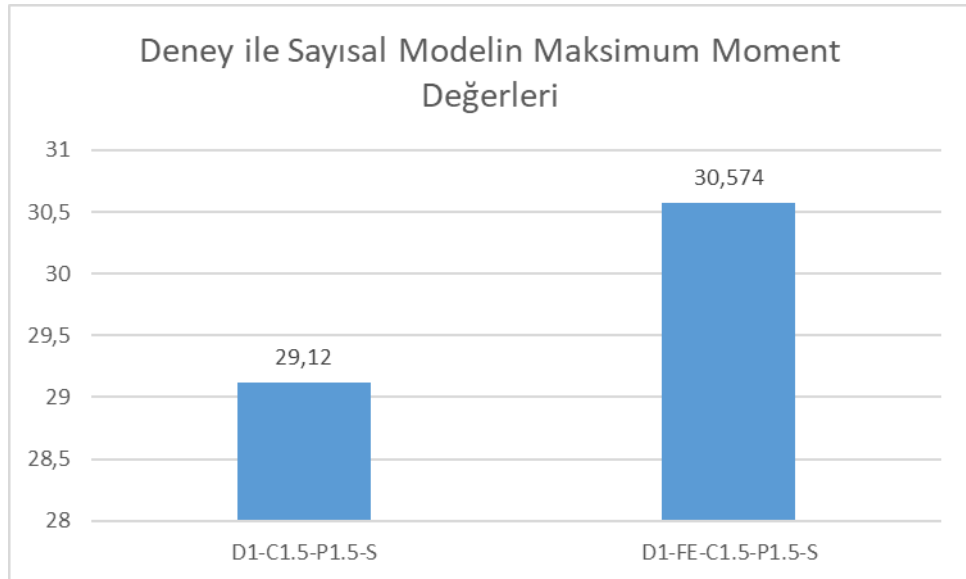
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



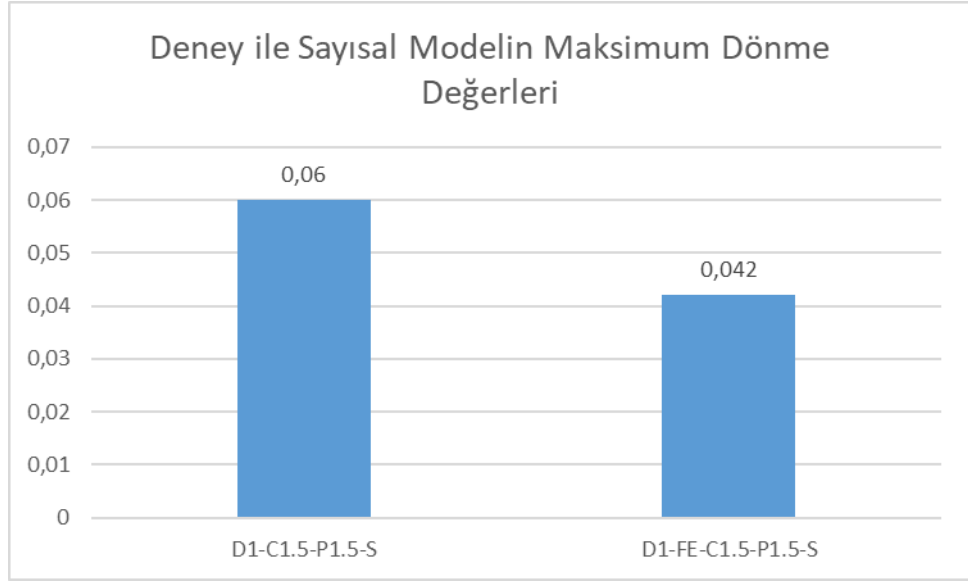
Şekil 4.58. D1-C1.5-P1.5-S ve D1-FE-C1.5-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.14. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|-------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| D1-C1.5-P1.5-S | 29,120 | 12,940 | 0,060 | -59,670 |
| D1-FE-C1.5-P1.5-S | 30,574 | 13,588 | 0,042 | -59,671 |

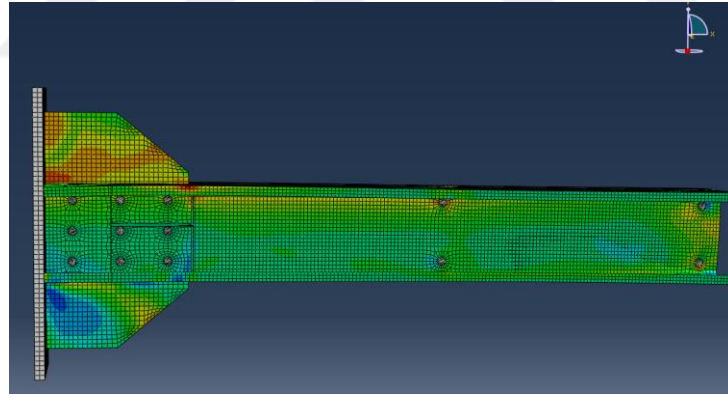


Şekil 4.59. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

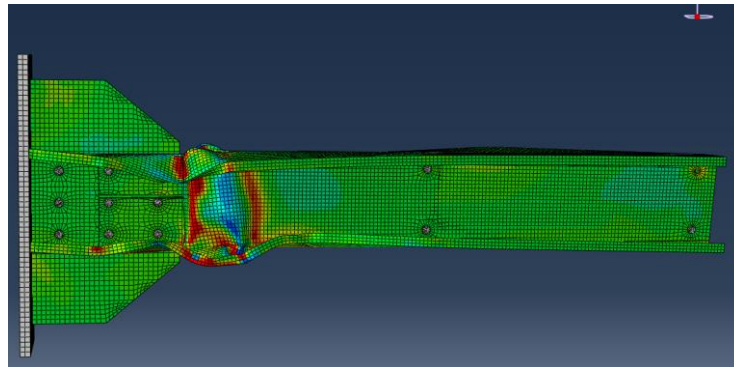


Şekil 4.60. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

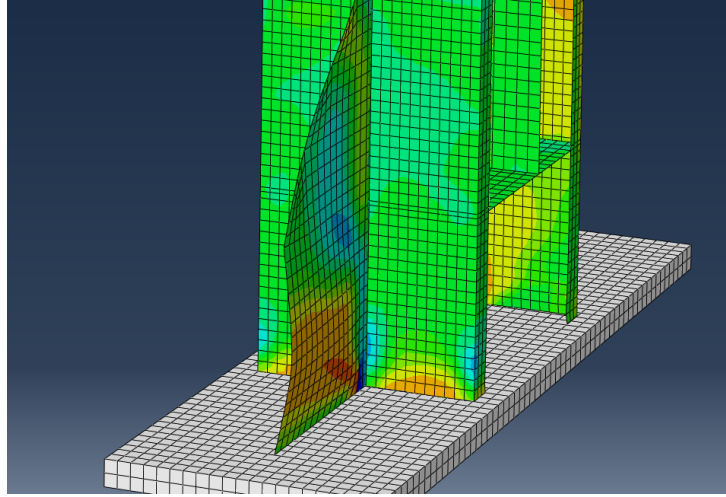
ABAQUS sonlu eleman modeli ile deney modeli arasında maksimum kuvvet değeri (F_{max}) ve maksimum moment değeri (M_{max}) %4,76 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %4,76 artmıştır.



Şekil 4.61. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli

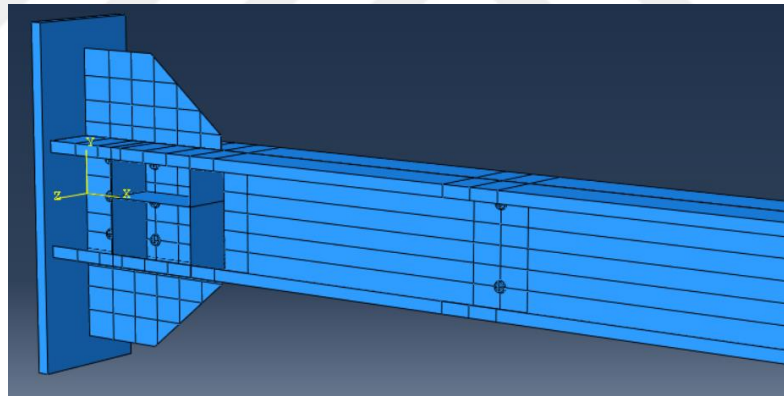


Şekil 4.62. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli Kiriş Burkulması

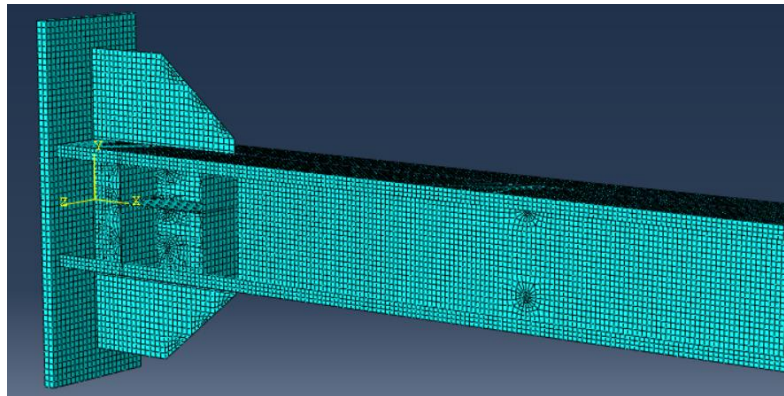


Şekil 4.63. D1-FE-C1.5-P1.5-S Modeli Guse Levhası Burkulması

ABAQUS de yapmış olduğumuz ikinci deney D2-FE-C2-P1.5-S deneyi olup kiriş profili kalınlığı 2 mm, guse levhası 1,5 mm'dir. Bu deney numunesinde berkitme levhası kullanılmıştır.

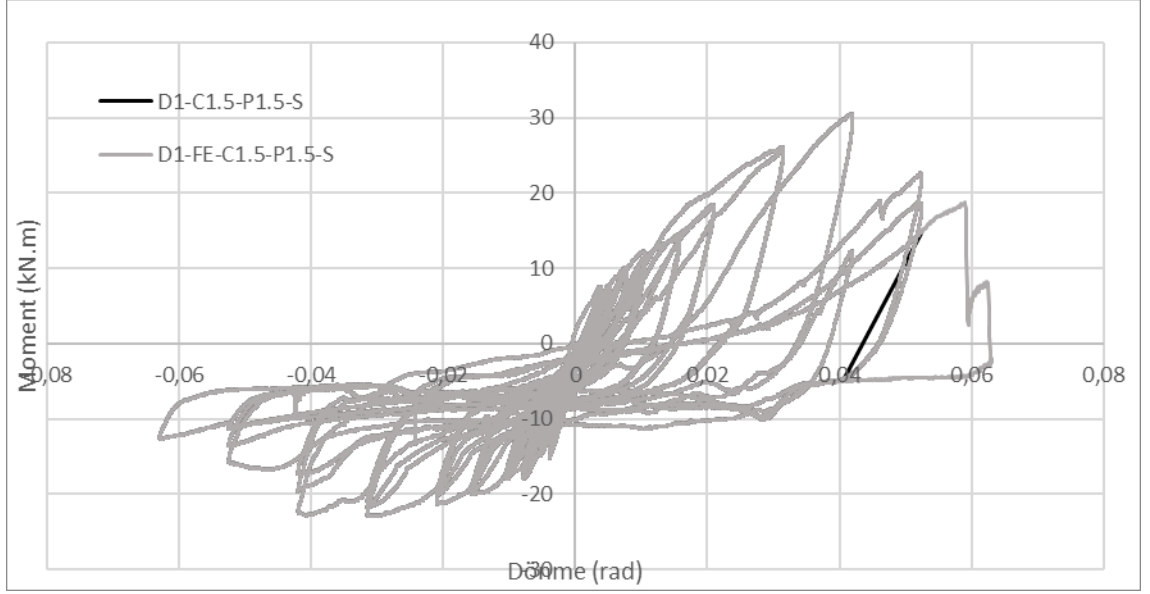


Şekil 4.64. D2-FE-C2-P1.5-S Deney Modeli



Şekil 4.65. D2-FE-C2-P1.5-S Deney Mesh Modeli

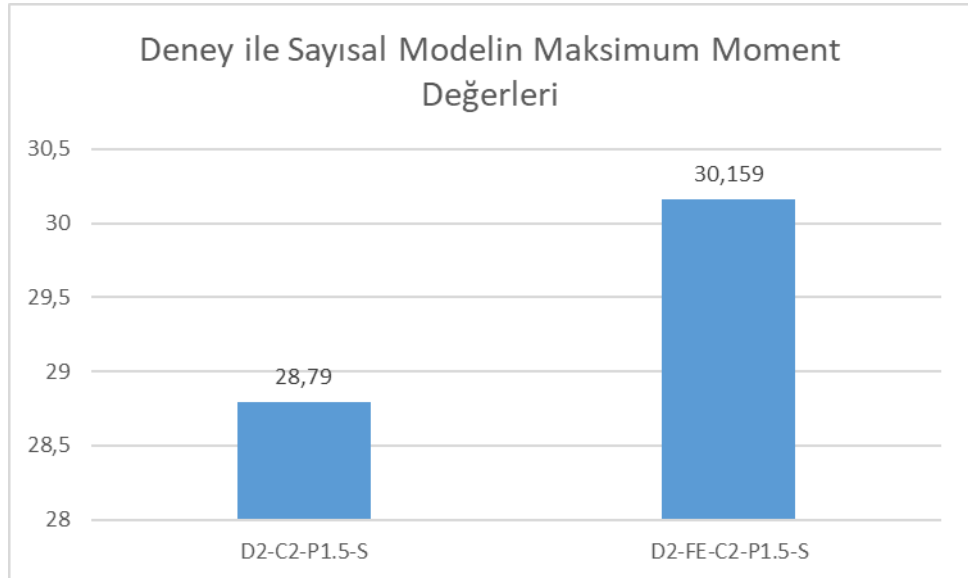
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



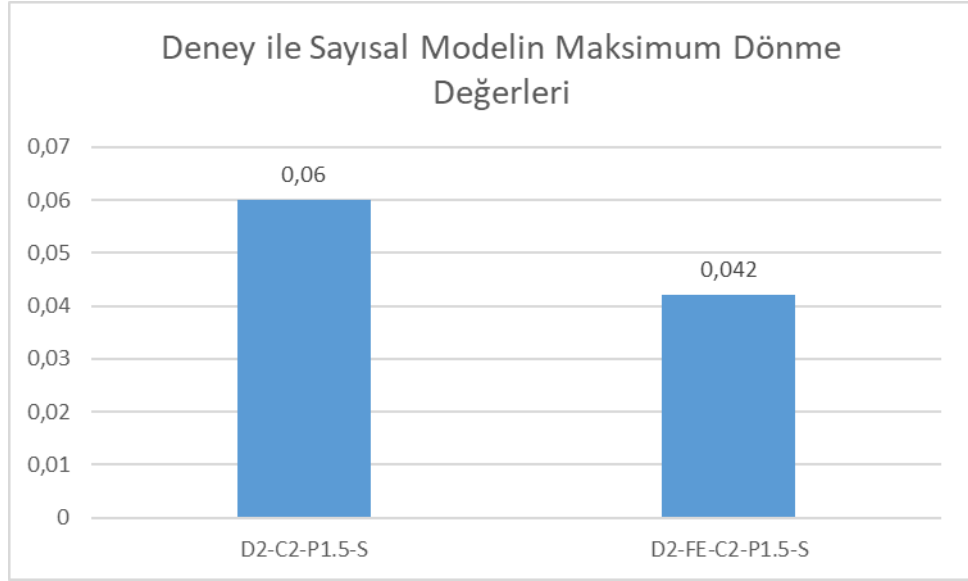
Şekil 4.66. D2-C2-P1.5-S ve D2-FE-C2-P1.5-S Moment-Dönme Grafiği

Çizelge 4.15. Deney ve ABAQUS Modeli Değerleri

| | M_{max} | F_{max} | θ_{Fmax} | Δ_{Fmax} |
|-----------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| D2-C2-P1.5-S | 28,790 | 12,820 | 0,060 | -59,460 |
| D2-FE-C2-P1.5-S | 30,159 | 13,404 | 0,042 | -59,550 |

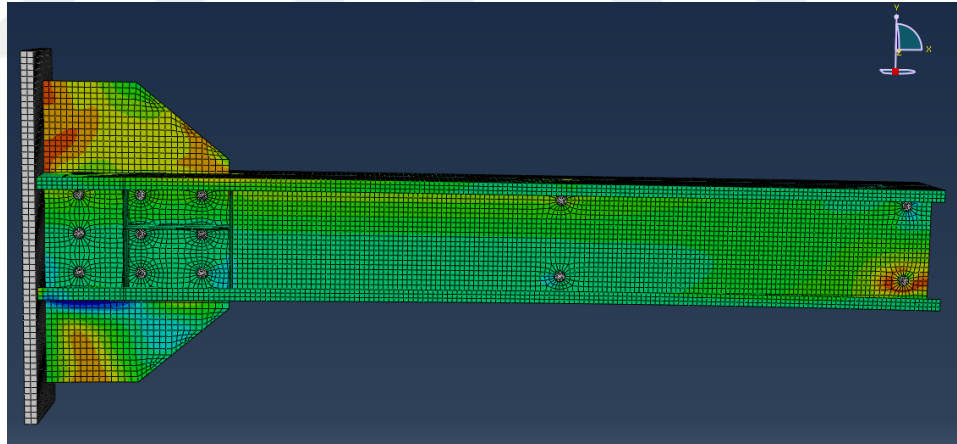


Şekil 4.67. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Moment Değerleri

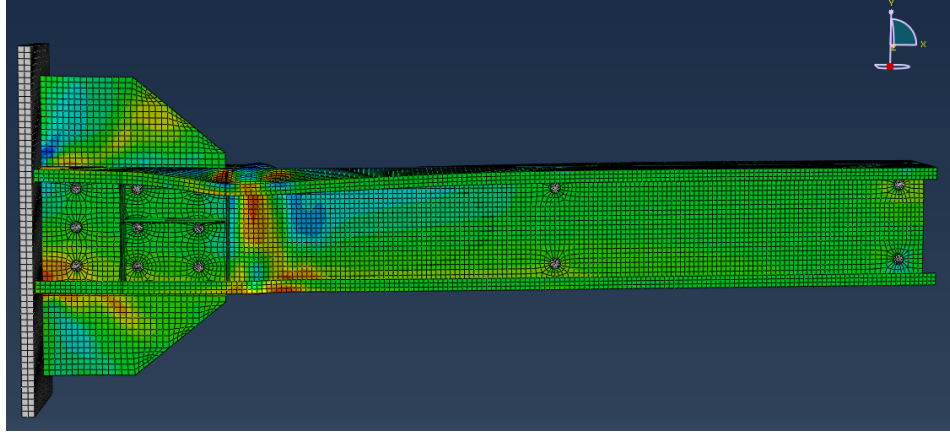


Şekil 4.68. Deney ile Sayısal Modelin Maksimum Dönme Değerleri

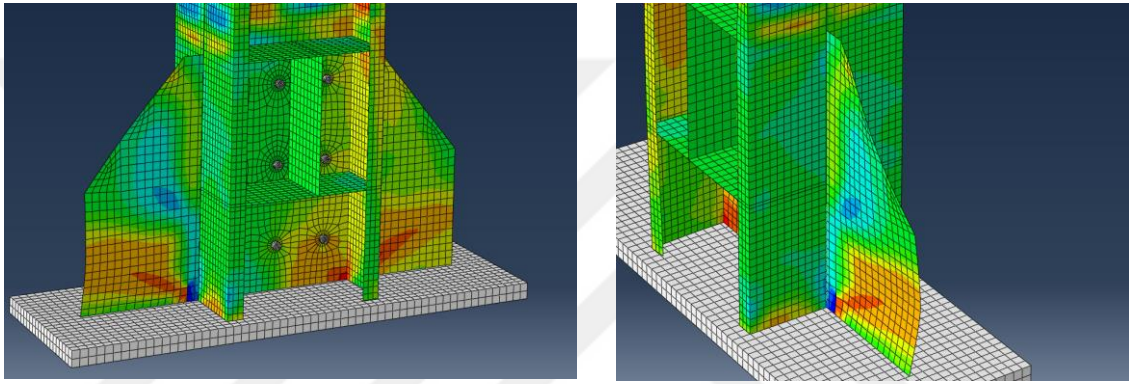
ABAQUS sonlu eleman modeli ile deney modeli arasında maksimum kuvvet değeri (Fmax) ve maksimum moment değeri (Mmax) %4,54 artmıştır. Maksimum yer değiştirme değeri (ΔF_{max}) ve maksimum dönme değeri (θF_{max}) %6,67 artmıştır.



Şekil 4.69. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli



Şekil 4.70. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli Kiriş Burkulması



Şekil 4.71. D2-FE-C2-P1.5-S Modeli Guse Levhası Burkulması

Sonuç olarak ABAQUS sonlu eleman analiz programı ile deney düzeneğinde yapılmış deneyler arasında çok büyük farklılıklar olmadığı bu farklılık değerlerinin de %3 ile %6 arasında farklılıklar göstermiştir. Bu sonuçlar deneylerle aynı göçme modları görüldüğünden ABAQUS sonlu eleman analiz programının gerçekte çok yakın değerler verdiği kanaatine varılmıŐtır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hafif çelik yapılarda vidalı kolon-kiriş birleşiminin yangından sonra döngüsel yükler etkisi altındaki davranışını belirlemek için 2 farklı kalınlıkta çift C profil, tek kalınlıkta guse levhası kullanılarak, berkitmeli olarak 2 adet deney numunesine döngüsel yük uygulanarak deneysel çalışma yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmaları ABAQUS sonlu eleman programı ile de modellenip gerçek deney ile sayısal yöntem arasında nasıl farklılıklar olup olmadığı incelenmiştir. Bu deneylerin daha doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek amacıyla daha önceden yapılmış literatürdeki deneylerinde ABAQUS sonlu eleman programında modellenip kıyaslamaları tek tek yapılmıştır. Yapılan deneylerden birleşimlerin moment-dönme eğrileri elde edilmiş, bu eğrilerden elde edilen bilgiler ile birleşimlerin karakteristik özelliklerinden olan rijitlik, maksimum moment ve dönme kapasitesi değerleri değerlendirilmiştir. Ayrıca birleşimlerin göçme modları belirlenmiştir. C profil kalınlıkları 1,5 mm veya 2 mm olarak seçilmiştir. Kullanılan guse levhasının kalınlığı ise 1,5 mm' dir. Deney sonuçları C profil kalınlığına göre 2 farklı grupta değerlendirilmiştir.

Deney ve sayısal yöntem arasında maksimum %6 gibi bir fark meydana gelmiştir. Bunun sebebi de deney numuneleri hazırlanırken küçük hatalardan dolayı meydana gelmiş olabilir. Literatürdeki deneylerde de aynı konu söz konusudur. Literatürdeki deneylerle bu deneylerin kıyaslamasını yaptığımızda yangına maruz kalmış deneylerde %60 gibi bir dayanım kaybı meydana gelmiştir. Bu da birleşimin en zayıf halkası olan akıllı vidalarda görülmüştür. Hatta deney olarak 2 farklı C profil kalınlığı kullanılmasına rağmen deneyler nerdeyse aynı yükler altında göçmeler meydana gelmiştir.

Yangına maruz bırakılmış birleşimlerde, yangına maruz kalmamış birleşimlere kıyasla daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bu da birleşimlerin yangından sonra taşıma kapasitelerinin büyük ölçüde kaybettiği gözlemlenmiştir. Bu durumda birleşimlerin tasarımı yapılırken plaka kalınlıkları ve cıvata boyutları yönetmelikler doğrultusunda en optimum şekilde tasarlanmalı ve uygulanmalıdır.

Aynı zamanda birleşimlerin plakalarını arttırıp cıvataları aynı bıraktığımız zaman literatürde de görüldüğü üzere cıvataların daha narin kalmasından dolayı yük taşıma kapasiteleri düşmüştür. Bundan dolayı sadece plaka kalınlığını arttırıp cıvataları değiştirmedığımız zaman daha da kötü sonuçlar alabilmekteyiz. Bu yüzden birleşim tasarımını yaparken yönetmeliklerde belirtildiği gibi plaka ve profil kalınlıklarına göre cıvata boyutunun da bu kalınlıklara uyumlu bir şekilde seçilmelidir.

Bu deneyde de görüldüğü üzere yangına maruz kalmış numunelerde dayanım kaybını önlemek için profil kalınlığı, guse levhası kalınlığının önemli olmadığı görülmüştür. Yangına maruz kalabilecek yapılar için ve birleşim elemanları için pasif yangın koruyucularla (boya vs.) birlikte aktif yangın sistemlerini kullanmak gerektiği öngörülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abdollahzadeh, G., Hashemi, S. M., Tavakoli, H. ve Rahami, H. 2014. Determination of hysteretic behavior of steel end-plate beam-to-column connection with mechanical and neural network modeling. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11), 7661-7671.
- AISI 2007, North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, Screw Connections. Missouri.
- Aydin, A. C., Kiliç, M., Maali, M. and Sağıroğlu, M. 2015. Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles and stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 114, 338-348.
- Azizinamini, A. and Radziminski, J. B. 1989. Static and cyclic performance of semirigid steel beam-to-column connections. *Journal of Structural engineering*, 115(12), 2979-2999.
- Bučmys, Ž. and Šaučiuvėnas, G. 2013. The behavior of cold formed steel structure connections. *Engineering Structures and Technologies*, 5(3), 113-122.
- Büyüksişli, A. B. 2004. Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlardan oluşan çerçeve duvarı için deneysel ve teorik çalışma. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Mühendisliği Anabilim Dalı, 86, İstanbul.
- Cai, Y. ve Young, B. 2019. Structural behaviour of cold-formed stainless steel bolted connections at post-fire condition 152, 312-321
- Castiglioni, C. A., Pucinotti, R. 2009. Failure criteria and cumulative damage models for steel components under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(4), 751-765.
- Chen, S. J., Chao, Y. C. 2001. Effect of composite action on seismic performance of steel moment connections with reduced beam sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(4), 417-434.
- Cirpici, B., Orhan, S., Kilic, M., Maali, M. ve Sagiroglu, M. 2021. Experimental Behavior of Cold-Formed Stainless Steel Screwed Beam-Column Connections at Post-Fire Condition, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 45, 1593-1638.
- Coşkun M. T., 2003, Çelik yapılarda yarı-rijit birleşim tiplerinin çerçeve boyutlandırmasına etkileri, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 241, İstanbul.
- Craveiro, H. D., Paulo, J., Rodrigues, C., and Laím, L. 2016. Buckling resistance of axially loaded cold-formed steel columns. *Thin-Walled Structures*, 106, 358-375.
- Driver, R. G., Kulak, G. L., Kennedy, D. L. and Elwi, A. E. 1998. Cyclic test of four-story steel plate shear wall. *Journal of Structural Engineering*, 124(2), 112-120.

- Engelhardt, M. D. and Husain, A. S. 1993. Cyclic-loading performance of welded flange-bolted web connections. *Journal of Structural Engineering*, 119(12), 3537-3550.
- Ghassemieh, M. and Rahimzadeh, A. 2018. Impact of loading protocol on the performance of the steel moment frame connections. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(2), 115-138.
- Jiao, Y., Kishiki, S. and Yamada, S. 2012. Loading Protocols Employed in Evaluation of Seismic Behavior of Steel Beams in Weak-Beam Moment Frames, 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September, Book of Abstract, 18, 14450-14460, Lisbon, Portugal.
- Kalemci B., Okay F., Akpınar E., 2019. Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Karşısındaki Mekanik Davranışı, 4. Uluslararası Mimarlık Mühendislik ve Tasarım Kongresi, 23-24 Nisan, İstanbul.
- Kılıç Mahmut. 2014. Korniyerli and Berkitmeli Birleşimlerin Moment-Dönme Davranışının Araştırılması. Y. Lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Kim, T. W., Wilcoski, J., Foutch, D. A. and Lee, M. S. 2006. Shakedown tests of a cold-formed steel shear panel. *Engineering Structures*, 28(10), 1462-1470.
- Krawinkler, H. 2009, October. Loading Histories for Cyclic Tests in Support of Performance Assessment of Structural Components, 3rd International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, 15-16 October, 2-9, San Francisco.
- Kwon, Y. B., Chung, H. S. and Kim, G. D. 2006. Experiments of cold-formed steel connections and portal frames. *Journal of Structural Engineering*, 132(4), 600-607.
- Lam, S. S. E., Chung, K. F. and Wang, X. P. 2006. Load-carrying capacities of cold-formed steel cut stub columns with lipped C-section. *Thin-Walled Structures*, 44(10), 1077-1083.
- Lim, J. B., Nethercot, D. A. 2003. Ultimate strength of bolted moment-connections between cold-formed steel members. *Thin-Walled Structures*, 41(11), 1019-1039.
- Liu, X. Y., Wang, Y. Q., Xiong, J. and Shi, Y. J. 2017. Damage behavior of steel beam-to-column connections under inelastic cyclic loading. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 18(11), 910-926.
- Maali, M. 2016 Yarı-Rijit birleşimlerde moment-dönme davranışlarının deneysel ve sayısal incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 305, Erzurum.
- Maali, M., Sagirolu, M. ve Solak, M. S. 2018. Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9), 1-6.
- Mermer, O. 2008. Hafif çelik konutlarda yangın güvenliği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 123, Konya.

- Özkan, E. 2002. Çelik yapı bileşenlerinde alınması gereken yangın güvenlik önlemleri ve bir uygulama örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 112, Ankara.
- Pachoumis, D. T., Galoussis, E. G., Kalfas, C. N., Christitsas, A. D. 2009. Reduced beam section moment connections subjected to cyclic loading: Experimental analysis and FEM simulation. *Engineering Structures*, 31(1), 216-223.
- Sabbagh, A. B., Petkovski, M., Pilakoutas, K., Mirghaderi, R. 2013. Cyclic behaviour of bolted cold-formed steel moment connections: FE modelling including slip. *Journal of Constructional Steel Research*, 80, 100-108.
- Senger, D. 2021. Hafif çelik çerçevelerde yangına karşı boya koruması yapılan vidalı kolon-kiriş birleşimlerinin yangın sonrası davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 85, Erzurum.
- Serror, M. H., Hassan, E. M. and Mourad, S. A. 2016. Experimental study on the rotation capacity of cold-formed steel beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 216-228.
- Shamim, I., DaBreo, J. and Rogers, C. A. 2013. Dynamic testing of single-and double-story steel-sheathed cold-formed steel-framed shear walls. *Journal of Structural Engineering*, 139(5), 807-817.
- Shen, J. and Astanteh-Asl, A. 1999. Hysteretic behavior of bolted-angle connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 51(3), 201-218.
- Solak, M. S. 2019. Hafif çelik çerçevelerde vidalı kiriş-kolon birleşimlerinin deneysel davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 76, Erzurum.
- Stone, T. A., LaBoube, R. A. 2005. Behavior of cold-formed steel built-up I-sections. *Thin-Walled Structures*, 43(12), 1805-1817.
- Tahir, M. M., Hamid, H. A., Tan, C. S. and Mahendran, M. 2011. Structural Behavior of Screwed Beam-to-Column Moment Connections with Cold-Formed Steel Members, 6th International Symposium on Steel Structures (ISSS 2011), 3-5 November, Book of Abstract, 503-510, Seoul, Korea.
- Tavlaşoğlu, M. E. 2022. Hafif çelik yapılarda vidalı kolon kiriş birleşiminin döngüsel yükler altındaki davranışının deneysel olarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 121, Erzurum.
- TC 7- TWG 7.10. 2009. The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections 2nd edition. European Convention for Constructional Steelwork, 42, Portugal.
- Telue, Y., Mahendran, M. 2001. Behaviour of cold-formed steel wall frames lined with plasterboard. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(4), 435-452.

- Tüylüoğlu, O. 2019. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik profillerin bulon ile bağlantı hesapları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 127, Ankara.
- Whittle, J., Ramseyer, C. 2009. Buckling capacities of axially loaded, cold-formed, built-up C-channels. *Thin-Walled Structures*, 47(2), 190-201.
- Wong, M., ve Chung, K. 2002. Structural behaviour of bolted moment connections in cold-formed steel beam-column sub-frames, *Journal of Constructional Steel Research* 58, 253-311.
- Yazıcı, C. 2018. Hafif Çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşim (berkitmeli) davranışının deneysel olarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 106, Erzurum.
- Yu, C., Schafer, B. W. 2003. Local buckling tests on cold-formed steel beams. *Journal of Structural Engineering*, 129(12), 1596-1606.
- Yu C. and Sheerah I. 2008. Cold-Formed Steel Bolted Connections Without Washers on Oversized and Slotted Holes. Department of Engineering Technology University of North Texas Denton. Texas.
- Yu, W.W. and LaBoube, R. A. 2010. Cold-formed steel design. Rolla, 517, Missouri.