



**KUTU KESİTLİ KOLON-I PROFİL KİRİŞ  
BİRLEŞİMLERİN DÖNGÜSEL YÜK ALTINDA  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Kadir Nedim UÇAN**

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

**2024  
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KUTU KESİTLİ KOLON-I PROFİL KİRİŞ BİRLEŞİMLERİN DÖNGÜSEL**  
**YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Kadir Nedim UÇAN**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahyar MAALI**

**Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**

**Erzurum**

**2024**

**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.

03 / 05 / 2024

İmzası

Kadir Nedim UÇAN

## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

### KUTU KESİTLİ KOLON-I PROFİL KİRİŞ BİRLEŞİMLERİN DÖNGÜSEL YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kadir Nedim UÇAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Geleneksel olarak çelik bina yapımında standart I veya H profilleri kiriş ve kolon elemanlarında kullanılır. Son yıllarda mekanik dayanım, yangına dayanıklılık, bakım maliyetleri, estetik ve alanın daha iyi kullanılması için beton dolgulu kompozit kolonlar oluşturma olanağı gibi avantajlara sahip olması nedeniyle yapısal içi boş bölümleri kolon olarak kullanma eğilimi vardır. Bununla birlikte, Kaynaklı birleşimlerde sertliğini ve rijitlik iyileştirmek için, bulonlu birleşimlere düşünülebilir. Ayrıca bu birleşim sistemi kolaylıkça sökülebilir olup, bina hizmet ömrünün sonuna ulaştığında çelik elemanların geri kazanılmasını mümkün kılar. Bu tezde alın levha plaka birleşimine ve yerine odaklanmıştır. Eurocode 3'teki birleşim noktaları için mevcut bileşen bazlı tasarım yöntemi genellikle önerilen yeni birleşim türü için uygundur. Bu tezde Eurocode 3 göre alın levhalı birleşim 7 farklı konumda tasarlanmış, bu birleşim tasarımlarının yangına maruz bırakılmamış ve yangına maruz bırakılması durumuna göre toplam 14 adet numune kullanılmıştır. Kullanılan 14 numunenin her birleşim tipinden bir çift numune olmak üzere 7 farklı birleşim tipinin enerji yutma kapasitesi yük taşıma kapasitesi gibi mekanik özellikleri kıyaslanarak yangına maruz bırakılmamış ve yangına maruz bırakılmış benzer birleşim tasarımları arasında kıyaslamalar yapılmış en ideal mekanik özelliğe sahip birleşim tipi bulunmuştur.

**2024, 64 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** I profil kutu profil birleşimi, Yangına maruz bırakılmış model, Yangına maruz bırakılmamış model, Maksimum moment, Enerji yutma kapasitesi

## ABSTRACT

MS. Thesis

### EXAMINATION OF THE BEHAVIOR OF BOX-SECTION COLUMNS-I BEAM CONNECTIONS UNDER CYCLIC LOADING

Kadir Nedim UÇAN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

Traditionally, standard I or H profiles are used for beam and column elements in steel building construction. However, there has been a tendency to use hollow structural sections as columns in recent years due to advantages such as mechanical strength, fire resistance, maintenance costs, aesthetics, and better space utilization. Additionally, bolted connections enhance stiffness and rigidity in welded connections. Moreover, this connection system can be easily dismantled, enabling the recovery of steel elements at the end of the building's service life. This thesis focuses on end-plate connections. The existing component-based design method for connection points in Eurocode 3 is generally suitable for the proposed new connection type. In this thesis, end plate connections according to Eurocode 3 were designed in 7 different positions, and 14 specimens were used, including specimens not exposed to fire and specimens exposed to fire. Comparisons were made between similar connection designs, both exposed and unexposed to fire, by comparing mechanical properties such as energy absorption capacity and load-carrying capacity of the seven different types of connections, each with a pair of specimens from the 14 specimens used, to find the ideal connection type with the best mechanical properties,

**2024, 64 page**

**Keywords:** I profile box profile connection, Fire-exposed model, Unexposed model, Maximum moment, Energy absorption capacity

## TEŞEKKÜR

Deney ve test çalıŐmalarım sırasında değerli bilgi birikimini ve tecrübelerini benden esirgemeyen bana maddi ve manevi destek olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALI'ya ve tezimin deney aşamasında tecrübelerini benimle paylaŐan Sayın Prof. Dr. Merve MAALI'ya, deneylerde ve test çalıŐmalarım sırasında bana yardımcı olan ArŐ. Gör. Mahmut Buğra BİLEN'e, ve Nurullah ÇINAR'a gerek yüksek lisans sürecinde maddi ve manevi hiçbir yardımı benden esirgemeyen sevgili eŐime teşekkür ederim.

**Kadir Nedim UÇAN**  
Mayıs, 2024

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Uluslararası Yangın Eğrileri .....	2
1.1.1. Selülozik eğri .....	3
1.1.2. Hidrokarbon (HC) eğrisi .....	3
1.1.3. Geliştirilmiş hidrokarbon (HCM) eğrisi.....	4
1.1.4. RWS (Rijkswaterstaat) eğrisi .....	4
1.2. Döngüsel Yükleme Protokolleri.....	5
1.2.1. FEMA-350 yükleme protokolü .....	6
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>8</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
3.1. Numuneler ve Geometrisi .....	16
3.1.1. Malzemelerin mekanik özellikleri.....	20
3.2. Deneylerde Ölçüm Aletler ve Deney Düzeneği.....	22
3.2.1. Yangın fırını .....	22
3.3. Deney Düzeneği .....	22
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA</b> .....	<b>25</b>
4.1. Yangınsız Grup .....	25
4.1.1. Maksimum moment .....	27
4.1.2. Maksimum dönme.....	28
4.1.3. Maksimum yük .....	30
4.1.4. Yer değişimi .....	31
4.1.5. Enerji yutma kapasitesi .....	33
4.1.6. Rijitlik ve süneklik .....	35



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Cm	Santimetre
kN.m	Kilonewtonmetre
m	Metre
mm	Milimetre
P	Basınç
Rad	Radyan
$\Delta$	Yer Değişirme
$\sigma_m$	Kirişin Emniyetli Gerilmesi
$\Theta$	Dönme
$\Theta_{Mjmax}$	Eğilme Momentine Karşılık Gelen Dönme
$\Theta_p$	Plastik Momente Karşılık Gelen Dönme

### Kısaltmalar

FEMA	Federal Emergency Management Agency
Fmax	Maksimum kuvvet
F <sub>t</sub>	IPE 80 başlık et kalınlığı
LVDT	Deformasyon ölçme cihazı
M	Moment
W <sub>t</sub>	IPE 80 gövde et kalınlığı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Uluslararası yangın gelişim eğrileri.....	3
Şekil 1.2. FEMA-350 yükleme protokolü .....	7
Şekil 3.1. Numunelerin geometri özellikleri.....	20
Şekil 3.2. Çekme kupası testi ve gerilme-gerinim eğrisi .....	21
Şekil 3.3. Yangına maruz bırakılan numuneler için kullanılan yangın fırını .....	22
Şekil 3.4. Deneylerin yapıldığı sistem ve numune yerleşim modeli .....	23
Şekil 4.1. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin dönme momentleri eğrileri .....	26
Şekil 4.2. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum moment değerleri ....	27
Şekil 4.3. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük altındaki dönme değerleri .....	28
Şekil 4.4. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük değerleri .....	30
Şekil 4.5. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük altındaki yer değiştirme değerleri .....	31
Şekil 4.6. Yangına maruz bırakılmış numunelerin döngü sayısına göre enerji yutma kapasitesi .....	35
Şekil 4.7. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin dönme momentleri eğrileri .....	37
Şekil 4.7. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum moment değerleri .....	38
Şekil 4.8. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük altındaki dönme değerleri.....	39
Şekil 4.9. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük değerleri.....	40
Şekil 4.10. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük altındaki yer değiştirme değerleri.....	42
Şekil 4.11. Yangına maruz bırakılmış numunelerin döngü sayısına göre enerji yutma kapasitesi .....	45
Şekil 4.12. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin ve yangına maruz bırakılan numunelerin yük deplasman karşılaştırılması .....	51
Şekil 4.13. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin ve yangına maruz bırakılan numunelerin yük deplasman karşılaştırılması .....	51
Şekil 4.14. Göçme modları.....	55
Şekil 4.15. Kolon yüzeylerindeki maksimum kuvvet altındaki maksimum yer değiştirme .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b> RWS (Rijkswaterstaat) eğrisi değerleri .....	5
<b>Çizelge 1.2.</b> Döngü sayısındaki değişime göre deformasyon değişimi .....	7
<b>Çizelge 3.1.</b> Numunelerin özellikleri .....	18
<b>Çizelge 3.2.</b> Yapısal çelikler için ortalama karakteristik değerler .....	21
<b>Çizelge 4.1.</b> Yangına maruz bırakılmayan grubun mekanik özellikleri .....	25
<b>Çizelge 4.2.</b> Yangına maruz kalmamış numunelerin döngülere göre enerji yutma kapasiteleri .....	33
<b>Çizelge 4.3.</b> En yüksek enerji yutma kapasitesine sahip F-E numunesinin diğer tüm numunelere göre enerji yutma kapasitesinin % oranları .....	34
<b>Çizelge 4.4.</b> Yangına maruz bırakılmış grubun mekanik özellikleri .....	36
<b>Çizelge 4.5.</b> Yangına maruz kalmış numunelerin döngülere göre enerji yutma kapasiteleri .....	43
<b>Çizelge 4.6.</b> En yüksek enerji yutma kapasitesine sahip F-E numunesinin diğer tüm numunelere göre enerji yutma kapasitesinin % oranları .....	44
<b>Çizelge 4.7.</b> Yangına maruz bırakılmış numuneler ve yangına maruz bırakılmamış numunelerin mekanik özelliklerinin %'de olarak karşılaştırılması .....	46
<b>Çizelge 4.8.</b> Enerji yutma kapasitelerinin yangına maruz kalmış numunelerin yangına maruz bırakılmış numunelere göre yüzde değişimleri .....	49

### 1. GİRİŞ

Geleneksel olarak çelik bina yapımında standart I veya H profilleri kiriş ve kolon elemanlarında kullanılır. Son yıllarda mekanik dayanım, yangına dayanıklılık, bakım maliyetleri, estetik ve alanın daha iyi kullanılması için beton dolgulu kompozit kolonlar oluşturma olanağı gibi avantajlara sahip olması nedeniyle yapısal içi boş bölümleri kolon olarak kullanma eğilimi vardır. Kolon olarak kutu profiller kullanıldığında kritik bir konu, kiriş-kolon bağlantılarının analizi ve uygulanabilmesi önemli rol oynamaktadır. Kutu profillerin kolon olarak I profillere kiriş olarak bağlanması, kutu profilin içine erişim olmadığında için, sıradan bulon kullanılarak I kiriş profilin doğrudan bulonla kutu profile bağlanması oldukça zor bir işlemdir veya mümkün değildir. Özel bulunlar kuru kolon I kiriş birleşimlerde kullanıldığında, zaman alıcıdır, maliyeti yüksek, üretilmesi zor ve sınırlı dirence sahiptirler ve bu nedenle kutu-I profil birleşimlerde uygulamaları çok nadirdir. Bu nedenle, kutu kolon şeklindeki profillerde basit birleşimler bulon yardımıyla kullanılması yapım aşamasında kolaylık sağlayabilir. Bununla birlikte, Kaynaklı birleşimlerde sertliğini ve rijitlik iyileştirmek için, bulonlu birleşimlere düşünülebilir, ancak bu imalat maliyetini daha da artırır. Bu tezde, bulonlu birleşim (kolay inşaat için) ve kaynaklamanın (çelik kutunun içinden erişim eksikliği problemini önlemek için) avantajlarını birleştiren, kutu şeklindeki kesitlere bağlantı yapmak için alternatif bir yöntem önermektedir ve ayrıca birleşimin ne kadar kutu kolon profilinden uzaklığı moment-dönme değerlerinde değiştireceğini tespit edilecektir. Bu yöntemde I kiriş profili kolon yüzüne kaynaklanır. I kiriş profili üzerinde alın levha plakası kaynatarak ve alın levhalı I profil sonradan kutu profile kaynatarak basit bir birleşim uygulaması üretilmiştir. Bu, kiriş-kolon birleşimin bulonlama yoluyla yapılmasını mümkün kılar, ancak kaynaklı kiriş kısmında artık bulonlama için kutu tarafından herhangi bir erişime ihtiyaç duymaz. Ayrıca bu birleşim sistemi kolaylıkla sökülebilir olup, bina hizmet ömrünün sonuna ulaştığında çelik elemanların geri kazanılmasını mümkün kılar. Bu tezde alın levha plaka birleşimine ve yerine odaklanmıştır. Eurocode 3'teki birleşim noktaları için mevcut bileşen bazlı tasarım yöntemi genellikle önerilen yeni birleşim türü için uygundur. Bu tezde Eurocode 3 göre birleşimler tasarlanmıştır.

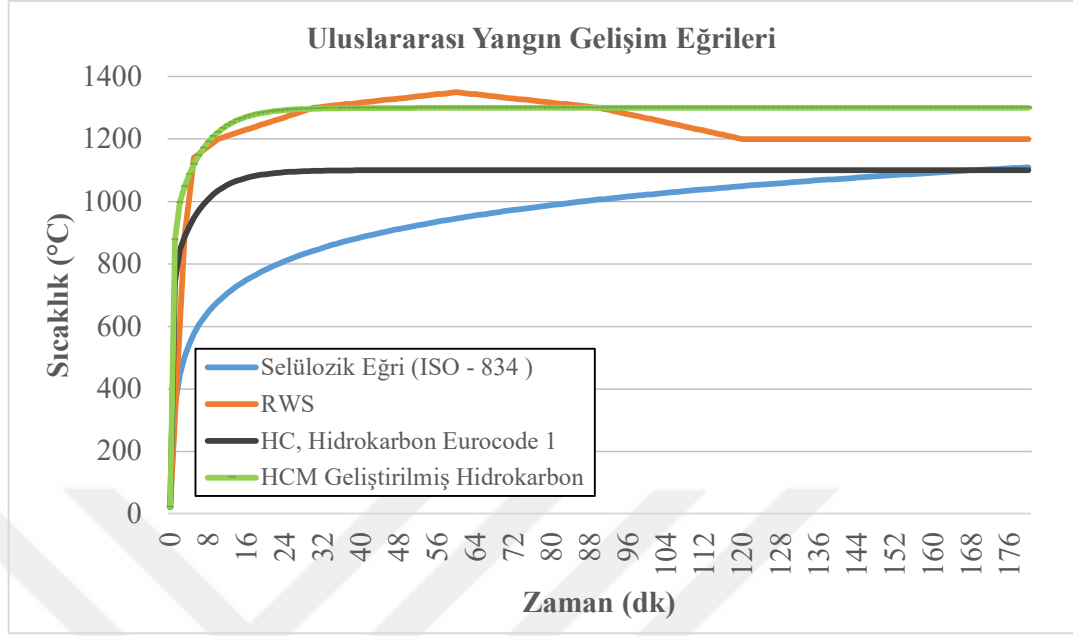
Kaynaklı sapsamalarla ilgili önceki araştırma çalışmaları, çelik köprülerdeki kesme birleşim elemanlarının (Shim 2004) veya çelik kompozit kirişlerdeki (Xue 2008)

statik davranışını ve kesme birleşimlere (Roberts and Dogan 1198; Johnson 2000) yorulma direncini araştırmış olmasına rağmen, deneysel bir çalışma yoktur. Önerilen yeni birleşim döngüsel davranışının incelenmesi. Ayrıca bu tezde, Çelik profillerin dezavantajı olan yangına maruz bırakılmıştır ve yangından sonraki moment-dönme davranışındaki karakteristik özellikler incelenmiştir. Bu nedenle kapsamlı bir deneysel kampanya yürütülmüştür. Bu tezde temel amacı, önerilen birleşim yeri yangından önce ve sonra yarı-rijit ve kısmi-dayanımlı davrandığını ve orta dereceli deprem bölgelerindeki alçak ve orta katlı bina uygulamaları için döngüsel yüklemeler altında iyi düzeyde enerji yutmaya sahip olduğunu gösterilecektir.

### 1.1. Uluslararası Yangın Eğrileri

Yangın güvenliği konusundaki uluslararası araştırmalar, farklı yangın senaryoları için zaman ve sıcaklık eğrilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bu eğriler, yangın güvenliği standartlarını iyileştirmek ve yangın risklerini azaltmak için tasarlanmıştır. Yangın türlerinin belirlenmesi ve bu türlerin tipik davranışlarının anlaşılması, daha etkili yangın önleme ve müdahale stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır.

Anonymus (2020) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi, bu zaman ve sıcaklık eğrileri, binaların yangına dayanıklılığını değerlendirmek ve yangın güvenliğini artırmak için önemli bir araçtır. Bu tür eğriler, yapı malzemelerinin yangına maruz kaldıklarında nasıl davranacaklarını daha iyi anlamamıza yardımcı olur ve yangın sırasında alınacak tedbirleri belirlemede kritik bir rol oynar.



Şekil 1.1. Ulusallararası yangın gelişim eğrileri

### 1.1.1. Selülozik eğri

ISO 834 gibi standartlar, genellikle yangın testlerinde kullanılan standart eğrileri tanımlar. Bu eğriler, yangının zaman içinde nasıl gelişeceğini, sıcaklığın ne zaman ve ne kadar artacağını gösterir. AS 1530, BS 476 ve DIN 4102 gibi diğer standartlar da benzer amaçlar için benzer eğriler tanımlar. Bu eğriye ait yanma gelişim eğrisinin formülasyonu eşitlik 1.1’de gösterilmiştir.

$$T = 20 + 345 * \log(8 * t + 1) \quad (1.1)$$

$T$ : Sıcaklık (°C)

$t$ : Zaman (dk)

### 1.1.2. Hidrokarbon (HC) eğrisi

Hidrokarbon yangınları, genellikle petrol ürünlerinin depolanması, taşınması ve kullanılması sırasında ortaya çıkar. Bu tür yangınlar, yüksek sıcaklıklara ve hızlı yanma hızlarına sahip olabilir, bu da yapı ve malzemelerin yangına karşı dayanıklılığını test

## 1. GİRİŞ

---

etmek için özel bir yaklaşım gerektirir. Hidrokarbon yanma gelişim eğrisinin formülasyonu eşitlik 1.2'de gösterilmiştir.

$$T = 20 + 1080 * (1 - 0,325 - e^{-0,167*t} - 0,675 * e^{-2,5*t}) \quad (1.2)$$

$T$ : Sıcaklık (°C)

$t$ : Zaman (dk)

### 1.1.3. Geliştirilmiş hidrokarbon (HCM) eğrisi

Fransız yönetmeliği, güvenlik standartlarını ve yangına karşı korunma gereksinimlerini belirlemek için bu daha yüksek sıcaklık değerini talep edebilir. Bu, yangına karşı dayanıklılık testlerinin daha güvenilir sonuçlar vermesine ve güvenlik önlemlerinin daha etkili bir şekilde uygulanmasına yardımcı olabilir. Geliştirilmiş hidrokarbon yanma gelişim eğrisinin formülasyonu eşitlik 1.3'de gösterilmiştir.

$$T = 20 + 1280 * (1 - 0,325 - e^{-0,167*t} - 0,675 * e^{-2,5*t}) \quad (1.3)$$

$T$ : Sıcaklık (°C)

$t$ : Zaman (dk)

### 1.1.4. RWS (Rijkswaterstaat) eğrisi

Hollanda Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı Rijkswaterstaat kurumu tarafından geliştirilmiştir. Bu eğri, Norveç'teki Runehamar tüneline yapılan tam ölçekli testlerle doğrulanmıştır ve yol tünelleri için tasarım yangın eğrisi olarak kullanılabilirliği onaylanmıştır.

## 1. GİRİŞ

Bu yangın eğrisi, 300 MW'lık bir yangın yüküne sahip 50 m<sup>3</sup>'lük bir yakıt, petrol veya petrol tankerini içeren bir yangının dikkate alındığı bir senaryoyu temsil eder. Bu senaryo, en kötü durum senaryosu olarak kabul edilir ve yangının 120 dakikaya kadar devam edebileceği varsayılır.

Bu eğri, yangının zaman içinde nasıl gelişeceğini ve tünelin içindeki sıcaklık değişimlerini temsil eder. Bu bilgi, tünellerin tasarımında, yangın güvenliği önlemlerinin belirlenmesinde ve yangın durumlarında alınacak tedbirlerin planlanmasında kullanılır. Bu sayede, tüneldeki insanların güvenliği ve yangın sonrası hasarın en aza indirilmesi için önlemler alınabilir. RWS yanma gelişim eğrisinin değerleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.1.** RWS (Rijkswaterstaat) eğrisi değerleri

Zaman (dk)	Sıcaklık (°C)
0	20
3	890
5	1.140
10	1.200
30	1.300
60	1.350
90	1.300
120	1.200
180	1.200

## 1.2. Döngüsel Yükleme Protokolleri

rem yüklerinin etkilerini kontrol etmek amacıyla tasarlanmalıdır. Bu tasarımda, belirli depremlerin hareketlerine dayanarak yük frekansı ve döngü sayısı belirlenirken, bina yapısı türü ve bağlantı türü de dikkate alınmalıdır. Her ülkenin deprem protokollerinde farklılık olduğundan, her ülkenin kendi protokolü bulunmaktadır. Genellikle kullanılan protokoller şunlardır:

- 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 yüksekten düşüğe genlikli yükleme protokolü

Bu protokoller, belirli yük ve frekans profilleri sağlayarak farklı deprem senaryolarını simüle etmek için kullanılır. Özellikle, yapının ve bağlantıların depreme dayanıklılığını ve performansını test etmek için önemlidirler. Her bir protokol, belirli bir test senaryosuna veya yapısal özelliklere uygun olarak seçilir ve uygulanır. Bu şekilde, yapıların deprem performansı ve dayanıklılığı değerlendirilir ve gerekli iyileştirmeler yapılır.

### 1.2.1. FEMA-350 yükleme protokolü

Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından önerilen protokol ile SAC 2000 protokolü arasında benzerlikler bulunmaktadır. Bu protokollerde, yüklemenin sistemde hata meydana gelene kadar 0,01 radyan artırımlarla devam edilmesi gerekmektedir. Her adımda, iki döngü gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Bahsedilen hata durumu, bir döngüdeki tepe yükünün maksimum yük değerinin %20'sine düştüğü veya montajın bozulmuş duruma gelip yerçekimi yükü altında kararlılığının belirsiz hale geldiği durum olarak kabul edilir. Bu durumda, deneyde bir hata oluşmuş kabul edilir ve yüklemeye son verilir.

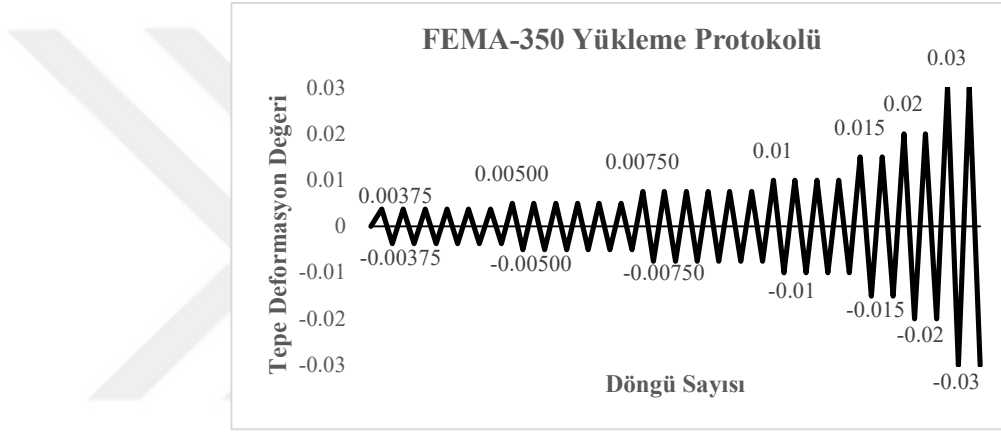
Bu protokoller, yapıların deprem performansını test etmek için önemlidir. Belirli artırımlarla yük uygulayarak yapı elemanlarının davranışını değerlendirirler ve hata durumlarını tanımlamak için belirli kriterler belirlerler. Bu sayede, yapıların deprem sırasında nasıl davranacakları ve dayanıklılıkları hakkında bilgi edinilir.

FEMA-350 protokolündeki yükleme değerlerinin tablo halinde değerleri Çizelge 2.2'de verilmiş olup, grafiği Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.2.** Döngü sayısındaki değişime göre deformasyon değişimi

Yük Adım Numarası	Tepe Deformasyon Değeri	Döngü Sayısı
1	0,00375	6
2	0,00500	6
3	0,00750	6
4	0,01000	4
5	0,01500	2
6	0,02000	2
7	0,03000	2



**Şekil 1.2.** FEMA-350 yükleme protokolü

### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Timmers et al. (2023) çalışmasında, boş kesitli elemanların bulonlu alın levhalı birleşimlerinin tasarımı için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu öneri, akma çizgisi mekanizmalarıyla desteklenmiştir ve bu mekanizmaların elde ettiği değerler, süreksizlik yerleşim optimizasyonu yöntemiyle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar genellikle %10'dan az sapma olduğunu göstermiş ve önerilen tasarımın güvenilirliğini desteklemiştir. Ayrıca, kullanılan akma çizgisi mekanizmalarının, incelenen parametre aralığındaki bağlantıların davranışını yeterince yansıttığı ve ikincil öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, tasarımın daha da basitleştirilerek ikincil akma çizgisi mekanizmalarının ihmal edilmesi veya etkin uzunluklarının basitleştirilmesi önerilmiştir. Ancak, tasarımın otomatikleştirilebileceği düşünüldüğünden, bu tür basitleştirmelerin yapılmasının gereksiz olduğu vurgulanmıştır. Timmers'ın çalışması, bulonlu alın levhalı birleşimler için yeni bir tasarım önerisi sunmuş ve bu önerinin güvenilirliğini akma çizgisi mekanizmalarıyla desteklemiştir. Ayrıca, tasarımın daha da basitleştirilebileceği ancak otomatikleştirilebileceği belirtilmiş ve bu tür basitleştirmelerin gereksiz olduğu vurgulanmıştır.

Barros et al. (2022) kaynaklı I kiriş ve RHS kolon bağlantılarında düzlem içi eğilme momentleri tarafından yüklenen kiriş flanş genişliği, kiriş yüksekliği ve kolon kalınlığı değerlerinin başlangıç rijitliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, sayısal sonlu eleman modelleri ve bileşen yöntemi kullanılarak başlangıç rijitliği elde edilmiştir. Değerlendirilen modellerin sonuçlarına dayanarak, bu üç farklı bileşenin birleşimi için bir yay modeli önerilmiştir. Literatürde bulunan üç formülasyon da normatif ifadelerdeki formül eksikliğinden dolayı değerlendirilmiş ve değişim katsayısı 0,0053 olan bir düzeltme önerilmiştir.

Jian et al. (2022), kiriş uçlarına ilave plakalarla güçlendirilmiş bir RHS kolon ve I kiriş bağlantısını geliştirdikleri bir çalışmada, yarı statik döngüsel yükleme altında test etmişlerdir. Yaptıkları testlerde iki hata modu gözlemlemişlerdir. Birinci hata modunda, kiriş ucundaki kiriş flanşında gerçekleşen çekme başarısızlığında, başlangıçta küçük çatlakların ya kaynak ayaklarının ucunda ya da kaynak erişim deliğinin ucunda oluştuğunu ve zamanla yük döngüleriyle birlikte giderek büyüyüp, sonunda çekme

başarısızlığına yol açtığını belirtmişlerdir. İkinci hata modu olarak, üst ve alt kiriş flanşlarında ve kiriş gövdesinde yerel burkulma gözlemlenmiştir. Kullandıkları ek plakaların genişliği ve uzunluğunun, bağlantının nihai moment kapasitesini ve dönme kapasitesi eksikliğini daha iyi tamamlayabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, test sonuçlarına göre, ek plakaların kullanılmasıyla bağlantıların mukavemetinin arttığını ve geleneksel tiplere göre daha büyük bir enerji dağıtma kapasitesine sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Test sonuçlarından elde ettikleri analizlerle, Çin'deki yüksek binalar için çelik yapı teknik şartnamesi ile aralarındaki farkları karşılaştırdıklarında, Çin normlarının daha ihtiyatlı olabileceğini ve sistematik hataların bulunabileceğini belirtmişlerdir.

Jaamala et al. (2022), soğuk şekillendirilmiş RHS profiller için bir malzeme modeli geliştirmişlerdir ve bu modelde doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır. Çalışmada, genellikle kiriş elemanlarına dayalı bir hesaplama modeli olduğunu belirtmişlerdir, ancak soğuk şekillendirilmiş kesitlerin malzeme kalınlığı üzerinde doğrusal olmayan artık gerilme dağılımına sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, soğuk şekillendirilmiş kesitlerin köşe bölgelerinin düz bölgelere göre daha yüksek malzeme dayanımına sahip olduğunu ve bu önemli özelliğin genellikle tüm kesit için düz bölge özellikleri varsayılarak göz ardı edildiğini belirtmişlerdir. Araştırmada, tüm kesit için ayrı bir çekme testi yerine yapılmış gibi elde edilebilecek olan gerilme-deformasyon eğrisini taklit eden bir malzeme modeli geliştirmişlerdir.

Chan et al. (2021) çalışmalarında, H profil kiriş ve SHS profil kolonlardan oluşan 3 boyutlu moment çerçeveler için basitleştirilmiş bir sayısal model geliştirmişlerdir. Modelde diyaframların etkisini de dikkate almışlardır. Önerdikleri sayısal modelin, tek ve çift yönlü yükleme testleri altında elde ettikleri verilerle karşılaştırdıklarında, numune bağlantılarındaki alt montajların elastoplastik davranışlarını doğru bir şekilde ifade edebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, sadece kiriş ve kolonlardan oluşan analiz modeli ile kıyas yaptıklarında, kiriş ve kolonlara ek olarak panelleri de dahil ettiklerinde, kiriş ve kolonlardaki enerji sönmelenmesinin azaldığını ve bu nedenle panellerin elastoplastik davranışının, kiriş ve kolon uçlarının davranışlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi için önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Serrano-López et al. (2021), açık çelik kiriş ile çelik boru kolon arasındaki yeni bir bağlantı tipinin monotonik ve döngüsel moment-dönme davranışını araştırmışlardır. Bu yeni bağlantı sisteminde köşebentler, kiriş flanşlarına ve boru yüzeyine cıvatalanmış kaynaklı dişli çelik saplamalar aracılığıyla sabitlenmiştir. Gerçekleştirdikleri toplam 21 testte, monotonik yükleme altında 9 tek yüzeyli ve 8 çift yüzeyli birleşimi, döngüsel yükleme altında ise 8 tek yüzeyli birleşimi incelemişlerdir. Yaptıkları testlerde kiriş ve kolon boyutlarının değişimleriyle birlikte genişlik oranlarını gözlemlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yeni bağlantıların yarı-sert ve kısmi dayanımlı bağlantılar olarak davrandığı belirtilmiştir. Ayrıca, bağlantı rijitliğinin, artan tüp duvar kalınlığı ve daha yüksek kiriş genişliğinin tüp genişliğine oranıyla arttığı tespit edilmiştir.

Pongiglione et al. (2021), yapısal elemanların sökülmesi ve yeniden kullanılmasını kolaylaştırmak amacıyla sundukları yeni çelik bağlantının dayanıklılığını vurgulamışlardır. Bu bağlantının sürtünmeye karşı dayanıklı olduğunu iddia etmişler ve sismik kapasitesini Euro kodlara göre tasarlanmış referans bir 3 katlı binanın kiriş-kolon düzeneğini analiz ederek değerlendirmişlerdir. Maksimum yer ivmesinin 0,25 g olduğunu dikkate alarak, bağlantının dayanıklılığını EN1993:1-8 standardına göre değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, incelenen birleşimin hesaplanan direncinin gereken momente uyduğunu göstermişlerdir (76,09 kN.m vs. 73,02 kN.m). Bağlantının demontajı ve yapısal elemanların tekrar kullanılabilirliği, tasarım ilkelerine uygunluğu ve yapısal elemanların statik ve sismik yükler altında bütünlüğü göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Önerilen bağlantı tipinin sadece çelikten yapıldığını, bileşenlere kolayca erişilebileceğini ve kimyasal bağlantı olmaması sebebiyle yalnızca cıvatalı bağlantıların bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu özelliklerin, tasarım ilkelerinin çoğunu gerçekleştirdiğini vurgulamışlardır.

López-Colina et al. (2021), mekanik yöntemlerin, özellikle dönel rijitlik için bileşen yönteminin, kutu kesitli bağlantıların tasarım kodlarında kullanılmamasının nedenlerini ele almış ve bu konudaki eksiklikleri gidermeye yönelik çözüm önerileri sunmuşlardır. Yapılan çalışmada, I kesitli kirişler ile RHS kesitli kolonlar arasında yüksek dönel rijitlik sağlayan yarı rijit veya tam rijit bağlantıların elde edilmesinin önemine dikkat çekmişlerdir. Her iki elemanın da aynı genişlikte tasarlanmasının, bu bileşenlerin dönel rijitliğine önemli katkı sağladığını vurgulamışlardır. Özellikle, I kiriş

ve RHS kolonun aynı genişlikte olduğu durumlarda, bu bileşenlerin dönel rijitliğine sağladığı katkının gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Ma et al. (2021), RHS K tipi eklemlerin aksenal rijitliğini ve RHS kafes kirişlerin eğilme rijitliğini tahmin etmek için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. RHS bağlantılarının aksenal rijitliğini hesaplamak için bileşen yöntemini kullanmışlardır. Pim-bağlantı analizine dayanarak, RHS kafes kirişlerinin eğilme rijitliğini hesaplamak için bir yaklaşım oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri yaklaşımı sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarıyla doğrulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, tahminin göreceli hatasının  $\pm 25\%$ 'ten az olduğunu ve önerilen yöntemin yüksek doğruluk ve daha geniş bir uygulama aralığına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Guerra et al. (2021) çalışmasında, mevcut tasarım standartlarının dışında olan ince cidarlı, soğuk şekillendirilmiş RHS başlık elemanlarına kaynaklanmış CHS desteklerinden oluşan boş kesitli T tipi bağlantılar üzerine deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Deneysel program kapsamında, destekleri aksenal basınç yüklemesine tabi tutulan 12 adet soğuk şekillendirilmiş çelik ince kesitli prototip üzerinde testler yapılmıştır.  $\beta$  değerlerinin 0,85'in altında olduğu durumlarda, beklenen şekilde tüm testlerde başlık elemanı yüzeyinde kırılma gözlemlenmiş ve basınç yüklemesi altında destek elemanında kırılma tespit edilmemiştir. Ayrıca, başlık elemanlarının mukavemetini, hizmete yönelik deformasyon sınırına göre belirlemişlerdir ve  $N(3\%b_0)/N(1\%b_0)$  oranının tüm deneylerde 1,5'ten büyük olduğunu belirtmişlerdir. Test ve sayısal sonuçlar, ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş kiriş kesitleri dikkate alındığında ISO 14.346 tasarım prosedürünün uygulanabilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu değerlendirmede, prosedürün elastik enine kesit modülü ve etkin enine kesit alanı ile ilgili kiriş gerilimi fonksiyonunun değiştirilmesi nedeniyle oldukça tutucu ve dağınık tahminler verdiği gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, sundukları deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığında daha doğru tahminler yapabilen alternatif bir tasarım yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Couchaux et al. (2020), dış bir çelik yapıyı çelik bir cepheye bağlamak için kullanılan ara ısı yalıtım katmanına sahip cıvatalı bağlantıların mekanik performanslarını incelemiştir. Önerdikleri çözümde, bir alın levhası bağlantısı ile bir çelik kolon arasına PVC veya kontrplak plaka yerleştirerek ısı köprüsü davranışını önemli ölçüde sınırlamışlardır. Isı yalıtım tabakasının dönme sertliği, eğilme momenti dirençleri ve göçme modları üzerindeki etkisini araştırmak için bir çelik kolona bağlı konsol kiriş üzerinde statik ve döngüsel testler gerçekleştirmişlerdir. Bu testlerin sonuçlarına göre, hem ısı yalıtım tabakasının hem de cıvata yerleşiminin, bağlantı tepkisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Termal yalıtım katmanının eklenmesi, nihai eğilme momentinin azalmasıyla birlikte sıkışma alanının boyutunu artırdığını gözlemlemişlerdir.

Bu et al. (2020) çalışmalarında, açık bir başlık elemanının bitişik bir RHS-RHS X tipi bağlantısı üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. ANSYS programını kullanarak sonlu elemanlar modelleri oluşturmuşlar, deneysel sonuçlarla doğrulamışlar ve ardından önemli geometrik parametreleri (kolun açık uca olan mesafesi, başlık elemanının narınlığı ve kol-başlık elemanı genişlik oranı) değiştirerek parametrik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, prEN 1993-1-8 tarafından önerilen tam bağlantı kapasitesi için gereken minimum uç mesafesinin RHS bağlantıları için fazla korumacı olduğunu belirtmişlerdir. Diğer yandan, AISC 360-16 tarafından önerilen emin değeri sadece belirli bir  $\beta$  aralığında doğru sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Sonlu elemanlar analizi sonuçlarına dayanarak, açık başlık elemanına yakın RHS X-bağlantıları için,  $\beta$  değeri 0,25 ile 1,0 aralığında ve  $2\gamma$  değeri 10 ile 35 aralığında, tam bağlantı dayanımını sağlamak için  $\text{emin} = 0.75b_0$  olmasının gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Eğer bu minimum uç mesafe gereksinimi sağlanamazsa, tasarım için AISC 360-16 tarafından önerilen %50 yerine %60 bağlantı dayanımının kullanılabileceğini, %60 tam kapasite değerinin sonlu elemanlar analizi sonuçlarına dayanarak belirlediklerini ve basitleştirilmiş tasarım için önerdiklerini açıklamışlardır.

Serrano-López et al. (2019), açık kesitli kirişler ile RHS kesitli kolonlar arasındaki kaynaklı birleşimlerin davranışını karşılaştırmak amacıyla kapsamlı bir deneysel programın sonuçlarını sunmuşlardır. Bu çalışma, 27 tam kiriş-kolon birleşimi ve 40 çekme testini içermiştir. Farklı kaynak düzenlemelerinin, farklı boyutların ve farklı kiriş

ile RHS kesitlerdeki genişlik oranlarının etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, sadece flanş kaynaklı birleştirmelerde, flanş kaynaklarının uygulanan kesme kuvvetinden çok daha fazla kesme direncine sahip olduğunu göstermiştir. Kiriş gövdesinin kaynaklı birleşimlerdeki dönme rijitliğine ve moment direncine katkısının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu hem deneysel hem de sayısal sonuçlarla doğrulamışlardır. Ayrıca, tam flanş ve gövde kaynaklı bağlantıdaki moment-dönme eğrisinin, sadece flanş kaynaklı birleşimdeki moment-dönme eğrisiyle neredeyse aynı olduğunu belirtmişlerdir.

Wu et al. (2018), yaptıkları çalışmada RHS kolon-I kiriş bağlantılarında erken kırılma kırılma oluşumlarını önlemek amacıyla geliştirilmiş bir bağlantı tipi üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir. Bu bağlantı tipinde, kaynak bağlantısı yerine, kiriş flanş plakaları kolondan belirli bir mesafe uzaklıkta cıvatalarla birleştirilmiştir. Üç test numunesi simüle edilmiş ve sonlu elemanlar analizi ile cıvatalı bağlantıların davranışı incelenmiştir. Modelde, bireysel kirişler, kolonlar, diyaframlar, cıvatalar, kesme plakası ve karmaşık temas yüzeyleri bulunmuş ve malzemenin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Kontak elemanları, bulon deliği ve kiriş gövdesi ile kesme plakası, flanş plakası ve kiriş flanş arasındaki yüzeyler için kullanılmıştır. Bağlantı yüzeyleri arasındaki arayüzleri modellemek için üç boyutlu tuğla elemanlar kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, sonlu elemanlar analizinin RHS kolondan I kirişe bağlantı davranışını doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermiş ve deneysel sonuçlarla iyi bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur.

Silvia et al. (2018), kutu kolonlarda (RHS, SHS) kullanılan moment bağlantılarında uzun cıvataların kullanımının faydalarını ve etkilerini araştırmışlardır. Bu bağlamda, uzun cıvataların kullanıldığı kutu kolon ve kiriş moment bağlantıları için sonlu elemanlar modellemesi yapmışlar ve ABAQUS yazılım programını kullanmışlardır. Yaptıkları parametrik çalışmalarla, alın levha ve kolon duvar kalınlığı, cıvata çapı, cıvata sınıfları gibi farklı bağlantı parametrelerinin davranışa etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, uzun cıvataların kullanıldığı kutu kolon ve kiriş moment bağlantılarının geleneksel bağlantılardan daha iyi performans gösterdiğini ve birleşim rijitliğini ile dayanıklılığını artırdığını göstermektedir.

Garifullin et al. (2018), kaynaklı RHS T birleşimlerini analiz etmek amacıyla bir sonlu eleman modeli geliştirmek için çalışma yapmışlardır. Bu kapsamda, bağlı elemanlar için uygun uzunlukları, kaynakların modellenmesi ve malzeme özellikleriyle ilgili önerilerde bulunmuşlardır. Özellikle uygun sonlu eleman seçimi ve kalınlık yönündeki eleman sayısına dikkat çekmişlerdir. Başlangıç rijitliği için, kalınlık yönünden azaltılmış entegrasyona sahip ikinci dereceden iki katı sonlu elemanın yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, normal bir mesh kullanılması koşuluyla uyumsuz modlara sahip doğrusal katı elemanların da aynı amaca hizmet edebileceğini ifade etmişlerdir. Bunların yanı sıra, birleşim yerinin davranışının yüklemenin başından başlayıp kırılmaya kadar olan tüm safhalarında ele alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu doğrultuda, azaltılmış entegrasyona sahip ikinci dereceden elemanların, kalınlık yönünde en az iki elemanla en tercih edilir olduğunu belirtmişlerdir. Üç katmanlı mesh uygulamasının sonuçlarda makul bir iyileşme sağlamadığını, ancak hesaplama süresini ciddi şekilde uzattığını belirtmişlerdir.

Thai et al. (2016), I kiriş ve içi boş veya beton dolgulu çelik boru kolon arasındaki bulonlu alın levhalı birleşimler üzerinde yaptıkları çalışmada, başlangıç dönme rijitliğini ve moment dayanımını tahmin etme konusunu ele almışlardır. İçi boş ve beton dolgulu çelik boru kolonların farklı konfigürasyonlarına maruz bırakılan yanal kuvvetler üzerinde bir sayısal analiz gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına dayanarak, çekme ve basınç durumlarında kolon yan yüzeyleri için ve burkulma durumunda kolon yüzeyi için rijitlik modelleri önermişlerdir. Önerdikleri modelleri bulonlu alın levhalı bağlantıların ilk dönme rijitliğini ve moment dayanımını tahmin etmek için Eurocode 3 ve Eurocode 4'te benimsenmiş olan bileşen yöntemine dahil etmişlerdir. Elde ettikleri tahminleri 44 deney sonucuyla karşılaştırmış ve önerdikleri modellerin geçerliliğini doğrulamışlardır.

Hoang et al. (2015), I kirişleri beton dolgulu RHS kolonlar ile birleştirmek için kullanılan uzatılmış rijitlik levhasız alın levhası bağlantı tipi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu bağlantı tipinde, kiriş alt plakalarını bağlamak için kolon boyunca uzun bulon kullanılarak ara bağlantı elemanları ve özel bulon tiplerinden kaçınılmıştır, böylece maliyet tasarrufu sağlanmıştır. Gerçekleştirdikleri test programında, kesme kuvvetine veya hem eğilme momenti hem de kesme kuvvetine maruz bıraktıkları numuneleri tanımlamışlardır. Bileşen yöntemlerine dayanarak, inceledikleri derzler için eğilme,

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

kesme ve birleşimdeki bindirme yükleri altındaki mevcut tasarım kurallarını tamamlamak için ek kurallar önermişlerdir.

Arrayago et al. (2015), ferritik paslanmaz soğuk şekillendirilmiş RHS ve SHS profiller üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, ferritik paslanmaz çelik sınıfı EN1.4003 çeliğinden imal edilmiş beş farklı kesit, aksenal basınç ve eğilme momenti yüklemelerine maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar, EN1993-1-4 ve literatürde önerilen sınıflandırma sınırlarının gözden geçirilmesi gerektiğini açıklamıştır. Ayrıca, basınç kapasitesini tahmin etmede devamlı dayanım yönteminin EN1993-1-4 hükümlerine göre daha doğru bir tahmin sağladığına dikkat çekmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Numuneler ve Geometrisi

Tezde, çelik yapılarda kullanılan kutu kesitli kolon-I profil kiriş birleşimlerinin döngüsel yük altında davranışının yangından önce ve sonra incelendiği belirtilmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan alın levha birleşiminin I profillerin birleşimlerinde tercih edildiği ifade edilmektedir. Alın levha birleşiminin tercih edilme sebepleri arasında, yarı-rijit birleşim hesaplaması ve imalat ile montaj aşamalarında kolaylık sağlama bulunmaktadır. Tez kapsamında toplam 14 deney gerçekleştirilmiştir, bunlar yangınsız ve yangın durumları olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Çizelge 3.1). Deneylerin görselleri Şekil 3.1.'de sunulmuştur. Deneyler sırasında FEMA-350 yükleme protokolü kullanılmıştır, zira bu protokol, Türkiye'deki deprem protokolüne benzerlik göstermektedir. Deney numunelerine FEMA-350 yükleme protokolü uygulanırken kirişler üzerinde ve birleşimlerde deformasyonlar ölçülmüştür. Tüm alın levha birleşimlerinde kullanılan cıvatalar M16-8.8 kalitesindedir. Ayrıca, kolon profili zemin profiline ankastre olarak M24-8.8 cıvatalarla bağlanmıştır. Tezdeki deneylerde, kolon malzemesi olarak tüm deneylerde RHS200\*100\*5 mm kesitli çelik profillerin kullanıldığı belirtilmektedir. Kiriş malzemesi olarak ise tüm deneylerde IPE80 profillerinin seçildiği ifade edilmektedir.

Çizelge 3.1. ve Şekil 3.1.'e göre yangına maruz kalmamış numuneler NF-W, NF-E, NF-100, NF-200, NF-300, NF400,NF-500 ve yangına maruz kalmış F-W, F-E, F-100, F-200, F-300, F-400, F-500 numuneleri bulunmaktadır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı ve 1.500 mm I kesitli profile sahip numuneler NF-W ve F-W numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim bulunan ve 1.500 mm I kesitli profile sahip numuneler NF-E ve F-E numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm'lik ve 1.400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen numuneler NF-100 ve F-100 numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 200 mm yükseklikten bölünerek 200 mm'lik ve 1.300 mm'lik parçaları

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

---

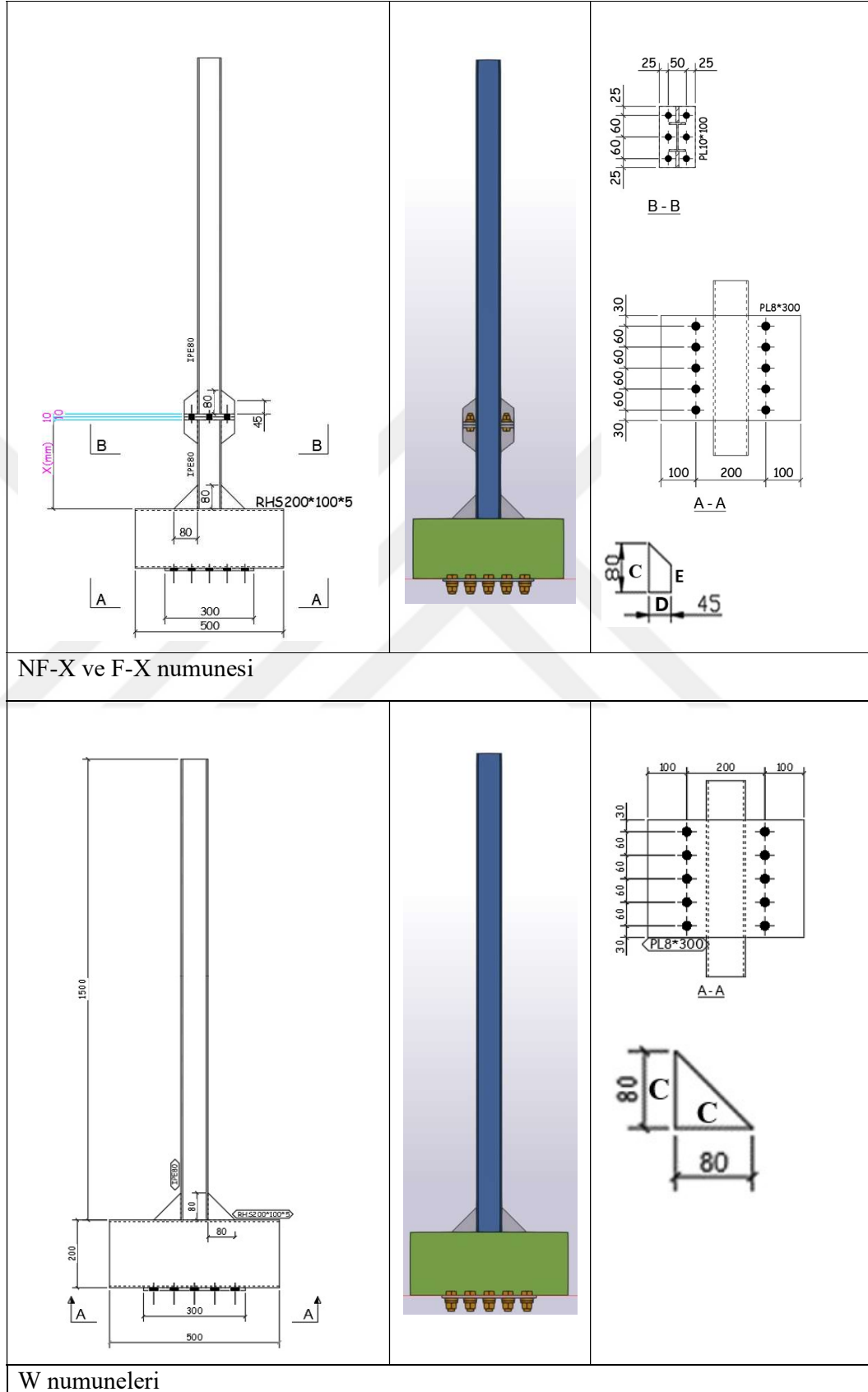
bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen numuneler NF-200 ve F-200 numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yükseklikten bölünerek 300 mm'lik ve 1.200 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen numuneler NF-300 ve F-300 numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 400 mm yükseklikten bölünerek 400 mm'lik ve 1.100 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen numuneler NF-400 ve F-400 numuneleridir. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 500 mm yükseklikten bölünerek 500 mm'lik ve 1.000 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen numuneler NF-500 ve F-500 numuneleridir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

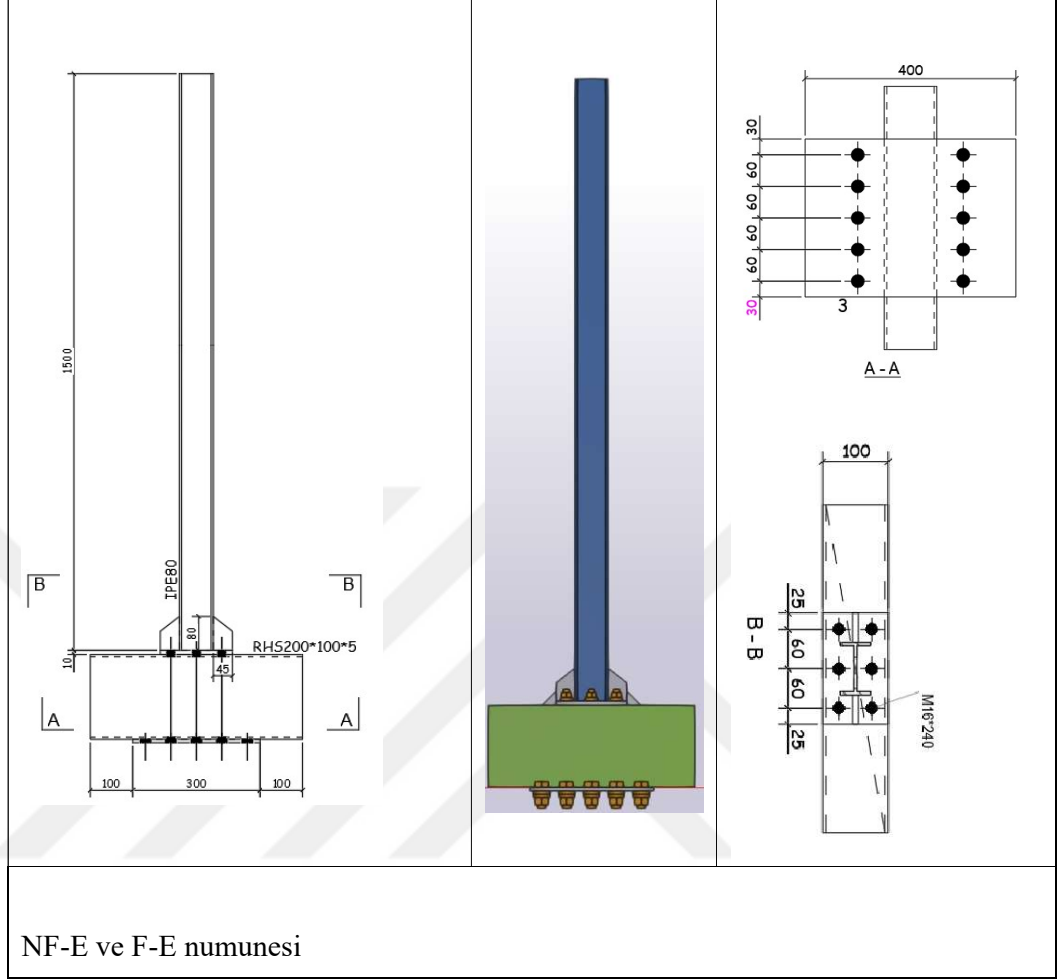
**Çizelge 3.1.** Numunelerin özellikleri

Grup	Deney Adı	L (mm)	H (mm)	X (mm)	t(mm)	tp (mm)	IPE80		Berkitme				
							Wt (mm)	Ft(mm)	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)	E(mm)
Yangınsız	W	1500		-		-	5,2	3,8	80	80	80	45	45
	NF-E			-		-							
	NF-100			100									
	NF-200			200									
	NF-300			300		10							
	NF-400			400									
	NF-500			500									
Yangınlı	F-W	1500		-		-	5,2	3,8	80	80	80	45	45
	F-E			-		-							
	F-100			100									
	F-200			200									
	F-300			300		10							
	F-400			400									
	F-500			500									

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM



Şekil 3.1. Numunenin geometrik özellikleri



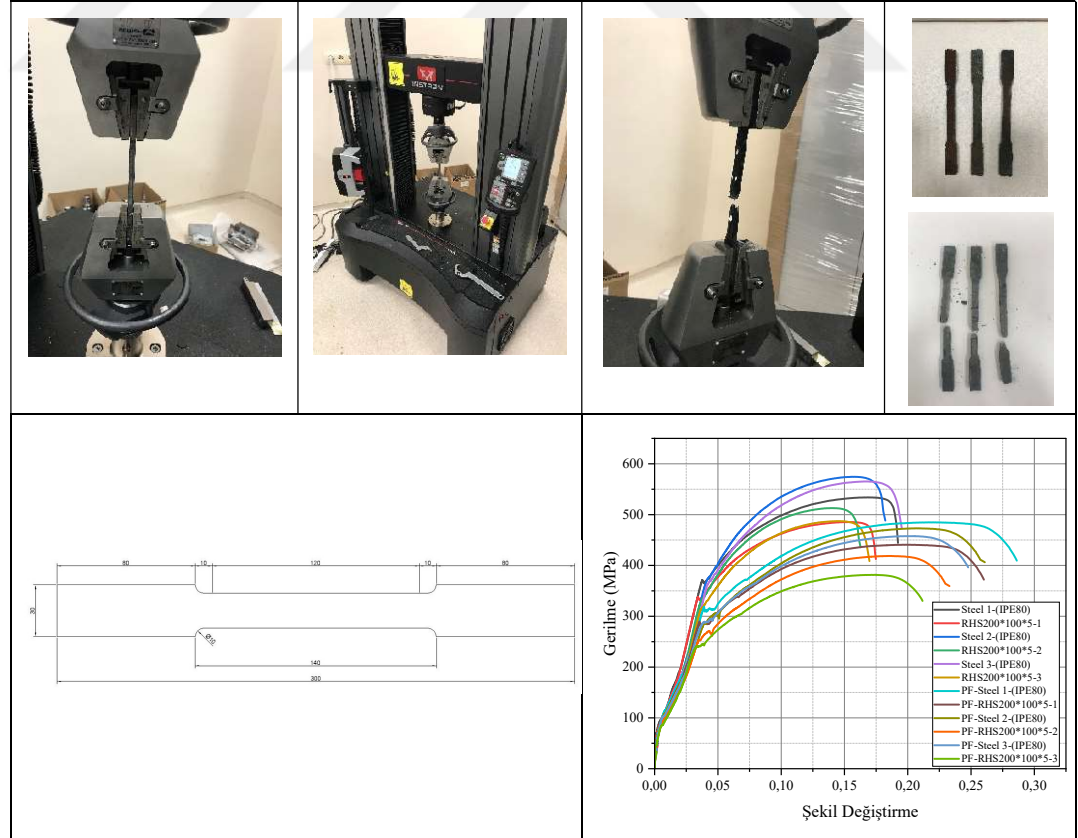
Şekil 3.1. (Devam)

#### 3.1.1. Malzemelerin mekanik özellikleri

Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla toplamda 12 çekme kupası testi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yapısal çelik malzemesinin kupada gerilme testi UNE-EN 10002-11504-2 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Daha sonra, bu testler 150 kN kapasiteli Instron makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test kuponları Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan aksenal çekme testlerinin sonuçları Çizelge 3.2.'de sunulmuştur.

**Çizelge 3.2.** Yapısal çelikler için ortalama karakteristik değerler

	E (MPa)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$\rho_y = f_y/f_u$
Steel1-(IPE80)	198.750	366,65	533,96	0,69
Steel2-(IPE80)	201.222	377,39	574,41	0,66
Steel3-(IPE80)	198.212	365,75	565,26	0,65
<b>Avrage</b>	199.394,6	369,93	557,88	0,66
RHS200*100*5-1	195.550	349,19	508,53	0,68
RHS200*100*5-1	199.555	343,08	512,86	0,67
RHS200*100*5-1	198.911	326,56	513,87	0,64
<b>Avrage</b>	198.005,3	339,61	511,75	0,66
PF-Steel1-(IPE80)	191.214	310,66	484,79	0,64
PF-Steel2-(IPE80)	191.365	306,27	473,06	0,65
PF-Steel3-(IPE80)	191.001	288,43	457,72	0,63
<b>Avrage</b>	191.193,3	301,79	471,86	0,64
PF-RHS200*100*5-1	189.911	282,42	440,71	0,64
PF-RHS200*100*5-1	187.199	278,43	394,21	0,71
PF-RHS200*100*5-1	188.243	274,69	381,43	0,72
<b>Avrage</b>	188.451	278,51	405,45	0,69



**Şekil 3.2.** Çekme kupası testi ve gerilme-gerinim eğrisi

## 3.2. Deneyleerde Ölçüm Aletler ve Deney Düzenegi

### 3.2.1. Yangın fırını

Şekil 3.3.'de gösterilen fırın, 2018 yılında üretilen bir vagon tabanlı fırındır. Fırın, iki farklı parçadan oluşmaktadır ve bu parçalar raylar üzerinde hareket edebilmektedir. Parçalar, numuneye yaklaştırılarak deney numunesini içine alabilir veya uzaklaştırılarak hem deney numunesinin gözlemlenmesine hem de soğutulmasına olanak sağlayabilir. Fırının hacmi 6 m<sup>3</sup>' tür. Fırın, elektrik rezistanslarıyla çalışır ve ısı üretir. Çalışma sıcaklığı 1.100 °C'dir ve maksimum sıcaklık 1.120 °C'dir. Ayrıca, ISO-FIRE-834 grafikle yangın uygular. Fırının dış gövdesi çelik iskelet ve sac kaplamadan oluşur. Isı kayıplarını önlemek için fırın gövdelerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğla ve harç ile oluşturulmuş yalıtım katmanı bulunmaktadır.



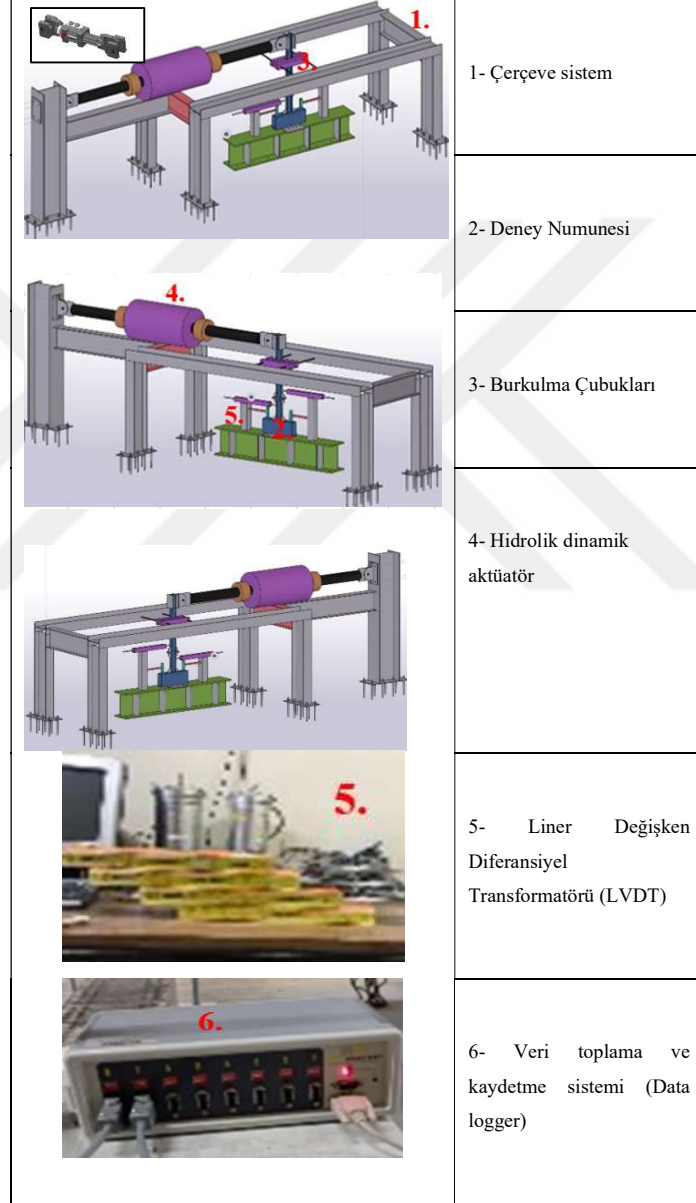
Şekil 3.3. Yangına maruz bırakılan numuneler için kullanılan yangın fırını

## 3.3. Deney Düzenegi

Deneyleer, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney düzenegi, laboratuvardaki çelik kiriş ve kolonlardan oluşan çelik çerçeve sistemi içermektedir. Bu sisteme bir hidrolik dinamik aktüatör yerleştirilmiştir. Ayrıca, kirişin üst noktalarından her iki tarafına istenmeyen aksnel kaymaları engellemek için burkulma çubukları

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

kullanılmıştır. Deneysel düzeneği, zemine ankraj çubuklarıyla sabitlenmiş rijit kolondan oluşmaktadır. Rijit kolonun kullanılmasının nedeni, tezin amacının sadece kolon-kiriş birleşim noktalarının davranışını incelemekle kalmayıp aynı zamanda deney sırasında herhangi istenmeyen aksel kaymayı engellemektir.



Şekil 3.4. Deneylerin yapıldığı sistem ve numune yerleşim modeli

Deneylerde kullanılan hidrolik aktüatörler, nesnelerin şeklini değiştirebilen, hareket ettirebilen ve durdurabilen mekanik cihazlardır. Hidrolik aktüatörler, sıvıların sıkıştırılmaz ilkesine göre tasarlanmış cihazlardır ve genellikle bir silindir, bir piston ve

hidrolik sıvıdan oluşur. Deneyler sırasında kullanılan ve Şekil 3.4.'de gösterilen hidrolik aktüatör, elektrik enerjisi ile çalışır. Elektrik enerjisi ile içinde bulunan yağı, onun bulunduğu hazneye aktararak pistonu hareket ettirir ve pistonun ileri yönlü hareketini sağlar. Pistonun geri yönlü hareketi ise, sıvı basıncının azaltılması ile oluşan basınç farkına dayalı olarak gerçekleşir. Kullanılan aktüatörün markası Besmak'tır ve maksimum 150 tona kadar dinamik yük uygulayabilir.

Ayrıca deneylerde, Titreşimi algılamak, gerilme testi yapmak, aktüatör hareketini ölçmek ve doğrusal hareketi elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılan ölçüm cihazlarından biri LVDT' dir (Linear Variable Differential Transformer). LVDT, içi boş bir silindirik bobin dizisinden oluşur. Birincil bobindeki alternatif bir manyetik alan, ikincil bobindeki manyetik alanı indükler. İkincil bobindeki indüklenen manyetik alan, içi boş tüpün merkezinden geçen çekirdeğin konumuna bağlıdır. Çekirdek herhangi bir yöne hareket ettirildiğinde çıkış sinyalinin artmasına neden olur. LVDT' nin dijital ve analog olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan LVDT, Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

Deneylerde verilerin toplanması için elektrikselsel bir veri kaydedici olan Data Logger kullanılmıştır. Data Loggerlar, zamana veya başka bir sinyal voltajına karşı çizilen sinyal voltajlarını ölçmek ve görüntülemek için kullanılan elektronik cihazlardır. Elektrik kaynağı olmayan yerlerde batarya ile çalışabilirler ve önceden belirlenen ölçüm aralıklarında verileri kaydedebilirler. Bu aralıklar, milisaniye veya saat gibi istenilen şekilde ayarlanabilir.

Data Loggerlar, bilgisayara ve gerekli ölçüm aletine bağlandıktan sonra bir arayüz sayesinde ölçüm aletlerinden gelen verileri bilgisayara kaydedebilirler. Hem taşınabilir hem de sabit olarak kullanılabilen modelleri mevcuttur. Data Loggerlar genellikle konum, yük, sıcaklık, nem, pH gibi değerleri ölçebilir ve kullanım şekline göre istenirse birçok fiziksel veriyi eş zamanlı olarak ölçebilirler.

Deney başladığında arayüzünde kayıt başlat talimatı verilerek ölçüm aletlerindeki veriler Data Logger' a aktarılır ve deney bittikten sonra da kaydedilir. Şekil 3.4.'de, deneylerde kullanılan Data Logger sistemi gösterilmiştir.

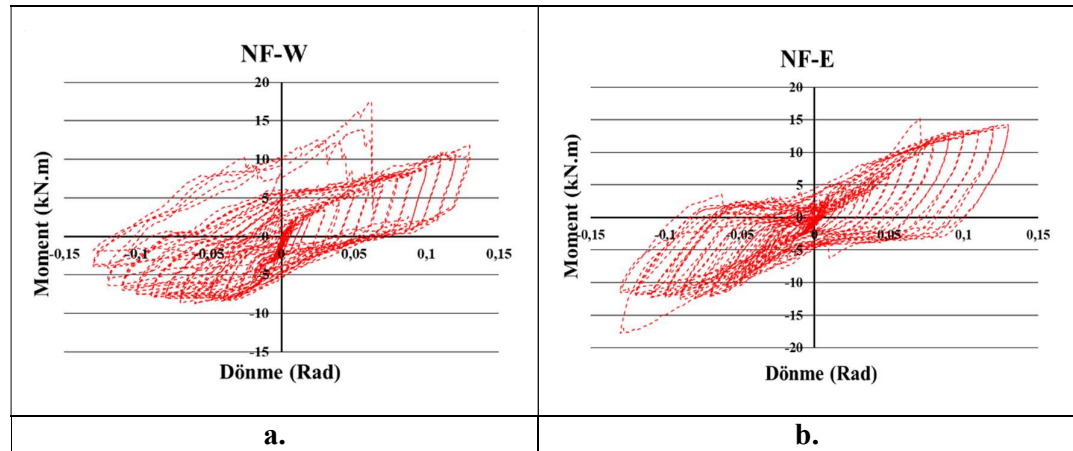
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

## 4.1. Yangınsız Grup

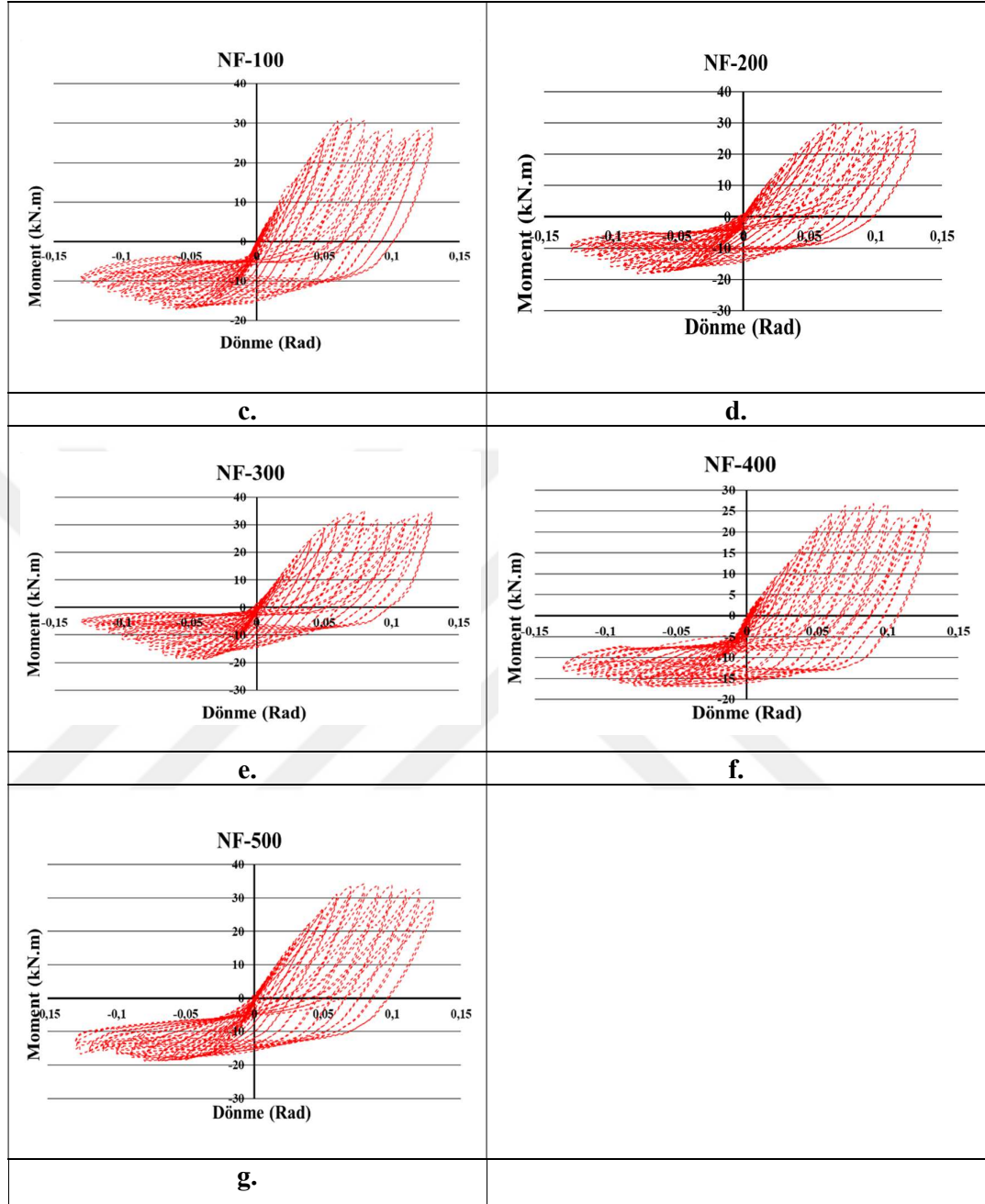
Bu grupta toplam 7 adet Kutu kesitli kolon-I profil kiriş birleşimlerin yangınsız durumları döngüsel yük altında davranışı incelenmiştir. 7 deney numunesinden 2 adet referans numunesi olup ve diğer numunelerle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1. moment-dönme eğrileri verilmiş ve Çizelge 4.1. Moment-dönme karakteristik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yangına maruz bırakılmayan grubun mekanik özellikleri

Deney No	$M_{max}$ (kN.m)	$\theta F_{max}$ (rad)	$F_{max}$ (kN)	$\Delta F_{max}$ (mm)	Rijitlik (kN.m/rad)	Süneklik ( $\Delta_{max}/\Delta_y$ )
NF-W	17,55	0,061	11,699	92,051	190,645	6,02
NF-E	17,92	0,065	11,844	98,376	91,813	1,57
NF-100	31,14	0,069	20,759	104,7	300,855	4,96
NF-200	30,55	0,079	20,365	119,55	255,520	2,509
NF-300	26,78	0,089	17,852	134,83	198,576	2,19
NF-400	34,26	0,079	22,838	119,86	285,832	1,94
NF-500	35,29	0,079	23,524	119,6	295,156	2,24

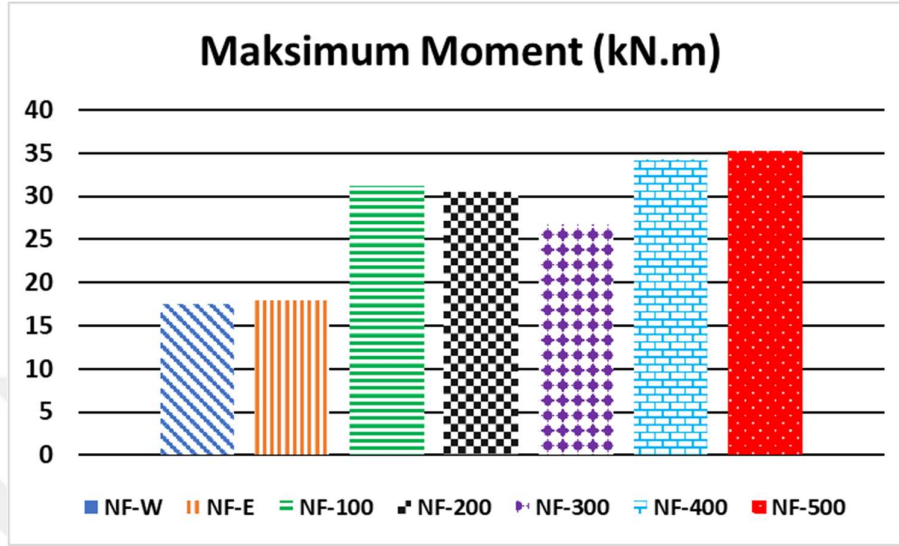


Şekil 4.1. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin dönme momentleri eğrileri



Şekil 4.1. (Devam)

## 4.1.1. Maksimum moment

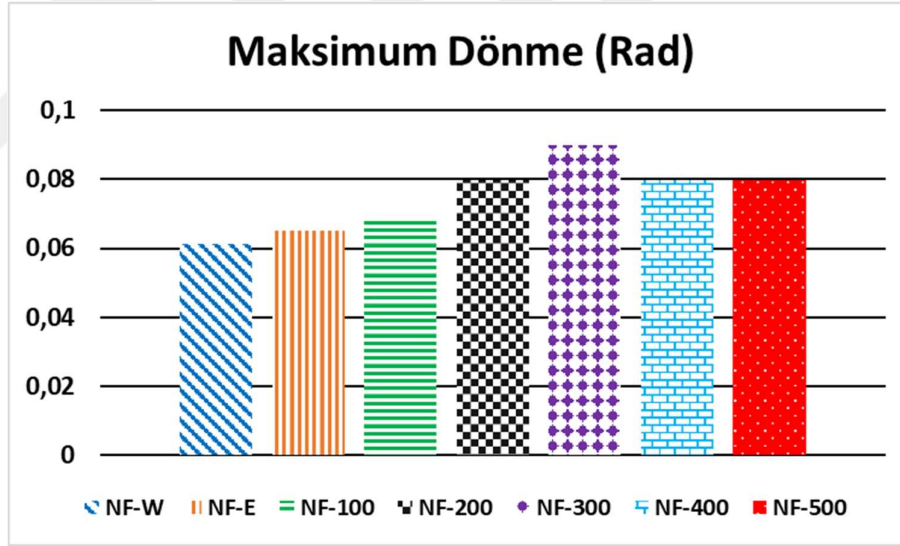


Şekil 4.2. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum moment değerleri

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'ye baktığımızda, NF-W numunesi, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profiller arasında kaynaklı birleşimi olan ve 1500mm boyunda I kesitli kiriş numunesi NF-W numunesinin taşıdığı maksimum momentini 17,549 kN.m' dir. Yangına maruz kalmamış kutu profili ile boyu 1.500mm olan I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olduğu durumda, NF-E numunesi maksimum 17,92 kN.m momentini taşır. Ayrıca, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan ve I kesitli profil ile kutu profil arasında kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm ve 1.400 mm parçalara sahip olduğu ve bunların bulonlu levha birleşimi ile birleştirildiği NF-100 numunesi, maksimum 31,139 kN.m momentini taşır. Benzer şekilde, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numuneleri için de benzer deneyler gerçekleştirilmiştir ve bu numuneler sırasıyla 30,548 kN.m, 26,778 kN.m, 34,256 kN.m ve 35,286 kN.m maksimum momentleri taşımıştır. NF-E numunesinin taşıdığı maksimum moment, NF-W numunesine kıyasla %2,11 artmıştır. NF-100 numunesi NF-W numunesine kıyasla %77,45 artış gösterirken, NF-200 numunesi %74,07 artmıştır. NF-300 numunesi %52,59 artış göstermiştir. NF-400 numunesi %95,20 artmıştır. NF-500 numunesi ise %101,07 artmıştır. NF-300 numunesi NF-E numunesine kıyasla %33,07 daha fazla moment taşırken, NF-100 numunesi NF-300 numunesine kıyasla %16,29 daha fazla moment taşımaktadır. NF-200 numunesi %14,08 daha fazla moment taşırken, NF-400 numunesi

%27,93 daha fazla moment taşımaktadır. NF-500 numunesi ise NF-300 numunesine göre %31,77 daha fazla moment taşır. Genel olarak, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında bulunan bulonlu levha birleşimi, sadece kaynaklı birleşime kıyasla daha yüksek moment taşımıştır. NF-300 numunesi, diğer NF-100, NF-200, NF-400 ve NF-500 numunelerine göre daha az moment taşımaktadır. I kesitli profil ile kutu profil arasında kaynaklı birleşim noktasından başlayarak I profilli parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimde, 100 mm yükseklikten başlayıp 300 mm'lik numuneye kadar her yükseklik artışında maksimum moment azalmıştır. Ancak, bu birleşim 300 mm'den fazlaysa, her yükseklik artışıyla birlikte maksimum moment artmıştır. Sonuç olarak, NF-500 numunesi en yüksek moment taşıma kapasitesine sahip birleşimdir.

#### 4.1.2. Maksimum dönme

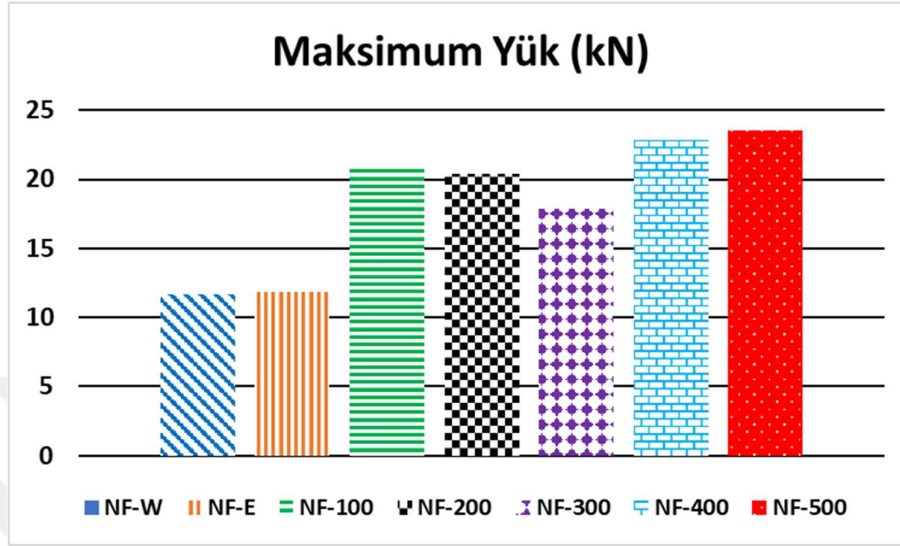


Şekil 4.3. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük altındaki dönme değerleri

Şekil 4.3.'e göz attığımızda, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı ve 1.500 mm yüksekliğe sahip I kesitli profile sahip NF-W numunesinin maksimum yük altındaki dönüşü 0,061 rad' dır. Yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olan, 1.500 mm yüksekliğe sahip I kesitli profile sahip numunenin NF-E numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönüşü 0,065 rad'dır. Ayrıca, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı

birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm ve 1.400 mm parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-100 numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönüşü 0,069 rad'dır. Benzer şekilde, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numuneleri için de benzer deneyler gerçekleştirilmiş ve bu numuneler sırasıyla 0,0797 rad, 0,0899 rad, 0,0799 rad ve 0,0797 rad maksimum yük altındaki dönüşlerini göstermiştir. NF-E numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönüş, NF-W numunesine göre %5,92 artmıştır. NF-100 numunesinin dönüşü, NF-W numunesine göre %12,44 artmıştır. NF-200 numunesinin dönüşü, NF-W numunesine göre %29,88 artmıştır. NF-300 numunesinin dönüşü, NF-W numunesine göre %46,50 artmıştır. NF-400 numunesinin dönüşü, NF-W numunesine göre %30,20 artmıştır. NF-500 numunesinin dönüşü ise NF-W numunesine göre %29,88 artmıştır. NF-300 numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönüş, NF-E numunesine göre %27,70 daha fazladır. NF-100 numunesinin dönüşü, NF-300 numunesine göre %23,25 daha azdır. NF-200 numunesinin dönüşü, NF-300 numunesine göre %11,35 azdır. NF-400 numunesinin dönüşü, NF-300 numunesine göre %11,12 azdır. NF-500 numunesinin dönüşü ise NF-300 numunesine göre %11,35 daha azdır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan ve I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yüksekliğinden bölünerek 300 mm'lik ve 1.200 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-300 numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönüşü, diğer NF-100, NF-200, NF-400 ve NF-500 numunelerine göre daha fazladır. I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından başlayarak I profilli parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği, I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 300 mm'lik yüksekliğe kadar her yükseklik artışında maksimum yük altındaki dönüşü artırmıştır. Ancak, bu birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 300 mm'den fazlaysa, her yükseklik artışıyla birlikte maksimum yük altındaki dönüş azalmıştır. Maksimum yük altındaki en büyük dönüş, kaynaklı birleşimden bulonlu levhalı birleşime olan uzaklığı 300 mm olan NF-300 numunesidir.

## 4.1.3. Maksimum yük



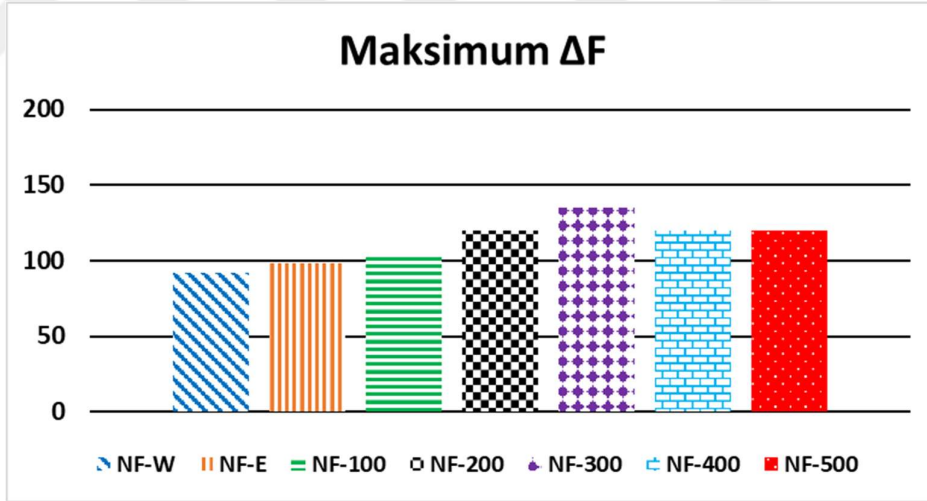
Şekil 4.4. Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük değerleri

Şekil 4.4.' e göz atıldığında, yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim varken, I kesitli profiller arasında birleşim yoktur. NF-W numunesi, maksimum 11,699 kN yük taşımaktadır. Yangına maruz kalmamış kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olan NF-E numunesi ise 11,844 kN maksimum yük taşır. I kesitli profiller arasında kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm'lik ve 1.400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile bileştirilen NF-100 numunesi, 20,759 kN maksimum yük taşır. Benzer şekilde, NF-200 numunesi 20,365 kN, NF-300 numunesi 17,852 kN, NF-400 numunesi 22,838 kN ve NF-500 numunesi 23,524 kN maksimum yük taşımaktadır.

NF-E numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 5,92 artmıştır. NF-100 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 12,44 artmıştır. NF-200 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 29,88 artmıştır. NF-300 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 46,50 artmıştır. NF-400 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 30,20 artmıştır. NF-500 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-W numunesine göre % 29,88 artmıştır. NF-300 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-E numunesine göre % 27,70 daha azdır. NF-100 numunesi taşıdığı maksimum NF-300 numunesine göre % 23,25 daha azdır. NF-200 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-300 numunesine göre % 11,35 azdır. NF-400

numunesi taşıdığı maksimum yük NF-300 numunesine göre % 11,12 azdır. NF-500 numunesi taşıdığı maksimum yük NF-300 numunesine göre % 11,35 daha azdır. Kutu profilinin I kesitli profil ile kaynakla birleştiği noktadan başlayarak I kesitli profilin 300 mm yüksekliğinden kesilerek bulonlu levha ile birleştirilen NF-300 numunesi, diğer NF-100, NF-200, NF-400 ve NF-500 numunelerine göre daha az dönme eğilimindedir. I kesitli profil ile kutu profil arasındaki kaynaklı birleşim noktasından başlayarak I profilin parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği, I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 300 mm'lik yüksekliğe kadar olan her artışta taşıdığı maksimum yük azalır. Bu birleşimin kaynaktan birleşime olan mesafesi 300 mm'den fazla olduğunda, her yükseklik artışıyla birlikte taşıdığı maksimum yük artar. Kaynaktan birleşime olan mesafesi 300 mm olan NF-300 numunesi, bulonlu levhalı birleşimli numuneler arasında en az yük taşıyan numunedir

#### 4.1.4. Yer değişimi



**Şekil 4.5.** Yangına maruz bırakılmamış numunelerin maksimum yük altındaki yer değiştirme değerleri

Şekil 4.5.' e göre, yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan ve I kesitli profiller arasında birleşim olmayan NF-W numunesi, maksimum yük altında 92,051 mm yer değiştirme gösterir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olan ve I kesitli profiller arasında birleşim olmayan NF-E numunesi ise maksimum yük altında 98,376 mm yer değiştirme gösterir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim

olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm'lik ve 1.400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-100 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme 104,7 mm'dir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 200 mm yüksekliğinden bölünerek 200 mm'lik ve 1.300 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-200 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme 119,55 mm'dir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yüksekliğinden bölünerek 300 mm'lik ve 1.200 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-300 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme 134,83 mm'dir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 400 mm yüksekliğinden bölünerek 400 mm'lik ve 1.100 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-400 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme 119,86 mm'dir. Yangın etkisi olmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 500 mm yüksekliğinden bölünerek 500 mm'lik ve 1.000 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-500 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme 119,6 mm'dir. NF-E numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 6,87 artmıştır. NF-100 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 13,74 artmıştır. NF-200 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 29,87 artmıştır. NF-300 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 46,47 artmıştır. NF-400 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 30,21 artmıştır. NF-500 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-W numunesine göre % 29,93 artmıştır. NF-E numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-300 numunesine göre % 27,04 daha azdır. NF-100 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-300 numunesine göre % 22,35 daha azdır. NF-200 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-300 numunesine göre % 11,33 azdır. NF-400 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-300 numunesine göre % 11,10 azdır. NF-500 numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi NF-300 numunesine göre % 11,29 daha azdır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı

birleşim olan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yüksekliğinden bölünerek 300 mm'lik ve 1.200 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-300 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi, diğer NF-100, NF-200, NF-400 ve NF-500 numunelerine göre daha fazladır. I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I profilli parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği, I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 300 mm'lik yüksekliğe kadar olan her artışta maksimum yük altındaki yer değiştirmeyi artırır. Bu birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 300 mm'den daha fazla olduğunda, her yükseklik artışıyla birlikte maksimum yük altındaki yer değiştirme azalır. Maksimum yük altındaki en büyük yer değiştirme, kaynaklı birleşimden bulonlu levhalı birleşime olan uzaklığı 300 mm olan NF-300 numunesindedir.

#### 4.1.5. Enerji yutma kapasitesi

**Çizelge 4.2.** Yangına maruz kalmamış numunelerin döngülere göre enerji yutma kapasiteleri

Döngü	NF-W	NF-E	NF-100	NF-200	NF-300	NF-400	NF-500
1	0,694	0,922	0,313	0,639	0,461	0,503	0,592
2	1,522	2,051	1,702	2,17	2,049	1,771	2,303
3	2,555	3,35	3,158	3,772	3,565	3,197	4,012
4	3,625	4,989	4,464	5,222	5,022	4,6	5,779
5	5,56	6,805	5,847	7,002	6,758	6,229	7,688
6	7,289	9,574	7,497	8,935	8,473	7,636	9,731

Çizelge 4.2. incelediğimizde, farklı döngülerdeki numunelerin enerji yutma kapasitelerinin ölçüldüğünü görüyoruz. Her döngü için, en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip numuneyi belirleyerek bu numunenin diğerlerine göre performansını değerlendirebiliriz. Tablodaki verilere dayanarak, her bir döngü için en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip numune

- Döngü 1: En yüksek değer NF-E numunesinde
- Döngü 2: En yüksek değer NF-500 numunesinde
- Döngü 3: En yüksek değer NF-500 numunesinde

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

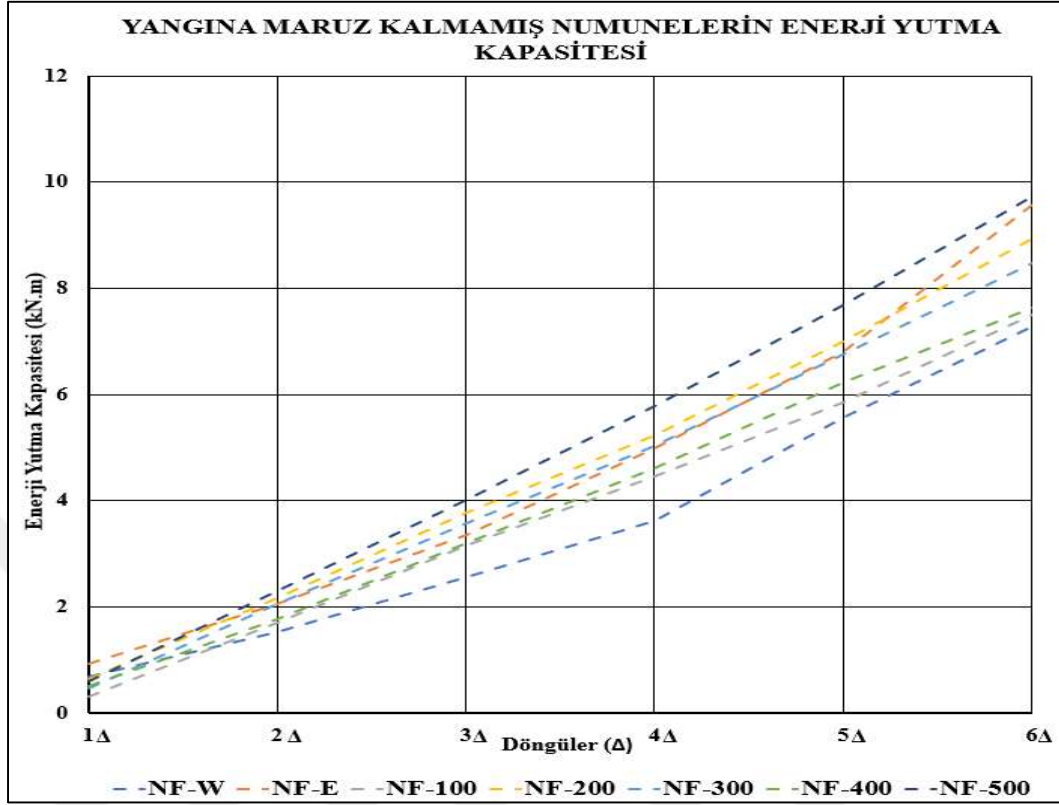
- Döngü 4: En yüksek değer NF-500 numunesinde
- Döngü 5: En yüksek değer F-500 numunesinde
- Döngü 6: En yüksek değer F-500numunesinde

NF-500 numunesi, tüm döngüler boyunca en büyük değere sahiptir. Diğer numunelere göre değişen yüzdelik farklar, her döngünün farklı bir karşılaştırma sonucu olduğunu göstermektedir. Bu değerler, numuneler arasındaki farklılıkları ve hangi numunenin hangi döngüde en büyük olduğunu net bir şekilde göstermektedir.

**Çizelge 4.3.** En yüksek enerji yutma kapasitesine sahip F-E numunesinin diğer tüm numunelere göre enerji yutma kapasitesinin % oranları

Döngü	NF-W	NF-E	NF-100	NF-200	NF-300	NF-400
1	%18,95	%35,78	%89,51	%7,31	%28,43	%17,51
2	%34,09	%12,37	%35,06	%5,45	%12,60	%23,35
3	%36,18	%19,54	%26,80	%5,78	%12,45	%25,49
4	%37,11	%15,88	%29,70	%10,88	%15,16	%25,71
5	%38,97	%13,11	%31,32	%9,81	%12,10	%23,62
6	%33,94	%1,04	%29,89	%8,16	%14,73	%21,02

Çizelge 4.3.'e göre en yüksek enerji yutma kapasitesi NF-500 numunesi olduğu için NF-500 numunesini diğer numunelerle kıyaslanmıştır. Örneğin, 1. döngüdeki NF-500 numunesi, NF-E numunesine göre yaklaşık %35.78 daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir. 2. döngüdeki NF-500 numunesi ise NF-E numunesine göre yaklaşık %12.37 daha yüksek bir enerji yutma kapasitesine sahiptir. 6. Döngüde yani son döngüdeki toplam enerji yutma kapasitesi en yüksek olan numunesine en yakın olan numune NF-E numunesidir.



Şekil 4.6. Yangına maruz bırakılmış numunelerin döngü sayısına göre enerji yutma kapasitesi

Şekil 4.6.'da her döngüde NF-500 numunesinin en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülebilir. Dolayısıyla, en ideal enerji yutma kapasitesine sahip numunenin NF-500 olduğu sonucuna varabiliriz. Bu, numunelerin performansını değerlendirmek ve en etkili numuneyi belirlemek için önemli bir göstergedir.

#### 4.1.6. Rijitlik ve süneklik

Numunelerin elastik olmayan deformasyon kapasitesini gösteren süneklik oranı, nihai yer değiştirmenin akma yer değiştirmesine oranı olarak tanımlanır. Süneklik faktörlerinin 1,57 ile 6,02 arasında olduğu görülüyor. Bu faktör, modül bağlantısının akma sonrası plastik deformasyon yeteneğini yansıtır. NF-W numunesinin süneklik oranı 6,02  $\Delta_{max}/\Delta_y$  iken, NF-E numunesinin süneklik oranı 1,57  $\Delta_{max}/\Delta_y$  olarak belirlenmiştir. NF-100 numunesinin sünekliği 4,96  $\Delta_{max}/\Delta_y$ , NF-200 numunesinin sünekliği 2,509  $\Delta_{max}/\Delta_y$ , NF-300 numunesinin sünekliği 2,19  $\Delta_{max}/\Delta_y$ , NF-400 numunesinin sünekliği 1,94  $\Delta_{max}/\Delta_y$ , NF-500 numunesinin sünekliği 2,24

$\Delta_{max}/\Delta y$ 'dir. Numunelerin NF-W'ye göre süneklik oranlarına bakıldığında, NF-E numunesinin sünekliğinin %73,92 azaldığı görülürken, NF-100 numunesinde bu azalmanın %17,61 olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numunelerinin süneklik oranlarının sırasıyla %58,32, %63,62, %67,78 ve %62,79 oranında azaldığı belirlenmiştir. Süneklik faktörü 2,5'ten büyük olan numunelerin, modül bağlantısının akma sonrası iyi plastik deformasyon yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. NF-W, NF-100 ve NF-200 numunesinin süneklik faktörü 2,5 den büyüktür.

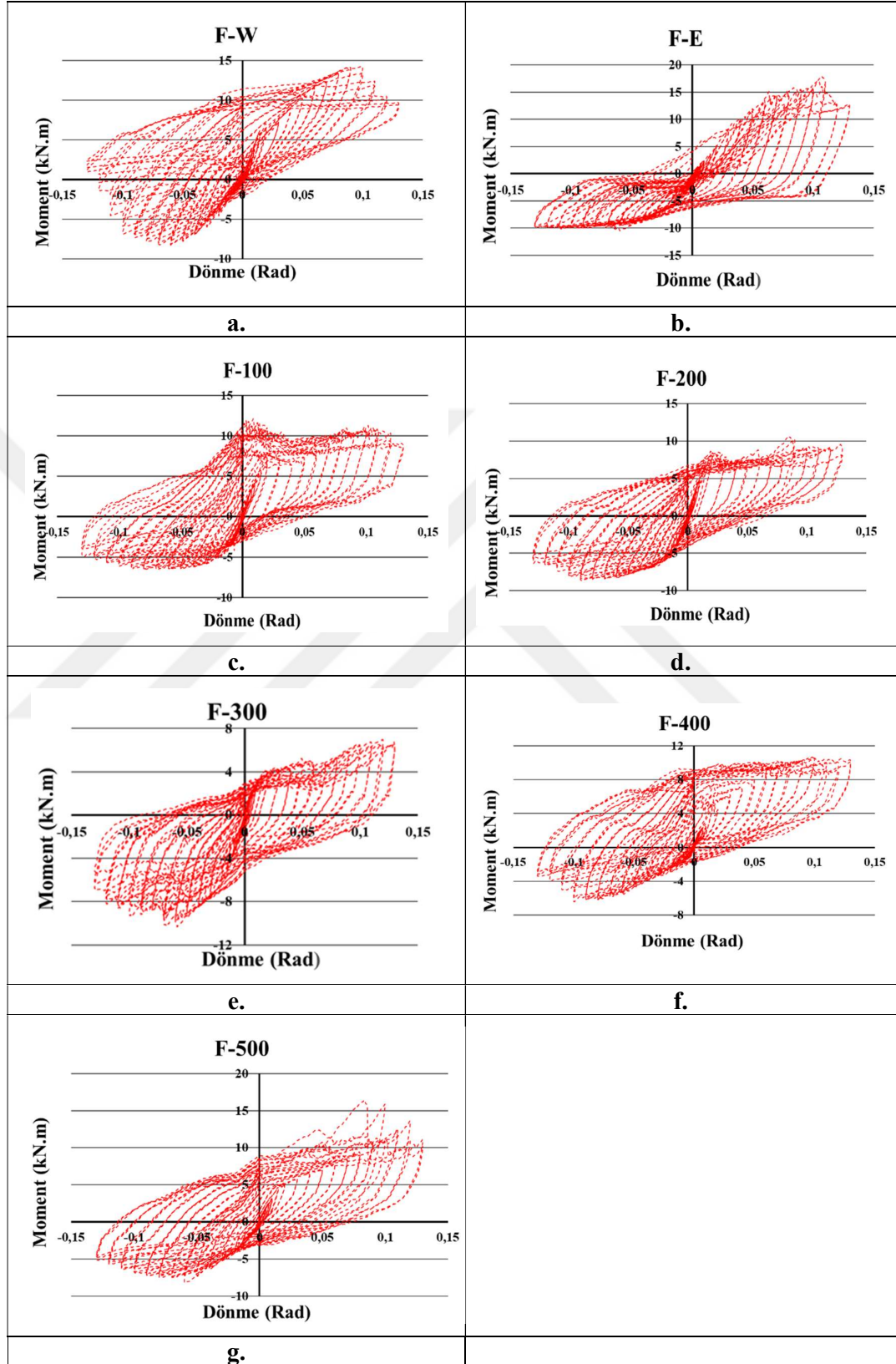
Çizelge 4.1.'e göre, numunelerin rijitliği de değerlendirilmiştir. Maksimum rijitlik NF-100 numunesinde bulunmuştur. NF-W numunesinin NF-100 numunesine göre %36,63 daha fazla rijitliğe sahip olduğu, NF-E numunesinin ise %69,48 daha fazla rijitliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numunelerinin de NF-100 numunesine göre sırasıyla %15,07, %33,99, %5 ve %1,89 daha fazla rijitliğe sahip olduğu belirlenmiştir. En az rijitliğe sahip numune NF-E numunesidir.

#### 4.2. Yangınlı Grup

Bu grupta toplam 7 adet kutu kesitli kolon-I profil kiriş birleşimlerin yangına maruz bırakılan durumları döngüsel yük altında davranışı incelenmiştir. 7 deney numunesinden 2 adet referans numunesi olup ve diğer numunelerle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7. moment-dönme eğrileri verilmiş ve Çizelge 4.4. moment-dönme karakteristik özellikleri verilmiştir.

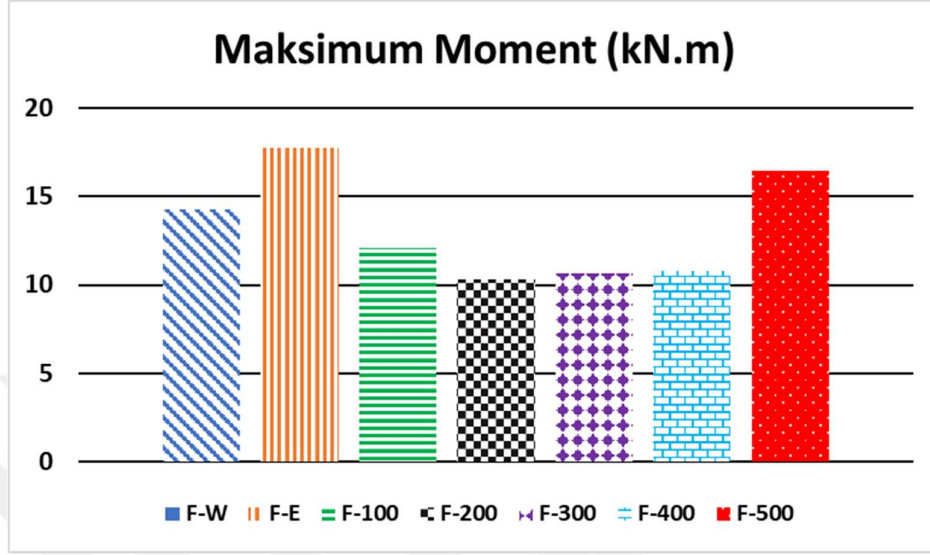
**Çizelge 4.4.** Yangına maruz bırakılmış grubun mekanik özellikleri

Deney No	$M_{max}$ (kN.m)	$\theta F_{max}$ (rad)	$F_{max}$ (kN)	$\Delta F_{max}$ (mm)	Rijitlik (kN.m/rad)	Süneklik ( $\Delta_{max}/\Delta y$ )
<b>F-W</b>	14,30	0,098	9,535	147,83	97,295	1,59
<b>F-E</b>	17,76	0,106322	11,04858	159,484	112,380	1,85
<b>F-100</b>	12,09	0,069798	8,06382	123,5945	115,530	3,57
<b>F-200</b>	10,32	0,05847	6,878772	87,705	117,646	1,53
<b>F-300</b>	10,69	0,084743	7,127946	148,845	84,112	2,40
<b>F-400</b>	10,76	0,084184	7,171	127,115	72,267	3,53
<b>F-500</b>	16,43	0,083626	10,95384	125,439	130,986	4,73



Şekil 4.7. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin dönme momentleri eğrileri

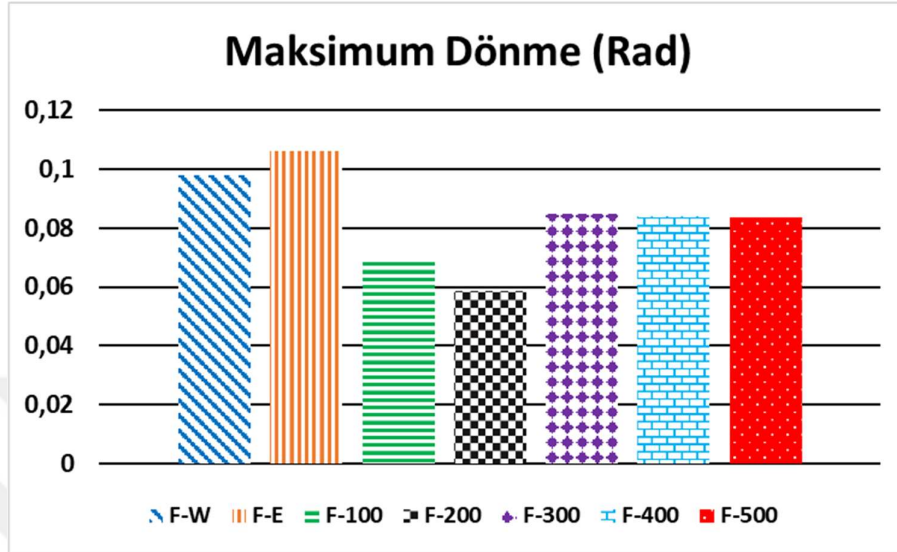
## 4.2.1. Maksimum moment



Şekil 4.7. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum moment değerleri

Şekil 4.7.'ye göre, yangına maruz kalmış kutu profili ve I kesitli profiller kaynaklı bulonlu bileşimlerin taşıdığı maksimum momentler incelenmiştir. F-W numunesi, kaynaklı birleşim içeren kutu profili ile 1.500mm yüksekliğe sahip I kesitli profil 14,3 kN.m maksimum moment taşımaktadır. Benzer süreçten geçen, F-E numunesi, kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim içeren 1.500mm yüksekliğe sahip I kesitli profil 17,76 kN.m maksimum moment taşımaktadır. F-100, F-200, F-300, F-400 ve F-500 numuneleri ise sırasıyla kutu profille I kesitli profillerin kaynaklı birleşimden 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm ve 500 mm yüksekliklerde bulonlu levhalı birleşim numunelerin taşıdığı maksimum momentler sırasıyla 12,09 kN.m, 10,32 kN.m, 10,69 kN.m, 10,76 kN.m ve 16,43 kN.m'dir. F-E numunesinin taşıdığı maksimum moment, F-W numunesine göre %24,20 artmıştır. Ancak, F-100, F-200, F-300, F-400 ve F-500 numunelerinin taşıdığı maksimum momentler sırasıyla %15,46, %27,84, %25,25, %24,76 ve %14,90 oranında azalmıştır. Ayrıca, F-300, F-100, F-200, F-400 ve F-500 numunelerinin taşıdığı maksimum momentler sırasıyla F-E numunesine göre %66,14, %13,10, %3,46, %0,655 ve %53,70 oranında farklılık göstermektedir. Maksimum momentin en fazla olduğu numune F-500 iken, en düşük maksimum momente sahip olan numune ise F-200'dür. Ayrıca, birleşimin yüksekliği 200 mm'nin üstüne çıkarıldıkça maksimum moment artmaktadır.

## 4.2.2. Maksimum dönme

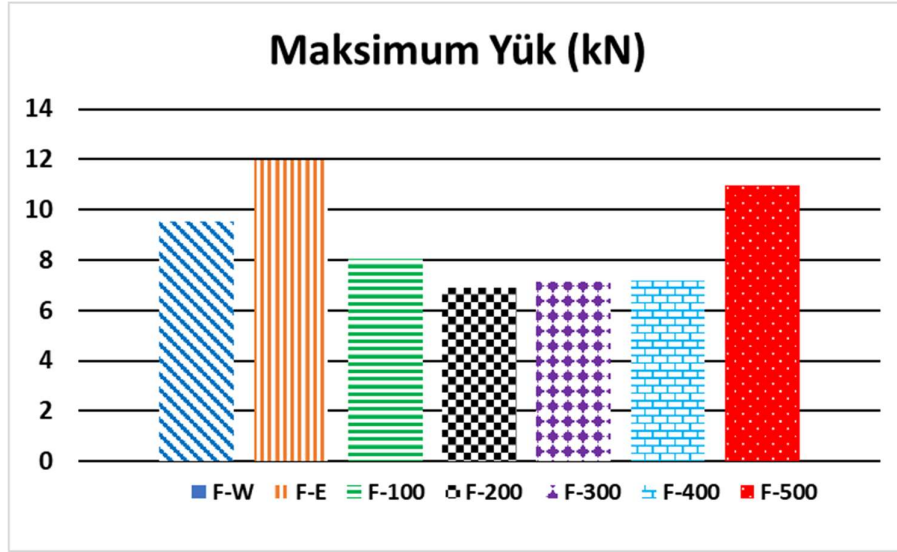


**Şekil 4.8.** Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük altındaki dönme değerleri

Şekil 4.8.'e göre, F-W numunesi, yangına maruz bırakılan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olmaksızın en fazla 0,098 rad dönme gerçekleştirir. Benzer şekilde, F-E numunesi, kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olan ancak I kesitli profiller arasında birleşim olmayan bir durumda 0,1063 rad dönme gösterir. F-100 numunesi, I kesitli profili kutu profiliyle birleştiren kaynaklı birleşim noktasından bölünerek 100 mm'lik ve 1.400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilmiş olup, maksimum dönmesi 0,0697 rad'dir. F-200 numunesi için bu değer 0,0585 rad'dir. F-300, F-400 ve F-500 numuneleri için ise sırasıyla 0,0847 rad, 0,0842 rad ve 0,083626 rad olarak ölçülmüştür. F-E numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönme F-W numunesine göre % 8,49 artmıştır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre %28,78 azalmıştır. F-200 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre % 40,34 azalmıştır. F-300 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre %13,53 azalmıştır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre % 14,097 azalmıştır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre % 14,667 artmıştır. F-300 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-E numunesine göre % 25,46 daha azdır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-300 numunesine göre % 17,636 daha fazladır. F-200

numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-300 numunesine göre % 31,0034 daha fazladır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-300 numunesine göre % 0,659 daha azdır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi F-300 numunesine göre % 1,318 daha azdır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yüksekliğinden bölünerek 300 mm'lik ve 1.200 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen F-300 numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki dönmesi diğer F-100, F-200, F-400 ve F-500 numunelerine göre dönmesi daha fazladır. I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I profilli parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 300 mm'lik yüksekliğe kadar her yükseklik artışında maksimum yük altındaki dönmesi azalmıştır. Bu birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 300 mm'den daha fazla olduğu her yükseklik artışında maksimum yük altındaki dönmesi azalmıştır. En fazla dönme birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 300 mm olan F-300 numunesindedir.

#### 4.2.3. Maksimum yük



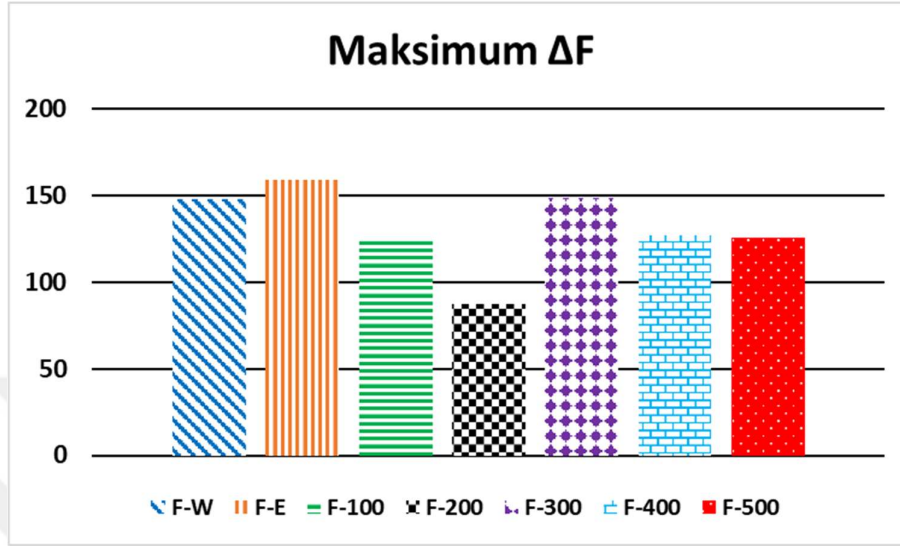
Şekil 4.9. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük değerleri

Şekil 4.9.'a göre, F-W numunesi, yangına maruz kalan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim olup I kesitli profiller arasında birleşim bulunmayan durumda maksimum 9,535 kN yük taşır. Benzer şekilde, F-E numunesi, kutu profili ile I

kesitli profil arasında bulonlu birleşim olan ancak I kesitli profiller arasında birleşim olmayan bir durumda 11,0485 kN yük taşır. F-100 numunesi, I kesitli profili kutu profiliyle birleştiren kaynaklı birleşim noktasından bölünerek 100 mm'lik ve 1400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilmiş olup, maksimum yükü 8,063 kN'dir. F-200 numunesi için bu değer 6,879 kN'dir. F-300, F-400 ve F-500 numuneleri için ise sırasıyla 7,128 kN, 7,171 kN ve 10,954 kN olarak llmŐtir.

F-E numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 15,874 artmıştır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 15,429 azalmıştır. F-200 numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 27,858 azalmıştır. F-300 numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 25,244 azalmıştır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 24,7917 azalmıştır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük F-W numunesine göre % 14,88 artmıştır. F-00 numunesi taşıdığı maksimum yük F-E numunesine göre % 60,62 daha azdır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük F-200 numunesine göre % 17,228 daha azdır. F-200 numunesi taşıdığı maksimum yük F-300 numunesine göre % 3,622 azdır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük F-200 numunesine göre % 4,25 azdır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük F-200 numunesine göre % 14,88 daha fazladır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 200 mm yüksekliğinden bölünerek 200 mm'lik ve 1.300 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen F-200 numunesinin taşıdığı maksimum yük diğer F-100, F-300, F-400 ve F-500 numunelerine göre daha azdır. I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I profilin parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 200 mm'lik yüksekliğe kadar her yükseklik artışında maksimum yük azalmıştır. Bu birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 200 mm'den daha fazla olduğu her yükseklik artışında maksimum yük artmıştır. Birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 200 mm olan F-200 numunesi, en az yük taşıyan numunedir.

## 4.2.4. Yer değişimi



Şekil 4.10. Yangına maruz bırakılmış numunelerin maksimum yük altındaki yer değiştirme değerleri

Şekil 4.10.'a göre, F-W numunesi, yangına maruz kalan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı bir birleşim olmasına rağmen I kesitli profiller arasında birleşim olmaması durumunda maksimum yük altında 147,83 mm yer değiştirir. Benzer şekilde, F-E numunesi, kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu birleşim olmasına rağmen I kesitli profiller arasında birleşim olmaması durumunda maksimum yük altında 159,484 mm yer değiştirir. F-100 numunesi, I kesitli profili kutu profiliyle birleştiren kaynaklı birleşim noktasından bölünerek 100 mm'lik ve 1400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilmiş olup, maksimum yük altında 123,595 mm yer değiştirir. F-200 numunesi için bu değer 87,71 mm'dir. F-300, F-400 ve F-500 numuneleri için ise sırasıyla 148,845 mm, 127,115 mm ve 125,439 mm olarak ölçülmüştür. F-E numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-W numunesine göre % 7,88 artmıştır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-W numunesine göre % 16,394 azalmıştır. F-200 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-W numunesine göre % 40,672 azalmıştır. F-300 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-W numunesine göre % 14,013 azalmıştır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirmesi F-W numunesine göre % 0,687 artmıştır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirmesi F-W numunesine göre % 15,147 azalmıştır. F-E numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirmesi F-200 numunesine göre %

81,84 daha fazladır. F-100 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-200 numunesine göre % 40,92 daha fazladır. F-300 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-200 numunesine göre % 69,71 daha fazladır. F-400 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-200 numunesine göre % 44,93 daha fazladır. F-500 numunesi taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirme F-200 numunesine göre % 43,024 daha fazladır. Kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 200 mm yüksekliğinden bölünerek 200 mm'lik ve 1.300 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen F-200 numunesinin taşıdığı maksimum yük altındaki yer değiştirmesi diğer F-100, F-300, F-400 ve F-500 numunelerine göre maksimum yük altındaki yer değiştirmesi daha azdır. I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I profilli parçaların birleştiği bulonlu levhalı birleşimin yüksekliği I kesitli profilin 100 mm yükseklikten 200 mm'lik yüksekliğe kadar her yükseklik artışında maksimum yük altındaki yer değiştirme azalmıştır. Maksimum yer değiştirme F-300 numunesindedir. Bu birleşimin kaynaktan birleşime olan uzaklığı 300 mm'den daha fazla olduğu her yükseklik artışında maksimum yük altındaki yer değiştirme azalmıştır.

#### 4.2.5. Enerji yutma kapasitesi

**Çizelge 4.5.** Yangına maruz kalmış numunelerin döngülere göre enerji yutma kapasiteleri

Döngü	F-W	F-E	F-100	F-200	F-300	F-400	F-500
1	0,694	0,922	0,313	0,639	0,461	0,503	0,592
2	1,483	1,878	1,237	1,471	1,284	1,206	1,404
3	2,382	2,973	2,344	2,34	2,079	2,088	2,499
4	3,313	4,13	3,504	3,295	2,912	3,036	3,624
5	4,217	6,247	4,958	4,3233	3,907	4	5,003
6	4,977	8,506	6,202	5,6203	5,017	5,388	6,3025

Çizelge 4.6. incelediğimizde, farklı döngülerdeki numunelerin enerji yutma kapasitelerinin ölçüldüğünü görüyoruz. Her döngü için, en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip numuneyi belirleyerek bu numunenin diğerlerine göre performansını değerlendirebiliriz. Tablodaki verilere dayanarak, her bir döngü için en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip numune

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

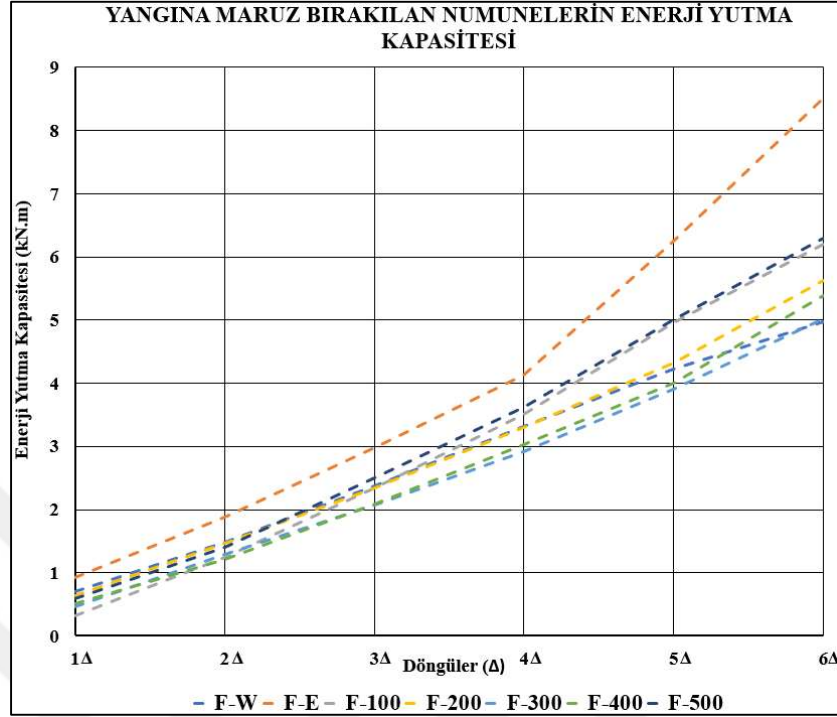
- Döngü 1: En yüksek değer F-E numunesinde
- Döngü 2: En yüksek değer F-E numunesinde
- Döngü 3: En yüksek değer F-E numunesinde
- Döngü 4: En yüksek değer F-E numunesinde
- Döngü 5: En yüksek değer F-E numunesinde
- Döngü 6: En yüksek değer F-Enumunesinde

Tablodaki verilere dayanarak her döngü için en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip numuneyi belirledik.

**Çizelge 4.6.** En yüksek enerji yutma kapasitesine sahip F-E numunesinin diğer tüm numunelere göre enerji yutma kapasitesinin % oranları

Döngü	F-W (%)	F-100 (%)	F-200 (%)	F-300 (%)	F-400 (%)	F-500 (%)
1	75,11	33,89	69,52	43,69	52,08	36,26
2	26,66	26,66	21,73	20,65	28,19	18,75
3	24,85	21,00	21,23	21,25	20,57	16,10
4	23,71	18,96	17,55	20,22	18,26	12,25
5	32,71	26,98	14,82	25,85	19,18	7,95
6	41,02	27,23	16,36	20,66	14,76	6,36

Bu tablo (Çizelge 4.6.), her bir numunenin F-E numunesine göre enerji yutma kapasitesindeki artış oranlarını gösterir. Örneğin, 1. döngüdeki F-E numunesi, F-W numunesine göre yaklaşık %75,11 daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir. 2. döngüdeki F-E numunesi ise F-500 numunesine göre yaklaşık %18,75 daha yüksek bir enerji yutma kapasitesine sahiptir. 6. Döngüde yani son döngüdeki toplam enerji yutma kapasitesi en yüksek olan F-E numunesine en yakın olan numune F-500 numunesidir.



Şekil 4.11. Yangına maruz bırakılmış numunelerin döngü sayısına göre enerji yutma kapasitesi

Şekil 4.11'den her döngüde F-E numunesinin en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülebilir. Dolayısıyla, en ideal enerji yutma kapasitesine sahip numunenin F-E olduğu sonucuna varabiliriz. Bu, numunelerin performansını değerlendirmek ve en etkili numuneyi belirlemek için önemli bir göstergedir.

#### 4.2.6. Rijitlik ve süneklilik

Tablo 4.4.'e göre, numunelerin süneklilik oranı, nihai yer değiştirmenin akma yer değiştirmesine oranı olarak tanımlanır; bu, yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan elastik olmayan deformasyon kapasitesini gösterir. Tabloya göre, birleşimlerin süneklilik oranları değerlendirildiğinde, süneklilik faktörü tüm numuneler için 1,53 ile 4,73 arasında değişmektedir. Süneklilik faktörü 2,5'tan büyük olduğunda, modül bağlantısının akma sonrasında iyi plastik deformasyon yeteneğini yansıttığı görülmektedir. F-W numunesinin süneklilik faktörü  $1,59 \Delta_{max}/\Delta_y$ , F-E numunesinin süneklilik faktörü  $1,85 \Delta_{max}/\Delta_y$ , F-100 numunesinin süneklilik faktörü  $3,57 \Delta_{max}/\Delta_y$ , F-200 numunesinin süneklilik faktörü  $1,53 \Delta_{max}/\Delta_y$ , F-300 numunesinin süneklilik faktörü  $2,4 \Delta_{max}/\Delta_y$ , F-400 numunesinin süneklilik faktörü  $3,53 \Delta_{max}/\Delta_y$ , ve F-500 numunesinin süneklilik faktörü

4,73  $\Delta_{max}/\Delta_y$  olarak belirlenmiştir. Maksimum süneklik F-500 numunesinde gözlemlenir. F-E numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %16,35 daha fazladır. F-100 numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %124,53 daha fazladır. F-200 numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %3,77 azalmıştır. F-300 numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %50,94 daha fazladır. F-400 numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %122,01 daha fazladır. F-500 numunesinin F-W numunesine göre sünekliği %197,48 daha fazladır. F-100, F-400, F-400 ve F-500 numunelerinin süneklik faktörü 2,5'in üzerindedir. En iyi sünekliğe sahip numune F-500'dür.

Tablo 4.4.'e göre birleşimlerin süneklik oranları incelendiğinde, F-W numunesinin rijitliği 97,295 kN.m/rad, F-E numunesinin rijitliği 112,38 kN.m/rad, F-100 numunesinin rijitliği 115,53 kN.m/rad, F-200 numunesinin rijitliği 117,65 kN.m/rad, F-300 numunesinin rijitliği 84,112 kN.m/rad, F-400 numunesinin rijitliği 72,27 kN.m/rad ve F-500 numunesinin rijitliği 130,99 kN.m/rad olarak belirlenmiştir. Maksimum rijitlik F-500 numunesinde gözlenir. F-E numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %15,50 daha azdır. F-100 numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %18,74 daha fazladır. F-200 numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %20,92 daha fazladır. F-300 numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %13,55 daha azdır. F-400 numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %25,72 daha azdır. F-500 numunesinin F-W numunesine göre rijitliği %34,63 daha fazladır. Rijitliğin en düşük olduğu numune F-400'dür.

#### 4.3. Yangına Maruz Bırakılmış Numuneler ve Yangına Maruz Bırakılmamış Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

**Çizelge 4.7.** Yangına maruz bırakılmış numuneler ve yangına maruz bırakılmamış numunelerin mekanik özelliklerinin %'de olarak karşılaştırılması

NUMUNE	$M_{max}$ % (NF/F)	$\theta F_{max}$ % (NF/F)	$F_{max}$ % (NF/F)	$\Delta F_{max}$ % (NF/F)	Rijitlik % (NF/F)	Süneklik % (NF/F)
W	18,51	-58,06	18,50	-60,59	-48,965	-73,588
E	0,89	-63,57	6,72	-62,12	22,40014	17,834
100 mm	61,17	-1,16	61,15	-18,05	-61,5992	-28,024
200 mm	66,22	26,64	66,22	26,64	-53,9583	-39,019
300 mm	60,08	5,74	60,072	-10,39	-57,6424	9,589
400 mm	68,59	-5,36	68,60	-6,05	-74,7168	81,958
500 mm	53,44	-4,93	53,44	-4,88	-55,6215	111,160

Çizelge 4.7.'e bakıldığında yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı ve I kesitli profiller arasında birleşim bulunmayan NF-W numunesinin taşıdığı maksimum momenti yangına maruz bırakılmış F-W numunesinin taşıdığı maksimum momente göre %18,51 daha fazla momente sahiptir. NF-W numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-W numunesine göre % 58,06 daha azdır. NF-W numunesinin taşıdığı maksimum yük F-W numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre 18,50 daha fazladır. NF-W numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-W numunesine göre 60,59 daha azdır. NF-W numunesinin rijitliği F-W göre %48,97 daha fazla. NF-W numunesinin sünekliliği F-W göre %73,59 daha fazladır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında bulonlu levhalı ve I kesitli profiller arasında birleşim bulunmayan NF-E numunesinin taşıdığı maksimum momenti yangına maruz bırakılmış F-E numunesinin taşıdığı maksimum momente göre %0,89 daha fazla momente sahiptir. NF-E numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-E numunesine göre % 63,57 daha azdır. NF-E numunesinin taşıdığı maksimum yük F-E numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %6,72 daha fazladır. NF-E numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-E numunesine göre %62,12 daha azdır. NF-E numunesinin rijitliği F-E göre %22,4 daha azdır. NF-E numunesinin sünekliliği F-E göre %17,83 daha azdır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 100 mm yükseklikten bölünerek 100 mm'lik ve 1400 mm'lik parçaları bulonlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-100 numunesinin taşıdığı maksimum moment yangına maruz bırakılmayan F-100 numunesine göre %61,17 daha fazladır. NF-100 numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-100 numunesine göre % 1,16 daha azdır. NF-100 numunesinin taşıdığı maksimum yük F-100 numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %61,15 daha fazladır. NF-100 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-100 numunesine göre %18,05 daha azdır. NF-100 numunesinin rijitliği F-100 göre %61,59 daha fazladır. NF-100 numunesinin sünekliliği F-100 göre %28,02 daha fazladır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 200 mm yükseklikten bölünerek 200 mm'lik ve 1300 mm'lik parçaları bulunlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-200 numunesinin taşıdığı maksimum moment yangına maruz bırakılmayan F-200 numunesine göre %66,22 daha fazladır. NF-200 numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-200 numunesine göre % 26,64 daha fazladır. NF-200 numunesinin taşıdığı maksimum yük F-200 numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %66,22 daha fazladır. NF-200 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-200 numunesine göre %26,64 daha fazladır. NF-200 numunesinin rijitliği F-200 göre %53,96 daha fazladır. NF-200 numunesinin sünekliliği F-200 göre %39,02 daha fazladır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 300 mm yükseklikten bölünerek 300 mm'lik ve 1200 mm'lik parçaları bulunlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-300 numunesinin taşıdığı maksimum moment yangına maruz bırakılmayan F-300 numunesine göre %60,08 daha fazladır. NF-300 numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-300 numunesine göre % 5,74 daha fazladır. NF-300 numunesinin taşıdığı maksimum yük F-300 numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %60,07daha fazladır. NF-300 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-300 numunesine göre %10,39 daha azdır. NF-300 numunesinin rijitliği F-300 göre %57,64 daha fazladır. NF-300 numunesinin sünekliliği F-300 göre %9,59 daha azdır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 400 mm yükseklikten bölünerek 400 mm'lik ve 1100 mm'lik parçaları bulunlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-400 numunesinin taşıdığı maksimum moment yangına maruz bırakılmayan F-400 numunesine göre %68,59 daha fazladır. NF-400 numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-400 numunesine göre % 5,36 daha azdır. NF-400 numunesinin taşıdığı maksimum yük F-400 numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %68,6 daha fazladır. NF-400 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-400 numunesine göre %6,05 daha azdır. NF-400 numunesinin

rijitliği F-400 göre %74,72 daha fazladır. NF-400 numunesinin sünekliliği F-400 göre %81,96 daha azdır.

Yangına maruz bırakılmayan kutu profili ile I kesitli profil arasında kaynaklı birleşim bulunan, I kesitli profil ile kutu profil arasında bulunan kaynaklı birleşim noktasından I kesitli profilin 500 mm yükseklikten bölünerek 500 mm'lik ve 1000 mm'lik parçaları bulunlu levha birleşimi ile birleştirilen NF-500 numunesinin taşıdığı maksimum moment yangına maruz bırakılmayan F-500 numunesine göre %53,44 daha fazladır. NF-500 numunesinin maksimum yük altındaki dönmesi F-500 numunesine göre % 4,93 daha azdır. NF-500 numunesinin taşıdığı maksimum yük F-500 numunesinin taşıdığı maksimum yüke göre %53,44 daha fazladır. NF-500 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirme F-500 numunesine göre %4,88daha azdır. NF-500 numunesinin rijitliği F-500 göre %55,62 daha fazladır. NF-500 numunesinin sünekliliği F-500 göre %111,16 daha azdır.

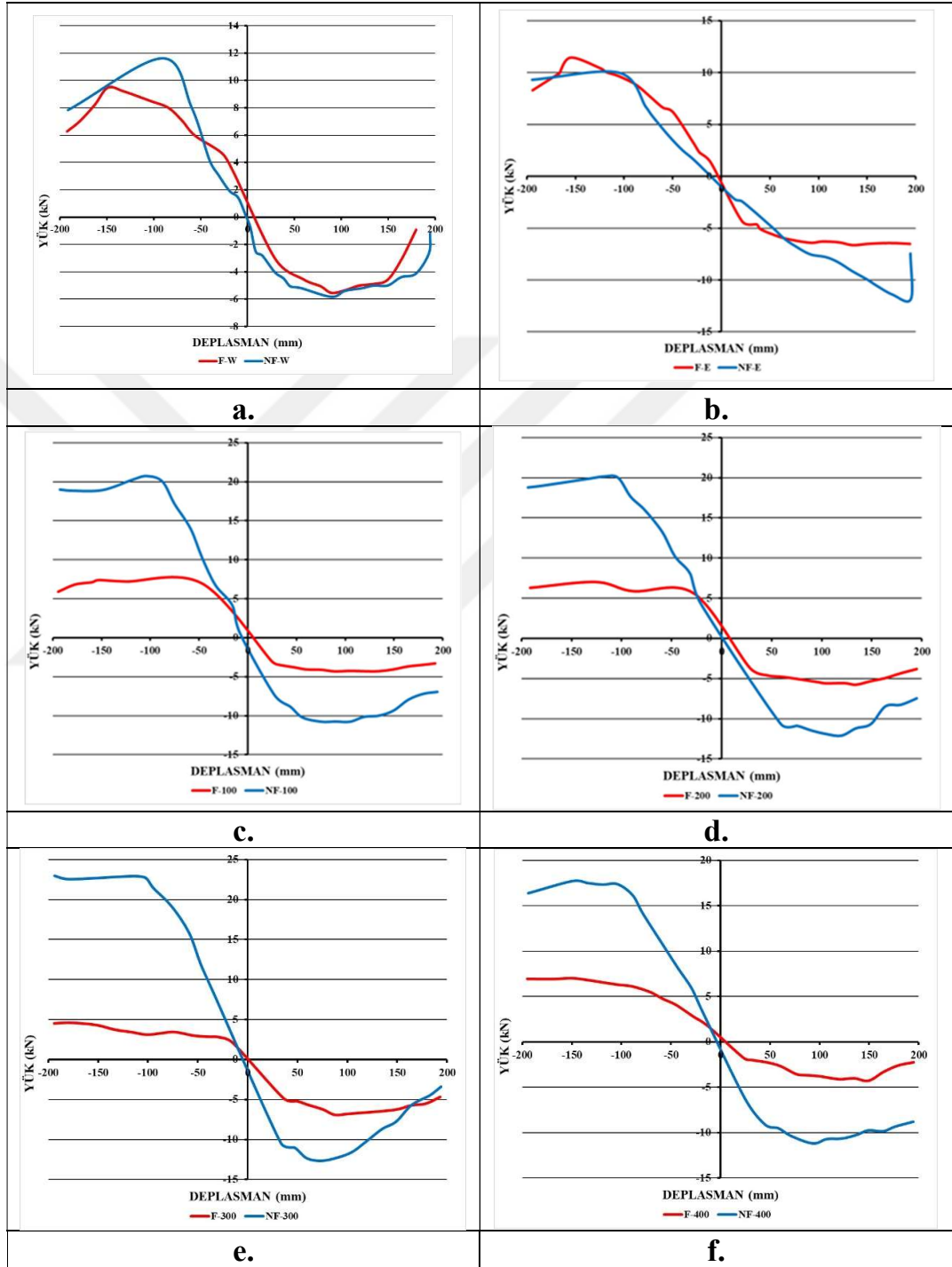
Çizelge 4.7.'ye bakıldığında en yüksek moment aktaran birleşim NF-500'dü Çizelge 4.7.'ye bakıldığında numuneler yangına maruz kalırsa F-E birleşim modeli olarak kullanılması en ideal birleşim modelidir.

**Çizelge 4.8.** Enerji yutma kapasitelerinin yangına maruz kalmış numunelerin yangına maruz bırakılmış numunelere göre yüzde değişimleri

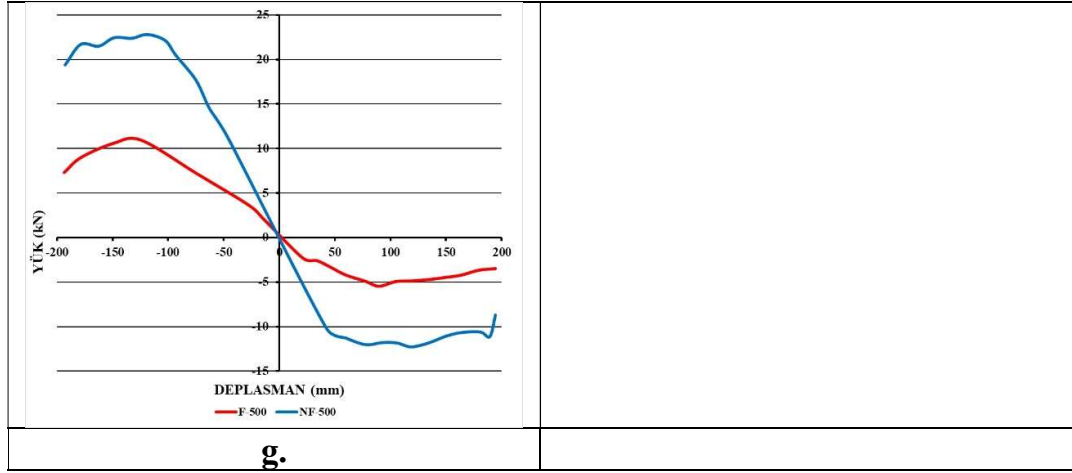
Döngü	NF- W/F- W(%)	NF- E/F- E(%)	NF- 100/F- 100(%)	NF- 200/F- 200(%)	NF- 300/F- 300(%)	NF- 400/F- 400(%)	NF- 500/F- 500(%)
2	2,56	8,43	27,32	32,21	37,34	31,90	39,04
3	6,77	11,25	25,78	37,96	41,68	34,69	37,71
4	8,61	17,22	21,51	36,90	42,02	34,00	37,29
5	24,15	8,20	15,20	38,26	42,19	35,78	34,92
6	31,72	11,16	17,27	37,10	40,79	29,44	35,23

Çizelge 4.8.'e göre yangına maruz kalmış bütün numunelerin enerji yutma kapasitesi yangına maruz kalmamış numunelere göre bütün döngülerde enerji yutma kapasitesi düşük çıkmıştır. Çizelge 4.8.'e göre Yangına maruz kalmamış kolon kiriş birleşim noktasında bulunlu levhalı birleşimi olan 1.500 mm boyundaki I kesitli kirişin yangından sonraki enerji yutma kapasitesi yangından önceki enerji yutma kapasitesine en yakın olan numune olarak bulunmuştur.

## 4.3.1. Yük pozisyon iskeleton eğrisi

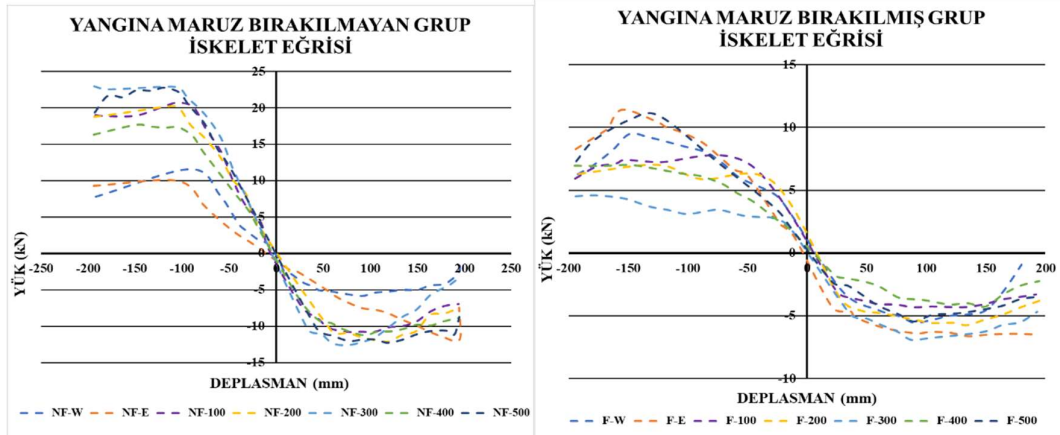


Şekil 4.12. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin ve yangına maruz bırakılan numunelerin yük deplasman karşılaştırılması



Şekil 4.12. (Devam)

Şekil 4.12. incelendiğinde, kolon-kiriş birleşim noktasında kaynaklı veya cıvatalı bağlantıya sahip numuneler, yangından sonra da benzer süneklik göstermektedir. Ancak, yangın sonrasında, kolon-kiriş birleşim noktasından kirişin birleşim noktasına olan mesafe arttıkça, yangına maruz kalan numunelerin süneklik azalmıştır ve plastik mafsallara gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Yangına maruz bırakılmayan numunelerin ve Yangına maruz bırakılan numunelerin yük deplasman karşılaştırılması

İskelet eğrileri numunelerin sertleşme (hardening) ve dayanım bozulması (strength degradation) özellikleri hakkında bilgi verir. Şekil 4.13.'e bakıldığında yangına maruz bırakılmış numuneler ile yangına maruz bırakılmayan numuneleri karşılaştırıldığında, başlangıç rijitliklerinin benzer olduğu görülmektedir. Fakat akma sonrası tanjant rijitliği incelendiğinde yangına maruz bırakılan numunelerin rijitliğinin

sınırlı gerinim sertleŐmesi sebebiyle hızlıca dűŐtűgű gűrűlmektedir. Bu kıyaslama yangına maruz bırakılmayan rijitlik arttırıcı ve dayanım arttırıcı etkisinin daha fazla olduđu gűrűlmektedir. Yangına maruz bırakılmıŐ taban kiriŐini kesitindeki deformasyonlar olması birleŐim rijitliđinin dűŐűk çıkmasına sebep olmuŐtur.

Yangına maruz bırakılmayan numuneler arasında baŐlangıç rijitliklerinin benzer olduđu gűrűlmektedir. Fakat akma sonrası tanjant rijitliđi incelendiđinde rijitlik ve dayanımı en fazla olan numune NF-500 numunesi en az olanın ise NF-E numunesi olduđu gűrűlműŐtur.

Yangına maruz bırakılan numuneler arasında baŐlangıç rijitliklerinin benzer olduđu gűrűlmektedir. Fakat akma sonrası tanjant rijitliđi incelendiđinde rijitlik ve dayanımı en fazla olan numune F-E numunesi en az olanın ise F-200 numunesi olduđu gűrűlműŐtur.

Sonuç olarak tűm numuneler arasında yangın sonrasında en fazla rijitlik ve dayanıma sahip numune kolon kiriŐ birleŐim noktasında bulonlu birleŐime sahip olan numunedir.

4.4. Göçme Modları



Şekil 4.13. Göçme modları



Şekil 4.13. (Devam )



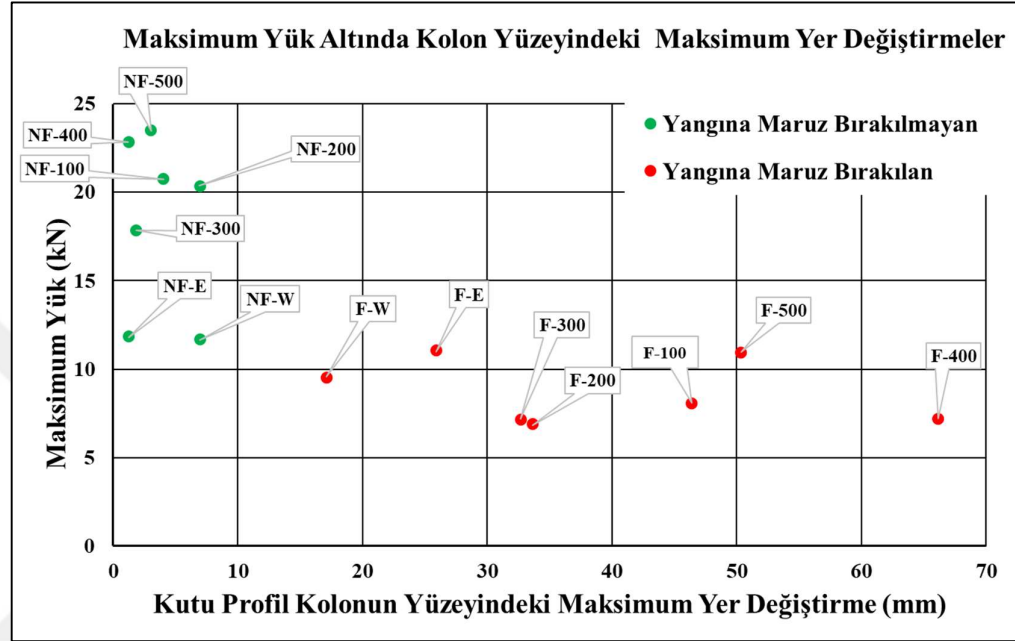
Şekil 4.13. (Devam)

Şekil 4.13.'e bakıldığında NF-W numunesi ile F-W numunesinde kirişlerde burkulmalar, kiriş kolon birleşim noktalarında kaynak yırtılması ve kolon yırtılması görülmüştür.

NF-E ve F-E kolon kiriş birleşimleri bulonlu olan numunelerin ikisinde de sadece bulonlarda sıyrılmalar gözlemlenmiştir.

NF-100, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numunelerinde kiriş de burkulma , kolon kiriş birleşim noktalarındaki kaynakta yırtılma ve kolonda yırtılma

gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kiriş burkulurken yük taşıyor burkulma maksimuma geldikten sonra yük kolon kiriş noktasındaki kaynağa ve kolon yüzeyinde yırtılmalara sebep olmuştur.



Şekil 4.15. Kolon yüzeylerindeki maksimum kuvvet altındaki maksimum yer değiştirme

Şekil 4.14'e bakıldığında yangına maruz bırakılmayan numunelerin kolon yüzeyinde meydana gelen yer değiştirme 10 mm'ye kadar yer değiştirme meydana gelmiştir. Yangına maruz bırakılmış numunelerde ise kolon yüzeyinde meydana gelen yer değiştirme 10 mm'de başlamaktadır.

Şekil 4.14.'e bakıldığında yangına maruz bırakılan numuneler arasında maksimum yük altında kolon yüzeyinde en az yer değiştirme gösteren numune F-W numunesidir. Maksimum yük altında kolon yüzeyinde en fazla yer değiştirme gösteren numune F-400 numunesidir. F-100, F-200, F-300, F-400 ve F-500 numunelerinde sadece kolon kiriş birleşim noktalarındaki kaynağa yırtılma ve kolonda yırtılma gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kutu profil, I profile göre daha fazla yangına maruz kaldığından dolayı deformasyon kolon kiriş birleşim noktasında ve kutu profilin yüzeyinde daha kolay yırtılmalara sebep olmuştur.

Şekil 4.14.'e bakıldığında yangına maruz bırakılmayan numuneler arasında kolon yzeyinde en az yer değişirme gosteren numune NF-E numunesinde gozlemlenmiŐtir. Deformasyon sadece bulon sıyrılmaları meydana gelmiştir. Yangına maruz bırakılmayan numuneler arasında kolon yzeyinde en fazla yer değişirme gosteren numune NF-W numunesinde gozlemlenmiŐtir. NF-100, NF-200, NF-300, NF-400 ve NF-500 numunelerinde yer değişirme daha çok kaynakta yırtma olarak gozlemlendiğinden dolayı kolon yzeyindeki yer değişirme NF-W numunesine göre daha azdır.



## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yangına maruz bırakılmayan numunelerin maksimum moment taşıma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesi en yüksek olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 500 mm yükseklikte bulon levha birleşimidir.

Yangına maruz bırakılmayan numunelerin maksimum yük altında maksimum dönmeye ve maksimum yük altındaki yer değiştirmesi birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 300 mm yükseklikte bulon levha birleşimidir.

Yangına maruz bırakılmayan numunelerin rijitliği en fazla olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 100 mm yükseklikte bulon levha birleşimidir.

Yangına maruz bırakılmayan numunelerin sünekliliği en fazla olan birleşim tipi tek parça kirişin kolon kiriş birleşim noktası kaynaklı olan birleşim tipidir.

Yangına maruz bırakılan numunelerin maksimum moment taşıma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesi en yüksek olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasında tek parça kirişin kolon ile birleşimi bulon levha birleşim tipidir.

Yangına maruz bırakılan maksimum yük altında maksimum dönmeye ve maksimum yük altındaki yer değiştirmesi en yüksek olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasında tek parça kirişin kolon ile birleşimi bulon levha birleşim tipidir.

Yangına maruz bırakılan numunelerin sünekliliği en fazla olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 500 mm yükseklikte bulon levha birleşimidir.

Yangına maruz bırakılan numunelerin rijitliği en fazla olan birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 500 mm mesafede bulunan bulon levha birleşimidir.

Yangına maruz bırakılmayan numuneler arasında başlangıç rijitliklerinin benzer olduğu görülmektedir. Fakat akma sonrası tanjant rijitliği incelendiğinde rijitlik ve dayanımı en fazla olan numune birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 500 mm mesafede bulunan bulon levha birleşimidir. Rijitliği en az olanın birleşim tipi tek parça kirişin kolon ile birleşim noktası bulon levha birleşim tipidir.

Yangına maruz bırakılan numuneler arasında başlangıç rijitliklerinin benzer olduğu görülmektedir. Fakat akma sonrası tanjant rijitliği incelendiğinde rijitlik ve dayanımı en fazla olan numune tek parça kirişin kolon ile birleşim noktası bulon levha birleşim tipidir. Rijitliği en az olanın birleşim tipi kolon kiriş birleşim noktasından kiriş parçalarının birleşiminin 200 mm mesafede bulunan bulon levha birleşimidir.

Deney sonrasında yangına maruz bırakılmayan numuneler kutu profilli kolonun yüzeyinde meydana gelen yer değişimi en fazla olan numune kolon kiriş birleşim noktasından 400 mm mesafede bulunan levha bulon birleşimli tasarımıdır.

Yangına maruz bırakılmayan numunelerin ve yangına bırakılmış numunelerin tek parça kirişli kolon kiriş birleşim noktasında sadece kaynaklı ve sadece bulonlu birleşim bulunan numunelerin kutu profilli kolonun yüzeyinde yırtılma meydana gelmemiştir. Kolon kiriş birleşim noktasında belirli bir mesafede kiriş parçaların bulonlu levhalı birleşimlerde kolon yüzeyinde yırtılmalar meydana gelmiştir.

Yangına maruz kalmamış kolon kiriş birleşim noktasında bulonlu levhalı birleşimi olan 1.500 mm boyundaki I kesitli kirişin yangından sonraki enerji yutma kapasitesi yangından önceki enerji yutma kapasitesine en yakın olan numune olarak bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

- Aguaguíña, M., Zhou, Y. and Zhou, Y. 2019. Loading protocols for qualification testing of BRBs considering global performance requirements. *Engineering Structures*, 189, 440–457.
- Anonymous, 2020. Web Sitesi: <https://www.promat.com/en/tunnels/your-project/expert-area/159981/international-fire-curves-fire-safety/>, Erişim Tarihi: 21.07.2023
- Arrayago, I. and Real, E. 2015. Experimental study on ferritic stainless steel RHS and SHS cross-sectional resistance under combined loading. *Structures*, 4, 69-79.
- Barros dos Santos, G., de Miranda Batista, E. and Mascarenhas de Araújo, A. H. 2016. Behaviour of RHS beam-to-column bolted steel connections. *Steel Construction*, 9(4), 296-304.
- Barros, H. T. G., Oliveira, M. M., Sarmanho, A. M. C. and Alves V. N. 2022. Stiffness assessment of welded I-beam to RHS column connections. *Engineering Structures* 267, 114661.
- Bu, X. D. and Packer, J. A. 2020. Chord end distance effect on RHS connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 168, 105992.
- Chan, I., and Koetaka, Y. 2021. Numerical model for 3D steel moment frames with H-shaped beams and hollow-section columns under multi-directional seismic ground motions. *Engineering Structures*, 246, 112730.
- Chen, C. C., Lin, C. C. and Tsai, C. L. 2004. Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns. *Engineering structures*, 26(13), 1889-1904.
- Couchaux, M., Alhasawi, A. and Ben Larbi, A. 2020. Monotonic and cyclic tests on beam to column bolted connections with thermal insulation layer. *Engineering Structures* 204, 109621.
- De Matos, R. M. M. P., Costa-Neves, L. F., de Lima, L. R. O., Vellasco, P. C. and da Silva, J. G. S. 2015. Resistance and elastic stiffness of RHS" T" joints: part I-axial brace loading. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12, 2159-2179.
- Del Coz Díaz, J. J., López, M. S., Pérez, C. L. C. and Rabanal, F. Á. 2012. Effect of the vent hole geometry and welding on the static strength of galvanized RHS K-joints by FEM and DOE. *Engineering Structures*, 41, 218-233.
- Eurocode 3, 2005. Design of Steel Structures. Part 1–8: Design of Joints, EN-1993-1-8: 2005, CEN, European Committee for Standardization.
- Fan, Y. and Packer, J. A. 2017. RHS-to-RHS axially loaded X-connections near an open chord end. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(11), 881-892.
- Gardner, L., and Nethercot, D. A. 2004. Experiments on stainless steel hollow sections—

Part 1: Material and cross-sectional behaviour. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(9), 1291-1318.

- Garifullin, M., Pajunen, S., Mela, K. and Heinisuo, M. 2018. Finite element model for rectangular hollow section T joints. *Rakenteiden Mekaniikka*, 51(3), 15-40.
- Guerra, M., Pereira, D., Neto, J. B., Nunes, G., Sarmanho, A. and Lima, L. 2021. Structural behaviour of thin-walled CHS-RHS T-joints: Experimental and numerical assessment. In *Structures*, 32, 548-561.
- Hadianfard, M. A. and Rahnema, H. 2010. Effects of RHS face deformation on the rigidity of beam-column connection. *Steel and Composite Structures*, 10(6), 489-500.
- Hoang, V. L., Demonceau, J. F. and Jaspart, J. P. 2015. Beam to concrete-filled rectangular hollow section column joints using long bolts, *Tubular Structures XV: Proceedings of the 15th International Symposium on Tubular Structures*, 27-29 May, p. 95, CRC Press, Rio de Janeiro, Brazil.
- Jaamala, L., Mela, K., Tulonen, J., and Hyvärinen, A. 2022. Effective material model for cold-formed rectangular hollow sections in beam element-based advanced analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 198, 107569.
- Jandera, M., Gardner, L., and Machacek, J. 2008. Residual stresses in cold-rolled stainless steel hollow sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(11), 1255-1263.
- Jian, W. and Guang, T.W. 2022. Experimental seismic behavior of RHS column-to-I beam connection with additional plates. *Iran J Sci Technol Trans Civil Engineering*, 46, 2053-2065.
- Johnson, R. P. 2000. Resistance of stud shear connectors to fatigue. *Journal of Constructional Steel Research*, 56(2), 101-116.
- Kosteski, N., Packer, J. A. and Puthli, R. S. 2003. A finite element method based yield load determination procedure for hollow structural section connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 59(4), 453-471.
- Krawinkler, H. 2009. Loading histories for cyclic tests in support of performance assessment of structural components. *The 3rd International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*, San Francisco, CA, USA.
- Kurobane, Y. 1998. Improvement of I beam-to-RHS column moment connections for avoidance of brittle fracture. *Tubular Structures VIII*, 3-17.
- López-Colina, C., Serrano, M. A., Lozano, M., Gayarre, F. L. and Suárez, J. L. 2021. Stiffness of equal width welded I-beam to RHS column connection. *Ce/papers*, 4(2-4), 2459-2464.
- Ma, J. L., Chan, T. M., and Young, B. 2016. Experimental investigation on stub-column behavior of cold-formed high-strength steel tubular sections. *Journal of Structural Engineering*, 142(5), 04015174.

- Ma, Y., Liu, Y., Ma, T. and Zafimandimby, M. N. 2021. Flexural stiffness of rectangular hollow section (RHS) trusses. *Engineering Structures*, 239, 112336.
- Mergos, P.E. and Beyer, K. 2014. Loading protocols for European regions of low to moderate seismicity. *Bull Earthquake Engineering*, 12, 2507–2530.
- Nizer, A., de Lima, L. R., da S. Vellasco, P. C., de Andrade, S. A., da S. Goulart, E., da Silva, A. T. and da C. Neves, L. F. 2016. Experimental and numerical assessment of RHS T-joints subjected to brace and chord axial forces. *Steel Construction*, 9(4), 315-322.
- Park, A. Y., and Wang, Y. C. 2012. Development of component stiffness equations for bolted connections to RHS columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 137-152.
- Pongiglione, M., Calderini, C., D’Aniello M. and Landolfo, R. 2021. Novel reversible seismic-resistant joint for sustainable and deconstructable steel structures. *Journal of Building Engineering*, 35, 101989.
- Qin, Y., Chen, Z., Yang, Q. and Shang, K. 2014. Experimental seismic behavior of through-diaphragm connections to concrete-filled rectangular steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 93, 32-43.
- Roberts, T. M., and Dogan, O. 1998. Fatigue of welded stud shear connectors in steel–concrete–steel sandwich beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 45(3), 301-320.
- Satish Kumar, S. R. and Prasada Rao, D. V. 2006. RHS beam-to-column connection with web opening—experimental study and finite element modelling. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 739–746.
- Serrano-López, M. A., López-Colina, C., González, J. and López-Gayarre, F. 2016. A simplified FE simulation of welded I beam-to-RHS column joints. *International Journal of Steel Structures*, 16(4), 1095-1105.
- Serrano-López, M. A., López-Colina, C., Wang, Y. C., Lozano, M. and Gayarre, F. L. 2019. Comparative behaviour of ‘I beam- RHS column’ joints with and without web weld. *Journal of Constructional Steel Research*, 159, 330–340.
- Serrano-López, M. A., López-Colina, C., Wang, Y. C., Lozano, M., García, I. and Gayarre, F. L. 2021. An experimental study of I beam-RHS column demountable joints with welded studs. *Journal of Constructional Steel Research*, 182, 106651.
- Shanmugan, N. E., Ting, L. C. and Lee, S. L. 1991. Behaviour of I-beam to box-column connections stiffened externally and subjected to fluctuating loads. *Journal of Constructional Steel Research*, 20(2), 129-148.
- Shim, C. S., Lee, P. G., and Yoon, T. Y. 2004. Static behavior of large stud shear connectors. *Engineering Structures*, 26(12), 1853-1860.
- Silvia, A., Ezzeldin, S. A. and Emam, S. 2018. Beam to rectangular hollow section column joint using long bolts. *Al-Azhar University Civil Engineering Research*

Magazine (CERM), 40(4), 346–358.

- Tahir, M. M., Mohammadhosseini, H., Ngian, S. P., and Effendi, M. K. 2018. I-beam to square hollow column blind bolted moment connection: Experimental and numerical study. *Journal of Constructional Steel Research*, 148, 383-398.
- Thai, H. T. and Uy, B. 2016. Rotational stiffness and moment resistance of bolted endplate joints with hollow or CFST columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 126, 139-152.
- Theofanous, M. and Gardner, L. (2009). Testing and numerical modelling of lean duplex stainless steel hollow section columns. *Engineering Structures*, 31(12), 3047-3058.
- Timmers, R., and Lang, R. 2023. Yield-line mechanisms and design proposal for endplate connections in rectangular hollow section members in tension. *Engineering Structures*, 279, 115560.
- Ting, L. C., Shanmugam, N. E., Lee, S. L. 1991. Box-column to I-beam connections with external stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 18(3), 209-226.
- Vegte, G. V. D., Wardenier, J. and Puthli, R. S. 2010. FE analysis for welded hollow-section joints and bolted joints. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 163(6), 427-437.
- Wheeler, A. T., Clarke, M. J., Hancock, G. J. and Murray, T. M. 1998. Design model for bolted moment end plate connections joining rectangular hollow sections. *Journal of Structural Engineering*, 124(2), 164-173.
- Wilkinson, T. and Hancock, G. 2002. Predicting the rotation capacity of cold-formed RHS beams using finite element analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(11), 1455-1471.
- Wu, J. and Feng, Y. T., 2013. Finite element simulation of new RHS column-to-I beam connections for avoiding tensile fracture. *Journal of Constructional Steel Research* 86, 42–53.
- Wu, J. and Tong WG. 2018. Numerical simulation of improved RHS column-to-I beam flange-plate bolted connections for avoiding tensile fracture. *Cogent Engineering*, 5(1), 1490147.
- Xue, W., Ding, M., Wang, H., and Luo, Z. 2008. Static behavior and theoretical model of stud shear connectors. *Journal of Bridge Engineering*, 13(6), 623-634.
- Yamada, S., Ishida, T., and Jiao, Y. 2018. Hysteretic behavior of RHS columns under random cyclic loading considering local buckling. *International Journal of Steel Structures*, 18, 1761-1771.
- Zhao, O., Gardner, L. and Young, B. 2016. Behaviour and design of stainless steel SHS and RHS beam-columns. *Thin-Walled Structures*, 106, 330–345.
- Zhao, X. L. and Hancock, G. J. 1991. T-joints in rectangular hollow sections subject to

combined actions. *Journal of Structural Engineering*, 117(8), 2258-2277.

Zhao, X. L. 2000. Deformation limit and ultimate strength of welded T-joints in cold-formed RHS sections. *Journal of constructional steel research*, 53(2), 149-165.

