

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇELİK KİRİŞLERDE FARKLI TİPTE BERKİTME  
KULLANIMININ EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN  
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan  
Metin TALASLIOĞLU**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2019  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇELİK KİRİŞLERDE FARKLI TİPTE BERKİTME  
KULLANIMININ EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN  
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Metin TALASLIOĞLU**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından FYL-2018-8267 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Mayıs 2019  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Metin TALASLIOĞLU



**“Çelik Kirişlerde Farklı Tipte Berkitme Kullanımının Eğilme Davranışına Etkisinin Deneysel Araştırılması”** adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



**Hazırlayan**

Metin TALASLIOĞLU



**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ



**İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ danışmanlığında Metin TALASLIOĞLU tarafından hazırlanan “Çelik Kirişlerde Farklı Tipte Berkitme Kullanımının Eğilme Davranışına Etkisinin Deneysel Araştırılması” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

20.05./2019

**JÜRİ:**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ

Üye : Prof. Dr. Fatih ALTUN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şaban Suat ÖZSARIYILDIZ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2019 tarih ve 2019/32-11 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın planlanmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCI'ye teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında yardımları ile beni destekleyen değerli arkadaşlarım İnő. Müh. Ghamdan Yahya SLAMA, İnő. Yük. Müh. Oğuzhan ATAŐ, İnő. Müh. Temur KHIMSHIASHVILI ve Ali Kemal DÜĞENCI'ye teşekkür ederim.

Bu tez çalıőmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince sabır göstererek beni daima destekleyen ve yardımcı olan aileme özellikle ablam Hikmet Esra ÖZPOLAT'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Metin TALASLIOĞLU

Mayıs 2019, KAYSERİ

# ÇELİK KİRİŞLERDE FARKLI TİPTE BERKİTME KULLANIMININ EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Metin TALASLIOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2019  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ

## ÖZET

Günümüzde yapılan ve hala yapılmakta olan çelik yapı elemanlarının tasarımı mevcut yönetmeliklere uyacak şekilde yapılmaktadır. Fakat yapı içerisindeki elemanların çeşitli noktalarında meydana gelecek ekstrem kesit tesirlerini güvenli bir şekilde taşıyabilmek, istenmeyen ani şekil değiştirmeleri engelleyebilmek ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş daha ekonomik bir kesit elde edebilmek için yapı elemanlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu konuda uygulanan lokal güçlendirme yöntemlerinden birisi yapı elemanlarında kullanılan berkitme levhalarıdır. Berkitme levhaları yada literatürdeki diğer ismi ile rijitlik levhaları çelik kirişlerin güçlendirilmesinde de sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Berkitme levhaları, yapı elemanlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek, tekil yük veya mesnet tepkisini aktarmak ve gövde levhasının rijitliğini artırmak gibi amaçlarla I veya U kesitli çelik kirişlerde flanşlar arasına dik yada enine pozisyonda yerleştirilmesi ile uygulanır.

Bu tez projesi kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda eğilme etkisi altındaki yapma I kesitli çelik kirişlerde enine berkitme levhalarının yerleşim aralığının ve levha formlarındaki değişikliğin davranışa etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışma kapsamında farklı tasarımlarla testler yapılmış ve uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rijitlik levhası, berkitme, eğilme rijitliği, yapma kesit çelik kiriş, eğilme deneyi, statik yükleme

# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF STIFFNESS PLATE ON BENDING BEHAVIOR IN STEEL BEAMS

Metin TALASLIOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, May 2019

Supervisor: Asst. Prof. Oğuz DÜĞENCİ

## ABSTRACT

The design of steel construction elements that are already made up to today and that are still being made is implemented in accordance with the current regulations. However, it is necessary to reinforce the constructional elements in order to be able to carry the extreme cross-section effects at various points of the elements within the structure safely, to prevent undesired sudden deformation and to obtain a more economical section with improved mechanical properties. One of the local strengthening methods applied in this area is the stiffeners used in construction elements. Stiffeners or rigidity plates- as the other name in literature- is a frequently used method for strengthening steel girders. Stiffeners are applied for the purpose of improving the mechanical properties of constructional elements, transferring the single load or support response and increasing the rigidity of the web plate, by placing in vertical or transverse position to the element axis of the gap between the flanges at I or U section steel girders.

In the experimental studies conducted within the scope of this thesis project, effects on behaviour of spacing of transverse stiffeners and changes in plate forms in I-section steel plate girders that are under the effect of bending, were investigated. Experimental study was carried out in Erciyes University earthquake research laboratory. Within the scope of the study, tests were carried out with different designs and appropriate parameters were tried to be determined.

**Keywords:** Rigidity plates, stiffener, bending rigidity, steel plate girder, bending experiment, static loading

## İÇİNDEKİLER

### ÇELİK KİRİŞLERDE FARKLI TİPTE BERKİTME KULLANIMININ EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR ve SİMGELER .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii

#### 1. BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Taraması .....	5

#### 2. BÖLÜM

##### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Laboratuvarı ve Olanakları .....	25
2.2. Test Kirişlerinin Tasarımı ve Üretimi.....	27
2.3. Deney Düzenegi .....	32
2.4. Deney Ölçüm Düzenekleri.....	35
2.4.1. Yük Hücresi .....	35
2.4.2. Deplasman Ölçüm Cihazları .....	35
2.4.3. Veri Toplama Cihazları.....	40
2.4.4. Gerinim Pulu (Strain Gauges) .....	41
2.5. Deneye Hazırlık Aşaması.....	43
2.6. Malzeme Özellikleri .....	45

#### 3. BÖLÜM

##### DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE ANALİZİ

3.1. Giriş .....	47
------------------	----

<b>3.2. Referans Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....</b>	<b>47</b>
3.2.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	47
3.2.2. Deformasyon Durumu .....	48
3.2.3. Sehim Analizi.....	53
3.2.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	53
3.2.5. Moment Eğrilik İlişkisi .....	55
3.2.6. Gerinim Verileri .....	55
<b>3.3. Tip1-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....</b>	<b>57</b>
3.3.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	57
3.3.2. Deformasyon Durumu .....	58
3.3.3. Sehim Analizi.....	64
3.3.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	66
3.3.5. Moment Eğrilik İlişkisi .....	66
3.3.6. Gerinim Verileri .....	67
<b>3.4. Tip1-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....</b>	<b>69</b>
3.4.1. Yük-Sehim ilişkisi .....	69
3.4.2. Deformasyon Durumu .....	70
3.4.3 Sehim Analizi.....	75
3.4.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	75
3.4.5. Moment Eğrilik İlişkisi .....	76
3.4.6. Gerinim Verileri .....	77
<b>3.5. Tip2-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....</b>	<b>79</b>
3.5.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	79
3.5.2. Deformasyon Durumu .....	80
3.5.3. Sehim Analizi.....	85
3.5.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	86
3.5.5. Moment Eğrilik İlişkisi .....	87
3.5.6. Gerinim Verileri .....	87
<b>3.6. Tip2-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....</b>	<b>89</b>
3.6.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	89
3.6.2. Deformasyon Durumu .....	90
3.6.3. Sehim Analizi.....	94
3.6.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	95

3.6.5. Moment Eğrilik İlişkisi.....	96
3.3.6. Gerinim Verileri.....	96
3.7. Tip3-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....	98
3.7.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	98
3.7.2. Deformasyon Durumu .....	99
3.7.3. Sehim Analizi.....	103
3.7.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	104
3.7.5. Moment Eğrilik İlişkisi.....	105
3.7.6 Gerinim Verileri.....	106
3.8. Tip3-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi .....	107
3.8.1. Yük-Sehim İlişkisi .....	107
3.8.2 Deformasyon Durumu .....	108
3.8.3. Sehim Analizi.....	112
3.8.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	113
3.8.5. Moment Eğrilik İlişkisi.....	114
3.8.6. Gerinim Verileri.....	115
3.9. Karşılaştırmalı Test Bulguları ve Analizi .....	116
3.9.1. Yük-Sehim İlişkileri.....	116
3.9.2. Sehim Analizi.....	121
3.9.3. Enerji Tüketim Kapasiteleri .....	123
3.9.4. Moment Eğrilik İlişkisi.....	124
3.9.5. Gerinim Verileri.....	125
3.10. Metraj Karşılaştırması .....	127

#### 4. BÖLÜM

#### SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar .....	128
4.2. Öneriler .....	131
KAYNAKÇA .....	133
EKLER.....	136
EK 1. Yatay Deplasman Grafikleri .....	136
ÖZGEÇMİŞ.....	137

## KISALTMALAR VE SİMGELER

<b><u>Sembol</u></b>	<b><u>Anlamı</u></b>	<b><u>Birimi</u></b>
<b>A</b>	Kesit alanı.	(mm)
<b>E</b>	Yapısal çelik elastisite modülü.	(N/mm <sup>2</sup> )
<b>FL</b>	Eğilme etkisinde basınç başlığında azaltılmış akma gerilmesi.	(N/mm <sup>2</sup> )
<b>Fy</b>	Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.	(N/mm <sup>2</sup> )
<b>Lb</b>	Desteklenmemiş serbest açıklık.	(mm)
<b>Lr</b>	Elastik olmayan elastik burkulma bölgeleri arası yanal olarak desteklenmemiş uzunluk.	(mm)
<b>Iy</b>	Güçlü eksene göre atalet momenti.	(mm <sup>4</sup> )
<b>Iz</b>	Zayıf eksene göre atalet momenti.	(mm <sup>4</sup> )
<b>a</b>	Berkimler arası mesafe.	(mm)
<b>b</b>	I-enkesitler için enkesit başlık genişliğinin yarısı.	(mm)
<b>bf</b>	Başlık genişliği.	(mm)
<b>d</b>	Kiriş yüksekliği.	(mm)
<b>h</b>	Gövde kısmında başlıklar arasındaki temiz açıklık.	(mm)
<b>ly</b>	Etkin şekilde yüklenmiş uzunluk.	(mm)
<b>kc</b>	Rijitleştirilmemiş narin elemanlar için katsayı.	--
<b>tw</b>	Gövde kalınlığı.	(mm)
<b>tf</b>	Başlık kalınlığı.	(mm)
<b>λ</b>	Yerel burkulma narinlik değeri.	--
<b>λr</b>	Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri.	--
<b>λρ</b>	Kompakt olmayan eleman için narinlik sınır değeri.	--

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Yapma çelik kiriş kesit sınıfı tayini .....	28
Tablo 3.2. Test kirişleri çizelgesi.....	31
Tablo 3.3. Test numunelerinin akma ve nihai kapasitelerindeki yüzde değişim oranları .....	121
Tablo 3.4. Referans kirişe kıyasla sehim artış yüzdeleri .....	122
Tablo 3.5. Numunelerin metraj karşılaştırması .....	127



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Üst geçit yapısındaki kirişlerde enine berkitme uygulaması .....	3
Şekil 1.2.	Dış merkez çelik çaprazlı yapılarda bağ kirişinde berkitme uygulaması ...	4
Şekil 1.3.	Demir yolu köprüsü kirişlerinde enine berkitme uygulaması.....	4
Şekil 1.4.	Sanayi yapısındaki kirişlerde berkitme uygulaması .....	4
Şekil 1.5.	Çalışmadaki test kirişlerinin görüntüleri.....	5
Şekil 1.6.	Çalışma kapsamında nümerik olarak test edilen kiriş kesitleri ve ölçüleri .....	7
Şekil 1.7.	Çalışmada Test Edilen Kiriş Kesitleri ve Ölçüleri.....	8
Şekil 1.8.	Çalışmadaki test kirişinin genel düzeni .....	9
Şekil 1.9.	İncelenen göçme modlarını belirlemek için uygulanan sayısal modeller .....	10
Şekil 1.10.	Çalışmadaki test kirişinin genel düzeni .....	10
Şekil 1.11.	İncelenen göçme modlarını belirlemek için uygulanan sayısal modeller..	11
Şekil 1.12.	Çalışmada kullanılan kiriş ve berkitme yerleşim planı genel görünümü...	12
Şekil 1.13.	Çalışmada incelenen berkitme konfigürasyonları.....	13
Şekil 1.14.	Çalışmadaki test düzeni .....	14
Şekil 1.15.	Çalışmadaki deney fotoğrafları.....	15
Şekil 1.16.	Çalışmada incelenen enine berkitme levhaları yerleştirilmiş kiriş tasarımı.....	15
Şekil 1.17.	Çalışmada incelenen boylamasına yerleştirilmiş berkitme levhaları.....	15
Şekil 1.18.	Çalışmada kullanılan kiriş ve berkitme yerleşim planı genel görünümü...	17
Şekil 1.19.	Sayısal çalışmadaki berkitmeli kiriş göçme şekilleri.....	18
Şekil 1.20.	Deneysel çalışmadaki test sonucu kiriş görüntüleri.....	20
Şekil 1.21.	Test edilen uzunlamasına berkitmeli kiriş şeması ve görüntüsü.....	21
Şekil 1.22.	Çalışmadaki test kurulumu görüntüsü ve şeması.....	22
Şekil 1.23.	Çalışmada test edilen kiriş kesitleri .....	24
Şekil 2.1.	Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı.....	25
Şekil 2.2.	Yükleme duvarı ve rijit platform .....	26
Şekil 2.3.	Güçlendirilmemiş yapma çelik kiriş kesit görünüşleri ve kesit özellikleri	29
Şekil 2.4.	Referans kiriş kesit görünüşleri .....	29
Şekil 2.5.	500mm berkitme aralıklı kirişlerin kesit görünüşleri .....	30
Şekil 2.6.	250mm berkitme aralıklı kirişlerin kesit görünüşleri .....	30

Şekil 2.7.	Berkitme levha boyutları .....	31
Şekil 2.8.	Test numuneleri üç boyutlu çizimleri .....	32
Şekil 2.9.	Test Numuneleri .....	32
Şekil 2.10.	Kiriş ankastre mesnetleri için çelik düzenekler .....	33
Şekil 2.11.	Deney düzeneği görünümü .....	34
Şekil 2.12.	Yük hücresi(Loadcell) .....	35
Şekil 2.13.	LVDT ve Potansiyometrik cetvel .....	36
Şekil 2.14.	Referans kiriş ölçüm aletlerinin yerleşimi .....	37
Şekil 2.15.	500 mm Berkitme aralıklı kirişlerde ölçüm aletlerinin yerleşimi.....	38
Şekil 2.16.	250 mm berkitme aralıklı kirişlerde ölçüm aletlerinin yerleşimi .....	39
Şekil 2.17.	Yarı Statik Veri Toplama Cihazları .....	40
Şekil 2.18.	TestLAB Basic programı ekran görüntüsü .....	40
Şekil 2.19.	Gerinim pulu (Strain Gauge) .....	41
Şekil 2.20.	Referans kiriş için gerinim ölçerlerin yerleşimi .....	42
Şekil 2.21.	500 mm berkitme aralıklı kirişler için gerinim ölçerlerin yerleşimi.....	42
Şekil 2.22.	250 mm berkitme aralıklı kirişler için gerinim ölçerlerin yerleşimi.....	42
Şekil 2.23.	Numune ölçüm rotasyonu ve sektörler .....	43
Şekil 2.24.	Gerinim ölçer yapıştırılmış yüzey görüntüleri.....	44
Şekil 2.25.	Hazırlanmış deney düzeneği .....	44
Şekil 2.26.	Kiriş mesnet görüntüleri .....	45
Şekil 2.27.	Malzeme çekme deneyi .....	45
Şekil 3.1.	Referans numune açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	48
Şekil 3.2.	Referans kiriş karelaaj ve sektör isimlendirme çizimi.....	48
Şekil 3.3.	Referans kiriş deney öncesi fotoğrafları .....	49
Şekil 3.4.	Referans kiriş deney öncesi ve sonrası (arka tarafı) .....	50
Şekil 3.5.	Referans kiriş deney öncesi ve sonrası (ön tarafı) .....	50
Şekil 3.6.	Referans kiriş deney öncesi ve sonu (üst tarafı) .....	51
Şekil 3.7.	Referans kiriş deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı) .....	51
Şekil 3.8.	Referans kiriş deney sonrası deformasyon görüntüsü (arka tarafı) .....	52
Şekil 3.9.	Referans kiriş numunesi sehim grafikleri .....	53
Şekil 3.10.	Referans numunenin elastik ve plastik enerji tüketimi.....	54
Şekil 3.11.	Referans numunenin enerji tüketim grafiği .....	54
Şekil 3.12.	Referans kiriş numunesi moment eğrilik grafiği .....	55

Şekil 3.13.	Referans numune yük-gerinim grafikleri.....	56
Şekil 3.14.	Tip1-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	58
Şekil 3.15.	500 mm bekitme aralıklı kiriş karelaaj ve sektör isimlendirme çizimi .....	58
Şekil 3.16.	Tip1-500 kirişi deney öncesi fotoğrafları .....	59
Şekil 3.17.	Tip1-500 kirişi deney öncesi ve sonrası (arka tarafı) .....	60
Şekil 3.18.	Tip1-500 kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı) .....	60
Şekil 3.19.	Tip1-500 kirişi deney başı ve sonu (üst tarafı) .....	61
Şekil 3.20.	Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı) .....	61
Şekil 3.21.	Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı) .....	62
Şekil 3.22.	Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı) .....	62
Şekil 3.23.	Tip1-500 kirişi deney sonrası mesnet görüntüsü .....	63
Şekil 3. 24.	Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (mesnet üst flanş) 63	
Şekil 3.25.	Tip1-500 kirişi deney sonrası görüntüsü(arka tarafı) .....	63
Şekil 3.26.	Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(arka tarafı).....	64
Şekil 3.27.	Tip1-500 kiriş numunesi sehim grafikleri .....	65
Şekil 3.28.	Tip1-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	66
Şekil 3.29.	Tip1-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	67
Şekil 3.30.	Tip1-500 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	68
Şekil 3.31.	Tip1-250 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	69
Şekil 3.32.	250 mm bekitme aralıklı kiriş karelaajı ve sektör isimlendirmesi.....	70
Şekil 3.33.	Tip1-250 kirişi deney öncesi fotoğrafı(ön tarafı) .....	71
Şekil 3.34.	Tip1-250 kirişi deney öncesi fotoğrafları(arka tarafı) .....	71
Şekil 3.35.	Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonrası (arka tarafı) .....	71
Şekil 3.36.	Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı) .....	72
Şekil 3.37.	Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonu (üst tarafı) .....	72
Şekil 3.38.	Tip1-250 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı) .....	72
Şekil 3.39.	Tip1-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüleri (arka tarafı).....	73
Şekil 3.40.	Tip1-250 Kirişi deney sonrası görüntüsü (arka tarafı).....	73
Şekil 3.41.	Tip1-250 kirişi deney sonrası mesnet görüntüsü .....	74
Şekil 3.42.	Tip1-250 kiriş numunesi sehim grafikleri .....	75
Şekil 3.43.	Tip1-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	76
Şekil 3.44.	Tip1-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	76
Şekil 3.45.	Tip1-250 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	78

Şekil 3.46.	Tip2-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	79
Şekil 3.47.	Tip2-500 kirişi deney öncesi fotoğrafları .....	81
Şekil 3.48.	Tip2-500 Kirişi deney sonrası (arka tarafı).....	81
Şekil 3.49.	Tip2-500 Kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı) .....	82
Şekil 3.50.	Tip2-500 Kirişi deney öncesi ve sonu (üst tarafı).....	82
Şekil 3.51.	Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı).....	83
Şekil 3.52.	Tip2-500 Kirişi Deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı).....	83
Şekil 3.53.	Tip2-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (mesnet) .....	83
Şekil 3.54.	Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (arka tarafı).....	84
Şekil 3.55.	Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (alt tarafı).....	84
Şekil 3.56.	Tip2-500 kiriş numunesi sehim grafikleri .....	85
Şekil 3.57.	Tip2-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	86
Şekil 3.58.	Tip2-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	87
Şekil 3.59.	Tip2-500 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	88
Şekil 3.60.	Tip2-250 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	89
Şekil 3.61.	Tip2-250 Kirişi deney öncesi fotoğrafları .....	91
Şekil 3.62.	Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı).....	91
Şekil 3.63.	Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı) .....	91
Şekil 3.64.	Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonu(ön tarafı) .....	92
Şekil 3.65.	Tip2-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı).....	92
Şekil 3.66.	Tip2-250 Kirişi deney sonrası deformasyonu görüntüsü (arka tarafı).....	93
Şekil 3.67.	Tip2-250 kirişi deney sonrası görüntüsü .....	93
Şekil 3.68.	Tip2-500 kiriş numunesi sehim grafikleri .....	94
Şekil 3.69.	Tip2-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	95
Şekil 3.70.	Tip2-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	96
Şekil 3.71.	Tip2-250 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	97
Şekil 3.72.	Tip3-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği.....	98
Şekil 3.73.	Tip3-500 kirişi deney öncesi fotoğrafı(ön taraf).....	100
Şekil 3.74.	Tip3-500 kirişi deney öncesi fotoğrafları .....	100
Şekil 3.75.	Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı) .....	100
Şekil 3.76.	Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı) .....	101
Şekil 3.77.	Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonu(üst tarafı) .....	101
Şekil 3.78.	Tip3-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı).....	101

Şekil 3.79.	Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (ön tarafı) .....	102
Şekil 3.80.	Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (arka tarafı) .....	102
Şekil 3.81.	Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (üst tarafı).....	102
Şekil 3.82.	Tip3-500 kiriş numunesi sehım grafikleri .....	104
Şekil 3.83.	Tip3-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	105
Şekil 3.84.	Tip3-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	105
Şekil 3.85.	Tip3-500 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	106
Şekil 3.86.	Tip3-250 numunesi açıklık ortası yük-sehım grafiği.....	107
Şekil 3.87.	Tip3-250 kirişi deney öncesi fotoğrafı.....	109
Şekil 3.88.	Tip3-250 kirişi deney öncesi fotoğrafları .....	109
Şekil 3.89.	Tip3-250 kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı) .....	109
Şekil 3.90.	Tip3-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı) .....	109
Şekil 3.91.	Tip3-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(üst tarafı).....	110
Şekil 3.92.	Tip3-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(ön tarafı).....	110
Şekil 3.93.	Tip3-250 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(arka tarafı).....	111
Şekil 3.94.	Tip3-250 kirişi deney sonrası görüntüsü(ön tarafı) .....	111
Şekil 3.95.	Tip3-250 kirişi deney sonrası görüntüsü(mesnet) .....	112
Şekil 3.96.	Tip3-250 kiriş numunesi sehım grafikleri .....	113
Şekil 3.97.	Tip3-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri .....	114
Şekil 3.98.	Tip3-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği.....	114
Şekil 3.99.	Tip3-250 numunesi yük-gerinim grafikleri .....	115
Şekil 3.100.	Tüm test numuneleri açıklık ortası yük-sehım grafiği.....	117
Şekil 3.101.	250 mm berkitme aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehım grafiği.....	118
Şekil 3.102.	500 mm berkitme aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehım grafiği.....	118
Şekil 3.103.	Aynı tip farklı aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehım grafikleri(Tip1, Tip2).....	119
Şekil 3.104.	Aynı tip farklı aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehım grafikleri(Tip3) .....	119
Şekil 3.105.	Test numuneleri akma ve nihai dayanım grafikleri .....	120
Şekil 3.106.	Tüm test numunelerinin akma yükünde sehım grafiği .....	121
Şekil 3.107.	Tüm test numunelerinin nihai yükte sehım grafiği.....	122

Şekil 3.108. Test numunelerinin elastik enerji tüketim grafiği.....	123
Şekil 3.109. Test numunelerinin toplam enerji tüketim grafiği .....	124
Şekil 3.110. Test kiriş numuneleri moment eğrilik grafiği .....	124
Şekil 3.111. 250 mm ve 500 mm berkitme aralıklı numunelerin moment eğrilik grafikleri.....	125
Şekil 3.112. 500 mm berkitme aralıklı numunelerin L1, L2, R1, R2 sektörleri gerinim grafikleri .....	126
Şekil 3.113. 250 mm berkitme aralıklı numunelerin L2, L4, R2, R4 sektörleri gerinim grafikleri .....	126
Şekil Ek 1.1. Kirişlerin yatay deplasman-yük grafikleri .....	136

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Giriş

Çelik çok değişik alanlarda kullanılan bir malzemedir. Ancak miktar olarak en fazla kullanıldığı alan çelik yapılarıdır. Dünyada üretilen çeliğin yaklaşık yarısı inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Çelik yapıların planlanmasında en uygun taşıyıcı sistemin seçilmesi yapının ondan istenen fonksiyonları yerine getirebilmesi bakımından çok önemlidir. Ayrıca yapılarda bulunması şart olan güvenlik, rijitlik ve ekonomi koşullarının da kesin olarak karşılanması zorunludur [1].

Mühendislik yapılarından; köprü tipi yapılarda geçişlerin sağlanması, bina tipi yapılarda yapı alanının kapatılması, yüklerin aksenel yükü aktarabilecek elemanlara iletilmesi, deprem, rüzgâr gibi dinamik etkilerin oluşumunda yapı hiperstatikliğini sağlayıp gerekli rijitliğin tamamlanması için kullanılan yatay konumlandırılan yapı elemanları kiriş olarak tanımlanmaktadır. Bu elemanlar, doğru projelendirildiğinde yapı ömrü boyunca, yapının stabilitesinin korunmasında büyük bir role sahiptir. Aksi durumda geçilen açıklık miktarının artması, deprem, rüzgâr gibi dinamik etkiler, yapı kullanım sınıfının değiştirilmesi ve benzeri durumlarla karşılaşıldığında yeterli kapasiteyi sağlayamayabilmektedir.

Kiriş yapı elemanları için çelik malzemesi yüksek dayanım/ağırlık oranları sebebiyle çeşitli yapısal mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Geniş açıklıklara sahip sanayi yapıları, hangar tipi yapılar, viyadükler, çelik köprüler ve yüksek rijitlik beklenen kompozit döşemelerde genelde dolu gövdeli yapma kesit veya petek kirişler tercih edilmektedir. Genellikle derin olarak tasarlanıp imal edilen bu kirişlerde, yapıların inşası ve kullanımı sırasında meydana gelebilecek moment, kesme, tekil kuvvetler ve bunların bileşkeli halleri altında oluşabilecek deformasyonlar gövde

buruşması, başlık burkulması, gövdede ve başlıkta yerel burkulmalar, yanal burulmalı burkulma, başlık ezilmesi olarak gerçekleşebilmektedir. Çelik kirişlerde bahsedilen bu deformasyonların önlenmesi, azaltılması ve bu durumlara bağlı gerçekleşecek ani kapasite kayıplarının ve istenmeyen şekil değiştirmelerin önlenmesi, kapasitenin ve sünekliğin artırılması ayrıca yük aktarımında sürekliliğin sağlanması amacıyla berkitme levhaları ile yapılan çeşitli güçlendirme teknikleri sıklıkla uygulanmaktadır. Ayrıca dış merkez çelik çaprazlı çerçevelerde çapraz elemanların bağ kirişine ve uzantılarına doğrudan yük aktardığı kısımlarda yüksek düzeyde süneklik sağlanması için berkitme levhaları kullanılmaktadır. Berkitme levhaları ile ilgili hesap esasları ve konstrüktif kurallar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE-2018) yönetmeliklerinde ve EN 1993-1-5 standardında verilmektedir.

Bu tez kapsamında deneysel olarak araştırılan konu dolu gövdeli yapma I kesit kiriş güçlendirmesidir. Bundan dolayı yukarıda belirtilen problemlere karşı güçlendirilmeye çalışılan kiriş elemanında, çeliğe uygun teknikler uygulanmalıdır. Aynı zamanda bu tekniklerin ekonomiyi de gözetmesi gerekmektedir. Çelik malzemesinin yüksek piyasa değerinin bulunmasından dolayı kesitlerin büyütülmesi ekonomik bir çözüm olarak değerlendirilmemektedir. Bundan dolayı aynı en kesite sahip çelik kirişin rijitliğinin artırılmasında kullanılan enine berkitme levhaları ile güçlendirme tekniği incelenmiştir.

Berkitme levhalarının yerleşiminde bahsedilen literatürdeki yaklaşım, ideal berkitme aralığının kiriş derinliğinden küçük olarak uygulanması olarak belirtilmiştir. Ayrıca berkitmede kullanılacak levhaların kalınlıklarının değişiminin de kapasitede anlamlı bir katkısının olmadığı bilinmektedir. Diğer yandan literatürde berkitme levhalarının şeklindeki değişimin kirişteki eğilme davranışına etkisini inceleyen bir deneysel çalışma olmadığı görülmüştür.

Tüm bu durumlar düşünüldüğünde tez çalışmasının konusu, sabit kalınlıklı berkitme uygulamasında, berkitme aralıklarının ve tiplerinin değiştirilmesi parametreleriyle oluşturulan 6 farklı çelik kiriş eleman ve bunların karşılaştırılacağı berkitme uygulamasız referans eleman üzerindeki deneysel incelemeler olarak belirlenmiştir. Literatürdeki yapılan çalışmalardan farklı olarak deneyler ankastre mesnet koşullarında yapılmıştır.

Berkitme uygulamalarında piyasada yaygın olarak kullanılan farklı berkitme modelleri mevcuttur. Bu berkitme uygulamaları içerisinde yapma I kesitli kirişlerde kullanılan en yaygın, kesiti flanşlar arasında enine olarak tamamen dolduran tam berkitme olarak tez içerisinde isimlendirilen tiptir. Yaygın uygulanan bu tam berkitme tipi yanında incelenen diğer tipteki berkitmelere yapılan deneysel çalışmanın amacı, incelenen sonuçlar ışığında optimum berkitme tipini belirlemektir. Diğer berkitme tipleri olarak isimlendirilen tipler; Tip 2 olarak isimlendirilen flanşın yarısında birleşimi teşkil edilen yarım berkitme, Tip 3 olarak isimlendirilen flanşın tamamı gövdenin yarısında birleştirilen berkitme teşkilidir. Ayrıca bu tiplerin her birinin kendi içerisinde berkitme aralıkları 500 mm ve 250 mm olmak üzere iki farklı aralıkla teşkil edilmesiyle optimum bir berkitme aralığı bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.1. Üst geçit yapısındaki kirişlerde enine berkitme uygulaması



Şekil 1.2. Dış merkez çelik çaprazlı yapılarda bağ kirişinde berkitme uygulaması [24]



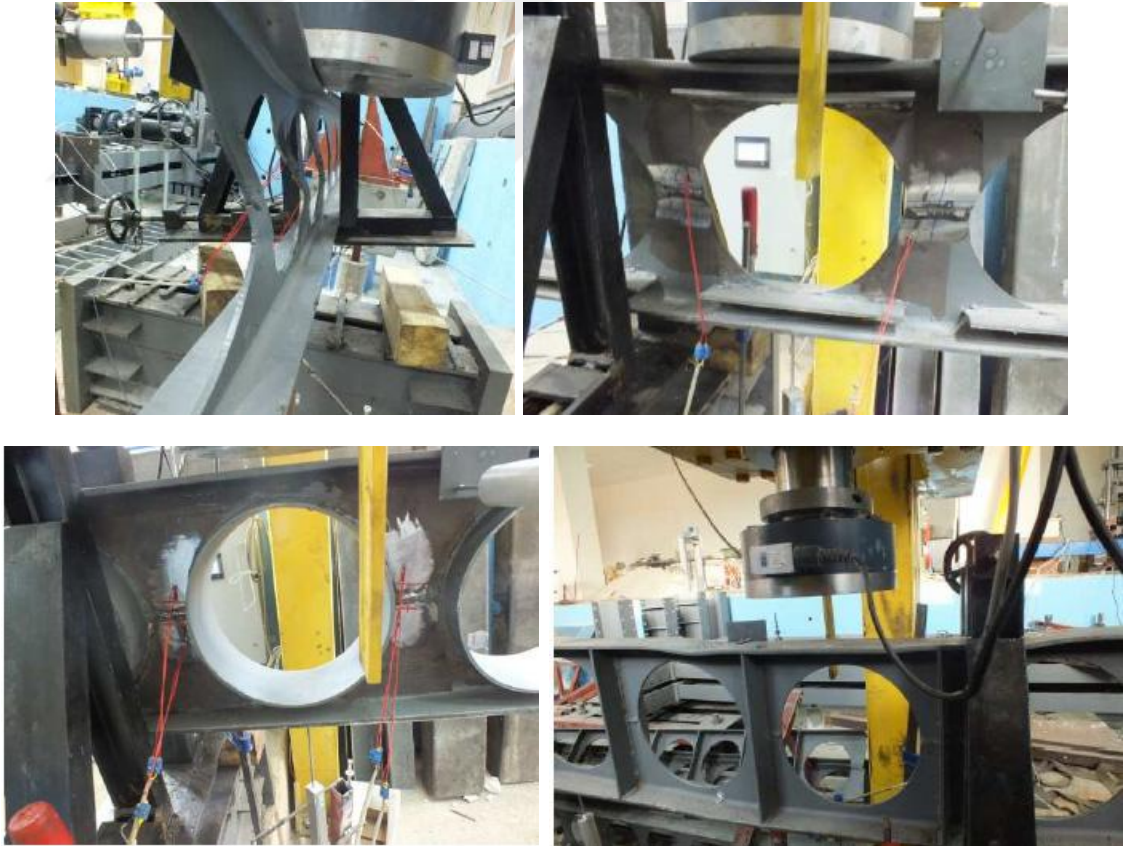
Şekil 1.3. Demir yolu köprüsü kirişlerinde enine berkitme uygulaması [25]



Şekil 1.4. Sanayi yapısındaki kirişlerde berkitme uygulaması [26]

## 1.2. Literatür Taraması

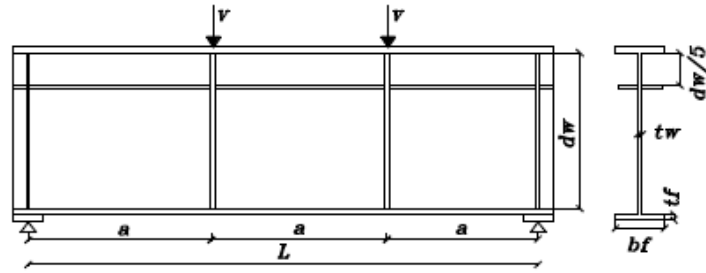
**Erdal F. (2016).** tarafından yapılan bu çalışmada, dairesel boşluklu gövde levhası üzerinde yatay, dikey ve boşluklar etrafında halka şeklinde berkitme plakalarının bulunduğu gövdelerinde dairesel boşluk bulunan I kesitli kirişlerin yük altında davranışını deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı uygulanan yükler altında test edilmiş optimal tasarımlı kirişlerin göçme risklerine çözümler önermektir. Kirişler için tasarım metodu olarak av arama optimizasyon tekniği kullanılmış ve BS5950 standart hükümlerinden tasarım kısıtları uygulanmıştır. Bu çalışmada deney numuneleri basit mesnetli olarak 5 metre serbest açıklıkta tek noktadan yükleme yapılarak test edilmiştir. 8 adet dairesel boşluklu NPI200 ve NPI240 kesitli kirişte berkitmesiz, yatay berkitmeli, dikey berkitmeli ve halka berkitmeli olmak üzere 3 farklı şekilde güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş şahit numuneler teste tabi tutulmuştur.



Şekil 1.5. Çalışmadaki test kirişlerinin görüntüleri

Çalışma sonucunda, NPI200 ve NPI240 kesitli berkitmesiz boşluklu çelik kirişlerdeki deneylerde göçme durumu sırasıyla gövde sütunu burkulması ve vierendeel göçmesi nedeniyle olmuştur. Dairesel açıklıkların üstüne ve altına yatay berkitmeler yerleştirildiğinde, kirişlerin yük taşıma kapasiteleri sırasıyla %8.7 ve %14.1 oranında arttığı görülmüştür. Deneysel çalışma gösterdi ki delikler arasında dikey berkitme kaynağı sonrası kirişlerin yük taşıma kapasiteleri sırasıyla %15.8 ve %18.7 artmıştır. Yük taşıma kapasitesinde en büyük artış, sırasıyla %18.2 ve %22.3'e ulaşarak, halka berkitmeyle güçlendirilmiş kirişlerde kaydedilmiştir. Bu çalışma gösterdi ki yatay berkitmeye kıyasla halka ve dikey berkitme perfore çelik kirişlerin yük taşıma kapasitelerini önemli ölçüde artırıyor. Bu nedenle çelik halka ve dikey berkitmeler uygulanan yükler altında test edilmiş optimal tasarımı kirişlerin göçme risklerini azaltmada çözüm olabilirler.

**Ishac, I., Hosseiny, O. E., Matar, E., & Mandour, S. (2012).** [2] tarafından yapılan bu nümerik çalışmada, yatay berkitmeli ve yatay berkitmesiz çelik I kesitli kirişleri temsil eden üç boyutlu modellerde kiriş flanş ve gövde kesitlerinin davranışını incelemek için Ansys Apdl analiz programında nonlineer sonlu eleman analiz çalışmaları yapılmıştır. Bunu elde etmek için, problemin geometrik ve malzeme olarak doğrusal olmayan doğasını simüle eden bir sonlu eleman modeli kurulmuştur. Gövde levhasında yatay berkitme varlığının etkisi ve berkitmeli kiriş tasarım oranlarındaki değişimlerin etkileri bu çalışmada sunulmuştur. Gövde levhasında yatay berkitme varlığının etkisi ve berkitmeli kiriş tasarım oranlarındaki değişimlerin etkileri bu çalışmada sunulmuştur. Ayrıca bu çalışmada daha önce yayımlanan deneysel verilerle bir doğrulama sunulmuştur.



$d_w$ (mm)	$t_w$ (mm)	$b_f$ (mm)	$t_f$ (mm)
600	2	100,125,150,175,200	5
600	2.5	100,125,150,175,200	5
600	3	100,125,150,175,200	5
600	4	100,125,150,175,200	5

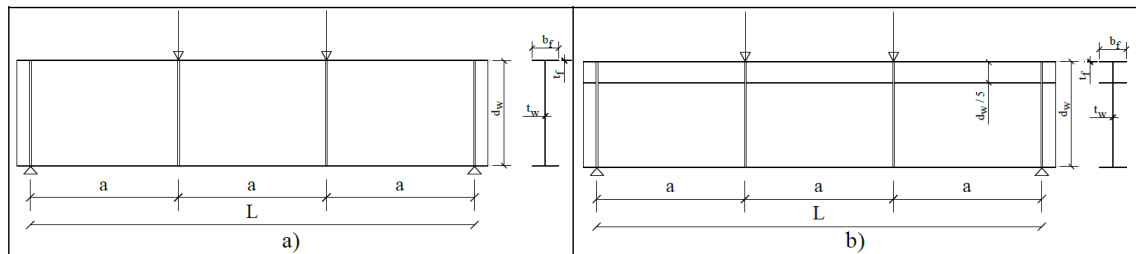
Şekil 1.6. Çalışma kapsamında nümerik olarak test edilen kiriş kesitleri ve ölçüleri [2]

Değişken boyutları olan ince plakalı I kesit kirişler için parametrik analizin sayısal sonuçları yatay berkitmenin göçme yükleri üzerindeki önemli etkisini göstermiştir. Bu çalışmadan bulunan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Dikey berkitme aralığının kiriş gövde derinliğine oranı,  $a/d_w = 1$  olan kare bölmeli kirişlerde, gövde derinliğinin kalınlığına oranının artması özellikle  $(b_f/2t_f)$ 'nin yüksek değerleri ile birlikte göçme yüklerinde daha hızlı bir azalmaya sebep olur.
- Dikey berkitme aralığının kiriş gövde derinliğine oranı,  $a/d_w > 1$  bulunan dikdörtgen bölmeli kirişlerde, gövdedeki kesme burkulmasından dolayı değişen  $d_w/t_w$  oranları ile birlikte göçme yükü yaklaşık olarak sabittir.
- Gövde yatay berkitmesi kullanmak göçme yükünün artmasına yol açar.
- Dikey berkitme aralığının kiriş gövde derinliğine oranını  $(a/d_w)$  artırmak göçme yükünün azalmasına yol açar.
- Dikdörtgen bölmeli gövde panelleri  $a/d_w > 1$  için, göçme modu genellikle gövdedeki kesme burkulması sebebiyledir.
- $(b_f/2t_f)$ 'nin yüksek değerleri için, göçme modu gövdedeki kesme burkulması sebebiyle iken  $b_f/2t_f$ 'nin küçük değerleri için, göçme modu flanştaki yanal burulmalı burkulma sebebiyledir.

- Dikey berkitme aralığının kiriş gövde derinliğine oranını ( $a/d_w$ ) artırmak dikey eğilmenin artmasına yol açar.
- Gövde yatay berkitmesi kullanmak dikey eğilmenin azalmasına yol açar.
- Flanşa en-kalınlık ( $b_f/2t_f$ ) oranını artırmak iki durumda (hiç yatay berkitme olmadığı ve yatay berkitme olduğu) da flanşın yanal eğilmesinin azalmasını sağlar.
- Dikey berkitme aralığının kiriş gövde derinliğine oranını ( $a/d_w$ ) artırmak iki durumda (hiç yatay berkitme olmadığı ve yatay berkitme olduğu) da yanal eğilmenin artmasına yol açar.

**El-Hosseiny, O. M., Ishac, I. I., Matar, E. B., & Mandour, S. A. (2014).** [3], bu deneysel çalışmada, kesme ve eğilme momentine maruz kalan yatay ve dikey berkitmeli ve sadece dikey berkitmeli I kesitli kirişlerinin davranışını araştırmıştır. Bunun için iki farklı kiriş yüksekliğinde ve iki ayrı modelde toplam dört farklı kiriş numunesi üretilmiştir(Şekil 1.7.).



SP-No	a (mm)	L (mm)	$b_f$ (mm)	$t_f$ (mm)	$d_w$ (mm)	$t_w$ (mm)	$a/d_w$	$d_w/t_w$
SP-1	1100	3300	200	6.4	600	5.2	1.833	115.385
SP-2	1100	3300	200	6.4	600	5.2	1.833	115.385
SP-3	1100	3300	200	6.4	800	5.2	1.375	153.846
SP-4	1100	3300	200	6.4	800	5.2	1.375	153.846

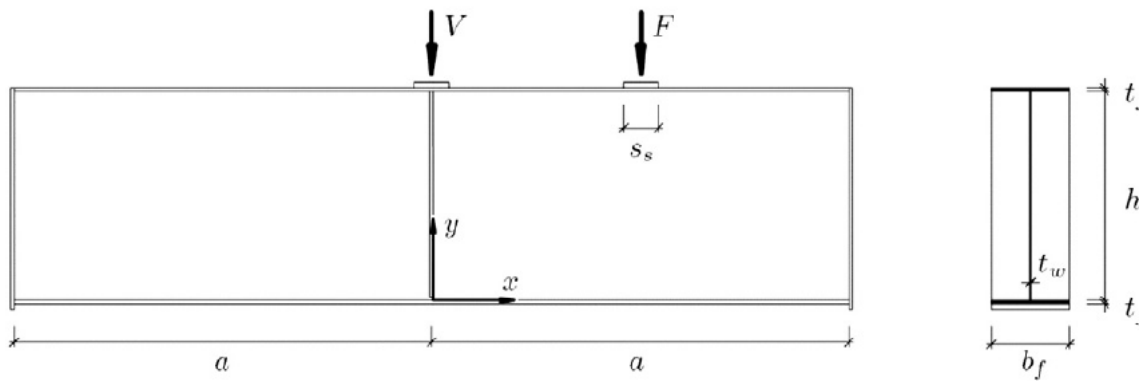
Şekil 1.7. Çalışmada Test Edilen Kiriş Kesitleri ve Ölçüleri [3]

Çalışma hem deneysel hem analitik olarak yapılmıştır. Deneyler sırasında yanal burulmalı burkulmayı engellemek için kirişler yatay olarak desteklenmiştir. Kiriş deneyleri basit mesnetli ve çift noktadan yüklemeli olarak yapılmıştır.

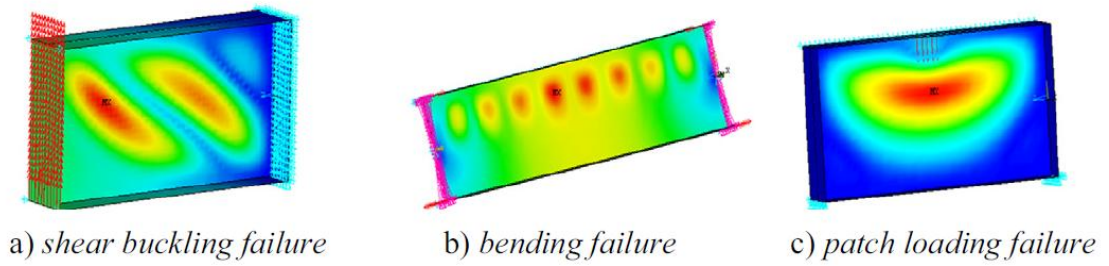
Bu çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Yanal destekli çelik I kesitli kirişler için göçme modu, hiç yatay berkitme olmadığı durumda genellikle flanştaki lokal burkulmadan, gövde boyunca kiriş derinliğinin 1/5inde yatay berkitme kullanıldığı durumlarda gövdede kesme burkulmasından kaynaklıdır.
- Test edilmiş kirişlerin gövde panellerinde, basınç ve çekme gerilmesi uygulanan yük arttıkça kesme burkulması meydana gelene kadar artar. Aşırı gerilmeden dolayı, kesme sonrası burkulma dayanımı çekme tarafı ile sağlanır ve kiriş “Pratt truss” olarak davranır.
- Dikey berkitme aralığı kiriş derinliği oranınının ( $a/dw$ ) artırılması göçme yüklerinin azalmasına yol açar.
- Gövdede yatay berkitme levhası kullanılması kirişin ataletinin artmasından dolayı göçme yükünün artmasına ve orta açıklıkta dikey sehimin azalmasını sağlar.
- Yatay berkitmeler flanşlardaki normal kuvvet gerinimini azaltır ve bu sayede lokal burkulma eğilimini geciktirir.

**Kövesdi, B., Alcaine, J., Dunai, L., Mirambell, E., Braun, B., & Kuhlmann, U. (2014).** [4] tarafından yazılan bu makale, boylamasına yatay berkitme ile güçlendirilmemiş I Profil çelik kirişlerin eğilme, kesme ve yama yükleme kombinasyonu altındaki etkileşim davranışının araştırılmasına odaklanmaktadır.



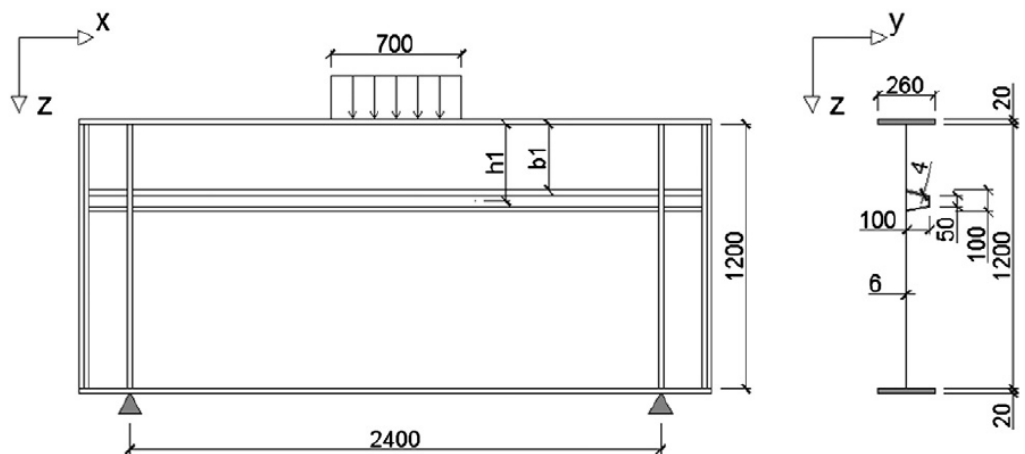
Şekil 1.8. Çalışmadaki test kirişinin genel düzeni[4]



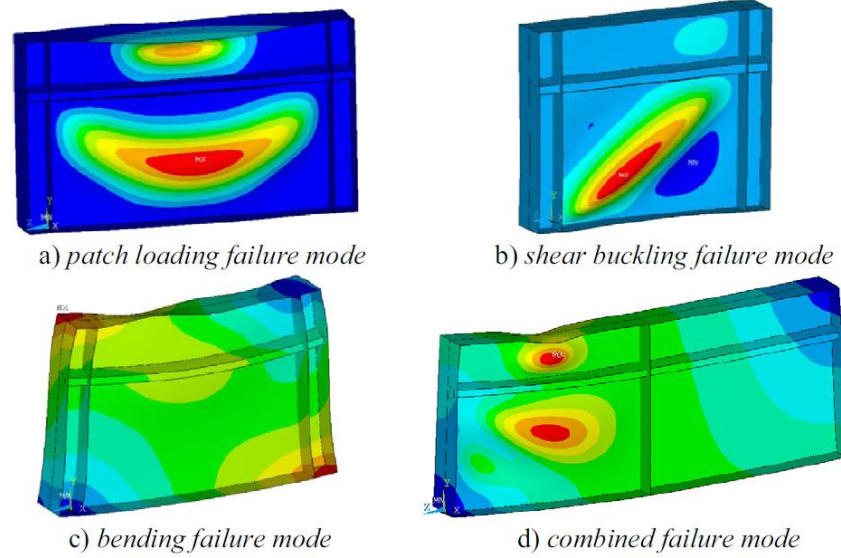
Şekil 1.9. İncelenen göçme modlarını belirlemek için uygulanan sayısal modeller [4]

Bu makalede doğrulanmış bir sayısal model baz alınarak, yük taşıma kapasiteleri çeşitli yükleme durumları için çeşitli kiriş geometrileri üzerinde belirlenip ilgili etkileşim denklemi araştırılmıştır.

**Kövesdi, B., Alcaine, J., Dunai, L., Mirambell, E., Braun, B., & Kuhlmann, U. (2014).** [5] tarafından yazılan bu makale ise eğilme, kesme ve yama yükleme kuvvetlerine maruz bırakılmış uzunlamasına berkitmeli çelik I-Profil kirişlerin etkileşim davranışına odaklanır. Bu üç iç kuvvetin yük taşıma kapasiteleri üzerindeki kombine etkisini incelemek için sayısal modeller geliştirilmiştir. Çalışmada gövde derinliği 400-1200 mm arasında olan kirişler gövdenin basınç bölgesine bir uzunlamasına berkitme yerleştirilmiş olarak incelenmiştir. Sadece kapalı kesit berkitmeli paneller incelenmiştir ve berkitmeler EN 1993-1-5 standartında bulunan berkitme şartlarını yerine getirmiştir.



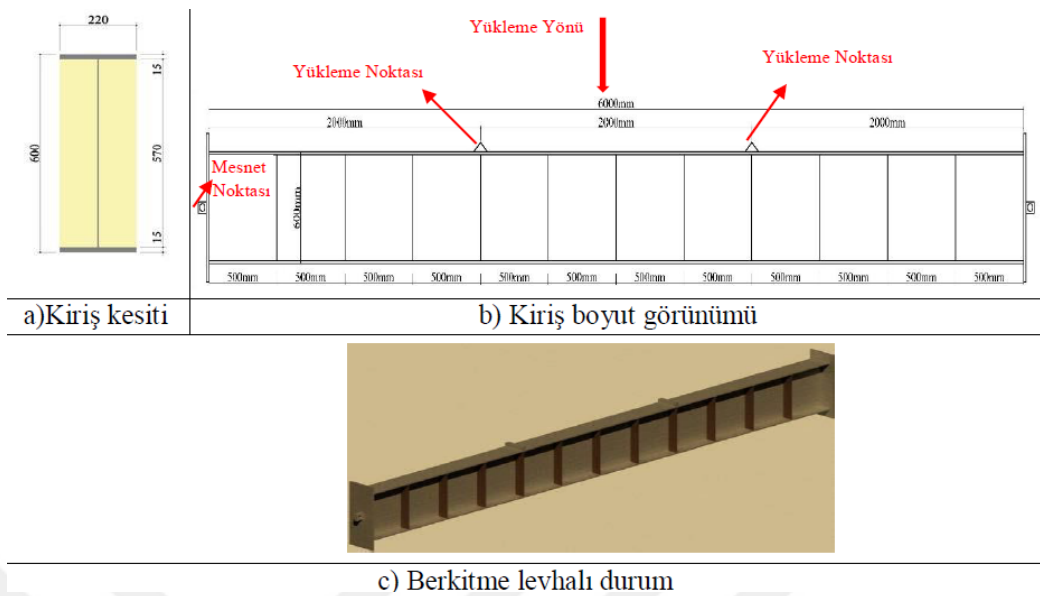
Şekil 1.10. Çalışmadaki test kirişinin genel düzeni [5]



Şekil 1.11. İncelenen göçme modlarını belirlemek için uygulanan sayısal modeller [6]

Sayısal parametrik çalışma baz alınarak tasarımda uzunlamasına berkitmeli kirişlerin M-V-F etkileşim davranışını göz önüne almak için tasarım etkileşim denklemi önerilmiştir. Önerilen tasarım metodunda, analiz edilen tüm parametre aralığında uygun sonuçlar vermiştir. Sonuçlar, göçme modunun üstteki veya altta ki alt panelde lokal burkulma olduğu geometriler için geçerlidir, fakat tüm panelin genel burkulması için geçerli değildir. Bunun, Avrupa'daki uzunlamasına berkitmeli köprü yapıları için en yaygın durum olduğuna dikkat çekilmiştir.

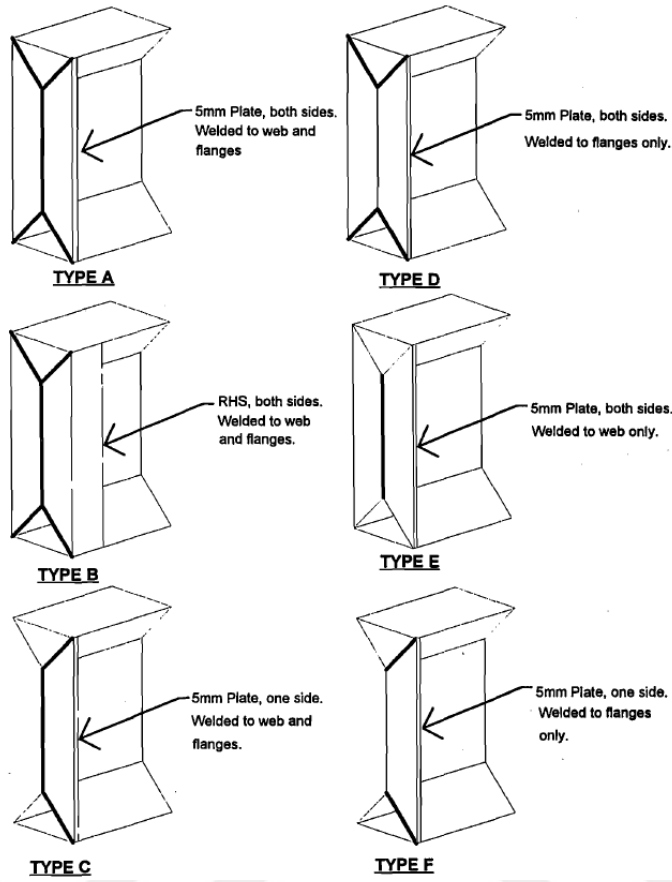
**Sivri, M. & Sura, M. (2017).** [17] tarafından nümerik olarak yapılan çalışmada berkitme levhaları ile güçlendirilmiş yapma I kesitli çelik kirişlerde, berkitme levhalarının boyut ve yerleşim şeklinin eğilme etkisi altındaki davranışa etkisi incelenmiştir. İncelemede 6000mm açıklığa sahip yapma kesit bir kiriş Ansys Workbench simülasyon programında sayısal olarak modellenmiş ve sayısal modeller her iki ucu mafsallı basit mesnet olarak mesnetlenip çift noktalı artımsal yükleme yapılmıştır. Kirişler sonlu elemanlar metodu ile nonlinear bölgede analiz edilmiştir. Kiriş gövde kalınlığı 3, 6 ve 10 mm alınarak kiriş eğilme davranışı belirlenmiştir. Berkitme levhalarının davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla berkitme levhaları 500, 1000 ve 2000 mm olmak üzere üç farklı aralıkta, cidar kalınlıkları ise 3, 6 ve 10 mm kalınlığında alınarak sayısal modeller statik olarak yüklenmiştir.



Şekil 1.12. Çalışmada kullanılan kiriş ve berkitme yerleşim planı genel görünümü [17]

Çalışma sonucunda, 3 mm gövde kalınlığına sahip kirişlerde gövdede buruşma oluşmaktadır. Kiriş gövdesinde meydana gelen bu deformasyona engel olmak ve eğilme etkisi altındaki rijitliği artırabilmek amacıyla berkitme levhaları kullanılmıştır. Berkitme levhalı kirişlerde, gövdede meydana gelen deformasyonun ve buna bağlı gerilme dağılımının berkitme levhaları aralığında sınırlandırıldığı ve kapasitenin belirgin bir düzeyde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Berkitme kalınlığı ve aralığı, ince gövdeli kirişlerin davranışında etkin olmaktadır. 6mm gövde kalınlığına sahip kirişlerde ise berkitme elemanları göçme şeklini değiştirmiş ve kirişin sünek davranış göstermesini sağlamıştır. 10mm gövde kalınlığına sahip kirişlerde gövde de buruşma olmamasından dolayı berkitme levhaları etkili olmamıştır.

**Avery, P., & Mahendran, M. (1997).** [6], boşluklu flanşlı kirişlerin(Hollow Flange Beam) yanal burkulma kapasitesinin arttırılması için enine gövde plakası berkitmelerinin kullanılmasına dair sonlu elemanlar analizleri kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu makale sonlu elemanlar modelinin ve analitik sonuçların detaylarını sunmaktadır.



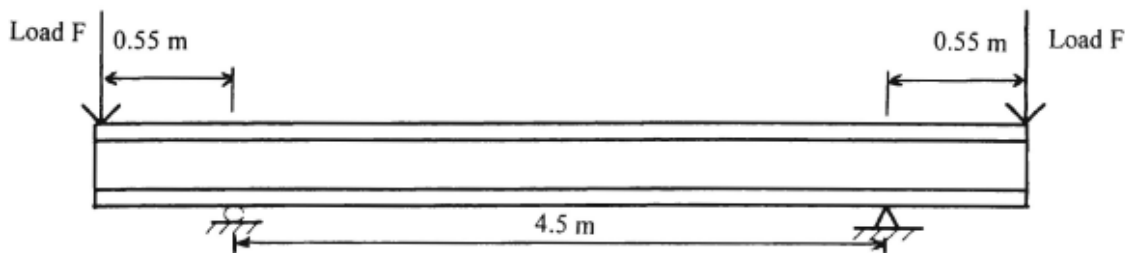
Şekil 1.13. Çalışmada incelenen berkitme konfigürasyonları [6]

Bu makalede sunulan sonuç ve tartışmalardan, aşağıdaki neticeler çıkarılabilir:

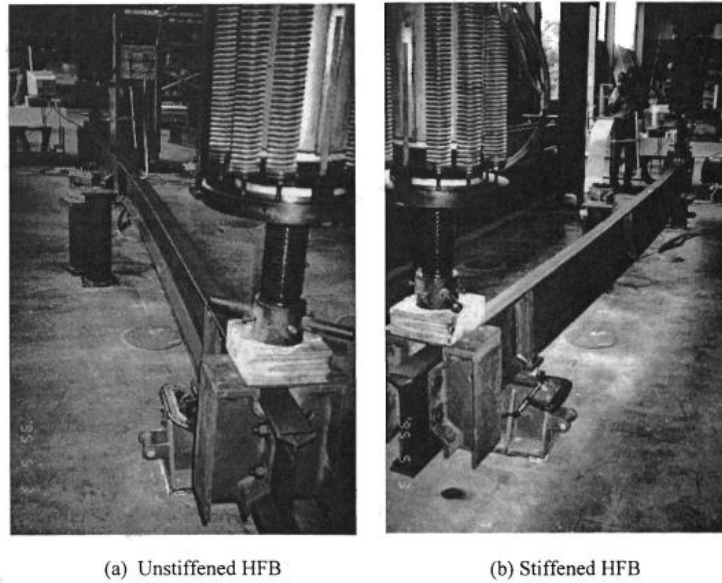
- Boşluklu Flaş Kirişlerde enine gövde berkitmeleri kullanılarak yanal deformasyonlu burkulma etkileri etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilir. Tasarım momenti kapasitesinde %35'ten fazla bir artış belirli koşullar için mümkündür.
- En uygun berkitme tipi, nominal kalınlıkta ve en azından flaşlara kaynaklanmış enine gövde plakası berkitmesidir.
- Boşluklu Flaş kirişlerde burkulma mukavemeti, berkitmelerin sayısı arttıkça yanal burulmalı burkulma momentine yaklaşır. Açıklığın üç noktasına yerleştirilen berkitmeler, imalat maliyeti ile elde edilen mukavemet arasında genellikle optimum bir nokta sağlar. (genellikle yanal burulmalı burkulma momentinin %93 ila 97'si)

- Berkitme kullanımına bağılı olarak boşluklu flanş kirişlerinin tasarım eğilme mukavemetindeki en büyük yüzdesel artış, orta açıklıklar (2'den 5 metreye kadar) için görüldü. Bununla birlikte kiriş başına en büyük maliyet kazancı, farklı kesitlerin tasarım mukavemet eğrilerinin yakınlığı nedeniyle uzun açıklıklar (5'ten 10 metreye kadar) için görüldü.
- Berkitme kullanımı, tasarımcıların sabit bir yük ve açıklık için kesit boyutunu küçültmelerine, portal çerçevesel çatı kirişlerinde ve kolonlarda payanda aralığını artırmaya veya sabit bir yük için daha büyük bir kesite gerek olmadan açıklığı artırmaya olanak verir.

**Avery, P., & Mahendran, M. (1997).** [27] tarafından yapılan bu çalışmada berkitmeli ve berkitmesiz boşluklu flanşlı kirişlerin(HFB) sabit bir eğilme momenti altında, sonlu elemanlar çalışmasından elde edilen sonuçlarını doğrulamak için, detaylı bir deneysel araştırma yapılmıştır. Çalışmada I-kirişlerin genel yanal burulmalı burkulma modunun aksine, iki rijit üçgen flanş ve ince bir gövdeden oluşan boşluklu flanşlı kirişlerin kesit, gövde deformasyonuna bağılı olarak göçmenin yanal eğilme, burulma ve yanal burkulma moduna karşı hassas olduğu belirtilmiştir. 4.5 m açıklığındaki HFB'lerde yapılan büyük ölçekli deneyler, bu yanal burkulma davranışının HFB'lerde yanal burkulma göçmesi gerçekleştiğini ve mevcut eğilme kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olduğu gösterilmiştir. Ancak enine gövde plakası berkitmeleri kullanıldığında gövde distorsiyonunu ortadan kaldırılmış ve kapasiteleri önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Deneyler, gövdenin her iki tarafındaki açıklığın üçüncü noktalarındaki flanşlara kaynaklanmış 5 mm'lik gövde plaka berkitmelerinin, bu tür iyileştirmeleri sağlamak için yeterli olacağını analitik temelli önerisini doğrulamıştır.

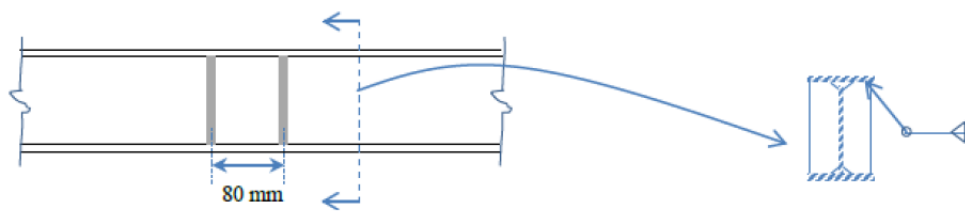


Şekil 1.14. Çalışmadaki test düzeni [27]

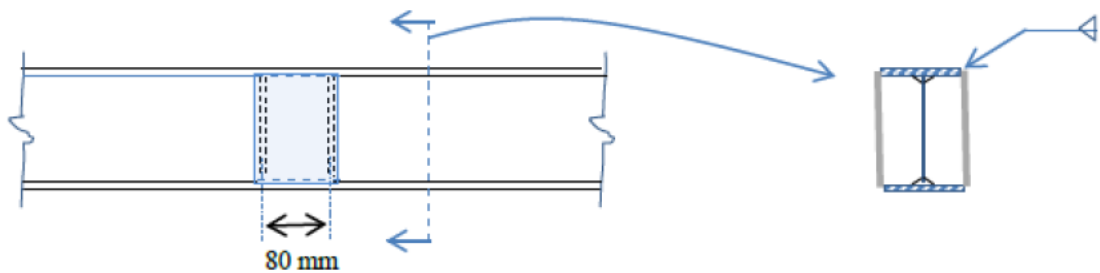


Şekil 1.15. Çalışmadaki deney fotoğrafları[27]

**Christian O. Sørensen, Kristian M. Rasmussen (2014).** [7] Bu araştırmada, enine, boyuna ve kutu tipi berkitme levhalarının I kesitli çelik kirişte eğilme dayanımını artırıp artırmayacağı uygulamalı deneyler ve sonlu eleman analizleri ile sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmada IPE80 profili kullanılmış ve enine ve boyuna berkitmeler kiriş açıklık ortasına yerleştirilmiştir. Boyuna berkitmeler kutu şeklinde kiriş flanşlarına birleştirilmiştir.



Şekil 1.16. Çalışmada incelenen enine berkitme levhaları yerleştirilmiş kiriş tasarımı [7]



Şekil 1.17. Çalışmada incelenen boylamasına yerleştirilmiş berkitme levhaları [7]

Bu makalede literatür araştırmaları temelinde, yapılan uygulamalı testler ve sonlu elemanlar analizi için çıkarılan sonuç şudur ki, IPE-80 kirişinin ortasındaki tekil uygulama yükünün lokasyonuna yerleştirilmiş olan hem enine berkitmeler hem de kısa uzunlamasına berkitme ile kombine edilen enine berkitmeler, önemli bir derecede, pratik yapısal mühendislik uygulamaları için, eğilme mukavemetini ve yük taşıma kapasitelerini artırmıştır.

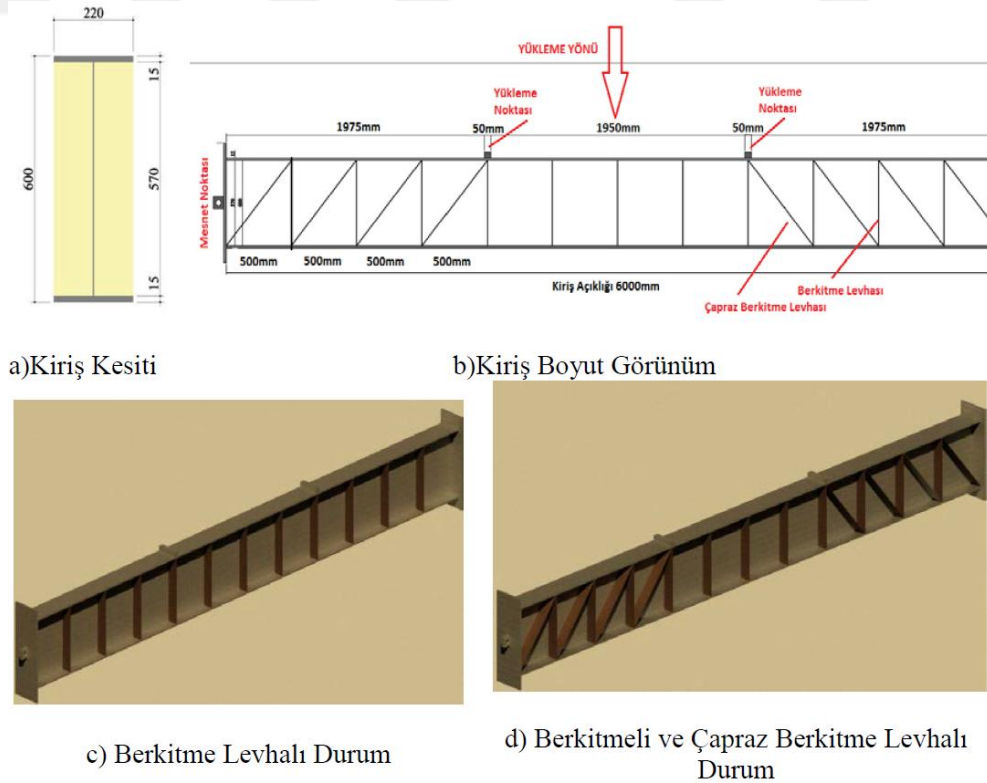
**Davidson, J. S., Ballance, S. R., & Yoo, C. H. (2000).** [8], kavisli I-şekilli plaka kirişlere yerleştirilmiş uzunlamasına bir ve iki berkitmenin optimum yerini ve mukavemet etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır. Araştırmada yanal yük ve yanal basınç benzeşimlerini kullanarak, uzunlamasına berkitmeli kavisli plaka kirişleri için mukavemet düşüşü denklemleri formüle edildi. Bu araştırmada geliştirilen denklemlerle Japon ve Amerikan tasarım yönetmeliklerinde kullanılan tasarım denklemleri arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır ve metodun uygulanabilirliği ve üstünlüğü gösterilmiştir.

Araştırma sonucunda, Uzunlamasına bir ve iki berkitmenin etkileri gösterilmiştir. Konu ile ilgili önceki makalelerde gösterilenlere benzer olarak yanal basınç benzeşimlerini kullanarak, denklemler bu tür panellerdeki maksimum gerilmeler üzerindeki kavis etkilerini ihtiyatlı tahminlerle yakınsamak üzere formüle edilmiştir. Araştırmada geliştirilen denklemlerin Amerikan ve Japon tasarımcıların halen kullandığı tasarım denklemlerine nispetle uygulanabilirliği ve üstünlüğü gösterilmiştir.

**Hendy, C. R., & Presta, F. (2008).** [9] tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri kullanarak enine berkitmeli plaka kirişlerinin eğilme ve kesme davranışı araştırılmıştır. Çalışmada aksenal kuvveti olan ve olmayan ince simetrik elik kirişler ve asimetric olan elik beton kompozit levha kirişleri incelenmiştir. Gözlemlenen gövde burkulma davranışı, mevcut teorilerin öngörüleriyle karşılaştırılıp ve değiştirilmiş tasarım kuralları nerilirmiştir. Berkitme tasarımında sadece berkitme yaklaşımının berkitme ve kuvvet kombineli yaklaşım yerine savunulup savunulamayacağına dair araştırmayı da içerir. Ayrıca kirişlerin kesme momenti etkileşim davranışı incelenmiş ve EN 1993-1-5 standardı tahminleri ile karşılaştırılmıştır.

Araştırma sonucunda, çelik ve kompozit kirişler için sonlu elemanlar modellemesi gösterdi ki berkitmelerin EN 1993-1-5 standardı minimum gereksinimlerine uygun olduğu ve akma dayanımı gövde panelininkiyle aynı ya da daha büyük olduğu takdirde hiçbir durumda lokal berkitme deformasyonundan dolayı genel göçme durumu gerçekleşmemiştir. Göçme deformasyonları gövde panelinde gözlemlenmiş ve kiriş dayanımı için Eurocode öngörülerinin her zaman güvenli olduğu belirtilmiştir.

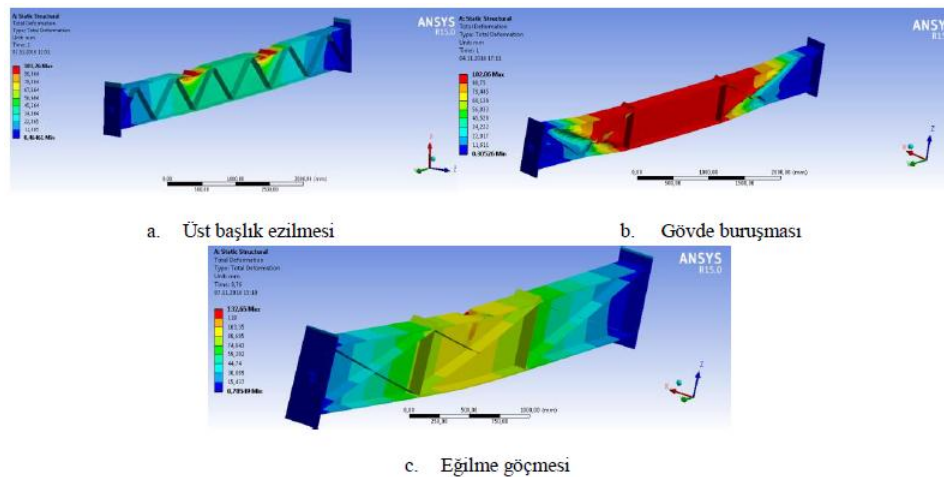
**Çelik, İ. D., Sivri, M., Fenkli, M., Kök, E., & AY, Z. (2015).** [18] tarafından nümerik olarak yapılan bu çalışmada eğilme etkisine tabi tutulan yapma I kesit kirişlerde, berkitme levhalarının boyut ve yerleşim şeklinin davranışa etkisi incelenmiştir. İncelemede Ansys sonlu elemanlar analiz programı kullanılmış ve tam ölçekli tasarlanan modeller statik olarak yüklenmiştir. Yükleme sonucunda, kiriş üzerinde oluşan burkulma durumları, kapasite, deplasman, şekil değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu durumda tasarımda kullanılan berkitme levhalarının tasarım parametreleri irdelenmiş ve tasarımcı için uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.18. Çalışmada kullanılan kiriş ve berkitme yerleşim planı genel görünümü [18]

Çalışma sonucunda, berkitme levhalı kirişlerde, gövdede oluşan deformasyonun berkitme levhaları aralığında sınırlandırıldığı ve kapasitenin belirgin bir düzeyde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat bu artışta berkitme levhası kalınlığının etkin olmadığı, berkitme levhaları arasındaki mesafenin ve yerleşim yerinin kapasiteyi etkilediği görülmüştür. Berkitme levhaları arasındaki mesafe azaldıkça kapasite artarken sehim rijitliğinin de aynı oranda etkilendiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada, kiriş gövdesinde oluşan bu deformasyonu sınırlamak ve buna bağlı kapasiteyi artırmak amacıyla çapraz berkitme levhaları kullanılmıştır. Bu levhaların eklendiği durumlarda, levhanın gövdede oluşan deformasyonu sınırladığı ve kapasite artışı sağladığı tespit edilmiştir. Çapraz eleman kullanımı ile birlikte daha az sayıda berkitme levhası kullanılarak yüksek kapasite değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

**Sivri, M. & Sura, M. (2017). [20]** tarafından yapılan bu çalışmada öncelikle R.Chacon vd. (2013) çalışmalarında deneysel olarak test ettikleri berkitmeli ve berkitmesiz kiriş numuneleri Ansys analiz programında modellenerek çözüm yapılmış ve deneysel sonuçlara oldukça yaklaşıldığı görülmüştür. Nümerik modellemelerde 6000mm metre açıklığa sahip yapma I kesitli bir kiriş berkitmesiz ve farklı şekil ve aralıklarda berkitmeli olarak Ansys sonlu elemanlar analiz programında sayısal olarak modellenip iki noktadan yükleme yapılarak eğilme etkisi altında çözüm yaptırılmıştır. Gövde kalınlığının eğilme davranışına etkisini belirlemek amacıyla 3, 6 ve 10mm kalınlığında gövde kalınlıkları seçilmiştir. Dikey berkitmelerin ve 3, 6 ve 10mm kalınlıkları ve çapraz berkitmelerin 3mm kalınlığı için 500, 1000 ve 2000mm aralıklarla yerleştirilmesi halinde kiriş kapasitesi, göçme yükü ve şekli belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.19. Sayısal çalışmadaki berkitmeli kiriş göçme şekilleri [20]

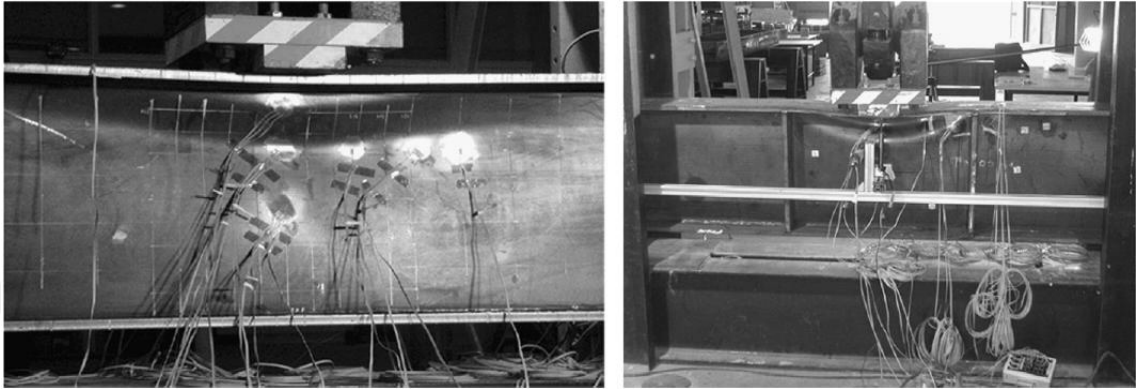
Çalışma sonuca göre analiz sonuçları incelendiğinde eğilme etkisindeki bir I kesitli kirişte gövdede oluşan deformasyonların kapasite ve kiriş davranışı üzerinde etkin rol oynadığı görülmüştür.

- Berkitme levhalı modellerde, gövdede meydana gelen şekil değiştirmenin ve buna bağlı gerilme dağılımının berkitmeler arasında sınırlandırıldığı ve kapasitenin belirgin bir düzeyde artış sağladığı tespit edilmiştir.
- Yerleşim şekli ve bekitme aralıkları aynı olan sayısal modellerde, berkitme levhası kalınlığının kiriş kapasitesi ve davranışında etkin rol almadığı görülmüştür.
- Çalışmada, en etkin sonuçların berkitme levha aralığının en az olduğu(500 mm) durumda sağlandığı görülmüştür.
- Yapılan analizlerde 3, 6 ve 10mm gövde kalınlığına sahip kirişler kullanılmıştır. Üç tip kiriş en etkin berkitme aralığı için elde edilen kapasite dağılımları değerlendirildiğinde, kapasite değerleri, birbirine yakın sonuçlar gösterir iken, kirişlerde gövde kalınlığındaki artışın davranışı daha sünek bir aralığa çektiği görülmüştür. Bu hali ile 3mm gövde kalınlığındaki berkitmeli kirişlerde berkitmelerin kapasiteyi artırmasına rağmen gövde de meydana gelen lokal burkulmaları sınırladığı ancak ileri deplasman seviyelerinde burkulmayı engelleyememesi sebebi ile kirişin ani göçme moduna geçtiği tespit edilmiştir.

Çalışmada yapılan analizler neticesinde, derin gövdeli yapma kesit profillerde, berkitme levhalarının kiriş kapasitesi üzerinde etkin rol oynadığı görülmüştür. Ancak elde edilen verilere göre kullanılan berkitme levhalarının cidar kalınlığının belirleyici olmadığı, bunun yanında yerleşim şekli ve aralığının daha büyük önem taşıdığı tespit edilmiştir.

**Chacón, R., Mirambell, E., & Real, E. (2013).** [10] tarafından yürütülen çalışmada, kırk sekiz nümerik olarak test edilmiş prototipin yanı sıra yama yüklemeye tabi tutulmuş altı çelik plaka I kesitli kirişin deneysel bir programı sunulmuştur. Nihai yük kapasitesi ve bu kirişlerin yapısal davranışlarının sonuçları gösterilmiştir. İlave olarak, nihai yük kapasitesinin deneysel ve sayısal değerleri EN1993-1-5 standardı tarafından öngörölmüş değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlarla, enine berkitmeli çelik plaka

kirişlerin tepkisi bu makalede tartışılmıştır. Enine berkitmenin kirişlerin nihai yük kapasitesi üzerindeki etkisine özel önem verilmiştir. Büyük aralıklı enine berkitmeli kirişlerin, kısa aralıklı enine berkitmeli kirişlerden önemli ölçüde farklı bir davranış verdiği gözlenmiştir.



Şekil 1.20. Deneysel çalışmadaki test sonucu kiriş görüntüleri [10]

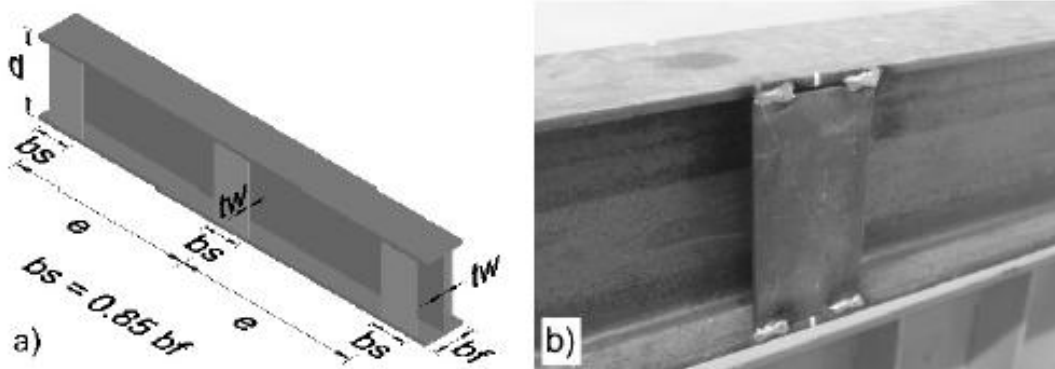
Bu makalenin ana sonucu şudur ki, büyük aralıklı enine berkitmeli kirişler, kısa aralıklı enine berkitmeli kirişlerden önemli ölçüde farklı bir davranış gösterirler. Enine berkitmelerin kısa aralıklarla yerleştirildiği kirişler için nihai yük kapasitesindeki hem deneysel hem de sayısal sonuçların EN1993-1-5 standardı öngörülerinden önemli ölçüde farklı olduğu görülmüştür. Sayısal model, EN1993-1-5 formülasyonu ile elde edilene göre oldukça yüksek bir nihai yük öngörmüştür.

**Chacón, R., Mirambell, E., & Real, E. (2013).** [11] deneysel olarak gerçekleştirdikleri diğer çalışmanın sayısal olarak yaptıkları tamamlayıcı araştırmasıdır. Makalede, yama yüklemeye tabi tutulan çelik levha kirişlerinin nihai yük kapasitesini artırmayı amaçlayan bir yöntem hazırlanmıştır. Bu yöntem, çelik levha kirişlerinin kısa aralıklı enine berkitmeler içerdiği durumlar için özellikle kullanışlıdır. Halen EN1993-1-5'te verilen formülasyon, bu tür geometrik bir orana sahip kirişlerin nihai yük kapasitesini eksik değerlendirmektedir. Sayısal ve teorik sonuçlar arasındaki karşılaştırmalar önerilen modelin doğruluğunu göstermektedir. Çalışmaya göre bu tür bir tahminle elde edilen sonuçlar yapısal olarak güvenilirdir ve EN1993-1-5'in mevcut formülasyonunu anlamlı bir şekilde iyileştirir.

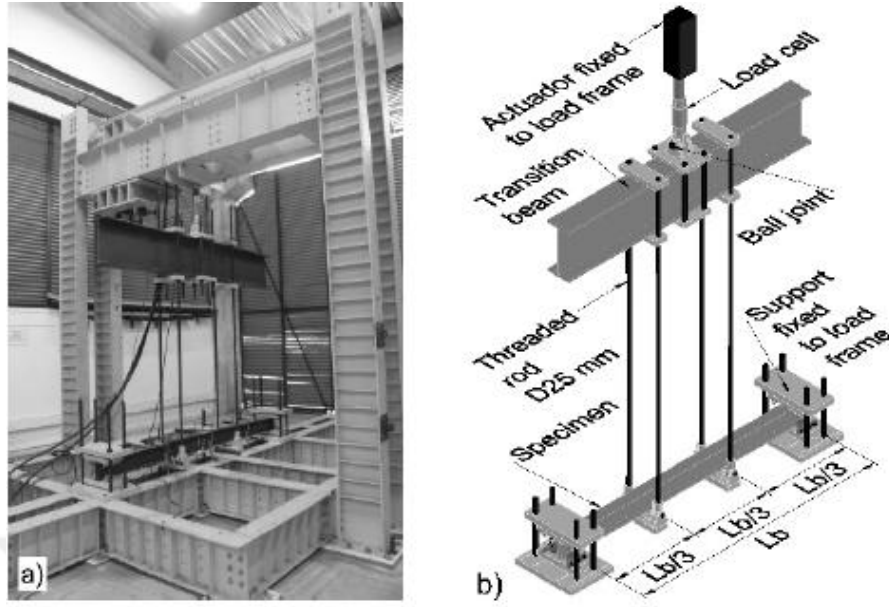
Burada sunulan deneysel ve sayısal sonuçlar, yama yüklemeye tabi tutulan çelik levha kirişlerinde iki farklı yapısal davranış göstermiştir. Enine berkitmeler arasında yeterince

büyük mesafeye sahip kirişler, yeterince kısa mesafeye sahip kirişlerden oldukça farklı bir davranış sergilemektedir. EN1993-1-5'in mevcut formülasyonunun kirişlerin sayısal (ve deneysel) olarak elde edilen nihai yük kapasitesini eksik değerlendirdiği gösterilmiştir. Bu eksik tahminleme hâlihazırda bu tasarım hükümlerinde bulunan sınırlamaların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Sınırlama, etkin şekilde yüklenmiş uzunluğun ( $l_y$ ), enine berkitmeler arasındaki mesafeden( $a$ ) daha büyük olamayacağını söyler. Bu tür sınırlama, EN1993-1-5 göre yama yüklemeye tabi tutulan çelik kirişlerin nihai yükü tahminlerini bozucu şekilde cezalandırır. Mevcut formülasyonu iyileştirmek için, yoğun olarak berkitmeli kirişlerin bu hususi durumu için hem enine berkitmenin hem de üst flanşın varlığını açıklayan, yeni bir mekanik model sunulmuştur. Önerilen formülasyon, tasarımcılar için oldukça kompakt bir alternatif sunar. Bu önerme temel olarak kirişlerin geometrik ve mekanik oranlarına dayanmaktadır. Önermenin doğruluğu makale boyunca, analiz yaklaşırma yönteminin yama yüklemeye tabi tutulan kirişlerin nihai yük kapasitesi için tatmin edici bir tahmin sağladığını göstermekle belirtilmiştir.

**Prado, N. I., Carrillo, J., Ospina, G. A., & Ramirez-Amaya, D. (2018).** [12] tarafından yapılan çalışma yanal burulmalı burkulma etkisi altındaki uzunlamasına berkitmeli I-profil çelik kirişlerin deneysel olarak değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Uzunlamasına berkitmesi olan ve olmayan otuz üç IPE-140 çelik kiriş, uzunlukları 0.69 ila 6.0 m arasındaki yanal desteği olmayan basit mesnet koşulları altında test edilmiştir. Berkitme aralıkları, kesit derinliğinin üç katı 0.42 m olarak uygulanmıştır. Çalışmada kirişlerin yapısal davranışları, eğilme kapasiteleri, basınç flanşının yanal yer değiştirmesi ve göçme dönüş açısı bakımından tartışılmaktadır.



Şekil 1.21. Test edilen uzunlamasına berkitmeli kiriş şeması ve görüntüsü [12]



Şekil 1.22. Çalışmadaki test kurulumu görüntüsü ve şeması [12]

Sonuçlar, uzunlamasına berkitmelerin kullanımının berkitmesiz numunelere kıyasla eğilme kapasitesini %82'ye kadar çıkardığını, basınç flanşının yanal yer değiştirmesini ve göçme dönüş açısını, sırasıyla % 72 ve 90'a kadar azalttığını göstermiştir. Bu araştırmanın deneysel sonuçlarına göre, özellikle, maliyetleri azaltmak için bir seçenek sunan daha yüksek atalet momenti olan (daha ağır elemanlar) I-Profil kirişler kullanmak yerine uzunlamasına berkitme kullanılması, eğilme momenti kapasitesini geliştirmek ve I-profil çelik kirişlerin yanal stabilitesini daha iyi sağlamak için iyi bir çözüm olabilir.

**Graciano, C. A. (2003).** [13], bu makalede yama yüklemeye tabi tutulan uzunlamasına berkitmeli kiriş gövdelerinin nihai mukavemetini belirlemek için bir metodoloji açıklamaktadır. Metodoloji: (a) berkitmenin bağıl konumu, (b) flanş-gövde kalınlığı oranı, ve (c) flanşın ve gövdenin akma dayanımlarının birbirine oranını izah eder.

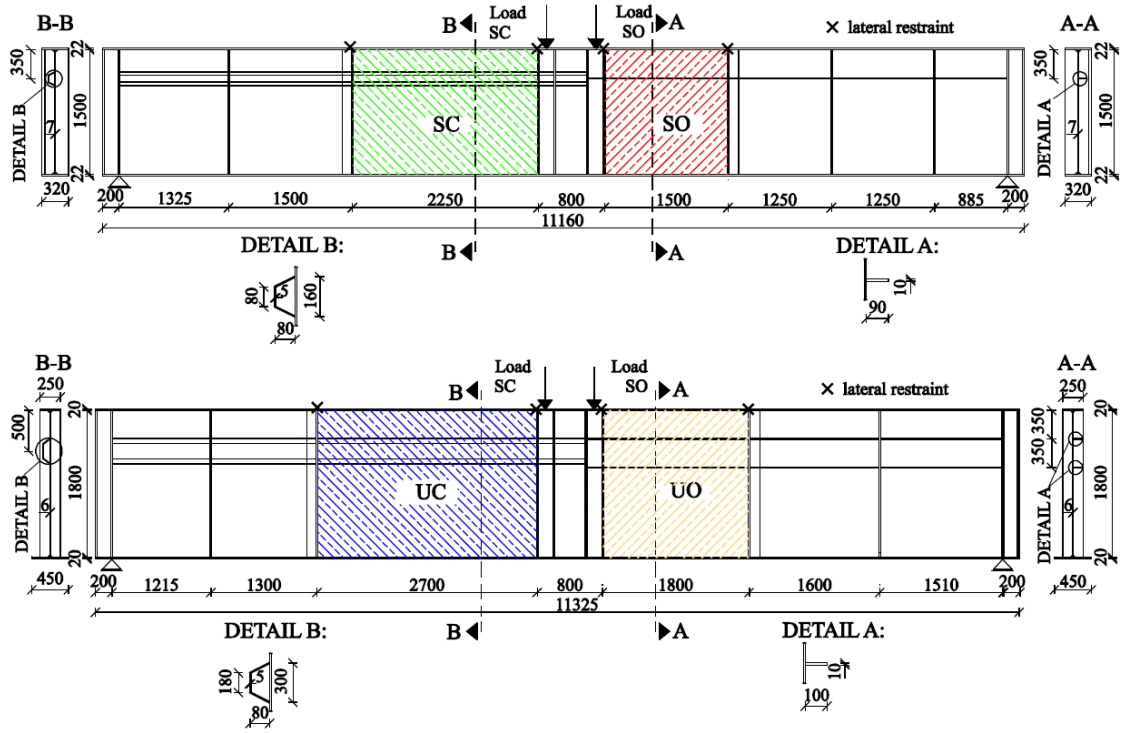
Berkitmenin pozisyonunun, yüklü flanşın boyutunun ve uzunlamasına berkitmeli kiriş gövdelerinin nihai yama yükleme mukavemetindeki flanş ve gövdenin akma mukavemeti arasındaki farkın etkisi bu makalede gösterilmiştir. Çalışmada gözlemlere dayanarak, uzunlamasına berkitmenin yama yüklemeye tabi tutulan ince kiriş gövdelerinin nihai mukavemeti üzerindeki etkisini ölçmek için bir regresyon analizi ile bir düzeltme faktörü geliştirilmiştir. Burada geliştirilen model, uzunlamasına berkitmeli

kiriş gövdelerinin nihai yama yükleme mukavemetinin teorik tahminleri, deneysel sonuçlarla iyi örtüşmektedir.

**Sinur, F., & Beg, D. (2013).** [14] tarafından yazılan bu makalenin amacı, yüksek eğilme momenti ve kesme kuvvetine maruz uzunlamasına ve enine berkitmeli kirişlerin davranışları hakkında genel bir fikir vermek ve EN 1993-1-5'teki mevcut mukavemet modelleriyle ve önerilen yeni modelin sonuçların karşılaştırmaktır. Doğrulanmış bir sayısal model temelinde, kapsamlı bir sayısal parametrik çalışma yapılmıştır.

Çalışmada toplamda 630 kiriş analiz edilmiş ve sonuçlar mukavemet modellerinin güvenilirlik analizleri için kullanılmıştır. Beş farklı mukavemet modeli göz önünde bulundurulmuş ve karşılık gelen kısmi güvenlik faktörleri belirlenmiştir. Mukavemet modelleri: EN 1993-1-5'den moment-kesme (M-V) etkileşim modeli, modifiye edilmiş M-V etkileşim modeli, büyük kesit eğilme mukavemet modeli ve ilk üç mukavemet modelinin kombinasyonunu içeren iki ek mukavemet modeli. M – V etkileşiminin, kısmi güvenlik faktörü 1.1 alınarak EN 1993-1-5 M – V etkileşim mukavemet modeli veya sadece kısmi güvenlik faktörü 1.1 olarak büyük kesitin eğilme mukavemet kontrolü kullanılarak ele alınabileceği gösterilmiştir.

**Sinur, F., & Beg, D. (2013).** [15] tarafından yapılan çalışmada, yüksek eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileşimine maruz kalan enine ve boyuna berkitmeli plaka kirişlerinde dört uzunlamasına doğrultuda gövde, basınç bölgesinde konumlandırılmış açık veya kapalı berkitmelerle güçlendirilmiştir tam ölçekli testin sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Deneysel çalışmada test numuneleri. Geometrik kusur ve artık gerilmeler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Deneysel sonuçlar sayısal modelin doğrulanması için kullanılmıştır. Sonuçlar, EN 1993-1-5'te verilen azaltılmış gerilme yöntemi ve etkili genişlik yöntemi ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.23. Çalışmada test edilen kiriş kesitleri [15]

**White, D. W., & Barker, M. G. (2008).** [19], bu makalede enine berkitmeli çelik I-profil kirişlerin kesme mukavemeti için en iyi modellerden 12'sinin doğruluğunu değerlendirmektedir. Çalışmada inşaat mühendisliği pratiğinde iyi bilinen birçok model ve son zamanlarda önerilen diğer bazı modeller göz önünde bulundurulmuştur. Basler'in özgün araştırmalarında geliştirilen model hali-hazırda Amerikan pratiğinde tercih edilen bir yöntem olduğundan, makale, Basler'in modellerine göre alternatif modellerin yararları ve sınırlamaları üzerine odaklanmaktadır. 30 hibrit ve 11 yatay olarak kavisli I-profil kiriş içeren 129 deneysel kesme testinden elde edilen güncellenmiş bir veri seti kullanılarak çeşitli modeller tarafından yapılan tahminler üzerine istatistiksel analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Basler'in 2004'te AASHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnamelerinde ve 2005'te Yapısal Çelik Binalar için AISC şartnamesinde uygulanan modelinin biçiminde, enine berkitmeli I-profil çelik kirişlerin kesme mukavemeti hesaplanmasında en iyi doğruluk ve sadelik kombinasyonunu sağladığı sonucunu desteklemektedir.

## 2. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yüksek lisans tez çalışması kapsamında deneysel olarak çalışılan farklı tip ve aralıklarda berkitme levhaları kullanılan yapma I kesitli çelik kirişlerde ankastre mesnet koşulunda çift noktalı eğilme deneyleri başlıklar halinde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

#### 2.1. Deney Laboratuvarı ve Olanakları

Deneysel çalışmalar Erciyes Üniversitesi merkez kampüsünde bulunan Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı

Laboratuvar deney düzeneklerinin numunelerinin kurulumunun yapılabilmesi için altında 1.8m yüksekliğinde galeri boşluğu bulunan ve 50cm aralıklı 7cm çapında delikleri olan, 60 cm kalınlığında betonarme yükleme döşemesine sahiptir. Test düzenekleri ve deney numuneleri döşemede bulunan deliklere bulonlar, miller ile sabitlenir. Yükleme alanının ortasında L şeklinde bulunan, üzerinde yükün uygulanacağı krikoların, test düzeneklerinin sabitlendiği 50cm aralıklarla 7cm çaplı delikler bırakılmış olan betonarme yükleme duvarı mevcuttur. Bu yükleme duvarı 7m yüksekliğinde 50cm kalınlığında inşa edilmiştir. Yükleme duvarı ve rijit platform aşağıda Şekil 2.2. de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yükleme duvarı ve rijit platform

Deprem Araştırma Laboratuvarında deneysel çalışmaların yürütülebilmesi için laboratuvarında bulunan çeşitli ekipman, alet ve düzenekler aşağıda liste halinde verilmiştir.

- Kren (15ton kapasite-3 adet)
- Torna Tezgâhı
- Matkaplar, Sütunlu Matkap Tezgâhları, Manyetik Matkap
- Hırdavat ve el aletleri(tornavida setleri, çekiç, testere vb.)
- Farklı boylarda taşıma halatları, mapalar, kancalar
- Beton kalıp malzemeleri(teleskobik direkler, plywood plakalar, keresteler), beton mikseri
- Beton Presi (200ton kapasite-1adet)
- Donatı Çekme Presi (60ton kapasite-1adet)

- Kaynak Makineleri(Elektrot, Gazaltı)
- Veri Toplayıcı (Data Logger) kutuları
- LVDT'ler(Linear Variable Differential Transformers)
- Lineer Potansiyometrik Cetveller
- İpli Potansiyometreler
- Veri Transfer Kabloları
- Metreler, Lazer Ölçüm ve Hizalama Cihazları, Tartılar
- Yazılımlar (CODA, TESTLAB)
- Bilgisayarlar,Yazıcılar
- Yük Hücreleri(Load cells)(20t-100t)
- Hidrolik Silindirler
- Hidrolik Kriko (Motorlu)
- Hidrolik Krikolar (Manuel)
- Actuator
- Transpaletler
- Şerit Testere Tezgâhları
- İş sağlığı ve Güvenliği Ekipmanları

## 2.2. Test Kirişlerinin Tasarımı ve Üretimi

Bu tez çalışması kapsamında I profil kesitine sahip yapma kirişlerin flanşları arasına kaynaklanan berkitme levhalarının kirişlerin eğilme dayanımına katkısı farklı parametreler denenerek araştırılmıştır.

Yapma çelik kiriş imalatında kullanılacak çelik malzeme sınıfı TS EN 10025-2 standardına göre karakteristik akma gerilmesi  $235 \text{ N/mm}^2$ , karakteristik çekme dayanımı  $360 \text{ N/mm}^2$  olan S235 yapısal çelik sınıfı olarak belirlenmiştir.

Yapma çelik kiriş tasarımı, 2016 yılında yürürlüğe giren 2018 yılında revize edilen Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmeliğine göre yapılmıştır. Yönetmeliğin 5. bölümünde “Tasarımda Temel İlkeler” ana başlığı altında bulunan “5.4. Eleman Enkesit Özellikleri” kısmındaki esaslara göre kiriş enkesit

sınıfı “Kompakt Olmayan” olarak belirlenmiş ve kiriş boyutlandırılması buna göre yapılmıştır. Enkesit sınıfının belirlenmesi için yapılan hesap Tablo 3.1. de verilmiştir.

Toplam yedi adet tam ölçekli yapma çelik kiriş tasarlanmış olup Kayseri Organize sanayide özel bir atölyede imalatı yaptırılmıştır. Test kirişlerinin imalatında 4 mm ve 5 mm’lik hazır siyah sac plakalardan lazer kesim yöntemi ile parçalar kesilip soğutmalı argon gazaltı kaynağı kullanılarak tasarımlarına uygun şekilde kaynak işlemleri yaptırılmıştır. Tüm kirişlerin boyutları aynı olup berkitme levhalarının tipi ve berkitme levha aralıkları farklıdır. Kirişlerin uzunluğu 4100 mm, alt ve üst flanş genişlikleri 200 mm, flanş kalınlıkları 5 mm, gövde genişliği 400 mm ve gövde kalınlığı 4mm olarak yaptırılmıştır. Tüm kirişler uçlarından 300 mm mesafede mesnet bloklarının içerisine girmekte ve serbest açıklıkları 3500 mm olmaktadır. Tüm kirişler mesnetlere giren kısımlarında yükleme altında mesnet deformasyonunu sınırlı tutabilmek amacıyla 100 mm aralıkla kirişin her iki yönünde 5 mm kalınlığa sahip berkitmeler ile güçlendirilmiştir. Bir adet mesnetler arası açıklığında berkitme bulunmayan referans kiriş, üç adet açıklıkta berkitmeler arası 500 mm olan kiriş ve berkitmeler arası 250mm olan üç adet kiriş üretilmiştir. Flanşın tamamı ve gövdenin tamamını kapsayacak şekildeki güçlendirme levhalarına Tip 1 berkitme (F-W), flanşın yarısını gövdenin tamamını kapsayacak şekildeki güçlendirme levhalarına Tip 2 berkitme (F/2-W) ve flanşın tamamını gövdenin yarısını kapsayacak şekildeki güçlendirme levhalarına Tip 3 berkitme (F-W/2) olarak isimlendirilmiştir ve numuneler de Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 3.1. Yapma çelik kiriş kesit sınıfı tayini

<i>Başlık</i>			<i>Gövde</i>		
Genişlik/Kalınlık Oranı	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		Genişlik/Kalınlık Oranı	Genişlik/Kalınlık Oranı Sınır Değerleri	
$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$
$b/t_f$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	$h/t_w$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
20	11,09	20,95	100	109,69	166,29
Kompakt Olmayan Başlık Kesiti			Kompakt Gövde Kesiti		

**Yapma Kiriş Kesiti Kompakt Olmayan Olarak Tayin Edilmiştir.**



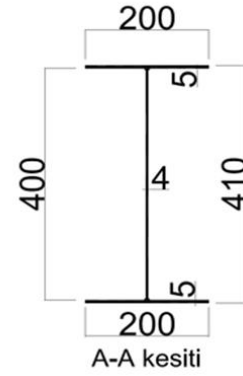
**Kesit Özellikleri:**

$$d = 410 \text{ mm} \quad A = 3600 \text{ mm}^2$$

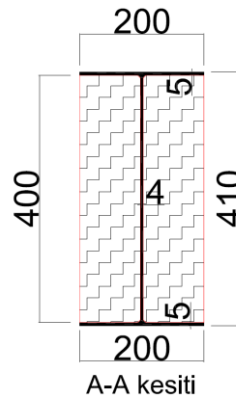
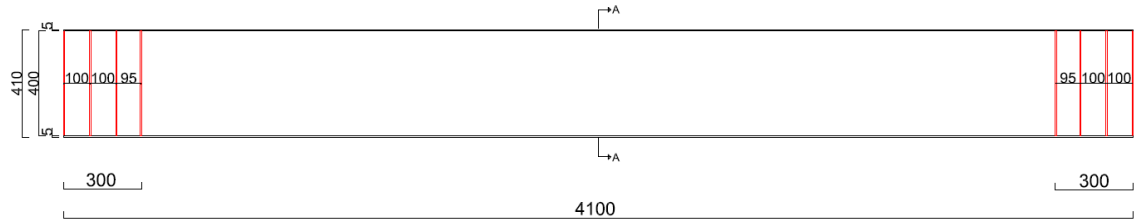
$$b_f = 200 \text{ mm} \quad I_y = 103,35 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$t_f = 5 \text{ mm} \quad I_z = 6,67 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

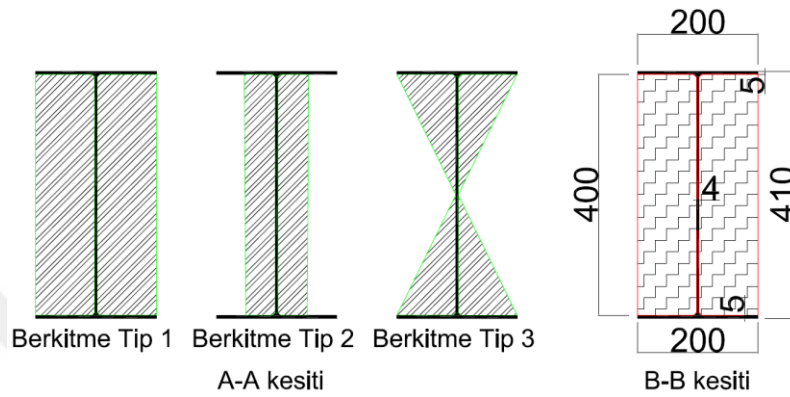
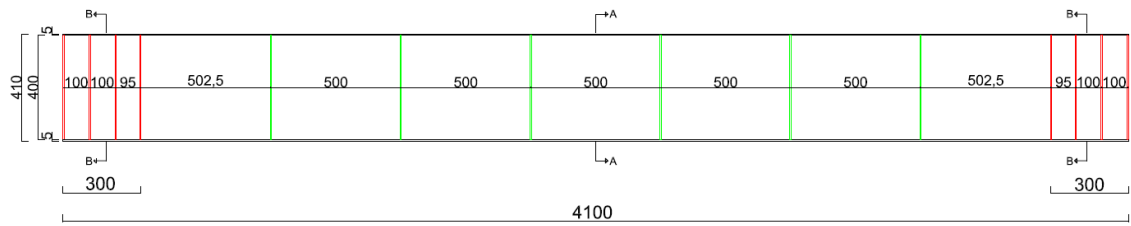
$$t_w = 4 \text{ mm}$$



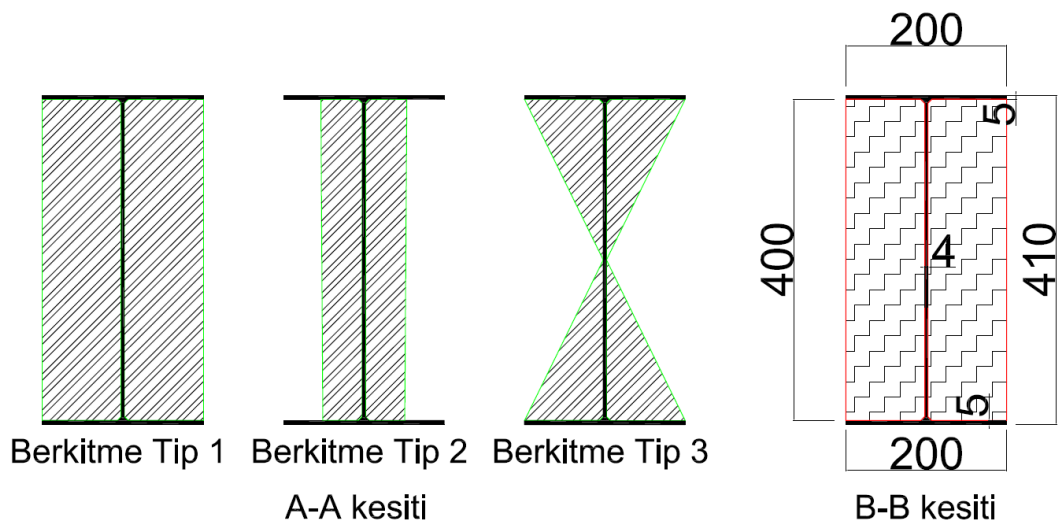
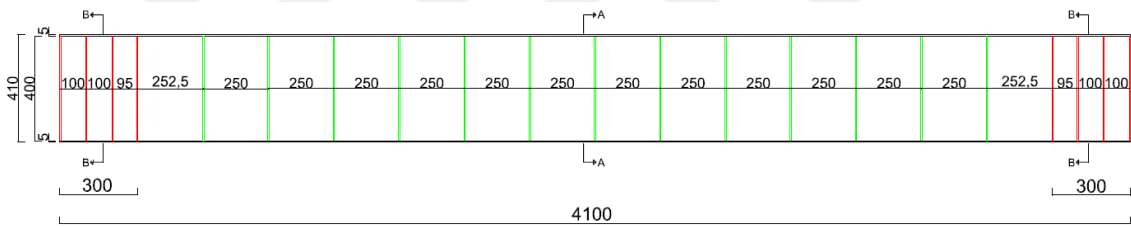
Şekil 2.3. Güçlendirilmemiş yapma çelik kiriş kesit görünüşleri ve kesit özellikleri



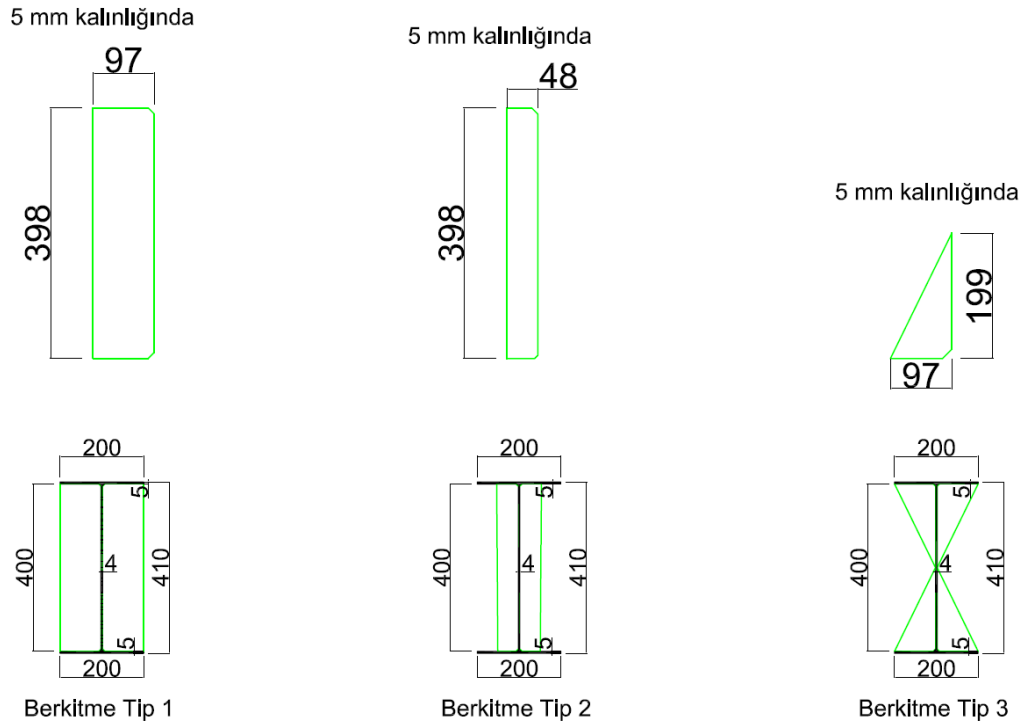
Şekil 2.4. Referans kiriş kesit görünüşleri



Şekil 2.5. 500mm berkitme aralıklı kirişlerin kesit görünüşleri



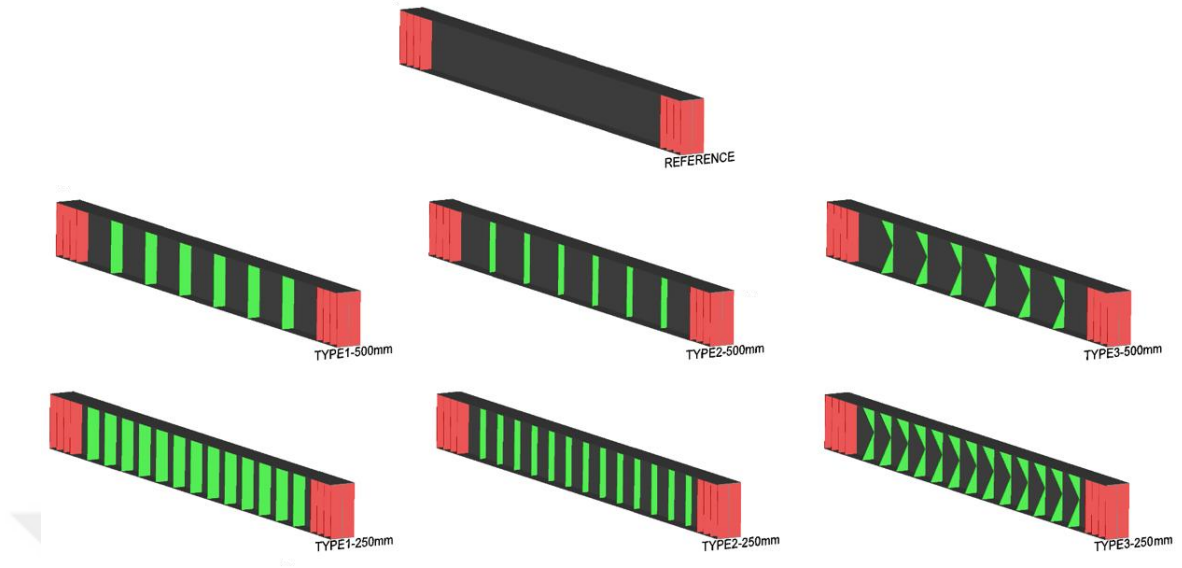
Şekil 2.6. 250mm berkitme aralıklı kirişlerin kesit görünüşleri



Şekil 2.7. Berkitme levha boyutları

Tablo 3.2. Test kirişleri çizelgesi

Test Kirişi	Kiriş Açıklığı(mm)	Berkitme Aralığı(mm)	Berkitme Tipi	Kiriş Enkesiti
Referans	3500	-	-	
Tip1-500	3500	500	F-W	
Tip2-500	3500	500	F/2-W	
Tip3-500	3500	500	F-W/2	
Tip1-250	3500	250	F-W	
Tip2-250	3500	250	F/2-W	
Tip3-250	3500	250	F-W/2	



Şekil 2.8. Test numuneleri üç boyutlu çizimleri



Şekil 2.9. Test Numuneleri

### 2.3. Deney Düzenegi

Yapılan deneysel çalışmada kiriş numuneler her iki ucundan ankastre olacak şekilde mesnetlenmiştir. Bu ankastre mesnet için laboratuvarda bulunan çelik düzenekler kullanılmıştır(Şekil 2.10.). Bu çelik düzenekler test kirişi açıklığı 350 cm kalacak şekilde rijit platforma miller ile sabitlenmiştir. Her bir test kirişi deneye hazırlık aşamasında bu çelik düzeneklerin içine 30 cm girecek şekilde yerleştirilmiş olup yanlarında ve üstlerinde kalan boşluklar çelik plakalarla doldurulmuş kirişlerin her iki ucundan ankastre bir şekilde mesnetlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

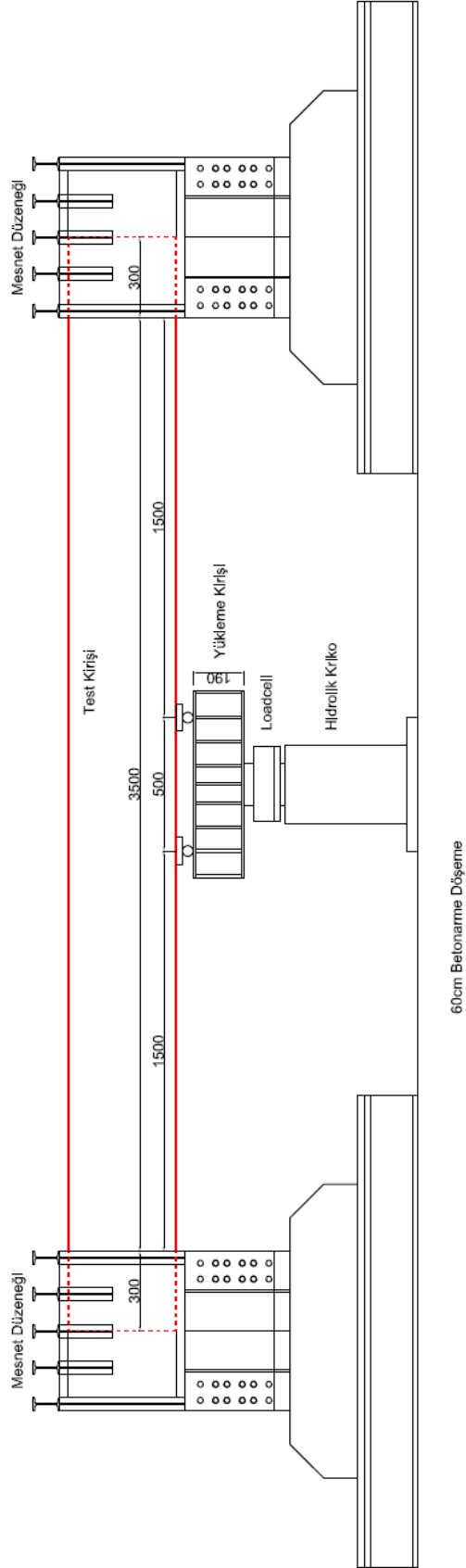


Şekil 2.10. Kiriş ankastre mesnetleri için çelik düzenekler

Deney düzeneğinde yükleme işlemi kiriş ağırlığının verilen yüklere nispeten çok düşük olması sebebiyle ve deney kurulumunu kolaylaştırmak amacıyla kiriş altından yapılmıştır. Deneylerde yükleme kiriş açıklık ortasından 25cm uzaklıktaki noktalardan çift noktalı olarak verilmiş olup deneyde yükleme prosedürü artımsal yükleme olarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme işlemi için 100 ton kapasiteli silindirik hidrolik kriko ve manuel el pompası kullanılmıştır. Hidrolik kriko üzerinde yeterince rijitliği olan yükleme kirişi ve onun üzerine kaynaklı silindir çelik parçalar bulunmaktadır. Silindir çelik plakalar üzerinde de kirişe yükü aktaracak son parçalar olan 10x25cm boyutlarında 2cm kalınlığında deney için yeterli rijitliğe sahip çelik levhalar kullanılmıştır(Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. Yükleme kirişi, loadcell, hidrolik kriko düzeneği ve manuel el pompası



Şekil 2.11. Deney düzeneği görünümü

## 2.4. Deney Ölçüm Düzenekleri

Deneyisel çalışmalarda elde edilmek istenen yük ve deplasman değerlerini belirlemek için çeşitli ölçüm aletleri kullanılmıştır.

### 2.4.1. Yük Hücresi

Deney esnasında yapılan yüklemenin belirlenebilmesi için 100ton kapasiteli yük hücresi (loadcell) kullanılmıştır (Şekil 2.14.).



Şekil 2.12. Yük hücresi(Loadcell)

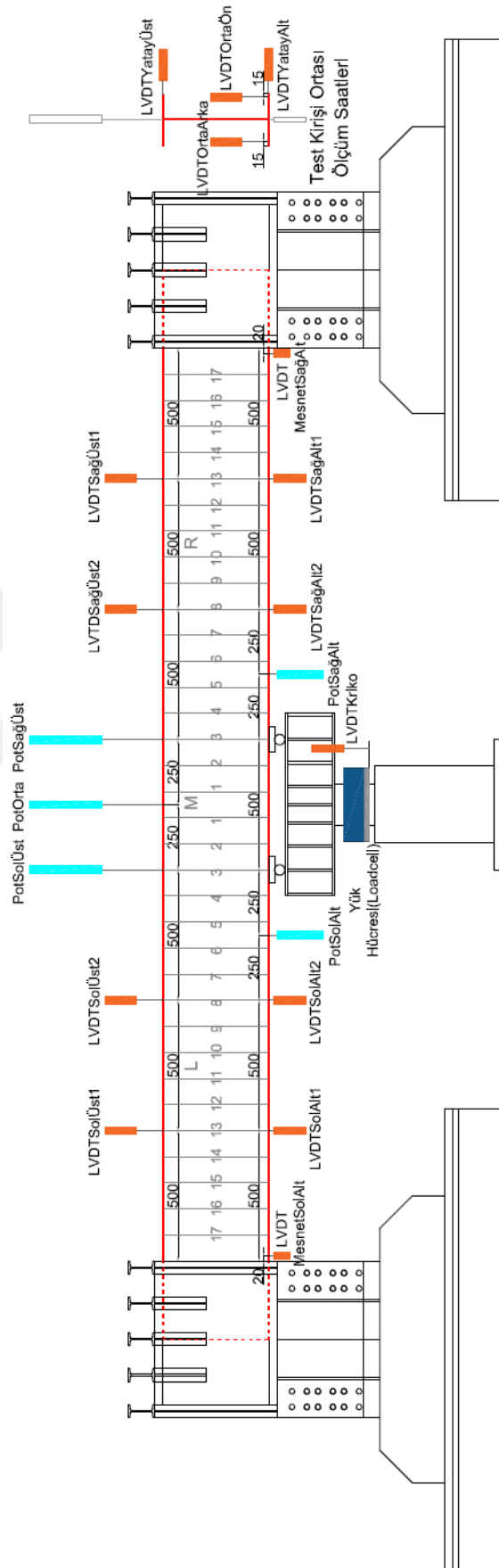
### 2.4.2. Deplasman Ölçüm Cihazları

Kiriş üzerinde 19 adet hidrolik krikoda 1 adet olmak üzere yüklemeye bağlı olarak deney boyunca gerçekleşen yer değiştirmeleri anlık olarak ölçmek için ise linear variable differential transformer (LVDT) ve lineer potansiyometre olarak isimlendirilen toplam 20 adet elektronik cetvel kullanılmıştır. Deneylerde Şekil 2.17. de gösterildiği gibi 2 tanesi 50 mm kapasiteli 13 tanesi 100 mm kapasiteli olmak üzere toplamda 15 adet LVDT ve 3 tanesi 300 mm kapasiteli 2 tanesi 150 mm kapasiteli toplam 5 adet Lineer Potansiyometre kullanılmıştır. Kiriş altında ve üstünde bulunan elektronik cetveller yüklemeler sonucu flanşlardaki olası düzlem dışı dönmelerin ölçümler üzerindeki etkisini en aza indirmek amacıyla flanşların tam orta hattında konumlandırılmıştır. Deney sırasında kirişte meydana gelen yanal hareketi ölçebilmek amacıyla alt flanş ve üst flanş ortalarına da birer LVDT bağlanmıştır. Fakat kirişte oluşan büyük deformasyonlara bağlı olarak bu LVDT'lerden deney sırasında ileri deplasman seviyelerinde ölçüm saatlerinin kiriş deformasyonu ile bozulmasına bağlı olarak ya hiç ölçüm alınamamış ya da doğru ölçüm alınamamıştır.



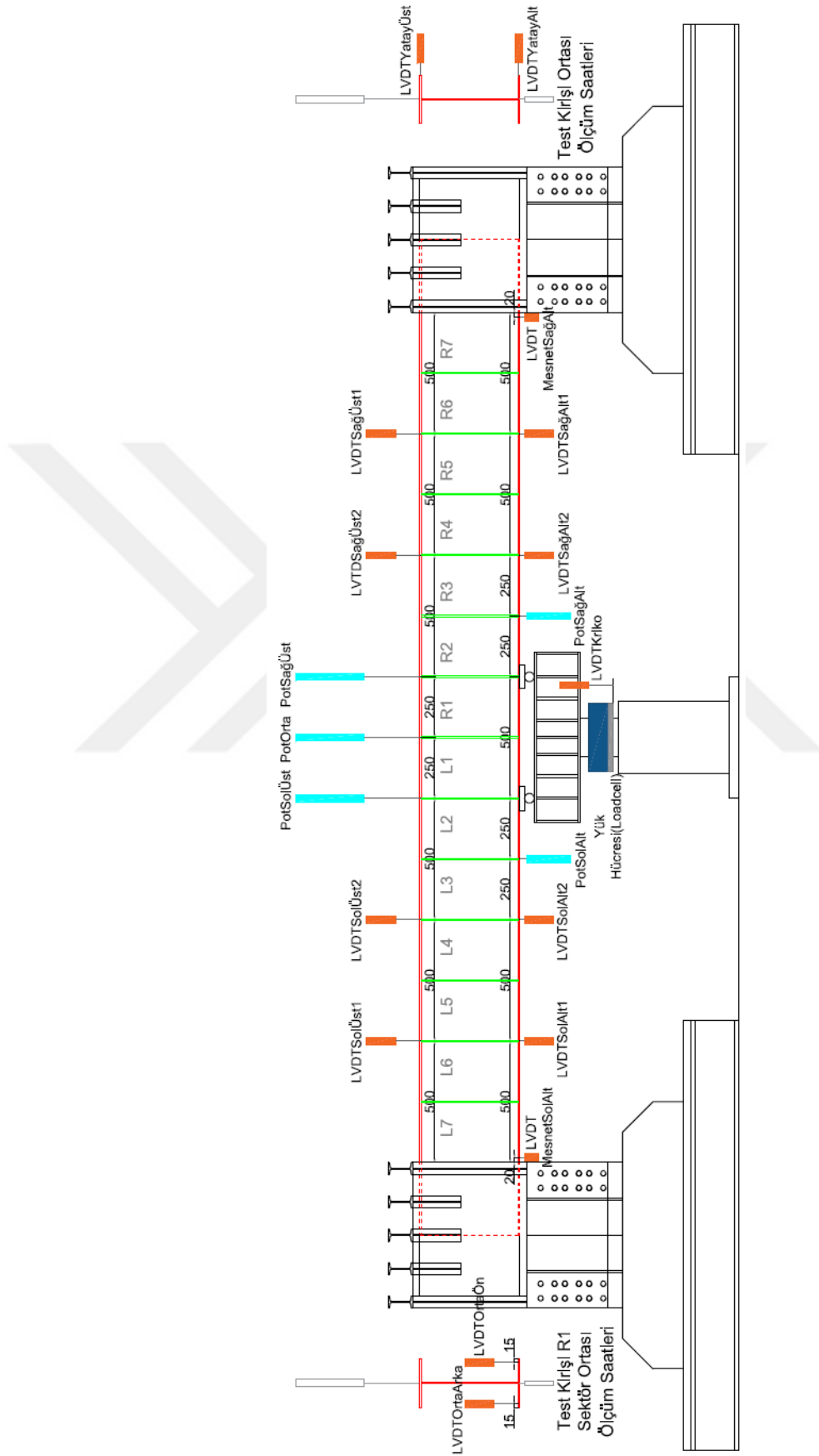
Şekil 2.13. LVDT ve Potansiyometrik cetvel





Şekil 2.14. Referans kiriş ölçüm aletlerinin yerleşimi





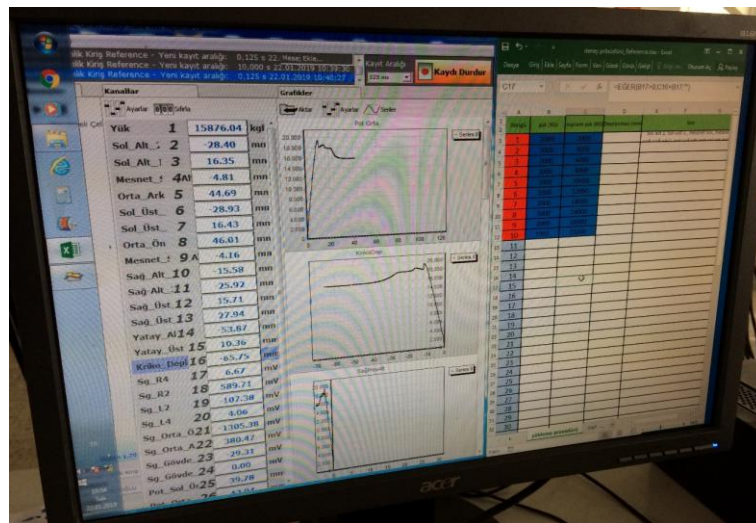
Şekil 2.16. 250 mm berkitme aralıklı kirişlerde ölçüm aletlerinin yerleşimi

### 2.4.3. Veri Toplama Cihazları

Deneyle esnasında ölçüm aletlerinde gelen verileri toplamak ve bilgisayara aktarmak için TESTBOX1001 yarı statik veri toplama cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar vasıtasıyla bilgisayara aktarılan veriler TestLAB Basic paket programı ile bilgisayar ortamında işlenmiştir (Şekil 2.20.).



Şekil 2.17. Yarı Statik Veri Toplama Cihazları



Şekil 2.18. TestLAB Basic programı ekran görüntüsü

#### 2.4.4. Gerinim Pulu (Strain Gauges)

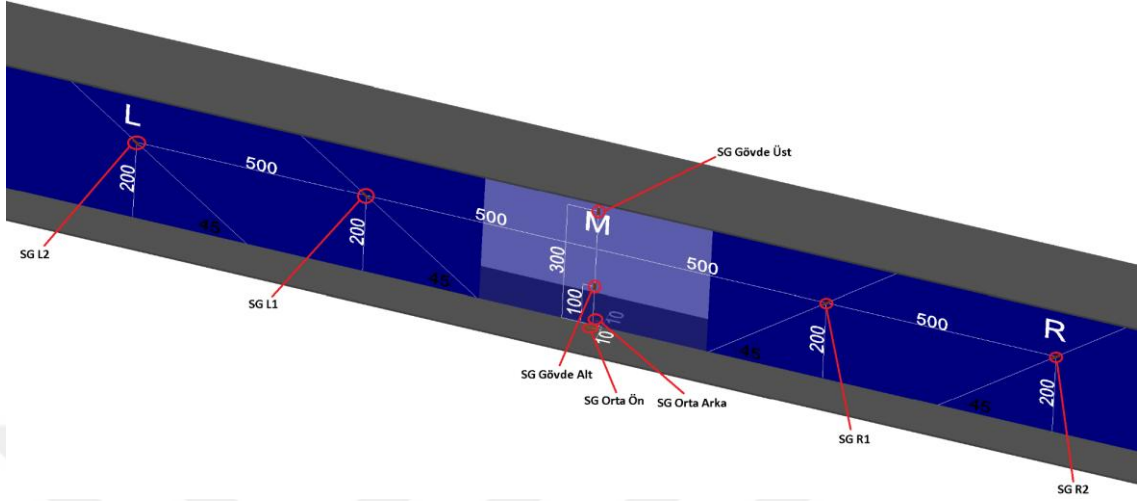
Gerinim ölçerler (Strain Gauges) direnç değişiminden yararlanarak şekil değişimini Milivolt (mV) biriminde elektriksel bir sinyal olarak veren ölçüm ekipmanlarıdır. Gerinim ölçerler (Strain Gauges) ile çeyrek köprü devresi oluşturulmuştur ve 20000 adet (+10000 mV/-10000 mV) aralığında veri alınabilmektedir.



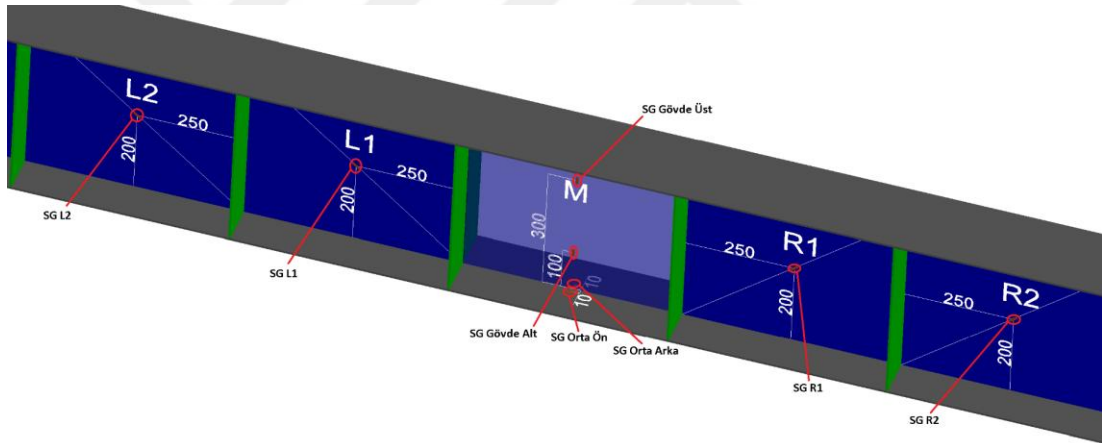
Şekil 2.19. Gerinim pulu (Strain Gauge)

Deneysel çalışmalarda 5mm'lik FLAB-5-11 tipi gerinim ölçerler kullanılmıştır. Her bir test kirişine 8 adet gerinim pulu yapıştırılmıştır. Test kirişi gövdesinde 6 adet, yüklemenin yapıldığı alt flanşta da 2 gerinim pulu bulunmaktadır. Referans ve 500 mm berkitme aralığı bulunan numunelerde kiriş sağında ve solunda kiriş ortasından 500 mm ve 1000 mm uzaklıkta olmak üzere gövdeye ortalı şekilde konumlandırılan 4 adet gerinim ölçer bulunmaktadır. Bu pullar referans numunede yatayla  $45^\circ$  açı ile 500 mm berkitme aralığı bulunan kirişlerde de berkitmelerin oluşturduğu dikdörtgen alanın köşegen hattının açısı ile ortalı olarak yerleştirilmiştir. 250 mm berkitme aralığı bulunan kirişlerde ise bu pullar kiriş sağında ve solunda kiriş ortasından 375 mm ve 875 mm uzaklıkta olacak şekilde berkitmelerin oluşturduğu dikdörtgen alanın köşegen hattının açısı ile ortalı olarak konumlandırılmıştır. Referans ve 500 mm berkitme aralıklı numunelerin gövde ortasında altta ve üstte olacak şekilde 2 adet gerinim ölçer bulunmaktadır. Bu kiriş ortasındaki pullar 250 mm berkitme aralıklı numunelerde kiriş ortasında berkitme bulunmasından dolayı R1 sektörü ortasındadır. Alt flanş üzerinde bulunan pullar ise referans ve 500mm berkitme aralıklı kirişlerde tam kiriş ortasında, her iki kiriş tarafında gövdeden 1cm uzaklıkta olmak üzere 2 adettir. Bu pullar 250mm berkitme aralıklı numunelerde ise ortada berkitme levhası bulunmasından ötürü R1

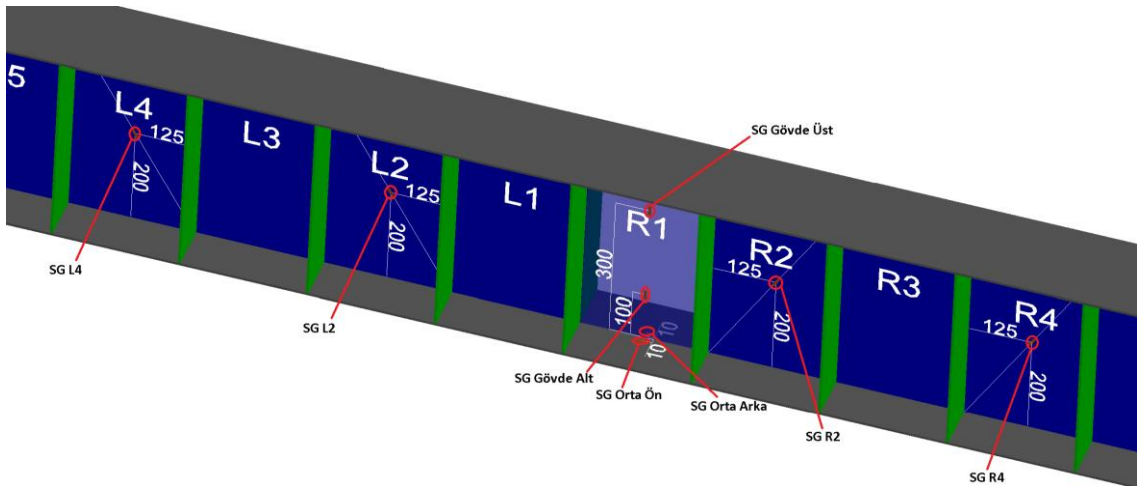
sektörü ortasında aynı şekilde konumlandırılmıştır. Deneysel numuneleri üzerinde gerinim ölçerlerin kullanım yerleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 2.20. Referans kiriş için gerinim ölçerlerin yerleşimi



Şekil 2.21. 500 mm berkitme aralıklı kirişler için gerinim ölçerlerin yerleşimi

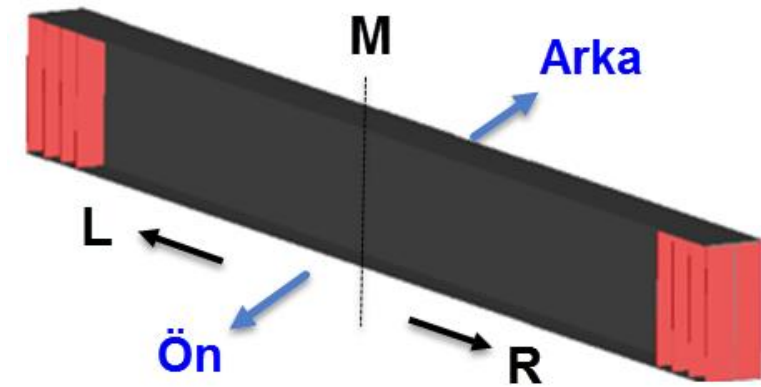


Şekil 2.22. 250 mm berkitme aralıklı kirişler için gerinim ölçerlerin yerleşimi

## 2.5. Deneye Hazırlık Aşaması

Test kirişlerinin deneye hazırlık aşamasında deney sırasındaki deformasyonların daha fark edilebilir olmasını sağlamak ve deformasyonların yerini tayin etmek amaçları ile numune üzerine 10cm aralıklı karelaj çizilmiştir. Daha sonra test numuneleri sektörlere ayrılmış ve bu sektörlere isimlendirme işlemi yapılmıştır. Kirişin bir tarafı front (ön) diğer yüzü back (arka) olarak belirlenmiştir. Kirişin ön tarafından bakılarak her iki kiriş yüzünde de orta kısmın solunda kalan kısım L (left), sağında kalan kısım R (right) olarak isimlendirilmiştir.

Referans numunede kiriş ortasının 5 cm sağından ve solundan başlayan 10 cm aralıklı düşey çizgiler 1den başlanarak 17'ye kadar numaralandırılmıştır. 250 mm berkitme aralıklı kirişlerde berkitme aralarında kalan kısımlara solda L1'den L7'ye kadar sağda R1'den R7'ye kadar sektör isimleri verilmiştir. 500mm berkitme aralıklı kirişlerde ise ortada kalan berkitmeler arası sektöre M, soldaki sektörlere L1den L3e kadar sağdaki sektörlere R1den R3e kadar isimlendirme yapılmıştır.



Şekil 2.23. Numune ölçüm rotasyonu ve sektörler

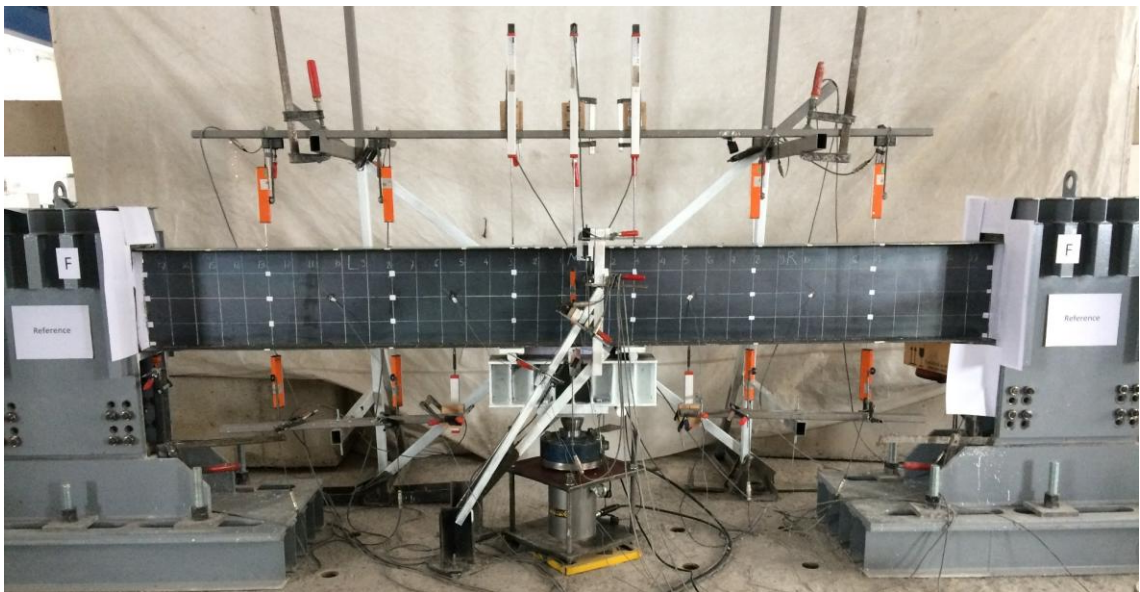
Karelaj ve isimlendirme işlemlerinden sonra numune mesnetlere 30 cm girecek şekilde yerleştirilip mesnetlerde kalan boşluklara çelik plakalar çakıldıktan sonra mesnet bulonları sıkılarak numune düzeneğe sabitlenmiştir. Sonraki aşamada gerinim ölçerlerin yerleri belirlenip yapıştırılacakları yüzeyler zımparalanmıştır. Sonra gerinim ölçer pulları yapıştırılacağı yüzeyler eter ile temizlenip pullara yeterli miktarda yapıştırıcı

sürüldükten sonra yerine ve doğrultusuna uygun bir şekilde yapıştırılmış ve veri toplama sistemine uygun kablolar aracılığıyla bağlanmıştır.



Şekil 2.24. Gerinim ölçer yapıştırılmış yüzey görüntüleri

Daha sonra LVDT ve Lineer Potansiyometreler ölçüm alınacak noktalara su terazisi ve gönyeler yardımıyla ile ölçüm noktasına dik olacak şekilde ayarlanarak veri toplama sistemine kablolar aracılığı ile bağlantıları yapılmıştır. Deney düzeneği ve ölçüm düzenekleri hazır olduktan sonra veri toplama sisteminin bağlı olduğu bilgisayarda testlab basic programı açıldıktan sonra her bir ölçüm aletinin önceden ayarlı bulunan kalibrasyonları seçilerek ve gerekli bilgiler programa girilerek deneye hazır hale gelinmiştir. Deney sırasında farklı açılardan kameralar ile görüntü kaydı alınmıştır.



Şekil 2.25. Hazırlanmış deney düzeneği

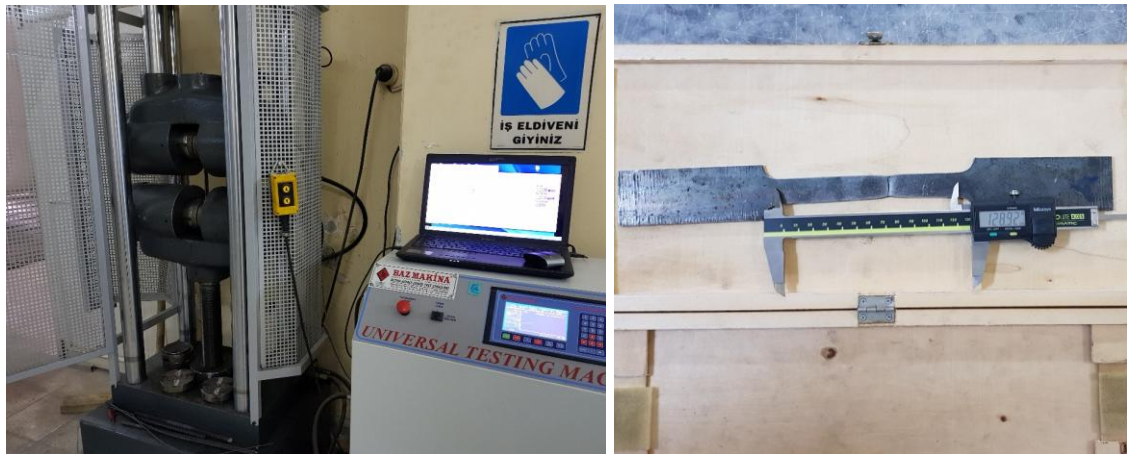


Şekil 2.26. Kiriş mesnet görüntüleri

## 2.6. Malzeme Özellikleri

Test kirişlerinin imalatında kullanılan 4mm ve 5mm çelik plakalardan TS EN ISO 6892-1'ye [16] uygun olarak alınan 6 adet çekme deneyi kuponu 60 ton kapasiteli çekme presinde çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Prete yükleme hızı 1 mm/dk sabit hızda olacak şekilde çekme yükü uygulanmıştır. Yapılan çekme deneyleri sonucunda malzemelerin akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.27. Malzeme çekme deneyi

Tablo 2.1. Çekme deneyi sonuçları

Çekme Numuneleri	Kupon Adedi	Ortalama Akma Dayanımı	Ortalama Çekme Dayanımı	Ortalama Uzama Oranı	Ortalama Elastisite Modülü
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>
Başlık Plakası(5 mm)	3	283,56	393,83	24,76	2,01×10 <sup>5</sup>
Gövde Plakası(4 mm)	3	319,49	435,03	26,65	2,02×10 <sup>5</sup>

## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE ANALİZİ

#### 3.1. Giriş

Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışma aşamasında 7 adet numune test edilmiştir. Bir önceki bölümde bahsedilen deney düzeneği, ölçüm ekipmanları kullanılarak her bir test numunesi için yükleme plakalarından artımsal olarak 100 mm deplasman uygulanmış olup eğilme yükü, dikey ve yatay yer değiştirmeler ve gerinim verileri elde edilmiştir.

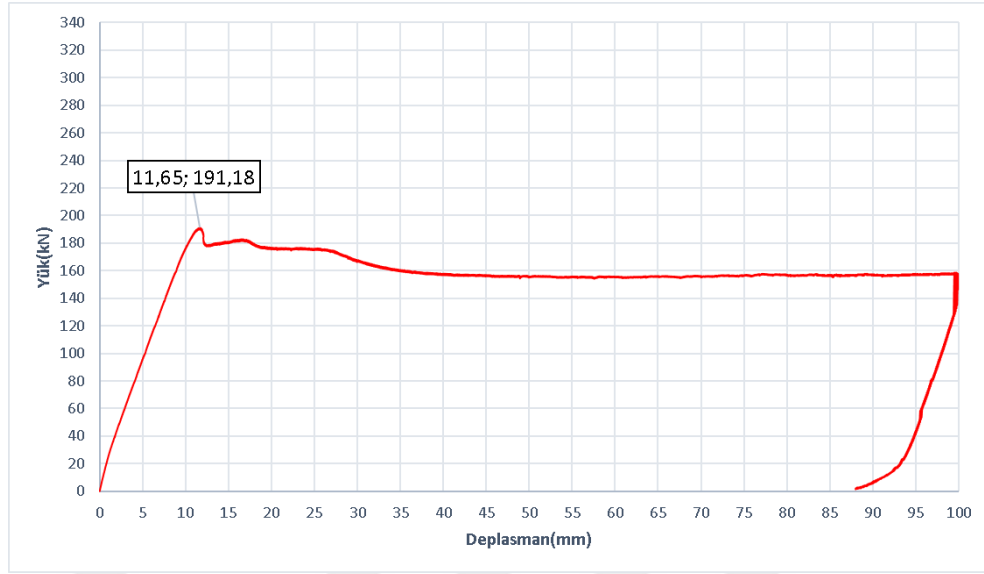
Bu bölümde her bir numune için elde edilen test bulguları ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her bir numune için yük-sehim davranışı, nihai yük taşıma kapasiteleri, moment eğrilik ilişkisi, sehim analizi, yatay deplasman durumu, deformasyon durumu, göçme modu, enerji yutma kapasiteleri, birim deformasyonlar(strain gauge verileri) incelenmiş ve yapısal davranışlar ortaya konmaya çalışılmıştır.

Yön ve lokasyon tariflerinde, kirişin bir yüzüne front(ön) diğer yüzüne back(arka), front yönünden bakılarak her iki yüz için kiriş ortasının sol tarafı L(left) sağ tarafı R(right), kirişin yükleme yapılan flanş için alt başlık, diğer flanş için üst başlık olarak isimlendirme yapılmış olup berkitmeler arası bölgelere ortada M, solda L1,L2... , sağda R1,R2... olarak sektör isimleri verilmiştir.

#### 3.2. Referans Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

##### 3.2.1. Yük-Sehim İlişkisi

Referans test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd t ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.1. de verilmiştir.

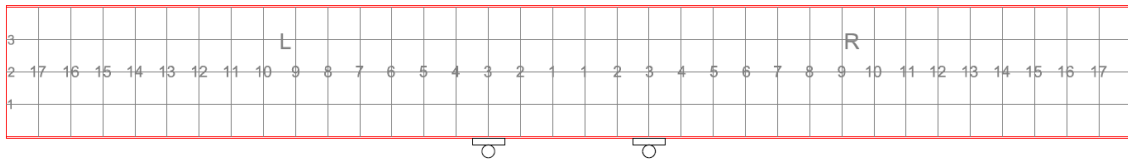


Şekil 3.1. Referans numune açıklık ortası yük-sehim grafiği

Referans kirişinde yapılan deneyde kiriş açıklık ortası yük-sehim grafiğine bakıldığında akma noktası yükü 191,2kN seviyesindedir. Eğri bu aşamaya kadar lineer davranış göstermiş olup elastik bölgede kalmıştır. Akma noktası yüküne karşılık gelen deplasman 11,7mm seviyesindedir. Kiriş akma noktasında maksimum kapasitesine ulaşmıştır. Akma noktasından sonra deplasman artışıyla beraber yükte hafif düzeyde değişimler olmasına rağmen genel itibariyle azalma gerçekleşmiştir. 40mm deplasman seviyesinden sonra yük 155kN mertebesine inmiş ve deney sonu olan 100mm deplasman seviyesine kadar bu seviyelerde sabit olarak devam etmiştir. 100mm deplasman seviyesine ulaşıldığında yüklemeye son verilmiş ve yük boşaltılmıştır.

### 3.2.2. Deformasyon Durumu

Referans kiriş numunesi için deformasyon lokasyonlarının belirtilmesi amacıyla yapılan karelaj çizimi ve isimlendirmesi şekildeki gibidir.



Şekil 3.2. Referans kiriş karelaj ve sektör isimlendirme çizimi

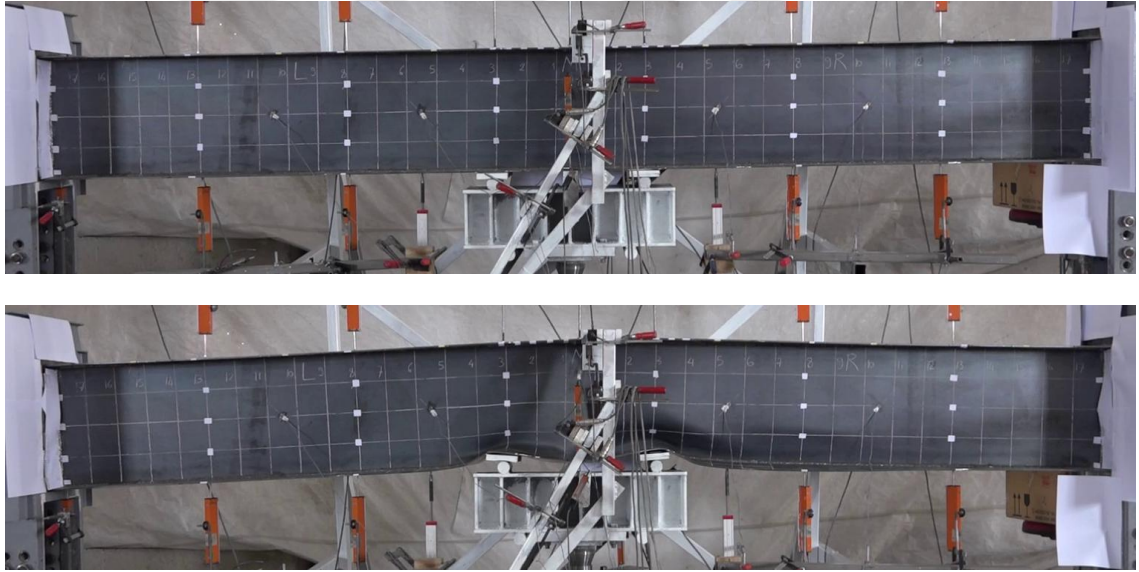
Deney sırasında akma noktasında kadar belirgin deformasyon gözlenmedi. Akma noktasını geçtikten hemen sonra ilk belirgin deformasyon basınç başlığında gözlemlendi. Gövdede R2 ve L2 hattında aşağıdan itibaren birinci çizgide back yönlü deformasyon başlangıcı gözlemlendi. 180,4 kN yük, 1,2 cm deplasman seviyesinde basınç başlığında deformasyon seviyesi arttı. Gövdede R3, L3 hatlarında back yönlü buruşma gözlemlendi. 1,3 cm deplasman seviyesinde gövdede M bölgesinde kirişin çekme başlığı altından 45 derece açıyla her iki yönde basınç başlığına doğru ilerleyen buruşma hattı gözlemlendi. İlâveten R3 alt çizgi hattında gövde buruşması gözlemlendi. Deplasmandaki artışa bağlı olarak alt başlık ve gövdede oluşan deformasyonlar ilerledi ve üst başlıkta front yönlü ötelenme gözlemlendi. Deney sırasında oluşan belirgin deformasyonlar R6-L6 hatları arasında kalmıştır. Yük artışına bağlı olarak mesnetlerde alt flanşlarda kayma gözlemlenmiş olup üst flanşlarda kayma gerçekleşmemiştir.



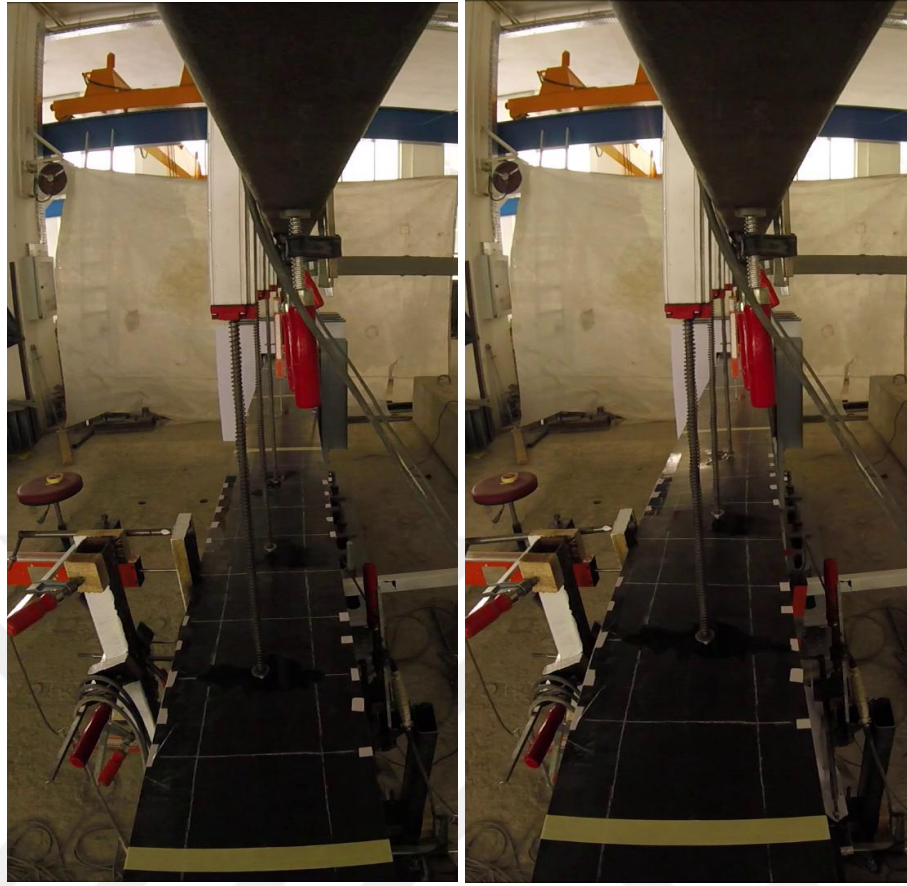
Şekil 3.3. Referans kiriş deney öncesi fotoğrafları



Şekil 3.4. Referans kiriş deney öncesi ve sonrası (arka tarafı)



Şekil 3.5. Referans kiriş deney öncesi ve sonrası (ön tarafı)



Şekil 3.6. Referans kiriş deney öncesi ve sonu (üst tarafı)



Şekil 3.7. Referans kiriş deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



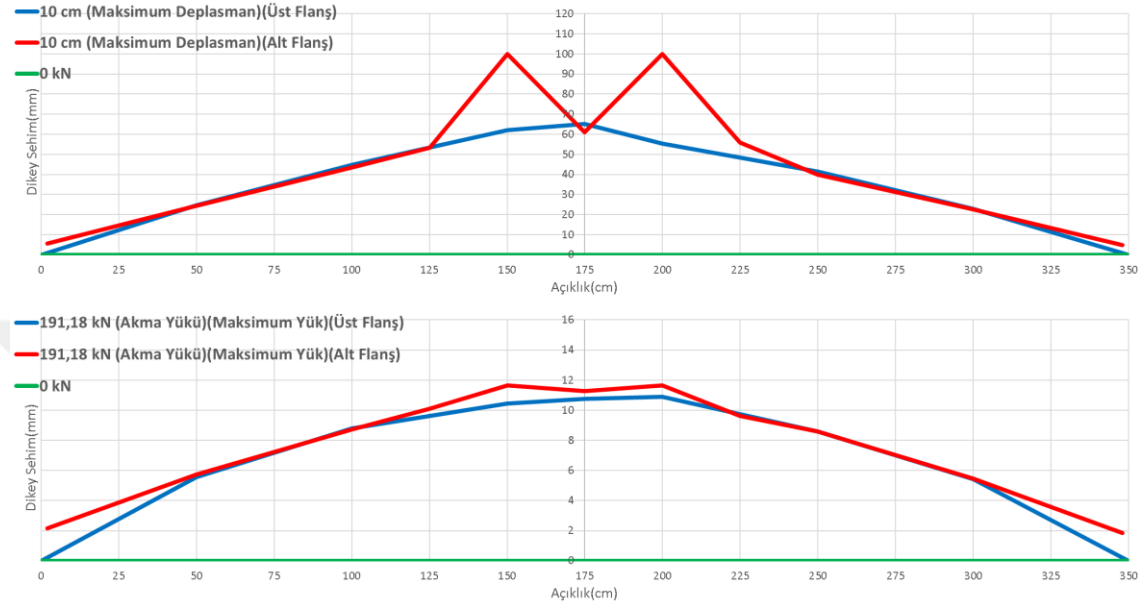
Şekil 3.8. Referans kiriş deney sonrası deformasyon görüntüsü (arka tarafı)

Deney sonrası test kirişinde yapılan gözlem ve ölçümlerde, açıklıkta belirgin deformasyonlar L6-R6 hatları arasında oluşmuştur. Alt flanşta maksimum deformasyonlar yüklem plakalarının olduğu bölgelerde oluşmuştur. Sol yüklem plakasının üzerindeki alt flanşta 3,5-4cm mertebelerinde yukarı yönlü deformasyon gözlemlenmiştir.(front maks. 3,5cm, back maks. 4cm). Sağ yüklem plakası üzerindeki alt flanşta 2-4cm mertebelerinde yukarı yönlü deformasyon gözlemlenmiştir.(front maks. 4cm,back maks. 2cm). Gövdede buruşmalar alt bölgede back yönlü gerçekleşmiştir. Gövdede maksimum deformasyonlar yüklem plakalarının olduğu hatlarda gerçekleşti.

Gövde panelinde L3 hattında alt başlığa yakın kısımda maksimum 5-5,5 cm mertebesinde back yönlü buruşma gözlemlenmiştir. Simetriği olan R3 hattında ise buruşma maksimum 5,5-6cm mertebesinde alt flanşa yakın kısımda back yönlü olarak gözlemlenmiştir. Gövde panelinde oluşan bu büyük ölçekli deformasyonlar haricinde M hattının solundan alt flanşa doğru iki taraflı yaklaşık 45 derece açıyla oluşan gövde deformasyonu gözlemlenmiştir. Ayrıca L1-4 bölgesinde back yönlü R1-4 bölgesinde front yönlü gövde deformasyonu gerçekleşmiştir. Üst flanşta front yönü yönlü yatay hareket gözlemlenmiş olup belirgin yatay dönmeler oluşmamıştır. Yatay üst lvd'te okumasına bakıldığında üst flanştaki ötelenme hareketi maksimum 1,5 cm mertebesinde dir.

### 3.2.3. Sehim Analizi

Referans kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.9. da gösterilmiştir.



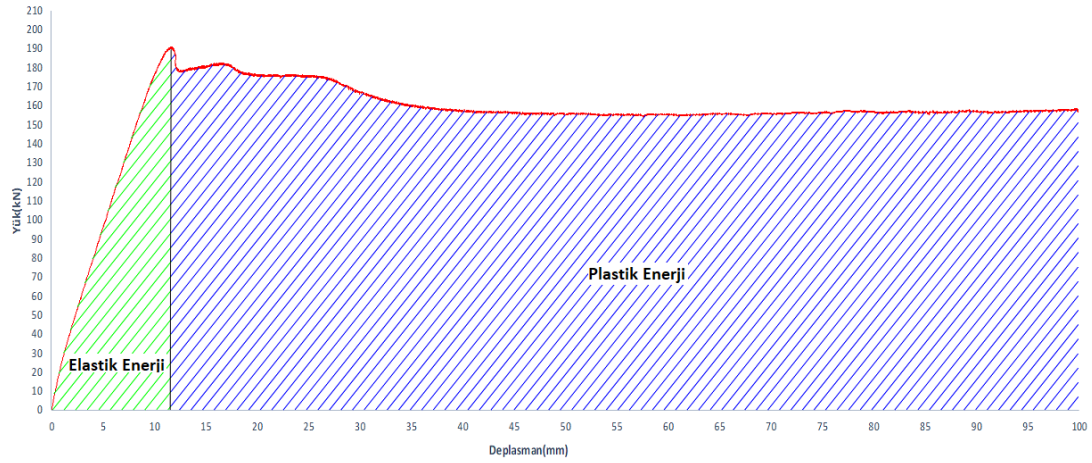
Şekil 3.9. Referans kiriş numunesi sehim grafikleri

Grafiklere bakıldığında, akma yükü aynı zamanda maksimum yük kapasitesi olan 191,18 kN yük değerindeki ve maksimum deplasman olan 10 cm seviyesindeki alt ve üst flanşlardan test sırasında ölçülen dikey deplasman değerleri görülmektedir. Eğrinin alt flanş ve üst flanş için farklı olmasının ve simetrik olmamasının sebepleri kirişte yüklemeye bağlı oluşan gövde buruşmaları, başlık ezilmeleri ve basınç başlığında oluşan lokal burkulmalardır. Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında alt flanşta bulunan kriko saatinden 11,65 mm, üst flanşta bulunan orta potansiyometreden 10,76 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

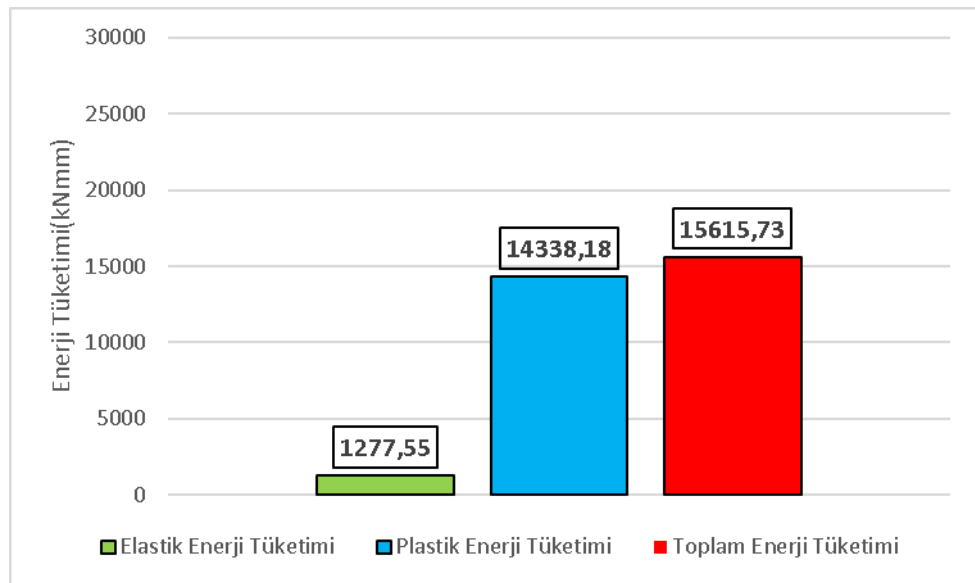
### 3.2.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Yapısal bir eleman üzerinde yapılan yükleme deneyinde elde edilen deney verilerindeki en büyük yer değiştirme ve kuvvet değerleri, eleman performansının değerlendirilmesine ve karşılaştırılmasına olanak sağlayabilir. Ancak eleman performansını daha iyi tanımlamak adına yeterli değildir. Çünkü yapısal elemanlardan istenen süneklik gereksinimi belirlenen “en büyük” değerler ile tanımlamak mümkün değildir. Süneklik, elastik ötesi davranışta taşıma gücü yitirilmeden enerji tüketiminin

yapılabilmesine bağlıdır. Dolayısıyla enerji tüketim kapasitesi yüksek olan elemanların sünekliliği de yüksek olmaktadır [21]. Elastik enerji, doğrusal elastik davranışta geçici olarak depolanan enerji türüdür. Plastik enerji ise, yapı sistemindeki akma noktasından (elastik sınırdan) sonra tüketilen enerjidir(Şekil 3.10.). Sünek davranan yapı elemanlarında enerji tüketiminin büyük bir kısmı sistemin lineer olmayan davranışının sonucunda gerçekleşmektedir. Deneysel çalışma kapsamında test edilen kirişlerin elastik ve plastik enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir. Referans numune enerji tüketim grafiği Şekil 3.11. de verilmektedir.



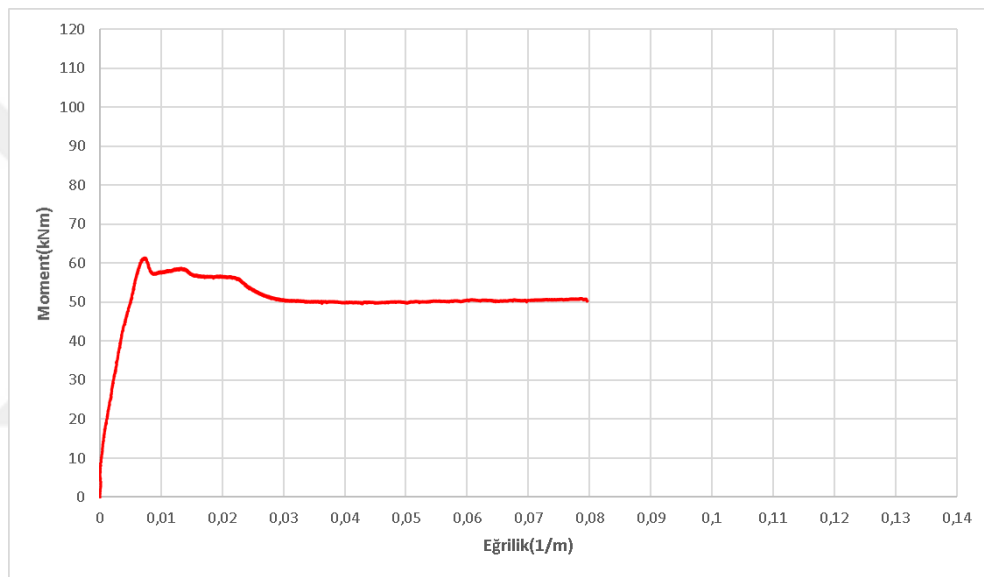
Şekil 3.10. Referans numunenin elastik ve plastik enerji tüketimi



Şekil 3.11. Referans numunenin enerji tüketim grafiği

### 3.2.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Elemanın davranışının anlaşılabilmesi kesit davranışının bilinmesi ile mümkündür. Eğilme etkisinde bulunan kesitlerin davranışı, en doğru şekilde moment-eğrilik ilişkisi incelenerek anlaşılabilir. Ayrıca kesitin rijitlik ve dayanımının nasıl değiştiği, kesit davranışının süneklik durumu gibi olaylar yine moment-eğrilik ilişkisi üzerinden izlenebilir. Referans kiriş numunesinin moment eğrilik grafiği Şekil 3.12. de verilmiştir. Grafikte eğrilik değeri lvd-t-sol-üst-2, lvd-t-sağ-üst-2 ve orta potansiyometre ölçüm verilerinden hesaplanmıştır.

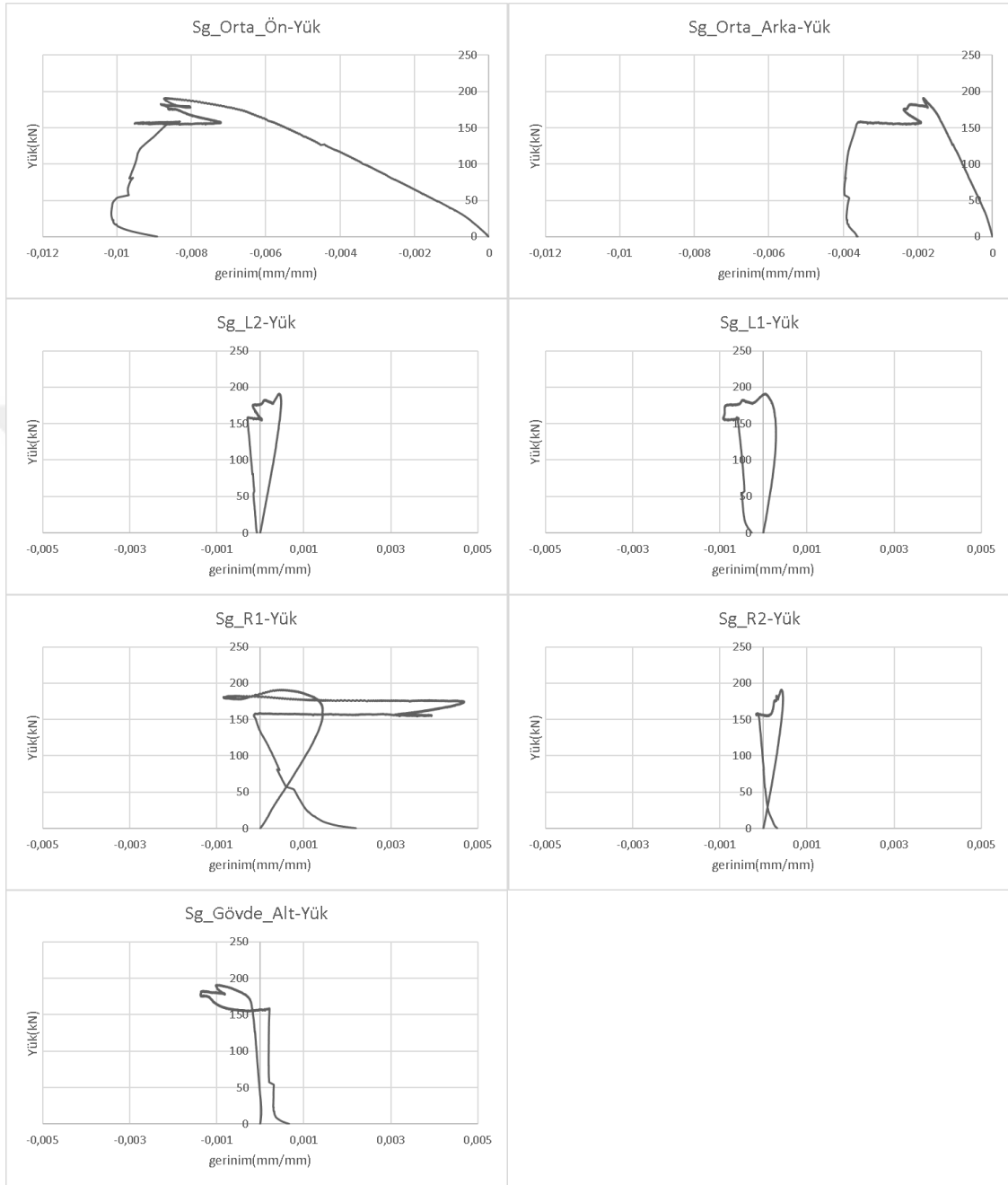


Şekil 3.12. Referans kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 61,45 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,00732 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 136,54 m olarak hesaplanmıştır. Bu noktaya kadar lineer davranış görülmektedir. Sonrasında eleman bazında akma gerçekleşmiş, eleman plastik davranış göstermeye başlamıştır ve moment eğrilik grafiği doğrusal olmayan bir şekle dönüşmüştür.

### 3.2.6. Gerinim Verileri

Referans test kirişinin farklı noktalarından gerinim pulu (Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresinden (loadcell) alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.13. Referans numune yük-gerinim grafikleri

Referans numunesine ait strain gauge grafikleri incelendiğinde, numunenin kesit üzerindeki gerilme dağılımındaki değişim sistematığı birim şekil değiştirmeyi doğrudan etkilediğinden gövdeye yapıştırılan pullardan alınan gerinim değeri, flanşlardan alınan gerinim değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.

Gövdenin farklı yerlerinden alınan gerinim değerleri referans numunesi için karşılaştırılarak incelendiğinde kırıktan alınan R2,L2 okumaları R1, gövde ve L1 okumalarına kıyasla daha az gerinim değerine ulaşmıştır. Bunun sebebi deney sonu fotoğraflarından da net şekilde görüleceği üzere buruşmanın ve lokal burkulmaların R1, gövde ve L1 okumalarının alındığı bölgede yoğunluklu olarak gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

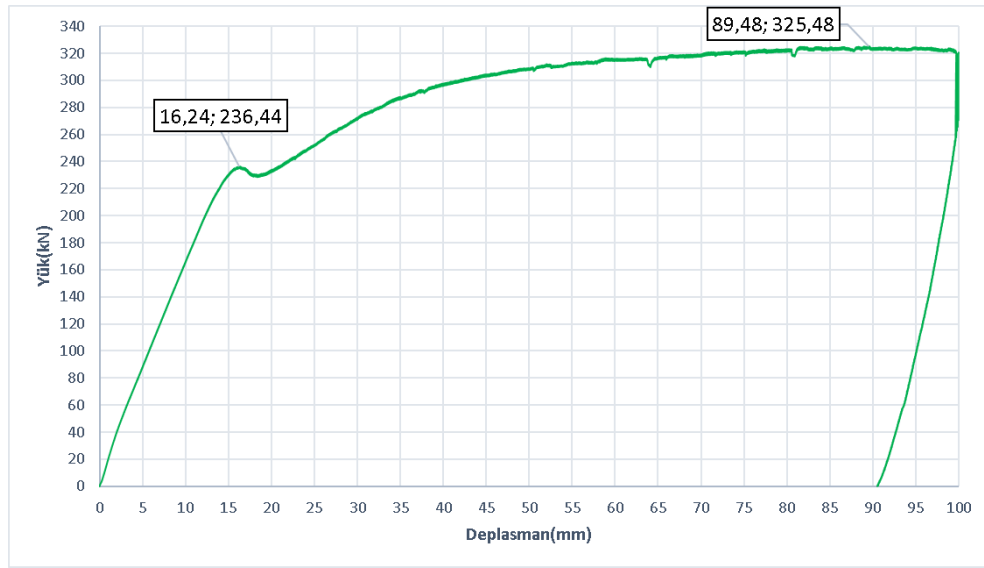
Gövdeye yerleştirilen tüm strain gaugelerde gerinim değerleri basınç etkisinde kalarak belirli bir doğrultuda başlayıp akmadan sonra gerçekleşen buruşma deformasyonuna bağlı olarak eğri gidiş yönünü değiştirerek tam tersi doğrultuda devam etmiştir. Gerinim grafikleri akmadan sonra belirli bir değeri geçtiğinde birim şekil değiştirmenin fazla miktarda artmasından dolayı grafiklerde ani uzamalar gibi bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu durum strain gaugenin gerilme yığılması noktalarına ne kadar yakın yapıştırıldığı ile doğru orantılıdır.

Orta ön ve orta arka grafiklerindeki ulaşılan gerinim mertebelerindeki fark anlamlı değildir. Muhtemelen orta arka strain gage okumasında deney ölçüm aletleri ve bağlantılarından kaynaklı ölçüm hatası olmuştur. Grafik karakteristiğinin görülebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için eklenmiştir.

### **3.3. Tip1-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi**

#### **3.3.1. Yük-Sehim İlişkisi**

Tip1-500 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd't ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.14. de verilmiştir.

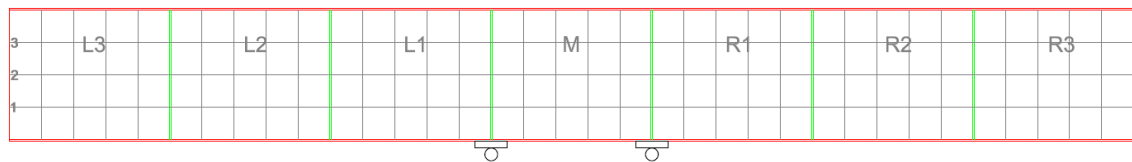


Şekil 3.14. Tip1-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

Tip1-500 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 236,44 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 16,24 mm olarak görülmüştür. Nihai yük dayanımı 325,48 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen sehim değeri 89,48 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma değerinde %23,67, nihai yük taşıma kapasitesinde %70,25 artış görülmüştür.

### 3.3.2. Deformasyon Durumu

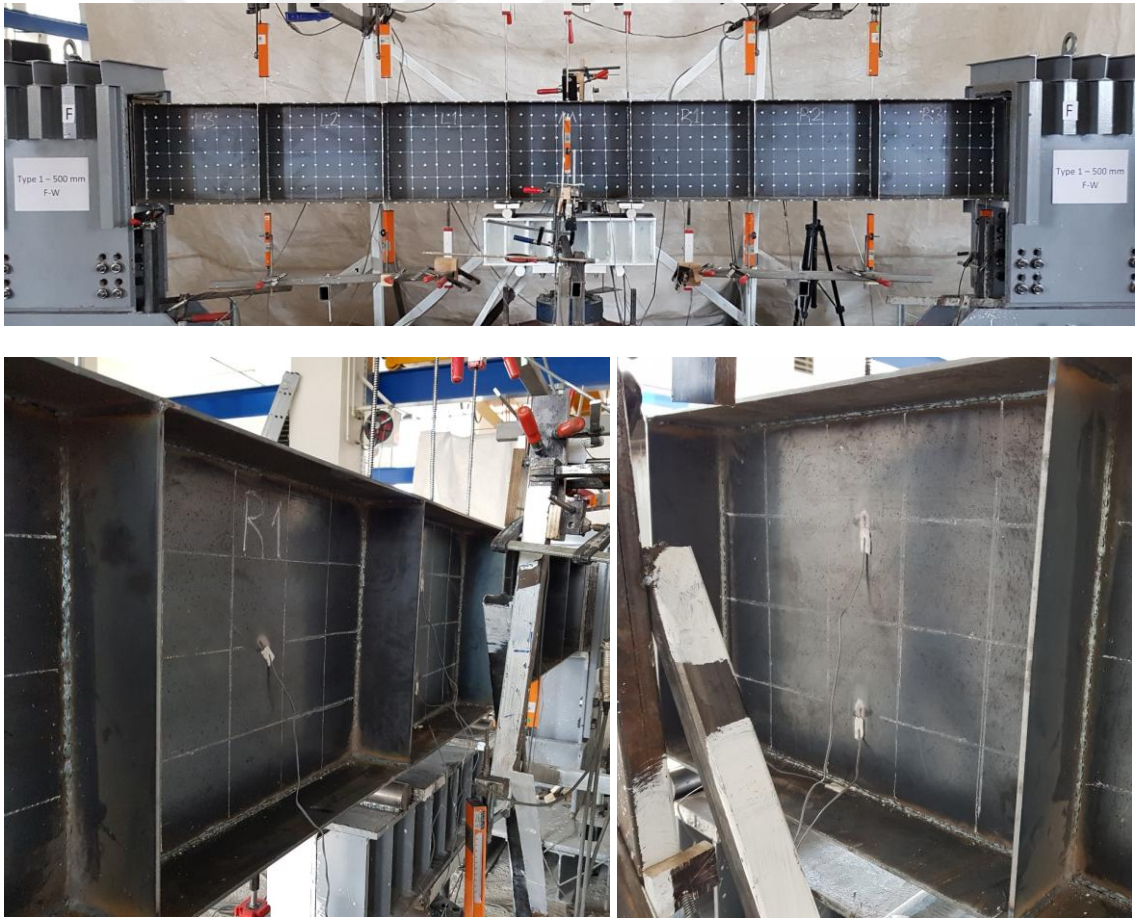
Tip500 kiriş numuneleri için deformasyon lokasyonlarının belirtilmesi amacıyla yapılan karelaj çizimi ve isimlendirmesi şekildeki gibidir.



Şekil 3.15. 500 mm bekitme aralıklı kiriş karelaj ve sektör isimlendirme çizimi

Tip1-500 kiriş numunesinde deney başlangıcından akma noktasına kadar kiriş üzerinde belirgin bir deformasyon gözlenmemiştir. Kiriş akma mertebesine ulaşmasıyla (yaklaşık

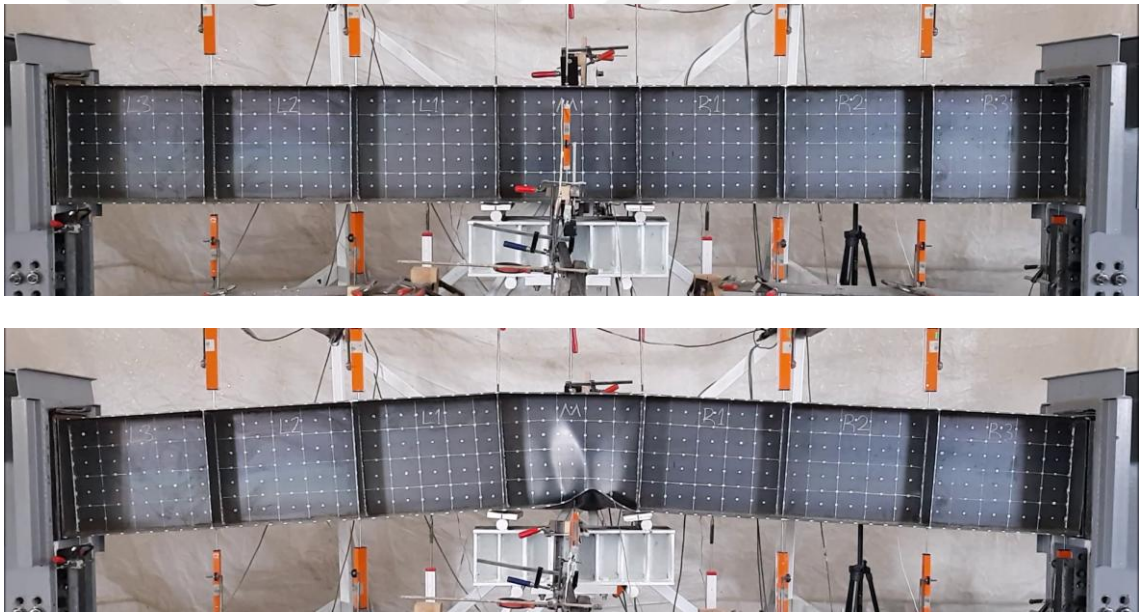
1,6 cm deplasman mertebesinde) birlikte ilk belirgin deformasyonlar yükleme plakaları arasındaki M sektörü basınç flanşında front tarafında yukarı yönlü back tarafında aşağı yönlü lokal burkulmalar gerçekleşmiştir. Hemen ardından kiriş gövdesi M sektöründe düşeyde 3-4 çizgileri arasında yatayda gövde altı ile 3. çizgi arasında back yönüne doğru dikey doğrultulu buruşma başlamıştır. Deplasman seviyesi 23 mm'de basınç flanşında ve gövdede başlayan deformasyonlar artmaya devam etmiştir. Berkitmelerde belirgin bir deformasyon gözlenmemiştir. 7 cm deplasman seviyesi itibaren deney sonuna kadar yükleme kirişinde saat yönünün tersi yönünde dönme gerçekleşmişti. Yüklemenin devamında belirgin yeni deformasyon gözlenmeyip başlayan deformasyonlarda ilerleme görülmüştür. Deney sırasında yükleme artışıyla orantılı olarak mesnetlerde üst flanş bitimlerinde kayma gerçekleşmezken kiriş alt flanşında hafif mertebede kayma hareketi görülmüştür.



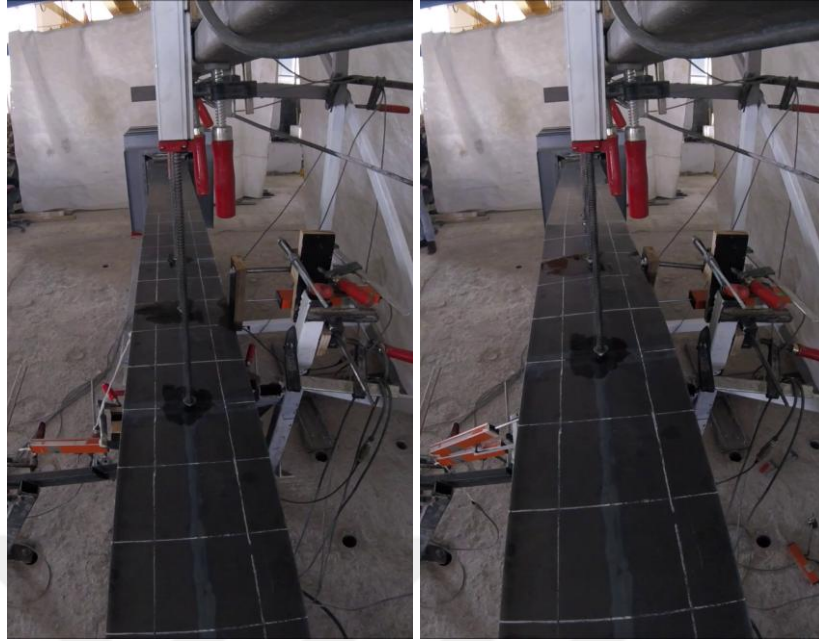
Şekil 3.16. Tip1-500 kiriş deney öncesi fotoğrafları



Şekil 3.17. Tip1-500 kirişi deney öncesi ve sonrası (arka tarafı)



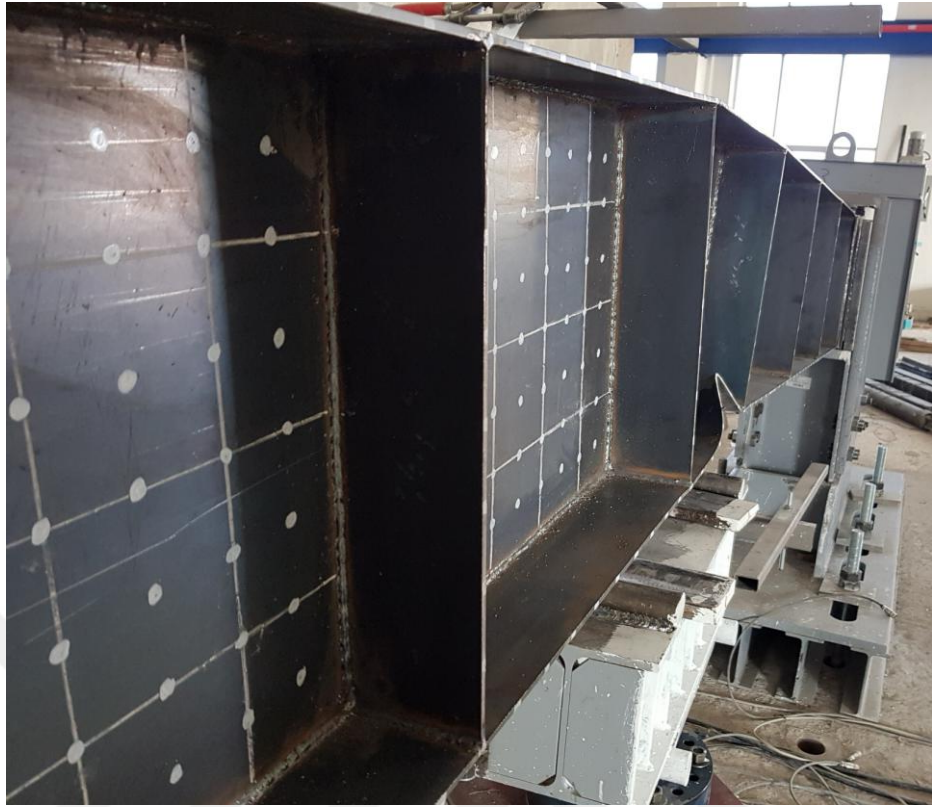
Şekil 3.18. Tip1-500 kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı)



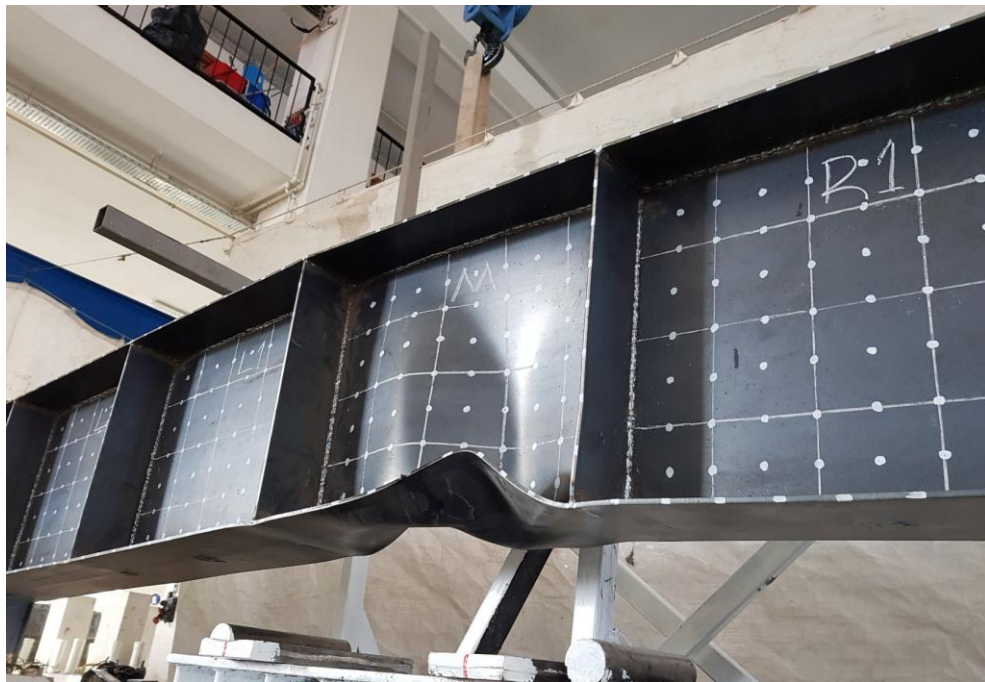
Şekil 3.19. Tip1-500 kirişi deney başı ve sonu (üst tarafı)



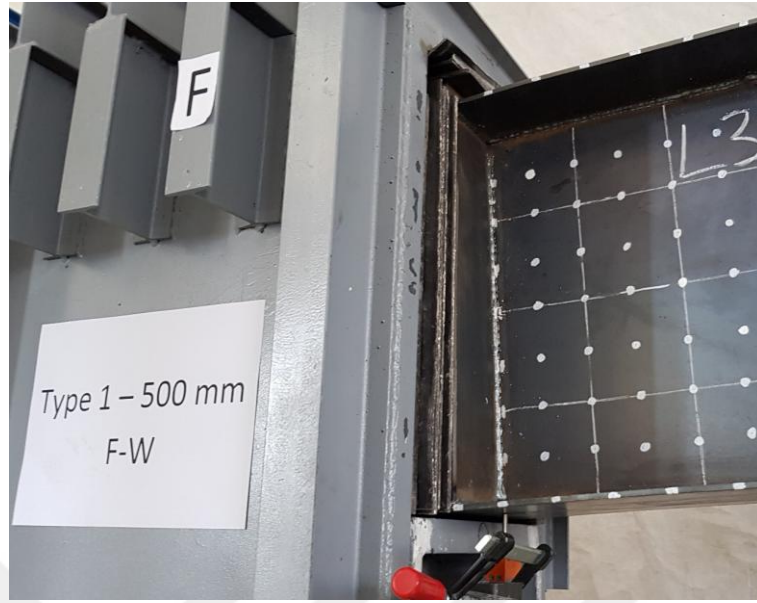
Şekil 3.20. Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.21. Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.22. Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.23. Tip1-500 kirişi deney sonrası mesnet görüntüsü



Şekil 3.24. Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (mesnet üst flanş)



Şekil 3.25. Tip1-500 kirişi deney sonrası görüntüsü(arka tarafı)

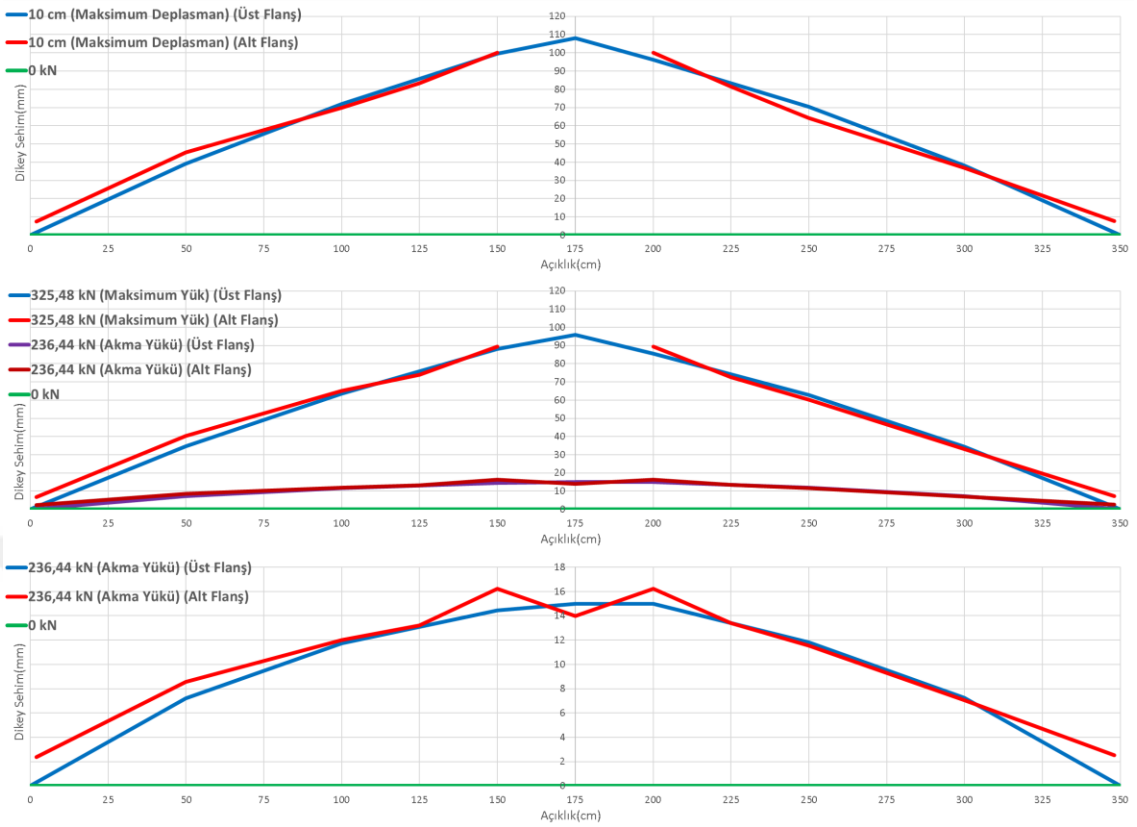


Şekil 3.26. Tip1-500 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(arka tarafı)

Deney sonucu yapılan gözlemlerde, mesnetlerde alt flanşta yaklaşık 25 mm kayma hareketi ve mesnetlerde alt flanşta yukarı yönde kalkma hareketi gözlenmiştir. Mesnetlerde üst flanş uçlarında deformasyon gerçekleşmiştir. L2, L3, R2, R3 sektörlerinde belirgin deformasyon gerçekleşmemiştir. Yatay üst lvd değerine göre üst flanş ötelenmesi maksimum 4,5 mm mertebesindedir. Deformasyonlar çok büyük ölçüde M sektöründe gerçekleşmiştir. Yükleme plakalarının hizasında alt flanş L1, M, R1 bölgelerinde berkitme levhasının etkisinden dolayı referans kirişte olduğu kadar başlık ezilmesi gözlenmemiş ve deformasyon hafif düzeyde kalmıştır. M sektörü alt flanş M-R1 birleşimi solu 16,5 cm'de front yönünde maksimum 8 cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma gözlenmiştir. Alt flanş back yönünde ise yukarı ve aşağı yönlü lokal burkulmalar gerçekleşmiştir. Back yönü alt flanşta M-L1 birleşimi solu 15cmde maksimum 7,5 cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma gerçekleşmiştir. M sektörü gövdesi M-R1 solu 16,5 cm'de maksimum 3cm mertebesinde back yönlü buruşma gözlenmiştir (flanşın burkulduğu yerde maksimum deformasyon). Gövdede M-L1 birleşimi sağı 15cmde front yönlü maksimum 3cm mertebesinde buruşma gözlendi. Açıklıktaki berkitmelerde belirgin deformasyon gözlenmemiştir.

### 3.3.3. Sehim Analizi

Tip1-500 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.27. de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Tip1-500 kiriş numunesi sehim grafikleri

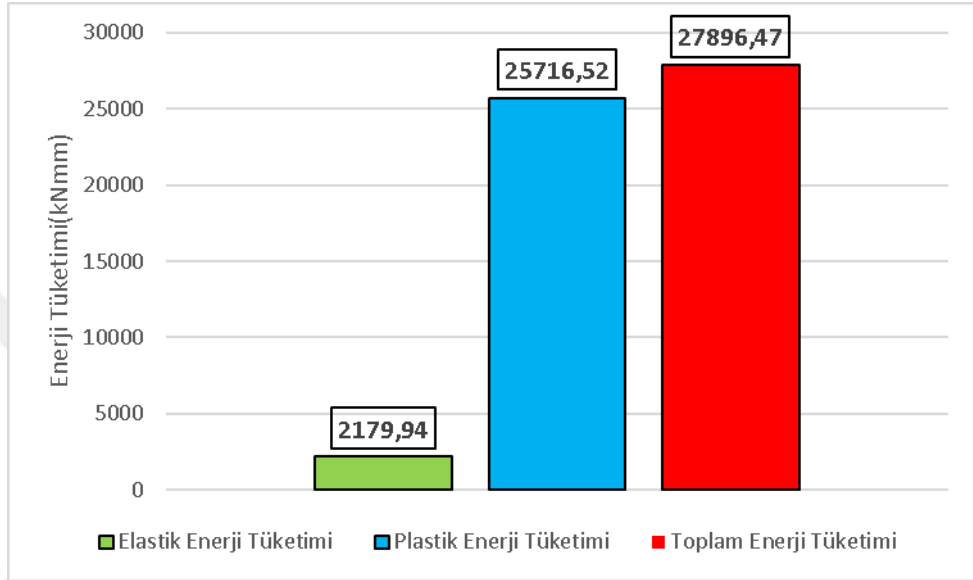
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 16,24 mm, üst flanşa bulunan orta potansiyometreden 14,97 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 89,48 mm, üst flanşa bulunan orta potansiyometreden 95,75 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür. Referans kiriş numunesinde görülen alt başlık ezilmesi ve gövde lokal burkulması deformasyonları sebebiyle alt başlık ile üst başlık arasındaki düşey deplasman farkı berkitilmiş kirişlere kıyasla fazladır. Bu sebepten üst flanş ortasında bulunan orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip1-500 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla %39,1 ve %790 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvdt verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

### 3.3.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip1-500 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

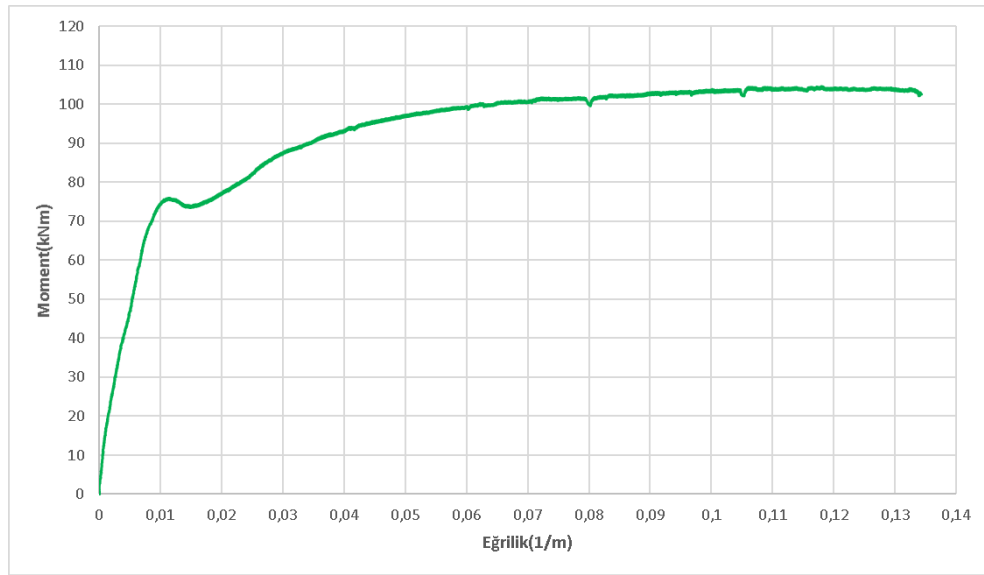


Şekil 3.28. Tip1-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %70,63, plastik enerji tüketiminde %79,36 ve toplam enerji tüketiminde ise %78,64 oranında artış görülmüştür.

### 3.3.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip1-500 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

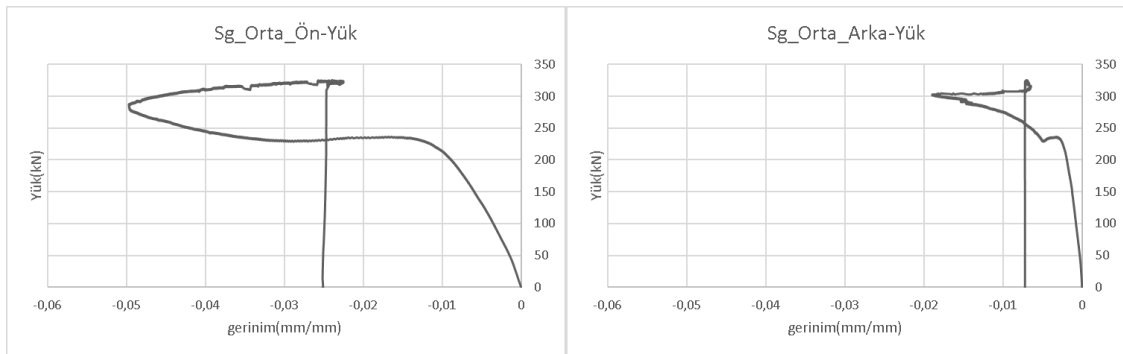


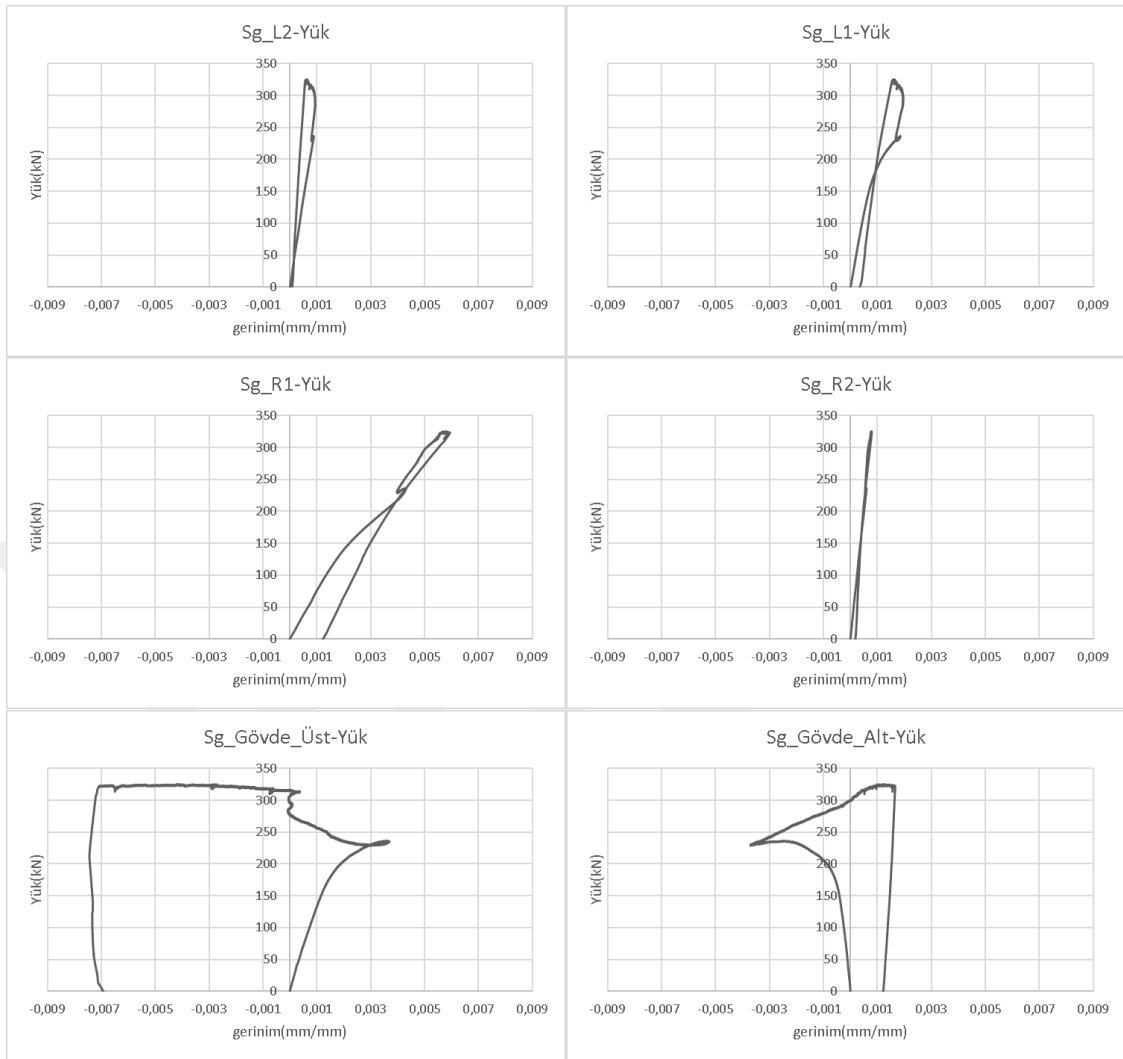
Şekil 3.29. Tip1-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 104,62 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,11798 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 8,48 m olarak hesaplanmıştır. Referans numune ile kıyaslandığında maksimum moment değerinde %70,25 artış gerçekleşmiştir.

### 3.3.6. Gerinim Verileri

Tip1-500 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer(Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi(loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.





Şekil 3.30. Tip1-500 numunesi yük-gerinim grafikleri

Tip1-500 numunesine ait strain gage grafikleri incelendiğinde, yükün uygulandığı aralık dışında kalan L ve R sektörlerinde gözlenebilen herhangi bir buruşma gerçekleşmediği fotoğraflarda da görülmüştür. Bu durum gerinim grafikleri incelendiğinde de benzer nitelikte gerilme aynı yönde devam etmiştir. Deney sonunda kadar tek yönlü bir gerinim durumu söz konusudur.

Gövdede alınan gerinim grafikleri fotoğraflarda gerçekleştiği görülen buruşmalarla birlikte değerlendirildiğinde akma noktasına kadar gövdede bir basınç durumunun gerçekleştiği ardından buruşmayla birlikte bu durumun strain gagenin yapıştığı yüzeyin dışa doğru gerilmesiyle back yüzeyinde çekme durumuna geçmiştir.

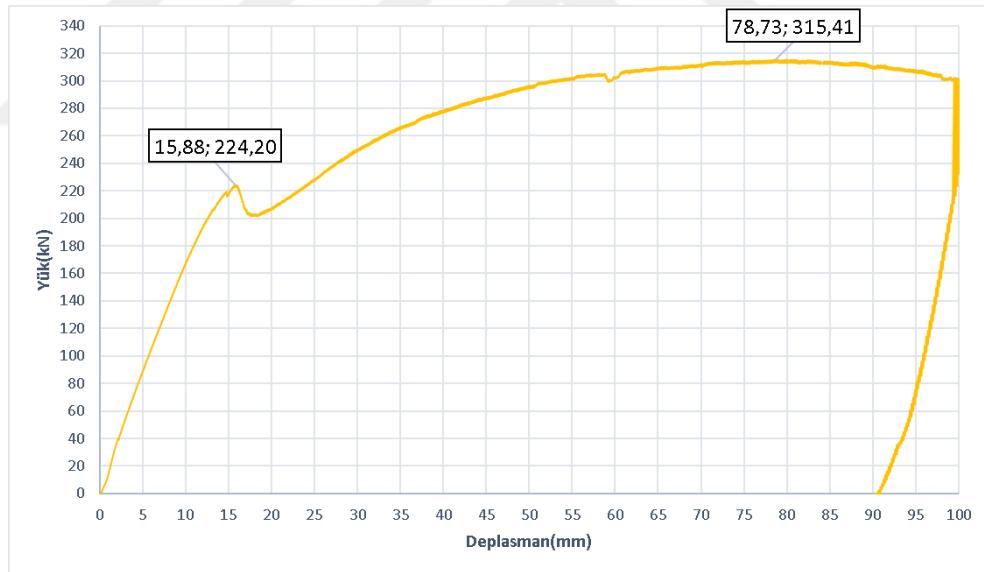
Son olarak bu numune için incelenmesi gereken strain gage ölçüm lokasyonu alt flanşlara yerleştirilen orta ön ve orta arka strain gageridir. Orta ön ve orta arka

grafiklerindeki ulaşılan gerinim değerlerindeki fark anlamlı değildir. Orta arka strain gage okumasında deney ölçüm aletleri ve bağlantılarından kaynaklı ölçüm hatası olabilir. Yük-gerinim eğri karakteristiğinin görülebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için eklenmiştir. Alt flanşın üstüne konumlandırılan strain gagelerin basınç bölgesinde olmasına rağmen çekme değeri okuması gayet olağan bir durumdur. Akma gerçekleştikten sonra oluşan burkulmanın yönü yukarı doğru olduğundan akmaya kadar çekme durumunda olan gerinim değerinin burkulmayla beraber çekmede artarak devam etmesi söz konusudur.

### 3.4. Tip1-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

#### 3.4.1. Yük-Sehim ilişkisi

Tip1-250 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvdt ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.31. de verilmiştir.



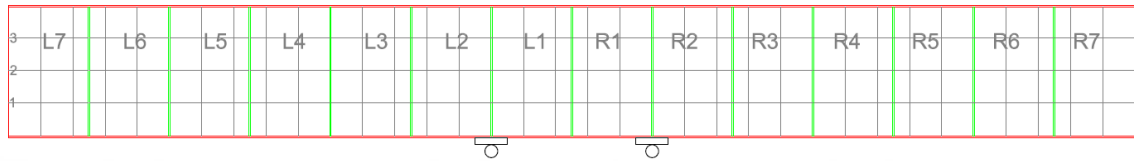
Şekil 3.31. Tip1-250 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

Tip1-250 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 224,20 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 15,88 mm olarak görülmüştür. Nihai yük dayanımı 315,41 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen sehim değeri 78,73 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma değerinde %17,27, nihai yük taşıma kapasitesinde %64,98 artış görülmüştür. Berkitme

aralıkları 500 mm olan aynı tip berkitmeli Tip1-500 kirişi ile kıyaslandığında, akma dayanımında %5,18, nihai yük değerinde %3,09 azalma vardır.

### 3.4.2. Deformasyon Durumu

Tip250 kiriş numuneleri için oluşan deformasyon lokasyonlarının belirtilmesi amacıyla yapılan kareyaj çizimi ve isimlendirmesi şekildeki gibidir.



Şekil 3.32. 250 mm bekitme aralıklı kiriş kareyajı ve sektör isimlendirmesi

Tip1-250 kirişinde deney başlangıcından yaklaşık 1,4 cm deplasman seviyesine kadar kirişte belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Bu seviyede R1 sektörü basınç flanşı ortasında lokal burkulma gözlenmiştir. Burkulma back yönünde yukarı yönlü front yönünde aşağı yönlü olarak gerçekleşmiştir. Eleman bazında akma 1,6 cm seviyesinde 224 kN yük seviyesinde gerçekleşmiş ve bu noktadan sonra deformasyonlar daha belirgin hale gelmeye başlamıştır. Yaklaşık 1,7 cm kriko deplasman seviyesinde R1 sektörü gövdesinde front yönlü dik doğrultulu buruşma başlangıcı görülmüştür. Bu deformasyon artan deplasman değeri ile birlikte düşeyde sektör ortasında yatayda gövde altından başlayıp 3. çizgiye kadar devam ederek artan bir hal almıştır. Kirişte yüklemeye birlikte hafif düzeyde front yönlü hareket görülmüştür. Fakat deney boyunca çekme flanşında ve kirişte bariz dönme veya ötelenme görülmemiştir. Mümkün olduğunca ölçülmeye çalışılan yatay deplasman değerleri bu tez çalışmasının ek kısmında paylaşılmıştır. Yükleme kirişinde kiriş ekseninde bariz bir dönme görülmemiştir. Deney boyunca yüklemeye orantılı olarak mesnet alt flanşlarda kalkma ve kayma hareketleri gözlenmiştir. Yükleme noktaları arasında kalan L1 sektöründe ise hafif düzeyde deformasyonlar gözlemlendi. L1 ve R1 sektörleri dışında kalan sektörlerde yüklemeye plakalarının bastığı yüzeyler ve mesnet noktalarına yakın flanş kısımlarındaki hafif düzeyli deformasyonlar dışında belirgin bir deformasyon durumu gözlenmemiştir. Berkitme levhalarında belirgin deformasyon gözlenmemiştir.



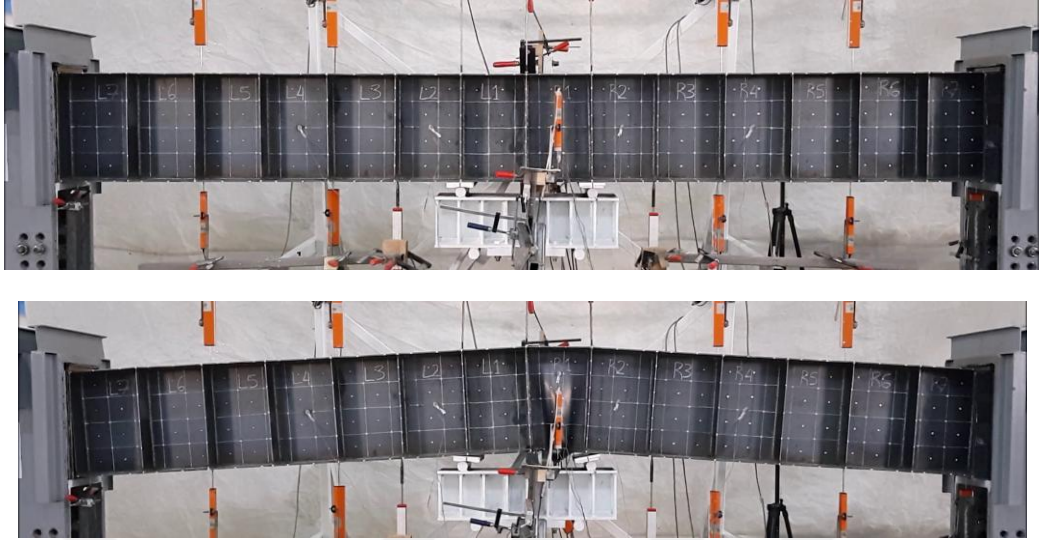
Şekil 3.33. Tip1-250 kirişi deney öncesi fotoğrafı(ön tarafı)



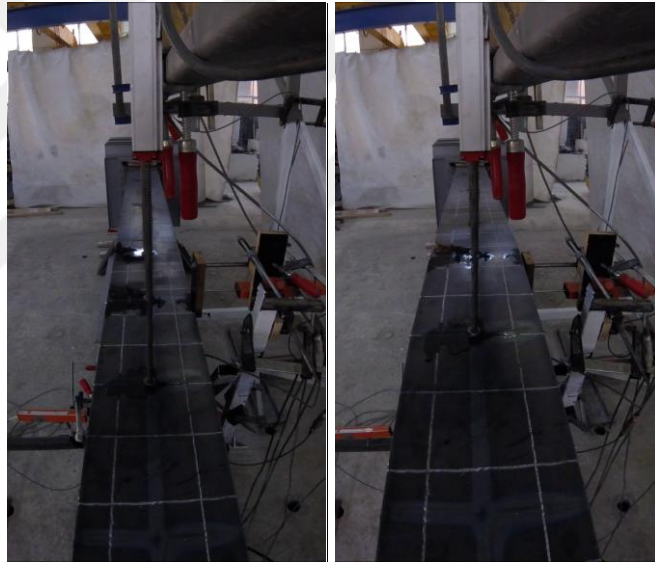
Şekil 3.34. Tip1-250 kirişi deney öncesi fotoğrafları(arka tarafı)



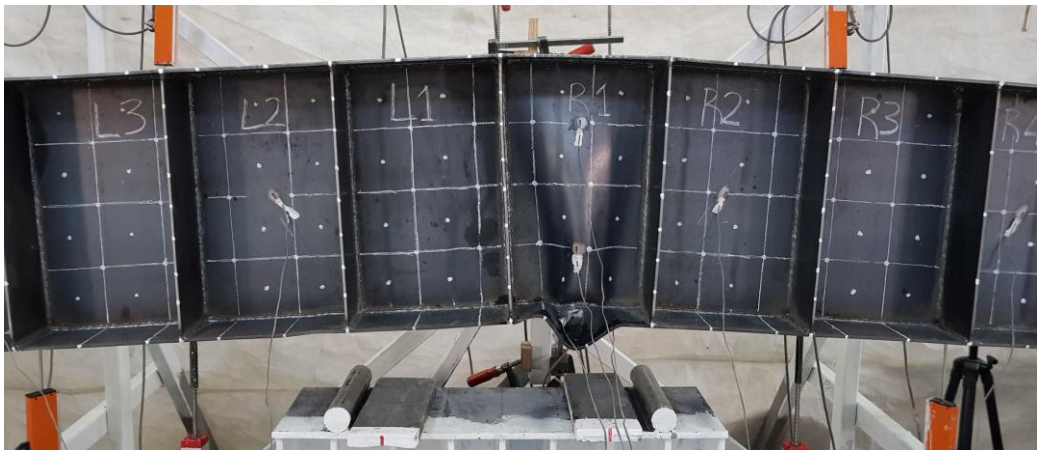
Şekil 3.35. Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonrası (arka tarafı)



Şekil 3.36. Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı)



Şekil 3.37. Tip1-250 kirişi deney öncesi ve sonu (üst tarafı)



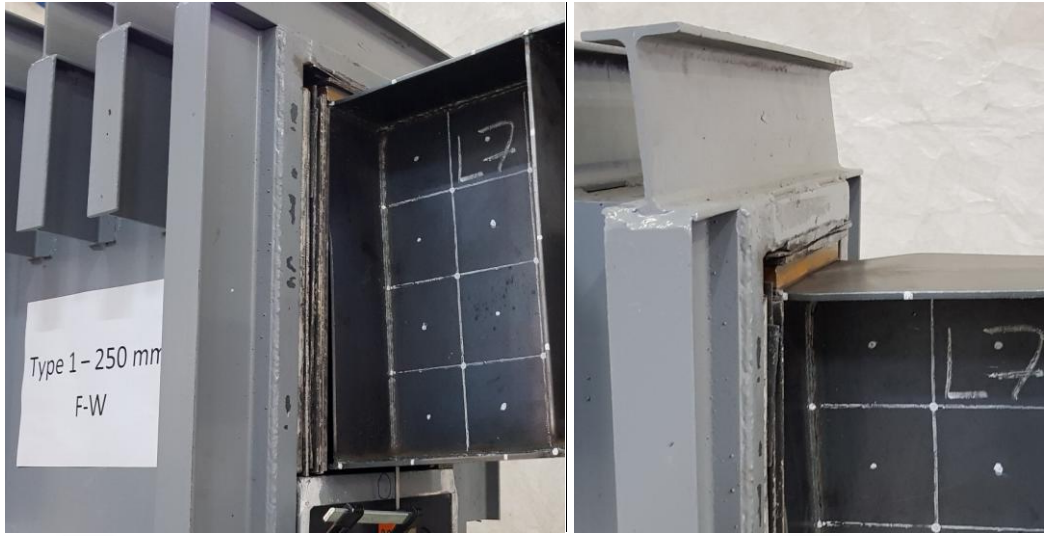
Şekil 3.38. Tip1-250 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.39. Tip1-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüleri (arka tarafı)



Şekil 3.40. Tip1-250 Kirişi deney sonrası görüntüsü (arka tarafı)

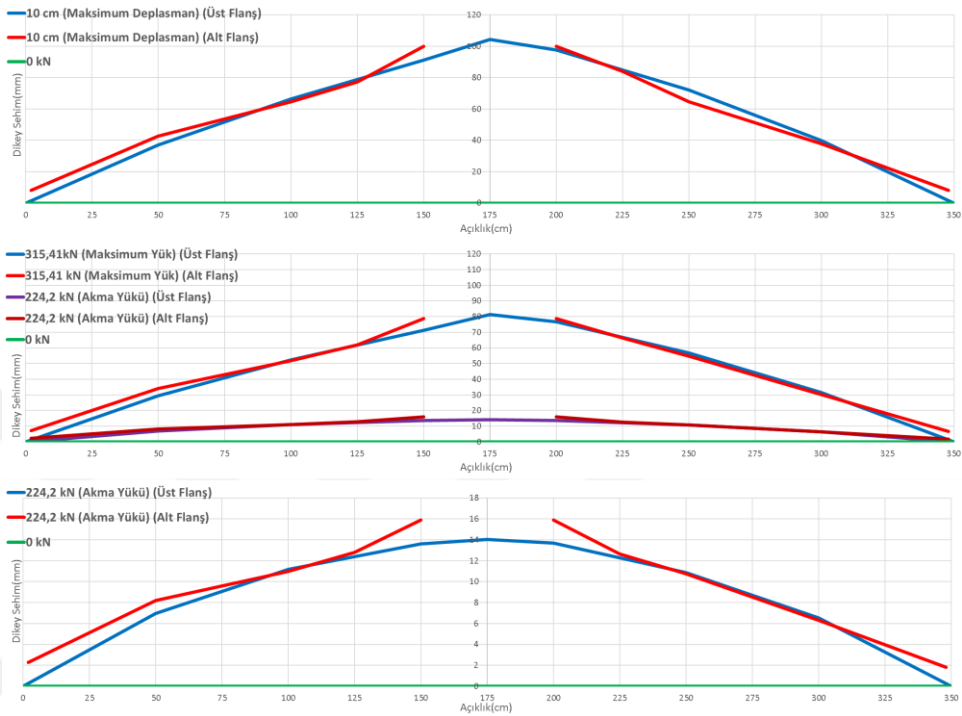


Şekil 3.41. Tip1-250 kirişi deney sonrası mesnet görüntüsü

Deney sonrası test kirişinde yapılan gözlem ve ölçümlerde, mesnetlerde alt başlıklarda kalkma ve kayma hareketleri gözlenmiştir. Mesnetlerde üst flanşlarda mesnet içinde kayma görülmemiştir. Mesnete yakın kısım üst flanşlarda deformasyon gözlenmiştir. L3,4,5,6,7-R3,4,5,6,7 sektörlerinde belirgin deformasyon gözlenmemiştir. En fazla deformasyon R1 sektöründe gözlenmiştir. Üst flanşta bariz yanal ötelenme ve dönme hareketi gerçekleşmemiştir. Yatay üst lvd'ten alınan okuma değerlerine bakıldığında üst flanş front yönlü maksimum 6 mm mertebesinde ötelenme hareketi yaptığı görülmüştür. L2 sektöründe front yönünde yükleme plakasından dolayı oluşan deformasyon gözlenmiştir. Plakaların bastığı diğer yerlerde deformasyon bu ölçüde belirgin gerçekleşmemiştir. Bunun dışında L2 sektöründe belirgin deformasyon gözlenmemiştir. R2 sektöründe belirgin deformasyon gözlenmemiştir. L1 sektörü gövdesinde front yönlü 0,2-0,3cm mertebesinde hafif dereceli deformasyon gerçekleşmiştir. R1 sektöründe front yönünde alt flanş ortasında aşağı yönlü 3,5cm mertebesinde burkulma gözlenmiştir. Back yönünde alt flanş ortasından 1,5cm solda (ortadan R2ye doğru 1,5cm) 5,5cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma gözlenmiştir. R1 sektörü gövdesinde 5,5cm mertebesinde front yönlü buruşma gerçekleşmiştir. Yükleme plakaları üzerinde ve arasında kalan berkitmelerde hafif deformasyonlar gözlenmiştir.

### 3.4.3 Sehim Analizi

Tip1-250 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.42. de gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Tip1-250 kiriş numunesi sehim grafikleri

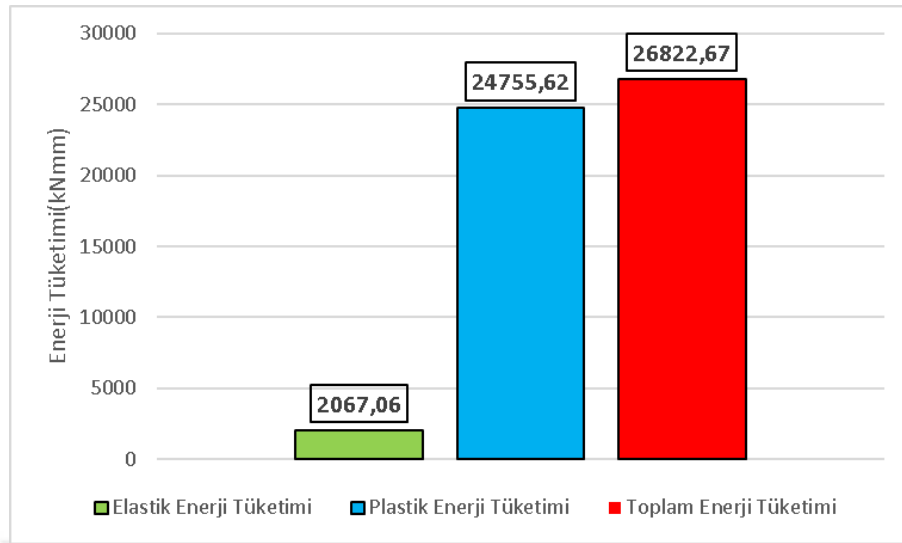
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 15,88 mm, üst flanşta bulunan orta potansiyometreden 14,05 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 78,73 mm, orta potansiyometreden 81,40 mm düşey deplasman verileri alınmıştır. Orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip1-250 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla %30,59 ve %656,51 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvd't verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

### 3.4.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip1-250 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

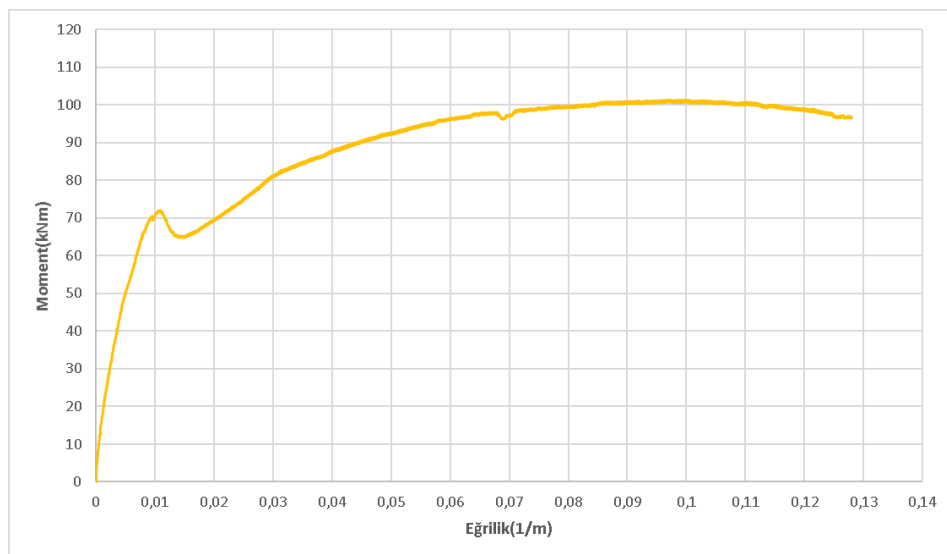


Şekil 3.43. Tip1-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %61,80, plastik enerji tüketiminde %72,66 ve toplam enerji tüketiminde ise %71,77 oranında artış görülmüştür. Aynı tip 50 cm berkitme aralığı bulunan Tip1-500 numunesi ile karşılaştırıldığında elastik enerji tüketiminde %5,18, plastik enerji tüketiminde %3,74, toplam enerji tüketiminde ise %3,85 azalma görülmüştür.

### 3.4.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip1-250 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

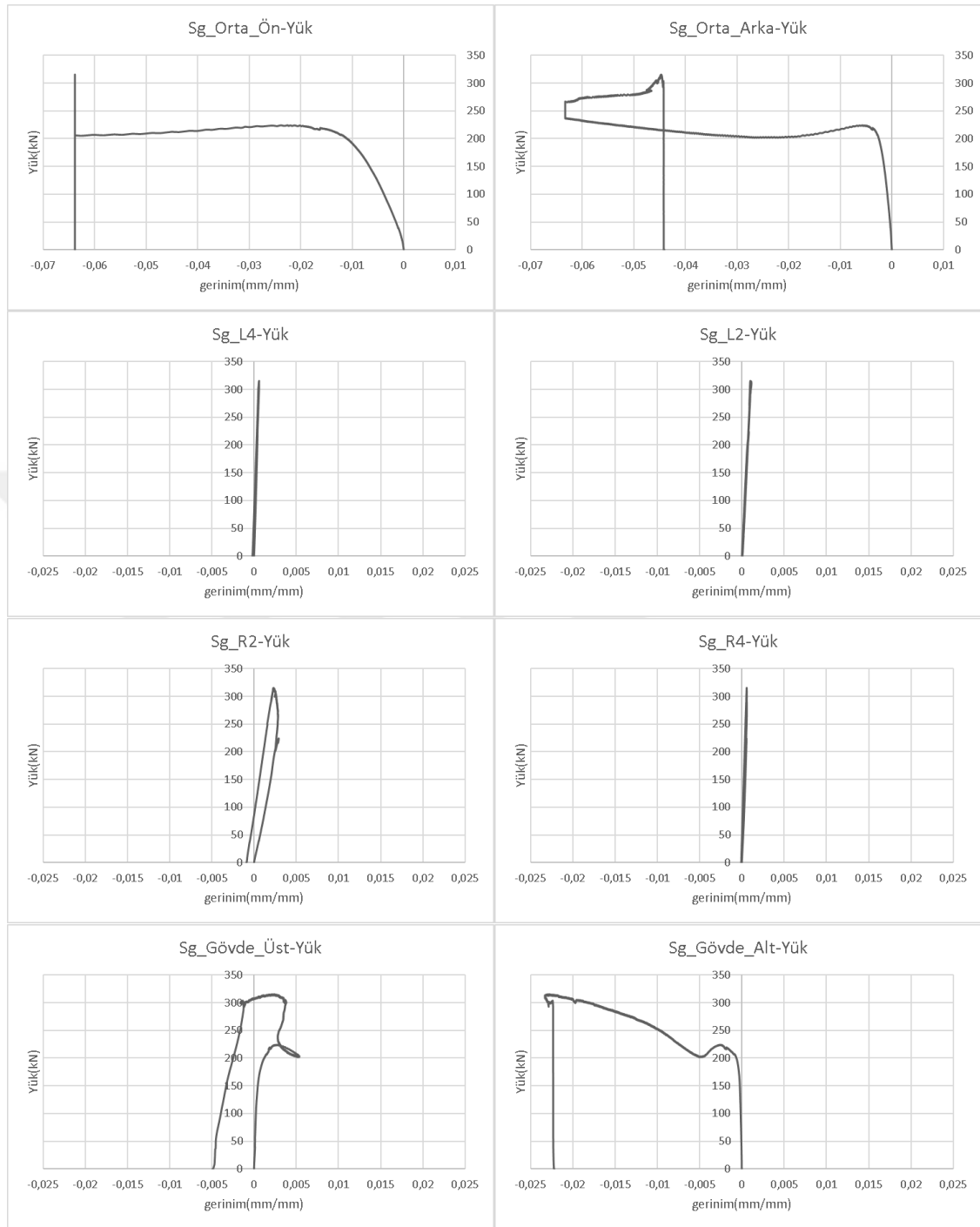


Şekil 3.44. Tip1-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 101,38 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,09709 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 10,30 m olarak hesaplanmıştır. Referans numune ile kıyaslandığında maksimum moment değerinde %64,98 artış gerçekleşmiştir. Tip1-500 numunesi ile karşılaştırıldığında ise maksimum moment değerinde %3,09, buna karşılık gelen eğrilik değerinde ise %17,70 oranında azalma görülmüştür.

#### **3.4.6. Gerinim Verileri**

Tip1-250 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer(Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi(loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.45. Tip1-250 numunesi yük-gerinim grafikleri

Tip1-250 numunesine ait gerinim değerleri incelendiğinde yükleme plakaları arasında bir berkitme daha olduğundan 50 cm berkitme aralıklı numunelere göre farklı karakterde bir değişim gözlenmiştir. Burada gövdeye yerleştirilen strain gageler R tarafına daha yakın yerleştirilmiştir. Buruşmanın burada front yönüne olması ve gerinim grafiğindeki akmadan sonraki dönüşle açıklanabilir.

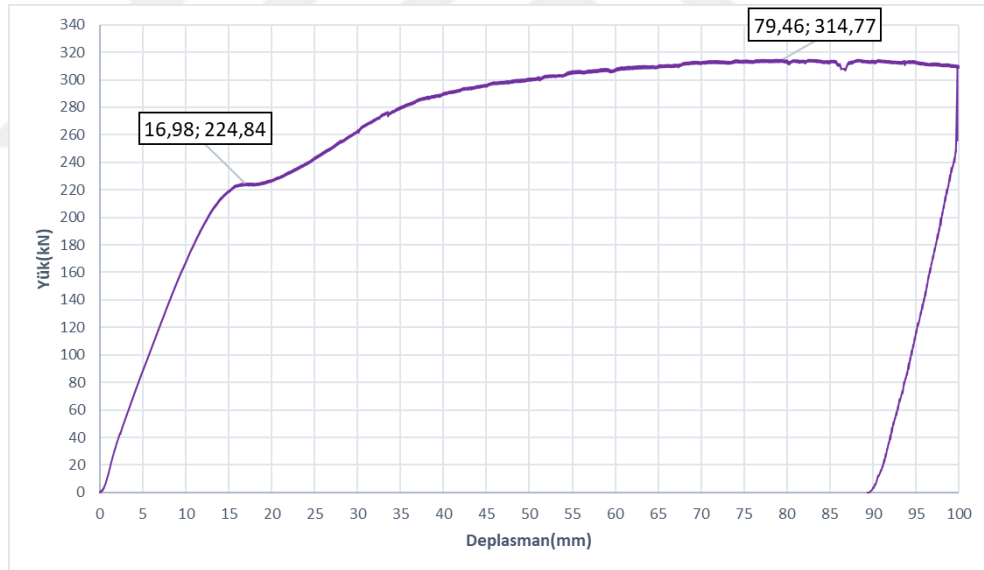
L2 ve L4 sektörlerinde yer alan strain gage grafikleri incelendiğinde yükleme durumuna göre gövdedeki basınç durumu buruşma oluşmamasıyla beraber grafikte yön değişimi görülmemiştir. Aynı zamanda yükleme bölgesine yakın olan L2 ve R2 sektörlerinde oluşan gerinim miktarları, yükleme bölgesine nispeten uzak olan L4 ve R4 sektörlerinde oluşan gerinim miktarlarına göre daha fazladır.

R1 sektöründeki flanş bölgesinde akmadan sonra gelişen lokal burkulmasının artışıyla birlikte gerinim değerlerindeki artış grafiklerde bariz bir şekilde görülmektedir.

### 3.5. Tip2-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

#### 3.5.1. Yük-Sehim İlişkisi

Tip2-500 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd't ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.46. de verilmiştir.

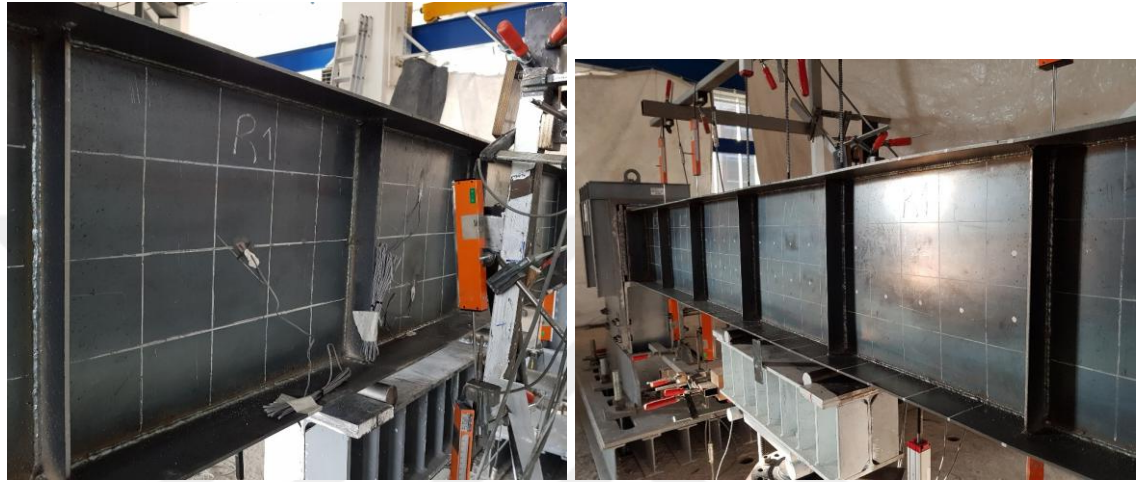
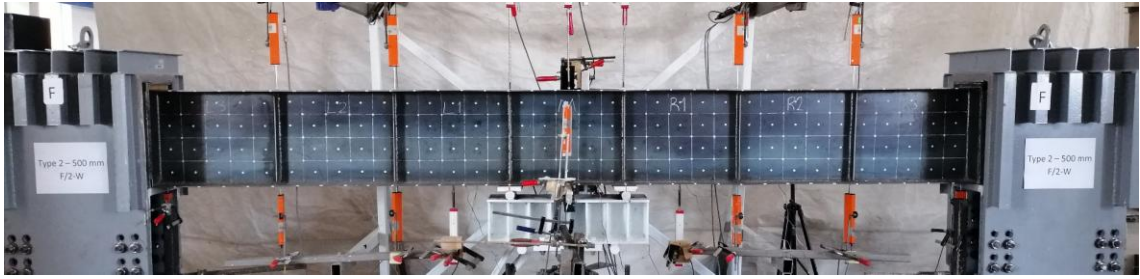


Şekil 3.46. Tip2-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

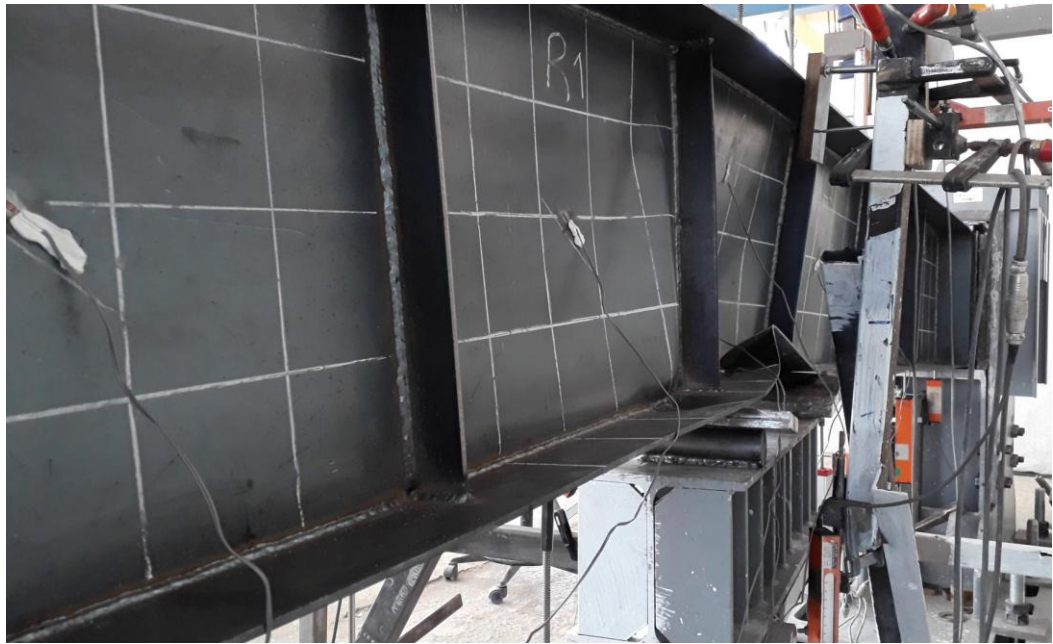
Tip2-500 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 224,84 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 16,98 mm olarak görülmüştür. Kiriş akma sahanlığında yük almadan deplasman yapmaya devam etmiştir sonra tekrar yük almaya başlamıştır. Nihai yük dayanımı 314,77 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen sehim değeri 79,46 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma değerinde %17,61, nihai yük taşıma kapasitesinde %64,65 artış görülmüştür.

### 3.5.2. Deformasyon Durumu

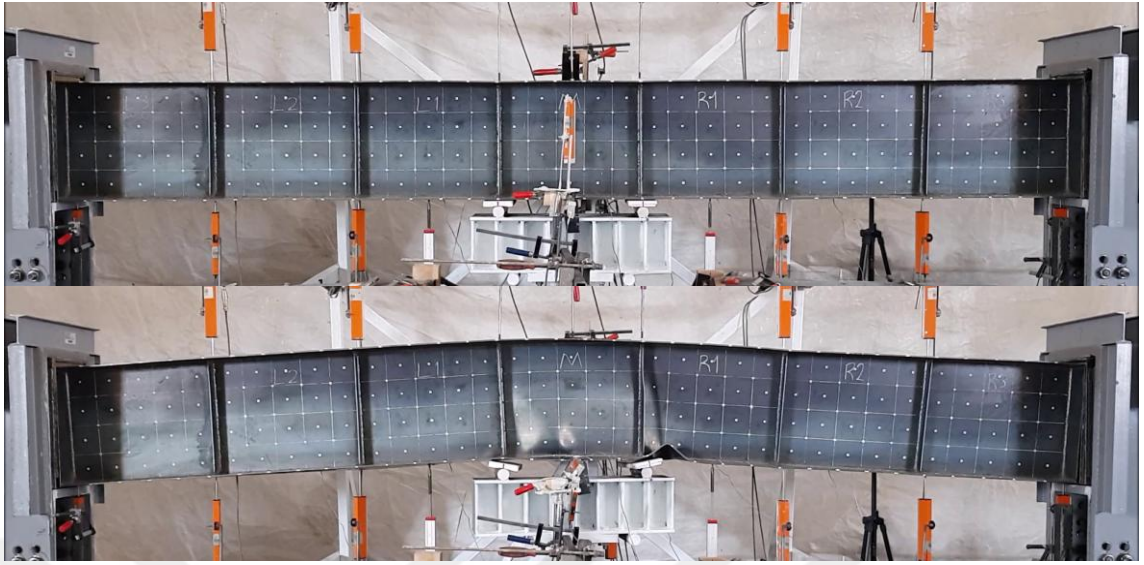
Tip2-500 kirişinde test esnasında yaklaşık 1 cm kriko deplasman seviyesine kadar herhangi bir belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Bu seviyede yük yaklaşık 165 kN mertebesinde iken ilk deformasyon back tarafında M sektörü flanşında yukarı yönlü lokal burkulma başlangıcı olarak görülmüştür. 200 kN yük 1,2 cm deplasman dolaylarında R1 sektörü front yönü basınç flanşında M-R1 birleşimi ile 1. düşey çizgi arasında yukarı yönlü lokal burkulma başlangıcı görülmüştür. Yükleme levhalarının bastığı alt başlıkta hafif düzeyde deformasyonlar görülmüştür. Deney boyunca yükleme plakasının sebep olduğu başlık ezilmeleri berkitme levhaları sebebiyle fazla artmamıştır. 1,5 cm deplasman seviyesinde M sektörü basınç flanş front yönünde aşağı yönlü burkulma görülmüştür. 225 kN yük seviyesi 1,7cm deplasmanda numunede akma durumu görülmüş ve kiriş kısa bir süre yük almadan deplasman yapmaya devam etmiştir. Bu seviyede M sektöründe gövdede front yönlü bir kabarma görülmüştür. R1 sektörü düşeyde 1 hattına yakın bölgede, yatayda alt flanş üstünden başlayan back yönlü buruşma başlangıcı görülmüştür. Bu sırada simetriği olan L1 sektöründe belirgin bir buruşma gözlenmemiştir. 2,5 cm kriko deplasman seviyesinde yeni deformasyon başlangıcı gözlenmemiş olup var olan deformasyonlarda ilerleme görülmüştür. Kriko deplasmanı 3,5 cm seviyesinde iken front yönünde M-R1 sektörü arasındaki yarım berkitmede deformasyon görülmüştür. 3,8 cm deplasman seviyesinde yükleme kirişinde saat yönünün tersine hafif mertebede dönme gerçekleşmiştir.(Numune dikey ekseninde burulmaya çalışmıştır.) Kirişteki burulmaya bağlı olarak R1, R2 sektörlerinde üst başlıkta front yönlü L1, L2 sektör üst başlıklarında ise back yönlü dönme hareketi görülmüştür. Üst flanşta bariz bir ötelenme hareketi görülmemiştir. M ve R1 sektörlerinde oluşan deformasyonlarda gerilmeler yığıldığı için diğer sektörlerde bariz bir deformasyon gerçekleşmemiştir. Mesnetlerde yüklemeye bağlı olarak kiriş alt uçlarında kalkma ve kayma hareketi gözlenmiştir.



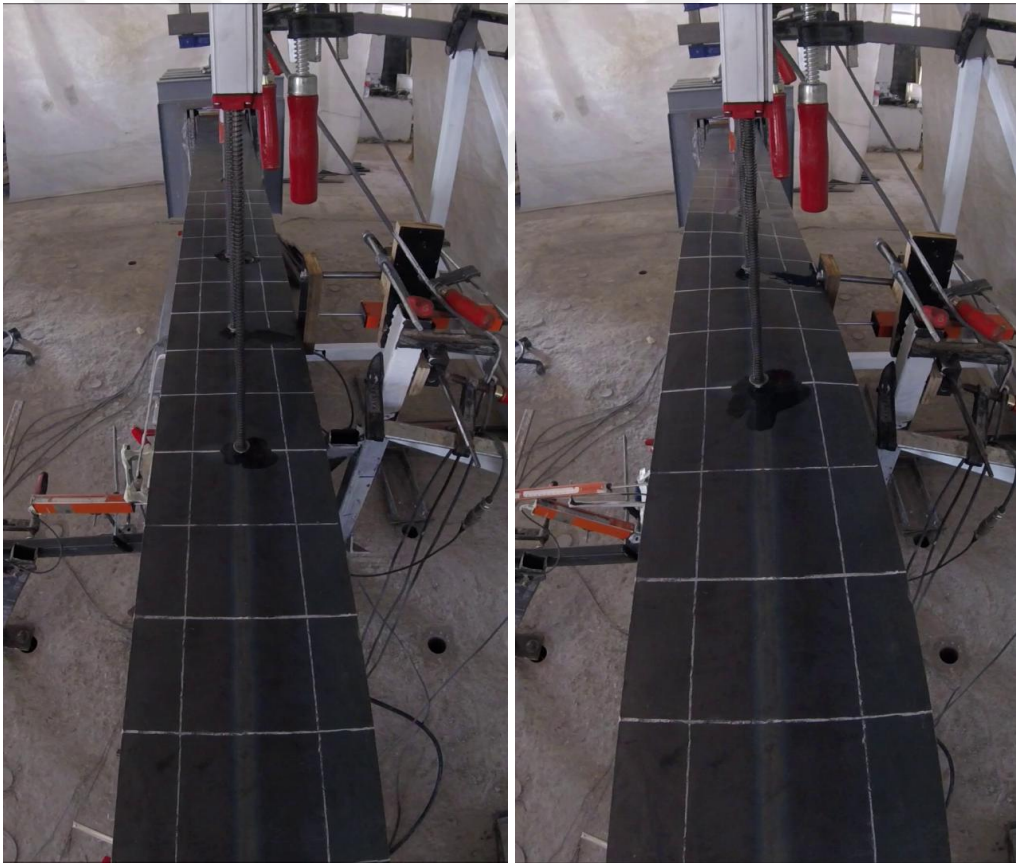
Şekil 3.47. Tip2-500 kirişi deney öncesi fotoğrafları



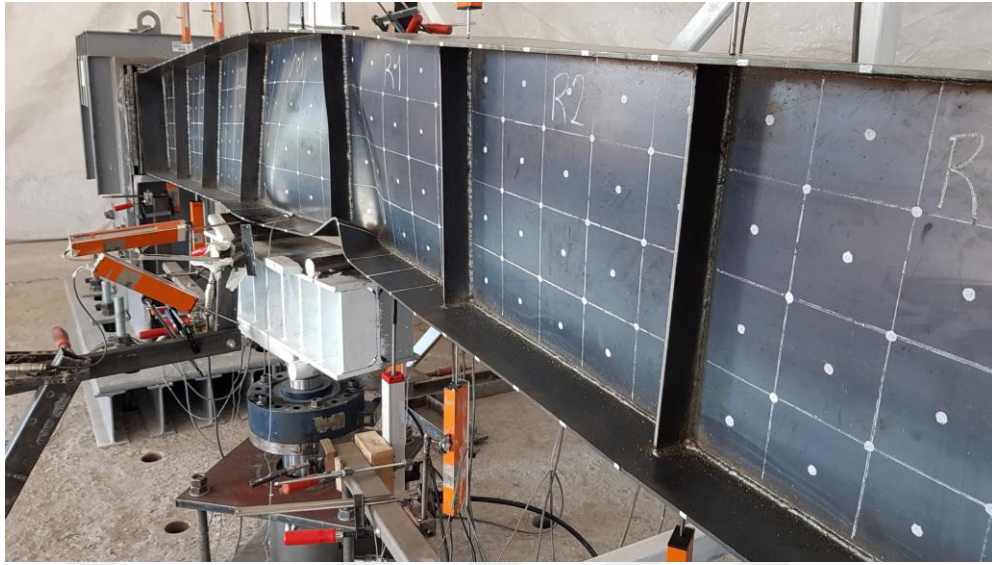
Şekil 3.48. Tip2-500 Kirişi deney sonrası (arka tarafı)



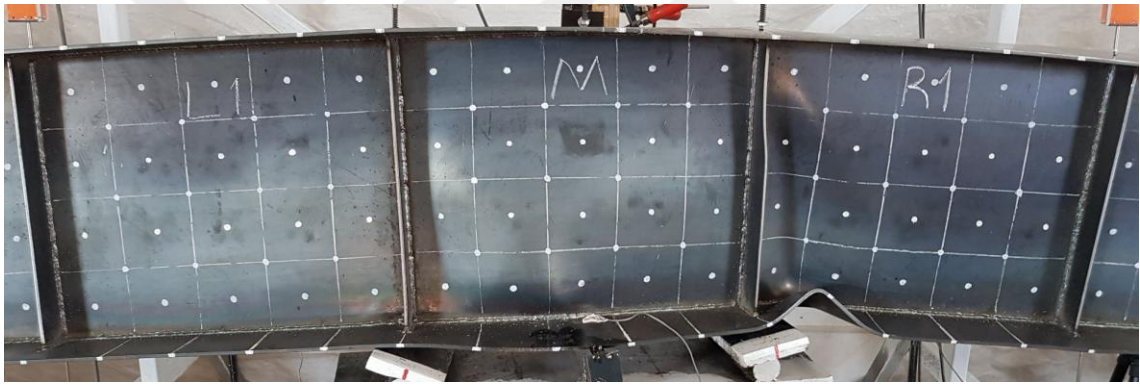
Şekil 3.49. Tip2-500 Kirişi deney öncesi ve sonrası (ön tarafı)



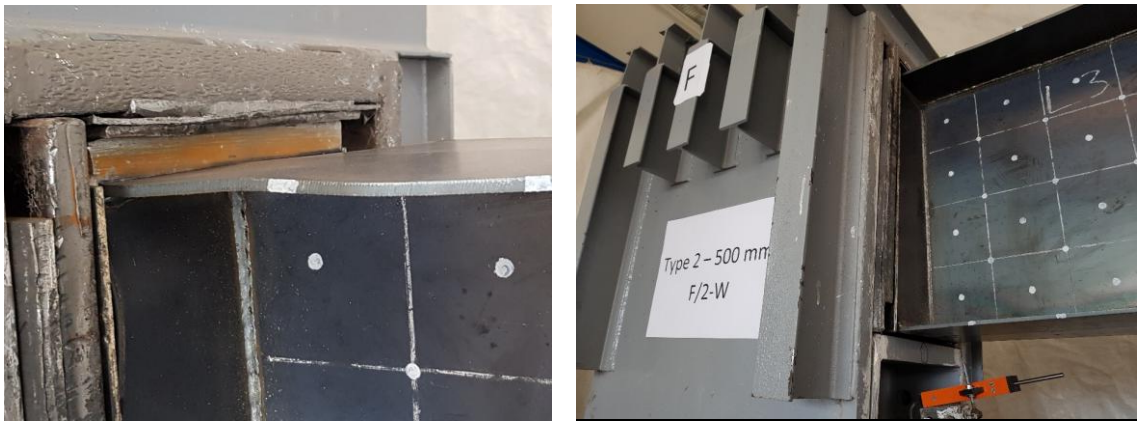
Şekil 3.50. Tip2-500 Kirişi deney öncesi ve sonu (üst tarafı)



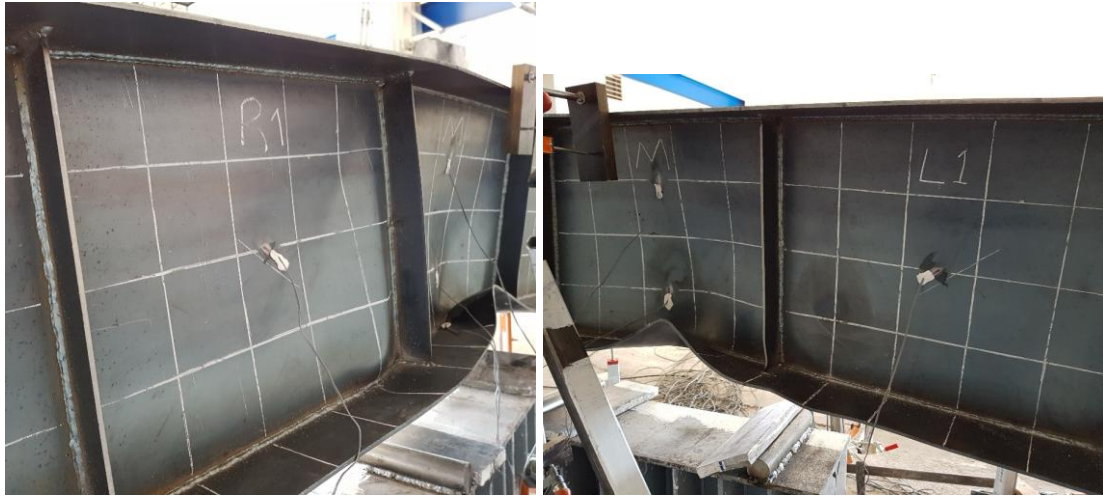
Şekil 3.51. Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.52. Tip2-500 Kirişi Deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.53. Tip2-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (mesnet)



Şekil 3.54. Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (arka tarafı)



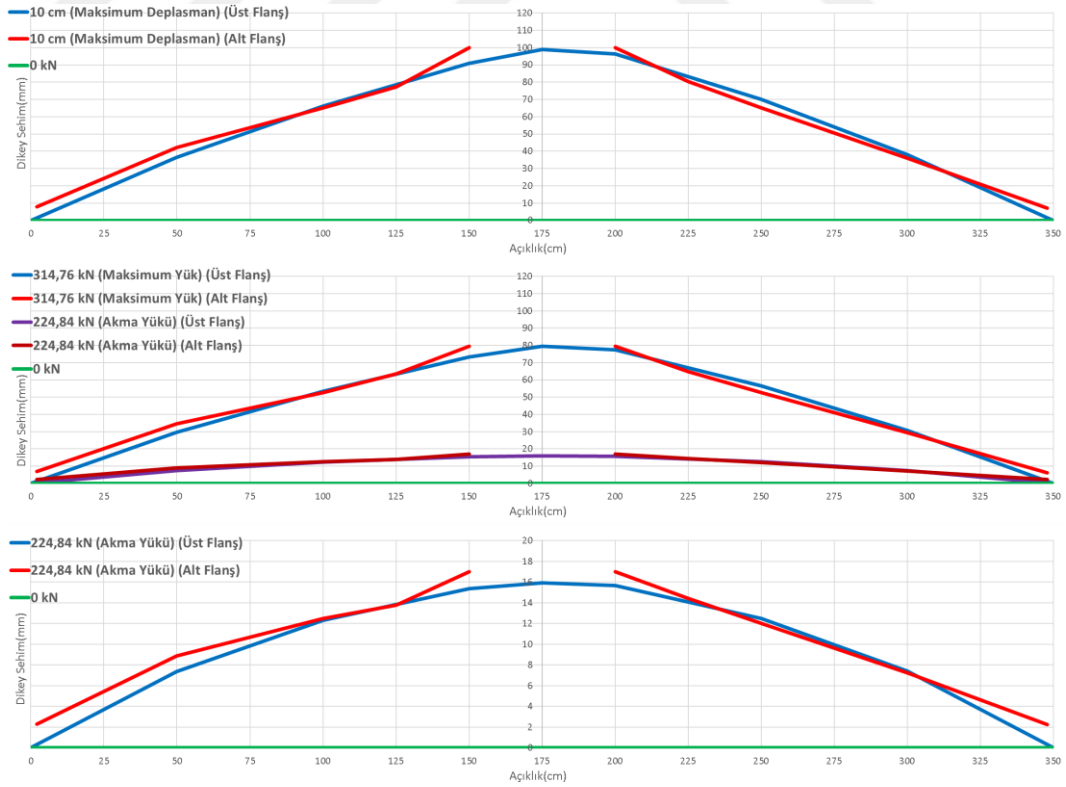
Şekil 3.55. Tip2-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (alt tarafı)

Deneyden sonra Tip2-500 kiriş numunesinde yapılan ölçüm ve gözlemlerde, mesnet alt flanş sonlarında 2-2,5 cm mertebesinde kayma gözlenmiştir.(üst flanşta kayma gözlenmemiştir.) R2,R3,L2,L3 sektörlerinde belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Mesnete yakın üst flanşta deformasyon gerçekleşmiştir.(Sol taraf daha fazla) Kiriş orta bölgesinde yükleme ekseninde burulma hareketi görülmüştür. Üst flanş back yönüne doğru alt flanşta front yönüne doğru hafif düzeyde hareket gözlenmiştir. Üst flanş M-L hattında back yönüne M-R hattı front yönünde dönme gerçekleşmiştir. R1 sektörü gövdesinde M-R1 birleşimi altı sağa 10cm den M-R1 birleşimi üstüne kadar back yönlü buruşma gözlenmiştir. Buruşmada en büyük deformasyon alt tarafta olup maksimum 2,5 cm mertebesinde dir. R1 sektörü front yönünde alt flanş M-R1 birleşiminden 7 cm sağda maksimum 6cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma gözlenmiştir. Back yönünde ise M-R1 birleşiminden 10cm solda maksimum 1,5 cm mertebesinde aşağı yönlü deformasyon gerçekleşmiştir. R1 sektörü simetriği L1 sektöründe R1 deki gibi

deformasyon gözlenmemiştir. M-R1 birleşimi front yönü berkitmesinde üstten 10-20 cm arasında, back yönünde de 0-20cm arası deformasyonlar gözlenmiştir. M sektörü gövdesinde M-L1 birleşimi 20 cm sağında front yönlü buruşma gözlenmiş olup deformasyon maksimum 3 cm mertebesinde oluşmuştur. M sektörü back yönünde alt flanşa M-L1 birleşimi 18cm solunda maksimum 7,5 cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma gerçekleşmiştir. Front yönünde ise M-L1 birleşiminden 20cm sağda 1,5 cm mertebesinde aşağı yönlü deformasyon gözlenmiştir. M-L1 birleşimi back yönündeki berkitmede alttan 0-5cm arası deformasyon görülmüştür. (Front yönünde belirgin değil.) L1 sektörü gövdesinde hafif deformasyon gözlenmiştir. L1 sektörü back yönü alt flaşa M-L1 birleşimi sağında 0-20cm arasında dalgalanma şeklinde 1-2cm mertebelerinde deformasyon gözlenmiştir.

### 3.5.3. Sehim Analizi

Tip2-500 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.56. da gösterilmiştir.



Şekil 3.56. Tip2-500 kiriş numunesi sehim grafikleri

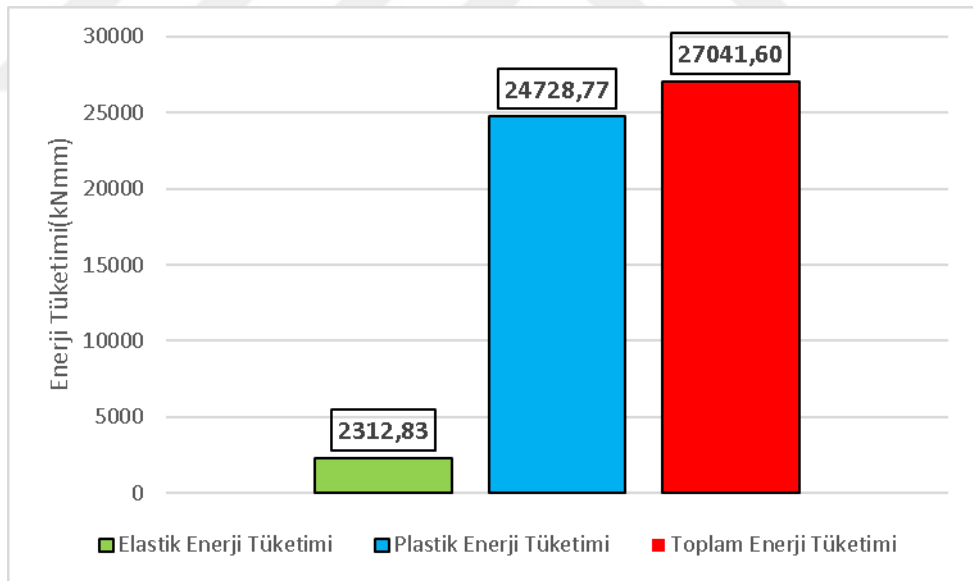
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 16,98 mm, üst flanşa bulunan orta potansiyometreden 15,91 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 79,46 mm, orta potansiyometreden 79,42 mm düşey deplasman verileri alınmıştır. Orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip2-500 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla %47,85 ve %638,10 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvdt verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

#### 3.5.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip2-500 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

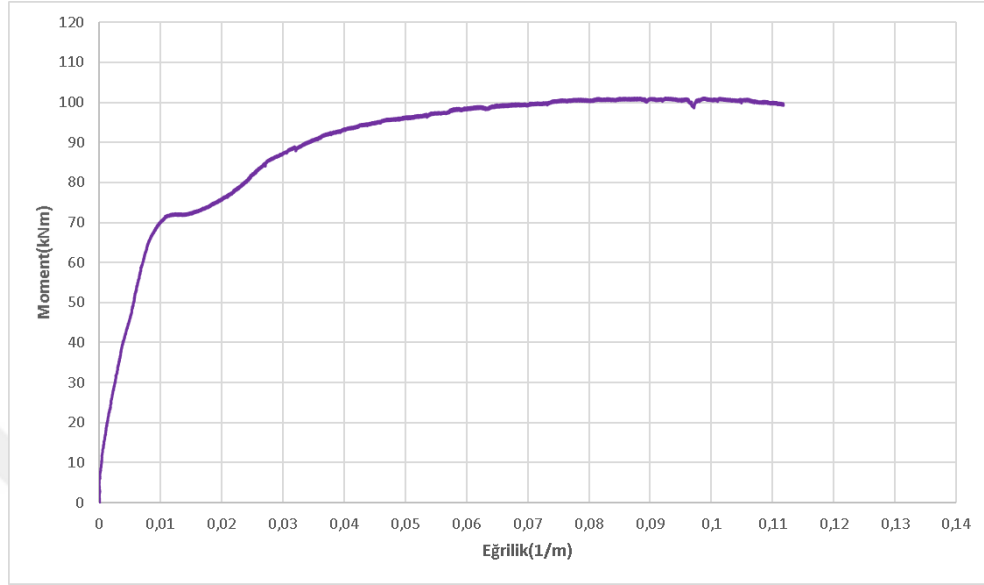


Şekil 3.57. Tip2-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %81,04, plastik enerji tüketiminde %72,47 ve toplam enerji tüketiminde ise %73,17 oranında artış görülmüştür.

### 3.5.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip2-500 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

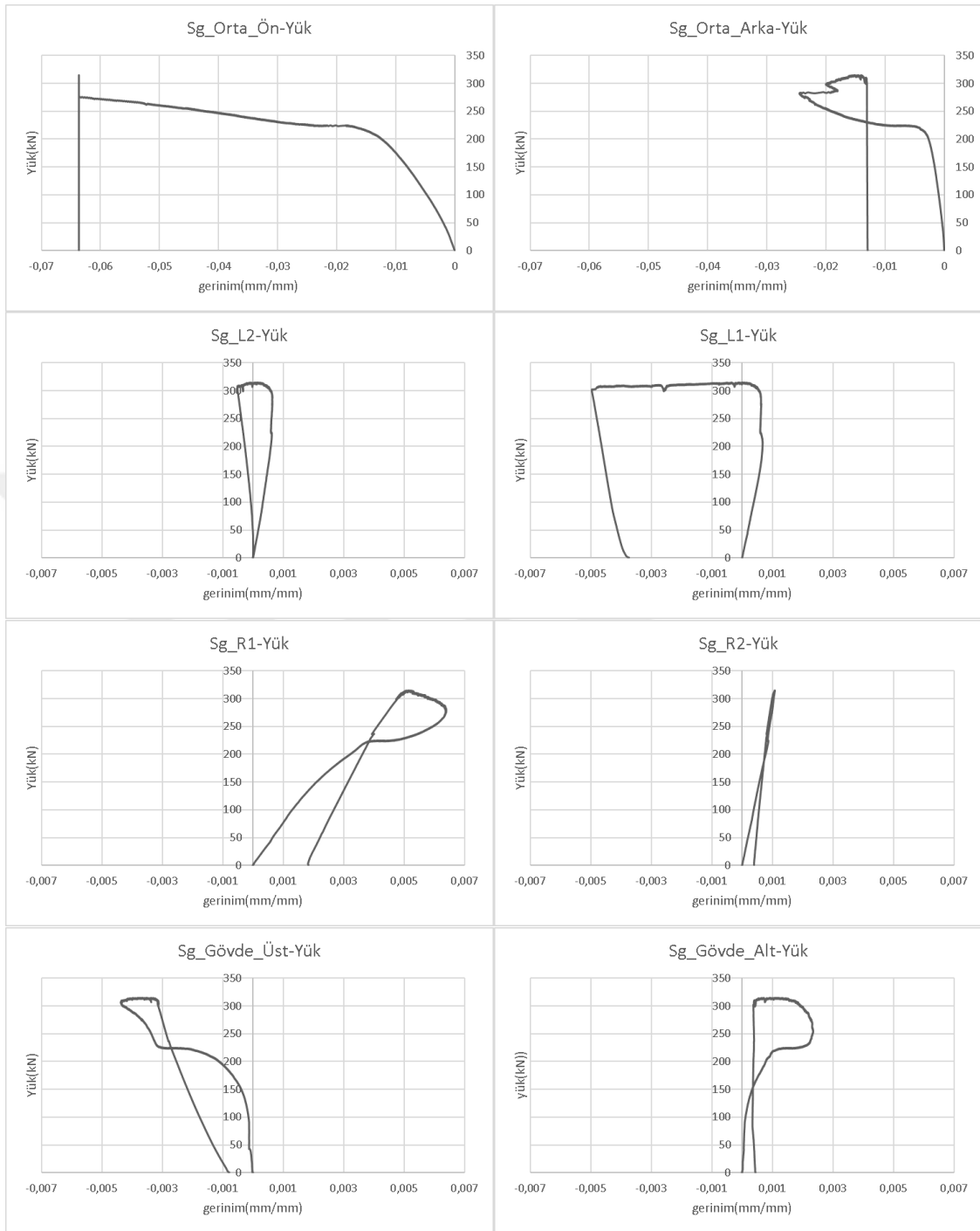


Şekil 3.58. Tip2-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 101,17 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,08838 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 11,31m olarak hesaplanmıştır. Referans numune ile kıyaslandığında maksimum moment değerinde %64,65 artış gerçekleşmiştir.

### 3.5.6. Gerinim Verileri

Tip2-500 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer(Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi(loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.59. Tip2-500 numunesi yük-gerinim grafikleri

Tip2-500 numunesinin yük-birim şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde, yükleme bölgesinden uzaklaşıldığında gövde paneli üzerindeki gerinim değerlerinin azaldığı ilk sektörlerdeki gerinim değerlerinin 2. Sektörlerdeki değerlerden düşük mertebelerde kalması ile tespit edilebilmektedir. Ayrıca M, L1, L2 ve R1 sektörlerinde gövdedeki buruşmalara bağlı olarak gerinim eğrilerinde dönüşler olduğu görülmektedir. Bu dönüşler gerinim pulunun çekme yada basınç durumundaki pulların yapıştığı yüzeyde

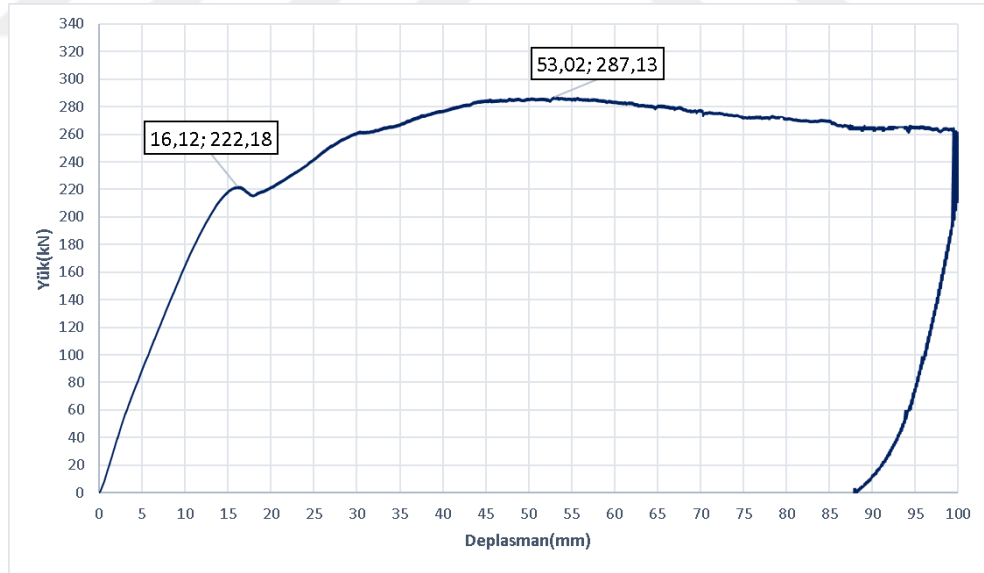
akma yükü seviyelerine ulaşıldığında gerçekleşen ters yönde deformasyon durumları ile açıklanabilir.

M sektör flanşında bulunan orta ön ve orta arka grafiklerinin farklı mertebelerde gerinim değerlerine ulaşması diğer numunelerde de görüldüğü gibi deneysel ölçüm aletlerindeki ve bağlantılarındaki problemlerden kaynaklı olabileceği gibi kirişin yüklemeye bağlı olarak farklı deformasyon durumları gerçekleşmesinden kaynaklı olabilir. Deney fotoğraflarından görüleceği üzere M sektör flanşı back tarafında daha yüksek mertebede deformasyon gerçekleşmiştir ve burkulma yönleri farklıdır. Strain gage pullarının akmadan sonra doğru veri alamamış olma ihtimalleri de vardır.

### 3.6. Tip2-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

#### 3.6.1. Yük-Sehim İlişkisi

Tip2-250 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd't ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.60. de verilmiştir.



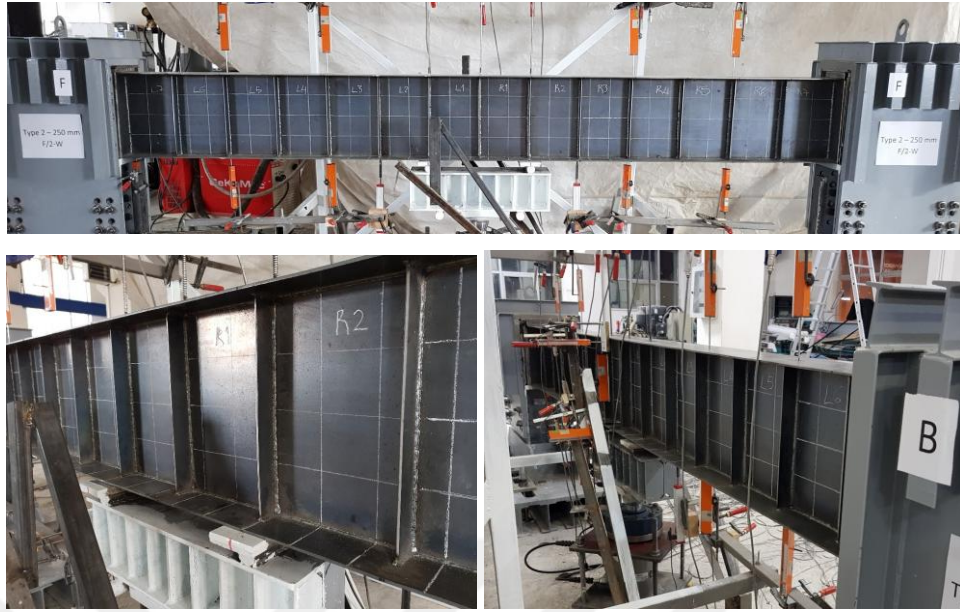
Şekil 3.60. Tip2-250 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

Tip2-250 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 222,18 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 16,12 mm olarak görülmüştür. Nihai yük dayanımı 287,13 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen

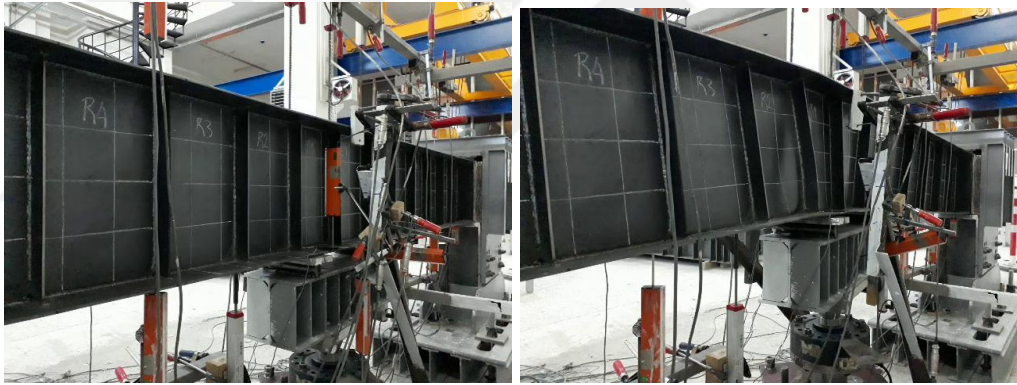
sehim değeri 53,02 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma değerinde %16,22, nihai yük taşıma kapasitesinde %50,19 artış görülmüştür. Berkitme aralıkları 500 mm olan aynı tip berkitmeli Tip2-500 kirişi ile kıyaslandığında, akma dayanımında %1,18, nihai yük değerinde %8,78 azalma vardır.

### 3.6.2. Deformasyon Durumu

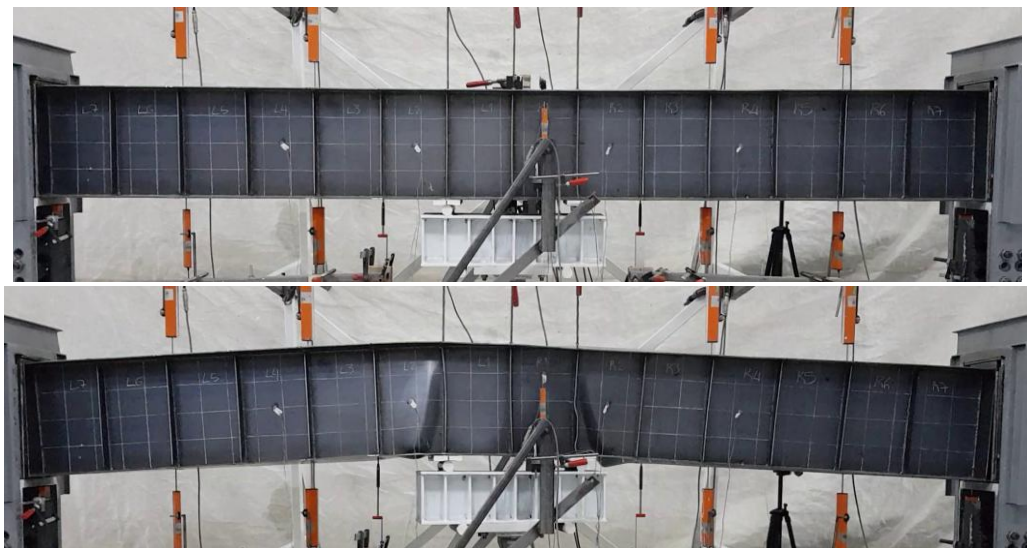
Tip2-250 kirişi deneyinde 1,1 cm deplasman 180 kN yük seviyesine kadar belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Bu seviyede yükleme noktaları arasındaki alt flanşa hafif eğrisellik gözlenmiştir. 1,4 kriko deplasman seviyesinde L2 sektörü front tarafı basınç başlığında aşağı yönlü deformasyon başlangıcı gözlenmiştir.(back tarafında ise yukarı yönlü burkulma). 1,6 cm deplasman 222 kN yük seviyesinde kiriş elemanda akma davranışı meydana gelmiş yük seviyesinde düşüş gözlenmiştir. Berkitmelerde bu noktaya kadar belirgin bir deformasyon gözlenmemiştir. Back tarafında R2 sektörü alt başlıkta yukarı yönde bir deformasyon başlangıcı gerçekleşmiştir. Akma sahanlığı geçildikten sonra numune tekrar yük almaya başlamıştır. Deplasman seviyesi 2 cm'de L2 sektörü gövdesinde L1-L2 berkitmesinin sol tarafında front yönlü buruşma başlangıcı görülmüştür. 3,2 cm deplasman seviyesinde sağ yükleme plakası sebebiyle R1, R2 sektörlerinde alt başlık deformasyon başlangıcı gözlemlenmiştir. 4 cm deplasman seviyesinde R2 sektör gövdesinde düşeyle yaklaşık 30 derece açıyla yatayda 3. hattan basınç başlığına doğru front yönlü buruşma gerçekleşmiştir. Bu seviyede L1 ve R1 sektörleri gövdesinde belirgin buruşma gözlenmemiştir. Berkitme levhalarında belirgin buruşma, burkulma gözlenmemiştir. Deplasman seviyesi 5 cm'de aynı deformasyonlar artarak devam ettiği görülmüştür ve R1 çekme başlığında front yönüne dönme gerçekleştiği görülmüştür. 6cm deplasman seviyesinde R1-R2 birleşiminde bulunan berkitme levhalarında burkulma başlangıcı görülmüştür. Deney sırasında ilerleyen deplasman seviyelerinde yükleme kirişinin saat yönünün tersine döndüğü ve numunenin yükleme ekseninde burulmaya çalıştığı görülmüştür. Kiriş L bölgesinde üst flanş back yönüne doğru hafif derecede dönme hareketi görülmüştür. Deney boyunca mesnetlerde yükleme ile orantılı şekilde alt başlıklarda kalkma ve kayma hareketi gözlenmiştir.



Şekil 3.61. Tip2-250 Kirişi deney öncesi fotoğrafları



Şekil 3.62. Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı)



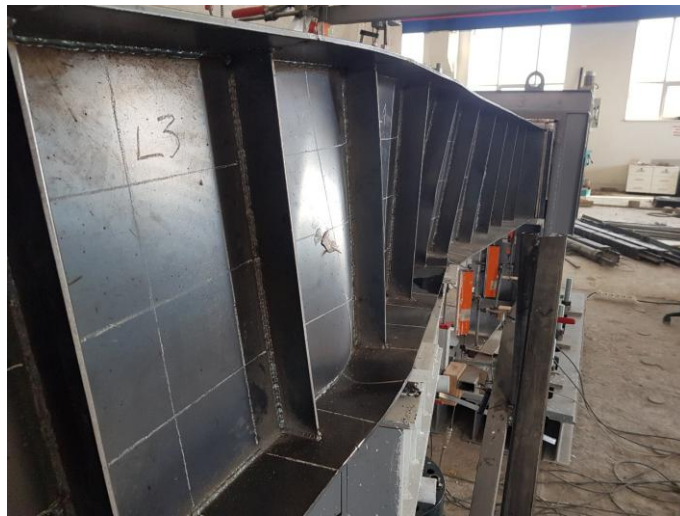
Şekil 3.63. Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı)



Şekil 3.64. Tip2-250 Kirişi deney öncesi ve sonu(ön tarafı)



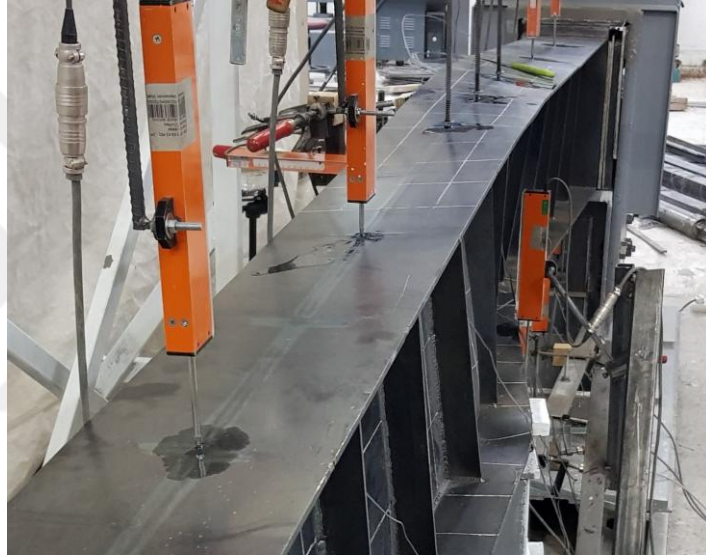
Şekil 3.65. Tip2-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Tip2-250 Kirişi deney sonrası görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.66. Tip2-250 Kirişi deney sonrası deformasyonu görüntüsü (arka tarafı)



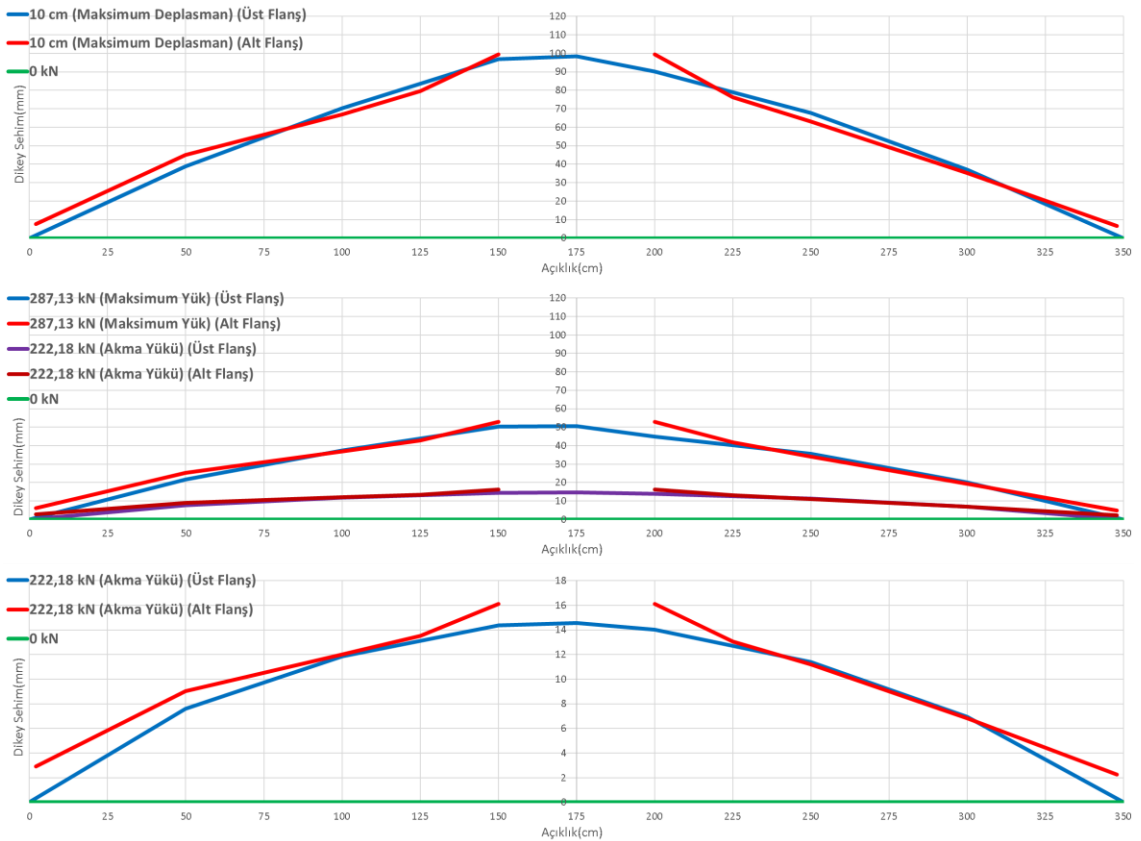
Şekil 3.67. Tip2-250 kirişi deney sonrası görüntüsü

Tip2-250 kirişinde deney sonrası yapılan ölçüm ve gözlemlerde, mesnetlerde alt başlıklarda kayma ve kalkma durumu gözlenmiştir. Çekme başlığında sağ taraf front yönüne sol taraf back yönüne doğru dönme gerçekleşmiştir. R3-4-5-6-7, L3-4-5-6-7 sektörlerinde mesnet üst başlıklardaki deformasyonlar dışında belirgin deformasyon görülmemiştir. L2 sektöründe gövdede L2 sektörü ortasında alttan başlayıp üstte L2-L1 birleşimindeki berkitmeye kadar devam eden front yönlü 4,5cm mertebesinde gövde buruşması gözlenmiştir. Simetriği R2 bölgesinde ise R1-R2 birleşimi altının 8-12cm sağından başlayıp üstte R1-R2 birleşimi üstüne kadar dalgalı bir şekilde oluşan buruşma gözlenmiştir. Bu deformasyon net olarak ölçülememiştir.(yaklaşık maksimum 3-3,5cm mertebesindedir.) L2 alt flanş orta bölgesinde 1,5cm mertebesinde aşağı yönlü burkulma gözlenmiştir. Back yönünde ise yukarı yönlü 6,5cm mertebesinde burkulma gözlenmiştir. R2 sektörü front yönünü alt flanşında R1-R2 birleşiminden R2 sektörü alt

flaş ortasına kadar olan kısımda 2-2,5cm mertebesinde dalgalı şekilde deformasyon gerçekleşmiştir. Back yönüde ise deformasyon hafif mertebede gözlenmiştir. L2-L1 birleşimi berkitmelerinde ortadan üste kadar olan kısımda deformasyon gözlenmiştir. L1-R1 sektörlerinde hafif deformasyonlar görülmüştür. L1 sektör gövdesinde back yönlü 1,5cm mertebesinde buruşma, R1 sektörü gövdesinde 1cm front yönlü buruşma tespit edilmiştir. R1-R2 arası berkitmelerde deformasyon gözlenmiştir.(front tarafı daha fazla) R1-R2 birleşimi front yönündeki berkitmesinde alttan ortaya kadar maksimum 1,5cm mertebesinde dalgalı deformasyon gözlenmiştir. Back yönündeki berkimde de alttan ortaya kadar front yönündeki berkitmenin deformasyonuna nispeten daha az deformasyon gözlenmiştir. Kirişte yükleme ekseninde burulması sebebiyle yükleme kirişinde saat yönü tersine dönme (yaklaşık 20derece) görülmüştür.

### 3.6.3. Sehim Analizi

Tip2-250 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.68. de gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Tip2-500 kiriş numunesi sehim grafikleri

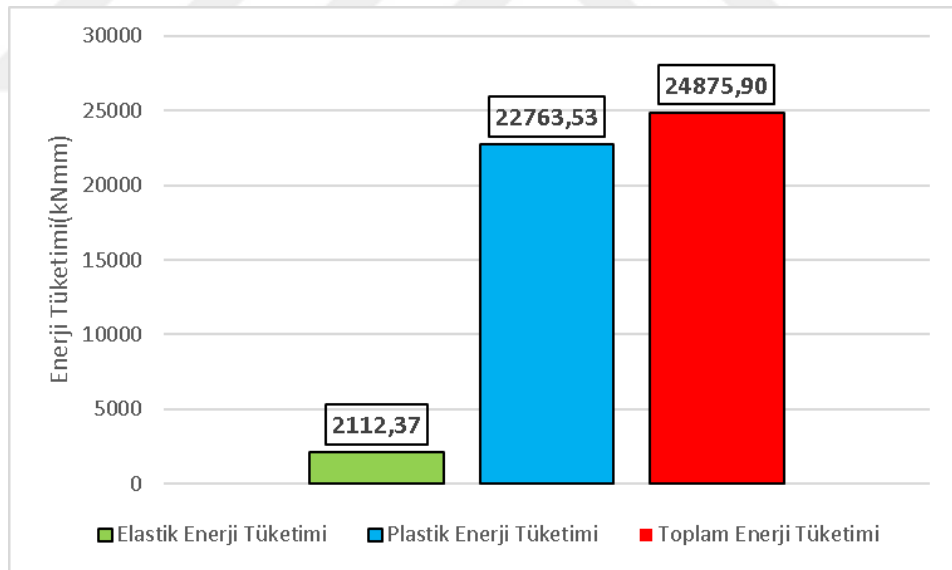
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 16,12 mm, üst flanşa bulunan orta potansiyometreden 14,57 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 53,02 mm, orta potansiyometreden 50,56 mm düşey deplasman verileri alınmıştır. Orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip2-250 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla 35,42 % ve %369,90 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvdt verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

#### 3.6.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip2-250 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

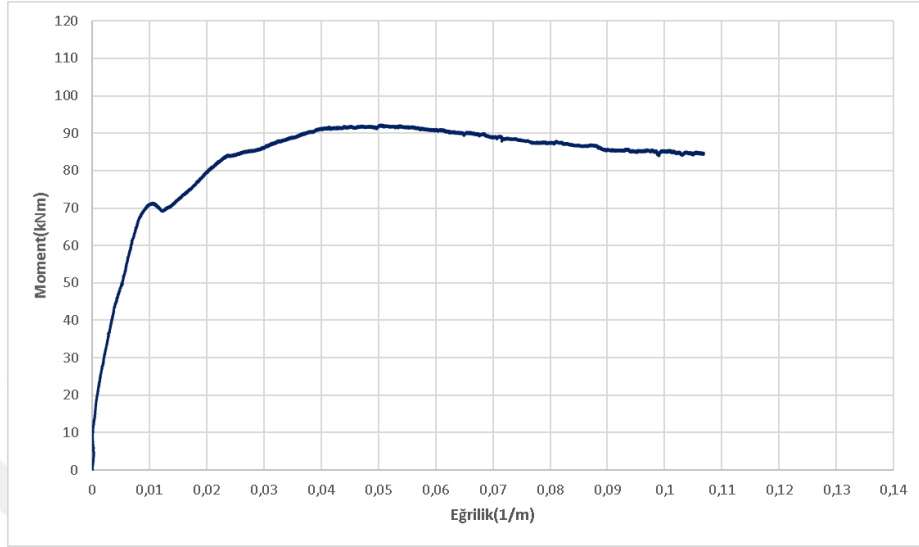


Şekil 3.69. Tip2-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %65,34, plastik enerji tüketiminde %58,76 ve toplam enerji tüketiminde ise %59,30 oranında artış görülmüştür. Tip2-500 numunesi ile karşılaştırıldığında elastik enerji tüketiminde %3,10, plastik enerji tüketiminde %11,48, toplam enerji tüketiminde ise %10,83 azalma görülmüştür.

### 3.6.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip2-250 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

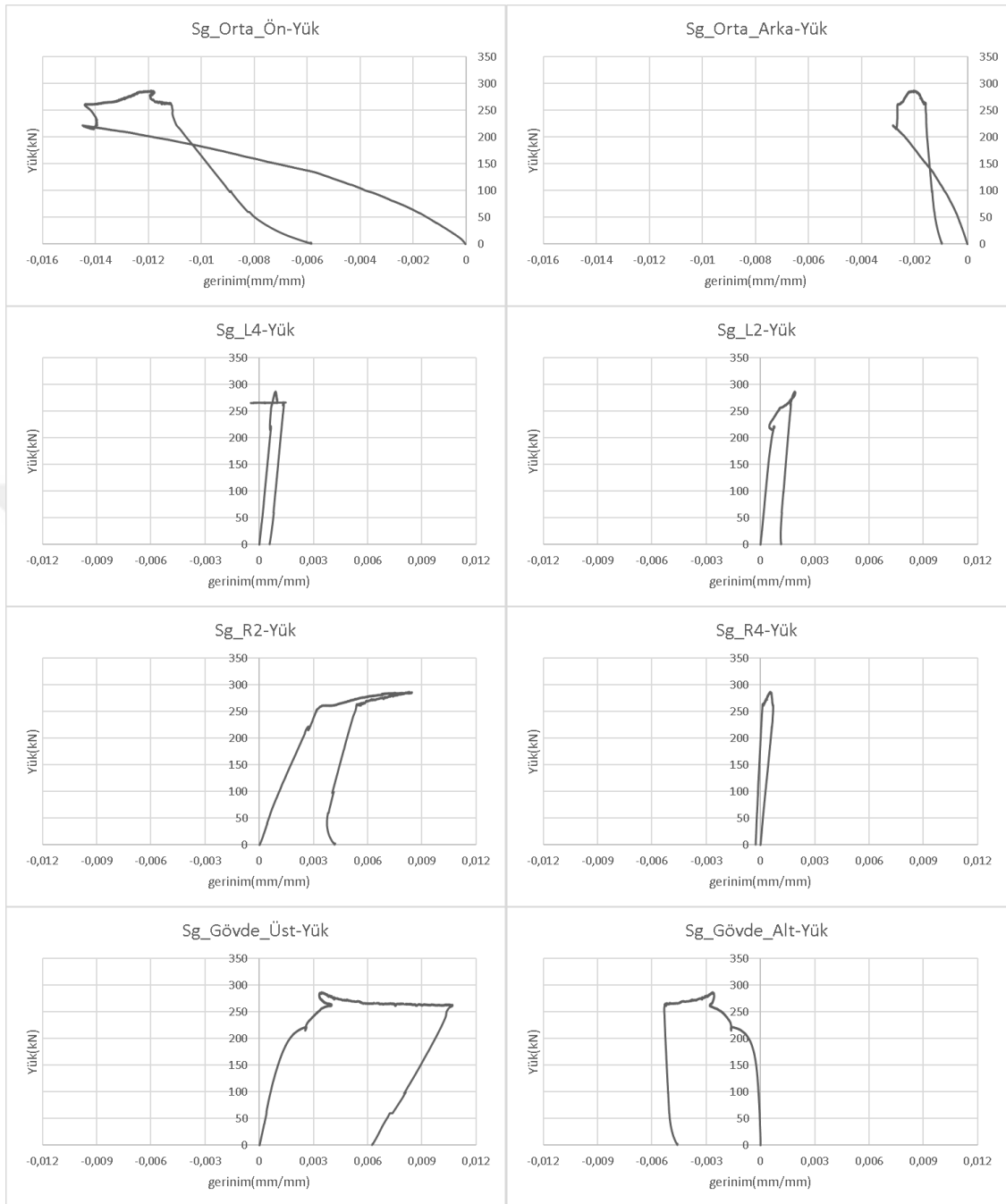


Şekil 3.70. Tip2-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafik incelendiğinde, maksimum moment değeri 92,29 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,05038 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 19,85 m olarak hesaplanmıştır. Referans numune ile kıyaslandığında, maksimum moment değeri %50,19 artış görülmüştür. Tip2-500 numunesi ile karşılaştırıldığında ise maksimum moment değerinde %8,78, buna karşılık gelen eğrilik değerinde ise %43,00 oranında azalma görülmüştür.

### 3.3.6. Gerinim Verileri

Tip2-250 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer (Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi (loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.71. Tip2-250 numunesi yük-gerinim grafikleri

Tip2-250 numunesine ait strain gauge grafikleri incelendiğinde, numunenin gövdeye yapıştırılan pullarından alınan gerinim değeri, flanşlardan alınan gerinim değerlerinden düşük olduğu görülmektedir.

Gövdenin farklı yerlerinden alınan gerinim değerleri Tip2-250 numunesi için karşılaştırılarak incelendiğinde kirişten alınan R4,L4 okumaları R2, L2 ve gövde okumalarına kıyasla daha az gerinim değerine ulaşmıştır. Bunun sebebi gövdedeki şekil

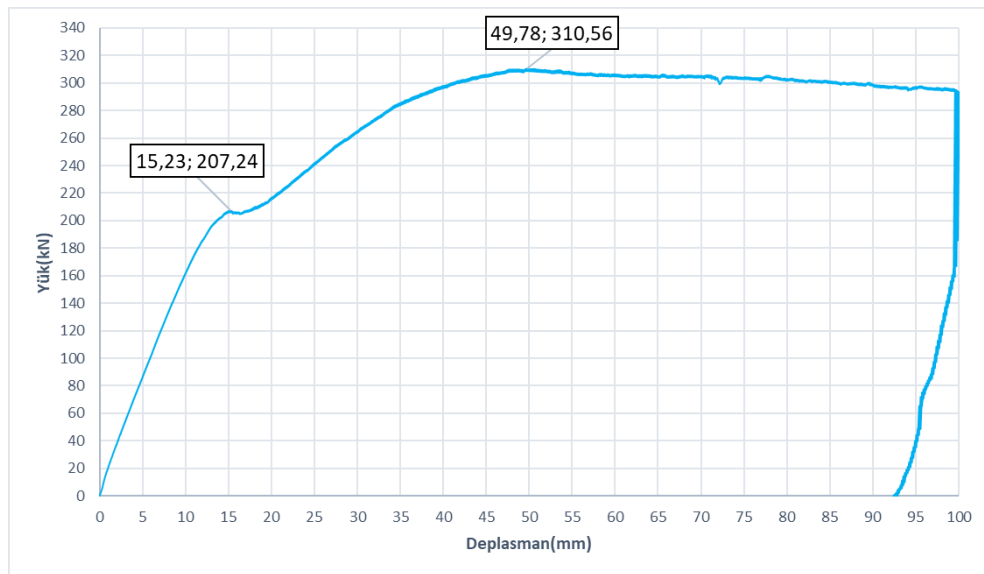
değiştirmelerin berkitme levhaları sayesinde sınırlandırılması ve fotoğraflardan da görüleceği üzere buruşmanın ve lokal burkulmaların R2, gövde ve L2 okumalarının alındığı bölgede yoğunluklu olarak gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. R1, R2 sektörler arasındaki berkitme levhalarında simetriğine göre çok daha büyük mertebede deformasyonlar görüldüğü için R2, L2 grafiklerindeki farktan da görüldüğü üzere R2 gerinim pulunda daha yüksek değerler ölçülmüştür.

R1 sektör alt başlık üzerine yerleştirilen orta ön ve orta arka gerinim okumaları incelendiğinde aralarında bu kadar gerinim farkı olması anlamlı değildir. Tahminen orta arka strain gage okumasında deney ölçüm aletlerinden ve bağlantılarından kaynaklı bazı deneylerde bir hata söz konusu olabilir. Buna rağmen Şekil değiştirme eğri karakterinin görülebilmesi, karşılaştırılabilmesi için grafiği çıkarılmamıştır. Bu ölçümlerden görüldüğü üzere akma noktasına kadar çekme yönünde gerinim değerleri artarak devam etmiş sonrasında grafiklerde bozulma gözlenmiş ve bir miktar geri dönüş olmuştur.

### 3.7. Tip3-500 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

#### 3.7.1. Yük-Sehim İlişkisi

Tip3-500 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd't ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.72. de verilmiştir.



Şekil 3.72. Tip3-500 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

Tip3-500 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 207,24 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 15,23 mm olarak görülmüştür. Nihai yük dayanımı 310,56 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen sehim değeri 49,78 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma değerinde %8,40, nihai yük taşıma kapasitesinde %62,44 artış görülmüştür.

### 3.7.2. Deformasyon Durumu

Tip3-500 kiriş deneyi sırasında, 1,3 cm deplasman 195 kN yük seviyesine kadar belirgin deformasyon gözlenmedi. Bu seviyede basınç başlığında M, R1 ve L1 sektörlerinde deformasyon başlangıçları görülmüştür. Bu burkulmalar front yönünde yukarı yönlü back tarafında aşağı yönlü olarak görülmüştür. M sektöründeki deformasyon diğer sektörlerden daha belirgin haldedir. 207 kN yük 1,5 cm kriko deplasman seviyesinde numunede akma davranışı gözlenmiş bir süre yük almadan deplasman yapmaya devam etmiştir. Bu seviyede M sektörü gövdesinde back yönlü kabarma görülmüştür. 5 cm deplasman seviyesinde çekme flanşında back yönlü dönme hareketi gözlenmiştir. 5,5 cm deplasman seviyesinde L1 sektörü düşeyde 3. çizgi ile yatayda L1-M sektör birleşimi berkitmeler arası hat(yatayda 2.çizgi) doğrultulu front yönlü gövde buruşması gözlenmiştir. Simetriği R1 gövdesinde de deformasyon oluşumu görülmüş fakat aynı yapıda ve derecede değildir. M sektörü gövdesinde yatayda alt flanş ile 2. çizgi arasında düşeyde 1. çizgi ile M-L1 sektör birleşim berkitmeleri arasında ve üst flanş ile berkitmeler arasına aynı şekilde simetrik oluşan front yönlü buruşma görülmüştür. M sektör gövdesi solunda oluşan bu buruşma mekanizması simetriği olan sağ bölgede aynı düzeyde değildir. 7,5 cm deplasman seviyesinde R1 sektörü alt başlığında düşeyde 1. hatta aşağı yönlü deformasyon görülmüştür. Diğer deformasyonlarda en fazla M sektörü olmak üzere artış gözlenmiştir. R2, R3, L2, L3 sektörlerinde deney sırasında mesnet üst flanş deformasyonu haricinde belirgin deformasyon görülmemiştir. Deney sırasında kiriş üst flanşında back yönlü hafif mertebede ötelenme hareketi görülmüştür. Diğer tip numunelerden bariz bir şekilde farklı olarak üst flanş dönmesi gerçekleşmiştir. Deney sonlarında doğru numunede yükleme ekseninde saat yönü tersine burulma hareketi görülmüştür.



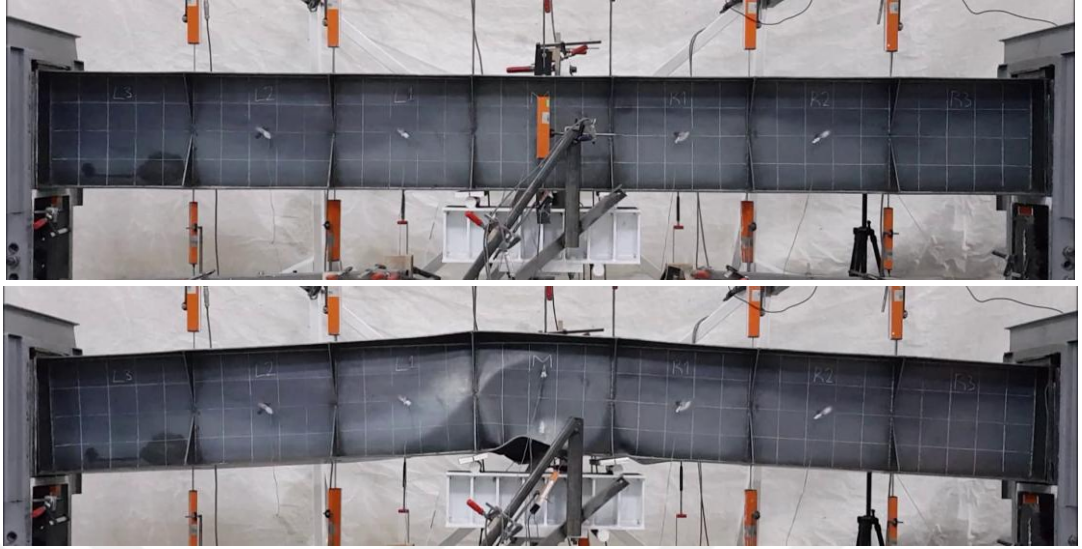
Şekil 3.73. Tip3-500 kirişi deney öncesi fotoğrafı(ön taraf)



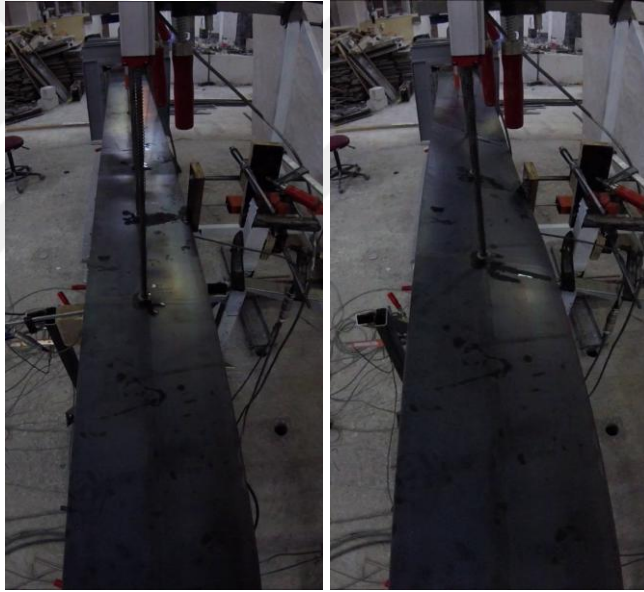
Şekil 3.74. Tip3-500 kirişi deney öncesi fotoğrafları



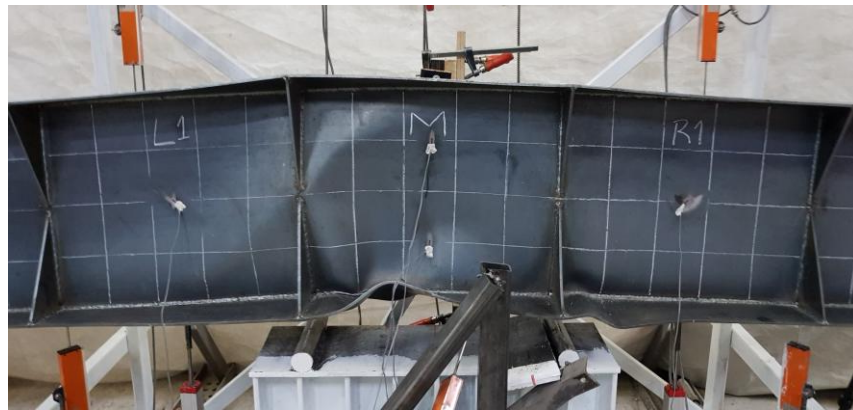
Şekil 3.75. Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı)



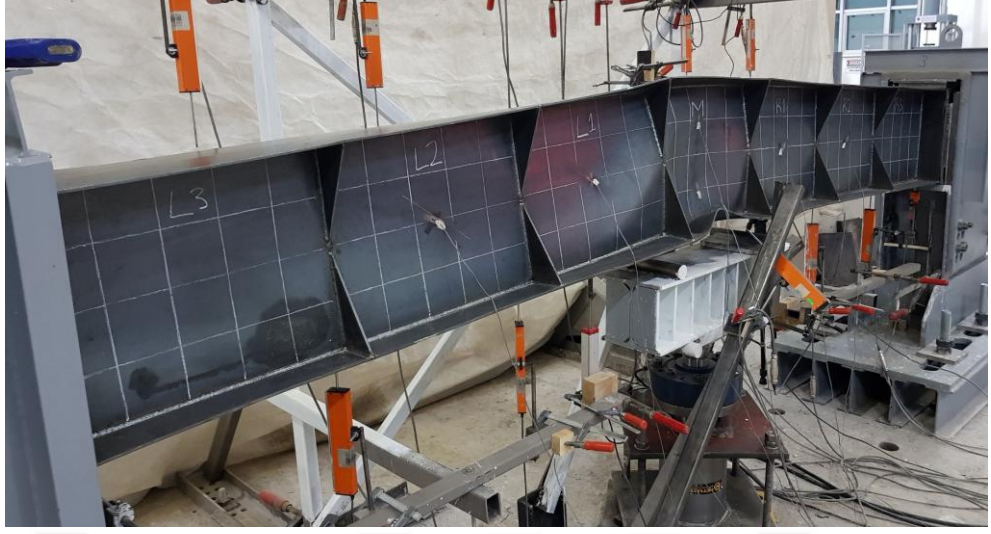
Şekil 3.76. Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı)



Şekil 3.77. Tip3-500 kirişi deney öncesi ve sonu(üst tarafı)



Şekil 3.78. Tip3-500 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.79. Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (ön tarafı)



Şekil 3.80. Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (arka tarafı)

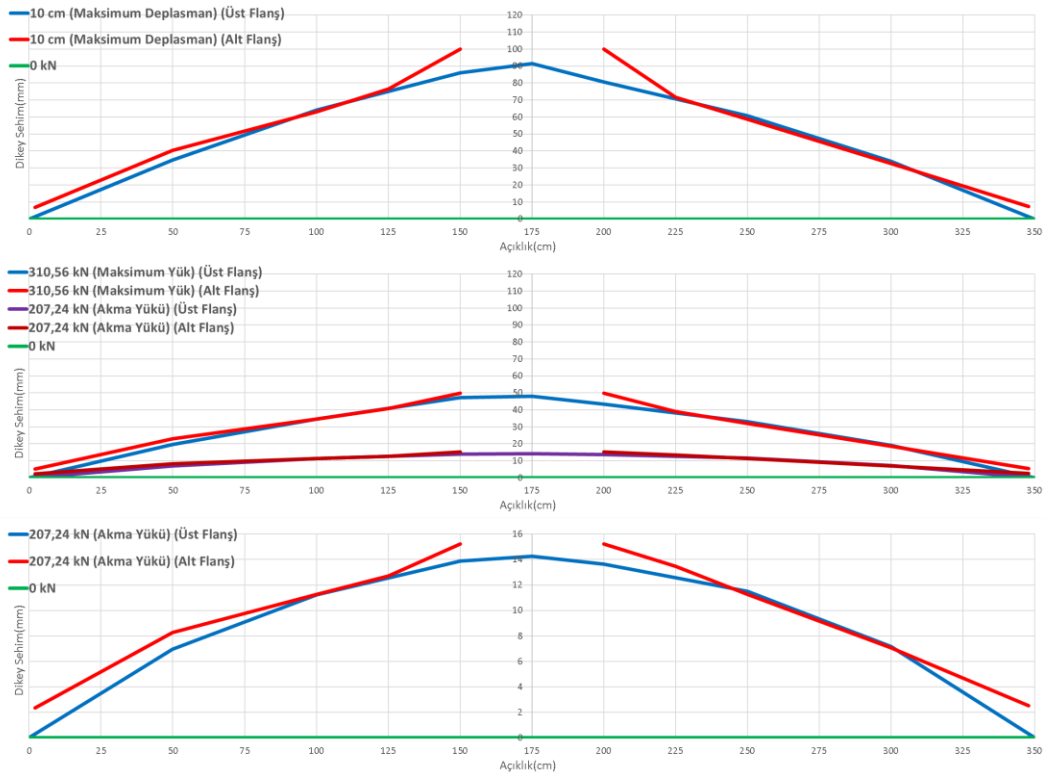


Şekil 3.81. Tip3-500 kirişi deney sonrası görüntüsü (üst tarafı)

Deney sonucunda yapılan ölçüm ve gözlemlerde, mesnet alt başlık sonlarında 2-2,5 cm mertebesinde kayma gerçekleştiği görülmüştür. Üst flanş mesnetlerde kayma gözlenmemiştir. Mesnet alt başlıklarda kalkma görülmüştür. Üst flanşta diğer tip numunelerden farklı olarak bariz bir mertebede back yönünde dönme gözlenmiştir. Üst başlıkta back yönüne doğru hafif düzeyde ötelenme hareketi gerçekleşmiştir. L2,L3,R2,R3 sektörlerinde belirgin düzeyde deformasyon gözlenmemiştir. Üst flanşların mesnetlere yakın kısımlarında deformasyon görülmüştür. L1 sektörü gövdesinde alt ortadan başlayıp M sektörü gövdesi üst ortaya kadar devam eden maksimum 3,5cm mertebesinde front yönlü buruşma gerçekleşmiştir. Simetrik R1 sektöründe ise M-R1 birleşimi alt flanşta R1 sektörüne doğru 10cm'den R1-M birleşimi ortası doğrultusunda maksimum 2cm mertebesinde front yönlü gövde buruşması gözlenmiştir.(L1-R1 deformasyonları simetrik değil) M sektörü gövdede maksimum 4,5cm mertebesinde back yönlü buruşma görülmüştür. M sektörü gövdesinde sol taraftaki deformasyon sağ tarafa göre daha belirgin olarak gözlenmiştir. M sektörü front yönünde alt flanşta ortadan 10 cm solda yukarı yönlü 5,5cm mertebesinde lokal burkulma gözlenmiştir. M sektörü back yönünde ise alt flanş ortasından M-L1 birleşimine kadar maksimum 2,5cm mertebesinde dalgalı deformasyon gözlenmiştir. R1 sektörü front yönünde alt flanşta M-R1 birleşimi 10 cm sağında aşağı yönlü 2cm mertebesinde burkulma gerçekleşmiştir. R1 sektörü alt flanş back yönünde ise aynı hizada 0,5cm mertebesinde yukarı doğru deformasyon gözlenmiştir.

### **3.7.3. Sehim Analizi**

Tip3-500 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.81. de gösterilmiştir.



Şekil 3.82. Tip3-500 kiriş numunesi sehim grafikleri

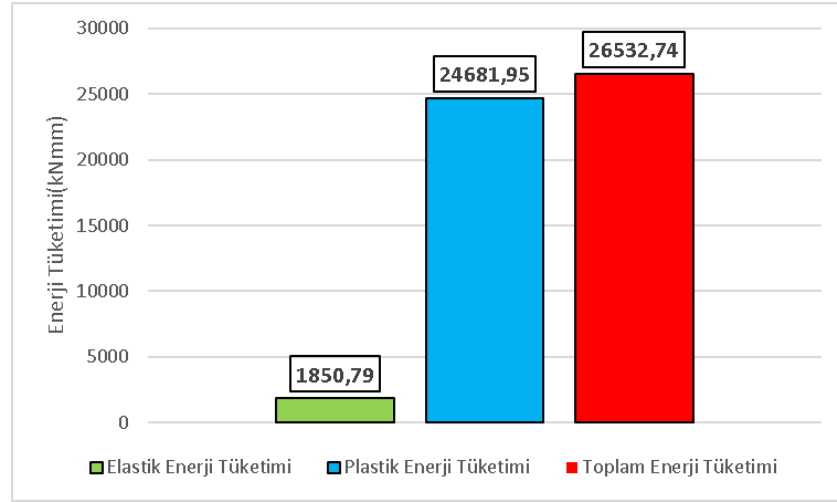
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 15,23 mm, üst flanşta bulunan orta potansiyometreden 14,25 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 49,78 mm, orta potansiyometreden 48,09 mm düşey deplasman verileri alınmıştır. Orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip3-500 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla %32,43 ve %346,89 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvdt verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

#### 3.7.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip3-500 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

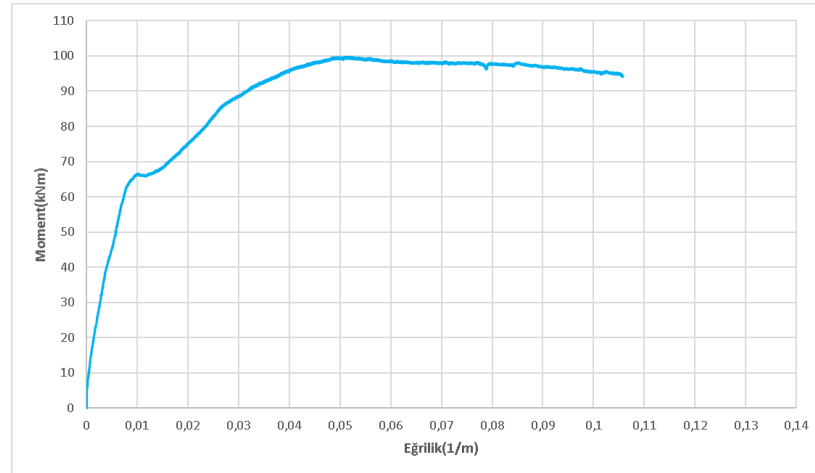


Şekil 3.83. Tip3-500 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %44,87, plastik enerji tüketiminde %72,14 ve toplam enerji tüketiminde ise %69,91 oranında artış görülmüştür.

### 3.7.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip3-500 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

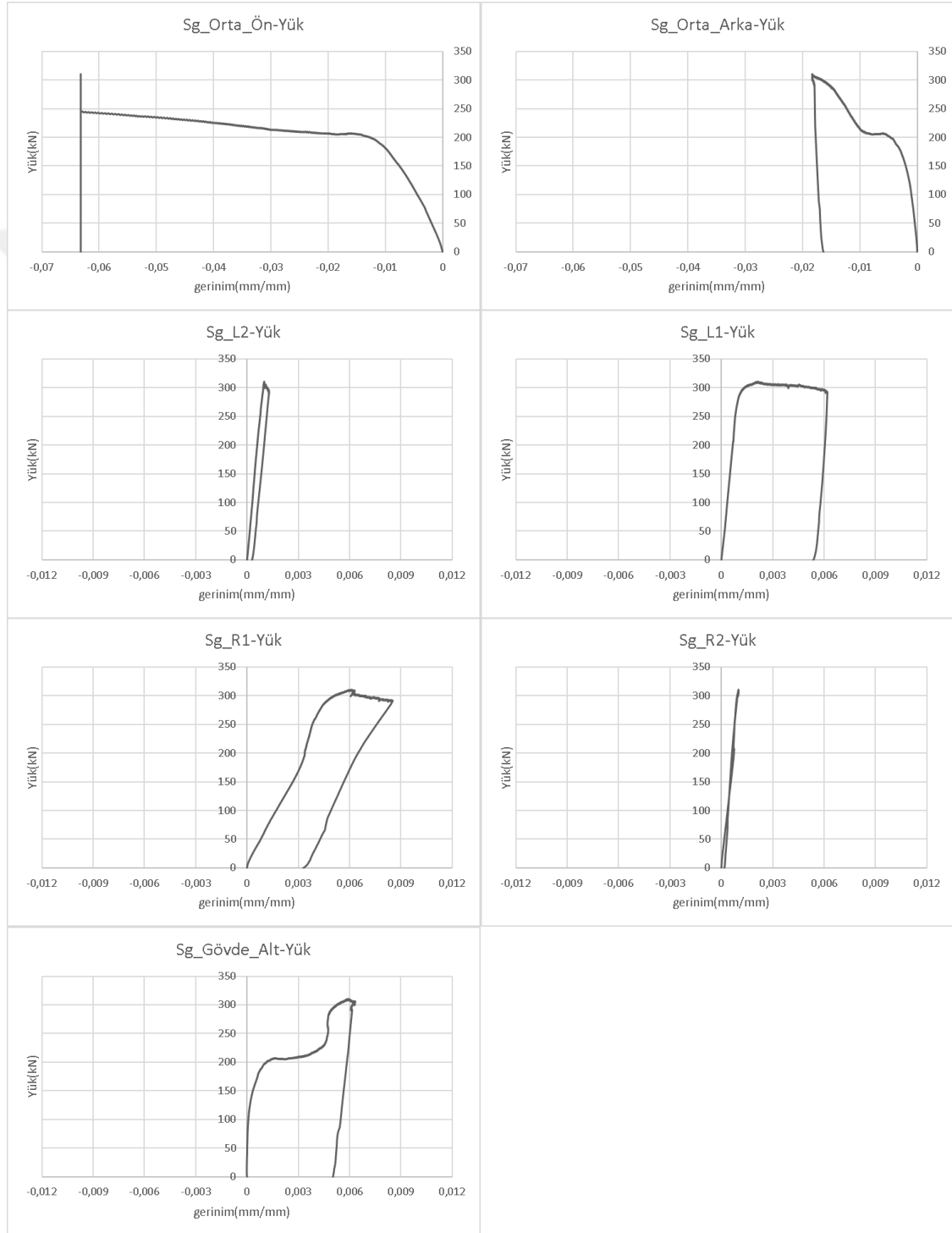


Şekil 3.84. Tip3-500 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 99,82 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,05117 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 19,54 m olarak hesaplanmıştır. Referans numune ile kıyaslandığında maksimum moment değeri %62,45 artış göstermiştir.

### 3.7.6 Gerinim Verileri

Tip3-500 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer(Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi(loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.85. Tip3-500 numunesi yük-gerinim grafikleri

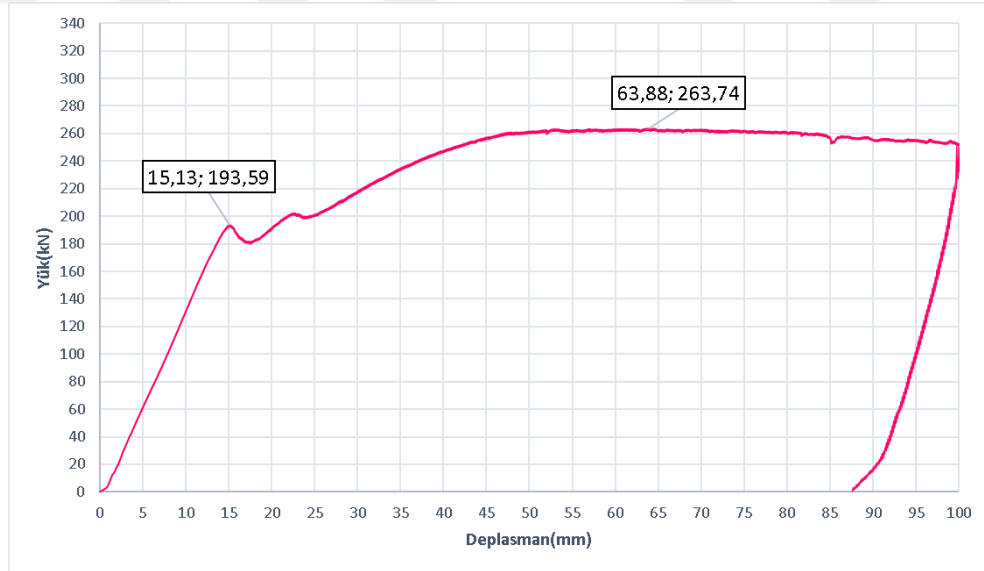
Tip3-500 numunesine ait strain gage grafikleri incelendiğinde, R1, L1 ve gövdede alınan ölçüm değerlerinin deformasyonlar bu bölgede olduğu için R2 ve L2 sektörlerinden daha yüksek mertebelerde olduğu görülmektedir. Tüm grafiklerde tek yönlü bir gerinim durumu görülmüş eğrilerde dönüş olmamıştır.

Orta ön ve orta arka grafiklerinde görülen gerinim değerlerindeki fark anlamlı değildir. Orta arka strain gage okumasında deney ölçüm aletleri ve bağlantılarından kaynaklı ölçüm hatası olabilir. Yük-gerinim eğri karakteristiğinin görülebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için eklenmiştir.

### 3.8. Tip3-250 Kiriş Numunesi Deney Bulguları ve Analizi

#### 3.8.1. Yük-Sehim İlişkisi

Tip3-250 test numunesi için yük hücresi ve kriko lvd't ölçümlerinden alınan verilerle oluşturulan yük-açıklık ortası düşey sehim eğrisi Şekil 3.85. de verilmiştir.



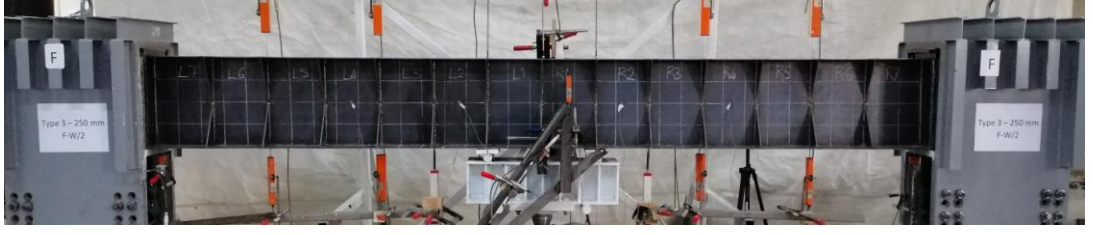
Şekil 3.86. Tip3-250 numunesi açıklık ortası yük-sehim grafiği

Tip3-250 kiriş numunesi için açıklık ortası yük sehim grafiğine bakıldığında, akma dayanımı 193,59 kN ve buna karşılık gelen sehim değeri 15,13 mm olarak görülmüştür. Nihai yük dayanımı 263,74 kN yük altında meydana gelmiştir ve buna karşılık gelen sehim değeri 63,88 mm olarak ölçülmüştür. Referans numune ile kıyaslandığında, akma

değerinde %1,26, nihai yük taşıma kapasitesinde %37,95 artış görülmüştür. Berkitme aralıkları 500 mm olan aynı tip berkitmeli Tip3-500 kirişi ile kıyaslandığında, akma dayanımında %6,59, nihai yük değerinde %15,08 azalma tespit edilmiştir.

### 3.8.2 Deformasyon Durumu

Tip3-250 kiriş numunesinde deney esnasında yapılan gözlemlerde, 1,4 cm kriko deplasman, 185 kN yük seviyesine kadar belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Bu seviyede R2 ve L2 sektörleri basınç başlığında deformasyon başlangıcı görülmüştür.(R2deki deformasyon daha belirgin) R2 alt flanş front tarafı aşağı yönlü back tarafı yukarı yönlü şekil değiştirme göstermiştir. 1,5 cm deplasman 193 kN yük seviyesinde kirişte akma durumu görülmüş ve deplasman artarken yükte düşüş gözlenmiştir. Bu seviyede R2 sektöründe front yönlü gövde buruşması görülmüştür. Akma sahanlığı geçildikten sonra numune tekrar yük almaya başlamıştır. Yükleme plakaları arasında kalan R1 ve L1 sektöründe gövdede ve alt başlıkta hafif deformasyonlar gözlenmiştir. 2 cm deplasman seviyesinde L2 sektörü alt flanş ortasında yukarı yönlü burkulma başlangıcı görülmüştür. Bu deformasyonun devamında L2 gövdesinde 3. yatay çizgi ve basınç başlığı arasında back yönlü buruşma gerçekleşti. 2,5 cm deplasman seviyesinden itibaren deney sonuna kadar yükleme ekseninde kiriş saat yönüne doğru burulma hareketi gerçekleştirmiştir. Deplasman seviyesi 4 cm seviyesinde iken R2 sektör gövdesinde başlayan deformasyon berkitmeler arası doğrultuda R1 hattında devam ettiği görülmüştür. Üst flanşta L tarafı front yönüne, R tarafı back yönüne dönme eğiliminde olduğu görülmüştür. R2 sektörü back tarafı ile L2 sektörü front tarafındaki başlık deformasyonları simetrik şekilde ilerlemiştir. Kiriş burulma hareketine bağlı deformasyon alt flanşta görülmüş üst flanş ekseninde belirgin değişim gerçekleşmemiştir. Deney sırasında mesnetlerde yükleme artışıyla orantılı olarak alt flanşlarda kalkma ve kayma hareketleri gözlenmiştir.



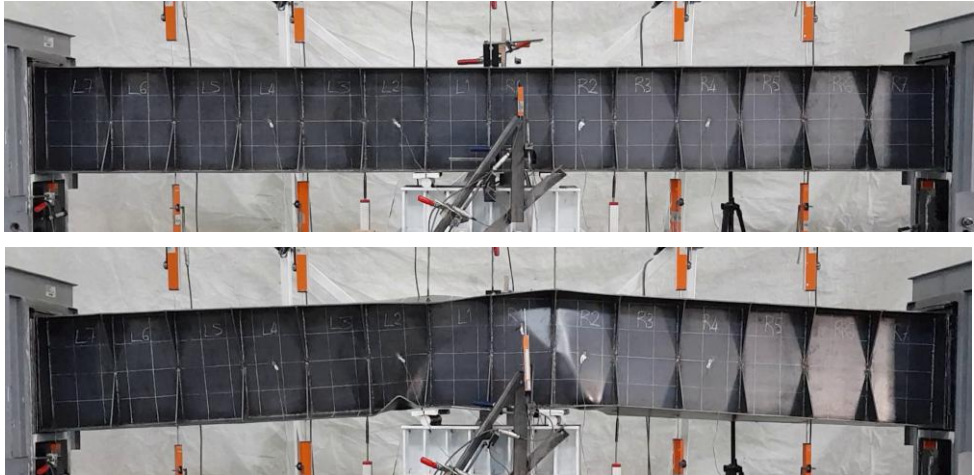
Şekil 3.87. Tip3-250 kirişi deney öncesi fotoğrafı



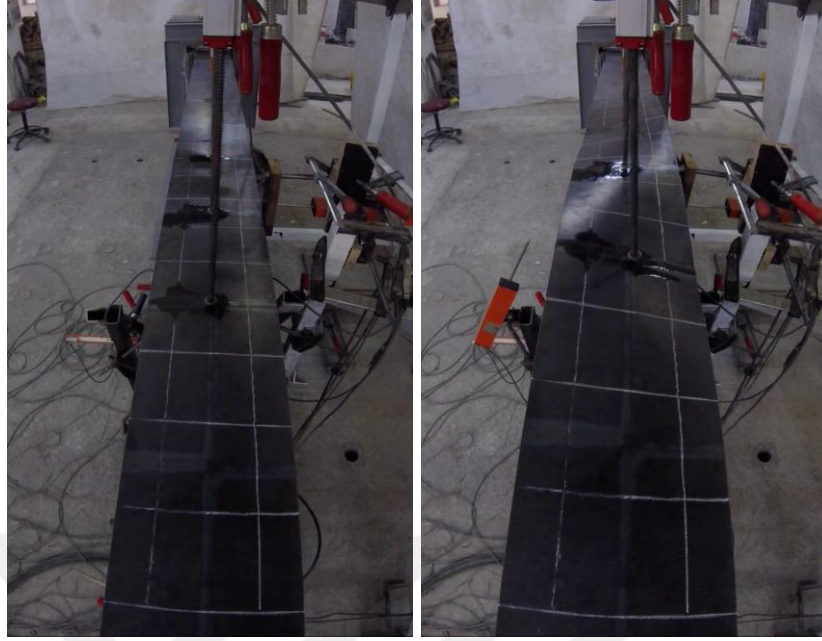
Şekil 3.88. Tip3-250 kirişi deney öncesi fotoğrafları



Şekil 3.89. Tip3-250 kirişi deney öncesi ve sonrası(arka tarafı)



Şekil 3.90. Tip3-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(ön tarafı)



Şekil 3.91. Tip3-250 Kirişi deney öncesi ve sonrası(üst tarafı)



Şekil 3.92. Tip3-250 Kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(ön tarafı)



Şekil 3.93. Tip3-250 kirişi deney sonrası deformasyon görüntüsü(arka tarafı)



Şekil 3.94. Tip3-250 kirişi deney sonrası görüntüsü(ön tarafı)

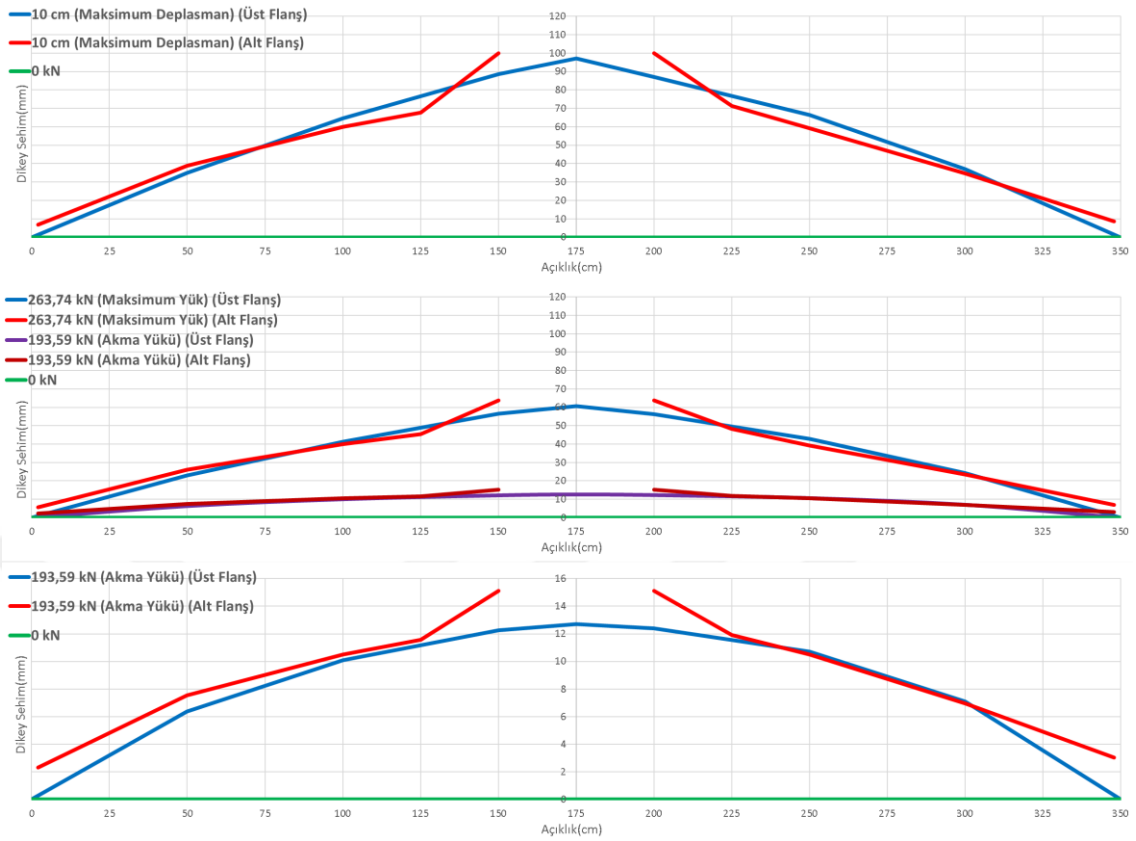


Şekil 3.95. Tip3-250 kirişi deney sonrası görüntüsü(mesnet)

Deney sonucunda yapılan ölçüm ve gözlemlerde, mesnet sonu alt flanşlarda kayma gözlenmiştir.(2-2,5cm mertebesinde) L3,4,5,6,7 ve R3,4,5,6,7 sektörlerinde belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Yükleme kirişi saat yönünde döndüğü ve kirişin yükleme ekseninde burulduğu görülmüştür. L2,R2 sektörlerinde büyük deformasyon gözlenmiştir. Üst flanşta sağda back yönlü solda front yönlü dönme gerçekleşmiştir. L2 sektörü gövdesinde sektör alt ortadan başlayıp L1 gövde üst ortaya doğru 2cm mertebesinde back yönlü buruşma gözlenmiştir. R2 sektörüne simetriği oluşmuştur.(front yönlü 3cm mertebesinde buruşma) L2 front tarafında alt flanş ortasında 5cm mertebesinde yukarı doğru burkulma gerçekleşmiştir. L2 alt flanş back tarafında ise hafif deformasyon gözlenmiştir. R2 back tarafında alt flanş ortasında 6cm mertebesinde yukarı yönlü burkulma görülmüştür. R2 alt flanş front tarafında ise hafif düzeyde deformasyon gözlenmiştir. L1-R1 sektörlerinde hafif düzeyde deformasyon gözlenmiştir. Üst flanş mesnetlerinde deformasyon sağ üst flanşta daha belirgin olarak gerçekleşmiştir. Açıklık berkitmelerinde belirgin deformasyon gözlenmemiştir.

### 3.8.3. Sehim Analizi

Tip3-250 kiriş numunesinde açıklıktaki farklı noktalardan alınan ölçüm verileri ile oluşturulan sehim grafikleri Şekil 3.95. de gösterilmiştir.



Şekil 3.96. Tip3-250 kiriş numunesi sehim grafikleri

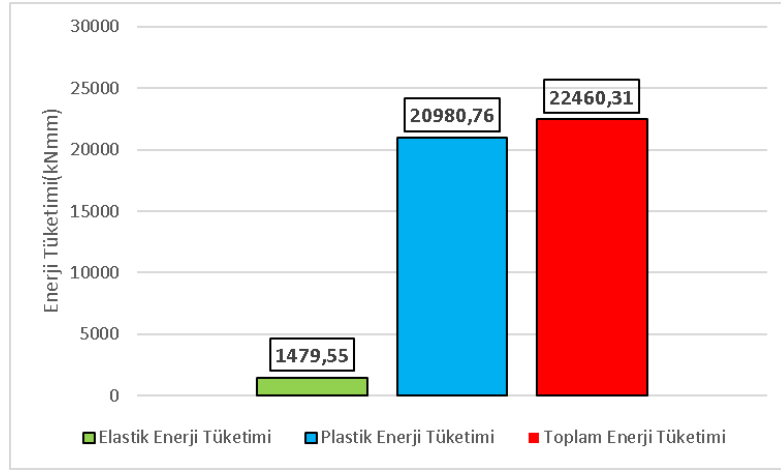
Kiriş akma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 15,13 mm, üst flanşta bulunan orta potansiyometreden 12,71 mm düşey deplasman değerleri ölçülmüştür.

Nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında kriko saatinden 63,88 mm, orta potansiyometreden 60,60 mm düşey deplasman verileri alınmıştır. Orta potansiyometre verilerine göre kıyas yapıldığında Tip3-250 kirişinin akma ve nihai kapasitesindeki sehim değeri Referans kirişe kıyasla sırasıyla %18,17 ve %463,21 artış göstermiştir.

Alt flanş orta bölgedeki lvdt verileri deplasmanın artmasıyla birlikte oluşan büyük şekil değiştirmelerden dolayı sağlıklı okuma alınamadığı için nihai yük ve maksimum deplasman grafiklerine dahil edilmemiştir.

### 3.8.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Tip3-250 kiriş numunesinin elastik, plastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

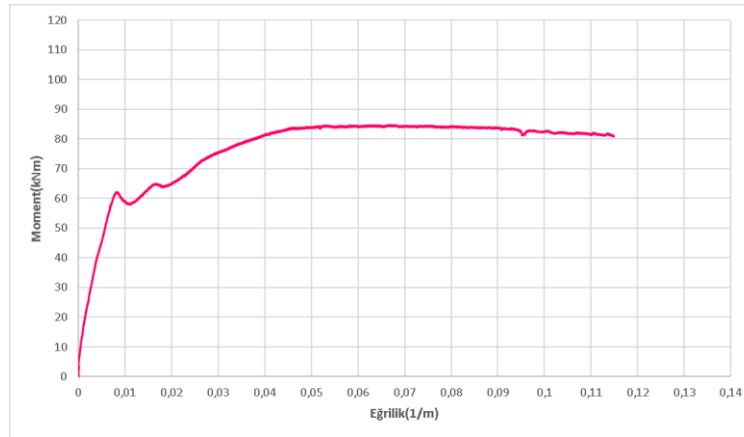


Şekil 3.97. Tip3-250 kiriş numunesi enerji tüketim değerleri

Enerji tüketim kapasiteleri Referans kirişe göre kıyaslandığında, elastik enerji tüketiminde %15,81, plastik enerji tüketiminde %46,33 ve toplam enerji tüketiminde ise %43,83 oranında artış görülmüştür. Aynı tipteki diğer kiriş numunesi Tip3-500 ile kıyaslandığında elastik enerji tüketiminde %20,06, plastik enerji tüketiminde %15,00 ve toplam enerji tüketiminde ise %15,35 oranında azalma görülmüştür.

### 3.8.5. Moment Eğrilik İlişkisi

Tip3-250 numunesi moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



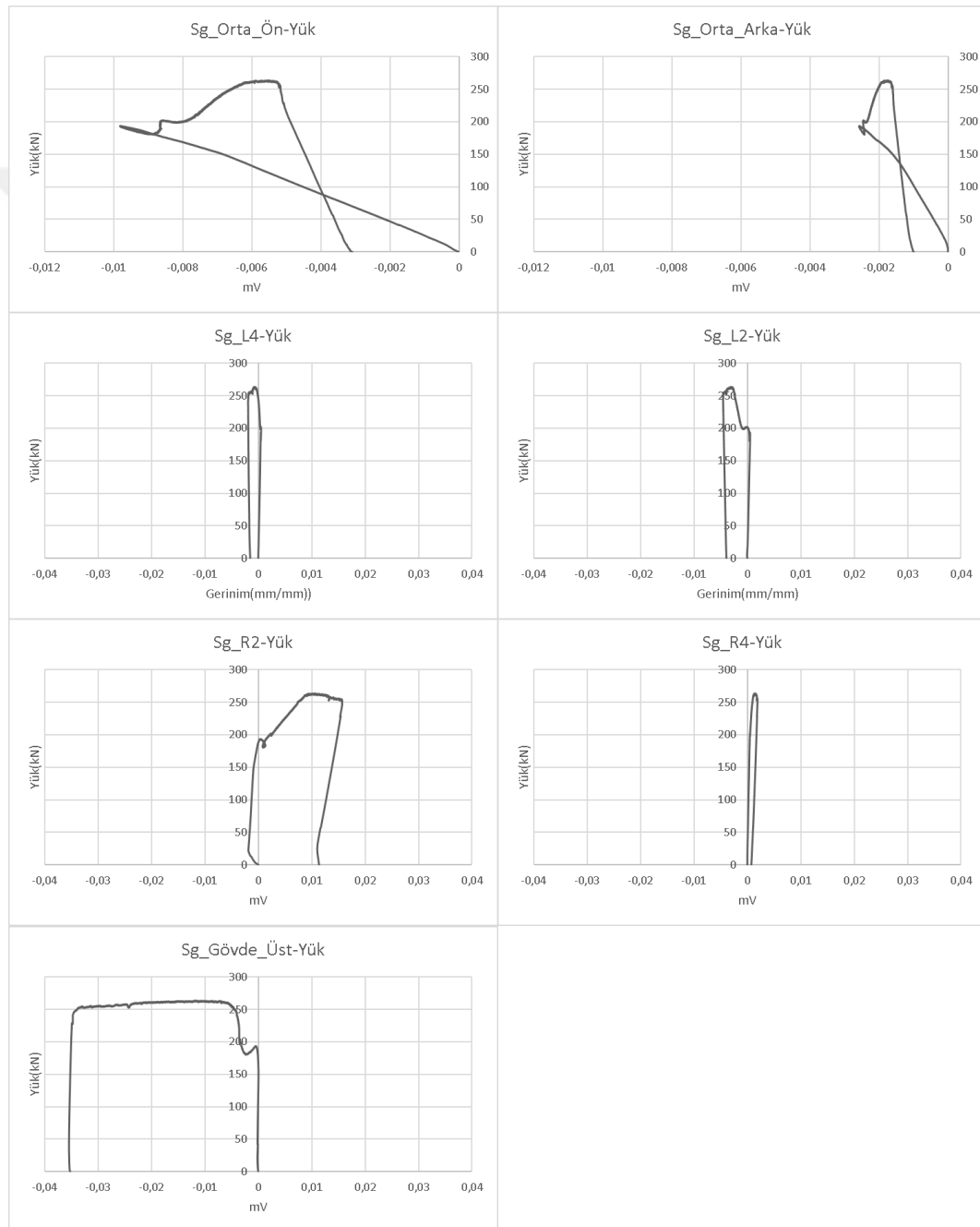
Şekil 3.98. Tip3-250 kiriş numunesi moment eğrilik grafiği

Grafiğe bakıldığında, maksimum moment değeri 84,77 kNm olarak görülmektedir. Maksimum momente karşılık 0,06702 1/m eğrilik değeri tespit edilmiş ve maksimum değerlerin görüldüğü anda elemana ait eğrilik yarıçapı 14,92 m olarak hesaplanmıştır. Referans kiriş ile kıyaslandığında, maksimum moment %37,96 artış göstermiştir. Aynı tipte bulunan 50cm berkitme aralıklı Tip3-500 numunesi ile karşılaştırıldığında

maksimum momentte %15,08 azalma görülmüş olup maksimum momente karşılık gelen eğrilik değerleri ile kıyaslandığında %30,96 oranında artış olmuştur.

### 3.8.6. Gerinim Verileri

Tip3-250 test kirişinin farklı noktalarından gerinim ölçer(Strain gauge) pullarla alınan gerinim verileri ve yük hücresi(loadcell)den alınan yük değerleri ile oluşturulan yük gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.99. Tip3-250 numunesi yük-gerinim grafikleri

Tip3-250 numunesine ait strain gauge grafikleri incelendiğinde, numune üzerindeki gövdeye yapıştırılan pullardan alınan gerinim değeri, flanşlardan alınan gerinim değerlerinden düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. R2 sektöründen alınan gerinim değerleri simetriği olan L2 sektörüne kıyasla deformasyonların fazla görülmesinden dolayı daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

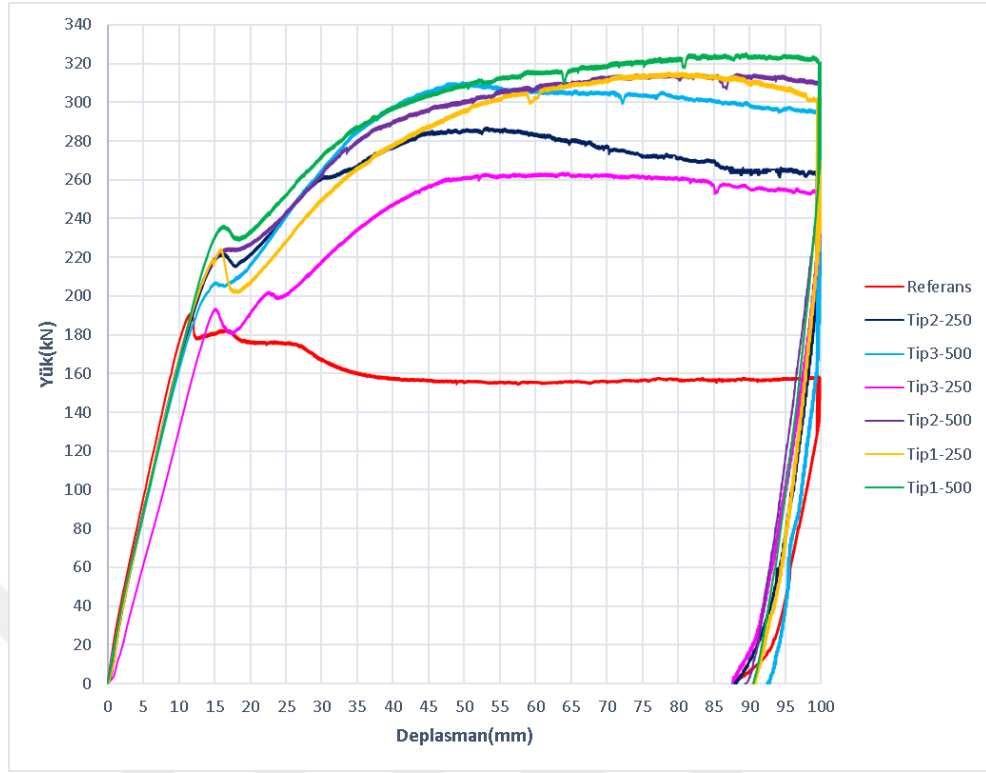
Gövdenin farklı yerlerinden alınan gerinim değerleri Tip3-250 numunesi için karşılaştırılarak incelendiğinde kirişten alınan R4,L4 okumaları R2, L2 ve gövde okumalarına kıyasla daha az gerinim değerine ulaşmıştır. Bunun sebebi fotoğraflardan da görüleceği üzere buruşmanın ve lokal burkulmaların R2, L2 bölgelerinde yoğunluklu olarak gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Gövde gerinim değerlerinde tek yönlü bir gerinim durumu gerçekleşmiş eğrilerde dönüş olmamıştır.

Orta ön ve orta arka gerinim okumaları incelendiğinde aralarında bu kadar gerinim farkı olması anlamlı değildir. Tahminen orta arka strain gage okumasında deney ölçüm aletlerinden ve bağlantılarından kaynaklı hatalı ölçüm söz konusu olabilir. Buna rağmen şekil değiştirme eğri karakterinin görülebilmesi, karşılaştırılabilmesi için grafiği çıkarılmamıştır.

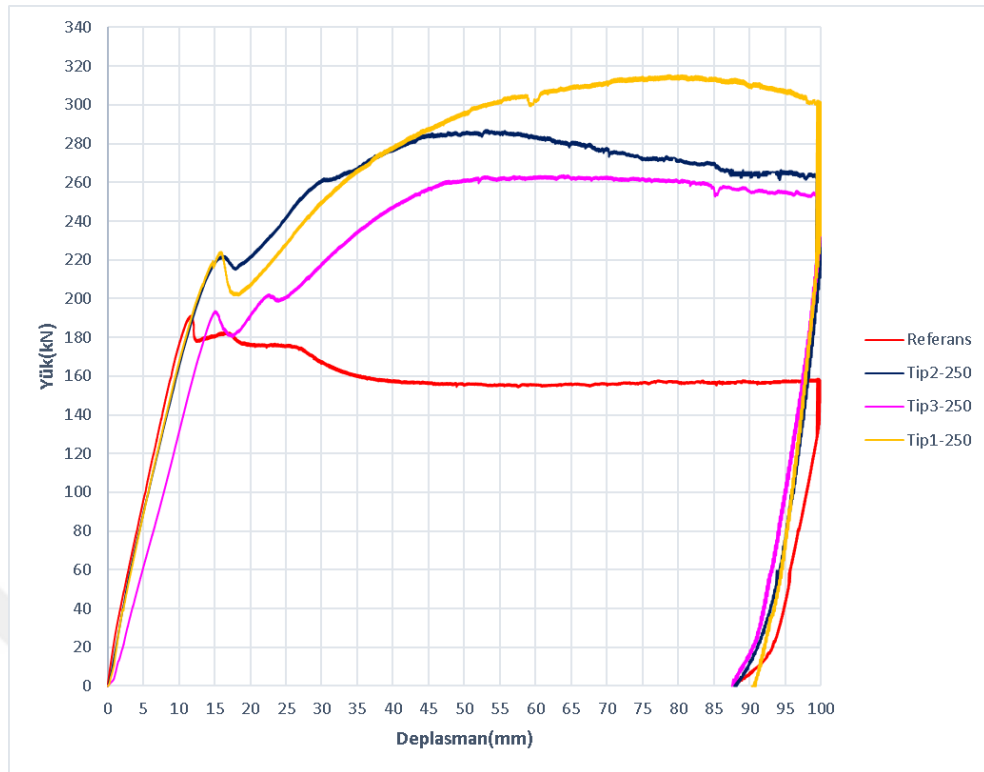
### **3.9. Karşılaştırmalı Test Bulguları ve Analizi**

#### **3.9.1. Yük-Sehim İlişkileri**

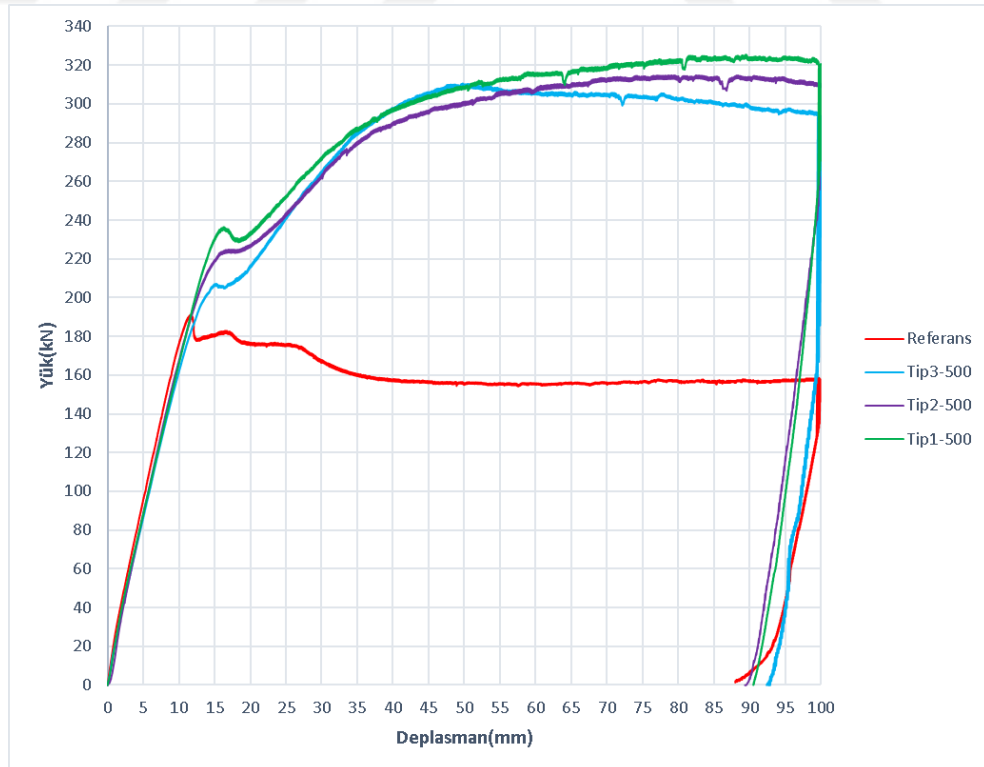
Test kiriş numunelerinin tamamının, aynı berkitme açıklığında farklı tipte olan kirişlerin ve aynı tipte farklı berkitme açıklığı olan kirişlerin ayrı ayrı açıklık ortası yük-dikey sehim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



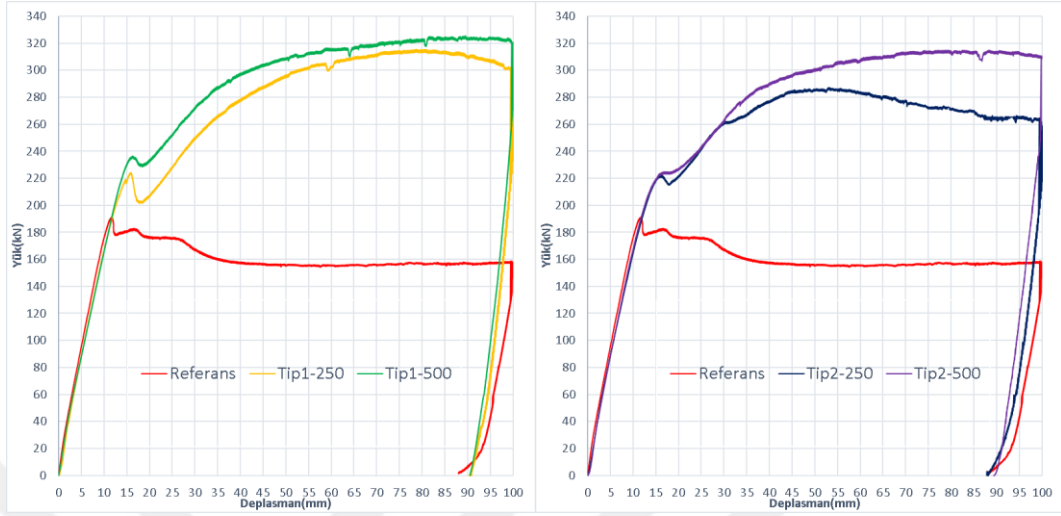
Şekil 3.100. Tüm test numuneleri açıklık ortası yük-sehim grafiği



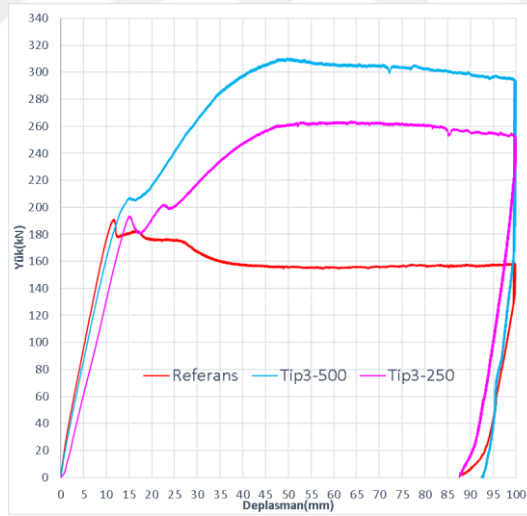
Şekil 3.101. 250 mm berkitme aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehim grafiği



Şekil 3.102. 500 mm berkitme aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehim grafiği



Şekil 3.103. Aynı tip farklı aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehim grafikleri(Tip1, Tip2)



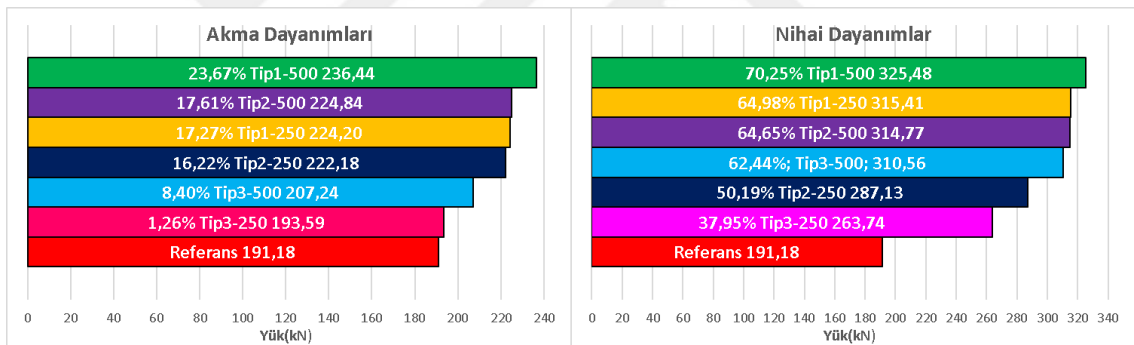
Şekil 3.104. Aynı tip farklı aralıklı test numunelerinin açıklık ortası yük-sehim grafikleri(Tip3)

Yapma kesit dolu gövdeli çelik kiriş elemanlarında farklı tip ve farklı aralıktaki berkitme elemanları ile yapılan güçlendirme testleri sonucunda, elde edilen açıklık ortası yük sehim grafikleri incelendiğinde, Referans numune 191,18 kN akma dayanımı göstermiş ve plastik bölgedeki dayanım bu değer üzerine çıkamamıştır. Tip1-500(Tam Berkitme) kirişi 236,44 kN akma dayanımı, 325,48 kN nihai dayanım kapasitesi ile en

yüksek akma ve nihai dayanım kapasitesine sahip numunedir. Tip1-500 kirişi Referans kiriş ile kıyaslandığında, %23,67 akma dayanımında, %70,25 nihai dayanımında artış görülmüştür. Yapılan kiriş güçlendirme testleri arasında en az artış 193,59 kN akma dayanımı, 263,74 kN nihai dayanım değerleri ile Tip3-250(F-W/2) kirişinde görülmüştür. Tip3-250 kirişinde Referans kirişe göre akma dayanımında %1,26 artış seviyesi ile anlamlı bir artış gerçekleşmemiş olup nihai dayanımında %37,95 artış göstermiştir.

Tüm kirişlerde kesit bazında akma ve nihai dayanım kapasiteleri mukayese edildiğinde, nihai dayanım akma dayanımına oranla çok daha fazla artış göstermiştir.

Test sonuçlarına göre akma ve nihai dayanımlara bakıldığında, 500 mm berkitme aralığına sahip kirişler 250 mm aralıklı kirişlerden her tip numune için daha yüksek kapasite ortaya koyduğu görülmüştür.



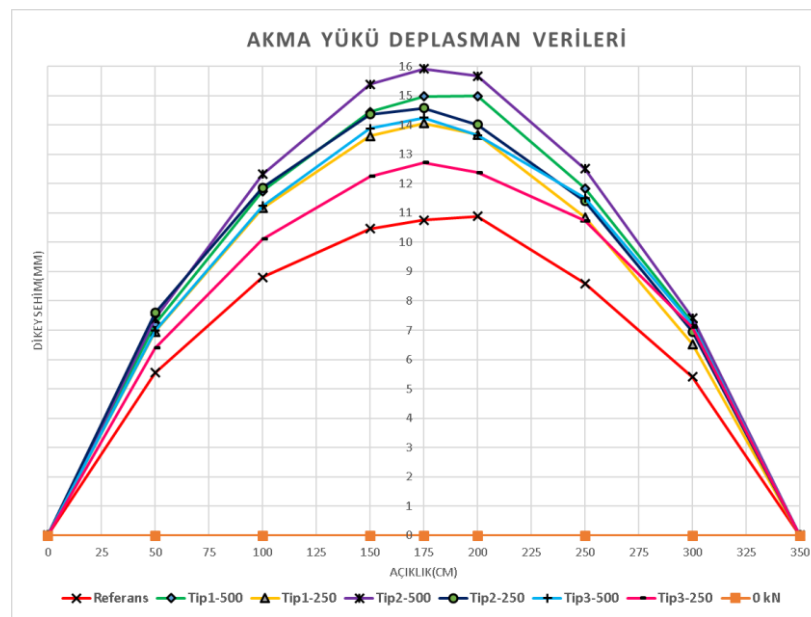
Şekil 3.105. Test numuneleri akma ve nihai dayanım grafikleri

Tablo 3.3. Test numunelerinin akma ve nihai kapasitelerindeki yüzde değişim oranları

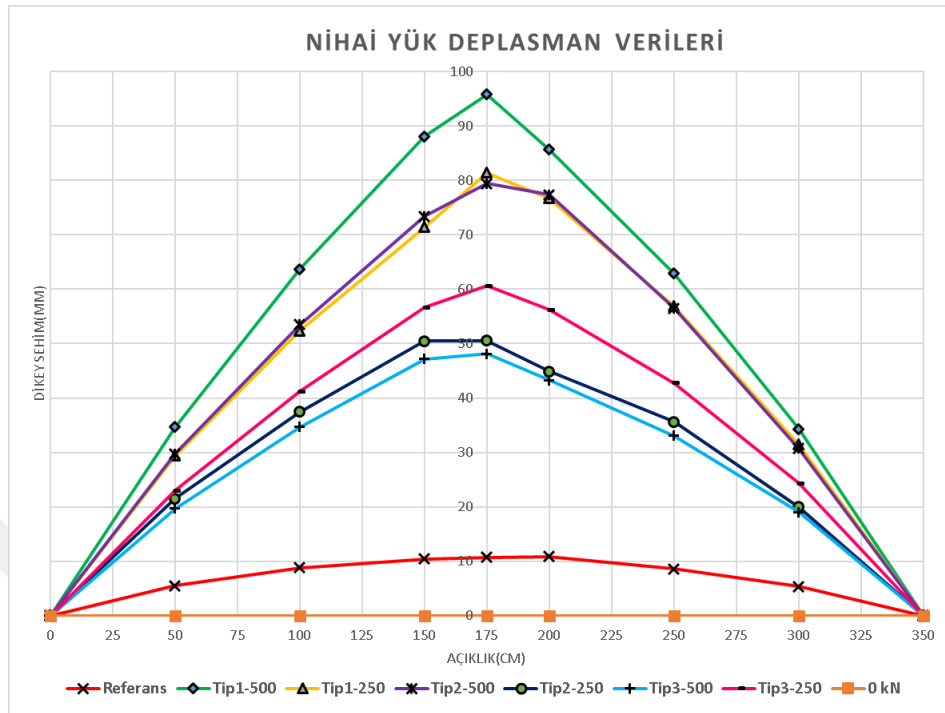
		Akma Kapasitesi Yüzde Değişim Değerleri					
Nihai Dayanım Kapasitesi Yüzde Değişim Değerleri	Referans	80,86%	85,27%	85,03%	86,05%	92,25%	98,75%
	58,74%	Tip1-500	105,46%	105,16%	106,42%	114,09%	122,13%
	60,61%	103,19%	Tip1-250	99,72%	100,91%	108,18%	115,81%
	60,74%	103,40%	100,20%	Tip2-500	101,20%	108,49%	116,14%
	66,58%	113,36%	109,85%	109,63%	Tip2-250	107,21%	114,77%
	61,56%	104,80%	101,56%	101,36%	92,46%	Tip3-500	107,05%
	72,49%	123,41%	119,59%	119,35%	108,87%	117,75%	Tip3-250

### 3.9.2. Sehım Analizi

Test numunelerinin akma ve nihai dayanım yüklerinde açıklığın farklı noktalarından alınan dikey deplasman verileri ile oluşturulan sehım grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.106. Tüm test numunelerinin akma yükünde sehım grafiği



Şekil 3.107. Tüm test numunelerinin nihai yükte sehım grafiği

Üst flanşın ortasında bulunan potansiyometrik cetvel verilerine göre rijitlik levhaları ile güçlendirilmiş tüm kirişler Referans kirişe kıyasla akma ve nihai dayanım yüklerinde daha fazla sehım değerlerine ulaşmıştır. Akma yükünde en fazla sehım artışı %47,85 ile Tip2-500 numunesinde, nihai yükte en fazla sehım artışı %789,87 ile Tip1-500 numunesinde görülmüştür. Akma yükündeki en az sehım artışı %18,17 ile Tip3-250 numunesinde, nihai yükteki en az sehım artışı %346,89 ile Tip3-500 numunesinde gözlemiştir. Numunelerin maksimum yükte ulaştıkları sehımlerin Referans kirişe göre yüzdesel değişimi aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 3.4. Referans kirişe kıyasla sehım artış yüzdeleri

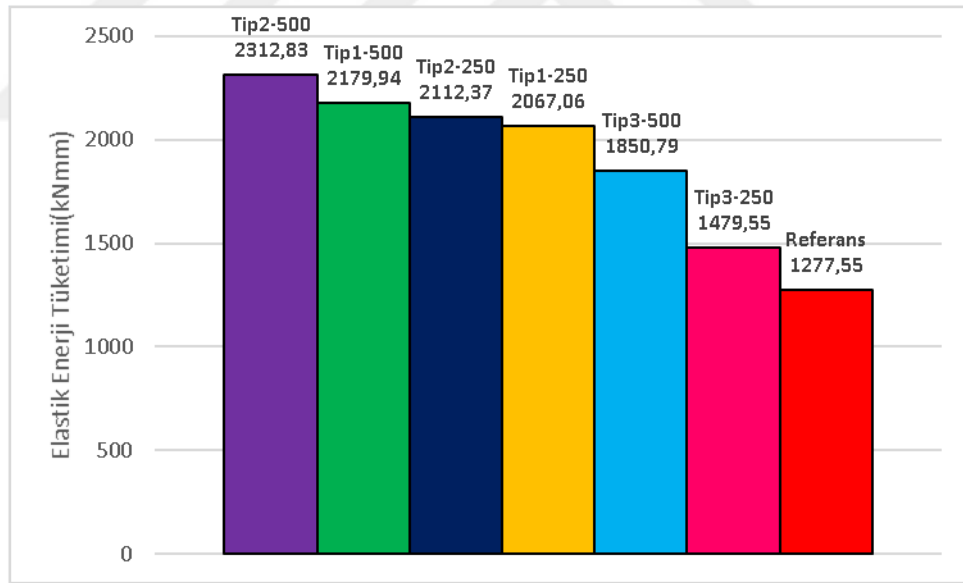
Kiriş Numuneleri	Tip1-500	Tip1-250	Tip2-500	Tip2-250	Tip3-500	Tip3-250
<b>Akma Yükündeki Sehım Artışı</b>	39,13%	30,59%	47,85%	35,42%	32,43%	18,17%
<b>Maksimum Yükteki Sehım Artışı</b>	789,87%	656,51%	638,10%	369,90%	346,89%	463,21%

Berkitme tiplerine göre kıyas yapıldığında, akma yükündeki sehım değerleri en yüksek Tip2 numunelerinde, nihai yükteki sehım değerleri en yüksek Tip1 numunelerinde görölmektedir.

Sehım değerlerine aynı tip berkitmelerde berkitme aralıklarına göre bakıldığında, Tip1 ve Tip2 numuneler için 500 mm aralıklı kirişler 250 mm aralıklı kirişlerden daha yüksek sehım değerlerine ulaştığı görölmüştür. Tip3 numunelerde ise akma yükünde diğer numunelerde göröldüğü gibi 500 mm berkitme aralıklı kiriş 250 mm aralıklı kirişten daha yüksek deplasman değerine ulaşmış olduğu fakat nihai yükteki sehımda tam tersi bir durum gerçekleştiği görölmüştür.

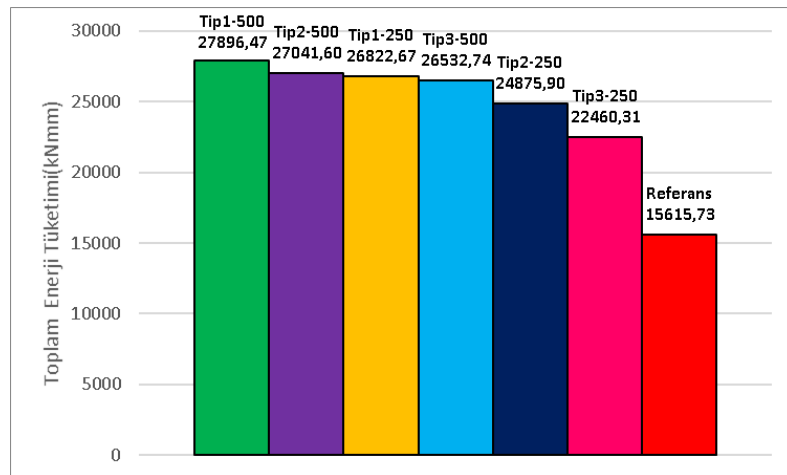
### 3.9.3. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Bütün kiriş numunelerinin elastik ve toplam enerji tüketim grafiği aşığıdaki şekillerde verilmektedir.



Şekil 3.108. Test numunelerinin elastik enerji tüketim grafiği

Elastik enerji tüketim kapasitelerine bakıldığında, Referans numuneye göre en büyük artış %81,04 ile Tip2-500 numunesinde gerçekleşmiştir. En az artış ise %15,81 ile Tip3-250 numunesinde görölmüştür.

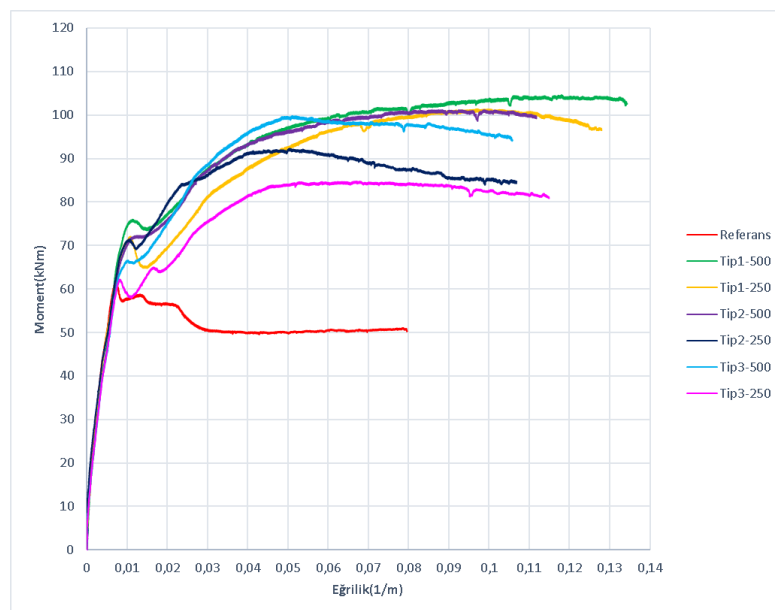


Şekil 3.109. Test numunelerinin toplam enerji tüketim grafiği

Toplam enerji tüketim kapasiteleri incelendiğinde, Referans numuneye göre en büyük artış %78,64 ile Tip1-500 numunesinde gerçekleşmiştir. Bu numuneden sonra en büyük artış birbirlerine yakın değerlerde olan Tip2-500, Tip1-250, Tip3-500 numunelerinde gerçekleşmiş olup artış oranları sırasıyla %73,17, %71,77, %69,91 olduğu görülmüştür. En az artış ise %43,83 ile Tip3-250 numunesinde görülmüştür. Aynı tip bazında kapasite değişimleri incelendiğinde, 50cm berkitme aralıklı kirişler 25 cm aralıklı kirişlere kıyasla her tip kiriş için daha yüksek kapasite göstermiştir.

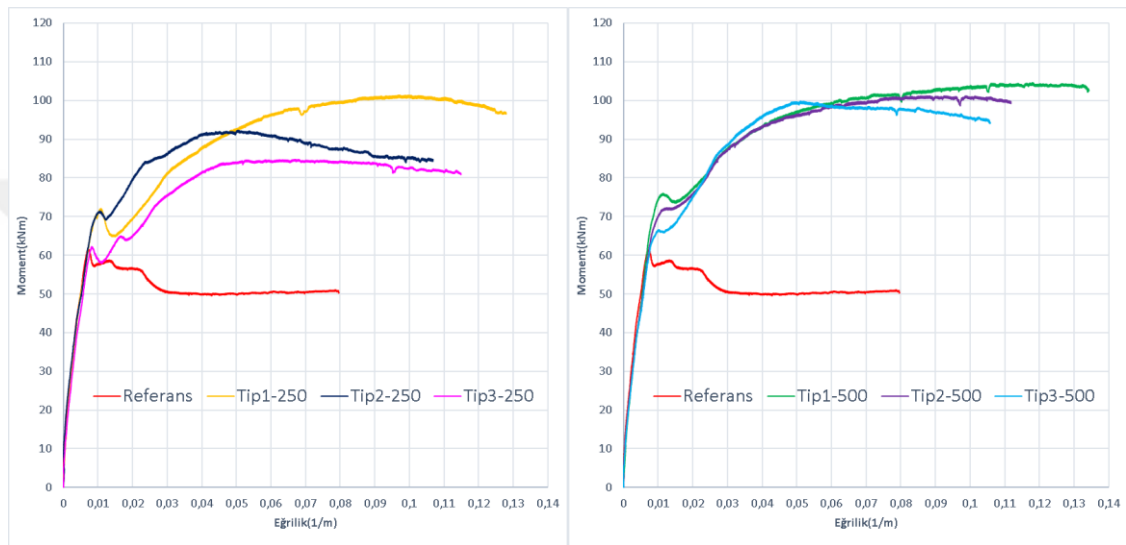
### 3.9.4. Moment Eğrilik İlişkisi

Tüm test numunelerinin moment eğrilik grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.110. Test kiriş numuneleri moment eğrilik grafiği

Test numunelerinin moment eğrilik ilişkileri incelendiğinde, Maksimum moment değerinde Referans numuneye kıyasla en büyük artış %70,25 oran ile Tip1-500 numunesinde görülmüştür. En az artış ise %37,96 artış yüzdesi ile Tip3-250 numunesinde gerçekleşmiştir. Tip1-250, Tip2-500, Tip2-250 ve Tip3-500 numunelerindeki maksimum moment artış yüzdeleri ise sırasıyla %64,98, %64,65, %50,19 ve %62,45 olarak gerçekleşmiştir.

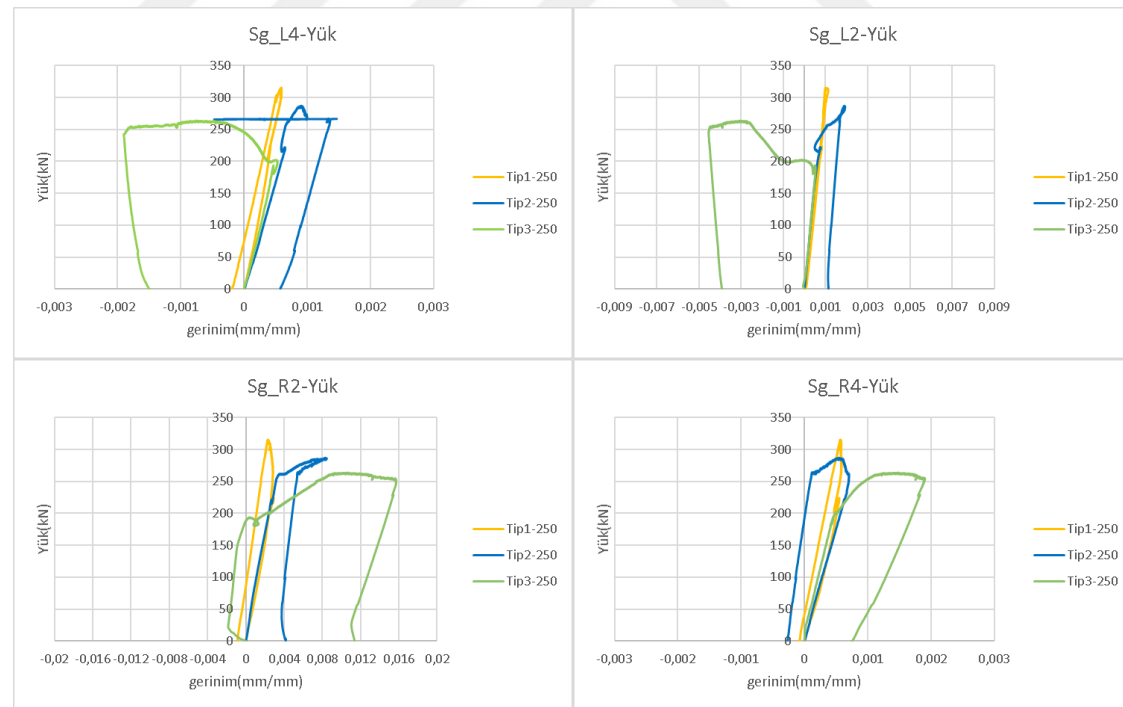
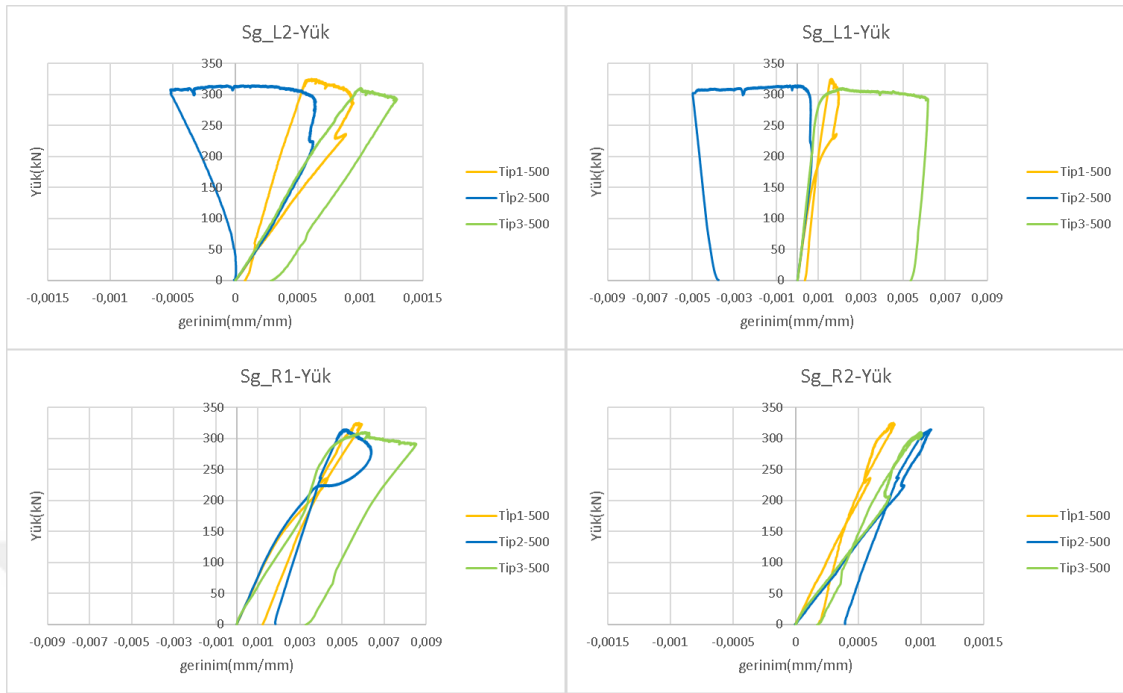


Şekil 3.111. 250 mm ve 500 mm berkitme aralıklı numunelerin moment eğrilik grafikleri

Numuneler arasında maksimum momente karşılık gelen eğrilik değerleri incelendiğinde, Referans numunede 0,00732 1/m eğrilik değeri hesaplanmıştır. Buna kıyasla en büyük eğrilik 0,11798 1/m değeri ile Tip1-500 numunesinde görülmüştür. En düşük değer ise 0,05038 1/m değeri ile Tip2-250 numunesinde gerçekleşmiştir. Tip1-250, Tip2-500, Tip3-500 ve Tip3-250 numunelerinde ise eğrilik değerleri sırasıyla 0,09709 1/m, 0,08838 1/m, 0,05117 1/m ve 0,06702 1/m olarak hesaplanmıştır.

### 3.9.5. Gerinim Verileri

250 ve 500 mm aralıklı numunelerin sağ ve sol bölgelerinde gövde üzerinde yerleştirilen gerinim pullarından alınan değerler ile yük hücresinden alınan değerler ile oluşturulan yük-gerinim grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



250 mm ve 500 mm berkitme aralıklı numuneler için her tip modeline göre yük gerinim grafikleri incelendiğinde, 250 mm berkitme aralıklı numunelerde bariz şekilde görülmektedir ki berkitme tipi değişimi ile birlikte gerinim değerlerinde fark oluşmuştur. Tam berkitmeli kiriş olan Tip1-250 numunesi, gövde üzerinde yarım berkitmeli Tip2-250 numunesinden ve üçgen berkitmeli Tip3-250 numunesinden daha düşük gerinim değerlerine ulaşmıştır. Yarım berkitmeli Tip2-250 numunesi ise Üçgen berkitmeli Tip3-250 numunesinden daha düşük gerinim değerlerine ulaşmıştır. Bu durumun genel itibari ile 500 mm berkitme aralıklı numunelerde de gerçekleştiği görülmüştür.

### 3.10. Metraj Karşılaştırması

Kiriş numunelerinin serbest açıklığı olan 3500 mm uzunluk için çelik malzeme sarfı ve kaynak dikişi uzunluğu değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.5. Numunelerin metraj karşılaştırması

Kiriş Numuneleri	Toplam Malzeme(kg)	Malzeme Artış Oranı	Kaynak Dikişi Uzunluğu(mm)	Kaynak Dikişi Uzunluğu Artış Oranı
Referans	98,91	-	14000	-
Tip1-500	117,09	18,38%	28208	101,49%
Tip1-250	138,31	39,83%	44784	219,89%
Tip2-500	107,91	9,10%	25856	84,69%
Tip2-250	118,41	19,71%	39688	183,49%
Tip3-500	108,00	9,19%	28208	101,49%
Tip3-250	118,61	19,92%	44784	219,89%

Kiriş numuneleri malzeme metrajları ile kıyaslandığında, En fazla malzeme Tip1-250 numunesinde kullanılmış olup Referans numuneden %39,83 fazla malzeme sarfı olduğu tespit edilmiştir. Güçlendirilmiş kirişler arasında en az malzeme sarfı ise Referans kirişten %9,10 fazla malzeme kullanımı ile Tip2-500 numunesinde tespit edilmiştir.

Kaynak dikişi uzunlukları kıyaslandığında, Referans kirişe göre en büyük artış Tip1-250 ve Tip3-250 numunelerindedir. En az artış ise Tip2-500 numunesinde tespit edilmiştir.

## 4. BÖLÜM

### SONUÇ ve ÖNERİLER

#### 4.1. Sonuçlar

Yapılan bu deneysel çalışmada farklı tipteki berkitme levhalarının farklı aralıkta yerleştirildiği dolu gövdeli yapma I kesitli çelik kirişler ankastre mesnet koşullarında çift noktadan artımsal eğilme yüklemesi verilmek suretiyle test edilmiştir. Bu kapsamda sabit açıklıkta aynı kesite sahip I kesitli yapma çelik kirişlerde, farklı berkitme şekilleri ve farklı berkitme aralıkları kullanılarak eğilme etkisi altında davranışları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda 7 adet dolu gövdeli yapma I kesitli çelik kiriş üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri açıklığında berkitme bulunmayan Referans kiriştir. Diğer kirişler, 250 mm ve 500 mm olmak üzere iki farklı berkitme aralığında incelenen, berkitme şekli flanşın tamamı ve gövdenin tamamını kapsayan Tip1-500 ve Tip1-250 numuneleri, berkitme şekli flanşın yarısı ve gövdenin tamamını kapsayan Tip2-500 ve Tip2-250 numuneleri ve berkitme şekli flanşın tamamını ve gövdenin yarısını kapsayan Tip3-500 ve Tip3-250 numuneleri olmak üzere altı adettir.

Mevcut çalışmalar berkitme levhaları ile eğilmeye karşı güçlendirilen çelik kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin ve diğer mekanik özelliklerinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir.

Literatürde taranan çalışmalar deneysel uygulamaları genel olarak basit kirişler üzerinde gerçekleştirilmiş çalışmalardır. Ancak uygulamada taşıyıcı sistem bünyesinde yer alan kirişlerde moment aktarmayan birleşimler olduğu gibi iki ucu rijit düğüm noktası olan ve

moment aktaran birleşimlerde söz konusudur. Bu sebepten dolayı bu çalışma kapsamında iki ucu ankastre mesnetli çelik kirişler üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmada deneysel verilerin değerlendirilmesi yük-sehim ilişkisi, moment-eğrilik ilişkisi, enerji tüketim kapasiteleri, sehimi analizi, deformasyon durumları ve bölgeleri, gerinim verileri bakımından ele alınmıştır. Çalışma sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre enine berkitmeli tüm numunelerde, kiriş gövde rijitliğinin artırıldığı, gövde levhalarında meydana gelen deformasyonların ve buna bağlı gerilme dağılımının berkitme levhaları aralığında sınırlandırıldığı ve kapasitenin berkitmesiz referans kirişe kıyasla belirgin bir seviyede artış sağladığı tespit edilmiştir.
- Literatürdeki yapılan çalışma sonuçlarının aksine bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde berkitme aralığının azaltılması kapasiteyi artıran bir parametre olmamıştır. Her tip berkitme için 500 mm berkitme aralıklı kiriş 250 mm berkitme aralıklı kirişten akma dayanım kapasitesi, nihai yük taşıma kapasitesi ve elastik ve total enerji yutma kapasitesi bakımından daha yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Buna sebep olan etken farklı berkitme aralığındaki kirişlerin göçme mekanizmaları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Flanşları da gövdesi gibi ince plakalardan üretilen çelik kirişlerde basınç başlığında da deformasyon eğilimi fazladır. Berkitme levhaları başlıklara da birleşik olarak kaynaklı olduğu için aslında burkulma boyunu kısalttığı ve buna bağlı olarak lokal burkulma eğilimini azaltarak göçme risklerini düşürdüğü düşünülebilir. Fakat yükleme düzenine ve yüküne bağlı olarak farklı berkitme aralıklı kirişlerde göçme modu değiştiği için durum bu deneysel çalışmalarda olduğu gibi tersine dönebilmektedir.
- Berkitmeli kiriş numuneleri arasında Referans numuneye kıyasla eleman bazında akma dayanımı kapasitesinde en büyük artış %23,67 ile tam berkitmeli, 500 mm berkitme aralıklı Tip1-500 kiriş numunesinde tespit edilmiştir. En az artış ise % 1,26 oran ile Referans akma dayanım değerinden anlamlı bir yükselme göstermeyen üçgen berkitmeli, 250 mm berkitme aralıklı Tip3-250 kiriş numunesinde gerçekleşmiştir. Diğer kiriş numunelerine ise artış oranlarına

sırası ile bakıldığında, %17,61 artış oranı ile Tip2-500, %17,27 artış oranı ile Tip1-250, %16,22 artış oranı ile Tip2-250 ve %8,40 artış oranı ile Tip3-500 numunesi gelmektedir.

- Kirişler arasında Referans kirişe kıyasla nihai dayanım kapasitesinde en büyük artış %70,25 ile tam berkitmeli, 500 mm berkitme aralığı bulunan Tip1-500 numunesinde görülmüştür. En az artış ise %37,95 oran ile Tip3-250 numunesinde tespit edilmiştir. Diğer kiriş numuneleri için artış oranları sırası ile %64,98 artış oranı ile Tip1-250, %64,65 artış oranı ile Tip2-500, %62,44 artış oranı ile Tip3-500 numuneleri gelmektedir. Bu üç kiriş numunesinin nihai dayanım değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir ve 325 kN seviyesinde nihai dayanımı bulunan Tip1-500 kirişi ile aralarında 10-15 kN kadar nihai kapasiteye oranla düşük dayanım farkları bulunmaktadır. Tip2-250 kiriş numunesi nihai dayanım artışı ise %50,19 olarak gerçekleşmiştir.
- Kirişler arası enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde, referans kirişe kıyasla elastik enerji yutma kapasitesindeki en büyük artış %81,04 ile Tip2-500 kirişinde görülmüştür. En az artış ise %15,81 ile Tip3-250 numunesinde tespit edilmiştir. Artış oranlarına sırasıyla diğer kirişlerde bakıldığında , %70,63 oranı ile Tip1-500, %65,34 oran ile Tip2-250, %61,80 oranı ile Tip1-250 ve %44,87 artış oranı ile Tip3-500 numunesi gelmektedir.
- Toplam enerji yutma kapasitelerine bakıldığında referans kirişe kıyasla en büyük artış %78,64 oran ile Tip1-500 kirişinde tespit edilmiştir. En az artış ise %43,83 oran ile Tip3-250 numunesinde görülmüştür. Tip2-500, Tip1-250 ve Tip3-500 numunelerinin toplam enerji yutma kapasiteleri birbirlerine çok yakın mertebelerde olduğu görülmüştür ve sırasıyla artış oranları %73,17, %71,77 ve %69,91 olarak gerçekleşmiştir. Tip2-250 numunesi artış oranı da %59,30 olarak tespit edilmiştir.
- Göçme mekanizmalarına bakıldığında Referans kirişte basınç başlığı ezilmesi ve gövde yerel burkulmasından dolayı göçme durumu gerçekleştiği görülmüştür. Diğer numunelerde ise göçme şekilleri basınç başlığında yerel burkulmalar ve gövde buruşmaları olarak görülmüştür.

- Berkitme levhalarının kirişlerin imalatı ve kullanımı sırasında kiriş üzerine gelebilecek olan tekil yüklemelerde başlık ezilmelerine ve gövde burkulmalarına karşı rijitlik sağladığı görülmüştür.
- Gövde üzerinde farklı noktalardan alınan gerinim verileri incelendiğinde yükleme hattından uzaklaşıldıkça gerilme dağılımları azalmakta olduğu ve berkitme levhaları tarafından sınırlandırıldığı tespit edilmiştir. Berkitme tipleri arasındaki değişimler incelendiğinde gövdedeki gerilme dağılımlarını en çok sınırlayan berkitme tipi tam berkitme(Tip1) olarak görülmüştür. Bunun ardından sırasıyla yarım berkitme(Tip2) ve üçgen berkitme(Tip3) gelmektedir.

Çalışma kapmasında yapılan değerlendirmeler neticesinde kompakt olmayan enkesit sınıfındaki ince plakalı yapma I kesit çelik kirişlerde her üç tip berkitme levhasının da kiriş kapasitesi üzerinde etkin rol aldığı tespit edilmiştir. Bu kesit tipi ve bu yükleme düzeni için berkitme aralığının azalmasının kapasiteye olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

En uygun berkitme şekli hangisi diye bakıldığında, Tip1-500 numunesi elastik enerji yutma kapasitesi hariç diğer değerlendirmelerde en iyi sonuçları vermesine rağmen diğer tip numunelerle arasındaki farkın çok az olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı ekonomide göz önünde tutularak örneğin bir sanayi yapısındaki kirişlere yapılacak enine berkitme güçlendirmesi işinin yekününe bakılırsa gerek kaynak işçiliği gerek levha malzeme gideri düşünüldüğünde güçlendirme işlemi için Tip2(yarım berkitme) berkitme formunu seçmenin daha mantıklı olduğu görülmektedir.

#### **4.2. Öneriler**

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda daha önce incelenip araştırılmamış veya sadece analitik olarak çalışması yapılan çelik I kirişlerin eğilme etkilerine karşı güçlendirilmesinde farklı tipte ve farklı aralıkta berkitme kullanımının araştırılması şartların elverdiği ölçüde parametre değişiklikleri ile incelenmiştir. Gelecekteki diğer araştırmalar için aşağıda maddeler halinde verilen hususlar önerilmektedir.

- Bu çalışmada çelik kirişler ankastre mesnet şartlarında test edilmiştir. Kirişlerin literatürdeki çalışmalarda yaygın olarak kullanılan basit mesnet koşullarında

veya farklı mesnet koşullarında test edilerek sonuçların karşılaştırılması literatüre ilave katkı sağlayacaktır.

- Daha farklı berkitme şekilleri çelik kirişler üzerinde çalışılıp moment kesme ve tekil yük etkilerine karşı veya bu yüklerin kombinasyonları altında test edilebilir. Özellikle bu çalışmada tip2 olarak adlandırılan gövdenin tamamı flanşın yarısını kapsayan berkitme levha şeklinin boyutları daha da azaltılıp aynı ve benzeri testler tekrarlanabilir.
- Farklı enkesit sınıflandırmalarındaki çelik kirişlerin eğilme etkisinde davranışları araştırılması güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.
- Çelik yapıların hesap, tasarım ve yapımına dair esaslar yönetmeliğinde bahsedilen enine berkitme levhalarının tekil yük veya mesnet tepkisini aktarmak amacıyla kullanılmadığı, sadece gövde levhasının rijitliğinin artırılması amacıyla kullanıldığı hallerde çekme başlığına kadar uzatılmadan yerleştirildiği durumlar için deneysel ve analitik çalışmalar yapılabilir.
- Enine ve boyuna berkitme plakalar çeşitli şekil, form ve kombinasyonlarda yerleştirilerek kirişte kesit artımından daha ekonomik ve/veya mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğu durumlar çoklu deneysel ve analitik çalışmalarla araştırılıp optimizasyon çözümleri aranabilir.
- Bu çalışmada çelik kiriş numuneleri iki noktadan yapılan yüklemelerle test edilmişlerdir. İleride yapılacak çalışmalar için yayılı yük, tekil yük gibi farklı yükleme koşullarında test edilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Kirişlerde gövde levhalarının ince, başlık levhalarının kalın olması(özellikle basınç başlığının) halinde testlerin tekrarlanması önerilmektedir.
- Bu çalışmada yapma çelik kesitli kirişlerde deneysel çalışmalar yapılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda hadde mamulü hazır kesitli kirişlerde benzer deneysel çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKÇA

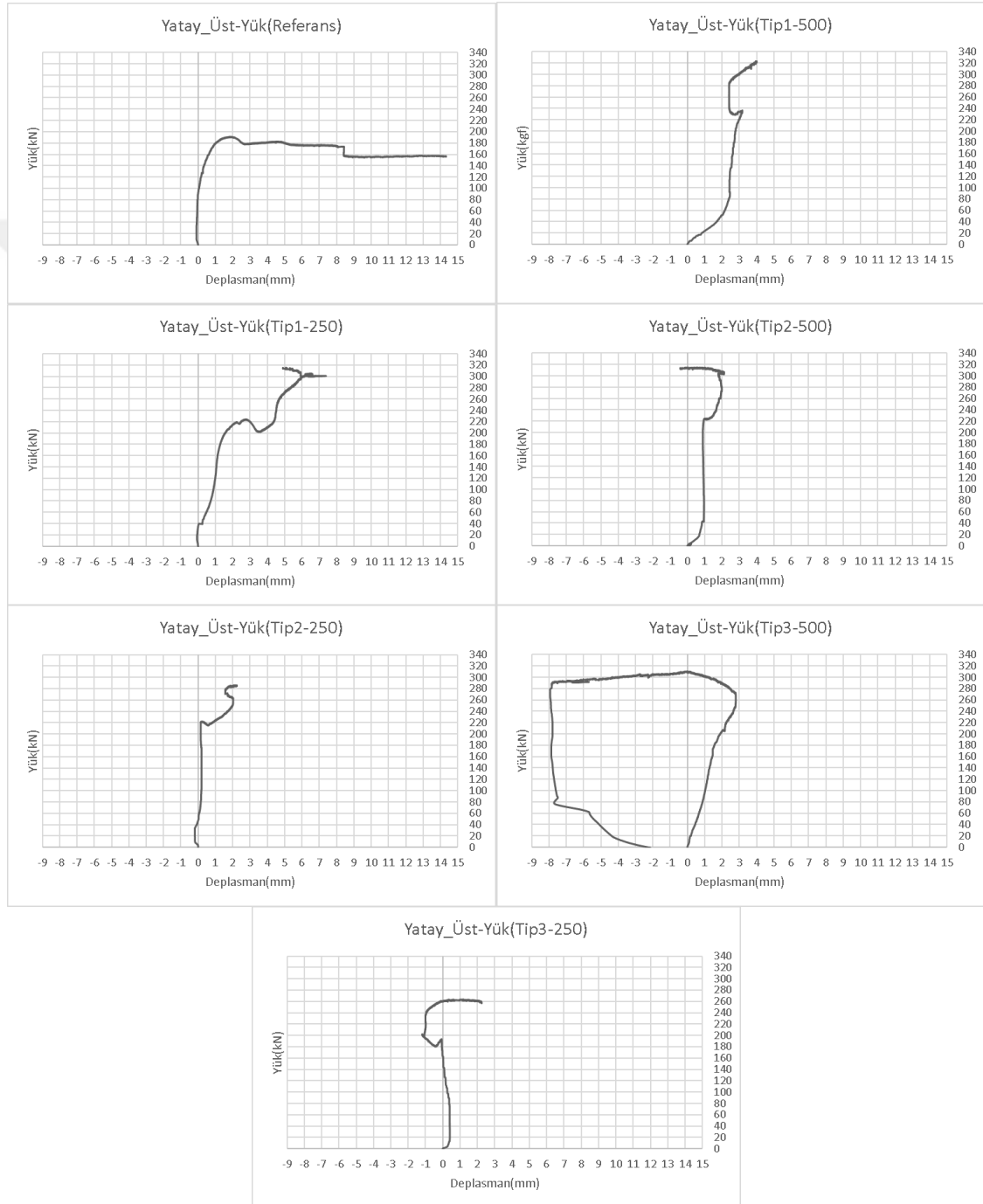
- [1] Aydın, R., Günaydın A., 2016. Çelik Yapılar Taşıma Gücü Yöntemi Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik-2016 ve Aisc 360-16, Ec3 En 1993-1-1 Yönetmelikleri Uygulamalar. İstanbul, 464s.
- [2] Ishac, I., Hosseiny, O. E., Matar, E., & Mandour, S. (2012). Behavior Analysis of Stiffened Slender Plate Girders. **In IABSE Symposium Report 98**, No. 4, pp. 19-26). International Association for Bridge and Structural Engineering.
- [3] El-Hosseiny, O. M. Ishac, I. I., Matar, E. B., & Mandour, S. A.(2014). Experimental and theoretical analysis of stiffened plate girders. In Eurosteel 2014: 7th European Conference on Steel and Composite Structures. European Convention for Constructional Steelwork.
- [4] Kövesdi, B., Alcaine, J., Dunai, L., Mirambell, E., Braun, B., & Kuhlmann, U. (2014). Interaction behaviour of steel I-girders part I: Longitudinally unstiffened girders. **Journal of Constructional Steel Research**, **103**, 327-343.
- [5] Kövesdi, B., Alcaine, J., Dunai, L., Mirambell, E., Braun, B., & Kuhlmann, U. (2014). Interaction behaviour of steel I-girders; part II: Longitudinally stiffened girders. **Journal of Constructional Steel Research**, **103**, 344-353.
- [6] Avery, P., & Mahendran, M. (1997). Finite-element analysis of hollow flange beams with web stiffeners. **Journal of structural engineering**, **123**(9), 1123-1129.
- [7] Christian O. Sørensen, Kristian M. Rasmussen (2014); Effects of Stiffeners on the Warping Resistance of Steel I-Beams; **International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)** **4**, Issue 2.
- [8] Davidson, J. S., Ballance, S. R., & Yoo, C. H. (2000). Effects of longitudinal stiffeners on curved I-girder webs. **Journal of Bridge Engineering**, **5**(2), 171-178.
- [9] Hendy, C. R., & Presta, F. (2008). Transverse web stiffeners and shear moment interaction for steel plate girder bridges. In Proceedings of the 7th International Symposium on Steel Bridges. Guimaraes. Portugal (p. 8).

- [10] Chacón, R., Mirambell, E., & Real, E. (2013). Transversally stiffened plate girders subjected to patch loading. Part 1. Preliminary study. **Journal of Constructional Steel Research**, **80**, 483-491.
- [11] Chacón, R., Mirambell, E., & Real, E. (2013). Transversally stiffened plate girders subjected to patch loading: Part 2. Additional numerical study and design proposal. **Journal of Constructional Steel Research**, **80**, 492-504.
- [12] Prado, N. I., Carrillo, J., Ospina, G. A., & Ramirez-Amaya, D. (2018). Experimental assessment of I-shaped steel beams with longitudinal stiffeners under lateral-torsional buckling. **Dyna**, **85**(207), 278-287.
- [13] Graciano, C. A. (2003). Ultimate resistance of longitudinally stiffened webs subjected to patch loading. **Thin-walled structures**, **41**(6), 529-541.
- [14] Sinur, F., & Beg, D. (2013). Moment–shear interaction of stiffened plate girders—numerical study and reliability analysis. **Journal of Constructional Steel Research**, **88**, 231-243.
- [15] Sinur, F., & Beg, D. (2013). Moment–shear interaction of stiffened plate girders—tests and numerical model verification. **Journal of Constructional Steel Research**, **85**, 116-129.
- [16] TS EN ISO 6892-1, Aralık 2016. Metalik malzemeler — Çekme deneyi — Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, 93s
- [17] Sivri, M. & Sura, M. (2017). Eğilme Etkisi Altındaki Çelik I Kirişlerinde Gövde ve Berkitme Kalınlığının Davranışa Etkisi. **SDÜ Teknik Bilimler Dergisi**, **7**(1), 38-46.
- [18] Çelik, İ. D., Sivri, M., Fenkli, M., Kök, E., & AY, Z. (2015). Eğilme Etkisi altındaki Kirişlerde Kullanılan Berkitme Levhasının Davranışa Etkisi. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu.
- [19] White, D. W., & Barker, M. G. (2008). Shear resistance of transversely stiffened steel I-girders. **Journal of Structural Engineering**, **134**(9), 1425-1436.

- [20] Sivri, M. & Sura, M. (2017). Çelik I Kirişlerinde Gövde ve Berkitme Kalınlığı ile Berkitme Yerleşim Şeklinin Eğilme Davranışına Etkisi. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan).
- [21] Düğenci O., (2015). Artı Kesitli Çekirdeğe Sahip Burkulması Önlenmiş Basınç Çubuklarının Eksenel Yük Altında Deneysel ve Numerik Araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, Kayseri, 279
- [22] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, 2018, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- [23] Erdal, F.(2016). Effect of stiffeners on failure analyses of optimally designed perforated steel beams, **Steel and Composite Structures**, 22(1), 183-201.
- [24][https://res.cloudinary.com/engtips/image/fetch/w\\_800,c\\_lfill,q\\_auto,f\\_auto,g\\_faces:center/http://i60.tinypic.com/4u6t6t.jpg](https://res.cloudinary.com/engtips/image/fetch/w_800,c_lfill,q_auto,f_auto,g_faces:center/http://i60.tinypic.com/4u6t6t.jpg) (Erişim Tarihi: Mayıs 2019)
- [25][www.geometrixgroup.cawp-contentuploadsAshcroft-M107.4-555x315.jpg](http://www.geometrixgroup.cawp-contentuploadsAshcroft-M107.4-555x315.jpg) (Erişim Tarihi: Nisan 2019)
- [26] [https://imgs.factorynet.at/m/3142\\_1\\_1280-0-0\\_.jpg](https://imgs.factorynet.at/m/3142_1_1280-0-0_.jpg) (Erişim Tarihi: Nisan 2019)
- [27] Mahendran, M., & Avery, P. (1997). Buckling experiments on hollow flange beams with web stiffeners. **Journal of Structural Engineering**, 123(9), 1130-1134.
- [28] TS EN 10025-2, Nisan 2006. Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri - Bölüm 2: Alaşimsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, 30s
- [29] Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar, 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

## EKLER

### EK 1. Yatay Deplasman Grafikleri



Şekil Ek 1.1. Kirişlerin yatay deplasman-yük grafikleri

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Metin TALASLIOĞLU  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 10.10.1991 - Kayseri  
**Medeni Durum:** Bekar  
**e-mail:** talaslimetin@gmail.com  
**Yazışma Adresi:** Serçeönü Mah. Ahievran Cad. 7/18

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2014
Lise	Ahmet Eren Anadolu Lisesi, Kayseri	2009

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017-2018	Otan Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2015	Ünlem Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce