



**HAFİF ÇELİK KÖŞEBENT BİRLEŞİMLERDE VİDA
KULLANIMININ KESME DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Murat ALTUNDAĞ

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

**2023
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAFİF ÇELİK KÖŞEBENT BİRLEŞİMLERDE VİDA KULLANIMININ
KESME DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Murat ALTUNDAĞ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

04 / 11 / 2023

İmzası

Murat ALTUNDAĞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK KÖŞEBENT BİRLEŞİMLERDE VİDA KULLANIMININ KESME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Murat ALTUNDAĞ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Son dönemlerde alışlagelmiş betonarme yapı sistemlerinin karşılaşmış olduğu maliyet artışları, tasarlanan projenin saha montajlarında istenildiği şekilde uygulanamaması, inşa sürecinin uzunluğu, hava şartlarından negatif yönde etkilenmesi vb. durumlar hafif çelik yapıların yaygınlaşmasına fayda sağlamıştır. Hafif çelik yapı elemanları soğukta şekillendirilmiş (CFS) kiriş, çatı, kolon ve diğer elamanların bir arada oluşturulduğu sistemlerdir. Bu yapı sistemlerinde (konut projelerinde) kiriş-kolon birleşim tiplerinin sayısı ve türü artmaktadır. Bu çalışma için CFS kiriş-kolon birleşimlerinin hafif çelik köşebent plakaların kalınlık ve en/boy oranlarına göre sınıflanmış 36 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler kiriş ve kolonlar akıllı vida ile birleşim yapılarak kiriş-kolon birleşiminde kesme kuvveti etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda hafif çelik köşebent birleşim plakası kalınlığı artıkça yük taşıma kapasitesinin arttığı ve köşebentinin en/boy oranı (L/D) arttıkça hafif çelik köşebentlerde burkulma hataları meydana gelmiştir.

2023, 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hafif Çelik Yapı (CFS), Köşebentli Birleşim, Kolon-Kiriş Bağlantı, Kesme, Vida

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION SHEAR EFFECT ON COLD-FORMED STEEL CLIP ANGLE WITH SCREW CONNECTION

Murat ALTUNDAĞ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

The recent cost increases of traditional reinforced concrete building systems, the inability to implement the designed project as desired in field installations, the length of the construction process, adverse effects from weather conditions, ETC. The spread of light steel structures. Light steel structural elements are systems of cold-formed (CFS) beams, roofs, columns, and other elements. The number and type of beam-column connections are gradually increasing in these building systems (housing projects). For this study, 36 specimens were prepared and classified according to the thickness and aspect ratios of light steel angles in CFS beam-column connections. The prepared specimens, beams, and columns were connected with self-tapping screws, and the effect of shear force on the beam-column connection was examined. As a result of the experiments, it was observed that as the thickness of the cold-formed steel angle connection increased, the load-carrying capacity increased, and the aspect ratio (L/D) of the angle increased, buckling errors occurred in the cold-formed steel angle.

2023, 92 page

Keywords: Cold-formed Steel Structure (CFS), Angle Connection, Column-Beam Connection, Shear, Screw

TEŞEKKÜR

Bu çalışma iki aşamalı bir projenin ikinci aşamadır. Çalışmanın ilk aşaması yüksek lisans dönem arkadaşım Emre YAVUZ'un tez konusu olan kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisinin incelenmesidir. Çalışmanın ikinci aşaması benim çalışmam olan akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisini incelenmesidir. Bu sebeple bu çalışmanın ortaya çıkmasında, derslerimde, deney çalışmalarında ilgi, alaka ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALI'ye, deneylerde ve test çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Mahmut Buğra Bilen'e, yine bu çalışmanın ilk aşamasını gerçekleştiren ve ikinci aşamada da çalışmalarımda yardımcı olan yüksek lisans dönem arkadaşım Emre YAVUZ, yüksek lisans dönem arkadaşım Nurullah ÇINARA'a ve bu süreçte desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Murat ALTUNDAĞ
Aralık 2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	7
3.1. Deneysel Çalışmalar ve Numuneler.....	7
3.1.1. CFS hafif çelik köşebentlerin çekme testi.....	9
3.1.2. Deney sisteminin oluşturulması	11
3.2. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar.....	11
3.2.1. Hidrolik pompa, yükleme başlığı ve kayıt cihazı.....	11
3.2.2. Deformasyon ölçü cihazı (Doğrusal değişken diferansiyel çeviricisi (LVDT).....	12
3.2.3. Veri toplama ve kaydetme sistemi (Veri kaydedici).....	12
3.3. Deney Sistemi	13
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	15
4.1. Deneylerin Karşılaştırılması	15
4.1.1 Düşey deplasmanların karşılaştırılması.....	15
4.1.2 Kolonlarda yanal deplasmanların karşılaştırılması	57
4.2. Deneylerin Göçme Durumlarının Değerlendirilmesi.....	67
4.3 Vidalı Hafif çelik Köşebent Plakalar İçin Önerilen Kesme Kuvveti Denklemi.....	76
4.4. Tasarım Kesme Dayanımı Hesabı	85
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Distos. Burk.	Burulmalı Burkulma
kN	Kilonewton
m	Metre
mm	Milimetre
rad	Radyan
V	Kuvvet
Δ	Yer Değiştirme (Deplasman)

Kisaltmalar

A	Köşebent toplam genişliği
ASD	İzin verilen güç yöntemi (AISI)
AISI	American Iron and Steel Institute Specification
B	Köşebent kiriş tarafı uzunluğu
C	Kolon-kiriş yanak büküm uzunluğu
CFS	Soğukta şekillendirilmiş çelik
C_p	Düzeltilme faktörü
C_ϕ	Kalibrasyon katsayısı
D	Köşebent derinliği
E	Çelik elastisite modülü
f_{cr}	Kritik burkulma gerilimi
F_M	Üretim faktörünün ortalama değeri
f_u	Çelik maksimum çekme dayanımı
f_y	Çelik akma dayanımı
k	Elastik burkulma katsayısı
LRFD	Yük ve direnç faktörü tasarımı
LSD	Sınır tasarım durumu
LVDT	Deformasyon ölçme cihazı
M_M	Malzeme faktörünün ortalama değeri

m	Serbestlik derecesi
n	Yapılan deney sayısı
P_M	Profesyonel faktörün ortalama değeri
t_c	Köşebent kalınlığı
μ	Çelik poisson oranı
V_{cr}	Kritik kesme dayanımı
V_{exp}	Her bir köşebent için maksimum kesme kuvveti
V_F	Üretim faktörünün değişim katsayısı
V_M	Mazleme faktörünün değişim katsayısı
V_P	Test sonuçlarının varyasyon katsayısı
V_Q	Yük etkisi değişim katsayısı
V_{nsb}	Tek sırada 2 vidalı köşebent nominal kesme dayanımı
V_{nse}	Kaynaklı ve vidalı köşebent nominal kesme dayanımı
V_{nsp}	Tek sırada 3 vidalı köşebent nominal kesme dayanımı
V_{nss}	Vidalı bağlantılı köşebentnin nominal kesme dayanımı
V_{nsw}	Dolgu kaynaklı köşebentnin nominal kesme dayanımı
V_y	Akma dayanımı
W	Köşebent kaynak sonrası düz genişliği
L/D	Köşebent en boy oranı
λ	Narinlik oranı
Φ	Direnç faktörü
β_0	Hedef güvenlik indeksi
Ω	Güvenlik faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Soğuk şekillendirilmiş kafes birleşimi (Zenalian 2016).....	5
Şekil 3.1. Deney numunelerinin geometrik özellikleri	7
Şekil 3.2. Numune çekme deneyleri (ölçü birimleri mm’dir).....	9
Şekil 3.3. Tüm kalınlıklarda numunelerin çekme testi grafiği.....	10
Şekil 3.4. Deneylere veri kaydedicileri.....	13
Şekil 3.5. Deney düzeneği sistemi	14
Şekil 3.6. Bilgisayarda oluşturulmuş deney numunesi	14
Şekil 4.1. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük- Düşey şekil değiştirme grafiği.	16
Şekil 4.2. EXP12-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri	17
Şekil 4.3. EXP7-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	17
Şekil 4.4. EXP17-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	18
Şekil 4.5. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük- Düşey şekil değiştirme grafiği.	18
Şekil 4.6. EXP30-1,2-65-150 deney sonrası göçme görselleri	19
Şekil 4.7. EXP25-1,2-95-150 deney sonrası göçme görselleri	19
Şekil 4.8. EXP2-1,2-125-150 deney sonrası göçme görselleri	20
Şekil 4.9. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük- düşey şekil değiştirme grafiği.	20
Şekil 4.10. EXP28-1,2-65-180 deney sonrası göçme görselleri	22
Şekil 4.11. EXP21-1,2-95-180 deney sonrası göçme modları	22
Şekil 4.12. EXP18-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri	23
Şekil 4.13. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük- Düşey şekil değiştirme grafiği.	24
Şekil 4.14. EXP15-1,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri	25
Şekil 4.15. EXP10-1,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri	26
Şekil 4.16. EXP31-1,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri	26
Şekil 4.17. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	27
Şekil 4.18. EXP4-1,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri	28
Şekil 4.19. EXP27-1,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri	29

Şekil 4.20. EXP13-1,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri	30
Şekil 4.21. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	31
Şekil 4.22. EXP32-1,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri	31
Şekil 4.23. EXP36-1,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri	32
Şekil 4.24. EXP20-1,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri	33
Şekil 4.25. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	34
Şekil 4.26. EXP34-2 -65-100 deney sonrası göçme görselleri	35
Şekil 4.27. EXP35-2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	35
Şekil 4.28. EXP22-2-125-100 deney sonrası göçme görselleri	36
Şekil 4.29. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	37
Şekil 4.30. EXP33-2-65-150 deney sonrası göçme görselleri	37
Şekil 4.31. EXP19-2-95-150 deney sonrası göçme görselleri	38
Şekil 4.32. EXP24-2-125-150 deney sonrası göçme görselleri	38
Şekil 4.33. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	39
Şekil 4.34. EXP11-2-65-180 deney sonrası göçme görselleri	39
Şekil 4.35. EXP6-2-95-180 deney sonrası göçme görselleri	40
Şekil 4.36. EXP9-2-125-180 deney sonrası göçme görselleri	41
Şekil 4.37. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	42
Şekil 4.38. EXP26-2,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri	43
Şekil 4.39. EXP29-2,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri	44
Şekil 4.40. EXP3-2,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri	44
Şekil 4.41. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	45
Şekil 4.42. EXP14-2,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri	46
Şekil 4.43. EXP5-2,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri	47
Şekil 4.44. EXP23-2,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri	47
Şekil 4.45. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- düşey deplasman grafiği.....	48
Şekil 4.46. EXP16-2,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri	48

Şekil 4.47. EXP1-2,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri	49
Şekil 4.48. EXP8-2,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri	50
Şekil 4.49. 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği.....	51
Şekil 4.50. 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği.....	52
Şekil 4.51. 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği.....	53
Şekil 4.52. 65 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği	54
Şekil 4.53. 95 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği	55
Şekil 4.54. 125 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği	56
Şekil 4.55. Tüm hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği.....	57
Şekil 4.56. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	58
Şekil 4.57. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	59
Şekil 4.58. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	59
Şekil 4.59. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	60
Şekil 4.60. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	61
Şekil 4.61. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	62
Şekil 4.62. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	63
Şekil 4.63. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	63
Şekil 4.64. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	64
Şekil 4.65. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	65
Şekil 4.66. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	65
Şekil 4.67. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet- yatay deplasman grafiği.	66
Şekil 4.68. Kolon burulmalı burkulması ve köşebent akıllı vida sıyırması örneği	71

Şekil 4.69. Köşebent akıllı vida sıyrılma örneği.....	71
Şekil 4.70. Deneylerde kiriş burkulması ve köşebent akıllı vida sıyrılması durumu.....	72
Şekil 4.71. Kolon burulmalı burkulma durumu	72
Şekil 4.72. Kolon kaynak kopma durumu (Yavuz 2023).....	73
Şekil 4.73. Kolon tarafında köşebent akıllı vida sıyrılması durumu.	73
Şekil 4.74. Kaynaklı birleşim köşebent yırtılması örneği (Yavuz 2023)	74
Şekil 4.75. Kaynaklı birleşim kolon burulmalı burkulması, köşebent kaynak yırtılması ve kiriş burkulması durumu (Yavuz 2023).	74
Şekil 4.76. Kolon burulmalı burkulması ve kiriş burkulması durumu (Yavuz 2023). ...	75
Şekil 4.77. 180 mm derinlikte kaynaklı birleşim kolon ve kiriş burkulması örneği (Yavuz 2023).	75
Şekil 4.78. Köşebent-kolon-kiriş göçme modları grafiği	76
Şekil 4.79. Köşebentleri tasarım eğrileri.....	82
Şekil 4.80. Eğri uydurma kullanılarak önerilen kesme denklemi.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Numune ebatları.....	8
Çizelge 3.2. Numune çekme deney sonuçları.....	10
Çizelge 4.1. 1,2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	16
Çizelge 4.2. 1,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	23
Çizelge 4.3. 2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları.....	34
Çizelge 4.4. 2,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	42
Çizelge 4.5. Hafif çelik köşebentlerin maksimum kesme kuvveti ve göçme modları....	68
Çizelge 4.6. Tasarım kesme denklemlerinin literatür karşılaştırması	79
Çizelge 4.7. Önerilen kesme denkleminin istatistiksel analizi	83
Çizelge 4.8. Önerilen kayma denkleminin AISI standartlarına göre karşılaştırılması.....	86

1. GİRİŞ

Dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen depremler sonrası yapıların deprem yüklerini karşılamada önemli rol oynadığı anlaşılmıştır. Bu sebeple yapıları daha hafif ve daha mukavemetli yapma ihtiyacı meydana gelmiştir. Bu ihtiyaçlar hergün yenilenen inşaat teknolojileri ile karşılanmaktadır. Bu sebeple yapılarda yeni tasarım ve yapım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yeni tasarım ekonomik, estetik ve güvenlik parametreleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Yenilenen inşaat sektörü bu parametreleri içermesi gerekmektedir. Bu sebeple yapı ve yapı elemanları için farklı tasarımlar uygulanmaktadır. Bu yeni tasarımlar daha güvenli, daha ekonomik yapılar ve ülkemiz ekonomisi, doğal kaynakları, çevre ve yaşam kalitelerine faydalı yöndeki etkisi düşünülerek yapılmalıdır. Güvenlik, ekonomi, estetik, yapım süreci, montaj pratikliği vb. parametreleri göz önünde bulundururken yapılarımızın hafif çelik yapı (CFS) olarak üretmenin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Hafif çelik yapı sistemlerinin inşaat sektöründe kullanılması, yapıların ekonomik, güvenlik ve estetik kriterlerine uygun olması için araştırma ve geliştirme faaliyetlerini artırdığı görülmüştür. Bu Ar-Ge çalışmalarının bir kısmı hafif çelik yapı (CFS) birleşim tasarımları alanında yapılmıştır. Bu çalışmada hafif çelik yapı (CFS) birleşimlerinde soğukta şekillendirilmiş çelik köşebentlerin akıllı vidalı birleşimlerinin kesme davranışına etkisi incelenmiştir.

Böylece hafif çelik yapı birleşimlerinde CFS köşebentlerin akıllı vida ile oluşturulan birleşimlerinin kesme kuvveti etkisinde optimum köşebent plaka boyutlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışma hafif çelik yapı elemanlarında kiriş-kolon birleşimlerinde kesme etkisini incelemek ve kesme kuvvetine maruz bırakılan CFS köşebent birleşimlerinin en uygun birleşimini tasarlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada hafif çelik köşebent plaka kullanma amacı kiriş-kolon birleşimlerinde modüler birleşimler elde etmek, yük etkisi altında oluşacak şekil değiştirmelerin kolon ve kirişte değil hafif çelik köşebent plaka elemanlarında oluşması, taşıyıcı elemanların deformasyonunu önlemek ve uygulanan birleşimin kolayca yenisi ile değiştirebilmektir. Birleşimin akıllı vidalı yapılma nedeni

1. GİRİŞ

daha önce kaynaklı, kaynaklı ve akıllı vidalı birleşim şeklinde yapılan deneyler ile karşılaştırmak ve en iyi sonuca ulaşmaktır. Hafif çelik köşebent birleşimlerin akıllı vida kullanıldığı uygulamaların çok az olması, kiriş-kolon birleşimi tasarımında hafif çelik köşebent plakaların merkezi bir şekilde yerleştirilmesi ve akıllı vida sayı ve dizilimlerinin farklı olması bu çalışmanın özgünlüğünü ortaya çıkarmaktadır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin kullanımı son yıllarda artmaktadır. Aşağıda bazı köşebentli birleşimlerle alakalı literatür araştırmamız gösterilmektedir.

Yavuz (2023) soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada farklı boyutlarda birleşim köşebentleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda birleşim levhası kalınlığının artması kesme mukavemetinde olumlu etki göstermiştir. Ayrıca plaka en/boy oranı artışı kesme mukavemetinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Mallepogu and Madhavan (2022) soğukta şekillendirilmiş kaynaklı hafif çelik köşebent bağlantıların deneysel analizde farklı farklı boyut ve kalınlarda hafif çelik köşebentler ile kolon tarafı kaynaklı birleşim, kiriş tarafı cıvatalı birleşimlerin kesme kuvveti etkisinde deneysel analizini yapmışlardır. Yapılan çalışma sonunda en/boy oranı 0,8'den küçük olan numuneler burulmalı burkulma, 0,8 den büyük olanlar lokal burkulmada ve kiriş burkulmasında başarısız olmuşlardır. Tasarım kesme kuvveti için narinlik maksimum 0,44 ve tasarım kesme kuvveti $0,523 \times V_y$ (akma dayanımı) olarak denklem önermişlerdir. Kaynaklı köşebentler cıvatalı ve vidalı bağlantılara göre daha düşük yer değiştirmeler göstermiştir.

Natesan et al. (2021) kolon kiriş birleşimlerinde soğuk şekillendirilmiş köşebentli bulonlu birleşimleri incelemişlerdir. Bu araştırmada bulonlu köşebentin çökme mekanizması ve dönme değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda köşebent birleşimlerinde lokal burkulma gözlemlenmiştir. Maksimum kesme kuvveti %18 den %87'ye çıkmıştır. Bulonların sayısı arttıkça yük kapasitesi artmıştır. Köşebent boyutları arttıkça yük kapasitesinin artışı görülmüştür.

Natesan et al. (2019, 2020, 2021) kiriş-kolon arasındaki soğuk şekillendirilmiş çelik gövde akıllı vida birleşimlerin etkinliğinin maksimum kesme mukavemeti açısından incelenmesi, maksimum yük-yer değiştirme özelliklerini, bağıl dönüşlerini ve göçme modlarını incelemişlerdir. Köşebent bağlantıların kesme kuvveti etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda çelik bağlantı elemanlarında yerel

burkulma görülmüş, uygulanan maksimum güç köşebendin elastik gücünü aşmıştır. Üç cıvatalı köşebentlerin yük kapasitesi %18 den %87'ye çıkmaktadır. Cıvata sayısının artırılması büyük önem taşımaktadır. Köşebent derinliği arttıkça yük kapasitesi artmakta ve kesme mukavemeti en/boy oranına bağlıdır. Deneysel ve analitik çalışmalarda, köşebent kaynak sonrası düz genişliği olan $W = 70, 100$ mm olan numunelerde kolona bağlı gövde ayağında lokal burkulma gözlenmiştir. Köşebent kaynak sonrası düz genişliği $W=40$ mm olan numunede ise yükleme noktalarında kirişin mesnet kırılması gözlenmiştir. Ayrıca bağlantı elemanının en-boy oranı azaltıldığında maksimum yük artmıştır. Güvenilirlik çalışmalarından, mevcut ve önerilen tasarım denklemi için, hedef güvenilirlik indeksi olan β 'ya ulaşmakla yükümlü olan direnç ve güvenlik faktörleri elde edilmiştir. Köşebentnin en/boy oranı 0,8'den küçük olan numunelerde yerel burkulma gözlemlenmiştir En/boy oranı 0,8'den büyük olan numunelerde burulmalı burkulma gözlemlenmiştir. Köşebentnin en/boy oranı arttıkça köşebentnin sertliği azalmaktadır. Cıvata deliklerinde deformasyonu önlemek için daha fazla cıvata kullanılabilir sonucuna varmışlardır.

Obeydi et al. (2020) soğuk şekillendirilmiş köşe bentlere ABAQUS ve deneysel testler sonucunda çeşitli parametrelerin soğuk şekillendirilmiş çelik köşebentlerin ankraj bağlı kolona çekme mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla çalışma yapmışlardır. Sonlu elemanlar modeli deneysel testlerdeki numuneler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak vida elemanın kafası veya pul boyutlarının mekanik özelliklerinin çekme mukavemetinin önemini incelemişlerdir. Yük taşıyan köşebentli birleşimlerin çekme hasarını hesaplamak için denklem önermişlerdir.

Yu et al. (2017) soğuk şekillendirilmiş köşebentli birleşimlerde çeşitli testler yapılmıştır. Numuneler arasında plakanın malzeme özellikleri ve boyutları kıyaslanmıştır. Test sonuçları literatürde bulunan üç tasarım yöntemiyle karşılaştırıldı ancak bu tasarım yöntemleriyle hiçbir uyum bulunamadı. Bu nedenle yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yeni yöntemde ince cidarlı plakaya sahip kolonların elastik burkulmasına karşı gösterdiği dirence dayandırmışlardır. Önerilen tasarım yöntemine göre tasarım faktörleri üretildi. Bu faktörler mukavemet tasarım güvenlik faktörleri, yük-direnç faktörleri ve sınır durum direnç tasarım faktörleridir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Zeynalian et al. (2016) soğuk şekillendirilmiş çelik kafes birleşimlerin davranışları üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. 1/1 ölçekli 18 adet soğuk şekillendirilmiş çelik kafes bağlantısı test edilmiştir. Maksimum yük kapasiteleri ve yük deformasyon davranış özellikleri incelenmiştir. Aynı zamanda göçme modları birbiri ile karşılaştırılarak inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışma bağlantı tasarımları için önerilerde bulunmaktadır. Cfs kafes kiriş bağlantılarının sünek tepkisine katkıda bulunan ana faktörler araştırılmış ve bağlantılar herhangi bir kırılma riski olmadan kayma ve plastik davranış göstermesi beklenmiştir. Kafes birleşim detayı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Soğuk şekillendirilmiş kafes birleşimi (Zenalian 2016)

Yu et al. (2016) kesme kuvvetlerine mağruz kalan ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelik yük taşıyan köşebentli birleşimler için bir tasarım geliştirilmiştir. Çeşitli kesitlerde köşebentli birleşimlerin davranışı ve kesme kapasitesi araştırmak için kapsamlı bir test programı yapmışlardır.

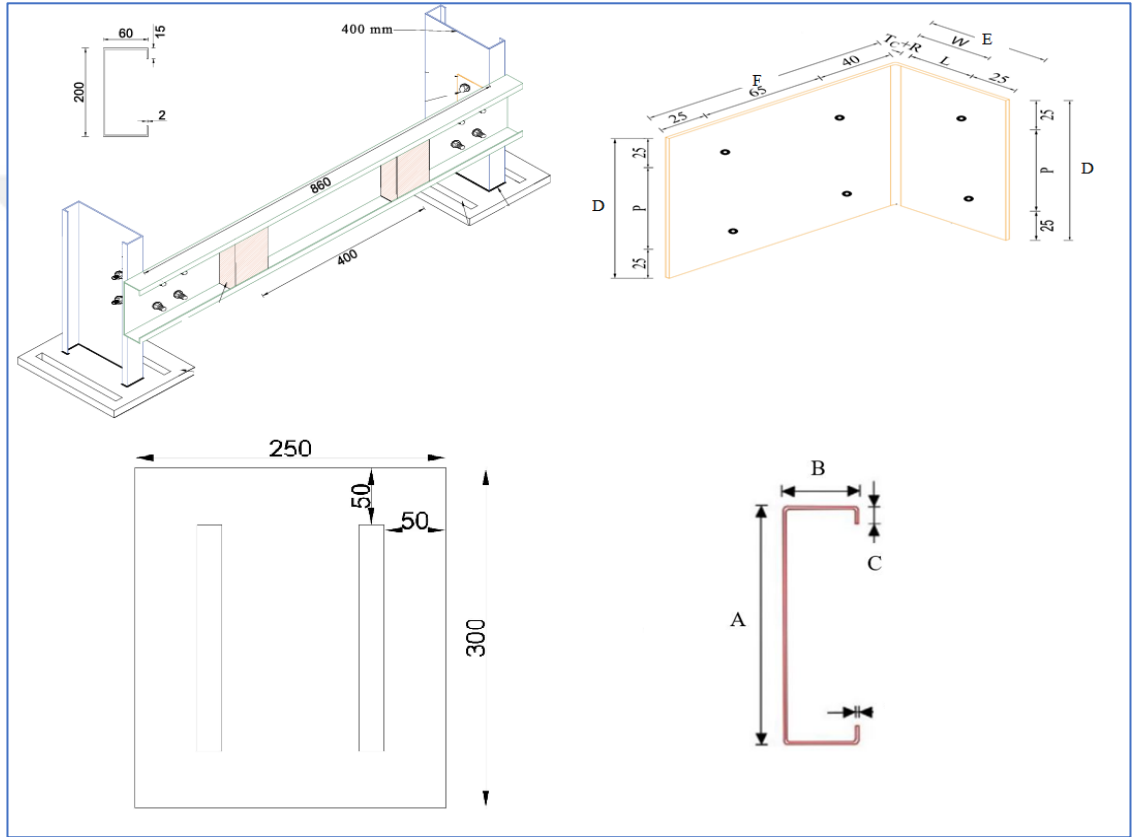
Yam et al. (2007a, 2007b) tarafından kaynaklı hafif çelik köşebent bağlantılı oluklu kesimli kirişlerin blok kesme dayanımının incelenmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada blok kesme dayanımını ve kaynaklı uç bağlantıları olan oluklu kesim kirişlerin davranışını araştırmak için 10 adet oluklu kesimli kiriş testi yapılmıştır. Bulon delikleri nedeniyle gövde kesit alanında herhangi bir azalma olmadığından, bulonlu uç bağlantıları olandan farklı olduğu görülmüştür. Test sonuçları, 10 numuneden sadece ikisinin çekme kırılmaları ile blok kesme modunda başarısız olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, en-boy oranı ve kesme alanı arttıkça bağlantı kapasitesinin arttığını göstermiştir. Geniş bir gerilim alanı, yükleme eksenrikstesini artıracak ve dolayısıyla açığa yakın kiriş bağlantı bölgesinin kenarına daha fazla eğilme momenti oluşturmuştur. İnce bir kiriş bağlantısı ve uzun başlık uzunluğu, yerel bağlantı burkulmasına duyarlılığı artırmıştır. Kiriş kesitinin derinliği ve bağlı konumu bağlantı kapasitesini büyük ölçüde etkilemiştir.

Lim and Nethercot (2003, 2004) soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar arasındaki cıvatalı moment bağlantıları için sonlu eleman analizi ve deneysel testler yapılmıştır. Bu deneylerde farklı boyutlarda cıvatalar kullanarak bir tepe bağlantı birleşiminde cıvataların uzamasının ve delik çaplarının değişiminin bağlantı mukavemetine etkisini incelemişlerdir. İlk dönme rijitliğini belirlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Cıvata deliklerindeki genişlemeler, rijitliği kontrol eden en önemli yapısal kriter olduğu gösterilmiştir. Cıvatalı moment bağlantılarının maksimum yük kapasitesiyle arasındaki ilişkiyle ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma laboratuvar testleri ve sonlu eleman analizleri sonucunda çelik cıvatalı moment bağlantıları göçme modunu incelemek için kullanılmıştır. Ölçülen maksimum moment kapasitesi ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar modelini kullanan, sabit bir kanal bölümü derinliğinin tepe levha kenar genişliğine oranına (D/b) sahip kanal kesitlerini kullanan bir parametrik çalışma, kanal bölümü derinliğinin braket kalınlığına oranı (D/t) ne kadar büyükse, cıvata grubu uzunluğunun bağlantının maksimum moment kapasitesi üzerindeki etkisinin o kadar önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneyel Çalışmalar ve Numuneler

Çalışmada kullanılan CFS köşebentler birbirinden farklı boyutlarda olan 36 adet deney yapılmıştır. Şekil 3.1’de deneylerin geometrik özellikleri ve Çizelge 3.1’de detayları verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney numunelerinin geometrik özellikleri

Çizelge 3.1. Numune ebatları

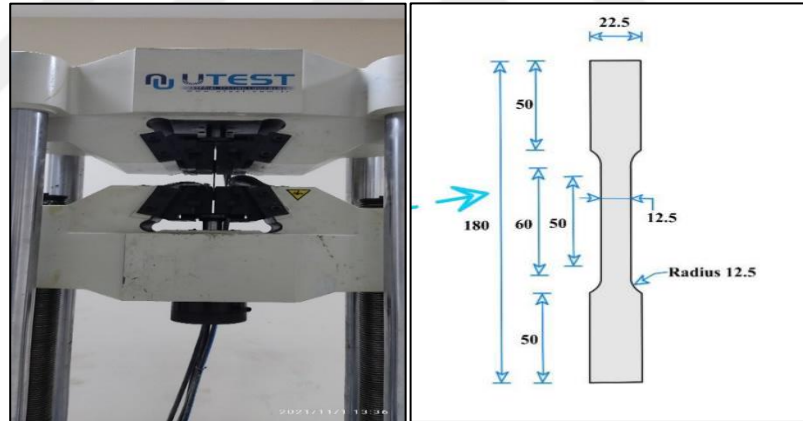
	Numune İsmi	Kolon					Kiriş					Taban Plakası	Hafif Çelik Köşebentler				
		*A mm	*B mm	*C mm	*t mm	L mm	*A mm	*B mm	*C mm	*t mm	L mm	t mm	t _c mm	F mm	D mm	E mm	
Grup	EXP12-1,2-65-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1000	10	1.2	130	100	65	
	EXP07-1,2-95-100															95	
	EXP17-1,2-125-100															125	
	EXP30-1,2-65-150														150	65	
	EXP25-1,2-95-150															95	
	EXP2-1,2-125-150															125	
	EXP28-1,2-65-180														180	65	
	EXP21-1,2-95-180															95	
	EXP18-1,2-125-180															125	
1,5 mm	EXP15-1,5-65-100												1.5		100	65	
	EXP10-1,5-95-100															95	
	EXP31-1,5-125-100															125	
	EXP4-1,5-65-150														150	65	
	EXP27-1,5-95-150															95	
	EXP13-1,5-125-150															125	
	EXP32-1,5-65-180														180	65	
	EXP36-1,5-95-180															95	
	EXP20-1,5-125-180															125	
2 mm	EXP24-2-65-100												2		100	65	
	EXP35-2-95-100															95	
	EXP22-2-125-100															125	
	EXP33-2-65-150														150	65	
	EXP19-2-95-150															95	
	EXP24-2-125-150															125	
	EXP11-2-65-180														180	65	
	EXP6-2-95-180															95	
	EXP9-2-125-180															125	
2,5 mm	EXP26-2,5-65-100												2.5		100	65	
	EXP29-2,5-95-100															95	
	EXP3-2,5-125-100															125	
	EXP14-2,5-65-150														150	65	
	EXP5-2,5-95-150															95	
	EXP23-2,5-125-150															125	
	EXP16-2,5-65-180														180	65	
	EXP1-2,5-95-180															95	
	EXP8-2,5-125-180															125	
*Deney Düzeneginde kolon ve kirişlerde A,B,C ve t değerleri eşittir.																	

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Cıvatalar DIN normlarına uygun üretilmiş C35-CK35 malzemeden üretilmiştir. 640 N/mm² çekme dayanımı vardır. HRC 21 ~ 29 sertlik değerlerine sahiptir. Deneylerde kullanılan hidrolik pompayı deney düzeneğinde bulunun kirişe sabitlemek ve deney numunelerini deney düzeneği altında bulunan zemine sabitlenmiş kirişe sabitlemek için M8.8-M22 bulonlar kullanılmıştır. Bulon ve sabit kiriş arasında boşluk kalmaması için gerekli durumlarda pul ilavesi yapılmıştır. Ayrıca CFS köşebentleri kirişe bağlantı yapmak kendiliğinden delen matkap uçlu trapez başlıklı 10 mm başlık, 5,5 mm gövde çapında 5 cm boyunda akıllı vidalar kullanılmıştır.

3.1.1. CFS hafif çelik köşebentlerin çekme testi

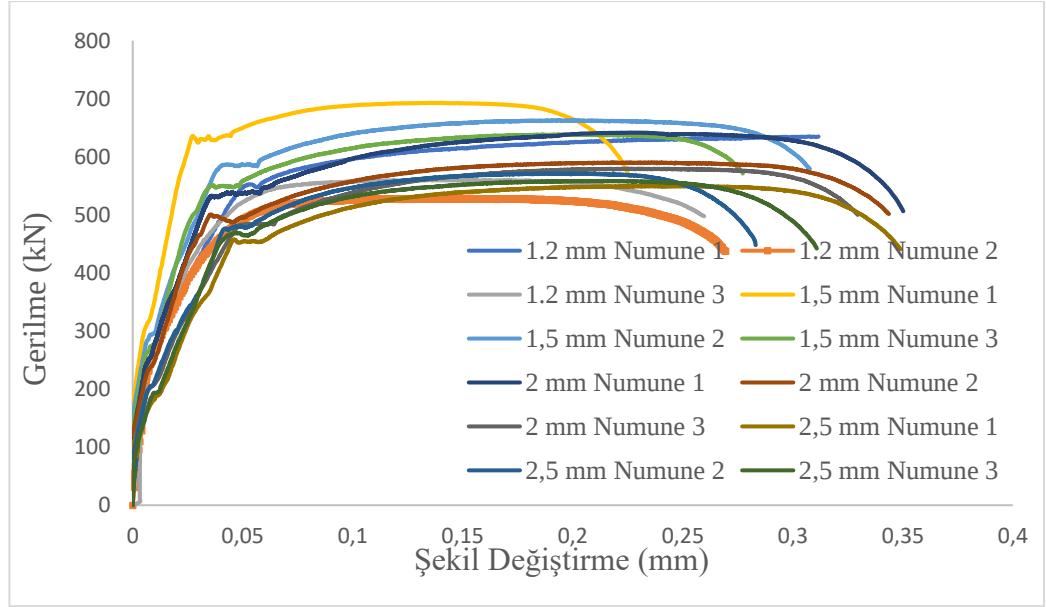
Hafif çelik köşebent plakaların her bir kalınlıkta (1,2 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm) numune için çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonrası çekme değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Numune çekme deneyleri (ölçü birimleri mm'dir)

Deneylerde kullanılan 1,2 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm kalınlıklarda numunelerden 3'er tane kestirilip çekme deneyi uygulayacak çekme mukavemetleri tespit edilmiştir. Buna göre her bir kalınlıkta numune için gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 3.3. Tüm kalınlıklarda numunelerin çekme testi grafiği

Şekil 3.3'te grafikleri verilen çekme deneylerinin sonuçlarına göre numunelerin Maksimum çekme dayanımı (f_u) ve akma dayanımı (f_y) Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Numune çekme deney sonuçları

Kalınlık	Dayanım (Mpa)	Numune 1 (Mpa)	Numune 2 (Mpa)	Numune 3 (Mpa)	Ortalama (Mpa)
1,2 mm	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	635,143	528,662	560,381	574,729
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	535,085	529,138	500,287	521,503
1,5 mm	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	693,042	662,963	638,552	664,852
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	619,977	586,588	547,615	584,727
2,0 mm	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	641,814	590,236	579,566	603,872
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	530,366	493,686	482,996	502,349
2,5 mm	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	549,764	571,364	558,586	559,905
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	464,528	468,484	468,316	467,109

Çekme numuneleri ASTM E8/E8M (2010) yönetmeliğine göre üretilmiş ve test edilmiştir. Numune kalınlıkları 1,2 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm ve her bir kalınlık için 3 numune olacak şekilde Şekil 3.5'te gösterilen düzeneğe 0,01 mm/sn yükleme hızıyla 30 kN kapasiteli çekme testi cihazı ile çekme testine tabi tutulmuştur. Sonuçları

Şekil.3.3'te grafiklerde gösterilmiştir. Çekme testi gerçekleştirilen numunelerin akma ve çekme dayanımları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

3.1.2. Deney sisteminin oluşturulması

Öncelikle Çizelge 3.1'de ebatları ve Şekil 3.1'de geometrik özellikleri verilen, atölye ortamında 72 adet 10x250x350 mm ebatlarında üzerinde 2 adet 20x200 mm badem tip cıvata deliği bulunan taban plakaları üretilmiştir. Sonra Çizelge 3.1'de ebatları ve Şekil 3.1'de kesiti gösterilen 72 adet 2 mm kalınlıkta 400 mm yükseklikte, 200 mm eninde CFS kolon ve yine 2 mm kalınlıkta, boyu 1.000 mm olan CFS kirişler üretilmiştir. CFS kolonlar gazaltı kaynağı yöntemi ile taban plakalarına kaynaklanmıştır. Ardından boyutları Çizelge 3.1'de ve kesiti Şekil 3.1'de verilen CFS hafif çelik köşebent plakalar, CFS kolonlara akıllı vida ile birleştirilmiştir. CFS Hafif çelik köşebent plaka CFS kirişe köşebent kenarlarından 25 mm boşluk bırakılarak 4 köşesinden 10 mm başlıklı, 5,5 mm gövde çaplı, 5 cm uzunluğunda akıllı vida ile sabitlenmiştir. Bu şekilde CFS hafif çelik köşebent plaka boyutları farklı olan 36 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerde CFS kirişin erken burkulmasını önlemek için yük aktarım noktaları altına ahşap takoz yerleştirilmiştir.

3.2. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Bu çalışmada yapılan deneylerde, Hidrolik Pompa, Deformasyon ölçme cihazı, Kayıt bilgisayarı, cıvatalar ve akıllı vidalar kullanılmıştır. Kullanılan aletler ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Hidrolik pompa, yükleme başlığı ve kayıt cihazı

Yükleme hücreleri; akademik çalışmalarda, laboratuvarlarda, endüstriyel tesislerde, depolama tanklarında ve silolarda sıklıkla kullanılan yük ya da kuvvet ölçme sensörüdür. Sadece basma yönünde, basma-çekme yönlerinde ya da farklı konfigürasyon ve geometrilerde (eğilme, kesme vb.) çalışan modelleri vardır. İki yönde çalışanlarına kuvvet sensörü (force transducer) denilmektedir. Oluşacak diyafram etkisi ile hem basma hem de çekme yükleri okunabilmektedir. Bu alet hidrolik pompaya bağlanmaktadır.

Hidrolik pompa yükü yüklemek için kullanılır ve yükleme hücre aleti, hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Kullanılan yükleme hücresi TEDS markalı ve maksimum kapasitesi 250 kN'dur. Şekil 3.5'te hidrolik yükleyici görülmektedir.

Kullanılan pompa Amerika Birleşik Devletleri üretimi olup Enerpac U10M modelidir. Kullanılan pompada hidrolik pistonu basabilmek için iki adet hortum sistemi bulunmaktadır. Hortumlardan biri hidrolik yağı basarken diğeri de hidrolik yağı pompanın deposuna geri çekmektedir. İstenilen hıza ayarlanabilmesi için valfi bulunmaktadır. Yükleme manüel olarak kumanda yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 3.5'te pompa şekli görülmektedir. Şekil 3.5' te gösterilen statik pompanın ve hidrolik pistonun kapasitesi 15 tondur.

3.2.2. Deformasyon ölçü cihazı (Doğrusal değişken diferansiyel çeviricisi (LVDT))

Deformasyon ölçüm cihazları deneylerde yük uygulanırken eğilmeleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılmaktadır. Bu cihazlarda, en düşük ölçü gösteren deformasyon cihazı 100 mm ve en yüksek 250 mm'dir, cihazların hata oranı 0.001 mm'dir. Deney esnasında, düşmesini engellemek ve doğru ölçü vermesini sağlamak için LVDT' leri sabitlemek gerekmektedir. Dijital ve analog olmak üzere iki çeşit LVDT vardır. Yapılan deneylerde kullanılan LVDT (Linear Variable Differential Transformers: (doğrusal değişken fark transformatoru) 100 mm, SDP-100C modeli Japonya da üretilmiştir. Deformasyon cihazları uygun bir şekilde dirençlere bağlandıktan sonra veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Şekil 3.5'te deneylerde kullanılan LVDT gösterilmiştir.

3.2.3. Veri toplama ve kaydetme sistemi (Veri kaydedici)

Deneylerde kullanılan veri kaydedici elektriksel bir veri kaydedicidir. Verileri zamana veya başka bir sinyal voltajına karşı çizilen sinyal voltajlarını ölçmek ve görüntülemek için kayıt yapan elektronik bir cihazdır. Veri kaydediciler elektrik kaynağının olmadığı yerlerde batarya ile de çalışabilirler. Daha öncesinde belirlenen ölçüm aralıklarda gelen verileri kaydederler. Bu aralıklar istenildiği takdirde milisaniye, saniye, dakika ve saat olarak ayarlanabilir. Veri kaydedicileri bilgisayara ve gerekli ölçüm aletine bağlandıktan sonra bir arayüz sayesinde ölçüm aletlerinden gelen verileri

bilgisayara kaydedebilir. Veri kaydedicilerin hem taşınabilir hem de sabit olarak kullanılabilen modelleri mevcuttur. Veri kaydedicileri genellikle konum, yük, sıcaklık, nem ve pH gibi değerleri kullanım şekline göre istenirse birçok fiziksel veriyi de eş zamanlı olarak ölçebilir. Kullanımı deney başladığında arayüzünde kayıt başla talimatı verilerek ölçüm aletlerindeki verileri veri kaydediciye aktarıp deney bittikten sonra da kaydedilir. Şekil 3.4'te deneylerde kullanılan veri kaydedici sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deneylere veri kaydedicileri

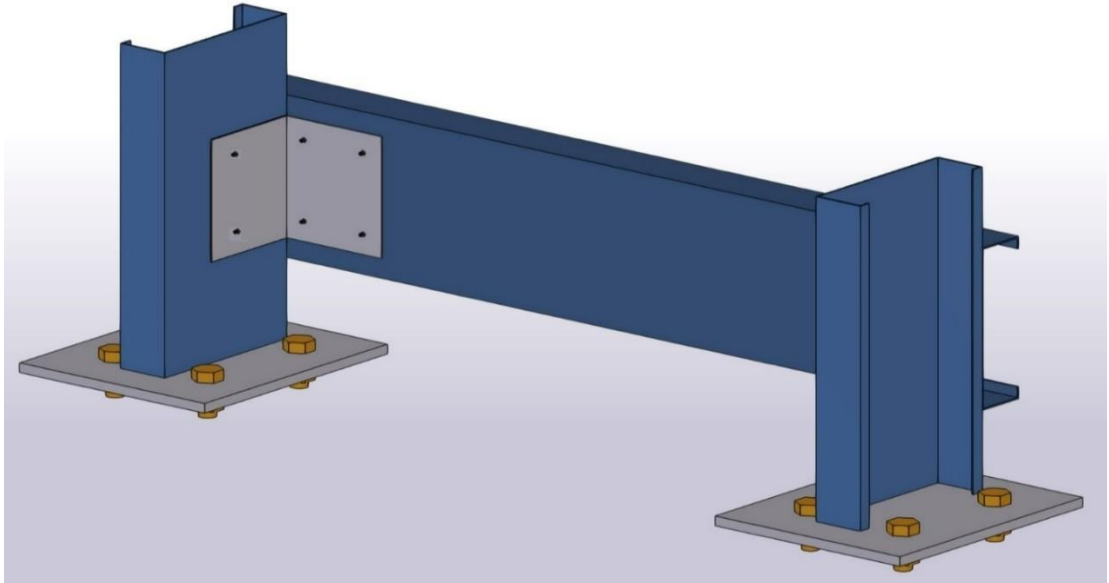
3.3. Deney Sistemi

Deneyler Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinde bulunan İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında yapılmıştır.

Deney düzeneği, Şekil 3.5'de gösterildiği gibi laboratuvardaki çelik kiriş ve çelik kolonlardan oluşan çerçeve sisteme yerleştirilmiş 15 ton kapasiteli hidrolik pompa kirişin alt noktasından sabitlenmiştir. Hidrolik pompa başlığına, kiriş sağ ve sol uç noktasından 300 mm mesafeye denk gelecek şekilde 2 adet çelik yükleme profili sabitlenmiştir. Deney düzeneği, deney numunelerinin taban plakaları toplam 12 adet cıvata ile zemine yerleştirilen ankastre kiriş üzerine sabitlenmesi ile oluşturulmuştur.



Şekil 3.5. Deney düzeneği sistemi



Şekil 3.6. Bilgisayarda oluşturulmuş deney numunesi

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında soğukta şekil verilmiş çelik hafif çelik köşebent plakaların akıllı vida yardımıyla oluşturulan birleşimlerinin kesme kuvveti etkisi incelenmiştir. Bu nedenle toplam 36 deney numunesi üretilerek kesme kuvveti deneyi yapılmıştır. Deneyler sırasında statik yükleme pompasından ve LVDT deformasyon ölçüm cihazlarından alınan değerler kaydedilmiştir. Deney sırasında hafif çelik köşebent plakaların burkulması, kolon kaynak yırtılması, akıllı vida sıyırması ve kopması, hafif çelik köşebent plaka yırtılması, kiriş burkulması, kolon burkulması, gibi deformasyon modları kaydedilmiştir. Hem cihaz verileri hemde görsel gözlemler çerçevesinde çelik hafif çelik köşebent plakaların yükseklik, kalınlık, ve genişlikleri göz önünde bulundurularak deney numuneleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada hafif çelik köşebent plakaların en uygun boyutları belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Deneylerin Karşılaştırılması

Bu çalışmada uygulanan deneyler hafif çelik köşebent plakaların en/boy oranı ve kalınlıklarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Hafif çelik köşebentlerin kalınlıkları 1,2 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm olacak şekilde 4 gruplandırılan numuneler kendi içerisinde de hafif çelik köşebent plaka derinlikleri ve hafif çelik köşebent plaka uzunluklarına göre sınıflandırılarak deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.1.1 Düşey deplasmanların karşılaştırılması

Yapılan deneylerde numuneler hafif çelik köşebent plakaların kalınlıklarına göre 4 ayrılarak her grupta kendi içerisinde karşılaştırma yapılmış, sonrasında birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Numunelerin köşebent kalınlığı (t_c), köşebent kiriş bağlantı noktasında genişliği (B), köşebent kolon bağlantı noktasında toplam uzunluğu (A), köşebent kolon bağlantı noktasında kaynak payı düşüldükten sonra kalan net düz uzunluğu (L), hafif çelik köşebent plakanın kolon tarafında net uzunluğunun hafif çelik köşebent plaka derinliğine oranı (L/D) parametrelerine göre karşılaştırma yapılmıştır. 1,2 mm kalınlıkta olan numuneler için oluşturulan grup aşağıdaki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

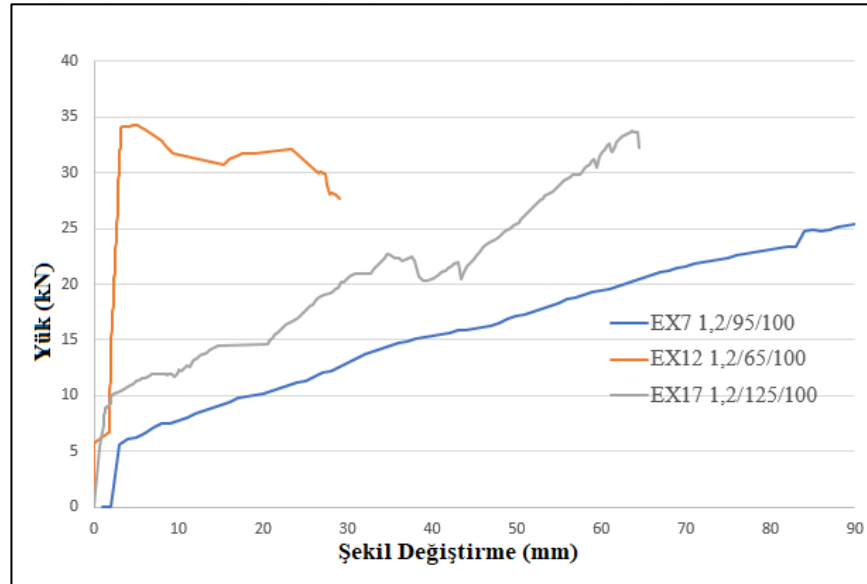
1,2 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 1,2 mm kalınlıkta hafif çelik köşebent plaka ebatları ve en/boy oranları (L/D) Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 1,2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları

Numune İsmi	Köşebent Kalınlığı t_c (mm)	Köşebent Genişliği B (mm)	Köşebent Derinliği D (mm)	Köşebent Toplam Uzunluğu A (mm)	Köşebent Düz Uzunluğu W (mm)	Plaka ve Dış Vida Arası Mesafe L (mm)	L/D ORANI
EXP12	1,2 mm	130	100	65	40	37,036	0,37
EXP7	1,2 mm	130	100	95	70	67,036	0,67
EXP17	1,2 mm	130	100	125	100	97,036	0,97
EXP30	1,2 mm	130	150	65	40	37,036	0,247
EXP25	1,2 mm	130	150	95	70	67,036	0,447
EXP2	1,2 mm	130	150	125	100	97,036	0,647
EXP28	1,2 mm	130	180	65	40	37,036	0,206
EXP21	1,2 mm	130	180	95	70	67,036	0,372
EXP18	1,2 mm	130	180	125	100	97,036	0,539

Exp12 (1,2/65/100), Exp7 (1,2/95/100), Exp17 (1,2/125/100) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

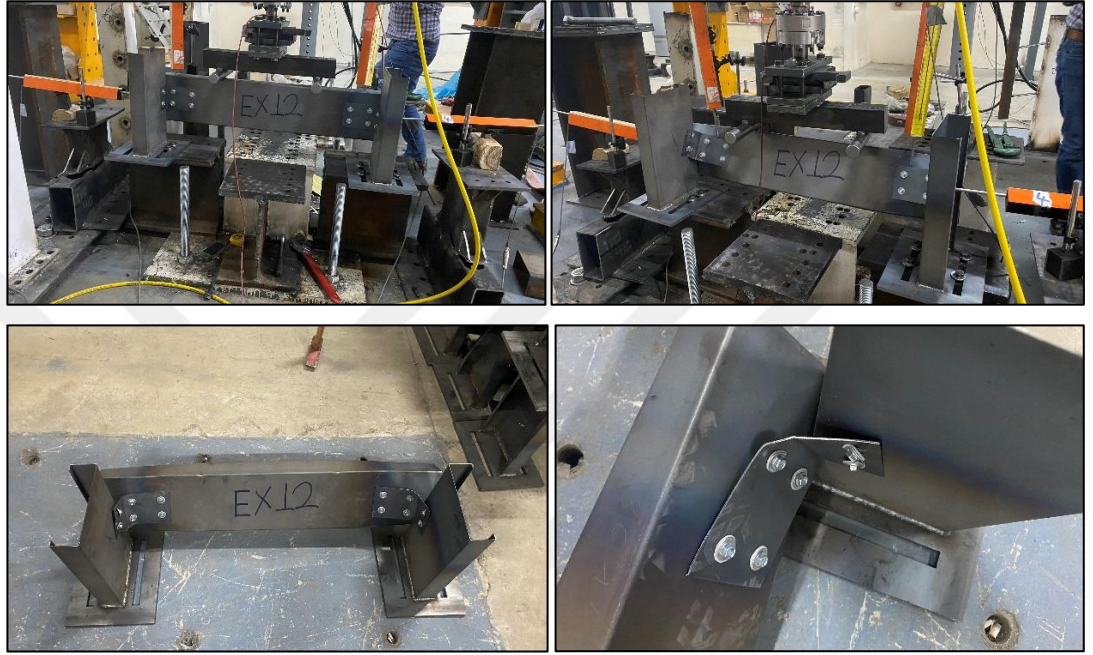


Şekil 4.1. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük-Düşey şekil değiştirme grafiği.

Şekil 4.1’de verilen grafik 1,2 mm kalınlık, 100 mm derinlik ve 65-95-125 mm uzunluktaki hafif çelik köşebentlerin yükleme deneyi sonucu oluşan Yük-Şekil

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

değiştirme grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %26 lik düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %33 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir. Numune deformasyonları Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir



Şekil 4.2. EXP12-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri



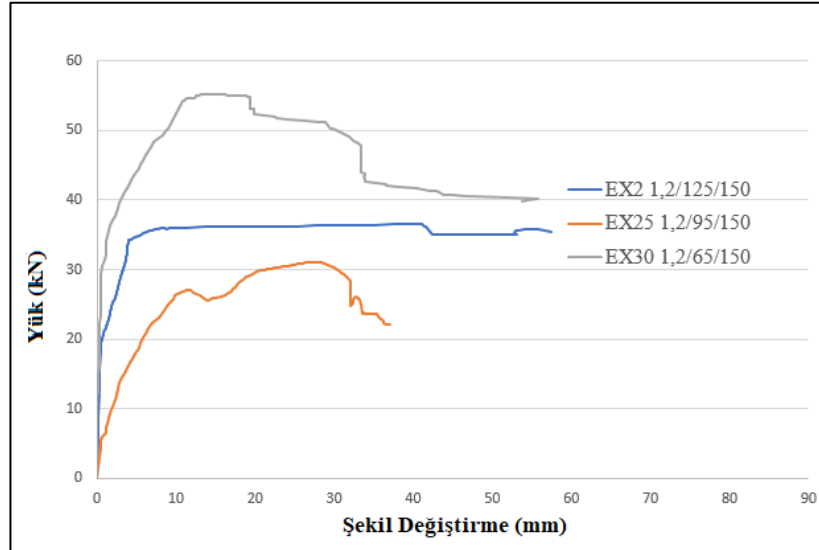
Şekil 4.3. EXP7-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.4. EXP17-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp30 (1,2/65/150), Exp25 (1,2/95/150), Exp2 (1,2/125/150) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.5’te gösterilmiştir.

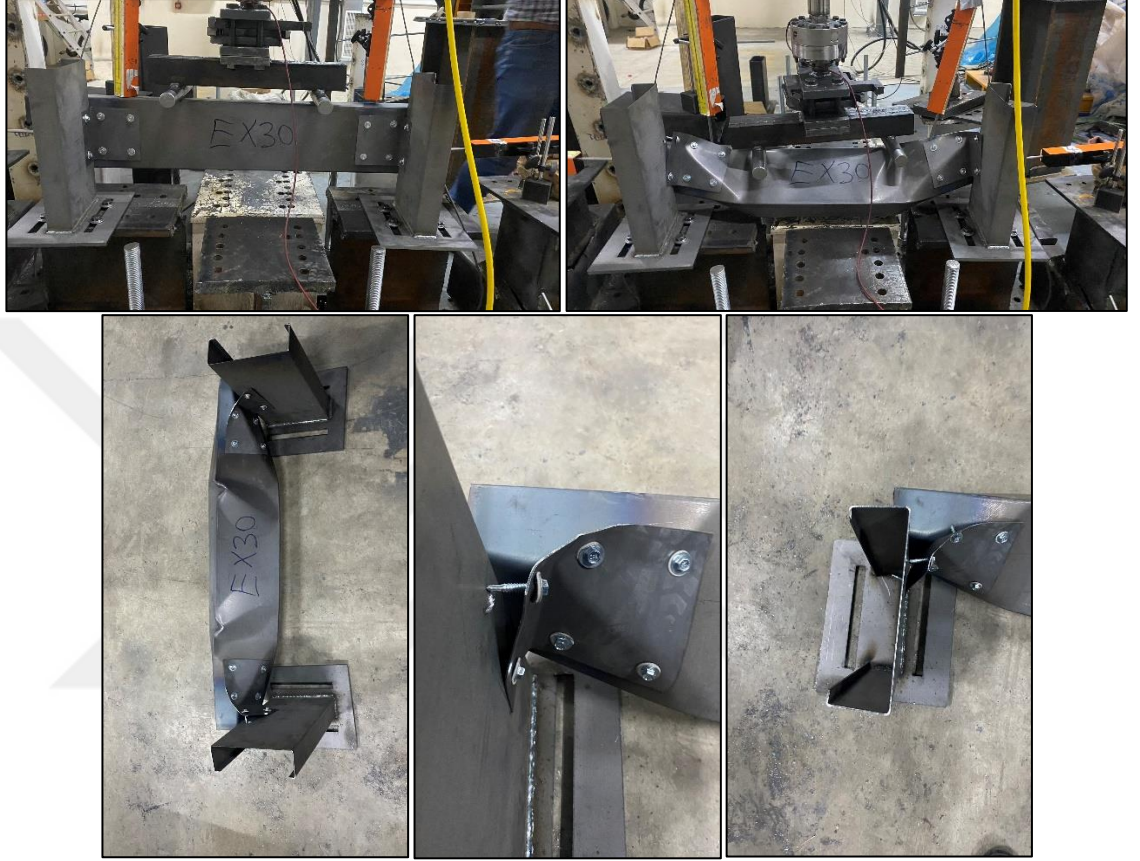


Şekil 4.5. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük-Düşey şekil değiştirme grafiği.

Şekil 4.5’te verilen grafik 1,2 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yük-Şekil değiştirme grafiğini göstermektedir. 150 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %11 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %15 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

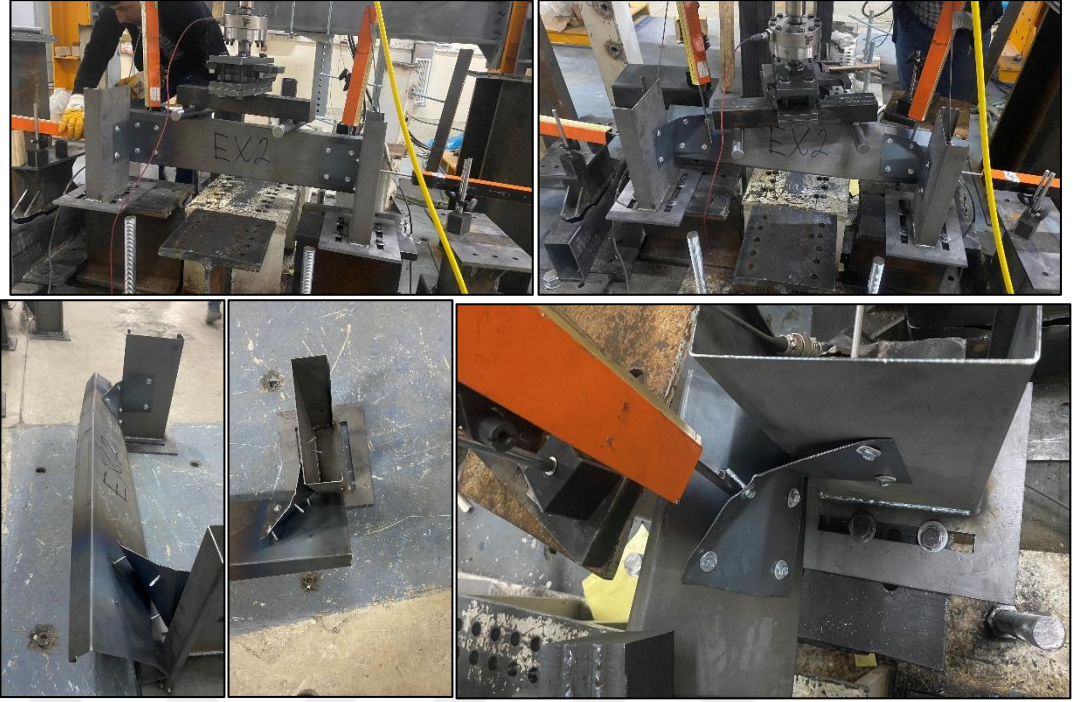


Şekil 4.6. EXP30-1,2-65-150 deney sonrası göçme görselleri



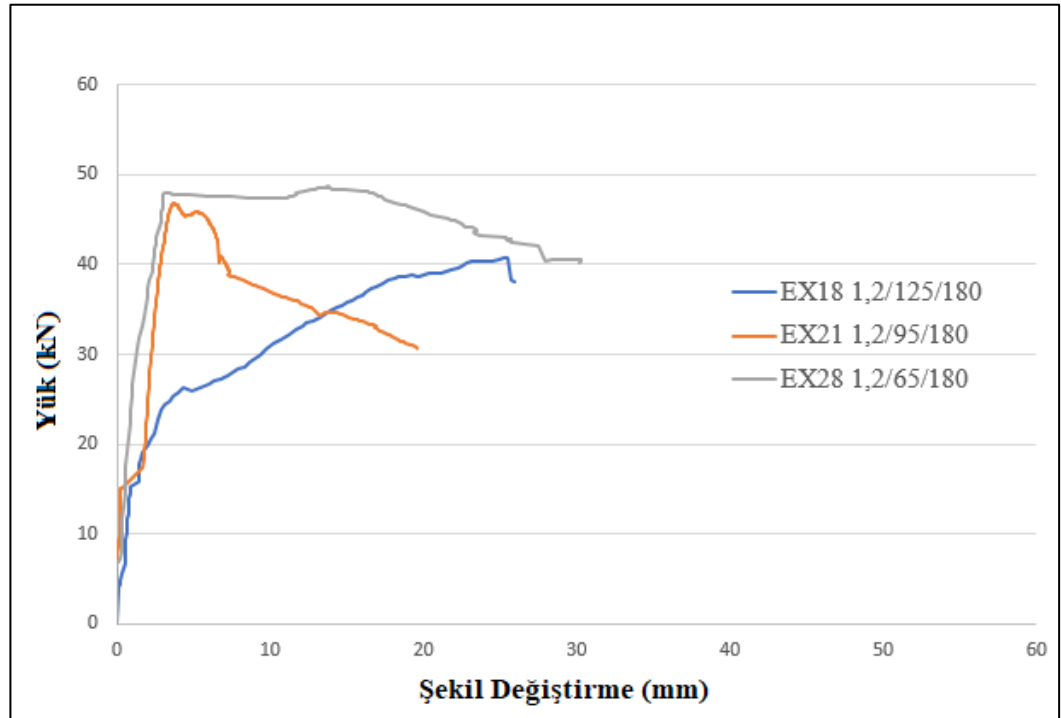
Şekil 4.7. EXP25-1,2-95-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.8. EXP2-1,2-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp28 (1,2/65/180), Exp21 (1,2/95/180), Exp18 (1,2/125/180) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



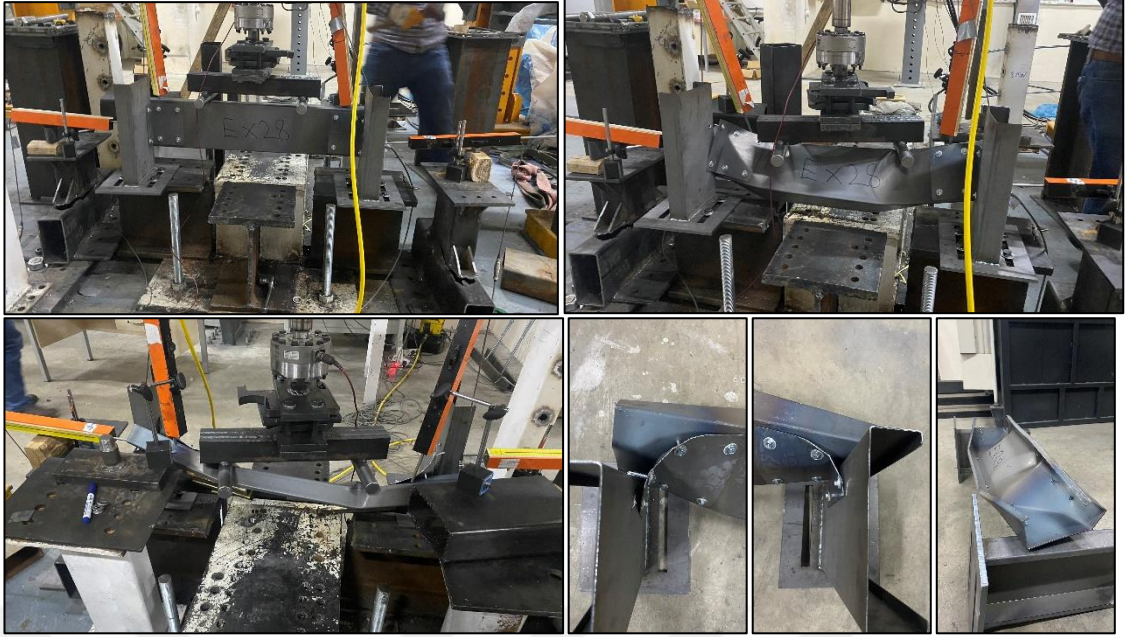
Şekil 4.9. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük-düşey şekil değiştirme grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.9’da verilen grafik 1,2 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan yük-şekil değiştirme grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %11 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %15 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.10. EXP28-1,2-65-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.11. EXP21-1,2-95-180 deney sonrası göçme modları

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.12. EXP18-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri

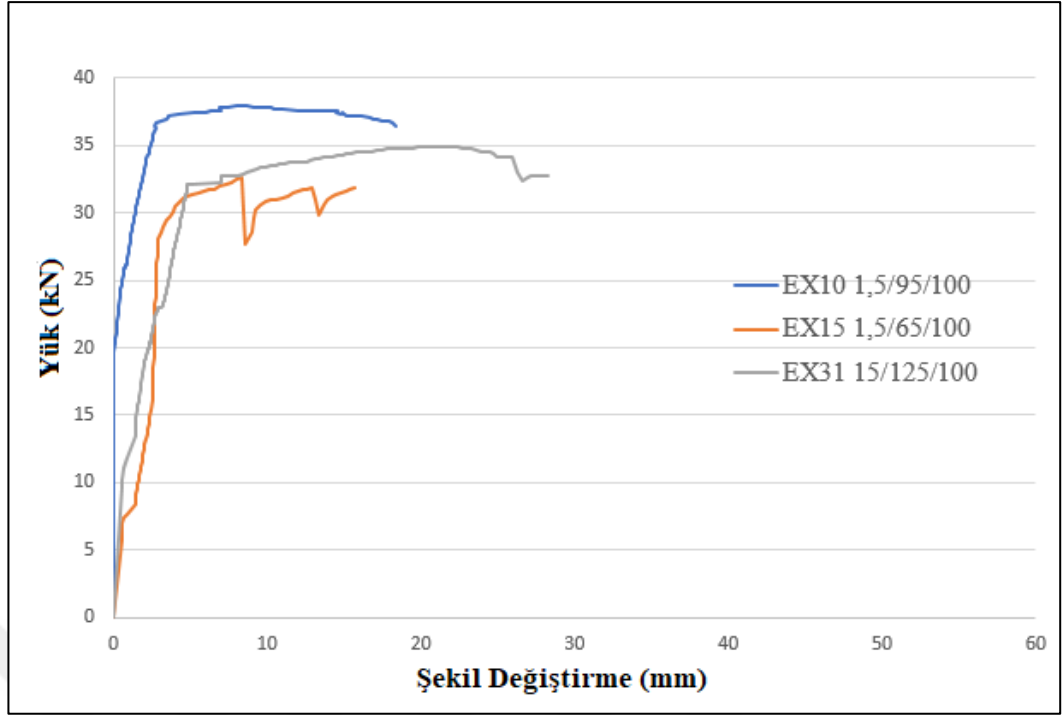
1,5 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 1,5 mm kalınlıkta hafif çelik köşebent plaka ebatları ve en/boy oranları (L/D) Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 1,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları

Numune İsmi	Köşebent Kalınlığı t_c (mm)	Köşebent Genişliği B (mm)	Köşebent Derinliği D (mm)	Köşebent Toplam Uzunluğu A (mm)	Köşebent Düz Uzunluğu W (mm)	Plaka ve Dış Vida Arası Mesafe L (mm)	L/D ORANI
EXP15	1,5 mm	130	100	65	40	36,295	0,363
EXP10	1,5 mm	130	100	95	70	66,295	0,663
EXP31	1,5 mm	130	100	125	100	96,295	0,963
EXP4	1,5 mm	130	150	65	40	36,295	0,242
EXP27	1,5 mm	130	150	95	70	66,295	0,442
EXP13	1,5 mm	130	150	125	100	96,295	0,642
EXP32	1,5 mm	130	180	65	40	36,295	0,202
EXP36	1,5 mm	130	180	95	70	66,295	0,368
EXP20	1,5 mm	130	180	125	100	96,295	0,535

Exp15 (1,5/65/100), Exp10 (1,5/95/100), Exp31 (1,5/125/100) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin Yük-Düşey şekil değiştirme grafiği.

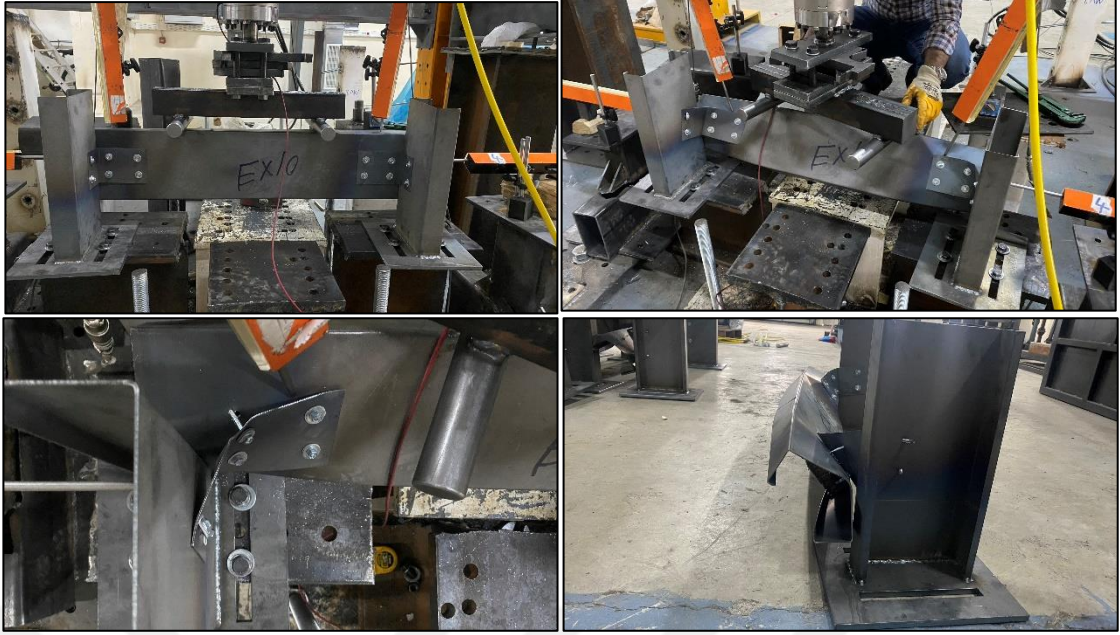
Şekil 4.13'te verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan yük-şekil değiştirme grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %30 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %36 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

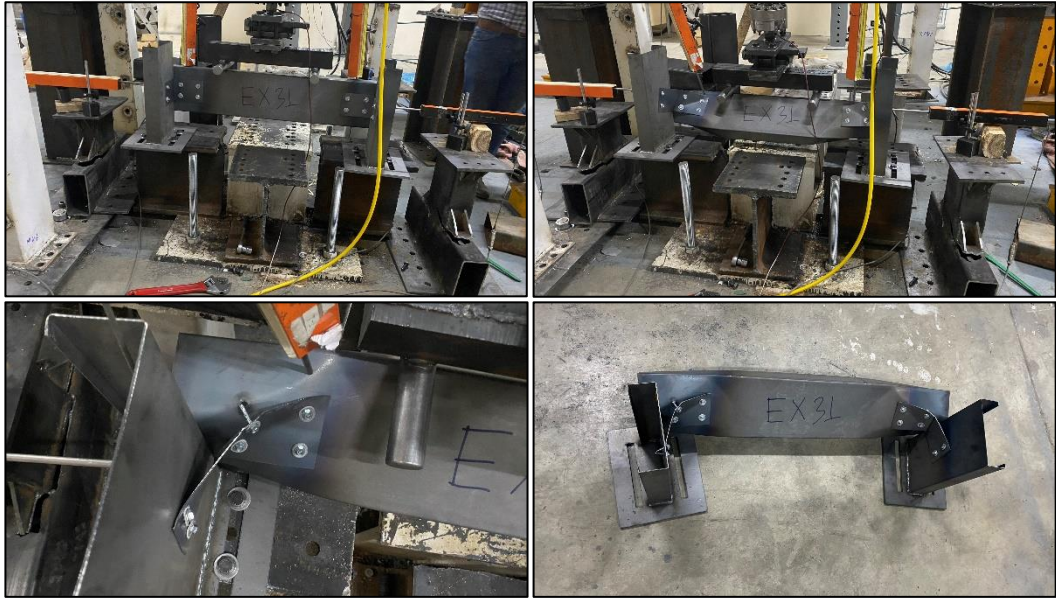


Şekil 4.14. EXP15-1,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

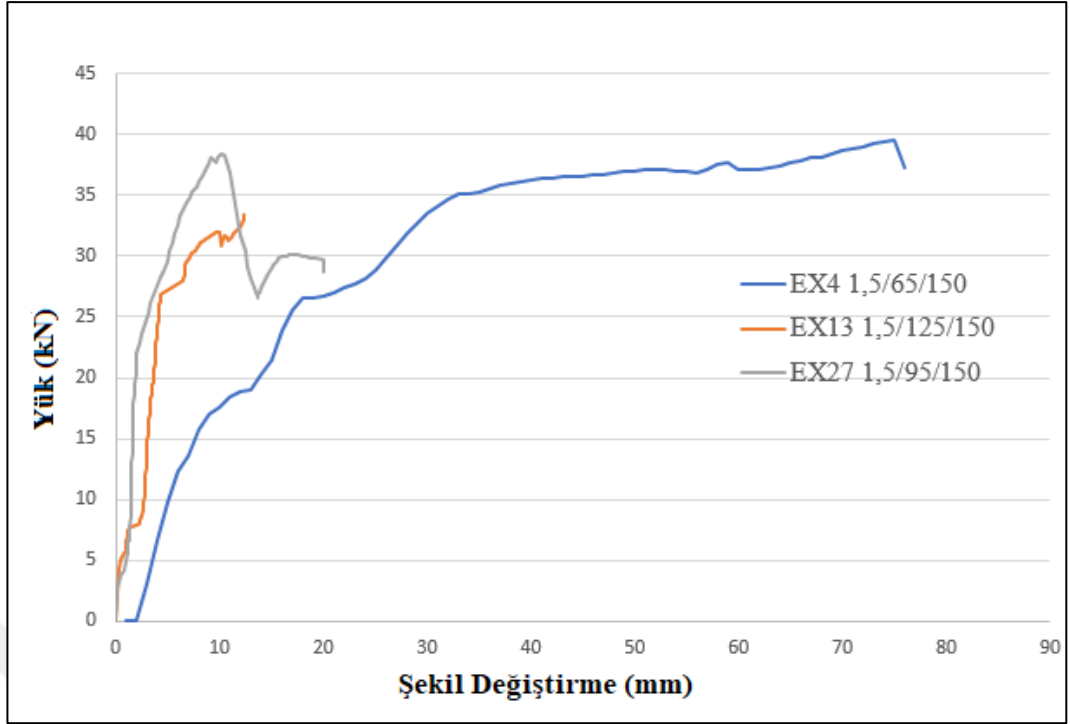


Şekil 4.15. EXP10-1,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.16. EXP31-1,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp4 (1,5/65/150), Exp27 (1,5/95/150), Exp13 (1,5/125/150) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.17’de verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 150 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %3 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %13 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.18. EXP4-1,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.19. EXP27-1,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri

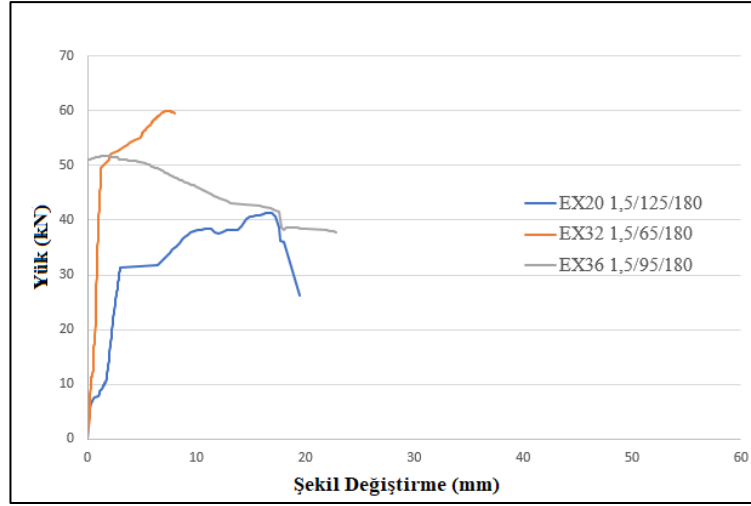
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.20. EXP13-1,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp32 (1,5/65/180), Exp36 (1,5/95/180), Exp20 (1,5/125/180) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.21. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.21’de verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %7 azalış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %10 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22. EXP32-1,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.23. EXP36-1,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.24. EXP20-1,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri

2,0 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

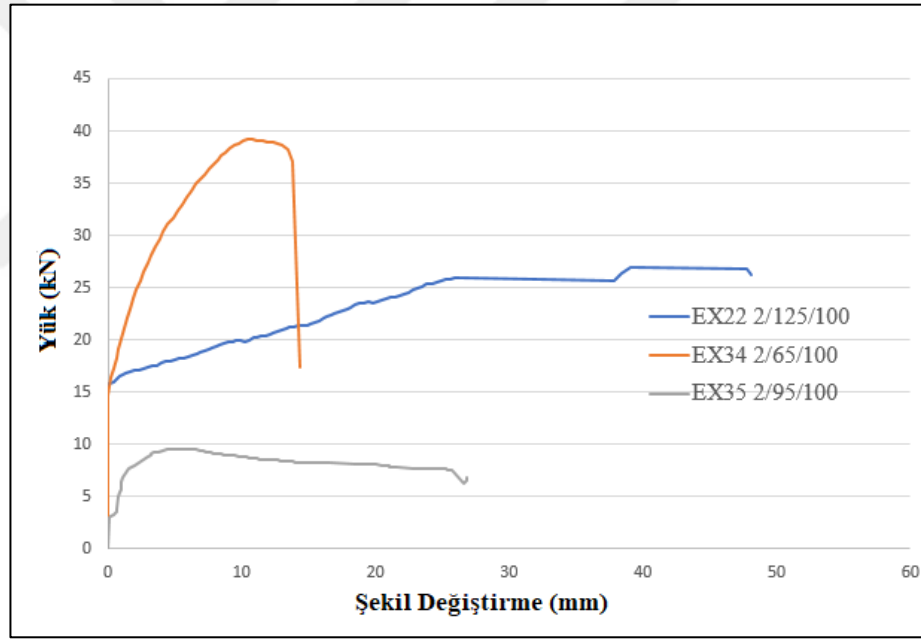
Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 2 mm kalınlıkta hafif çelik köşebent plaka ebatları ve en/boy oranları (L/D) Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çizelge 4.3. 2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları

Numune İsmi	Köşebent Kalınlığı t_c (mm)	Köşebent Genişliği B (mm)	Köşebent Derinliği D (mm)	Köşebent Toplam Uzunluğu A (mm)	Köşebent Düz Uzunluğu W (mm)	Plaka ve Dış Vida Arası Mesafe L (mm)	L/D ORANI
EXP34	2,0 mm	130	100	65	40	35,06	0,351
EXP35	2,0 mm	130	100	95	70	65,06	0,651
EXP22	2,0 mm	130	100	125	100	95,06	0,951
EXP33	2,0 mm	130	150	65	40	35,06	0,234
EXP19	2,0 mm	130	150	95	70	65,06	0,434
EXP24	2,0 mm	130	150	125	100	95,06	0,634
EXP11	2,0 mm	130	180	65	40	35,06	0,195
EXP6	2,0 mm	130	180	95	70	65,06	0,361
EXP9	2,0 mm	130	180	125	100	95,06	0,528

Exp34 (2,0/65/100), Exp35 (2,0/95/100), Exp22 (2,0/125/100) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.25'te verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %30 azalış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %44 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.26. EXP34-2 -65-100 deney sonrası göçme görselleri



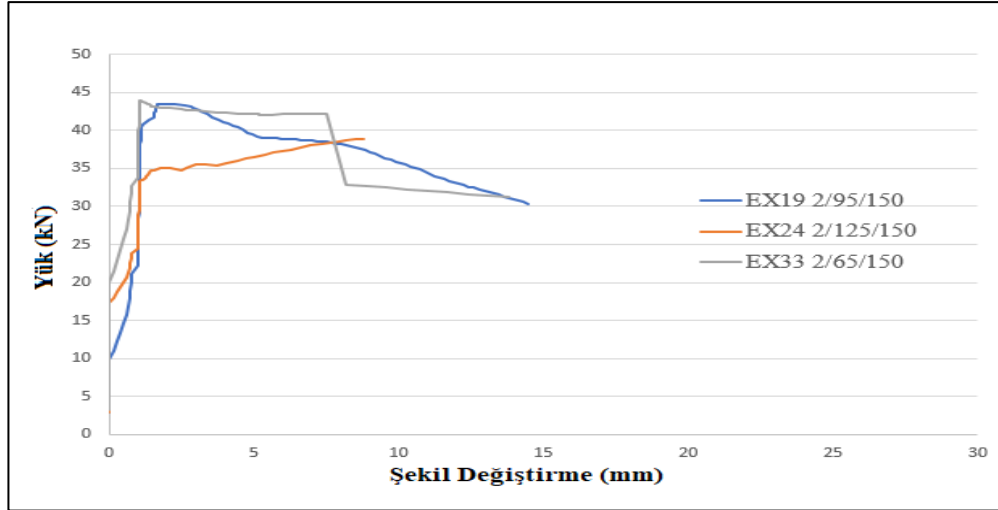
Şekil 4.27. EXP35-2-95-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.28. EXP22-2-125-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp33 (2,0/65/150), Exp19 (2,0/95/150), Exp24 (2,0/125/150) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.29. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.29'da verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 150 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %1 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %25 maksimum kesme kuvveti düşüşü gözlemlenmiştir.

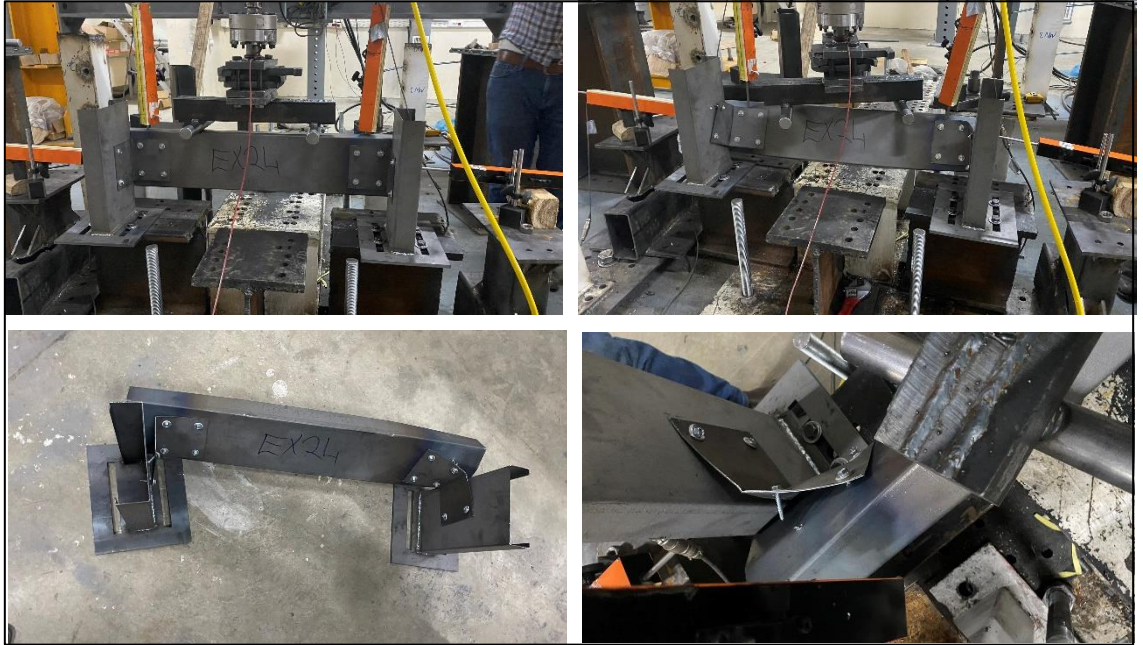


Şekil 4.30. EXP33-2-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



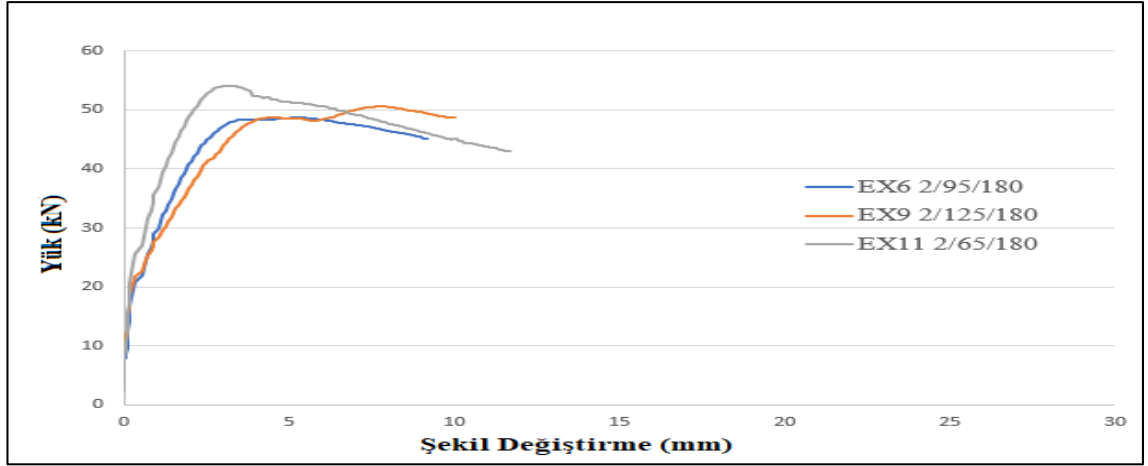
Şekil 4.31. EXP19-2-95-150 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.32. EXP24-2-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp11 (2,0/65/180), Exp6 (2,0/95/180), Exp9 (2,0/125/180) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.33'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.33. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

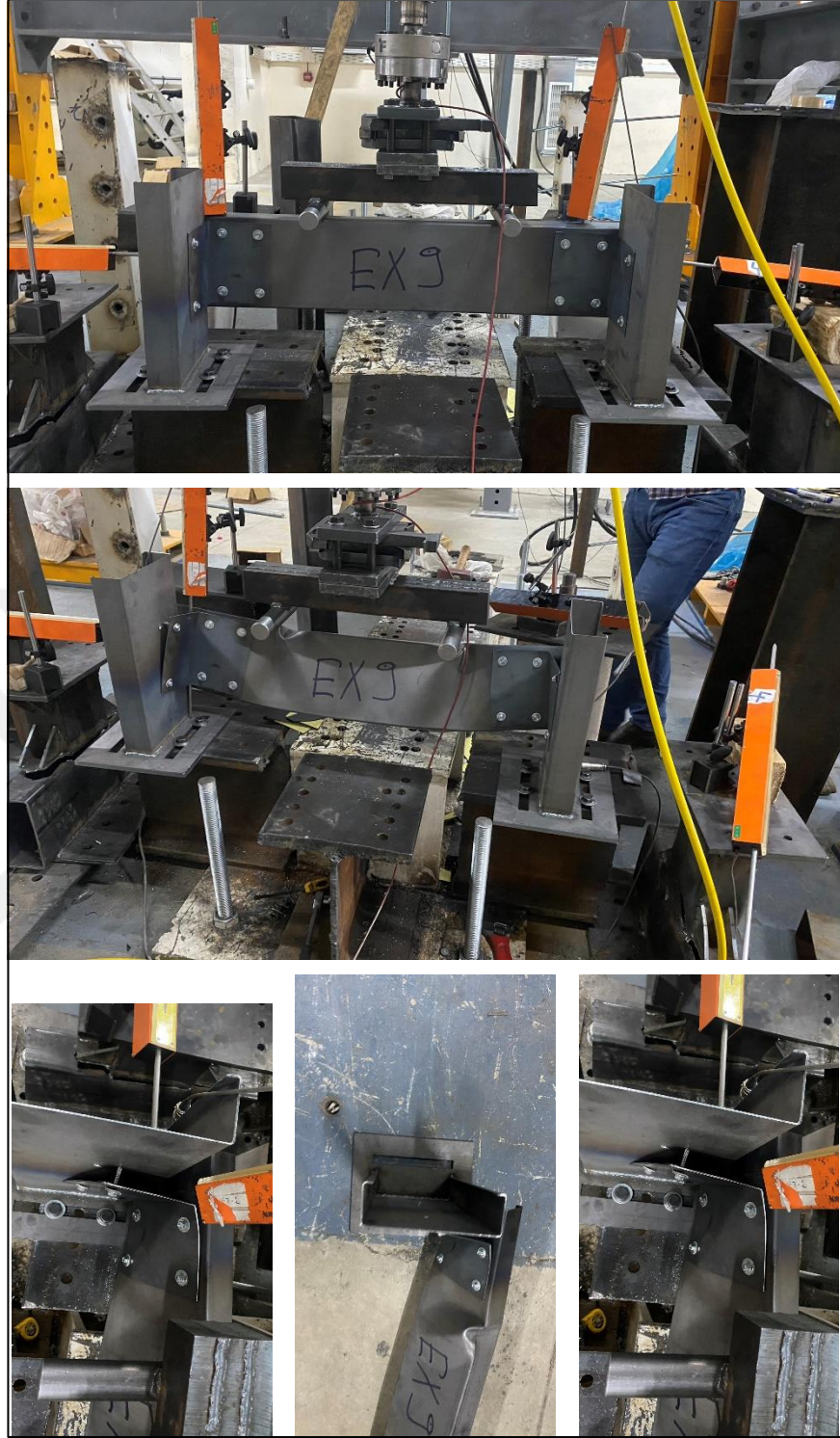
Şekil 4.33'te verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %15 azalış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %4 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.34. EXP11-2-65-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.35. EXP6-2-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.36. EXP9-2-125-180 deney sonrası göçme görselleri

2,5 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

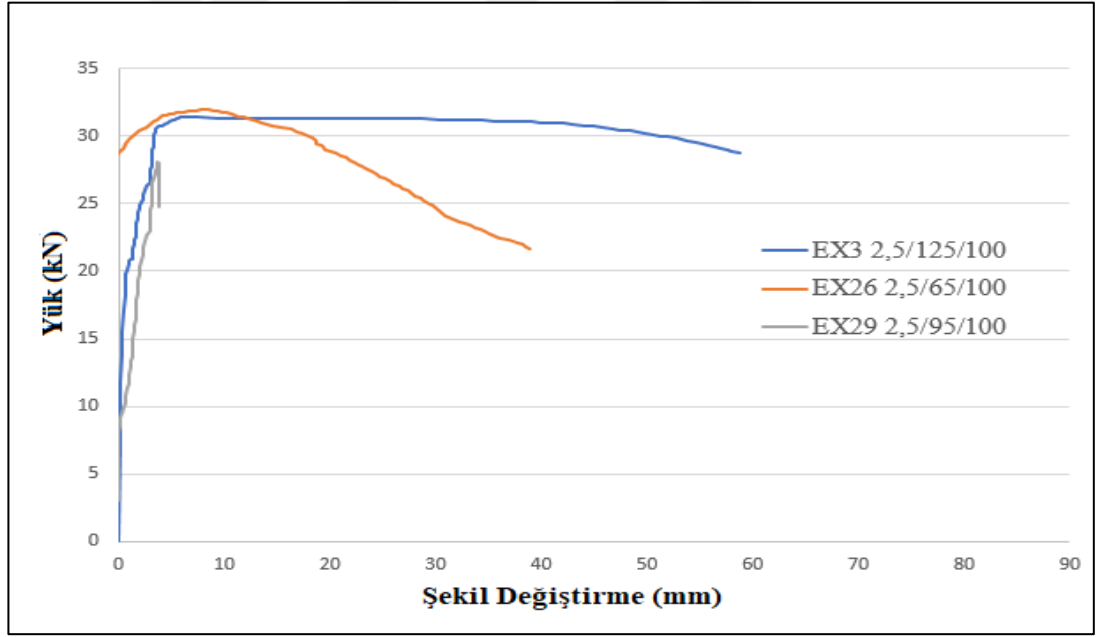
Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 2,5 mm kalınlıkta hafif çelik köşebent plaka ebatları ve en/boy oranları (L/D) Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çizelge 4.4. 2,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları

Numune İsmi	Köşebent Kalınlığı t_c (mm)	Köşebent Genişliği B (mm)	Köşebent Derinliği D (mm)	Köşebent Toplam Uzunluğu A (mm)	Köşebent Düz Uzunluğu W (mm)	Plaka ve Dış Vida Arası Mesafe L (mm)	L/D ORANI
EXP26	2,5 mm	130	100	65	40	33,825	0,338
EXP29	2,5 mm	130	100	95	70	63,825	0,638
EXP3	2,5 mm	130	100	125	100	93,825	0,938
EXP14	2,5 mm	130	150	65	40	33,825	0,226
EXP5	2,5 mm	130	150	95	70	63,825	0,426
EXP23	2,5 mm	130	150	125	100	93,825	0,626
EXP16	2,5 mm	130	180	65	40	33,825	0,188
EXP1	2,5 mm	130	180	95	70	63,825	0,355
EXP8	2,5 mm	130	180	125	100	93,825	0,521

Exp26 (2,5/65/100), Exp29 (2,5/95/100), Exp3 (2,5/125/100) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.37’de verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %13 azalış gözlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %12 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.38. EXP26-2,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



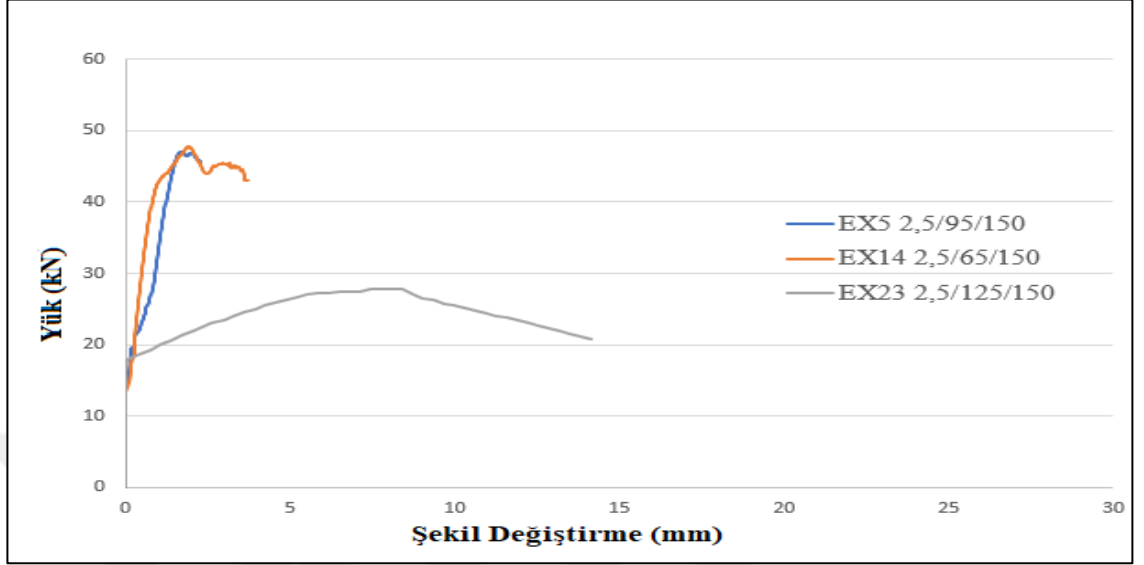
Şekil 4.39. EXP29-2,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.40. EXP3-2,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Exp14 (2,5/65/150), Exp5 (2,5/95/150), Exp23 (2,5/125/150) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

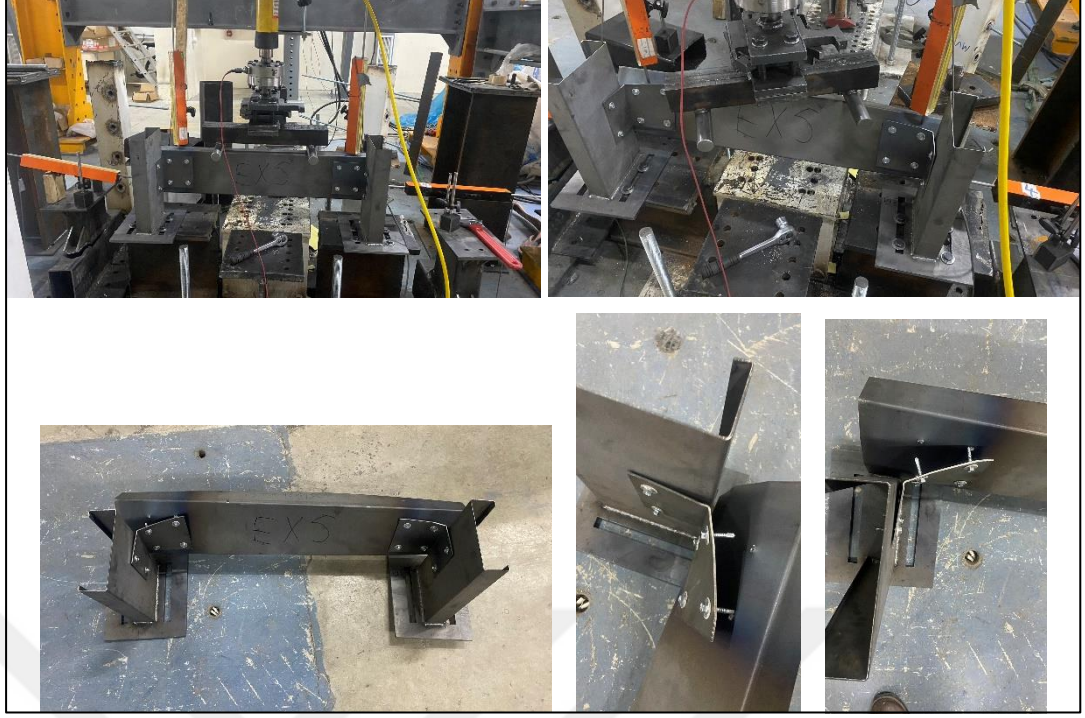
Şekil 4.41’de verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 150 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %8 azalış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %20 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

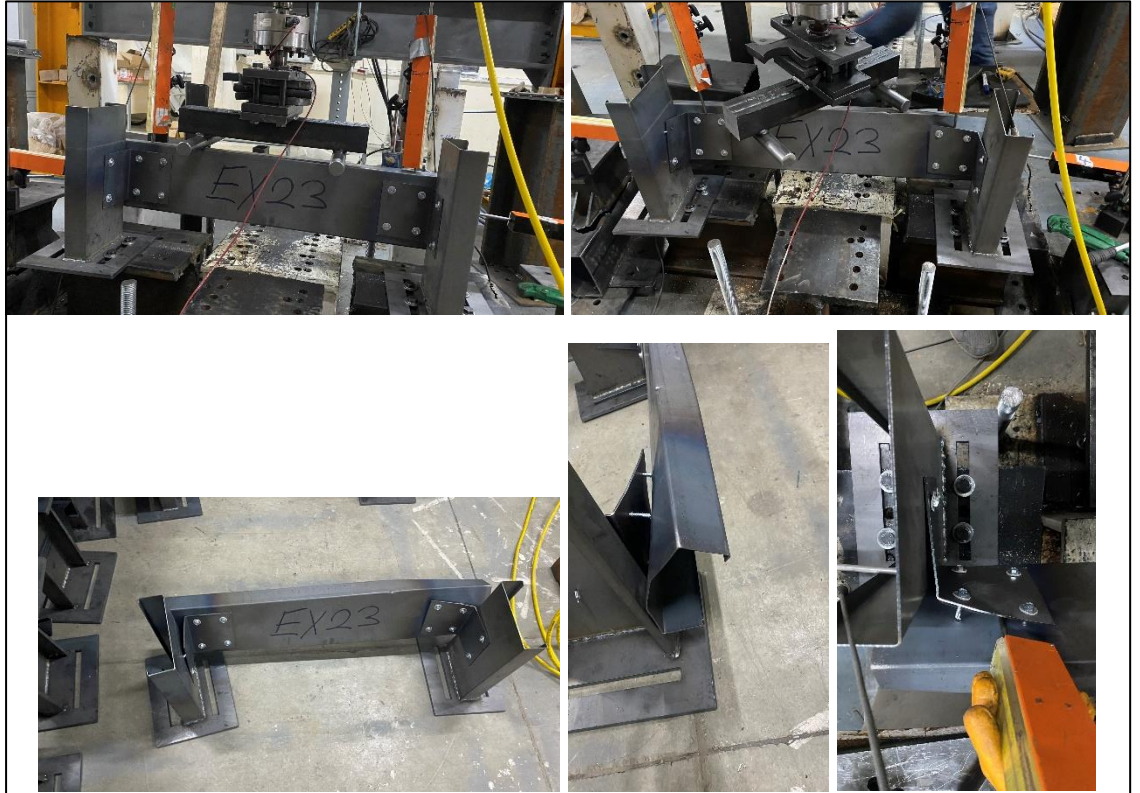


Şekil 4.42. EXP14-2,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



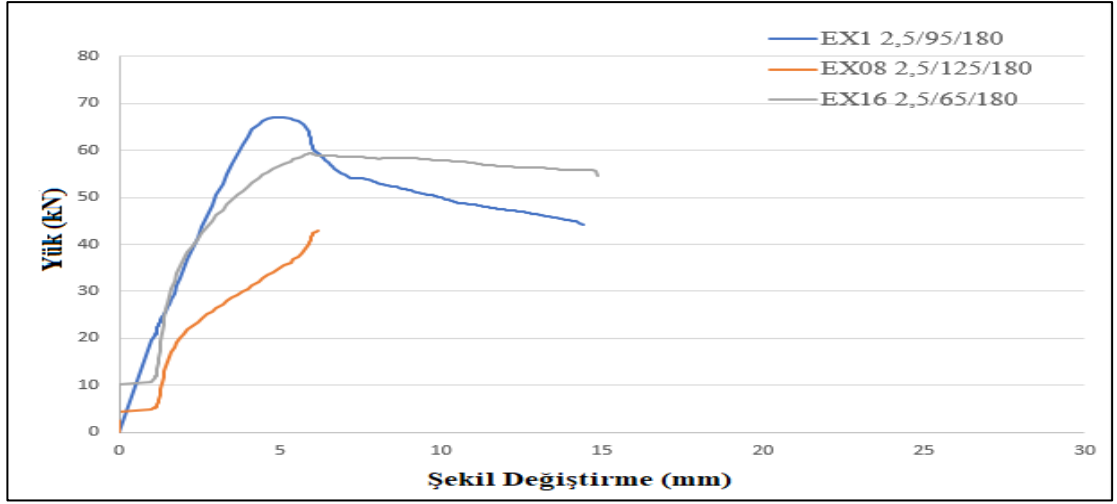
Şekil 4.43. EXP5-2,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.44. EXP23-2,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri

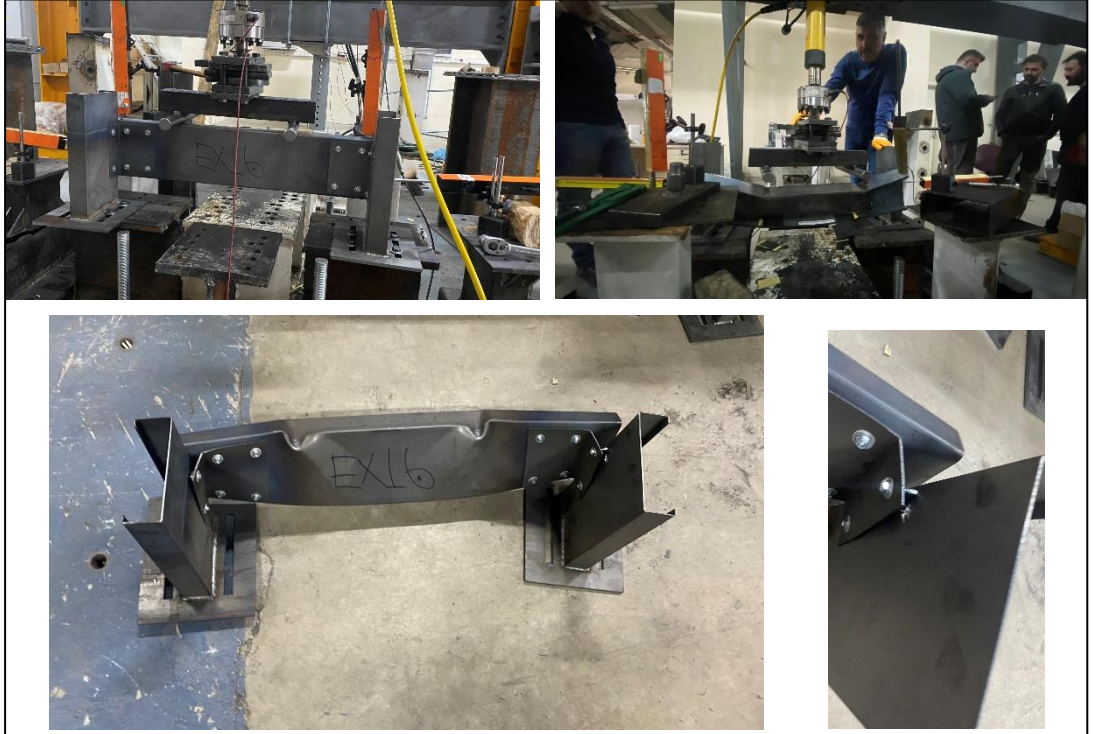
Exp16 (2,5/65/180), Exp1 (2,5/95/180), Exp8 (2,5/125/180) numunelerine ait yük-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.45'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.45. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.45'te verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %12 azalış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %20 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.46. EXP16-2,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.47. EXP1-2,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.48. EXP8-2,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri

Hafif çelik köşebent plaka yükseklikleri ve maksimum kuvvete göre karşılaştırma

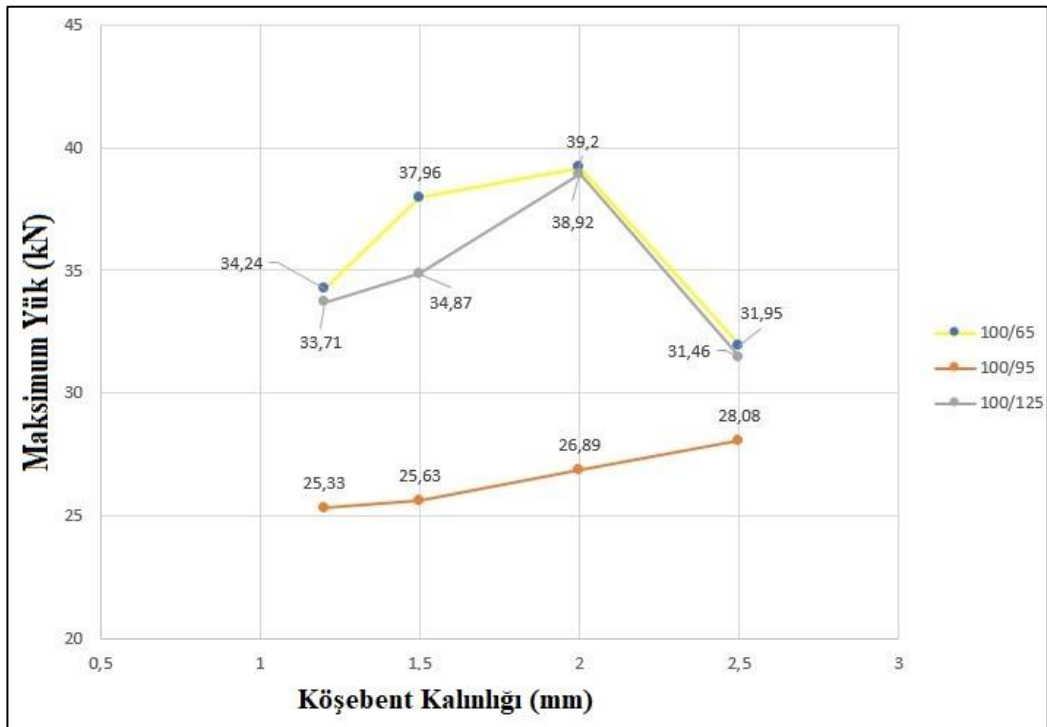
Deneylerde Çizelge 3.1’de detayları verilen hafif çelik köşebent plakalar ile oluşturulmuş deney düzeneği sistemi 4 noktalı eğilme deneyi yapılmış ve kirişlerde

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

düşey, kolonlarda ise yatay deplanmanlar defromasyon ölçme cihazı (LVDT) ile ölçülmüştür. Buna göre tüm numunelerin maksimum kesme kuvveti, yatay ve düşey deplasmanları çeşitli grafikler oluşturularak karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Hafif çelik köşebent plakaların yüksekliklerine ve boyuna göre ayrı ayrı gruplandırma yapılarak deneyler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Hafif çelik köşebent plakaların yüksekliklerine göre karşılaştırılması bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

100 mm yüksekliğinde hafif çelik köşebent plakalar

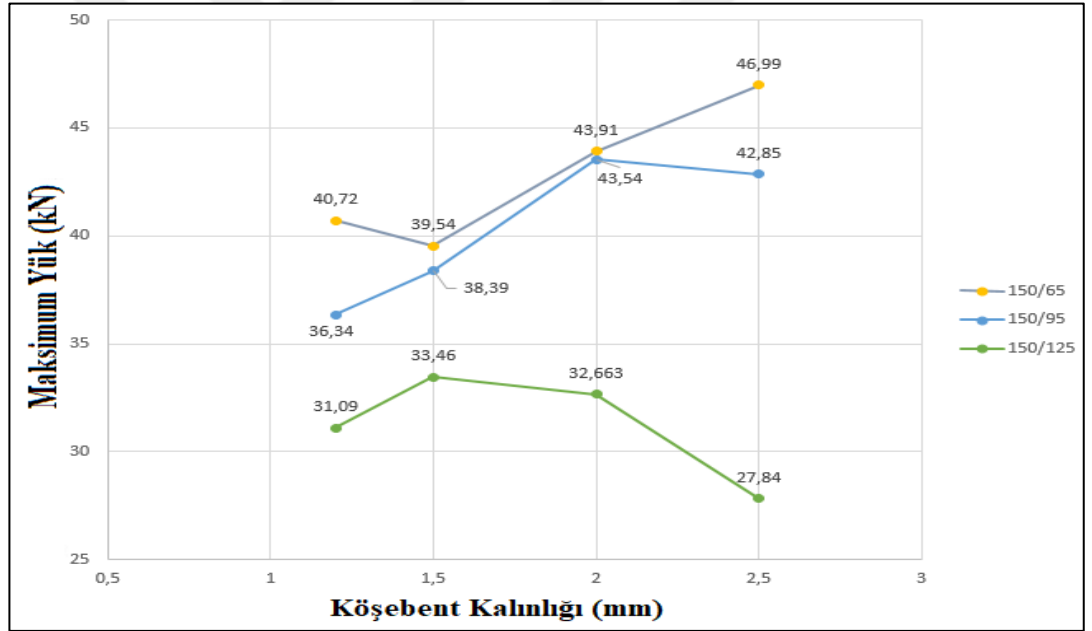
Şekil 4.49’da verilen grafikte 100 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 100 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kuvvetinde %15 artış olduğu görülmektedir. 2 mm ile 2,5 mm arasında ise %10 azalış görülmüştür. Aynı şekilde 95 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm’den 2,5 mm’ye %10 oranında kuvvet artışı görülmüştür. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm’den 2 mm’ye maksimum kuvvet artışı %16 olduğu görülmüştür. Ancak 2 mm’den 2,5 mm’ye %20 azalış olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.49. 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

150 mm yüksekliğinde hafif çelik köşebent plakalar

Şekil 4.50’de verilen grafik 150 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 150 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2,5 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış toplam %15 oranında olup 1,2 mm’den 2,5 mm’ye kadar artış olmuştur. Yine 95 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm’den 2 mm’ye %17 oranında artış olduğu görülmüştür. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm’den 1,5 mm’ye maksimum kuvvet artışı %7 olup artışın olurken 1,5 mm’den 2,5 mm’ye kadar %17 oranında azalış olduğu gözlenmiştir.



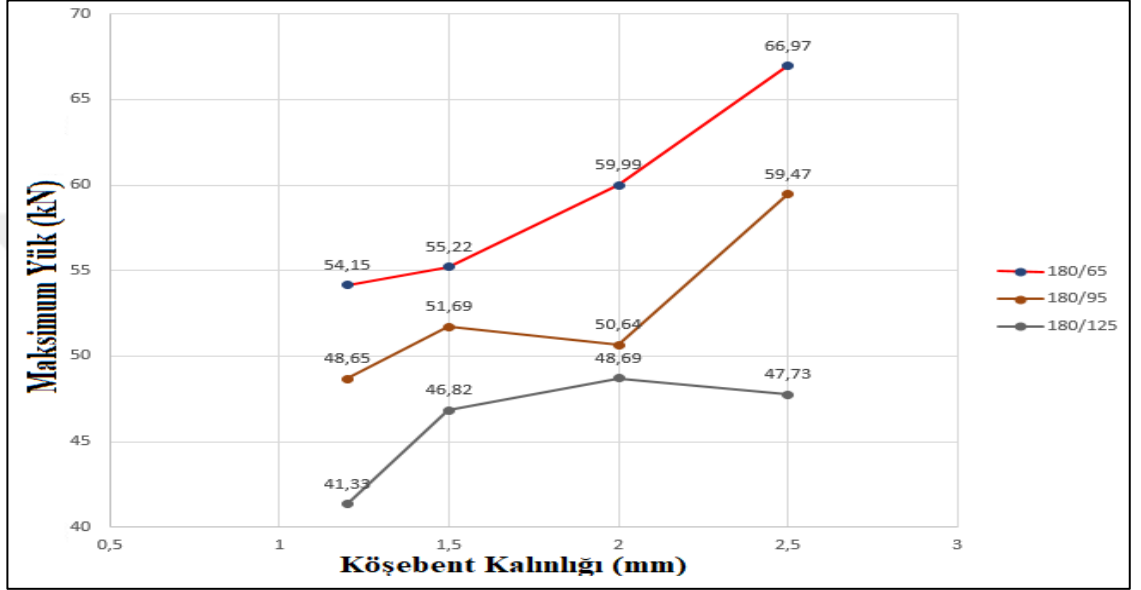
Şekil 4.50. 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

180 mm yüksekliğinde hafif çelik köşebent plakalar

Şekil 4.51’de verilen grafik 180 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 180 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2,5 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kesme kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış toplam %24 oranında

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

olduğu gözlemlenmiştir. Artışın büyük kısmı 1,5 mm'den 2,5 mm'ye çıkan numunelerdir. Yine 95 mm uzunluğundaki hafif çelik köşebent plakalarda 1,2 mm'den 2,5 mm'ye %22 oranında kuvvet artışı vardır. Bu artışın büyük kısmı kalınlığı 2 mm plakalardan 2,5 mm plakalara kadardır. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm'den 2,5 mm'ye maksimum kuvvet artışı %16 olup büyük kısmı 1,2 mm'den 2 mm'ye kadar olan plakalardadır.



Şekil 4.51. 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

Hafif çelik köşebent Plaka Uzunluğuna ve Maksimum Kuvvete Göre Karşılaştırma

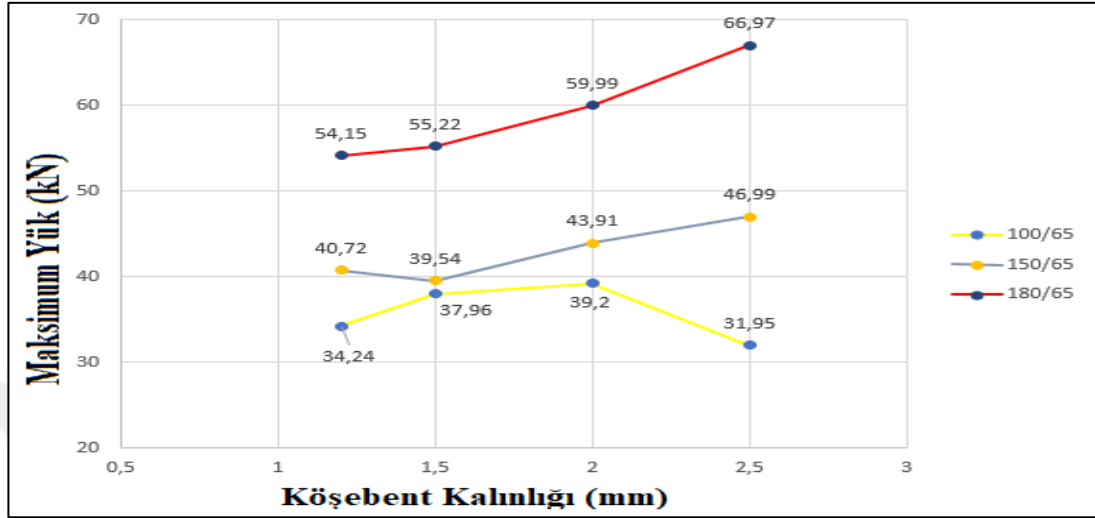
Hafif çelik köşebent plakalar yüksekliklerine göre karşılaştırıldıktan sonra en/boy oranlarının kesme kuvveti dayanımına etkisini daha detaylı anlatabilmek için hafif çelik köşebent plaka uzunluklarına göre de karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma bölüm 4.1.1,5.6'da detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

65 mm Uzunluğunda Hafif çelik köşebent Plakalar

Şekil 4.52'de verilen grafik 65 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafiktende anlaşılacağı üzere plaka yüksekliği arttıkça

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

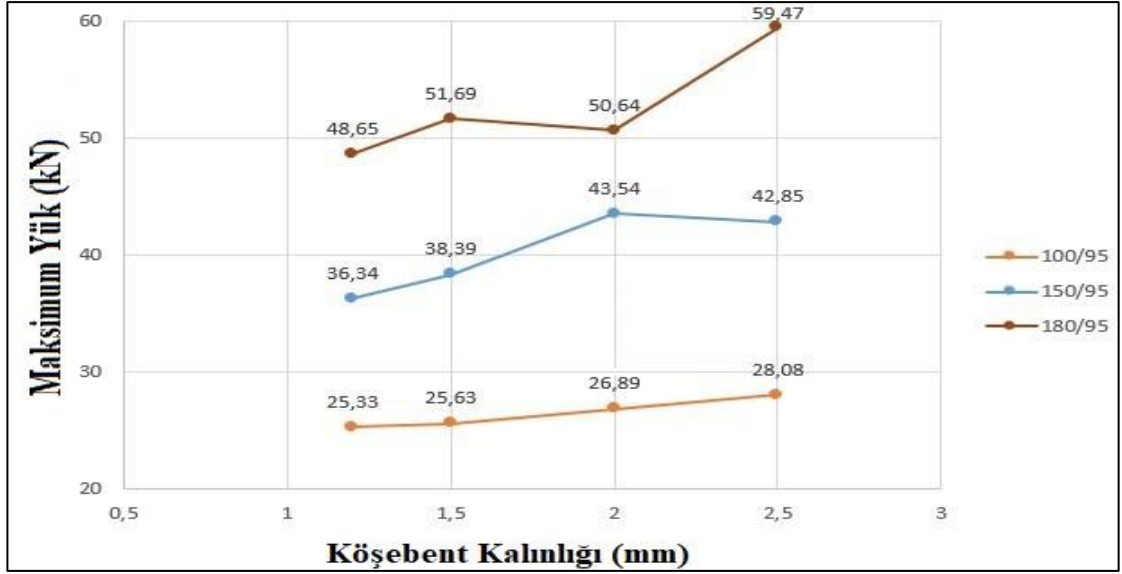
maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları için arttığı görülmektedir. Ancak bu hafif çelik köşebent plakalarda plaka kalınlığının artması maksimum kuvveti büyük oranda artırmamaktadır.



Şekil 4.52. 65 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

95 mm uzunluğunda hafif çelik köşebent plakalar

Şekil 4.53'te verilen grafik 95 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafikte anlaşılabileceği üzere plaka yüksekliği arttıkça maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları arttığı görülmektedir. Bu hafif çelik köşebent plakalarda plaka kalınlığının değişmesi maksimum kuvveti çok fazla artırmadığı görülmektedir.

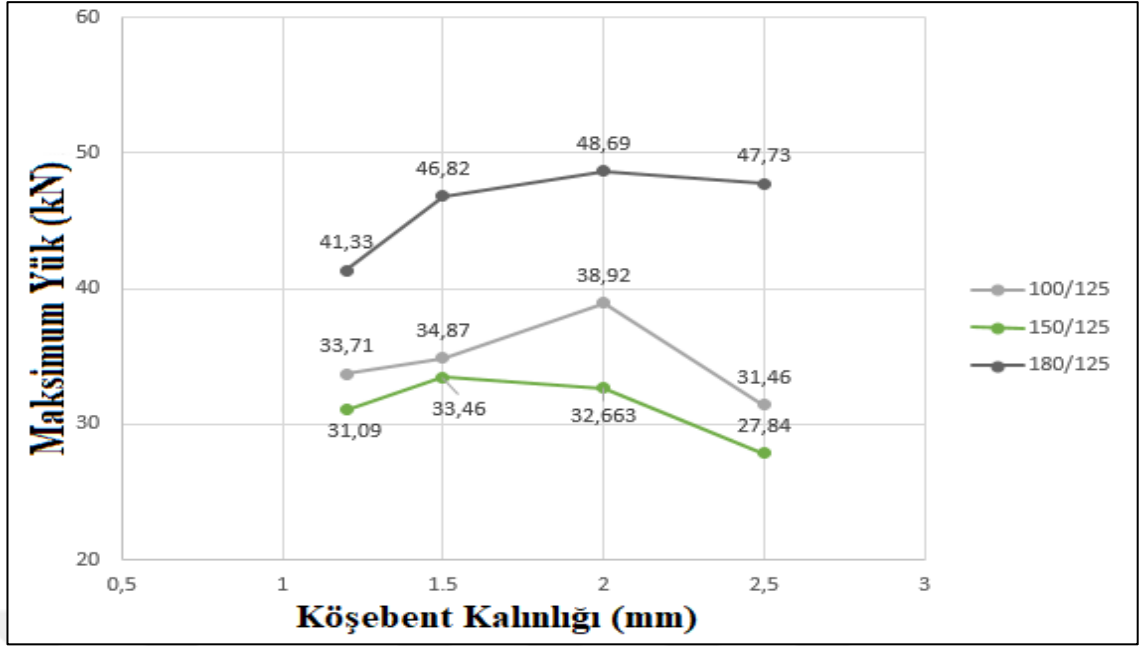


Şekil 4.53. 95 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

125 mm uzunluğunda hafif çelik köşebent plakalar

Şekil 4.54'te verilen grafik 125 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve hafif çelik köşebent plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi plaka yüksekliği 100 mm'den 150 mm'ye çıktığında maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları için azaldığı görülmektedir. 150 mm'den 180 mm'ye çıktığında ise maksimum kuvvetin büyük oranda arttığı görülmektedir. Bu hafif çelik köşebent plakalarda plaka kalınlığının değişmesi maksimum kuvveti önemli ölçüde artırmamıştır.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



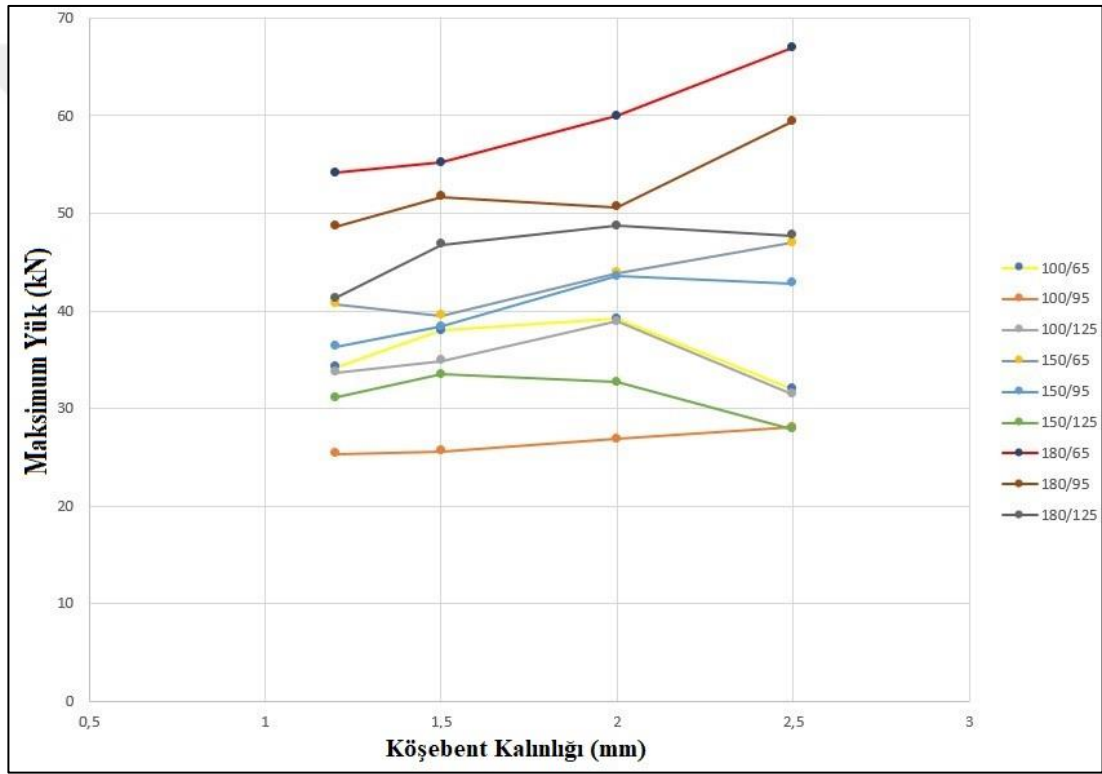
Şekil 4.54. 125 mm uzunlukta hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

Şekil 4.55’te verilen grafik tüm deney numunelerinin kalınlık, uzunluk ve derinlik değerlerine göre maksimum kuvvetlerini içermektedir. Buradaki grafikte görüldüğü gibi deney numunelerinin kalınlık artışları maksimum kuvveti belirli oranda artırmaktadır. Ancak burada asıl olan gözlem deney numunelerinin yükseklik ve uzunluk ölçülerine göre maksimum kuvvet değişimleridir. Yapılan deneylerde en yüksek maksimum mukavemet 180/65 mm olan klip açılı plakalarda gözlenmiştir. 1,2 mm plakalarda plaka yüksekliğinin artması boyunun ise azalması mukavemeti artmakta lakin 1,2 mm kalınlıklı plakalarda vida sıyırması ve CFS köşebent burkulmasının çok düşük kesme kuvvetlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Plaka kalınlığı arttıkça vida sıyırması ve CFS köşebent burkulması azalmaktadır. 2,5 mm kalınlıklı plakalarda ise derinlik ve uzunluk arttıkça mukavemet artmaktadır. Bunun başlıca sebebi plakaların kalın olması ve yırtılma ve burkulma dayanımının yüksek olmasıdır. Deneyler 2,5 mm kalınlıkta plakalarda plaka yırtılmasının olmaması ve plaka burkulmasının minimum olması, akıllı vida sıyırmasının yok denecek kadar az olması ve kaynak yırtılması olmayan numunelerin bulunduğu sistemde kiriş burkulmalarının olduğu görülmüştür. Buradan hareketle hafif çelik köşebent plakalarımızda plaka kalınlığının artması, plaka uzunluğunun azalması ve plaka derinliğinin artması, maksimum kuvveti artırdığı görülmüştür. En yüksek kesme dayanımı 180 mm derinliğindeki hafif çelik köşebent plakalarda 66,97 kN. olarak gözlemlenmiştir. 150 mm derinliğindeki hafif çelik köşebent plakaların en yüksek kesme

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

dayanımı 46,99 kN. iken 100 mm derinliğindeki hafif çelik köşebent plakalarda en yüksek kesme dayanımı maksimum mukavemet 39,20 kN. olduğu görülmektedir.

Ayrıca plaka derinliklerini gruplandırdığımızda maksimum kesme kuvvetini en düşük değerleri 100 mm derinlikte hafif çelik köşebent plakalar için 25,33 kN, 150 m derinlikte hafif çelik köşebent plakalar için 27,84 kN, 100 mm derinlikte hafif çelik köşebent plakalarda 41,33 kN Olduğu görülmüştür. Bu sebeple 100 mm derinliğindeki plakaların kullanılması durumunda köşebent kalınlığının 2 mm olması gerektiği kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.55. Tüm hafif çelik köşebentlerin kuvvet-kalınlık grafiği

4.1.2 Kolonlarda yanal deplasmanların karşılaştırılması

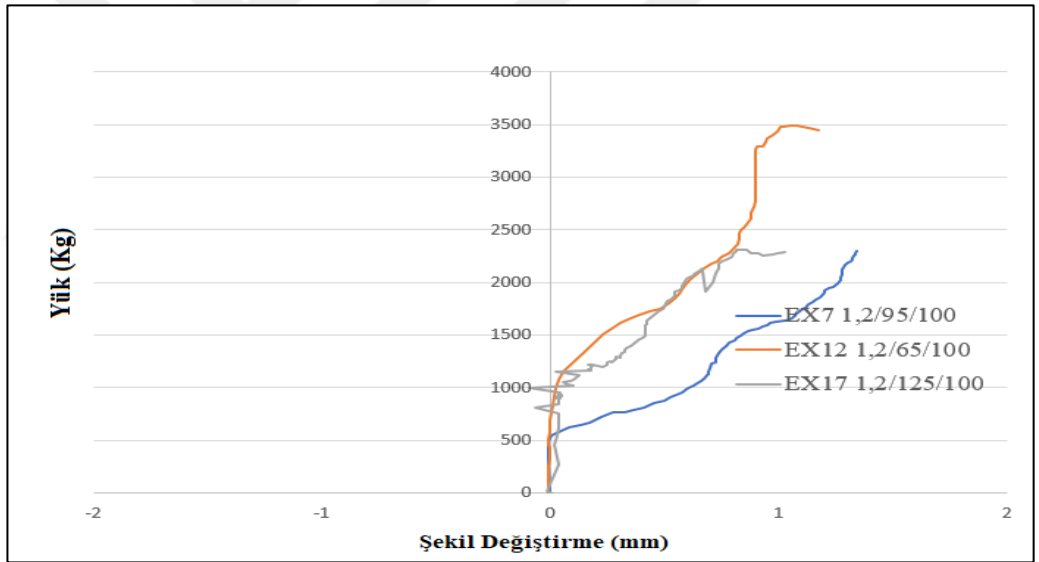
Deneylerde kullanılan hafif çelik köşebent plakaların kesme kuvveti altındaki davranışlarını araştırırken 400 mm boyundaki kolonlara 200 mm yükseklikte yerleştirilen LVDT cihazları ile kolonlarda meydana gelen yanal deplasmanlarda gözlemlenmiştir. Buradaki amaç hafif çelik köşebent plakaların kolon-kiriş birleşiminde rijit davranış gösterirken kolonlarda burkulma ve kolon kaynaklarında kopma meydana getirip

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

getirmediğini tespit etmektir. Kolonlarda meydana gelecek olan burkulma ve kaynak kopmaları hafif çelik köşebent plakaların kaynak ve akıllı vida bağlantılarının dayanımının ne derece kuvvetli olduğu hakkında bilgi verecektir. Ayrıca CFS kolon kalınlığı ve ebatlarının yeterliliğinin kontrolü sağlanmış olacaktır. Et kalınlığı düşük olan kolonlarda burkulma, kaynak kopması, plaka yırtılması gibi durumlar söz konusu olabilir. Bu sebeplerle kolonlarda kullanılan LVDT cihazları ile elde edilen yanal sapma sonuçları aşağıda grafiklerde detaylıca karşılaştırılmıştır.

1,2 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

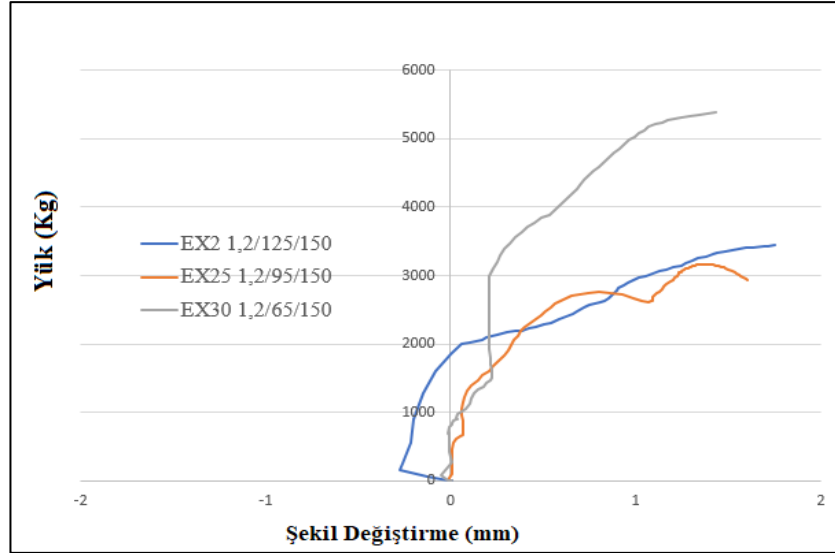
Exp12 (1,2/65/100), Exp7 (1,2/95/100), Exp17 (1,2/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.56. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.56'da verilen grafikte 1,2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi üç numune içinde maksimum yükte yanal sapma değerleri 1,5 mm'den daha düşüktür.

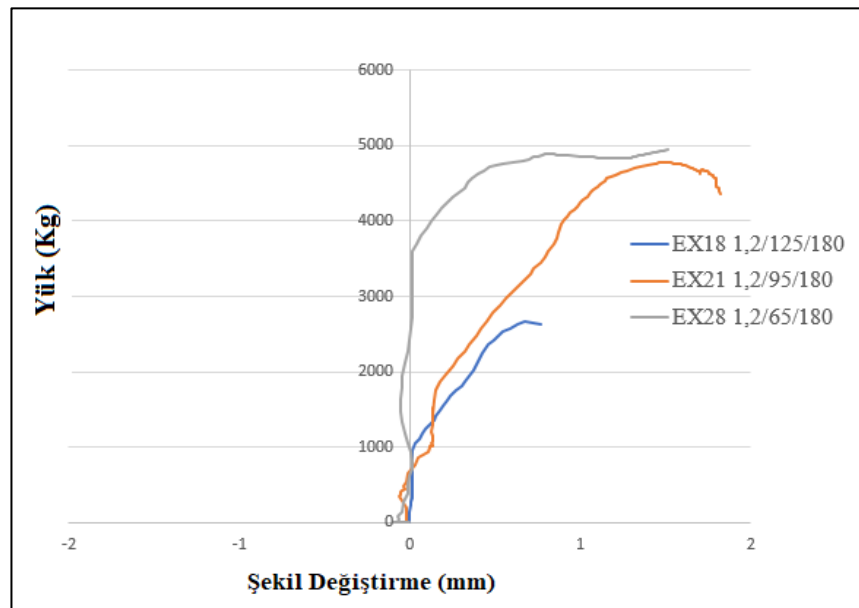
Exp30 (1,2/65/150), Exp25 (1,2/95/150), Exp2 (1,2/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.57'de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.57’de verilen grafikte 1,2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm numunelerde yanal sapma 2 mm’den daha düşüktür.

Exp28 (1,2/65/180), Exp21 (1,2/95/180), Exp18 (1,2/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.58’de gösterilmiştir.



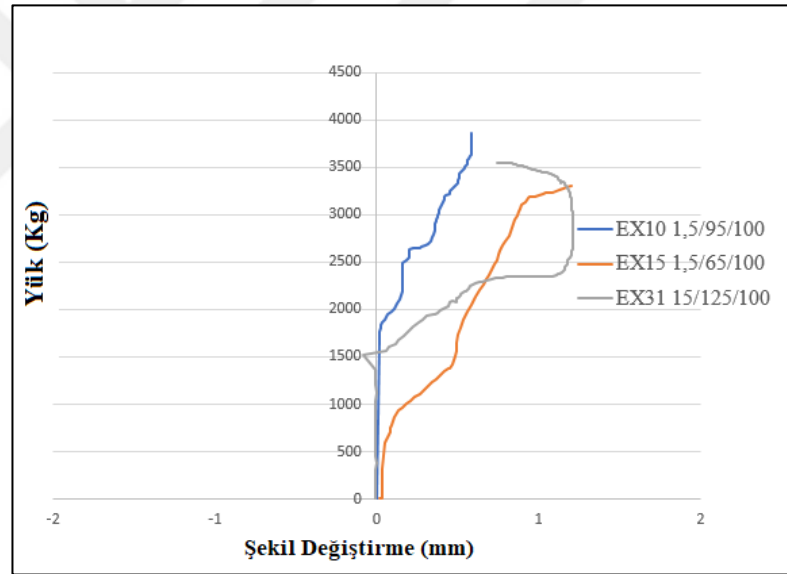
Şekil 4.58. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.58’de verilen grafikte 1,2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. 1,2/125/180 numunesinde yanal sapma bir 0,92 mm olarak ölçülmüştür. Buradaki sebep 125/180 plakaların daha rijit birleşim oluşturmalarından dolayı kolonlara daha fazla yük aktarmalarından kaynaklanmaktadır. Diğer numunede maksimum yükte yanal deplasman 2 mm’den daha düşüktür.

1,5 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

Exp15 (1,5/65/100), Exp10 (1,5/95/100), Exp31 (1,5/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.59’da gösterilmiştir.

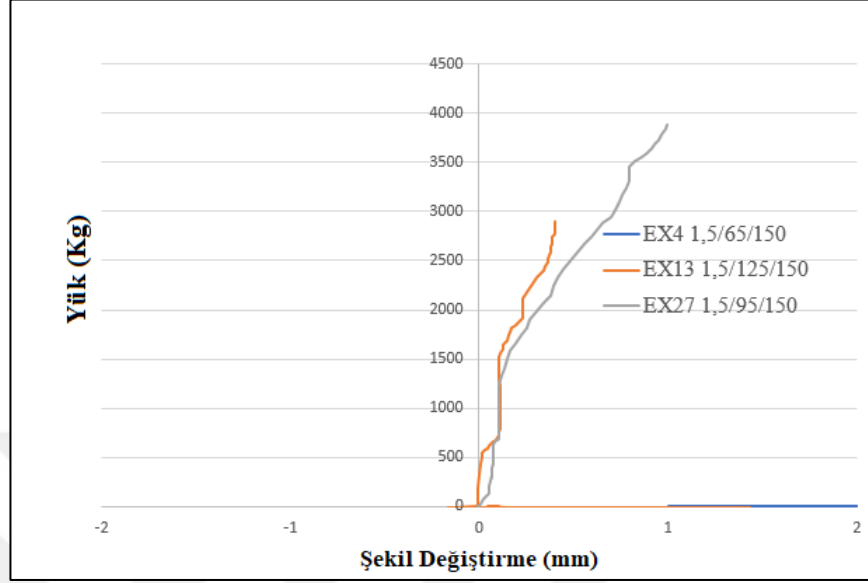


Şekil 4.59. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.59’da verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm numunelerde maksimum yükte yanal sapma 1,2 mm’den daha düşüktür. Bunu sebebi vida sıyrılmasından dolayı kolonların zorlanmamasıdır.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

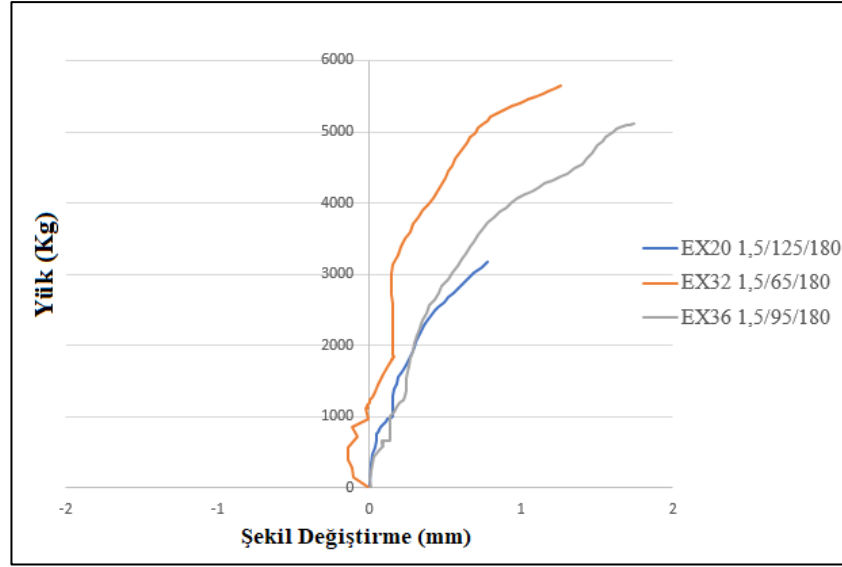
Exp4 (1,5/65/150), Exp27 (1,5/95/150), Exp13 (1,5/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.60'da gösterilmiştir.



Şekil 4.60. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.60'da verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm numunelerde maksimum yükte yanal sapma 1 mm'den daha düşüktür. 1,5-65-150 ebatalarındaki numunede sıyrma erken olduğundan kolon yanal sapması gözlemlenmemiştir.

Exp32 (1,5/65/180), Exp36 (1,5/95/180), Exp20 (1,5/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.61'de gösterilmiştir.

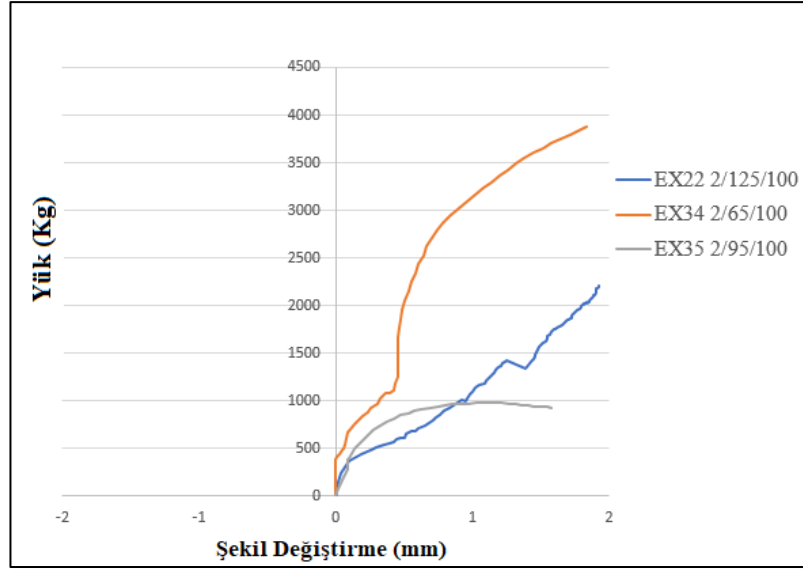


Şekil 4.61. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.61’de verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Deneyde 65/180 ebatlardaki hafif çelik köşebent plakada maksimum yükte yanal sapma 1,2 mm ve 125/180 ebatlardaki hafif çelik köşebent plakada ise maksimum yükte yanal sapma 0,87 mm olarak ölçülmüştür. Sebebinin birleşimdeki akıllı vida sıyırmasının kolona yük aktarımını önlemiş olduğu gözlemlenmiştir. 95/180 numunesinde ise 2 mm’den daha düşüktür.

2 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

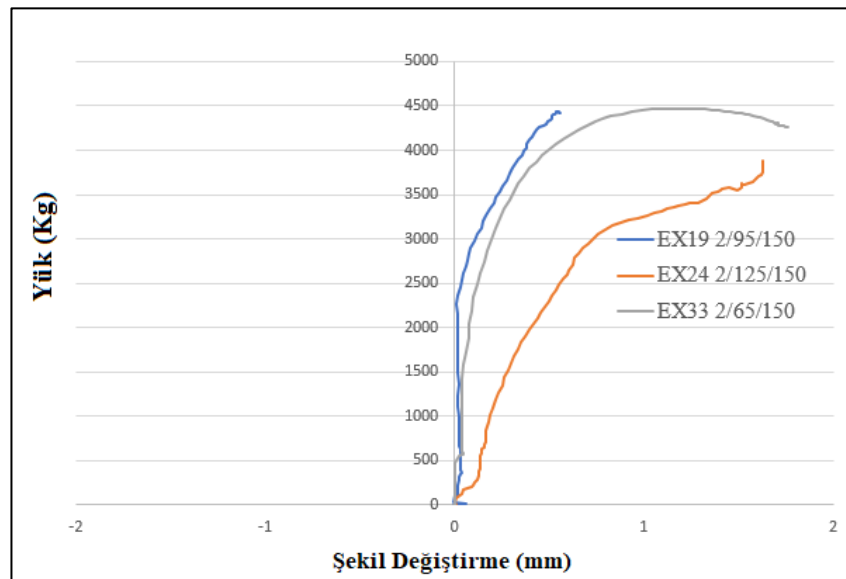
Exp34 (2,0/65/100), Exp35 (2,0/95/100), Exp22 (2,0/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.62’de gösterilmiştir.



Şekil 4.62. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.62’de görülen grafikte 2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 2 mm’den daha düşüktür.

Exp33 (2,0/65/150), Exp19 (2,0/95/150), Exp24 (2,0/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.63’te gösterilmiştir.

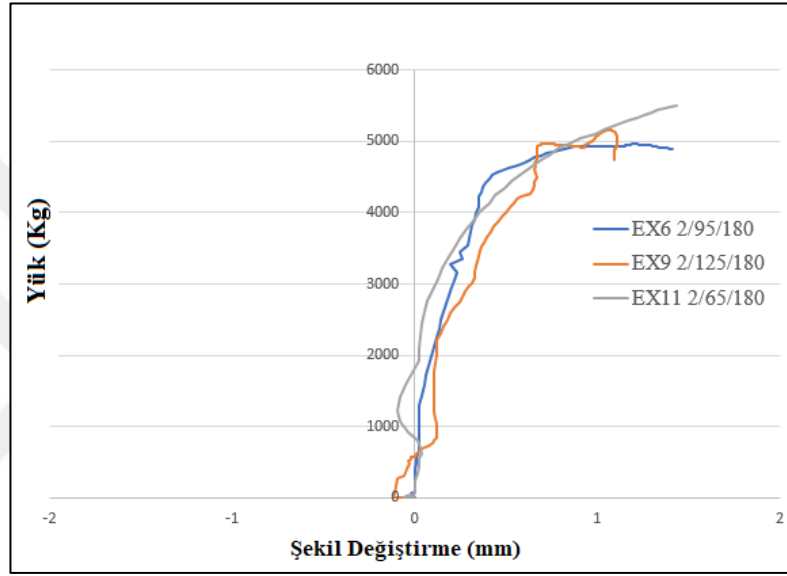


Şekil 4.63. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.63'te görülen grafikte 2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 2 mm'den daha düşüktür.

Exp11 (2,0/65/180), Exp6 (2,0/95/180), Exp9 (2,0/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.64'te gösterilmiştir.

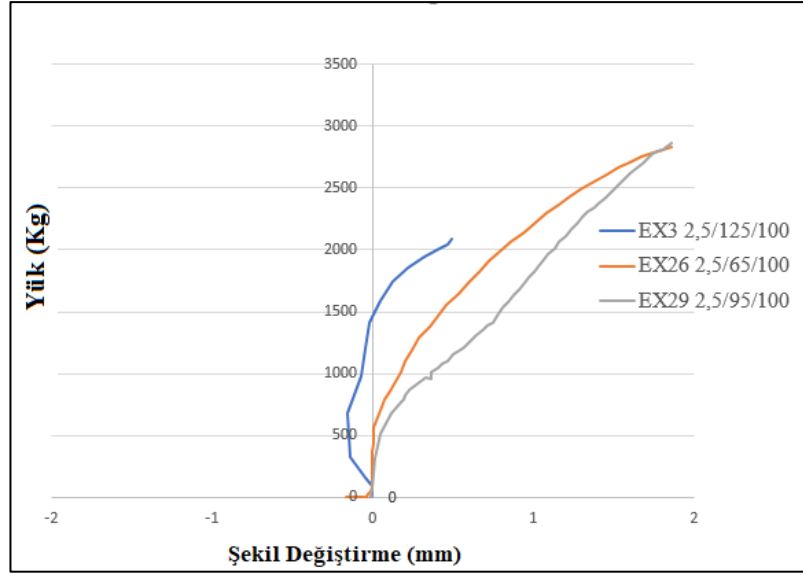


Şekil 4.64. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.64'te görülen grafikte 2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 1,5 mm'den daha düşüktür.

2,5 mm kalınlıklı hafif çelik köşebentler

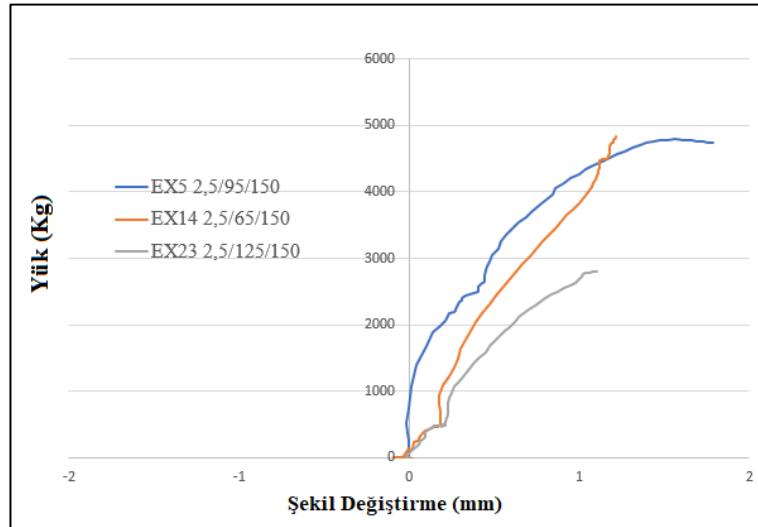
Exp26 (2,5/65/100), Exp29 (2,5/95/100), Exp3 (2,5/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.65'te gösterilmiştir.



Şekil 4.65. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.65'te görülen grafikte 2,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Deney numunelerinde 125/100 ebatlarındaki numunede maksimum yükte yanal deplasman 0,5 mm civarındayken diğer numunelerde 2 mm'den daha düşüktür.

Exp14 (2,5/65/150), Exp5 (2,5/95/150), Exp23 (2,5/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.66'da gösterilmiştir.

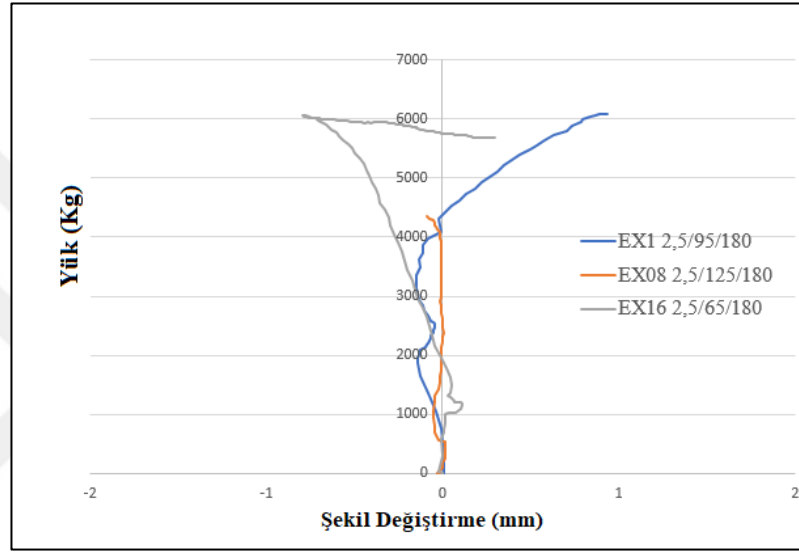


Şekil 4.66. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.66’da görülen grafikte 2,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 1,5 mm’den daha düşüktür.

Exp16 (2,5/65/180), Exp1 (2,5/95/180), Exp08 (2,5/125/180) numunelerine ait Kuvvet-Yanal Sapma grafiği Şekil 4.67’de gösterilmiştir.



Şekil 4.67. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte hafif çelik köşebentlerin kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.67’de görülen grafikte 2,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde hafif çelik köşebent plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 1,5 mm’den daha düşüktür.

Yukarıda gösterilen numunelerin yanal deplasman değerleri grafikleri incelendiğinde karşımıza çıkan sonuç 36 adet numunenin yanal deplasmanları 2 mm’den daha düşüktür. Yapılan deneylerde kolonların yanal deplasmanlarının düşük olmasının sebebi akıllı vidalı birleşimlerde vida sıyrılmasının gözlemlenmesi kolonlara aşırı yük aktarılmaması olarak gözlemlenmiştir. Plaka kalınlığı ve plaka derinliği arttıkça kolon yanal deplasmanlarının arttığı görülmektedir. Köşebentnin en/boy oranı arttıkça kolon yanal deplasmanlarının arttığı görülmektedir. Bu durum köşebentnin L/D oranının

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

artmasının kolon-kiriş birleşimini daha rijit duruma getirdiğinin ve yük aktarımının daha fazla olduğunun göstergesidir. Aynı durum hafif çelik köşebent plaka kalınlığı içinde geçerlidir. Plaka kalınlığı arttıkça kolon yanal deplasmanları da artmaktadır. Bu sebeple plaka kalınlığının artması, kolon-kiriş birleşiminin rijit davranış göstereceğini kanıtlar niteliktedir.

4.2. Deneylerin Göçme Durumlarının Değerlendirilmesi

Sistemde 2 adet birleşim olduğu için deneylerde elde edilen veriler sonucunda numunelerin kesme kuvvetleri hesaplarında hidrolik yükleme pompası tarafından uygulanan toplam yükün yarısı (%50) alınmıştır. Deneyler sonucunda maksimum kesme kuvveti, en/boy oranı (L/D) ve göçme modları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Hafif çelik köşebentlerin maksimum kesme kuvveti ve göçme modları

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı L/D	Kolon Durumu (+/-)	Kolon Kaynak Durumu (+/-)	Köşebent Burkulma Durumu (+/-)	Kolon Vida Sıyırma/ Kırılma Durumu (*/**/****/*****)	Kiriş Vida Sıyırılma Durumu (*/**/****/*****)	Kiriş Durumu
EXP12-1,2-65-100	34,2	0,370	+	+	+	*	-	EKSENDE BURKULMA
EXP7-1,2-95-100	25,6	0,670	+	+	+	-	*	BURKULDU
EXP17-1,2-125-100	33,68	0,970	+	+	+	-	*	EKSENDE BURKULMA
EXP30-1,2-65-150	55,16	0,247	+	+	+	*	*	EKSENDE BURKULMA
EXP25-1,2-95-150	31,05	0,447	+	+	+	-	*	BURKULDU
EXP2-1,2-125-150	36,6	0,647	+	+	+	-	****	ÇOK AZ BURKULMA
EXP28-1,2-65-180	48,6	0,206	+	+	+	*	*	EKSENDE BURKULMA
EXP21-1,2-95-180	46,78	0,372	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP18-1,2-125-180	40,68	0,539	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP15-1,5-65-100	32,6	0,363	+	+	+	-	**	EKSENDE BURKULMA
EXP10-1,5-95-100	37,92	0,663	+	+	+	-	*	EKSENDE BURKULMA
EXP31-1,5-125-100	34,84	0,963	+	+	+	-	*	BURKULDU
EXP4-1,5-65-150	39,5	0,242	+	+	+	-	****	HAFİF BURKULMA
EXP27-1,5-95-150	38,35	0,442	+	+	+	-	***	EKSENDE BURKULMA
EXP13-1,5-125-150	33,55	0,642	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP32-1,5-65-180	59,93	0,202	+	+	+	*	-	BURKULDU

Çizelge 4.5. (devam)

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı W/D	Kolon Durumu (+/-)	Kolon Kaynak Durumu (+/-)	Köşebent Burkulma Durumu (+/-)	Kolon Vida Sıyırma/ Kırılma Durumu (*/*/*/*/*/*/*/*)	Kiriş Vida Sıyırılma Durumu (*/*/*/*/*/*/*/*)	Kiriş Durumu
EXP36-1,5-95-180	51,63	0,368	+	+	+	*	-	EKSENDE BURKULMA
EXP20-1,5-125-180	41,29	0,535	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP34-2-65-100	39,16	0,351	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP35-2-95-100	9,6	0,651	+	+	+	-	*	EKSENDE BURKULMA
EXP22-2-125-100	27,16	0,951	+	+	+	**	-	BURKULDU
EXP33-2-65-150	43,86	0,234	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP19-2-95-150	43,49	0,434	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP24-2-125-150	38,88	0,634	+	+	-	*	-	BURKULDU
EXP11-2-65-180	54,09	0,195	+	+	+	*	-	BURKULDU
EXP6-2-95-180	48,64	0,361	-	+	+	**	-	HAFİF BURKULMA
EXP9-2-125-180	50,59	0,528	+	+	+	*	*	BURKULDU
EXP26-2,5-65-100	31,92	0,338	+	+	+	*	*	EKSENDE BURKULMA
EXP29-2,5-95-100	28,05	0,638	+	+	+	*	*	EKSENDE BURKULMA
EXP3-2,5-125-100	31,42	0,938	+	+	+	*	-	EKSENDE BURKULMA
EXP14-2,5-65-150	47,68	0,226	+	+	+	*	*	BURKULDU

Çizelge 4.5. (devam)

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı W/D	Kolon Durumu (+/-)	Kolon Kaynak Durumu (+/-)	Köşebent Burkulma Durumu (+/-)	Kolon Vida Sıyırma/ Kırılma Durumu (*/*/*/*/*/*/*/*)	Kiriş Vida Sıyrılma Durumu (*/*/*/*/*/*/*/*)	Kiriş Durumu
EXP5-2,5-95-150	46,94	0,426	+	+	+	-	***	HAFİF BURKULMA
EXP23-2,5-125-150	27,82	0,626	+	+	+	*	**	BURKULDU
EXP16-2,5-65-180	59,41	0,188	+	+	+	*	-	BURKULDU
EXP1-2,5-95-180	66,9	0,355	+	+	-	*	-	BURKULDU
EXP8-2,5-125-180	42,81	0,521	+	+	+	*	**	HAFİF BURKULMA



Şekil 4.68. Kolon burulmalı burkulması ve köşebent akıllı vida sıyrması örneği



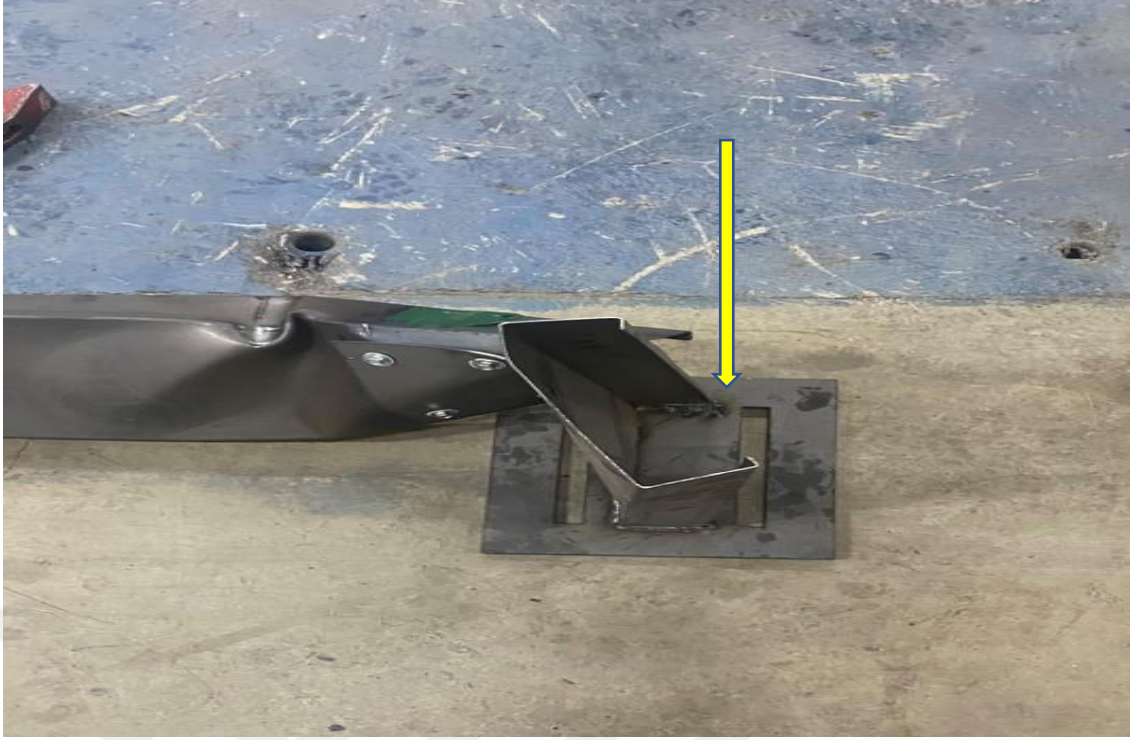
Şekil 4.69. Köşebent akıllı vida sıyrılma örneği



Şekil 4.70. Deneylerde kiriş burkulması ve köşebent akıllı vida sıyırması durumu



Şekil 4.71. Kolon burulmalı burkulma durumu



Şekil 4.72. Kolon kaynak kopma durumu (Yavuz 2023)



Şekil 4.73. Kolon tarafında köşebent akıllı vida sıyrılması durumu



Şekil 4.74. Kaynaklı birleşim köşebent yırtılması örneği (Yavuz 2023)



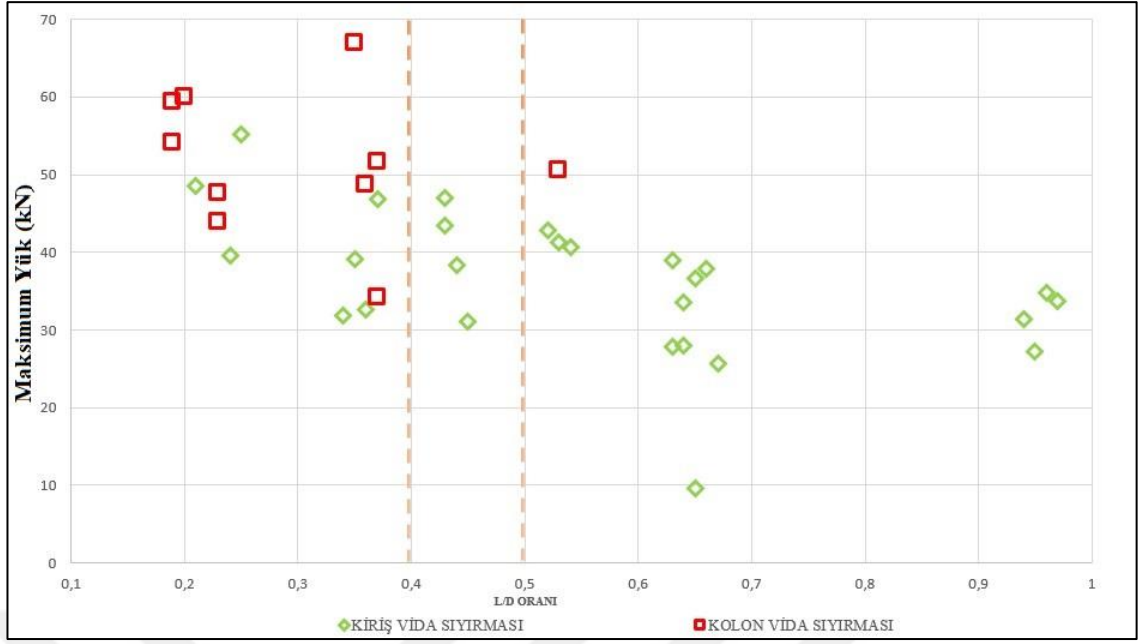
Şekil 4.75. Kaynaklı birleşim kolon burulmalı burkulması, köşebent kaynak yırtılması ve kiriş burkulması durumu (Yavuz 2023).



Şekil 4.76. Kolon burulmalı burkulması ve kiriş burkulması durumu (Yavuz 2023)



Şekil 4.77. 180 mm derinlikte kaynaklı birleşim kolon ve kiriş burkulması örneği (Yavuz 2023).



Şekil 4.78. Köşebent-kolon-kiriş göçme modları grafiği

Şekil 4.78’de Numunelerin deney sonucunda hafif çelik köşebent plakalar ve kolonların göçme modları en/boy (L/D) oranına göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada hafif çelik köşebent plaka kiriş vida sıyırması durumu, hafif çelik köşebent plakan kolon vida sıyırma durumu göz önüne alınmıştır. Çizelge 4.5’te her numunenin kolon kaynağı, köşebent durumu, kolon köşebent vidası ve kiriş vidası ve kiriş burkulma durumları verilmiştir. Burada Şekil 4.78’de grafikte de görüldüğü gibi en/boy oranı (L/D) 0,2 ile 0,4 arasında olan hafif çelik köşebent plakalarda köşebent kolon tarafında vida sıyırması durumları gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde kolon taban kaynakları sağlam ve kolonlarda burkulma görülmemiştir. Aynı zamanda tüm kirişlerde burkulma gözlemlenmiştir. En/boy oranı 0,4 ile 0,5 arasında numunelerde birer tane kiriş vida sıyırması gözlemlenmiştir. En/boy oranı 0,5 den büyük numunelerde kiriş vidaları 1 adetten fazla vida sıyırması gözlemlenmiştir. Tüm numune köşebentlerinde burkulma gözlemlenmiştir.

4.3 Vidalı Hafif çelik Köşebent Plakalar İçin Önerilen Kesme Kuvveti Denklemi

CFS bağlantılar gereksinimlerine göre farklı şekil ve formlarda üretilmektedir. Yapısal sistemde belirli bir amaç için oluşturulan CFS bağlantılar için ayrıntılı tasarım prosedürleri genellikle kullanılmaz. Ancak geçmişte yapılan hafif çelik köşebent

plakaların maksimum kesme kapasitesinin boyutsuz narinlik oranı (λ) ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. Yaptığımız deneylerin sonuçlarında köşebent maksimum kesme mukavemetinin narinlik oranı ile ilişkisinin olduğu tespiti doğrulanmıştır. Daha önceki deneysel çalışmalarda çeşitli kesme mukavemeti denklemleri önerilmiştir. Önerilen denklemler tasarım kesme kuvvetini bulabilmek için gayet uygun denklemlerdir. Bu denklemler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir. Bu çalışmada deneylerde elde ettiğimiz veriler aşağıda verilen (4.2), (4.3), (4.4) ve (4.5) numaralı denklemlerde çıkan sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Çıkan sonuçlar ile çizilen grafikte yapılan karşılaştırma eğri uydurma tekniği ile kullanılarak yeni bir kayma denklemi geliştirilmiştir.

Mallepago ve Madhavan (2022) tarafından önerilen dönme denklemi;

$$\theta_R = \tan^{-1} \left[\left(\frac{v_3 - v_4}{230} \right) - \left(\frac{H_2}{200} \right) \right] \quad (4.1a)$$

$$\theta_L = \tan^{-1} \left[\left(\frac{v_1 - v_2}{230} \right) - \left(\frac{1}{200} \right) \right] \quad (4.1b)$$

Yu ve Arkadaşları (2015) tarafından önerilen kesme mukavemeti denklemi;

$$V_{nss} = 0,231(\lambda)^{-0,8} V_y \quad (4.2)$$

Natesan ve Madhavan (2019-2020) tarafından önerilen denklem;

$$V_{nsb} = 0,222(\lambda)^{-0,6} V_y \quad (4.3)$$

Emre Yavuz (2023) tarafından önerilen denklem;

$$V_{nse} = 0,4641(\lambda)^{-0,187} V_y \quad (4.4)$$

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayrıca literatürde bulunan aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\text{Narinlik Oranı } \lambda = \sqrt{\left(\frac{V_y}{V_{cr}}\right)}$$

$$\text{Kritik kesme kuvveti } V_{cr} = f_{cr}(Dt)$$

$$\text{Akma Kesme Kuvveti } V_y = 0,6f_y(Dt)$$

$$\text{Kritik Burkulma Gerilimi } f_{cr} = \left(\frac{k\pi^2 E}{12}\right)(1 - \mu^2)/\left(\frac{t}{D}\right)^2$$

$$\text{Elastik Burkulma Katsayısı } k = 2,569(W/D)^{-2,202}$$

Yukarıdaki tasarım denklemlerinde aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

Hafif çelik köşebent Plaka Kalınlıkları: 1,2-1,5-2,0-2,5 mm

En/Boy Oranı (L/D): 0,19 – 0,97

Hafif çelik köşebent Plaka Verim Gücü: 450 MPa-650 Mpa

Maksimum Kiriş Derinliği: 200 mm

Tip: Kesme Yüğü Altında Akıllı Vidalı Hafif Çelik Köşebent Plaka

Deneylerde gözlemlenen kesme kuvveti değerleri, önerilen kesme mukavemeti denklemlerinden çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tasarım kesme denklemlerinin literatür karşılaştırması

Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsb}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641x^{-0,187}V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP12-1,2-65-100	0,78	37,55	17,10	0,46	10,60	1,61	9,69	1,76	18,26	0,94
EXP7-1,2-95-100	1,67	37,55	12,80	0,34	5,76	2,22	6,13	2,09	15,84	0,81
EXP17-1,2-125-100	2,68	37,55	16,84	0,45	3,94	4,27	4,61	3,65	14,49	1,16
EXP30-1,2-65-150	0,69	56,32	27,58	0,49	17,44	1,58	15,57	1,77	27,99	0,99
EXP25-1,2-95-150	1,49	56,32	15,53	0,28	9,48	1,64	9,86	1,57	24,27	0,64
EXP2-1,2-125-150	2,39	56,32	18,30	0,32	6,48	2,82	7,41	2,47	22,21	0,82
EXP28-1,2-65-180	0,66	67,59	24,30	0,36	21,81	1,11	19,28	1,26	33,92	0,72
EXP21-1,2-95-180	1,41	67,59	23,39	0,35	11,85	1,97	12,20	1,92	29,41	0,80
EXP18-1,2-125-180	2,27	67,59	20,34	0,30	8,11	2,51	9,18	2,22	26,91	0,76
EXP15-1,5-65-100	0,64	52,63	16,30	0,31	17,32	0,94	15,24	1,07	26,53	0,61
EXP10-1,5-95-100	1,39	52,63	18,96	0,36	9,33	2,03	9,58	1,98	22,96	0,83
EXP31-1,5-125-100	2,25	52,63	17,42	0,33	6,36	2,74	7,18	2,43	20,99	0,83
EXP4-1,5-65-150	0,57	78,94	19,75	0,25	28,49	0,69	24,49	0,81	40,66	0,49
EXP27-1,5-95-150	1,24	78,94	19,18	0,24	15,34	1,25	15,40	1,25	35,19	0,54
EXP13-1,5-125-150	2,00	78,94	16,78	0,21	10,45	1,60	11,55	1,45	32,17	0,52
EXP32-1,5-65-180	0,54	94,73	29,96	0,32	35,64	0,84	30,32	0,99	49,27	0,61
EXP36-1,5-95-180	1,18	94,73	25,82	0,27	19,19	1,35	19,06	1,35	42,63	0,61
EXP20-1,5-125-180	1,90	94,73	20,65	0,22	13,08	1,58	14,29	1,44	38,98	0,53

Çizelge 4.6. (devam)

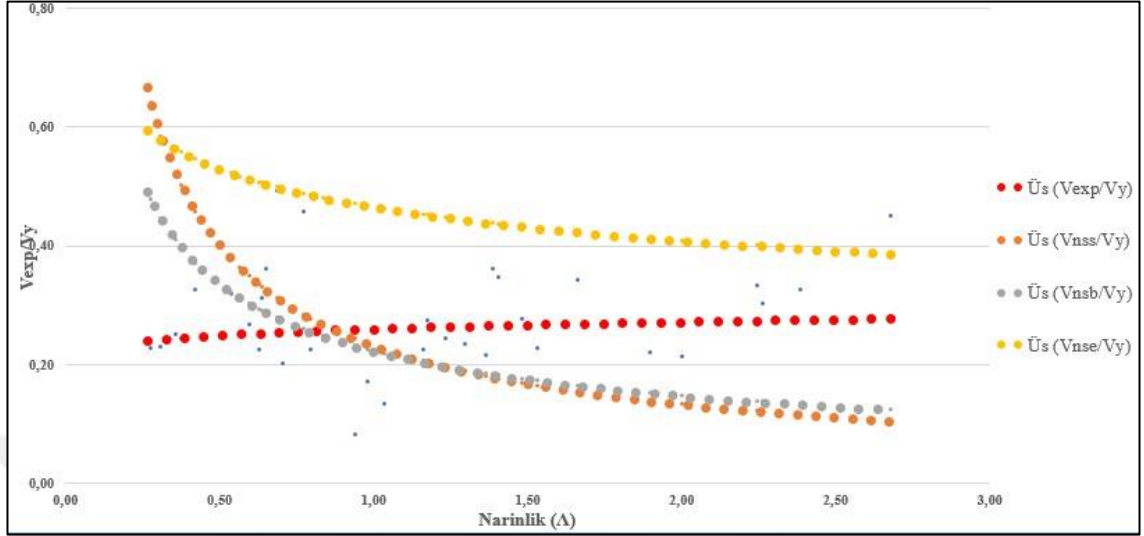
Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsb}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641x^{-0,187}V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP34-2-65-100	0,43	60,28	19,58	0,32	27,50	0,71	22,29	0,88	32,80	0,60
EXP35-2-95-100	0,95	60,28	4,80	0,08	14,57	0,33	13,84	0,35	28,27	0,17
EXP22-2-125-100	1,54	60,28	13,58	0,23	9,87	1,38	10,34	1,31	25,81	0,53
EXP33-2-65-150	0,38	90,42	21,93	0,24	45,24	0,48	35,84	0,61	50,27	0,44
EXP19-2-95-150	0,84	90,42	21,75	0,24	23,97	0,91	22,25	0,98	43,34	0,50
EXP24-2-125-150	1,37	90,42	19,44	0,21	16,23	1,20	16,61	1,17	39,56	0,49
EXP11-2-65-180	0,36	108,51	27,05	0,25	56,59	0,48	44,37	0,61	60,92	0,44
EXP6-2-95-180	0,80	108,51	24,32	0,22	29,98	0,81	27,55	0,88	52,51	0,46
EXP9-2-125-180	1,30	108,51	25,29	0,23	20,30	1,25	20,57	1,23	47,94	0,53
EXP26-2,5-65-100	0,31	70,07	15,96	0,23	40,82	0,39	31,13	0,51	40,37	0,40
EXP29-2,5-95-100	0,71	70,07	14,02	0,20	21,26	0,66	19,08	0,73	34,66	0,40
EXP3-2,5-125-100	1,17	70,07	15,71	0,22	14,31	1,10	14,18	1,11	31,59	0,50
EXP14-2,5-65-150	0,28	105,10	23,84	0,23	67,14	0,36	50,04	0,48	61,87	0,39
EXP5-2,5-95-150	0,63	105,10	23,47	0,22	34,97	0,67	30,67	0,77	53,12	0,44
EXP23-2,5-125-150	1,04	105,10	13,91	0,13	23,53	0,59	22,79	0,61	48,42	0,29

Çizelge 4.6. (devam)

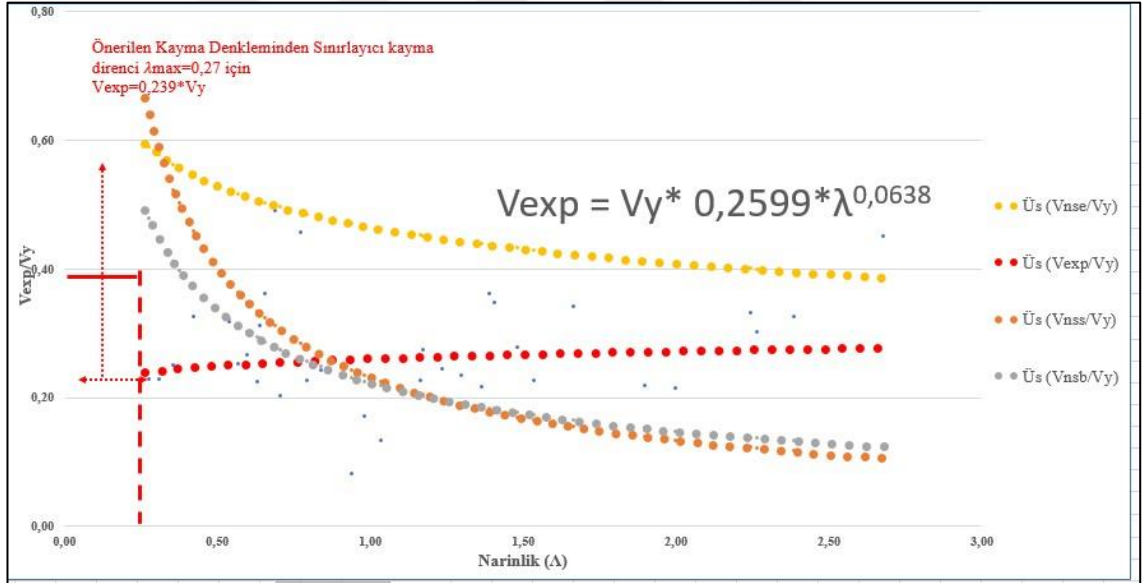
Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsb}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641x^{-0,187}V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP16-2,5-65-180	0,27	126,12	29,71	0,24	83,99	0,35	61,94	0,48	74,97	0,40
EXP1-2,5-95-180	0,6	126,12	33,45	0,27	43,74	0,76	37,97	0,88	64,36	0,52
EXP8-2,5-125-180	0,99	126,12	21,40	0,17	29,44	0,73	28,22	0,76	58,67	0,36
Ortalama				0,27		1,27		1,27		0,58
Standart Sapma				0,08		0,85		0,70		0,21
Varyasyon Katsayısı				0,008		0,72		0,49		0,04

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 4.6’da kesme mukavemeti denklemlerinden elde edilen veriler Şekil 4.79’da karşılaştırma grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.79. Köşebentleri tasarım eğrileri



Şekil 4.80. Eğri uydurma kullanılarak önerilen kesme denklemi

Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de verilen grafikte koyu kırmızı ile gösterilen eğri deneyler sonucunda çıkan maksimum kesme kuvvetinin (V_{exp}), akma dayanımına (V_y) oranının boyutsuz narinlik (λ) değerine göre değişimini göstermektedir. Bu grafiği incelediğinde deneysel veriler sonucu ortaya çıkan $\lambda_{maks}=0,270$ için maksimum kesme mukavemeti $V_{exp}=0,239 \times V_y$ olarak bulunur. Buradan yola çıkarak grafikteki eğrinin denklemi;

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

$$V_{exp} = 0,2599(\lambda)^{0,0638}V_y \quad (4.6)$$

olarak yeni kesme mukavemeti denklemi önerilmiştir.

Buradan yola çıkarak önermiş olduğumuz denklemde; deneysel verilerden elde edilen kesme kuvveti değerleri ile oluşturulan Çizelge 4.7’de gösterilmiştir

Çizelge 4.7. Önerilen kesme denkleminin istatistiksel analizi

Numune İsmi	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	V_{exp}/V_y	Narinlik Oranı (λ)	V_{nsm} (kN) $=0,2599x^{0,0638}V_y$	V_{exp}/V_{nsm}
EXP12-1,2-65-100	17,100	37,548	0,455	0,778	9,604	1,781
EXP07-1,2-95-100	12,802	37,548	0,341	1,668	10,082	1,270
EXP17-1,2-125-100	16,838	37,548	0,448	2,682	10,393	1,620
EXP30-1,2-65-150	27,582	56,322	0,490	0,693	14,300	1,929
EXP25-1,2-95-150	15,527	56,322	0,276	1,486	15,013	1,034
EXP02-1,2-125-150	18,300	56,322	0,325	2,390	15,475	1,183
EXP28-1,2-65-180	24,298	67,587	0,360	0,658	17,104	1,421
EXP21-1,2-95-180	23,389	67,587	0,346	1,411	17,956	1,303
EXP18-1,2-125-180	20,341	67,587	0,301	2,269	18,508	1,099
EXP15-1,5-65-100	16,299	52,625	0,310	0,642	13,297	1,226
EXP10-1,5-95-100	18,959	52,625	0,360	1,393	13,969	1,357
EXP31-1,5-125-100	17,419	52,625	0,331	2,250	14,403	1,209
EXP04-1,5-65-150	19,751	78,938	0,250	0,572	19,799	0,998
EXP27-1,5-95-150	19,176	78,938	0,243	1,241	20,801	0,922

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 4.7. (devam)

Numune İsmi	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	V_{exp}/V_y	Narinlik Oranı (λ)	V_{nsm} (kN) $=0,2599x^{0,0638}$ V_y	V_{exp}/V_{nsm}
EXP13-1,5-125-150	16,775	78,938	0,213	2,004	21,447	0,782
EXP32-1,5-65-180	29,965	94,726	0,316	0,543	23,680	1,265
EXP36-1,5-95-180	25,817	94,726	0,273	1,178	24,878	1,038
EXP20-1,5-125-180	20,646	94,726	0,218	1,903	25,651	0,805
EXP34-2-65-100	19,580	60,282	0,325	0,427	14,840	1,319
EXP35-2-95-100	4,800	60,282	0,080	0,945	15,611	0,307
EXP22-2-125-100	13,580	60,282	0,225	1,538	16,104	0,843
EXP33-2-65-150	21,932	90,423	0,243	0,381	22,096	0,993
EXP19-2-95-150	21,747	90,423	0,240	0,842	23,245	0,936
EXP24-2-125-150	19,438	90,423	0,215	1,371	23,978	0,811
EXP11-2-65-180	27,046	108,507	0,249	0,361	26,428	1,023
EXP06-2-95-180	24,318	108,507	0,224	0,800	27,801	0,875
EXP09-2-125-180	25,293	108,507	0,233	1,301	28,679	0,882
EXP26-2,5-65-100	15,960	70,066	0,228	0,315	16,915	0,944
EXP29-2,5-95-100	14,025	70,066	0,200	0,711	17,819	0,787
EXP03-2,5-125-100	15,712	70,066	0,224	1,167	18,390	0,854
EXP14-2,5-65-150	23,839	105,100	0,227	0,280	25,187	0,946
EXP05-2,5-95-150	23,471	105,100	0,223	0,634	26,532	0,885
EXP23-2,5-125-150	13,908	105,100	0,132	1,040	27,383	0,508
EXP16-2,5-65-180	29,705	126,120	0,236	0,266	30,124	0,986
EXP01-2,5-95-180	33,451	126,120	0,265	0,602	31,733	1,054
EXP08-2,5-125-180	21,405	126,120	0,170	0,987	32,751	0,654
Ortalama						1,05
Standar Sapma						0,32
Varyasyon Katsayısı						0,10

4.4. Tasarım Kesme Dayanımı Hesabı

Köşebentnin tasarım kesme direnci, izin verilen dayanım yöntemi (ASD) için güvenlik faktörü ve yük ve direnç faktörü tasarımı (LRFD) ve sınır durum tasarımı (LSD) için direnç faktörleri kullanılarak önerilen nominal kesme dayanımı denkleminde hesaplanmıştır. Yapısal bir bileşenin güvenliğine olan güven, güvenilirlik analizi yoluyla belirlenebilir. Bir yapısal bileşenin güvenilirlik indeksi iki farklı şekilde ifade edilebilir (i) LRFD, LSD ve ASD yöntemlerine göre verilen bir direnç ve güvenlik faktörleri için hedef güvenilirlik değerinin hesaplanması (ii) LRFD'nin gerçek direnç ve güvenlik faktörlerinin belirlenmesi, önceden tanımlanmış bir hedef güvenilirlik değeri için sırasıyla LSD ve ASD yöntemleri. AISI'de yapısal kaynaklı bağlantılar için istatistiksel verilerden önceden tanımlanmış hedef güvenilirlik değerleri kodlandığından, bu çalışma için ikinci yöntem seçilmiştir.

Hedef güvenlik indeksi; AISI'ye göre LRFD yöntemine göre bağlantılar için 3.5 LSD yöntemine göre bağlantılar için 4,0 kabul edilir. AISI'de K2.1.1 yük ve direnç faktörü tasarımı ve limit durum tasarımı bölümünden direnç faktörü formülü;

$$\Phi = C_{\Phi} M_m F_m P_m e^{-\beta_0 \sqrt{V_M^2 + V_M^2 + C_P V_P^2 + V_Q^2}} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki denklemde verilen tasarım değişkenleri P_M , V_P , C_P deneysel verilerden hesaplanmıştır. Diğer sabitler AISI – S100 K2.1.1-1 bölümünden alınmıştır.

C_{Φ} = Kalibrasyon Katsayısı = LRFD için 1,52 LSD için 1.42

M_m = Malzeme Faktörünün Ortalama Değeri

F_m = Üretim Faktörünün Ortalama Değeri

P_m = Profesyonel Faktörün Ortalama Değeri

β_0 = Hedef Güvenlik İndeksi = LRFD için 3.5, LSD için 4

V_M = Mazleme Faktörünün Değişim Katsayısı

V_F = Üretim Faktörünün Değişim Katsayısı

C_P = Düzeltme Faktörü $C_P = \frac{(n+1)/n}{m/(m-2)}$ $n \geq 4$ için

n = Yapılan Deney Sayısı = 36

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

$$m = \text{Serbestlik Derecesi} = n-1 = 35$$

$$V_P = \text{Test Sonuçlarının Varyasyon Katsayısı} \leq 6.5$$

$$V_Q = \text{Yük Etkisi Değişim Katsayısı} = \text{LRFD ve LSD için } 0.21$$

$$\Omega = \text{Güvenlik Faktörü} \quad \Omega = \frac{1,6}{\Phi}$$

Çizelge 4.8. Önerilen kayma denkleminin AISI standartlarına göre karşılaştırılması

MEVCUT VE ÖNERİLEN KESME DENKLEMLERİNİN GÜVENLİK ANALİZİ						
Elde Edilen Sonuçlar	Açıklama	Sembol	Yu ve Arkadaşları (V _{ns}) (4.2)	Natesan ve Madhavan (V _{nsb}) (4.3)	Emre Yavuz (V _{nse}) (4.4)	Önerilen Tasarım Denklemi (V _{nse}) (4.6)
Deneysel Veriler	Yapılan test sayısı	n	36	36	36	36
	Serbestlik derecesi	m	35	35	35	35
	Profesyonel faktörün ortalama değeri	P _M	1,28	1,27	0,58	1,05
	Standart sapma	σ	0,85	0,70	0,21	0,32
	Test sonuçlarının varyasyon katsayısı	V _P	0,72	0,49	0,04	0,10
	Düzeltilme faktörü	C _P	1,090	1,090	1,090	1,090
AISI S100-16 Tablo K2. 1. 1 -1	Malzeme faktörünün ortalama değeri	M _M	1,1	1,1	1,1	1,1
	Üretim faktörünün ortalama değeri	F _M	1	1	1	1
	Kalibrasyon katsayısı (LRFD)	C _φ (LRFD)	1,52	1,52	1,52	1,52
	Kalibrasyon katsayısı (LSD)	C _φ (LSD)	1,42	1,42	1,42	1,42
	Malzeme faktörünün değişim katsayısı	V _M	0,1	0,1	0,1	0,1
	Üretim faktörünün değişim katsayısı	V _F	0,1	0,1	0,1	0,1
	Yük etkilerinin değişim katsayısı	V _Q	0,21	0,21	0,21	0,21
	Hedef güvenilirlik indeksi (LRFD)	β _o (LRFD)	3,5	3,5	3,5	3,5
	Hedef güvenilirlik indeksi (LSD)	β _o (LSD)	4	4	4	4
	Direnç faktörü (LRFD)	φ (LRFD)	0,131	0,285	0,397	0,670
	Direnç faktörü (LSD)	φ (LSD)	0,082	0,200	0,326	0,545
	Güvenlik faktörü (ASD)	Ω (ASD)	12,228	5,615	4,029	2,389

Çizelge 4.8’de denklem (4.7)’ye göre LRFD, LSD ve ASD yöntemleri için direnç ve güvenlik faktörleri hesaplanmıştır. Yu ve arkadaşlarının (2015) denklem (4.2)’ye göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,131, 0,082 ve 12,228’dir. Natesan ve Madhavanın

(2019-2020) denklem (4.3)'e göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,285, 0,20 ve 5,615'dir. Emre YAVUZ tarafından önerilen (2023) denklem (4.4)'e göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,397, 0,326, 4,029'dur. Önerilen kesme mukavemeti denklemine göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,670, 0,545, 2,389 olarak bulunmuştur. Denklemlerde çıkan sonuçlar incelendiğinde önerilen kesme mukavemeti formülü kullanılarak oluşturulan direnç ve güvenlik faktörü değerleri deneysel verilerle gayet uyumludur. (4.2), (4.3), ve (4.4) nolu denklemlerden farklı olmasının sebebi daha önceki çalışmalarda köşebentnin kolona kaynakla birleştirilmesi, bu çalışmada ise sadece akıllı vida kullanılması kesme kuvveti etkisi altında birleşim plakasının çabucak akıllı vida sıyırması ve burkulmasıdır. Bu çalışmada köşebentnin kolon tarafında 2 adet akıllı vida ile birleşim yapılması kaynaklı birleşime göre daha az kesme mukavemeti göstermesine neden olmuş ve birleşim tam rijit davranış gösteremeyecek ya akıllı vida sıyırmış yada hafif çelik köşebent plaka burkulmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde 36 adet (bir deney numunesinde 2 adet olmak üzere) CFS kolon ve kiriş, kolon tarafında 2 adet ve kiriş tarafında 4 adet akıllı vida kullanılarak birleşim oluşturulmuştur. Birleşim elemanları kalınlıkları, uzunlukları, genişlikleri ve derinlikleri farklı olan soğukta şekillendirilmiş çelik hafif çelik köşebent plakalardan oluşturulmuştur. Çelik hafif çelik köşebent plaka kanlıklıkları 1,2 mm, 1,5 mm, 2,0 mm ve 2,5 mm, derinlikleri 100 mm, 150 mm ve 180 mm, uzunlukları 65 mm, 95 mm ve 125 mm, genişlikleri ise 130 mm olarak seçilmiştir. Oluşturulan CFS kolon-kiriş bağlantısında dört noktalı eğme testi altında birleşim kesme mukavemeti incelenmiştir. Çalışmada köşebentnin kalınlık ve en/boy oranı (L/D) etkileri dikkate alınmıştır. Literatürdeki mevcut kesme tasarım kesme denklemlerinin akıllı vidalı birleşimlerde köşebentnin kesme mukavemetini tahmin etmede oldukça tutarlı olduğu görülmüştür. Akıllı vidalı köşebentnin maksimum mukavemeti için yeni bir kesme mukavemeti denklemi önerilmiştir.

Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar daha önce yapılmış olan soğukta şekillendirilmiş çelik köşebentlerin kolon tarafı kaynak, kiriş tarafı akıllı vida kullanılarak oluşturulan birleşimler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin sadece akıllı vidalı birleşimlere göre daha büyük kesme yükü taşıdığı, maksimum yük kapasitesinin daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi akıllı vidalı birleşimlerde sıyrmanın çabuk olması ve plaka burkulmasının daha düşük yüklerde meydana gelmesidir. Plaka kaynaklarının akıllı vida gibi ani yük taşıma kapasitesi düşüşü göstermediği için daha fazla yük sönmüleyebilmektedir. Sadece akıllı vidalı birleşimlerde akıllı vida sıyrması ve köşebent plaka burkulması görülmesi kolonlara daha az yük aktarımına sebep olmakta ve kolon taban plakasının sağlam kalmasına, kolonlarda burulmalı burkulmanın çok az görülmesine sebep olmuştur. Akıllı vidalı birleşimler kaynaklı birleşimlere göre daha modüler bir yapıda olduğu anlaşılmıştır.

Tezin amacı soğukta şekillendirilmiş çelik hafif çelik köşebent plakalar ile farklı birleşim türleri oluşturmak ve maksimum kesme mukavemeti için en uygun çelik köşebent boyutlarını, en/boy oranını ve kalınlığını tespit etmektir. Hafif çelik köşebent birleşimlerde akıllı vida kullanımı çalışması daha önce yapılmamış olup, önceki

çalışmalarda kolon kiriş birleşiminde CFS köşebentler kolon-kiriş birleşiminde merkezi yerleştirilmemiştir. Bu çalışmada akıllı vida kullanımı, CFS köşebentlerin kolon kiriş birleşim merkezine yerleştirilmesi, hafif çelik köşebent plakaların kolona 2 adet kirişe 4 adet akıllı vida ile birleştirilmesi çalışmanın kendine özgün olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda kesme kuvvetine mağruz kalan CFS çelik hafif çelik köşebent plakalar için;

1. Köşebentnin kesme mukavemeti en/boy oranına (L/D) ve kalınlığına bağlıdır.
2. Köşebent kalınlığı arttıkça kesme kuvveti mukavemeti artmaktadır.
3. Köşebent derinliği aynı olan numunelerde en/boy (L/D) oranı arttıkça kesme mukavemeti azalmaktadır ve köşebent boyu aynı olan numunelerde en/boy (L/D) arttıkça kesme mukavemeti artmaktadır.
4. Köşebent derinliği arttıkça kesme mukavemeti artmaktadır ve köşebent uzunluğu arttıkça kesme mukavemeti azalmaktadır.
5. Birleşimlerde akıllı vida kullanımının birleşimin kesme mukavemetini artırdığı gözlemlenmiş olup, hafif çelik köşebent birleşimlerde akıllı vida kullanılması kesme mukavemetinde önemli bir rol oynamaktadır.
6. En/boy oranı (L/D) 0,2'den küçük numunelerde kolon vida sıyırması, 0,2 ile 0,40 arasında olan hafif çelik köşebent plakalarda kirişlerde 1'er adet akıllı vida sıyırması , en/boy oranı 0,40 tan büyük olan numunelerde 1 den fazla kiriş akıllı vidası sıyırması gözlemlenmiştir. Ayrıca tüm numunelerde kolon taban kaynakları sağlam olup tüm hafif çelik köşebent plakalarda burkulma gözlemlenmiştir.
7. Köşebent yüksekliği ve kalınlığı azaldıkça kiriş eksenel burkulmaları artmıştır.
8. Köşebent kalınlığı arttıkça vida sıyırma durumları azaldı ve daha fazla kesme mukavemeti gözlemlenmiştir.
9. Akıllı vidalı hafif çelik köşebentler için tasarım kesme sınırı ve boyutsuz narinlik sınırı sırasıyla $\lambda_{maks} = 0,27$ ve $V_{exp} = 0,239V_y$ olarak önerilmiştir.
10. Akıllı vidalı hafif çelik köşebentler, vidalı ve cıvatalı birleşimlere göre nispeten daha büyük deplasmanları ve daha küçük kesme mukavemetleri göstermiştir. Buda akıllı vidaların sıyrılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

11. Karşılık gelen tasarım kesme dayanımı değerini elde etmek için LRFD, LSD ve ASD yöntemleri için direnç ve güvenlik faktörleri sırasıyla 0,67, 0,545 ve 2,389 olarak değerlendirilmiştir.
12. Hafif çelik köşebent birleşimlerde görsel, ağırlık ve güvenlik bakımından en uygun ebatlar 2*65*180 veya 2,5*65*180 ebatlı plakalardır.

KAYNAKLAR

- AISI, AISI S100-16, 2016. North american specification for the design of cold-formed steel structural members, Washington, DC 20001.
- ASTM E8/E8M-13a. 2010. ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials. 1. Annual book of ASTM standards, 1–27.
- Lim, J.B.P. ve Nethercot, D. A. 2003. Ultimate strength of bolted moment-connections between cold-formed steel members. *Thin-walled Structures*, 41(11), 1019–1039.
- Lim, J.B.P. ve Nethercot, D. A. 2004. Stiffness prediction for bolted moment- connections between cold-formed steel members. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(1), 85–107.
- Mallepogu, N. ve Madhavan, M. 2022. Experimental analysis of the cold-formed steel beam-to-column connection using the welded clip-angle. *Thin-Walled Structures*, 179, 109357.
- Natesan, V. ve Madhavan, M. 2019. Experimental study on beam-to-column clip angle bolted connection. *Thin-Walled Structures*, 141, 540–553.
- Natesan, V. ve Madhavan M. 2019. Structural performance on bolted sleeved connections between two cfs channel sections subjected to combined bending and shear. *Structures*, 20 794–812.
- Natesan, V., Shanmugasundaram, B. ve Madhavan, M. 2020. Comparative experimental studies on the web cleat bolted cfs beam-to-column connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 170, 106080.
- Natesan, V., Shanmugasundaram, B., Sekar, M. ve Madhavan, M. 2021. Effectiveness of cfs web cleat bolted connections between beam-to-column. *Structures*, 33, 3269–3283.
- Obeydi, M., Daei, M., Zeynalian, M. 2020. Stiffness and strength characteristics of cold-formed steel clip angles subjected to pull-through failures. *Thin-Walled Structures*, 150, 106666.
- Wang, L. ve Young, B. 2016a. Behavior of cold-formed steel built-up sections with intermediate stiffeners under bending. I: Tests and numerical validation. *Journal of Structures Engineering*, 142(3), 04015150.
- Wang, L. ve Young, B. 2016b. Behavior of cold-formed steel built-up sections with intermediate stiffeners under bending. II: Parametric study and design. *Journal of Structures Engineer*, 142(3), 04015151.
- Yam, M. C. H., Zhong, Y. C., Lam, A. C. C. ve Lu, V. P. 2007. An investigation of the block shear strength of coped beams with a welded clip angle connection - Part I: Experimental study. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(1), 96–115.

- Yam, M. C. H., Zhong, Y. C., Lam, A. C. C. ve Lu, V.P. 2007. An investigation of the block shear strength of coped beams with a welded clip angle connection - Part II: Numerical study. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(1), 116–134.
- Yavuz, E. 2023. Soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 105, Erzurum.
- Yu, C., Yousof, M., Mahdavian, M. ve Zhang, W. 2017. Design of cold-formed steel clip angles in compression. *Journal of Structures Engineering*, 143(6), 04017030.
- Yu, C., Yousof M., Mahdavian M. ve Zhang W. 2016. Behavior and design of Thin-Walled cold formed steel clip angles subjected to shear load. *Journal of Structures Engineering*, 142(67),
- Zeynalian, M., Shelley A., Ronagh H.R. 2016. An experimental study into the capacity of cold-formed steel truss connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 127, 176-186
- Zhang, W., Mahdavian, M., Yousof, M. ve Cheng Y. 2018. Testing and design of coldformed steel clip angles in tension: Pull-over and serviceability. *Thin-Walled Structures*, 124, 13–19.