



**SOĞUKTA ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KLİPS
AÇILI KAYNAKLI VE AKILLI VİDALI
BİRLEŞİMLERİN KESME ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Emre YAVUZ

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

**2023
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SOĞUKTA ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KLİPS AÇILI KAYNAKLI VE
AKILLI VİDALI BİRLEŞİMLERİN KESME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Emre YAVUZ

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.

21 / 06 / 2023

Emre YAVUZ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOĞUKTA ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KLİPS AÇILI KAYNAKLI VE AKILLI VİDALI BİRLEŞİMLERİN KESME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Emre YAVUZ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Son yıllarda geleneksel betonarme yapı sistemlerinde meydana gelen maliyet artışları, tasarımın uygulama esnasında istenilen düzeylerde gerçekleştirilememesi, yapım sürelerinin uzun olması, mevsim şartlarından olumsuz etkilenmesi gibi durumlardan dolayı hafif çelik yapılar yaygınlaşmıştır. Hafif çelik yapı sistemleri soğukta şekillendirilmiş (CFS) kolon, kiriş, çatı ve diğer kısımların bir arada olduğu sistemlerdir. Bu sistemlerde (özellikle konut projelerinde) kolon-kiriş birleşim türlerinin sayısı ve çeşitliliği artmaktadır. Bu çalışmada CFS kolon-kiriş birleşimlerinde klips açılarının en/boy oranı ve kalınlık parametreleri dikkate alınarak 36 adet deney numunesi oluşturulmuştur. Bu numuneler kolon tarafı kaynak, kiriş tarafı akıllı vida birleşim yapılarak kolon-kiriş birleşiminde kesme etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak klips açılı plaka kalınlığı arttıkça yük taşıma kapasitesinin arttığı ve klips açısının en/boy oranı (W/D) arttıkça klips açılarında yırtılma hataları meydana gelmiştir.

2023, 105 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hafif Çelik Yapı, CFS, Klips Açılı Plaka, Kolon-Kiriş Bağlantı

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF THE CUTTING EFFECT OF COLD FORMET STEEL CLIP ANGLE WELDED AND SMART SCREW JOINTS

Emre YAVUZ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

In recent years, the cost increases in traditional reinforced concrete building systems have caused the design to be desired during the application. At levels failure to make their time is long be the season from the terms Negative like being affected from situations due to mild steel buildings has become widespread. Light steel structure systems in the cold shaped (CFS) colon, beam, roof and other the parts together are systems. This in systems (especially residential in projects) column-beam combination types number and diversity increasing. This CFS in the study column-beam in combinations clip angles aspect ratio and thickness parameters taking into account 36 experiments sample was created. These samples column side welding beam side self-tapping screw by combining column-beam in combination cutting effect examined. In conclusion as the clip angle plate thickness increases load carrying its capacity increasing and aspect ratio (W/D) increases at clip angles tearing errors has been.

2023, 105 page

Keywords: Light Steel Structure, Klip Angle Plate, CFS, Column-Beam Connection

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıç noktasından bitişine kadar olan süreçte derslerimde, tez konumun seçiminde, deneysel çalışmalarında ve bu çalışma dışındaki hayatımda bilgi, tecrübe, ilgi, alaka, maddi ve manevi yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALI'ye, deneylerde ve test çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Mahmut Buğra Bilen'e, yine deney ve test çalışmalarımda yardımcı olan yüksek lisans dönem arkadaşım Nurullah ÇINAR'a, bena bu süreçte her bakımdan destek veren, her anlamda yanımda olan eşim Emine YAVUZ, kızım Ayşe Erva YAVUZ ve oğlum Talha AYBARS YAVUZ'a teşekkür ederim.

Emre YAVUZ
Haziran 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	1
1.2. Hafif Çelik Yapı (Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapı)	2
1.2.1. Hafif çelik yapı malzemeleri	2
1.2.2. Hafif çelik yapı avantajları.....	3
1.2.3. Hafif çelik yapı dezavantajları	3
1.2.4. Hafif çelik yapı birleşim türleri.....	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Deneysel Çalışmalar ve Numuneler.....	18
3.1.1. CFS klips açılarının çekme testi.....	22
3.1.2. Deney numunelerinin üretimi	25
3.2. Deneylerde Kullanılan Aletler	27
3.2.1. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (loadcell) ve kayıt bilgisayarı	27
3.2.2. Deformasyon ölçme cihazı (Doğrusal değişken diferansiyel çeviricisi (LVDT))	28
3.2.3. Veri toplama ve kaydetme sistemi (Veri kaydedici).....	29
3.3. Deney Düzeneği	30
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	32
4.1. Deneylerin Karşılaştırılması	32
4.1.1 Düşey yerdeğiştirmelerin karşılaştırılması.....	32
4.1.2 Kolonlarda yanal yer değiştirmelerin karşılaştırılması	72
4.2. Deneylerin Göçme Durumlarının Değerlendirilmesi.....	81

4.3. Kaynaklı Ve Vidalı Klips Açılı Plakalar İçin Önerilen Kesme Kuvveti	
Denklemi.....	90
4.4. Tasarım Kesme Dayanımı Hesabı	97
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	102
KAYNAKLAR.....	104



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Distos. Burk.	Distosiyonel Burkulma
kN	Kilonewton
m	Metre
mm	Milimetre
rad	Radyan
V	Kuvvet
Δ	Yer Değiştirme

Kısaltmalar

A	Klips açısı toplam genişliği
ASD	İzin verilen güç yöntemi (AISI)
AISI	American Iron and Steel Institute Specification
B	Klips açısı kiriş tarafı uzunluğu
C	Kolon-kiriş yanak büküm uzunluğu
CFS	Soğukta şekillendirilmiş çelik
C_p	Düzeltilme faktörü
C_ϕ	Kalibrasyon katsayısı
D	Klips açısı 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	Klips açısı kalınlığı
μ	Çelik poisson oranı
V_{cr}	Kritik kesme dayanımı
V_{exp}	Her bir klips açısı 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 klips açısı nominal kesme dayanımı
V_{nse}	Kaynaklı ve vidalı klips açısı nominal kesme dayanımı
V_{nsp}	Tek sırada 3 vidalı klips açısı nominal kesme dayanımı
V_{nss}	Vidalı bağlantılı klips açısının nominal kesme dayanımı
V_{nsw}	Dolgu kaynaklı klips açısının nominal kesme dayanımı
V_y	Akma dayanımı
W	Klips açısı kaynak sonrası düz genişliği
W/D	Klips açısı en boy oranı
λ	Narinlik oranı
Φ	Direnç faktörü
β_0	Hedef güvenlik indeksi
Ω	Güvenlik faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Eleman birleşim şekilleri (Mahendrakumar Madhavan 2019)	5
Şekil 2.1. Çelik gövde takozu birleşimi	6
Şekil 2.2. Çelik gövde takozu göçme şekli	7
Şekil 2.3. Çelik braket kesiti	8
Şekil 2.4. Çelik braket 3 boyutlu gösterimi	8
Şekil 2.5. Cıvatalı moment bağlantı elemanı bağlantısı	9
Şekil 2.6. Cıvatalı moment bağlantı elemanı bağlantı elemanı kiriş göçme durumu	9
Şekil 2.7. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı kesiti	10
Şekil 2.8. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı kesiti göçme durumu	11
Şekil 2.9. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı sistemi.....	12
Şekil 2.10. Gövde kama cıvatalı klips açıları kesiti ve göçme durumları.....	13
Şekil 2.11. Gövde kamalı cıvatalı klips açılı bağlantı sistemi-deney mekanizması	14
Şekil 2.12. Gövde kamalı cıvatalı klips açılı bağlantı göçme modları	14
Şekil 2.13. Kaynaklı klips açılı sistem detayı	15
Şekil 2.14. Kaynaklı klips açılı deney düzeneği	15
Şekil 2.15. Kaynaklı klips açıları lokal burkulması	16
Şekil 2.16. Kaynaklı klips açıları distorsiyonel burkulması	16
Şekil 2.17. Kaynaklı klips açıları kolon bağlantısı lokal ve distorsiyonel burkulması...	16
Şekil 2.18. Cıvatalı klips açılı sistem bağlantı şeması	17
Şekil 2.19. Cıvatalı klips açıları göçme şekilleri	17
Şekil 3.1. Kolon-kiriş ve taban plakası kesitleri	18
Şekil 3.2. Klips açılı plaka kesiti	19
Şekil 3.3. Deney sistemi	19
Şekil 3.4. CFS Klips açısı kaynak ve akıllı vida noktaları.....	20
Şekil 3.5. Sistem kesit çizimi	20
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan cıvata, pul ve akıllı vidalar	22
Şekil 3.7. Numune çekme deneyleri (ölçü birimleri mm'dir).....	22
Şekil 3.8. 1,2 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği	23
Şekil 3.9. 1,5 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği	23
Şekil 3.10. 2 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği	24
Şekil 3.11. 2,5 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği	24

Şekil 3.12. Deney düzeneği kolon-kiriş ve taban plakası ölçüleri (birimler mm'dir)	26
Şekil 3.13. Hidrolik yükleyici başlık	27
Şekil 3.14. Deneylerde kullanılan hidrolik piston ve pompa.....	28
Şekil 3.15. Deneylerde kullanılan LVDT'ler	29
Şekil 3.16. Deneylere veri kaydedicileri.....	29
Şekil 3.17. Deney düzeneği sistemi	30
Şekil 3.18. Sistem 3D model	31
Şekil 4.1. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	33
Şekil 4.2. EXP9-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri	34
Şekil 4.3. EXP11-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	34
Şekil 4.4. EXP23-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	35
Şekil 4.5. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	36
Şekil 4.6. EXP8-1,2-65-150 deney sonrası göçme görselleri	36
Şekil 4.7. EXP13-1,2-95-150 deney sonrası göçme görselleri	37
Şekil 4.8. EXP92-1,2-125-150 deney sonrası göçme görselleri	37
Şekil 4.9. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	38
Şekil 4.10. EXP10-1,2-65-180 deney sonrası göçme görselleri	39
Şekil 4.11. EXP14-1,2-95-180 deney sonrası göçme modları	39
Şekil 4.12. EXP9-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri	40
Şekil 4.13. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	41
Şekil 4.14. EXP15-1,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri	42
Şekil 4.15. EXP21-1,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri	43
Şekil 4.16. EXP17-1,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri	43
Şekil 4.17. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	44
Şekil 4.18. EXP12-1,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri	45
Şekil 4.19. EXP25-1,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri	46
Şekil 4.20. EXP6-1,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri	47
Şekil 4.21. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	48

Şekil 4.22. EXP1-1,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri	48
Şekil 4.23. EXP16-1,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri	49
Şekil 4.24. EXP19-1,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri	50
Şekil 4.25. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	51
Şekil 4.26. EXP18-2 -65-100 deney sonrası göçme görselleri	52
Şekil 4.27. EXP22-2-95-100 deney sonrası göçme görselleri	52
Şekil 4.28. EXP26-2-125-100 deney sonrası göçme görselleri	53
Şekil 4.29. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	54
Şekil 4.30. EXP29-2-65-150 deney sonrası göçme görselleri	54
Şekil 4.31. EXP32-2-95-150 deney sonrası göçme görselleri	55
Şekil 4.32. EXP30-2-125-150 deney sonrası göçme görselleri	55
Şekil 4.33. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	56
Şekil 4.34. EXP34-2-65-180 deney sonrası göçme görselleri	56
Şekil 4.35. EXP5-2-95-180 deney sonrası göçme görselleri	57
Şekil 4.36. EXP31-2-125-180 deney sonrası göçme görselleri	58
Şekil 4.37. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	59
Şekil 4.38. EXP20-2,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri	60
Şekil 4.39. EXP24-2,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri	60
Şekil 4.40. EXP28-2,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri	61
Şekil 4.41. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	61
Şekil 4.42. EXP7-2,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri	62
Şekil 4.43. EXP35-2,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri	63
Şekil 4.44. EXP27-2,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri	63
Şekil 4.45. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.	64
Şekil 4.46. EXP36-2,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri	64
Şekil 4.47. EXP33-2,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri	65
Şekil 4.48. EXP3-2,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri	66
Şekil 4.49. 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği.....	67

Şekil 4.50. 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği.....	68
Şekil 4.51. 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği.....	69
Şekil 4.52. 65 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği	70
Şekil 4.53. 95 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği	70
Şekil 4.54. 125 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği	71
Şekil 4.55. Tüm klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği.....	72
Şekil 4.56. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	73
Şekil 4.57. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	74
Şekil 4.58. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	74
Şekil 4.59. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	75
Şekil 4.60. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	76
Şekil 4.61. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	76
Şekil 4.62. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	77
Şekil 4.63. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	78
Şekil 4.64. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	78
Şekil 4.65. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	79
Şekil 4.66. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	80
Şekil 4.67. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.	80
Şekil 4.68. Kolon distorsiyonel burkulması ve klips akılı vida sıyırması örneği	85
Şekil 4.69. Klips açısı yırtılması örneği.....	85
Şekil 4.70. Deneylerde giriş burkulması ve klips açısı akıllı vida sıyırması durumu.....	86
Şekil 4.71. Kolon burulmalı burkulma durumu	86

Şekil 4.72. Kolon kaynak kopma durumu	87
Şekil 4.73. Kolon distorsiyonal burkulması, klips açısı yırtılması ve vida sıyırması durumu.	87
Şekil 4.74. Klips açısı yırtılması durumu.....	88
Şekil 4.75. Kolon distorsiyonal burkulması, klips açısı kaynak yırtılması ve kiriş burkulması durumu.	88
Şekil 4.76. Kolon burulmalı burkulması ve kiriş burkulması durumu	89
Şekil 4.77. 180 mm derinlikle bir plakalar kolon ve kiriş burkulması durumu	89
Şekil 4.78. Klips açısı-kolon-kiriş göçme modları grafiği.....	90
Şekil 4.79. Klips açıları tasarım eğrileri.....	96
Şekil 4.80. Eğri uydurma kullanılarak önerilen kesme denklemi.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Numune ebatları.....	21
Çizelge 3.2. Numune çekme deney sonuçları.....	25
Çizelge 3.3. Klips açıları boyutları	26
Çizelge 4.1. 1,2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	33
Çizelge 4.2. 1,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	40
Çizelge 4.3. 2 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları.....	51
Çizelge 4.4. 2,5 mm kalınlıkta numuneler için en/boy oranları	59
Çizelge 4.5. Klips açılarının maksimum kesme kuvveti ve göçme modları.....	82
Çizelge 4.6. Literatürden tasarım kesme denklemlerinin karşılaştırılması.....	93
Çizelge 4.7. Önerilen kesme denkleminin istatistiksel analizi	97
Çizelge 4.8. Önerilen kayma denkleminin AISI standartlarına göre karşılaştırılması...	100

1. GİRİŞ

Artmakta olan insan nüfusu barınma ve yaşam alanı ihtiyaçlarını beraberinde getirmektedir. Bu temel ihtiyaçların gelişen inşaat teknolojileriyle giderilmesi gerekmektedir. Bunun için de yapılarda yenilikçi tasarımlara gereksinim duyulmaktadır. Bu tasarımlar güvenli, ekonomik ve estetik kriterler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Gelişen inşaat sektöründe bu kriterlerin yer alması gerekmekte ve bunun için yapılarda ve yapı elemanlarında birçok tasarım yapılmaktadır. Bu tasarımlar güvenli, daha ekonomik yapılar ve ülke ekonomisine, doğal kaynaklarımıza olumlu yöndeki etkiside düşünerek yapılmalıdır. Güvenli, ekonomik, estetik, inşaat süresi, montaj kolaylığı vb. kriterleri göz önüne alınca binalarımızı hafif çelik yapılardan (CFS) üretmenin son derece önemli olduğunu görülmektedir. Hafif çelik yapıların yapı sektöründe kullanılmaya başlaması, üretilen binaların güvenli, ekonomik ve estetiklik ilkelerine uygunluk için araştırma çalışmalarını artırmış durumdadır. Bu araştırmalarda yapılan çalışmaların bir bölümü hafif çelik yapı (CFS) birleşimlerinin tasarlanması üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada hafif çelik yapı (CFS) birleşimlerinde soğukta şekillendirilmiş çelikten klips açılı plakalar kullanarak kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisini incelenmiştir.

Bu çalışmada, hafif çelik yapı birleşimlerinde CFS klips açılı plakaların kaynaklı ve akıllı vida birleşimlerinin kesme etkisi altında davranışını inceleyerek ideal klips açılı plaka ebatlarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Çalışmanın amacı hafif çelik yapı sistemlerinde kolon-kiriş birleşimlerin kesme kuvveti etkisini incelemek ve kesme kuvveti etkisine maruz kalan CFS klips açılı birleşimlerin ideal birleşimini tasarlamaktır. Çalışmada çelik klip açılı plaka kullanma sebebi ise kolon-kiriş birleşimlerinin daha modüler hale getirilmesi, yükler altında meydana gelecek deformasyonların kolon veya kirişte değil klips açılı plakada meydana gelmesi ve ana taşıyıcı elemanların zarar görmemesi ve tasarlanan birleşimin modüler olarak kolayca değiştirilebilmesidir. Birleşimlerin kaynaklı ve akıllı vidalı seçilmesindeki neden daha önce kaynaklı birleşimler üzerine yapılan çalışmalar ile karşılaştırmak ve

optimum sonuç elde etmektir. Klips açılı birleşimlerde akıllı vida kullanım örneklerinin olmaması, kolon kiriş birleşiminde klips açılarının merkeze yerleştirilmesi ve klips kaynakalarının üç kenarlı yapılması bu çalışmayı özgün hale getirmektedir.

1.2. Hafif Çelik Yapı (Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapı)

Bina vb. yapılarda binanın kendi ağırlığını ve üzerine etkiyen yükleri taşıyan ve yapının temeline aktarmakla görevli taşıyıcı sistemler bulunur. Bu yapı elamanları kolon ve kiriş, döşeme olarak adlandırılmaktadır. Hafif çelik yapı sistemleri ise soğuk olarak şekil verilmiş çelik elamanlardan üretilen profiller ile oluşturulan kolon, kiriş, çatı ve diğer kısımların bir arada bulunduğu sistemlere denmektedir. Çelik yapı sistemleri kullanılan yapılar sağladığı avantajlar sayesinde daha çok tercih edilmeye başlamıştır.

Soğukta şekil verilmiş çelik yapılar diğer genel kullanım adıyla hafif çelik yapılar ilk olarak Amerika’da artan ahşap fiyatına karşı alternatif olarak kullanılmaya başlanmış ve giderek artan kullanımıyla disipline edilerek şartnamelerle desteklenmiştir. Son yıllarda adından çok söz ettiren hafif çelik yapı sistemi yıllarca ülkemizde çelik prefabrik ve modular yapıların ana yapısal elemanı olarak kullanılmıştır.

Çelik prefabrik yapı olarak adlandırılan sistem, hafif çelik elemanları bir araya getirelerek duvar panelleri ve/veya döşeme-çatı panellerinin fabrika ortamında oluşturulduğu (2 boyutlu) ve sahadan başka bir ortamda hazırlanmış olan bina sistemleridir. Hafif çelik yapı sistemlerinin son yıllarda konut inşaatlarında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Ayrıca ülkemizde deprem felaketinden sonra soğukta şekillenmiş çelik yapıların kullanımında hızlı bir artış görülmüştür.

Hafif çelik genellikle fabrika yapıları, sanayi yapıları, konutlar, uçak hangarları, spor salonları, atölyeler, raf sistemleri, depolar gibi yerlerde kullanılmaktadır.

1.2.1. Hafif çelik yapı malzemeleri

Hafif çelik yapı, taşıyıcı kolon, kiriş, duvar ve döşeme panellerinden oluşur. Bu paneller ise sıcak daldırma galvanize ile üretilmiş olup soğuk şekillendirme yapılarak

1. GİRİŞ

oluşturulur. Hafif çelik yapı sistemlerinde galvanize edilmiş çelik kullanılma sebebi galvanize çeliğin aşındırıcı dış etkilere karşı dayanıklılığının daha fazla olmasıdır. Bu yapıları oluşturan duvarlar, döşemeler ve diğer bölümler soğuk şekillendirilerek üretilen galvanizli çelikten üretilir. Fabrika ve atölyelerde teknolojik CNC tezgâhlarında üretilirler. Daha sonra üretilen elemanlar inşaat alanına sevk edilerek montaj işlemleri yapılmaktadır. Genel olarak soğukta şekil verilmiş çelik elemanların et kalınlıkları 0,350 mm ile 4 mm aralığındadır.

1.2.2. Hafif çelik yapı avantajları

Hafif çelik yapı sistemleri yüksek dayanımlı ve homojen sistemlerdir. Ayrıca üretim sırasında insan etkisi düşük olduğundan çıkan üründe hata payı çok azdır. Galvanize edilerek üretilen çelik elemanlar kullanım ömrü boyunca paslanmaya karşı dayanıklıdır. Yıl boyunca hava şartlarına bağlı olmaksızın herhangi bir dönemde inşası devam ettirilebilir. Yapının tasarımı sırasında çelik kullanımının sağlamış olduğu avantajlardan biri kolon ve kiriş gibi önemli yapı unsurlarının betonarme kolon ve kirişlere göre daha küçük boyutlu olmalarıdır. Bu sebeple kullanım alanları daha fazla olduğu söylenebilir. Çelik yapıların duvar bölümleri belirli standartlar ölçüsünde tasarlandığı için duvar iç-dış izolasyon tasarrufu sağlanabilir. Hafif çelik yapı sistemlerinin montajı hızlı bir şekilde yapılabilir. Bu sebeple işçilik maliyetleri düşük olmaktadır. Hafif çelik yapı sistemlerinde tesisatların geçecekleri noktalar tasarım esnasında belirlendiği için sonrasında kırma vb. gibi işlemler yapılmaz. Hafif çelik yapılarda kullanılan duvar kaplamaları, içerdiği çimento ve bordex nedeniyle yangına karşı dayanıklı yapılardır. Isı yalıtım sistemleri yapının bulunduğu bölgenin hava şartlarına uygun tasarlandığı için ısı yalıtım oranları yüksektir. Bu sebeple yapının ısınma ve soğutma giderleri daha düşüktür. Kullanılan çelik geri dönüştürülebildiği için çevreye duyarlı yapılardır. Çünkü çelik birçok kez yeniden kullanılabilir özelliktedir. Ayrıca hafif çelik yapının atölyelerde montaja hazır olacak şekilde üretilip şantiye koşullarında kolayca montajının yapılabilmesi en büyük tercih sebeplerinden birisidir.

1.2.3. Hafif çelik yapı dezavantajları

Çelik yapıların bakım maliyetleri çok yüksektir. Çelik paslanabilir malzemedir. Çelik, betonla karşılaştırıldığında yangına karşı direnci çok azdır. Çelik herhangi bir

yönde kalıp olarak kullanılamaz. Çelik, sünekliğini kaybettiğinde ani kırılmalar olabilir. Isı ve ses iletkenliği yüksektir. Çelik işçiliği ihtisas gerektirir. Saha çözümleri diğer yapı türlerine göre daha zor olmaktadır. Çelikte mm ölçü birimi kullanılırken, betonarmede ise cm'dir. Bu ölçü birimi farkı hassasiyet konusundaki önemi ortaya çıkarmaktadır. Betonarme yapılarda inşaat alanında kalıp üzerinde değişiklik yapılarak betonda revizeler yapılabilirken, çelikte yapılarda bu olanak yoktur. Değişiklik yapılması gereken durumlarda yine atöyle ortamına ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi halde şantiye ortamında yapılacak olan müdahaleler çelik yapı isteminde ciddi problemler ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri Hafif Çelik Yapı sistemleri tercih edilmesi durumunda çok dikkatli ve itinalı bir şekilde çalışma yapılması gerekmektedir.

1.2.4. Hafif çelik yapı birleşim türleri

Hafif çelik yapılarda birçok birleşim türü bulunmaktadır. Bu birleşimler birleşim yapılacak yapı elemanına ve birleşimin hangi malzemeyle yapılacağı durumuna göre ikiye ayrılmaktadır.

Birleşim yapılacak yapı elemanına göre;

Kolon-Kolon Birleşimleri

Kolon-Kiriş Birleşimleri

Kiriş-Kiriş Birleşimleri

Kiriş-Döşeme Birleşimleri

Kolon-Beton Birleşimleri

Birleşim yapılacak yapı malzemesine göre;

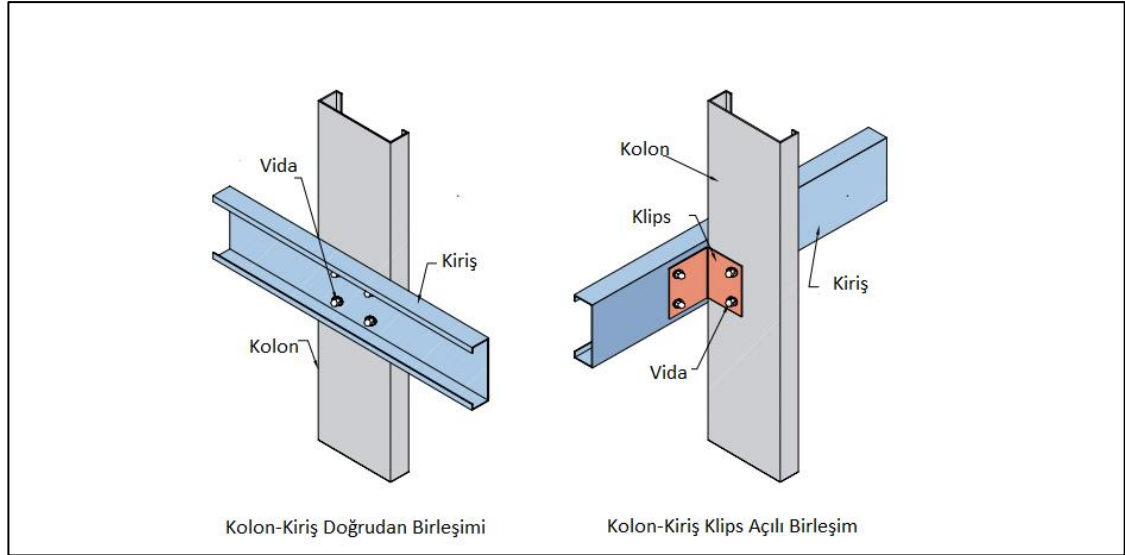
Bulonlu Birleşimler

Kaynaklı Birleşimler

Perçinli Birleşimler

Vidalı (Akıllı Vida) Birleşimler

Geçmeli Birleşimler

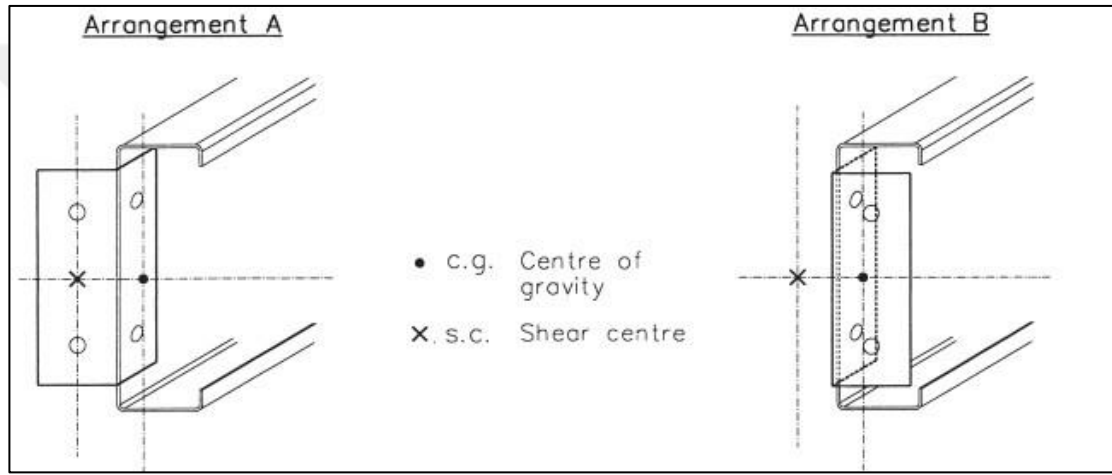


Şekil 1.1. Eleman birleşim şekilleri (Mahendrakumar Madhavan 2019)

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi kolon-kiriş doğrudan birleşimlerinde iki taşıyıcı eleman birbirlerine herhangi bir ara eleman olmadan kaynak, akıllı vida, bulon ve perçin ile birbirlerine bağlantı yapılır. Klips açılı birleşimler ise iki taşıyıcı eleman arasına soğukta şekillenmiş çelikten üretilen, belirli kalınlık ve boyutlarda plakaların her elemene ayrı ayrı bağlantı yapıldığı sistemlerdir. Bağlantılar kaynak, akıllı vida, cıvata, perçin şeklinde olabilmektedir. Klips açılı birleşimler ana elemanların yük aktarırken direkt birbirlerini zorlamadan klips açısı vasıtasıyla yük aktarımı yaptıkları için direkt bağlantılara göre ana elemanların hasarını azaltır. Ayrıca klips açısının yük taşıma kapasitesi toplam enejinin yutulmasında sisteme olumlu katkı sağlamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Chung and Lawson (1999) soğuk şekillendirilmiş çelik şeritten ağ takozları kullanılarak soğuk şekillendirilmiş çelik bölümler arasındaki kesmeye dirençli bağlantıların yapısal performansını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada kolon ve kirişler hafif çelikten bükülmüş C profillerinden oluşturulmuştur. Kolon-kiriş bağlantıları Şekil 2.1’de kesiti verilen farklı kalınlık ve ebatlarda bükülmüş çelik gövde takozları ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan 24 farklı deneyde aşağıdaki bulguları elde etmişlerdir.



Şekil 2.1. Çelik gövde takozu birleşimi

Soğuk şekillendirilmiş çelik bölümler arasındaki kesmeye dayanıklı bağlantılar, soğuk şekillendirilmiş çelik köşebentli birleşimler ile oluşturulabilir. Bu nedenle, daha iyi inşa edilebilirlik için binalardaki soğuk şekillendirilmiş çelik bölümlerin birleştirilmesinde sıcak haddelenmiş çelik köşebentlerin yerine soğuk şekillendirilmiş çelik köşebentler kullanılabilir. Hem cıvatalar hem de akıllı vidalar, soğuk şekillendirilmiş çelik klipsler için bağlantı elemanı olarak kullanılabilir. Cıvata ve akıllı vidalar yapının şantiyede montajı için basit ve kolaydır. Akıllı vida kullanımı önceden delik açmaya gerek yoktur. Bu da uygulama aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Soğuk şekillendirilmiş çelik köşebentler ile önerilen bağlantıların kesme dayanımı 9 ile 20 kN aralığındadır. Soğuk şekillendirilmiş çelik gövde kamasının uç sehimi her zaman 5 mm ile sınırlıdır ve bu soğuk şekillendirilmiş çelik kesitli bina yapımında kabul edilebilir değerdir. Mevcut araştırma projesinde ölçülen, soğuk şekillendirilmiş çelik köşebentler kullanan kesmeye dirençli bağlantıların yapısal performansına dayanarak, soğuk

2. KAYNAK ÖZETLERİ

şekillendirilmiş çelik bağlantıların tasarımı rasyonalize edilmiştir. Soğuk şekillendirilmiş çelik bölümler arasındaki basit ve etkili bağlantılar, önerilen tasarım kuralları kullanılarak kanıtlanmış yapısal yeterlilikle tasarlanabilir. Bu nedenle yapı mühendisleri, bina yapımında soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin sunduğu yüksek çok yönlülük ve yüksek inşa edilebilirlikten tam olarak yararlanmaya teşvik edilir. Şekil 2.2’de çelik gövde takozunun göçme şekli verilmiştir.



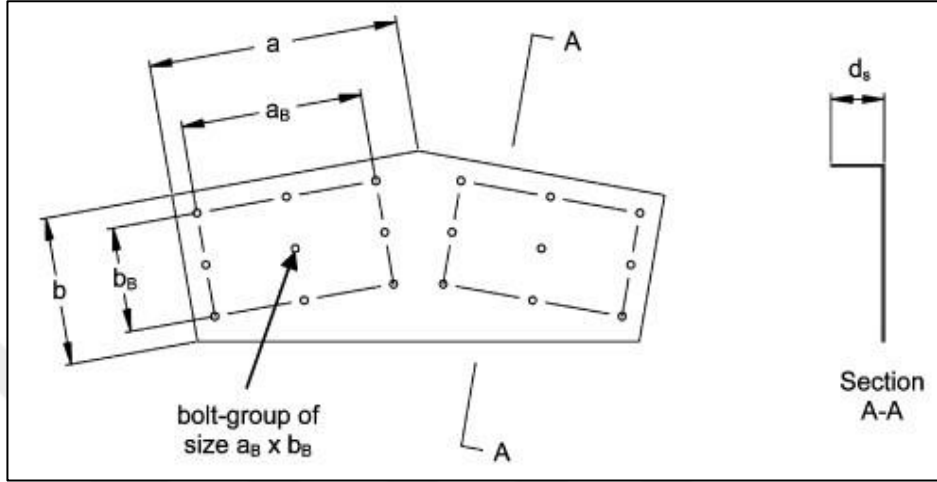
Şekil 2.2. Çelik gövde takozu göçme şekli

Lennon et al. (1999) soğuk şekillendirilmiş çelikte bazı mekanik bağlantıların karşılaştırmalı olarak incelenmesi çalışmasını yapmışlardır. Bu çalışmada mekanik perçinleme, kendini delen perçin bağlantıları, başlıklı perçinler ve akıllı vidalar ile 1,00 mm, 1,2 mm, 1,6 mm ve 2,00 mm kalınlıklarda soğukta şekil verilmiş galvanizli çelikten üretilmiş numunelerde bağlantılar oluşturularak kesme testi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda test edilen çeşitli bağlantı türlerinin yüklenmesinde çıkan sonuçlarda büyük farklılıklar gözlenmiştir. Deneyde perçin bağlantılarının küçük yer değiştirme aralığında, doğrusal olmayan bir yük yer değiştirme tepkisi verirken, kendi kendine delen perçinler yaklaşık olarak doğrusal bir tepki vermiştir. Kesme testlerinde kullanılan yumuşak çeliğin akma geriliminin değişkenliği, perçinli bağlantı veya kendinden kılavuzlu vida kesme testlerinden kaynaklanan tepe yüklerin değişkenliği ile doğrudan orantılı olmadığı farklı çalışmalarında yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

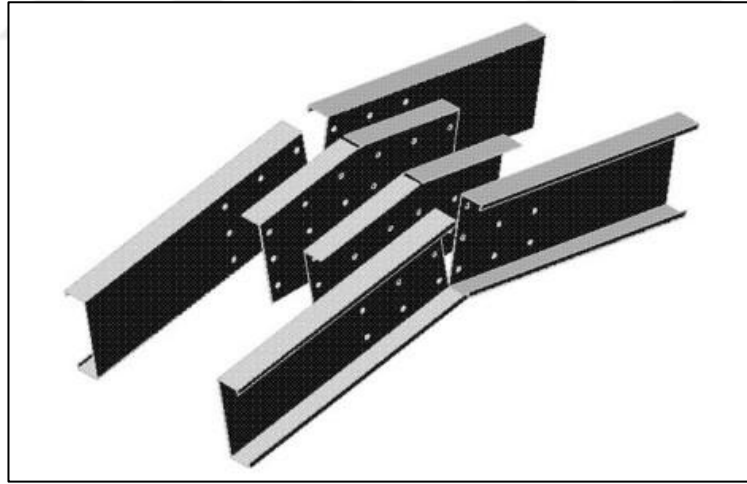
Lim and Nethercot (2004) soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar arasındaki cıvatalı moment bağlantıları için rijitlik tahmini çalışmasında farklı boyutlarda cıvatalar kullanarak Şekil 2.3’te gösterilen bir tepe bağlantı birleşiminde cıvataların uzamasının ve

2. KAYNAK ÖZETLERİ

delik çaplarının değişiminin bağlantı mukavemetine etkisini incelemiştir. Deney sonucunda soğuk şekillendirilmiş elemanlar arasındaki kesme tipi cıvatalı moment bağlantısının ilk dönme rijitliğini belirlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Cıvatalar her bir cıvatanın hemen arkasındaki malzemeye dayandıkça cıvata deliklerinin uzamasının, rijitliği kontrol eden en önemli yapısal kriter olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Çelik braket kesiti

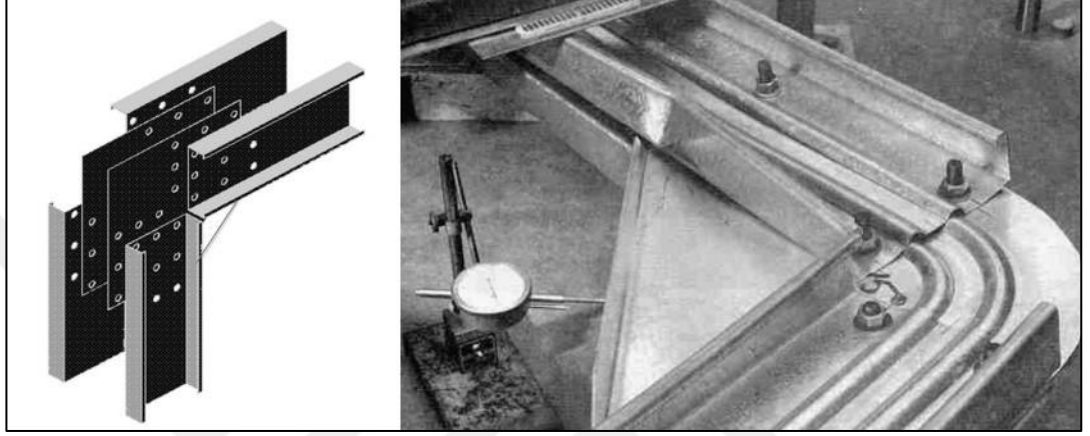


Şekil 2.4. Çelik braket 3 boyutlu gösterimi

Lim and Nethercot (2003) soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar arasındaki cıvatalı moment bağlantılarının maksimum yük kapasitesi çalışması yapılmıştır. Laboratuvar testleri ve sonlu eleman analizleri ile Şekil 2.5 (a)'da gösterilen soğuk şekillendirilmiş çelik cıvatalı moment bağlantıları için bitişik elemanlarda göçme modunu incelemek için kullanılmıştır. Şekil 2.5 (b) ve Şekil 2.6'da cıvatalı moment bağlantı elemanı ve bağlı olduğu kirişin göçme durumu gösterilmiştir. Ölçülen

2. KAYNAK ÖZETLERİ

maksimum moment kapasitesi ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tahmin edilen arasında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar modelini kullanan, sabit bir kanal bölümü derinliğinin tepe braketin 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.



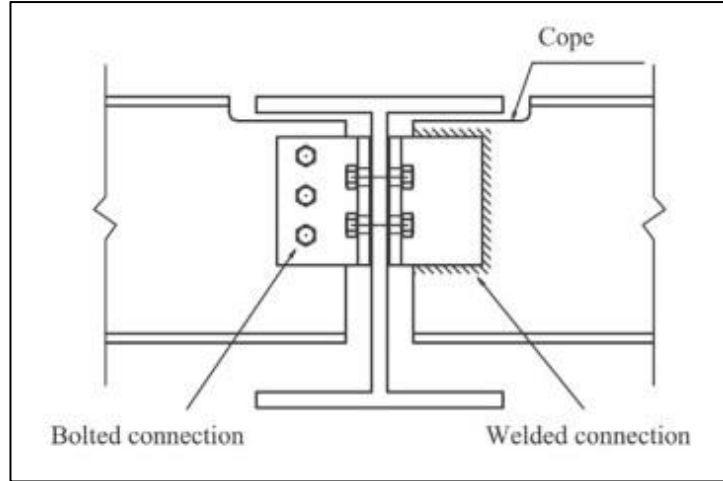
Şekil 2.5. Cıvatalı moment bağlantı elemanı bağlantısı



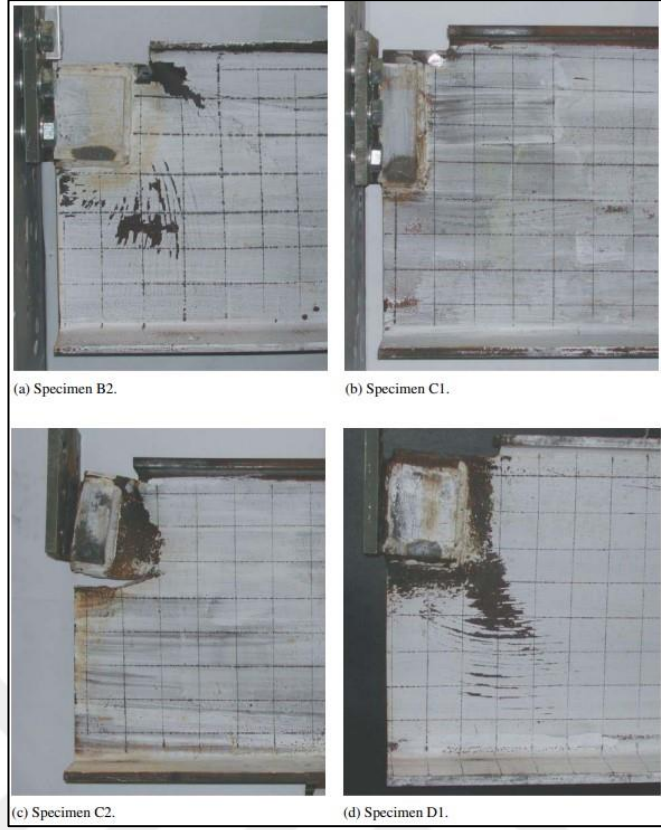
Şekil 2.6. Cıvatalı moment bağlantı elemanı bağlantı elemanı kiriş göçme durumu

Yam et al. (2006a) tarafından kaynaklı klips açılı bağlantılı oluklu kesimli kirişlerin blok kesme dayanımının incelenmesi 1 nolu çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada blok kesme dayanımını ve kaynaklı uç bağlantıları olan oluklu kesim kirişlerin davranışını araştırmak için Şekil 2.7’de kesiti gösterilen 10 adet oluklu kesimli kiriş testi yapılmıştır. Kaynaklı uç bağlantıları olan oluklu kesimli kirişlerdeki göçme mekanizması Şekil 2.8’de verilmiştir. 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. Klips açılarının altındaki kiriş ağında ani gerilim kırılmaları meydana gelmiştir. Kayma kırılması gözlemlenmemiş ve yırtılma tipi blok kayması meydana gelmemiştir. Yerel gövde burkulması, aynı zamanda, kaynaklı uç bağlantıları olan oluklu kesimli kirişler için potansiyel bir göçme modu olduğu anlaşılmış. Yüksek basınç gerilmeleri ve kesme gerilmeleri, azaltılmış kesitteki eğilme ve kesme kombinasyonundan dolayı, gövdenin ucuna yakın bölgede birikme olmuş, bu nedenle, başlıkta geniş akma ve yerel bağlantı elemanı burkulmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, bu numuneler, maksimum göçme modlarına ulaşmadan önce blok kesme tipinde önemli deformasyon sergilemiştir. İncelenen test parametreleri arasında klips açılarının en boy oranı, bağlantı bloğunun gerilme ve kayma alanı, bağlantı elemanı kalınlığı, kiriş tarafında bağlantı derinliği, başlık uzunluğu ve bağlantı konumudur. Sonuçlar, en-boy oranı ve kesme alanı arttıkça bağlantı kapasitesinin arttığını göstermiştir. Geniş bir gerilim alanı, yükleme eksantrikliğini 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.



Şekil 2.7. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı kesiti

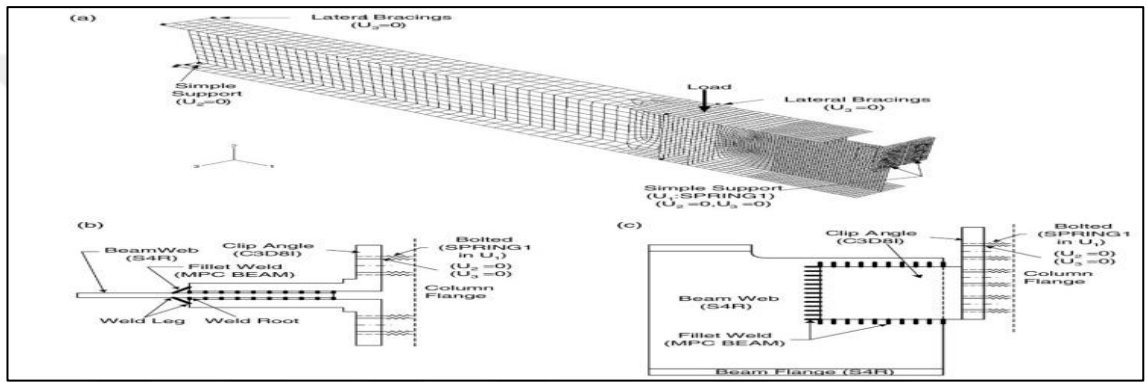


Şekil 2.8. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı kesiti göçme durumu

Yam et al. (2006b) Kaynaklı klips açılı bağlantılı oluklu kesimli kirişlerin blok kesme dayanımının incelenmesi çalışmalarında kaynaklı uç bağlantılar ile Şekil 2.9’da gösterilen 10 adet oluklu kesimli kiriş bağlantısı deneyi yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda Kaynaklı uç bağlantıları olan baş kirişlerde blok kesme ve yerel gövde burkulma göçme modları meydana gelebilir. Gövde bloğunun geometrisi, bağlantının kesme gücünü ve göçme modunu etkileyecektir. Klip açısının en boy oranı arttıkça bağlantının kesme kapasitesinin arttığı ancak en-boy oranı büyükse artış hızı küçük olacağı tespit edilmiştir. Kesme alanının bağlantı kesme kapasitesi üzerindeki etkisi, çekme alanından daha belirgin olmuştur. Kesme alanı genişse çekme kırılmalarından ziyade yerel gövde burkulması meydana gelmiştir. Geniş bir gerilim alanı, yükleme eksantrikliğini artıracak ve dolayısıyla klips açılarının yakınında kiriş ağı bölgesinin kenarına doğru daha fazla eğilme momenti oluşturmuştur. Kiriş bölümü derinliği, başlık derinliği ve bağlantı konumu, bağlantı kapasitesini büyük ölçüde etkilememiştir. Bununla birlikte bağlantı derinliği artırılırsa veya bağlantı konumu daha alçaksa, kirişin yerel gövde burkulması meydana gelme eğiliminde olduğu görülmüştür. Çekme alanının artırılması, kayma alanındaki kayma gerilmelerinin azalmasına neden olmuştur. Sınırlı

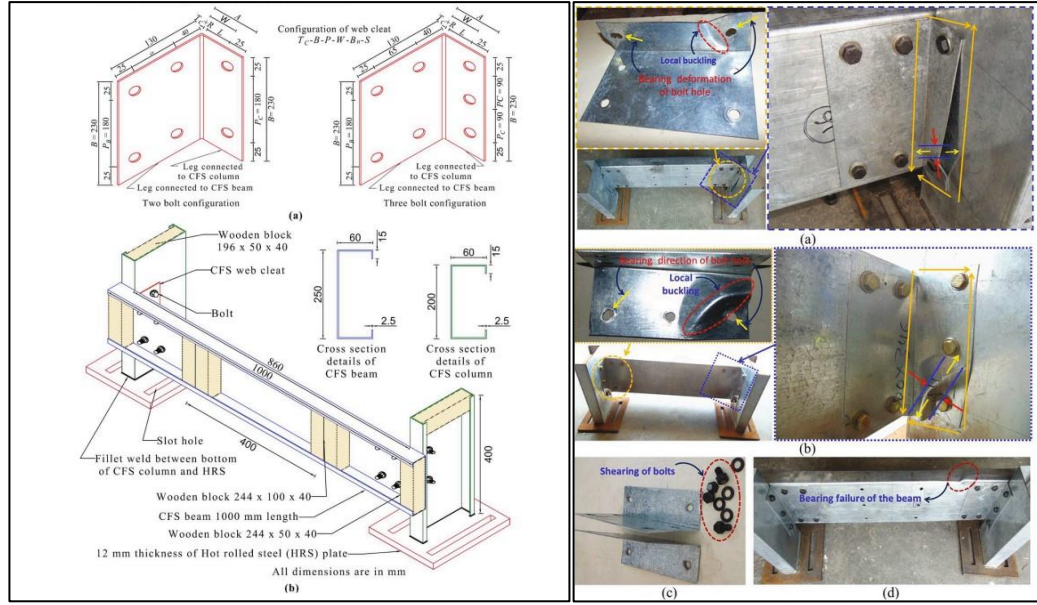
2. KAYNAK ÖZETLERİ

test ve analitik sonuçlara dayanarak, kaynaklı klips açılara sahip oluklu kesimli kirişlerin blok kayma mukavemetini değerlendirmek için bir tasarım denklemi önerilmiştir. Ancak, önemli ölçüde farklı kaynaklı bağlantılar ve başa çıkma detayları için bu denklemi kullanırken dikkatli olunmalıdır. Kesilen kirişlerin blok kayma mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olan klips açılarının dönme rijitliği etkisini önerilen tasarım denkleminde dahil etmek için daha ileri deneysel ve sayısal çalışmalar gereklidir. Önerilen tasarım denklemi, blok kaymasını tahmin etmek için geliştirilmiş olmasına rağmen, yerel ağ burkulması nedeniyle başarısız olan numunelerin kapasitelerinin makul bir tahminini sağladığı görülmüştür.



Şekil 2.9. Kaynaklı klips açılı oluklu kesimli kiriş bağlantı sistemi

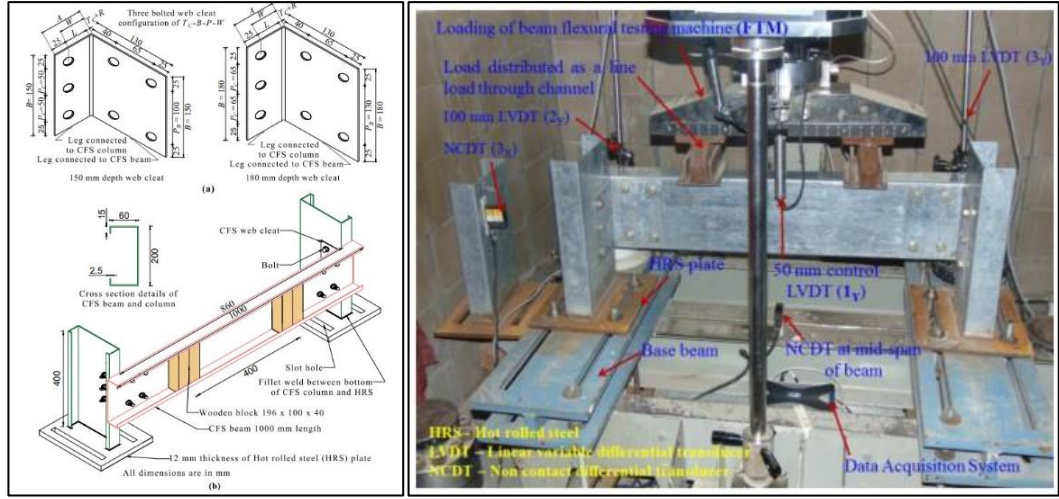
Natesan et al. (2021) kiriş-kolon arasındaki CFS gövde kama cıvatalı bağlantıların etkinliğinin maksimum kesme mukavemeti açısından incelenmesi çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada Şekil 2.10'da kesitleri gösterilen çelik bağlantı elemanının en/boy oranı, kalınlığı ve cıvata konfigürasyonu kriterlerine göre inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda çelik bağlantı elemanlarında yerel burkulma görülmüş, uygulanan maksimum güç klipsin elastik gücünü aşmıştır. Üç cıvatalı klipslerin yük kapasitesi %18 den %87'ye çıkmaktadır. Cıvata sayısının artırılması büyük önem taşımaktadır. Klips derinliği arttıkça yük kapasitesi artmakta ve kesme mukavemeti en/boy oranına bağlıdır.



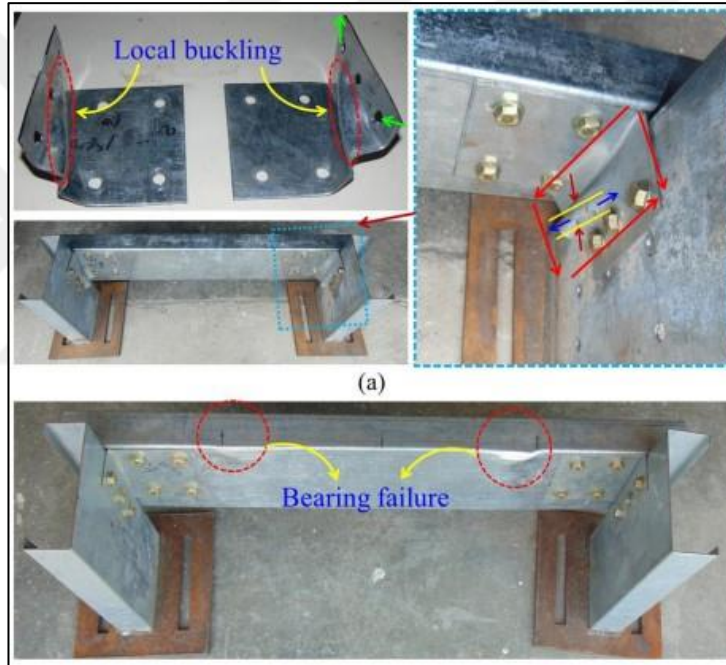
Şekil 2.10. Gövde kama cıvatalı klips açıları kesiti ve göçme durumları

Natesan et al. (2020) yapmış oldukları gövde kamalı cıvatalı CFS kiriş-kolon bağlantısı üzerine karşılaştırmalı deneysel çalışmalarda klips açılarında en/boy oranı (L/B) ve kalınlık (t) gibi çeşitli parametreler için maksimum yük ve yer değiştirme özelliklerini, bağıl dönüşlerini ve göçme modlarını incelemek için cıvatalar kullanılarak CFS klips aracılığıyla bağlanan CFS kiriş-kolon bağlantıları üzerinde bir dizi deney yapılmıştır. Deney düzeneği ve numuneler Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalarda, Klips açısı kaynak sonrası düz genişliği olan $W = 70, 100$ mm olan numunelerde kolona bağlı gövde ayağında lokal burkulma gözlenmiştir. Klips açısı kaynak sonrası düz genişliği $W=40$ mm olan numunede ise yükleme noktalarında kirişin mesnet kırılması gözlenmiştir. Üç cıvatalı bağlantı konfigürasyonuna sahip numunelerin maksimum yükü, iki cıvatalı bağlantı konfigürasyonuna sahip numunelerden %13–95 daha yüksektir. Ayrıca, bağlantı elemanının en-boy oranı azaltıldığında maksimum yük artmıştır. İki ve üç cıvata konfigürasyonlarının test sonuçlarına göre, daha yüksek bir çelik bağlantı elemanı derinliği için güç açısından üç cıvatalı konfigürasyon gereklidir. Yüke karşı sapma grafiği, üç cıvatalı gövde bağlantısı olan numuneler için, iki cıvatalı gövde bağlantısı olan ilgili numuneye kıyasla daha katıdır. Eklemin gözlemlenen bağıl dönüşü ve kolonun yanal sapması değişken olduğu görülmüştür. Güvenilirlik çalışmalarından, mevcut ve önerilen tasarım denklemi için, hedef güvenilirlik indeksi olan β 'ya ulaşmakla yükümlü olan direnç ve güvenlik faktörleri elde edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ



Şekil 2.11. Gövde kamalı cıvatalı klips açılı bağlantı sistemi-deney mekanizması



Şekil 2.12. Gövde kamalı cıvatalı klips açılı bağlantı göçme modları

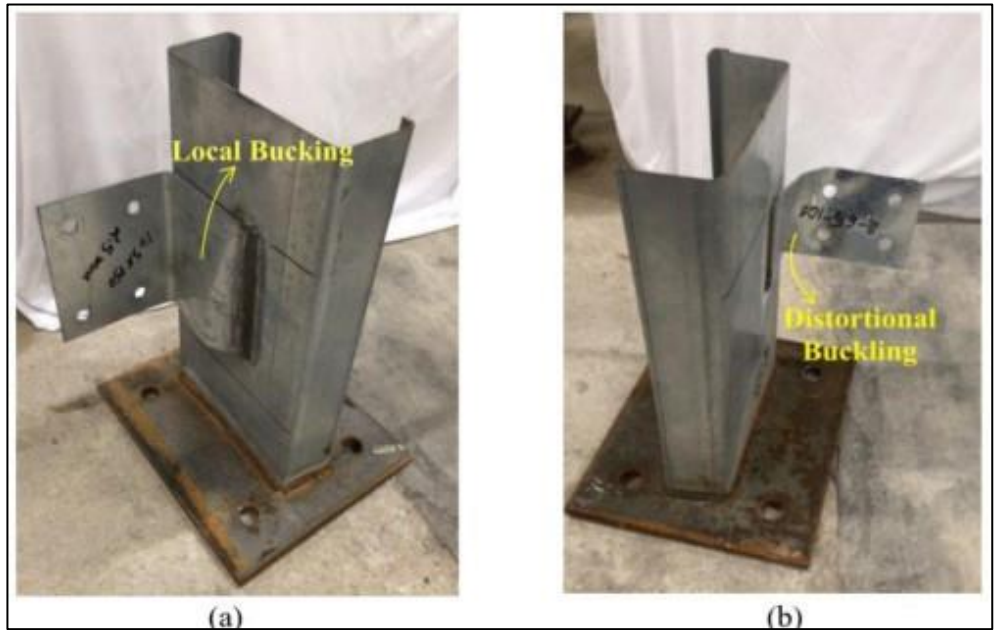
Mallepogu and Madhavan (2022) soğukta şekillendirilmiş kaynaklı klips açılı bağlantıların deneysel analizi çalışmasında farklı ebatlarda ve farklı kalınlıklarda klips açıları ile kolon tarafı kaynaklı birleşim, kiriş tarafı cıvatalı birleşimlerin kesme kuvveti etkisinde deneysel analizini yapmışlardır (Şekil 2.13 ve Şekil 2.14). Yapılan çalışma sonunda kayma mukavemetinin klips açısının en/boy oranı ve kalınlığına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. En/boy oranı 0,8'den küçük olan numuneler distorsiyonel burkulma (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17), 0,8 den büyük olanlar lokal burkulmada (Şekil 2.15 ve Şekil 2.17) ve kiriş burkulmasında başarısız olmuşlardır. Tasarım kesme kuvveti için narinlik



Şekil 2.15. Kanyaklı klips açıları lokal burkulması



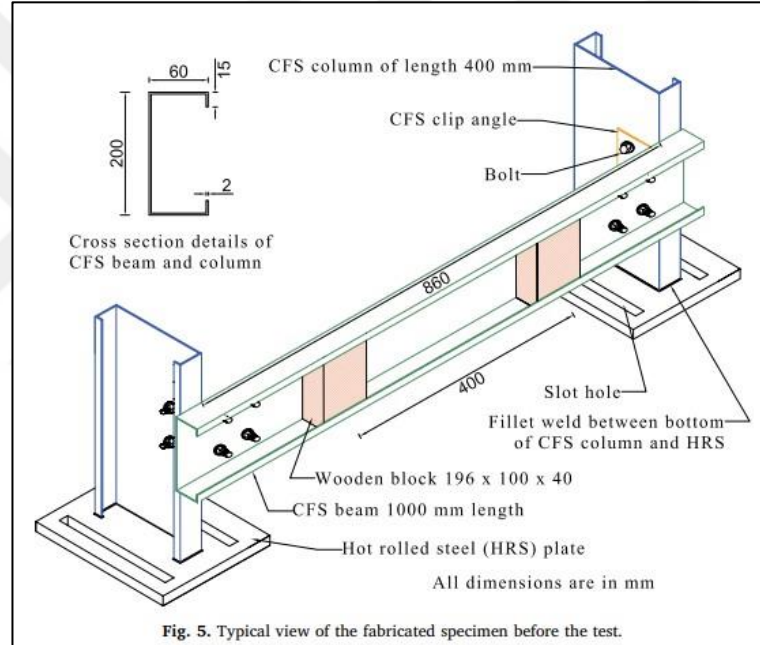
Şekil 2.16. Kanyaklı klips açıları distorsiyonel burkulması



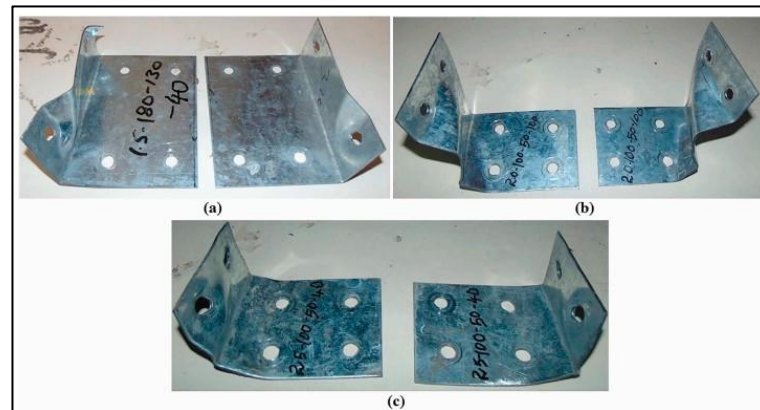
Şekil 2.17. Kanyaklı klips açıları kolon bağlantısı lokal ve distorsiyonel burkulması

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Natesan and Madhavan (2019) Soğukta şekillendirilmiş cıvatalı klips açılı bağlantıların kesme kuvveti etkisini belirlemek için deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmada farklı kalınlık ve ebatlarda klips açıları ile kolon ve kirişe cıvatalı bağlantı oluşturup 4 noktalı kesme kuvvetine maruz bırakmışlardır (Şekil 2.18). Bu çalışma sonucunda klips açısının en/boy oranı 0,8'den küçük olan numunelerde yerel burkulma gözlemlenmiştir (Şekil 2.19). En/boy oranı 0,8'den büyük olan numunelerde distorsiyonel burkulma gözlemlenmiştir. Ayrıca tüm deneylerde cıvata deliklerinde deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 2.19). Klips açısının en/boy oranı arttıkça klips açısının sertliği azalmaktadır. Cıvata deliklerinde deformasyonu önlemek için daha fazla cıvata kullanılabilir sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.18. Cıvatalı klips açılı sistem bağlantı şeması

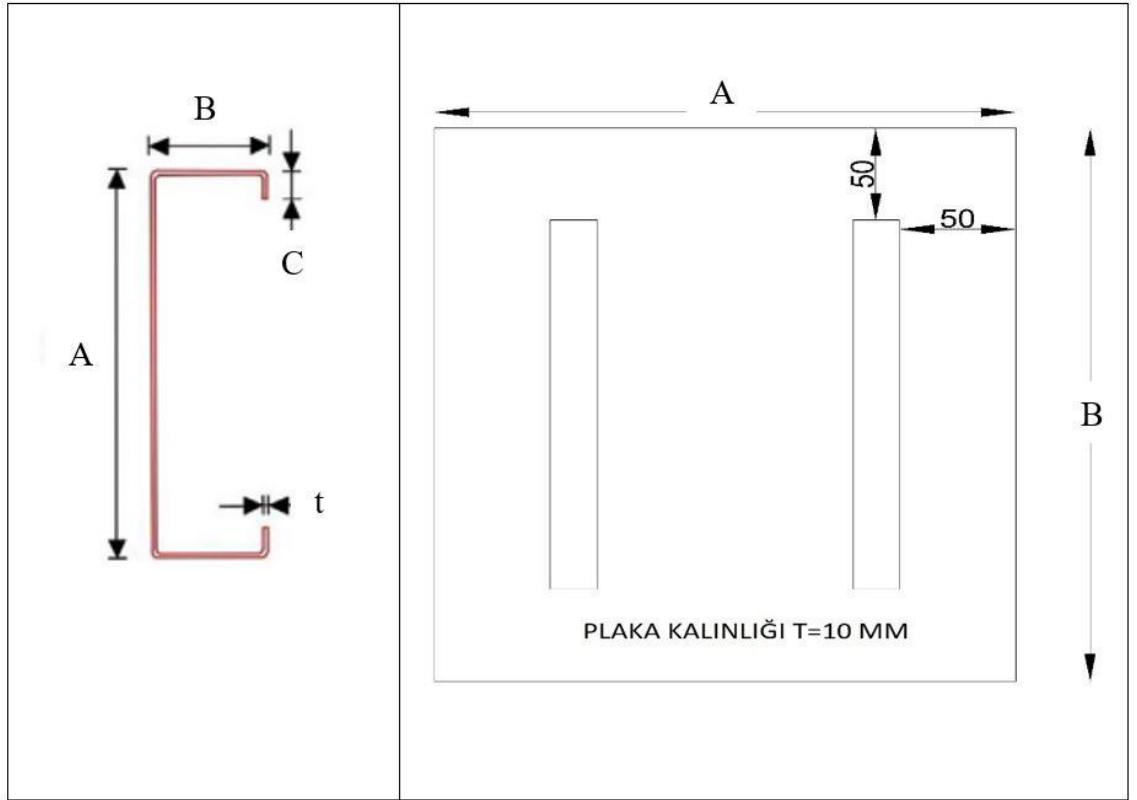


Şekil 2.19. Cıvatalı klips açıları göçme şekilleri

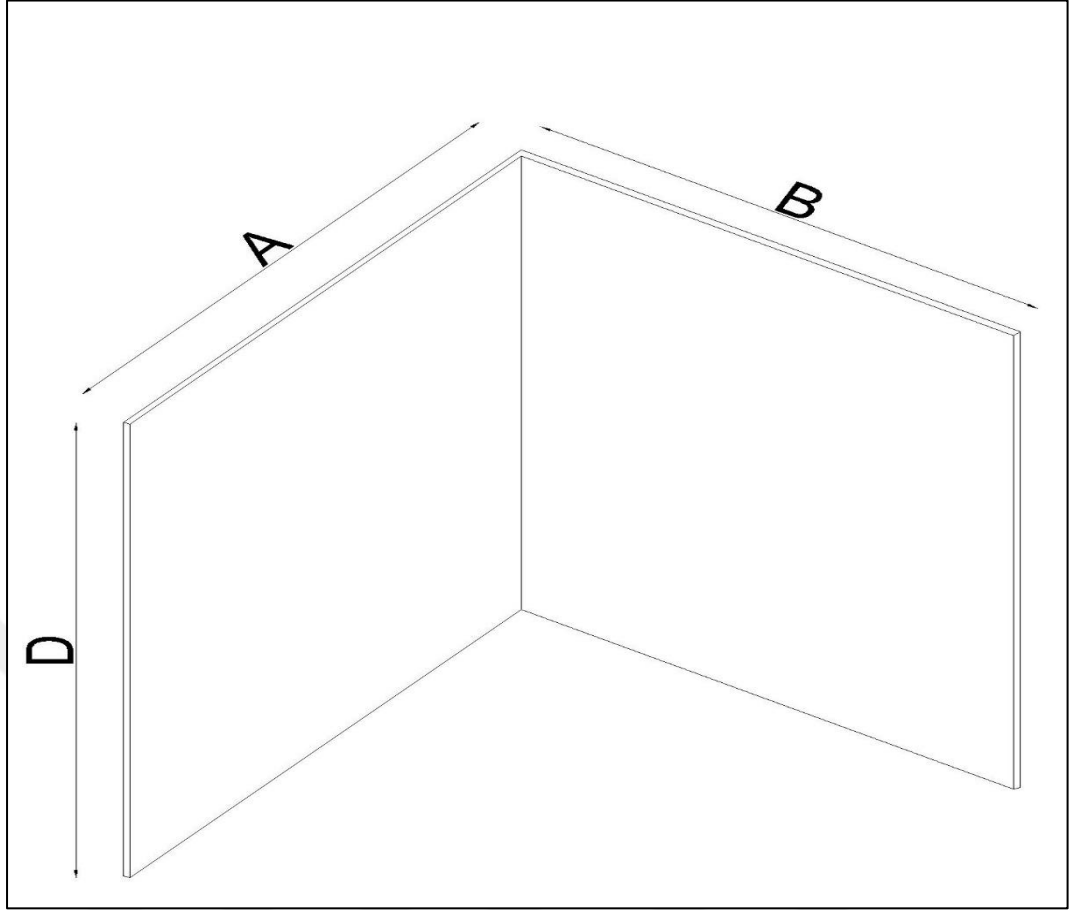
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmalar ve Numuneler

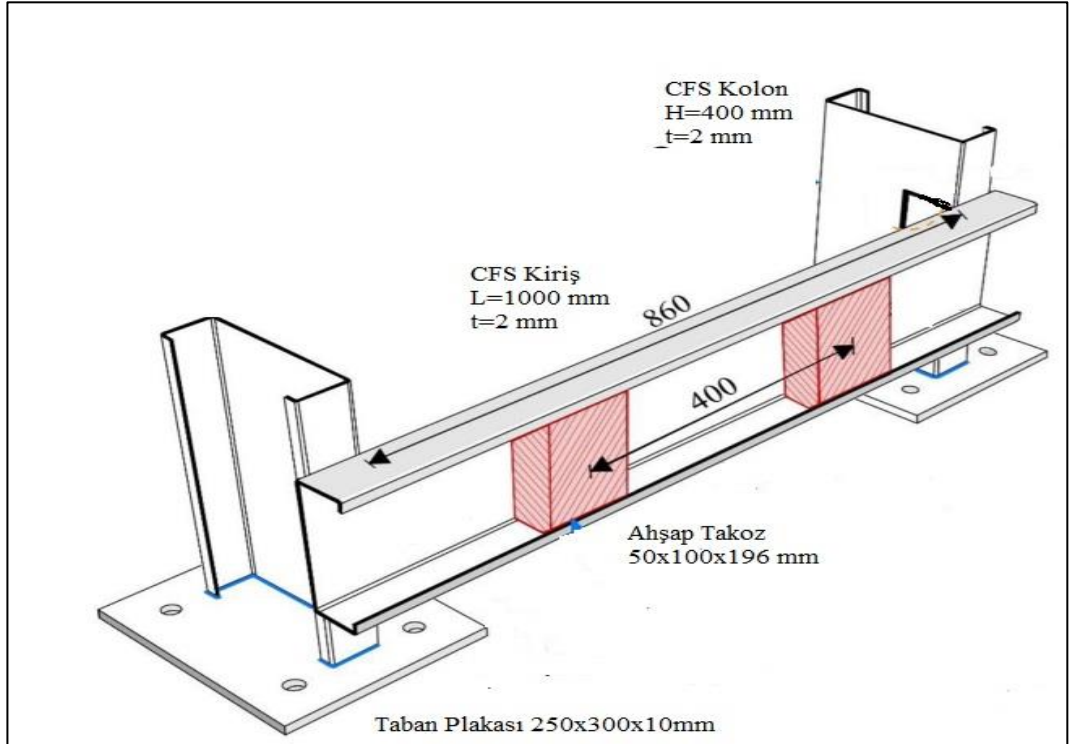
Sunulan bu tez çalışmasında soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı kaynaklı ve akıllı vidalı birleşimlerin kesme etkisi incelenmiştir. Çalışmada her bir klips açısı birbirinden farklı ebatlarda 36 adet deney yapılmıştır. Şekil 3.1’de kesiti, Çizelge 3.1’de detayları verilen 72 adet taban plakası, Şekil 3.1’de kesiti, Çizelge 3.1’de detayları verilen 36 adet 1.000 mm uzunlukta CFS kiriş ve 72 adet 400 mm uzunlukta CFS kolon kullanılmıştır. Ayrıca ebatları Çizelge 3.2’de belirtilen 72 adet CFS klips açıları üretilmiştir. Üretilen bu klips açıları Şekil 3.2 ve Şekil 3.4’te detayları gösterildiği gibi kolon tarafında kaynak kiriş tarafında 10 mm başlık, 5,5 mm gövde çapında 5 cm akıllı vida vasıtasıyla kolon-kiriş birleşimi oluşturulmuştur. Şekil 3.3’te belirtilen deney sistemi oluşturulmuş ve kirişin yükleme noktalarında burkulmasını önlemek için 50 mm x 100 mm x 196 mm ebatlarında burkulma önleyici ahşap takoz kullanılmıştır.



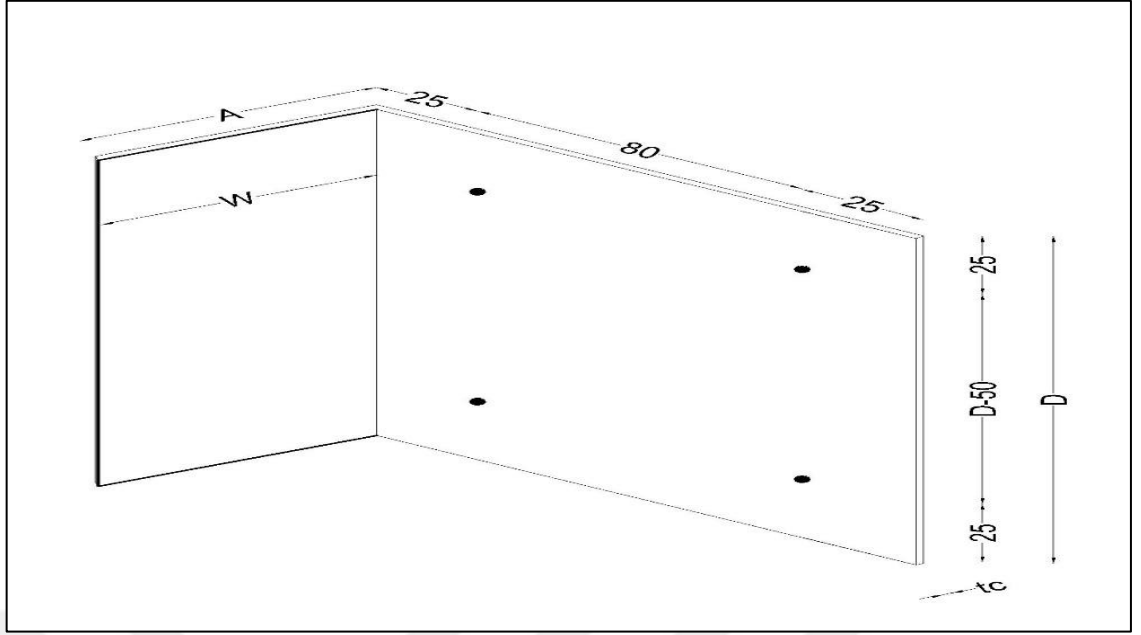
Şekil 3.1. Kolon-kiriş ve taban plakası kesitleri



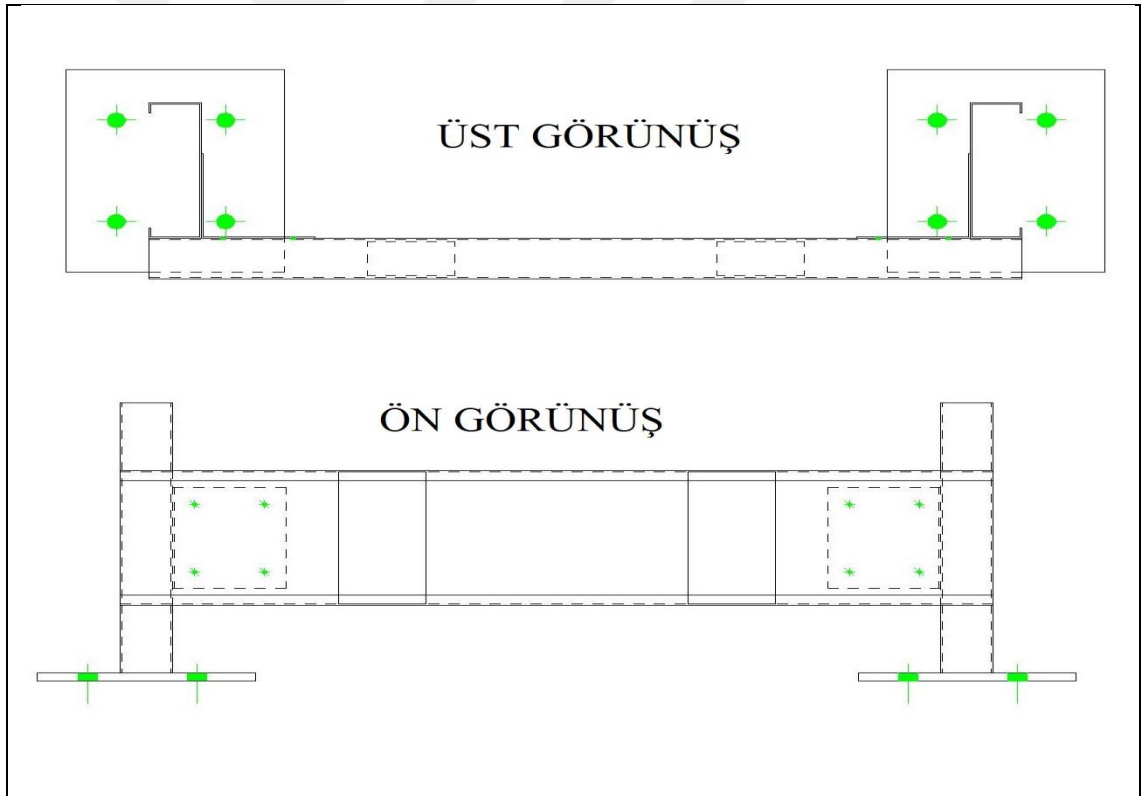
Şekil 3.2. Klips açılı plaka kesiti



Şekil 3.3. Deney sistemi



Şekil 3.4. CFS Klips açısı kaynak ve akıllı vida noktaları



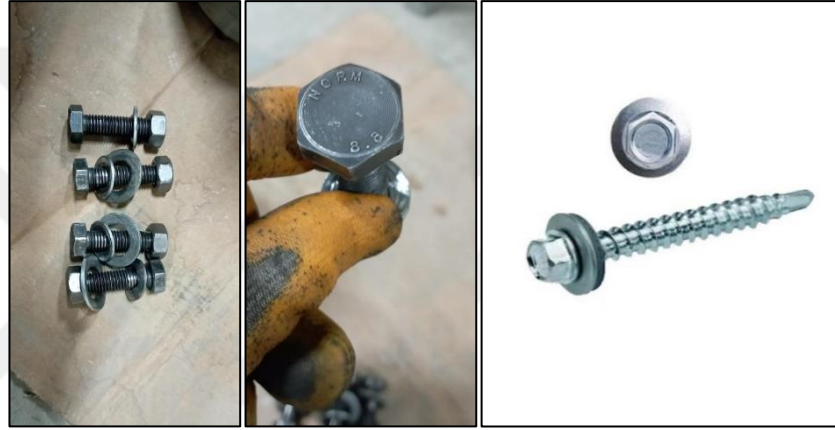
Şekil 3.5. Sistem kesit çizimi

Çizelge 3.1. Numune ebatları

	Numune İsmi	Kolon					Kiriş					Taban Plakası			Klips Açıları			
		A mm	B mm	C mm	t mm	L mm	A mm	B mm	C mm	t mm	L mm	A mm	B mm	t mm	t _c mm	B mm	D mm	A mm
Grup	EXP9-1,2-65-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	100	65
	EXP11-1,2-95-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	100	95
	EXP23-1,2-125-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	100	125
	EXP8-1,2-65-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	150	65
	EXP13-1,2-95-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	150	95
	EXP2-1,2-125-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	150	125
	EXP10-1,2-65-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	180	65
	EXP14-1,2-95-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	180	95
1,5 mm	EXP4-1,2-125-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,2	130	180	125
	EXP15-1,5-65-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	100	65
	EXP21-1,5-95-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	100	95
	EXP17-1,5-125-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	100	125
	EXP12-1,5-65-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	150	65
	EXP25-1,5-95-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	150	95
	EXP6-1,5-125-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	150	125
	EXP1-1,5-65-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	180	65
2 mm	EXP16-1,5-95-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	180	95
	EXP19-1,5-125-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	1,5	130	180	125
	EXP18-2-65-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	100	65
	EXP22-2-95-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	100	95
	EXP26-2-125-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	100	125
	EXP29-2-65-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	150	65
	EXP32-2-95-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	150	95
	EXP30-2-125-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	150	125
2,5 mm	EXP34-2-65-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	180	65
	EXP5-2-95-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	180	95
	EXP31-2-125-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2	130	180	125
	EXP20-2,5-65-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	100	65
	EXP24-2,5-95-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	100	95
	EXP28-2,5-125-100	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	100	125
	EXP7-2,5-65-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	150	65
	EXP35-2,5-95-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	150	95
	EXP27-2,5-125-150	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	150	125
	EXP36-2,5-65-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	180	65
	EXP33-2,5-95-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	180	95
	EXP3-2,5-125-180	200	60	15	2	400	200	60	15	2	1.000	250	300	10	2,5	130	180	125

3. MATERYAL VE YÖNTEM

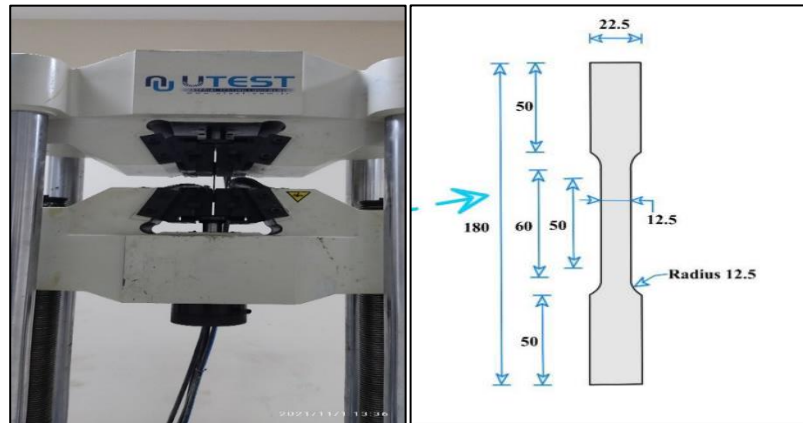
Cıvatalar DIN normlarına uygun üretilmiş C35-CK35 malzemeden üretilmiştir. $8 \times 8 = 64 \text{ kg/mm}^2$ çekme mukavemeti vardır. HRC 21 ~ 29 sertlik değerlerine sahiptir. Deneylerde kullanılan hidrolik pompayı deney düzeneğinde bulunan kirişe sabitlemek ve deney numunelerini deney düzeneği altında bulunan zemine sabitlenmiş kirişe sabitlemek için Şekil 3.6'da gösterilen M8.8 cıvatalar kullanılmıştır. Cıvata ve sabit kiriş arasında boşluk kalmaması için gerekli durumlarda pul ilavesi yapılmıştır. Ayrıca klips açılarını kirişe bağlantı yapmak için Şekil 3.6'da gösterilen kendiliğinden delen matkap uçlu trapez başlıklı 10 mm başlık, 5,5 mm gövde çapında 5 cm boyunda akıllı vidalar kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan cıvata, pul ve akıllı vidalar

3.1.1. CFS klips açılarının çekme testi

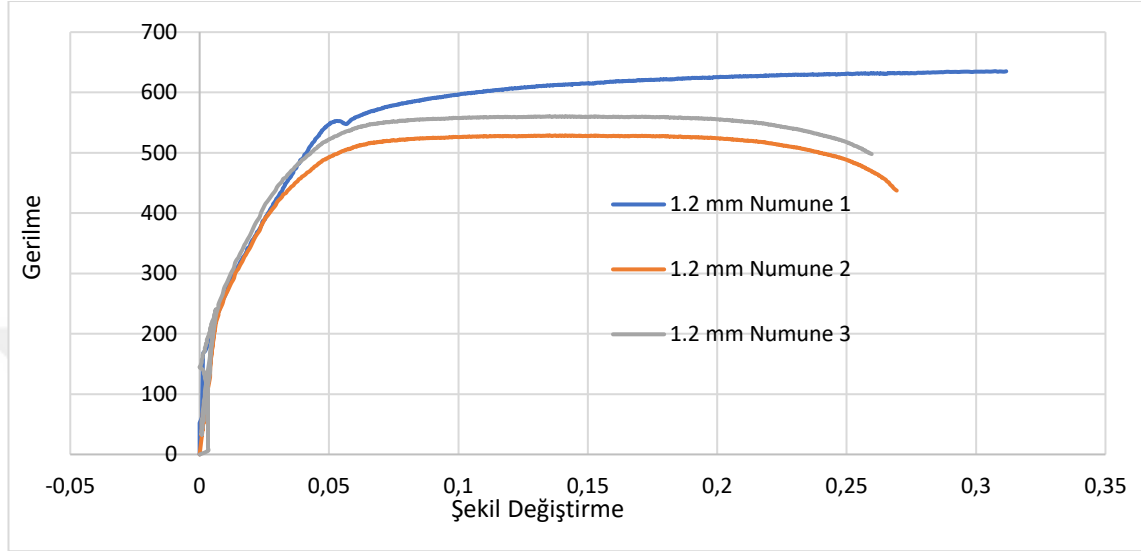
Klips açılı plakaların her bir kalınlıkta (1,2 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm) numune için çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonrası çekme değerleri belirlenmiştir.



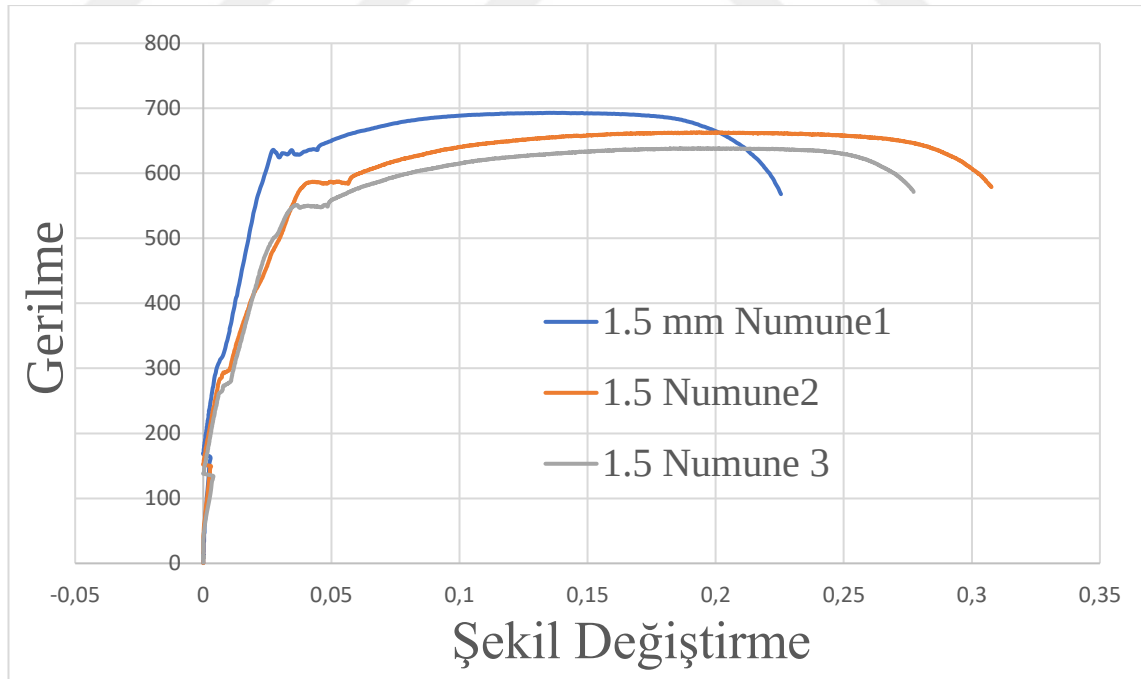
Şekil 3.7. Numune çekme deneyleri (ölçü birimleri mm'dir)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

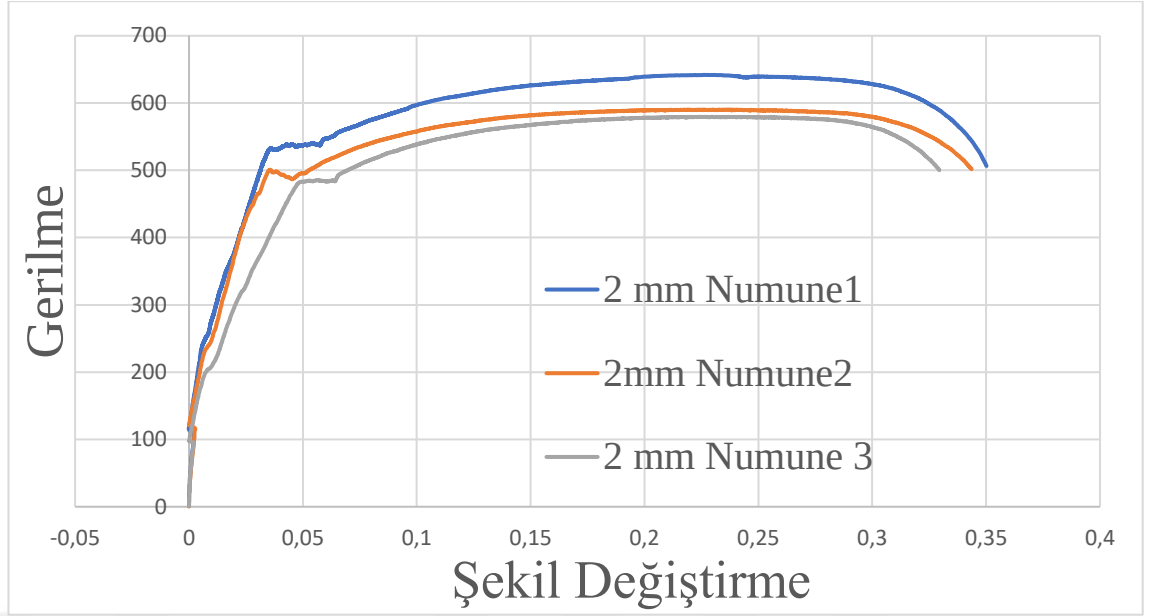
Deneylerde kullanılan 1,2 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm kalınlıklarda numunelerden 3'er tane kestirilip çekme deneyi uygulayacak çekme mukavemetleri tespit edilmiştir. Buna göre her bir kalınlıkta numune için gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11'de verilmiştir.



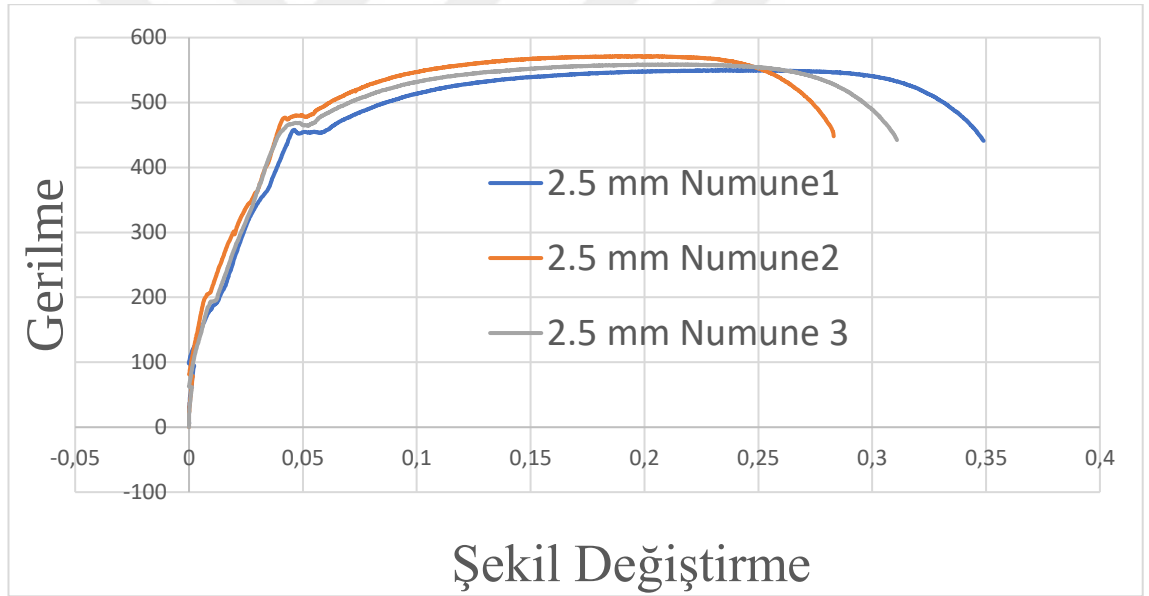
Şekil 3.8. 1,2 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği



Şekil 3.9. 1,5 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği



Şekil 3.10. 2 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği



Şekil 3.11. 2,5 mm kalınlıkta numune çekme testi grafiği

Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11’de 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

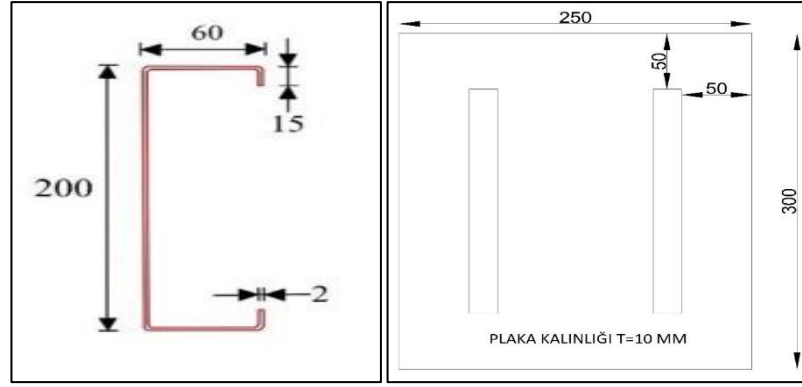
Kalınlık	Dayanım (Mpa)	Numune 1 (Mpa)	Numune 2 (Mpa)	Numune 3 (Mpa)	Ortalama (Mpa)
1,2 mm	ÇEKME DAYANIMI f_u (N/mm ²)	635,143	528,662	560,381	574,729
	AKMA DAYANIMI f_y (N/mm ²)	535,085	529,138	500,287	521,503
1,5 mm	ÇEKME DAYANIMI f_u (N/mm ²)	693,042	662,963	638,552	664,852
	AKMA DAYANIMI f_y (N/mm ²)	619,977	586,588	547,615	584,727
2,0 mm	ÇEKME DAYANIMI f_u (N/mm ²)	641,814	590,236	579,566	603,872
	AKMA DAYANIMI f_y (N/mm ²)	530,366	493,686	482,996	502,349
2,5 mm	ÇEKME DAYANIMI f_u (N/mm ²)	549,764	571,364	558,586	559,905
	AKMA DAYANIMI 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 3.7’de gösterilen düzeneğe 0,01 mm/sn yükleme hızıyla 30 kN kapasiteli çekme testi cihazı ile çekme testine tabi tutulmuştur. Sonuçları Şekil 3.8 – Şekil 3.9 – Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de grafiklerde gösterilmiştir. Çekme testi gerçekleştirilen numunelerin akma ve çekme dayanımları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

3.1.2. Deney numunelerinin üretimi

Öncelikle Çizelge 3.1’de ebatları ve Şekil 3.1’de kesiti verilen, fabrika 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 3.2’de verilen CFS klips açılı plakalar, CFS kolonlara 3 kenarı gazaltı kaynağı ile kaynaklanmıştır. CFS Klips açılı plaka CFS kirişe klips 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 klips açılı plaka boyutları farklı olan 36 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerde CFS kirişin erken burkulmasını önlemek için yük aktarım noktaları altına ahşap takoz yerleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 3.12. Deney düzeneği kolon-kiriş ve taban plakası ölçüleri (birimler mm'dir)

Çizelge 3.3. Klips açıları boyutları

Klips Kalınlığı t_c (mm)	Klips Genişliği B (mm)	Klips Derinliği D (mm)	Klips Toplam Uzunluğu A (mm)
1,2 mm	130	100	65
	130	100	95
	130	100	125
	130	150	65
	130	150	95
	130	150	125
	130	180	65
	130	180	95
1,5 mm	130	180	125
	130	100	65
	130	100	95
	130	100	125
	130	150	65
	130	150	95
	130	150	125
	130	180	65
2,0 mm	130	180	95
	130	180	125
	130	100	65
	130	100	95
	130	100	125
	130	150	65
	130	150	95
	130	150	125
2,5 mm	130	180	65
	130	180	95
	130	180	125
	130	100	65
	130	100	95
	130	100	125
	130	150	65
	130	150	95
2,5 mm	130	150	125
	130	180	65
	130	180	95
	130	180	125
	130	100	65
	130	100	95
	130	100	125
	130	150	65

Yukarıda Çizelge 3.3'te gösterilen klips açılı plakalar tamamı fabrika ortamında lazer kesim sistemi ile 1,2 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm kalınlıklarda üretilmiştir.

3.2. Deneylerde Kullanılan Aletler

Bu tez çalışmasında uygula 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 hücreleri (loadcell) ve kayıt bilgisayarı

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 3.13'te yük hücresi görülmektedir.



Şekil 3.13. Hidrolik yükleyici başlık

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 14’de pompa şekli görülmektedir. Şelik 34’gösterilen statik pompanın ve hidrolik pistonun kapasitesi 15 tondur.



Şekil 3.14. Deneylerde kullanılan hidrolik piston ve pompa

3.2.2. Deformasyon ölçme 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 transformatörü) 100 mm, SDP-100C modeli Japonya da üretilmiştir. Deformasyon cihazları uygun bir şekilde dirençlere bağlandıktan sonra veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Şekil 3.15’te deneylerde kullanılan LVDT gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Deneylerde kullanılan LVDT’ler

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 taktirde 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 3.16’da deneylerde kullanılan veri kaydedici sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Deneylere veri kaydedicileri

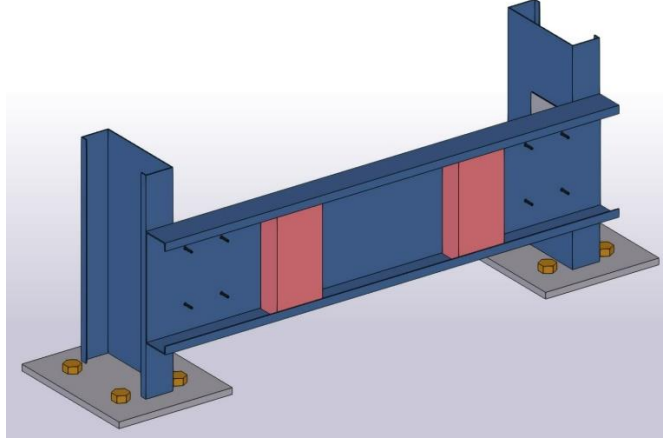
3.3. Deney Düzeneği

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

Deney düzeneği, Şekil 3.17’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 3.17. Deney düzeneği sistemi



Şekil 3.18. Sistem 3D model

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı kaynaklı ve akıllı vidalı birleşim plakalarının kesme etkisini incelenmiştir. Bu sebeple toplamda 36 deney numunesi yüklemesi yapılmıştır. Deneyler esnasında statik pompadan ve LVDT cihazlarından alınan veriler kaydedilmiştir. Deney esnasında klips açısı kaynak yırtılması, plaka yırtılması akıllı vida sıyırması, kiriş burkulması, kolon burkulması, kolon kaynak kopması gibi göçme modları görsel olarak kayıt altına alınmıştır. Hem görsel hemde cihaz verilerine göre çelik klips açılı plakaların kalınlık, yükseklik ve genişlikleri dikkate alınarak numuneler karşılaştırılmıştır. Çalışmada klips açılı plakalar için optimum ebatlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

4.1. Deneylerin Karşılaştırılması

Bu tezde yapılan deneyler klips açılı plakal kalınlıkları ve en/boy oranlarına göre karşılaştırılmıştır. Klips kalınlıklarına göre 1,2 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm olmak üzere 4 gruba ayrılan numuneler kendi içerisinde de klips açısı derinliklerine ve klips açısı uzunluklarına göre sınıflandırma yapılarak deney sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır.

4.1.1 Düşey yerdeğiştirmelerin karşılaştırılması

Deneylerde numuneler klips açılı plaka kalınlığına göre dört gruba ayrılmış ve her grup önce kendi içerisinde karşılaştırılmış, ardından birbirleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Kullanılan numunelerin klips açılı plaka kalınlığı (t_c), klips açılı plakanın kiriş bağlantı tarafındaki genişliği (B), klips açılı plakanın kolon bağlantı tarafındaki toplam uzunluğu (A), klips açılı plakanın kolon bağlantı tarafında kaynak payı düşültükten sonra kalan net düz uzunluğu (W), klips açılı plakanın kolon tarafında net uzunluğunun klips açılı plaka derinliğine oranı (W/D) parametrelerine göre karşılaştırma yapılmıştır. 1,2 mm kalınlıkta olan numuneler için oluşturulan grup aşağıdaki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

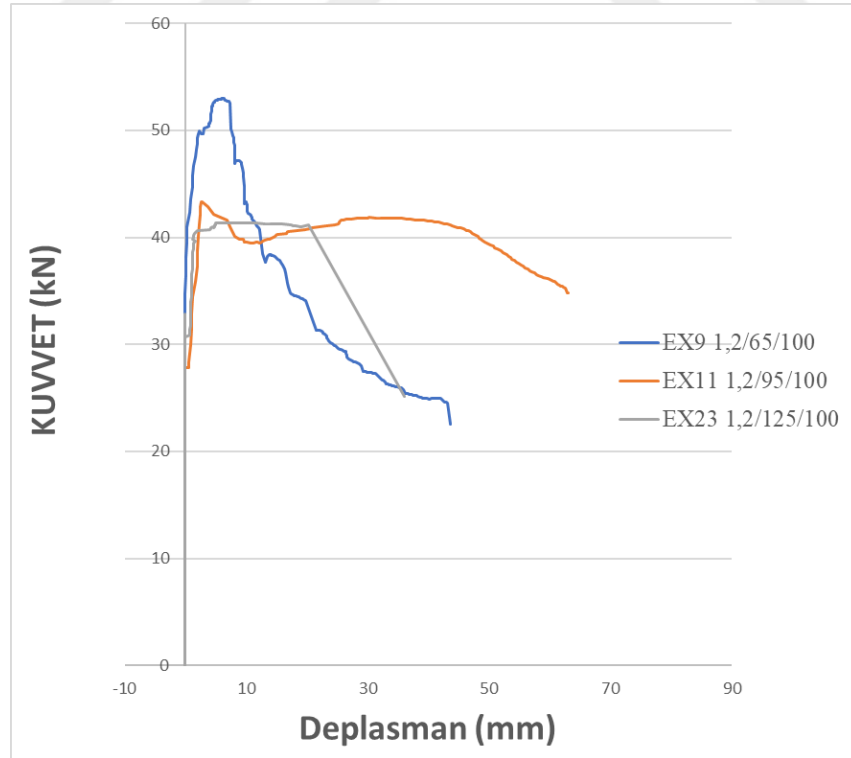
1,2 mm kalınlıkta klips açıları

Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 1,2 mm kalınlıkta klips açılı plaka ebatları ve en/boy oranları (W/D) Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

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

Numune İsmi	Klips Kalınlığı t_c (mm)	Klips Genişliği B (mm)	Klips Derinliği D (mm)	Klips Toplam Uzunluğu A (mm)	Klips Düz Uzunluğu W (mm)	W/D ORANI
EXP9	1,2 mm	130	100	65	62	0,62
EXP11	1,2 mm	130	100	95	92	0,92
EXP23	1,2 mm	130	100	125	122	1,22
EXP8	1,2 mm	130	150	65	62	0,41
EXP13	1,2 mm	130	150	95	92	0,61
EXP2	1,2 mm	130	150	125	122	0,81
EXP10	1,2 mm	130	180	65	62	0,34
EXP14	1,2 mm	130	180	95	92	0,5
EXP4	1,2 mm	130	180	125	122	0,68

Exp9 (1,2/65/100), Exp11 (1,2/95/100), Exp23 (1,2/125/100) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 34.1’de verilen grafik 1,2 mm kalınlık, 100 mm derinlik ve 65-95-125 mm uzunluktaki klips açılarının yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %18 lik düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %4 maksimum kesme kuvveti azalması gözlemlenmiştir. Numune deformasyonları Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te görülmektedir



Şekil 4.2. EXP9-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri



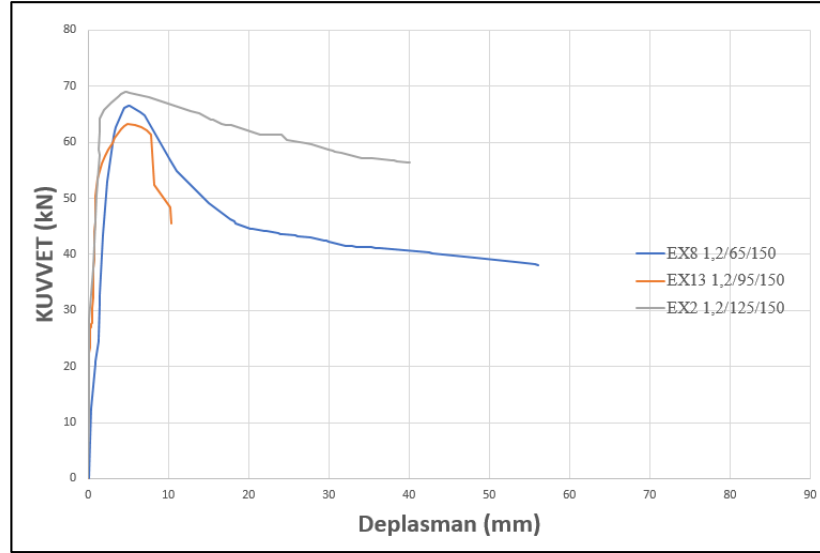
Şekil 4.3. EXP11-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.4. EXP23-1,2-95-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp8 (1,2/65/150), Exp13 (1,2/95/150), Exp2 (1,2/125/150) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



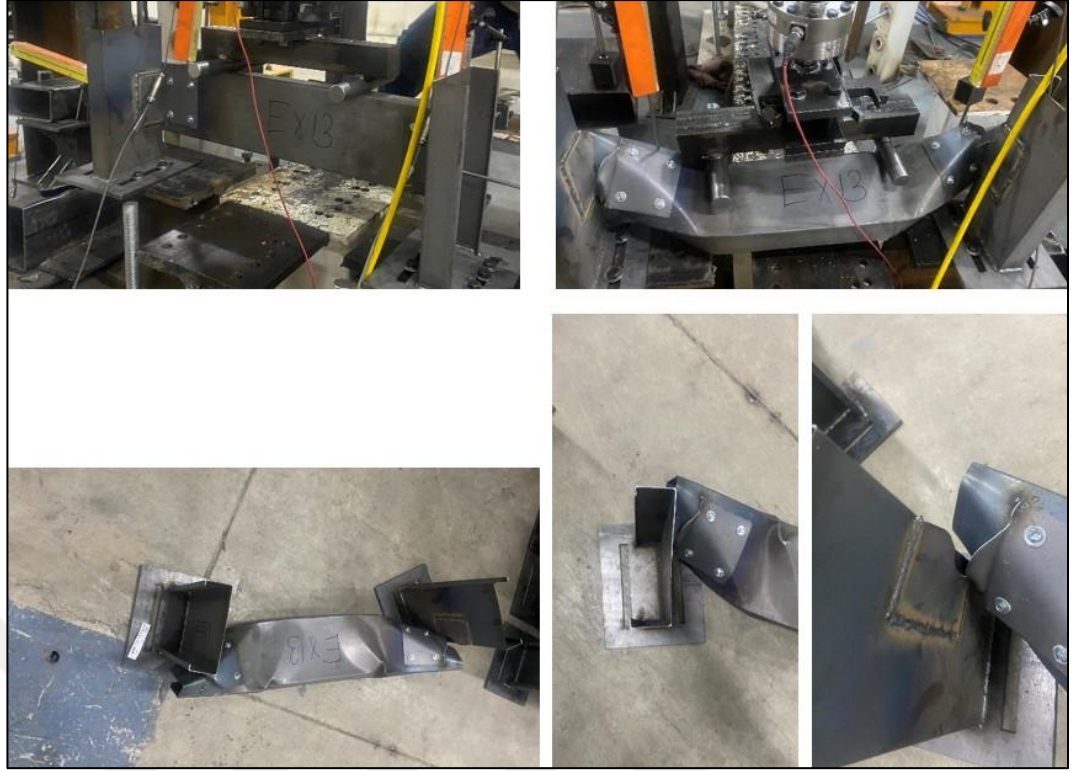
Şekil 4.5. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.5'te verilen grafik 1,2 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı 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 %9 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. EXP8-1,2-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



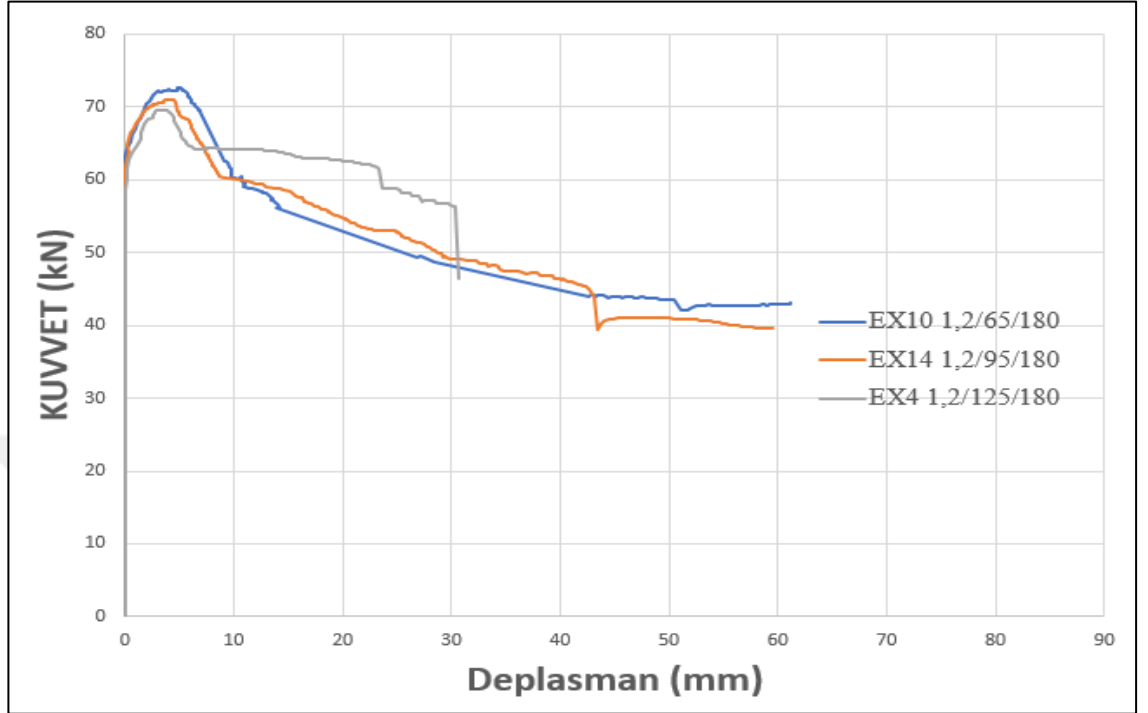
Şekil 4.7. EXP13-1,2-95-150 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.8. EXP92-1,2-125-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Exp10 (1,2/65/180), Exp14 (1,2/95/180), Exp4 (1,2/125/180) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.9’da verilen grafik 1,2 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %2 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %2 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

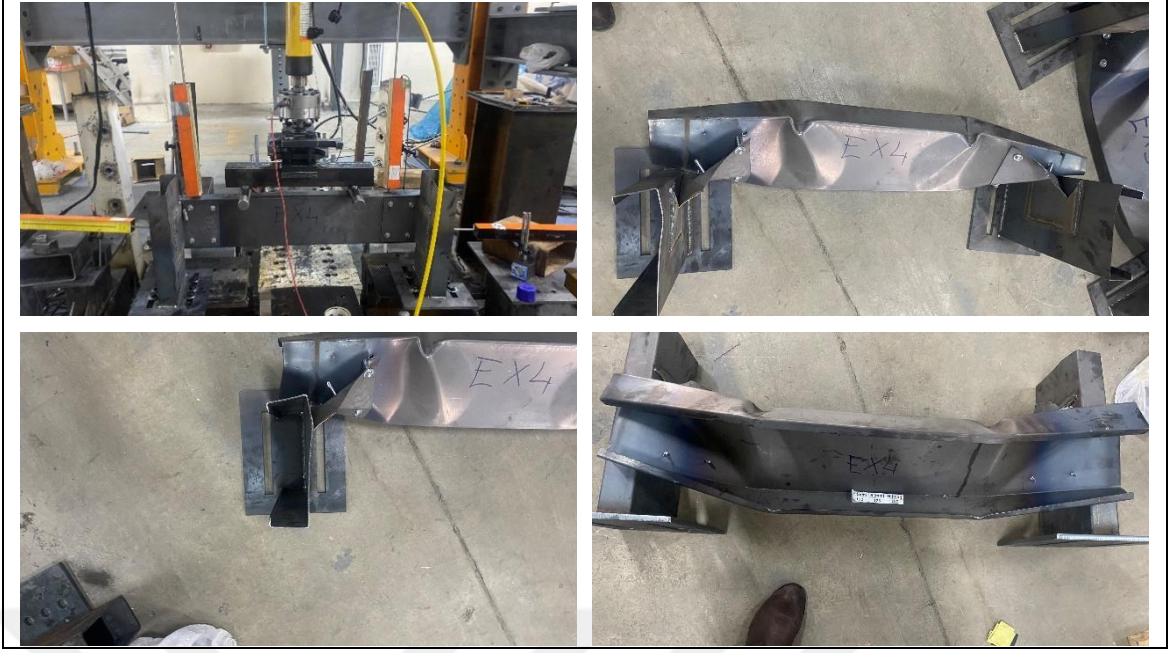


Şekil 4.10. EXP10-1,2-65-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.11. EXP14-1,2-95-180 deney sonrası göçme modları

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.12. EXP9-1,2-65-100 deney sonrası göçme görselleri

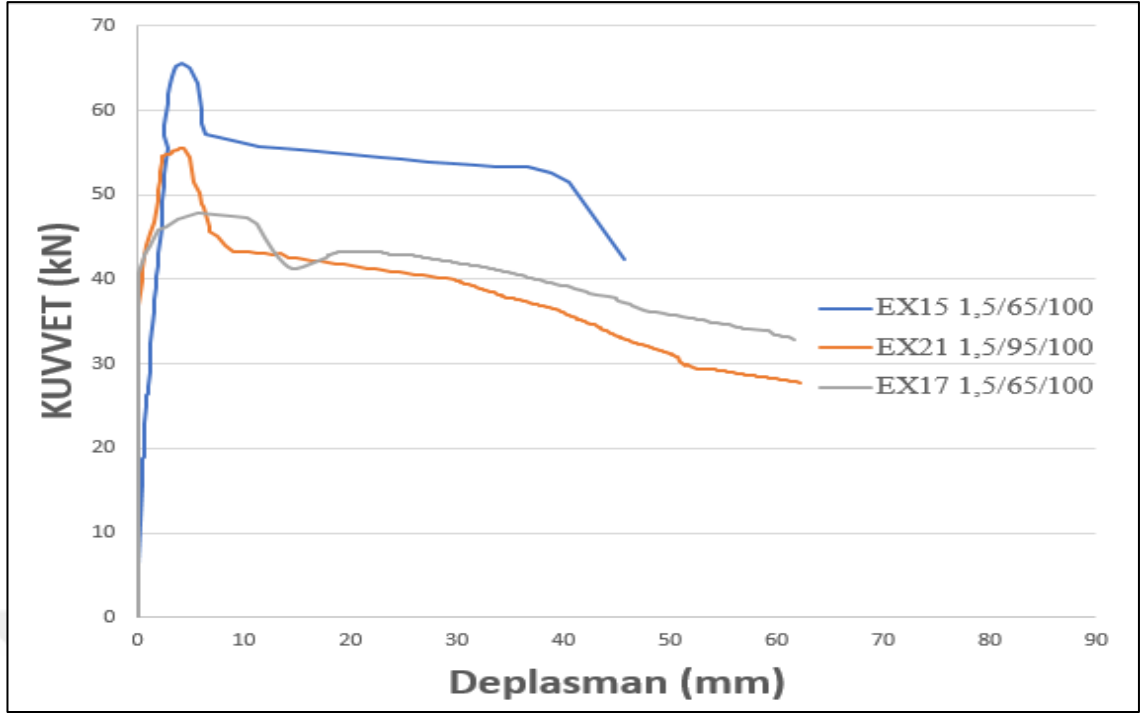
1,5 mm kalınlıkta klips açları

Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 1,5 mm kalınlıkta klips açılı plaka ebatları ve en/boy oranları (W/D) Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

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

Numune İsmi	Klips Kalınlığı t_c (mm)	Klips Genişliği B (mm)	Klips Derinliği D (mm)	Klips Toplam Uzunluğu A (mm)	Klips Düz Uzunluğu W (mm)	W/D ORANI
EXP15	1,5 mm	130	100	65	61,25	0,61
EXP21	1,5 mm	130	100	95	91,25	0,91
EXP17	1,5 mm	130	100	125	121,25	1,21
EXP12	1,5 mm	130	150	65	61,25	0,41
EXP25	1,5 mm	130	150	95	91,25	0,61
EXP6	1,5 mm	130	150	125	121,25	0,81
EXP1	1,5 mm	130	180	65	61,25	0,34
EXP16	1,5 mm	130	180	95	91,25	0,51
EXP19	1,5 mm	130	180	125	121,25	0,67

Exp15 (1,5/65/100), Exp21 (1,5/95/100), Exp17 (1,5/125/100) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.13'te verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %15 düşüş gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %15 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



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

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



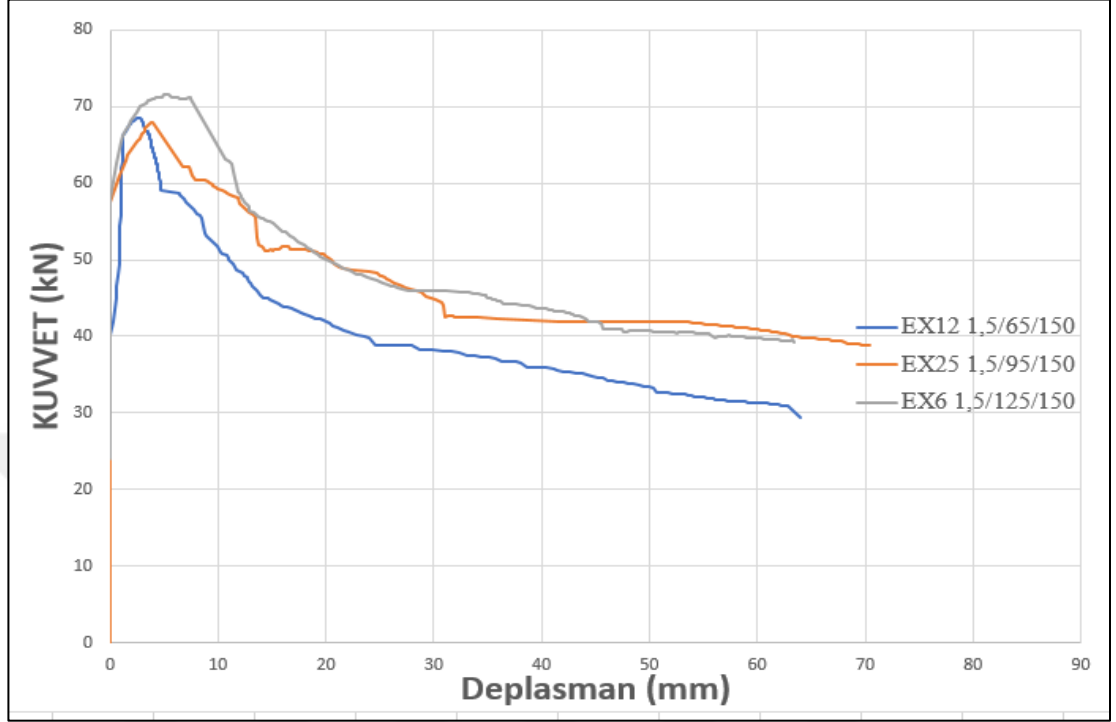
Şekil 4.15. EXP21-1,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.16. EXP17-1,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Exp12 (1,5/65/150), Exp25 (1,5/95/150), Exp6 (1,5/125/150) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.17’de verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı 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 %6 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.18. EXP12-1,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.19. EXP25-1,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri

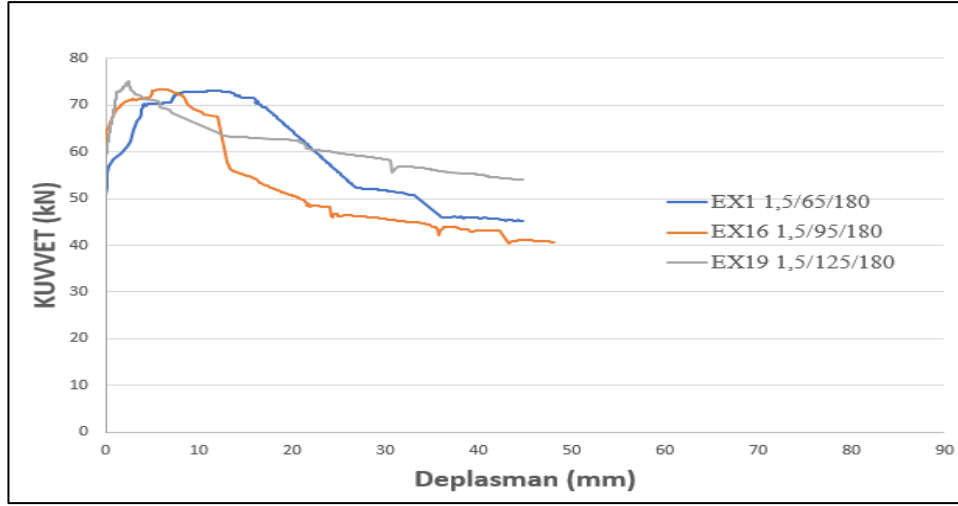
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.20. EXP6-1,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp1 (1,5/65/180), Exp16 (1,5/95/180), Exp19 (1,5/125/180) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.21. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.21’de verilen grafik 1,5 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %1 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %2 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22. EXP1-1,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.23. EXP16-1,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.24. EXP19-1,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri

2,0 mm kalınlıkta klips açılı

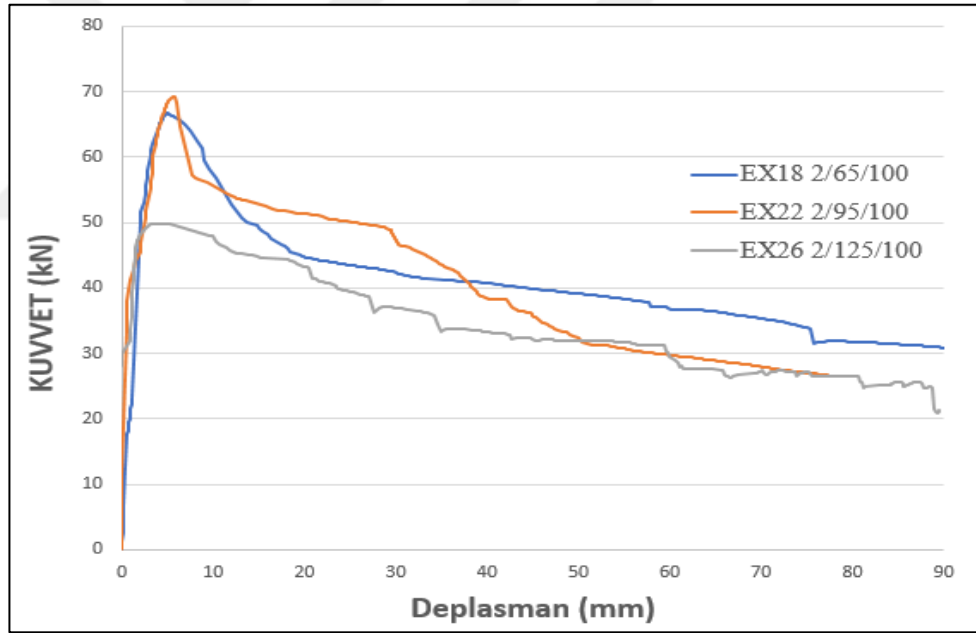
Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 2 mm kalınlıkta klips açılı plaka ebatları ve en/boy oranları (W/D) Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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

Numune İsmi	Klips Kalınlığı t_c (mm)	Klips Genişliği B (mm)	Klips Derinliği D (mm)	Klips Toplam Uzunluğu A (mm)	Klips Düz Uzunluğu W (mm)	W/D ORANI
EXP18	2,0 mm	130	100	65	60	0,60
EXP22	2,0 mm	130	100	95	90	0,90
EXP26	2,0 mm	130	100	125	120	1,20
EXP29	2,0 mm	130	150	65	60	0,40
EXP32	2,0 mm	130	150	95	90	0,60
EXP30	2,0 mm	130	150	125	120	0,80
EXP34	2,0 mm	130	180	65	60	0,33
EXP5	2,0 mm	130	180	95	90	0,50
EXP31	2,0 mm	130	180	125	120	0,67

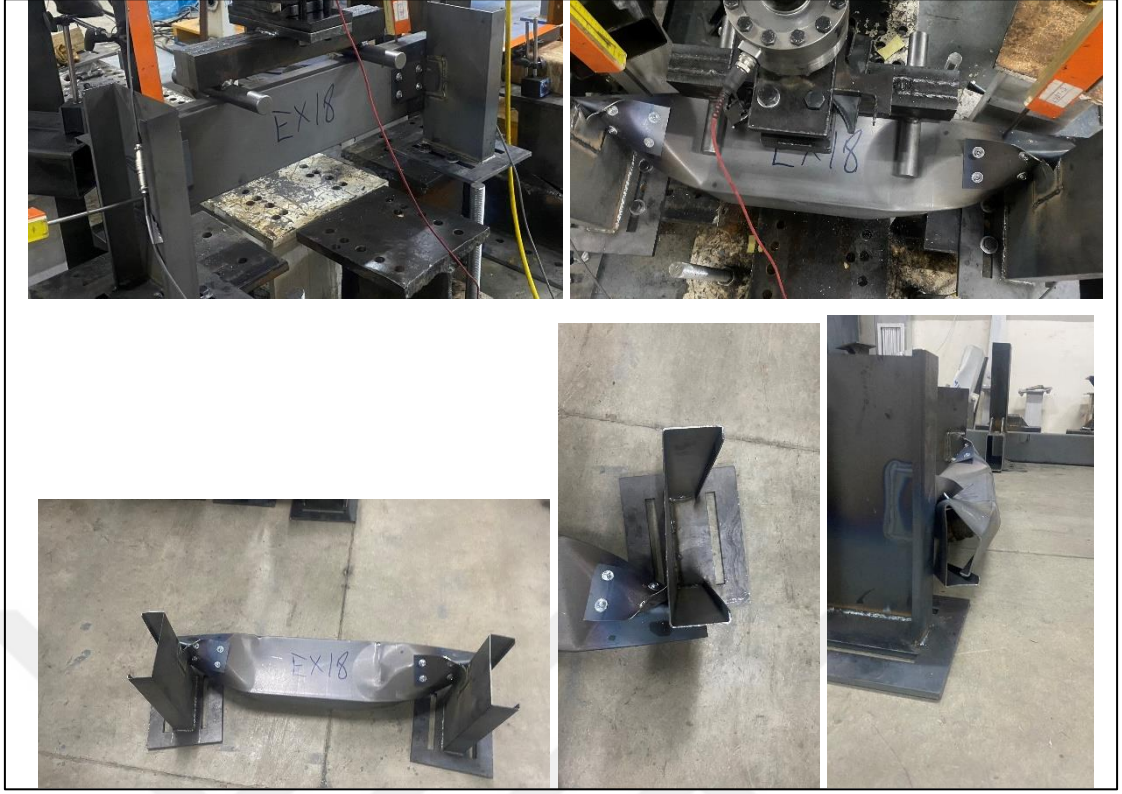
Exp18 (2,0/65/100), Exp22 (2,0/95/100), Exp26 (2,0/125/100) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.25'te verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %4 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %28 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.26. EXP18-2 -65-100 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.27. EXP22-2-95-100 deney sonrası göçme görselleri

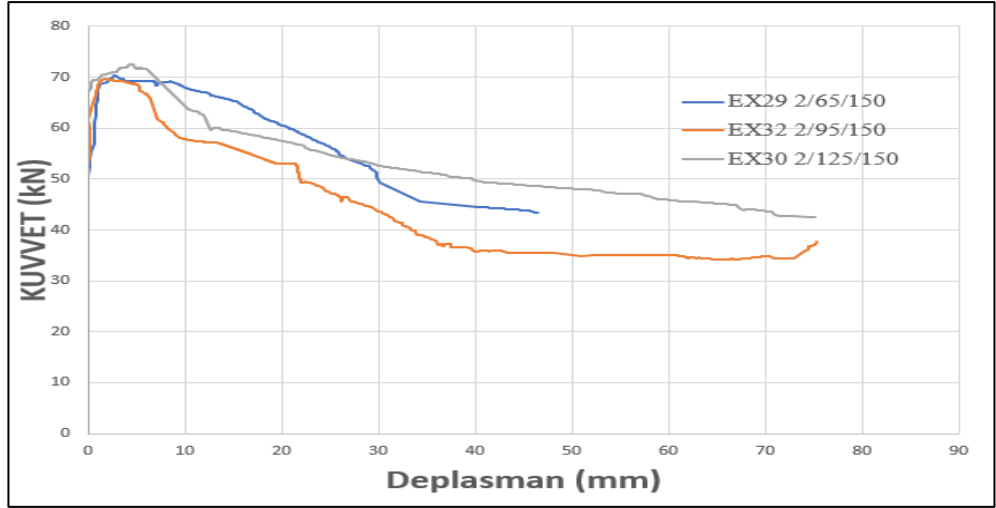
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.28. EXP26-2-125-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp29 (2,0/65/150), Exp32 (2,0/95/150), Exp30 (2,0/125/150) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.29. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.29'da verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı 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 %4 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30. EXP29-2-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



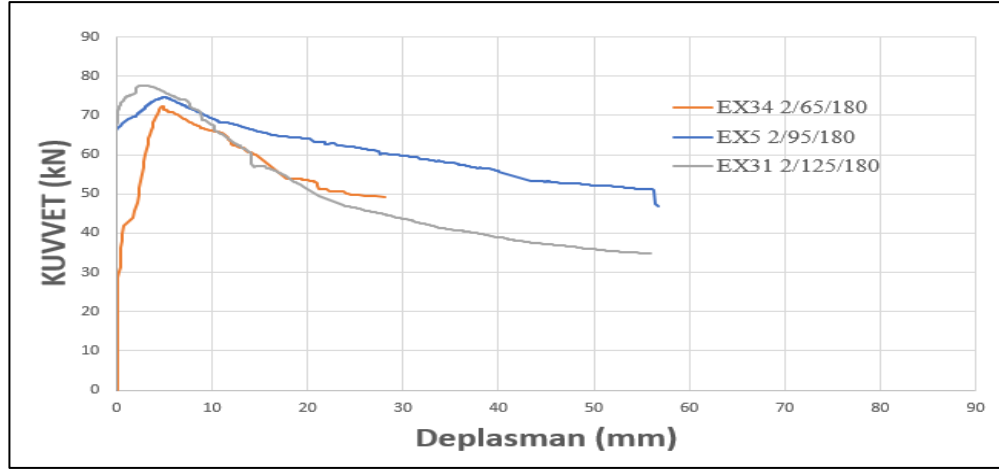
Şekil 4.31. EXP32-2-95-150 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.32. EXP30-2-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp34 (2,0/65/180), Exp5 (2,0/95/180), Exp31 (2,0/125/180) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.33'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.33. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.33'te verilen grafik 2,0 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %2 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %3 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.34. EXP34-2-65-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.35. EXP5-2-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.36. EXP31-2-125-180 deney sonrası göçme görselleri

2,5 mm kalınlıkta klips açılı

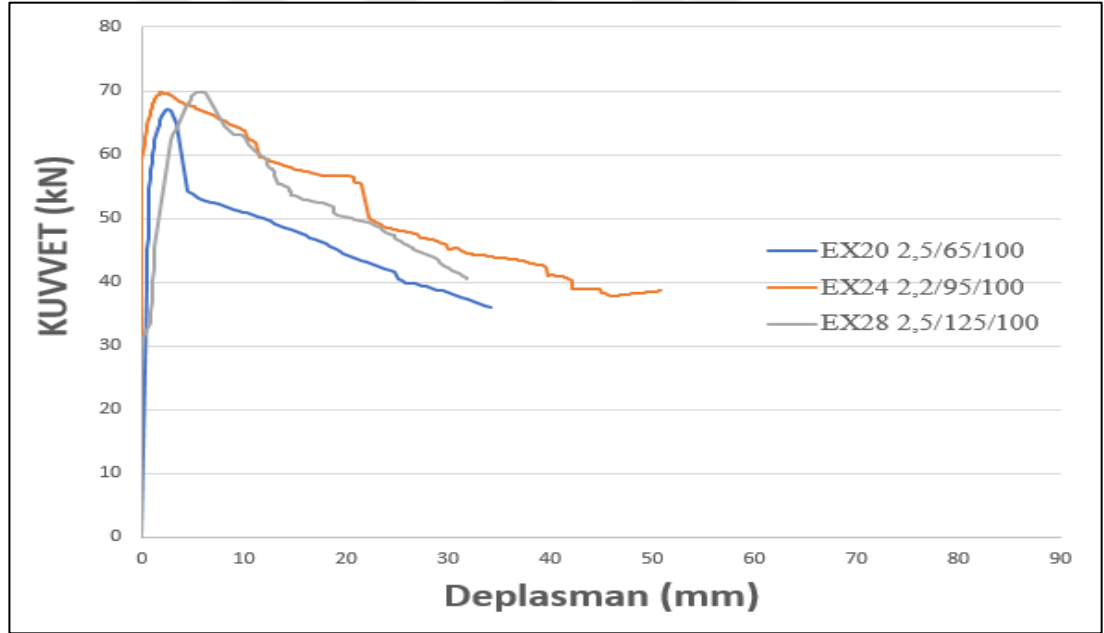
Deney numuneleri kalınlıklarına göre gruplandırma yapıp 2 mm kalınlıkta klips açılı plaka ebatları ve en/boy oranları (W/D) Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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

Numune İsmi	Klips Kalınlığı t_c (mm)	Klips Genişliği B (mm)	Klips Derinliği D (mm)	Klips Toplam Uzunluğu A (mm)	Klips Düz Uzunluğu W (mm)	W/D ORANI
EXP20	2,5 mm	130	100	65	58,75	0,59
EXP24	2,5 mm	130	100	95	88,75	0,89
EXP28	2,5 mm	130	100	125	118,75	1,19
EXP7	2,5 mm	130	150	65	58,75	0,39
EXP35	2,5 mm	130	150	95	88,75	0,59
EXP27	2,5 mm	130	150	125	118,75	0,79
EXP36	2,5 mm	130	180	65	58,75	0,33
EXP33	2,5 mm	130	180	95	88,75	0,49
EXP3	2,5 mm	130	180	125	118,75	0,66

Exp20 (2,5/65/100), Exp24 (2,5/95/100), Exp28 (2,5/125/100) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.37’de verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 100 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 100 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm’den 95 mm’ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %4 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %1 maksimum kesme kuvveti artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.38. EXP20-2,5-65-100 deney sonrası göçme görselleri



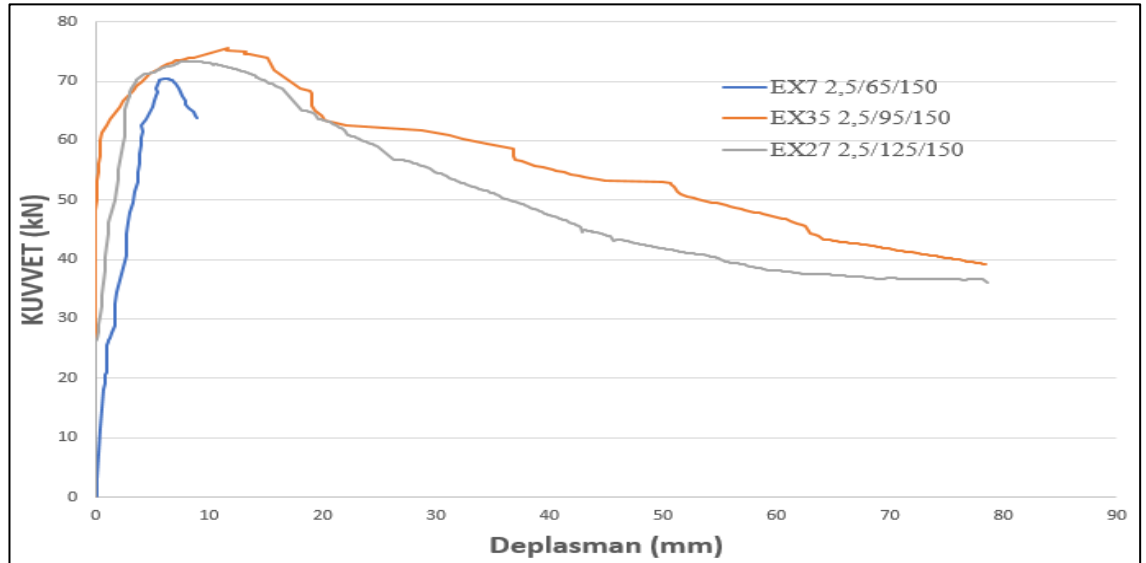
Şekil 4.39. EXP24-2,5-95-100 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.40. EXP28-2,5-125-100 deney sonrası göçme görselleri

Exp7 (2,5/65/150), Exp35 (2,5/95/150), Exp27 (2,5/125/150) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.41’de verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 150 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı 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 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm’den 125 mm’ye çıktığında ise %3 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.42. EXP7-2,5-65-150 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



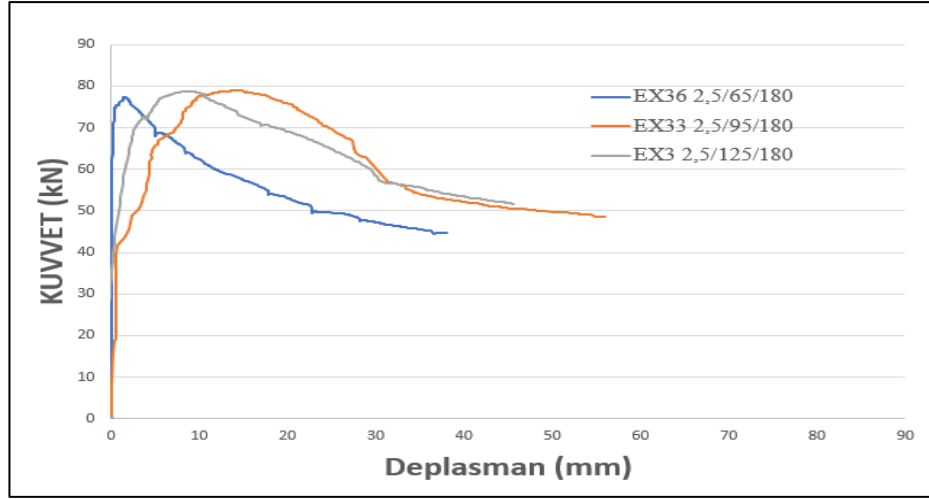
Şekil 4.43. EXP35-2,5-95-150 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.44. EXP27-2,5-125-150 deney sonrası göçme görselleri

Exp36 (2,5/65/180), Exp33 (2,5/95/180), Exp3 (2,5/125/180) numunelerine ait kuvvet-deplasman grafiği Şekil 4.45'te gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.45. 2,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-düşey deplasman grafiği.

Şekil 4.45'te verilen grafik 2,5 mm kalınlığında 180 mm derinliğinde ve 65-95-125 mm uzunluğundaki klips açılı plakların yükleme deneyi sonucu oluşan kuvvet deplasman grafiğini göstermektedir. 180 mm derinlikteki plakada uzunluk 65 mm'den 95 mm'ye çıktığında maksimum kesme kuvvetinde %2 artış gözlenmiştir. Plaka uzunluğu 95 mm'den 125 mm'ye çıktığında ise %1 maksimum kesme kuvveti azalışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.46. EXP36-2,5-65-180 deney sonrası göçme görselleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.47. EXP33-2,5-95-180 deney sonrası göçme görselleri



Şekil 4.48. EXP3-2,5-125-180 deney sonrası göçme görselleri

Klips açılı plaka yükseklikleri ve maksimum kuvvete göre karşılaştırma

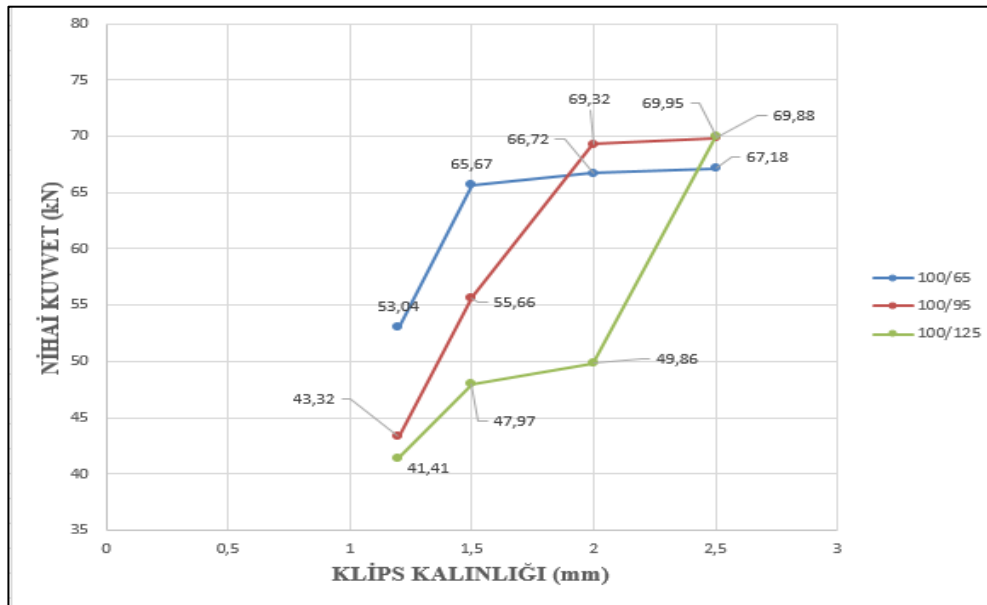
Deneylerde Çizelge 3.1’de detayları verilen klips açılı plakalar ile oluşturulmuş deney düzeneği sistemi 4 noktalı eğilme deneyi yapılmış ve kirişlerde düşey, kolonlarda ise yatay yer değiştirmeler defromasyon ölçme cihazı (LVDT) ile ölçülmüştür. Buna göre

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

tüm numunelerin maksimum kesme kuvveti, yatay ve düşey yer değiştirmeleri çeşitli grafikler oluşturularak karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Klips açılı plakaların yüksekliklerine ve boyuna göre ayrı ayrı gruplandırma yapılarak deneyler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Klips açılı plakaların yüksekliklerine göre karşılaştırılması bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

100 mm yüksekliğinde klips açılı plakalar

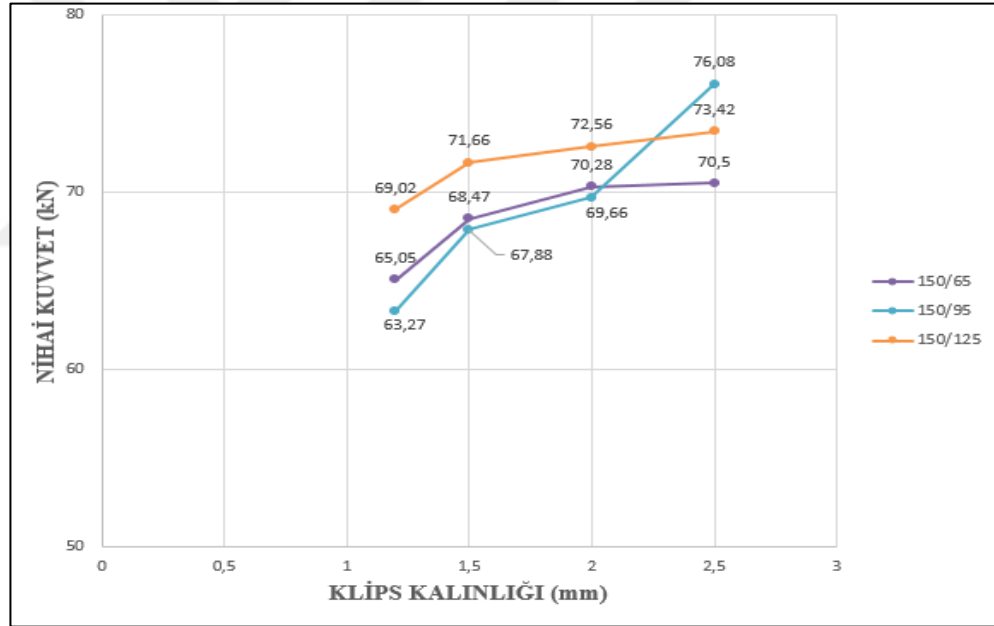
Şekil 4.49'da verilen grafikte 100 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 100 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki klips açılı plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2,5 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. Ancak bu artış 1,2 mm'den 1,5 mm'ye %24 iken 1,5 mm'den 2,5 mm'ye toplam % 2 kuvvet artışı olmuştur. Aynı şekilde 95 mm uzunluğundaki klips açılı plakalarda 1,2 mm'den 2 mm'ye %60 oranında kuvvet artışı varken 2 mm'den 2,5 mm'ye %1 civarında artış olduğu görülmüştür. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm'den 2,5 mm'ye maksimum kuvvet artışı %68 olduğu görülmüştür. Artışın çoğu 2 mm'den 2,5 mm'ye %40 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.49. 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

150 mm yüksekliğinde klips açılı plakalar

Şekil 4.50’de verilen grafik 150 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 150 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki klips açılı plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2,5 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış toplam %8 oranında olup 1,2 mm’den 2 mm’ye kadar artış olmuştur. 2 mm’den 2,5 mm’ye artış yok denecek kadar azdır. Yine 95 mm uzunluğundaki klips açılı plakalarda 1,2 mm’den 2 mm’ye %10 oranında kuvvet artışı varken 2 mm’den 2,5 mm’ye %10 civarında artış olduğu görülmüştür. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm’den 2,5 mm’ye maksimum kuvvet artışı %7 olup artışın lineer olduğu gözlenmiştir.



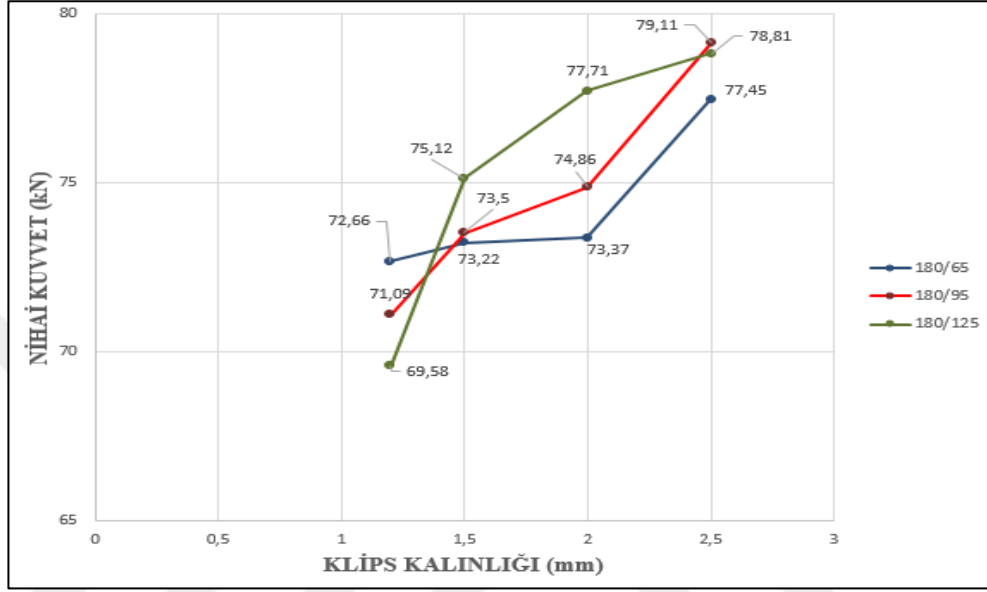
Şekil 4.50. 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

180 mm yüksekliğinde klips açılı plakalar

Şekil 4.51’de verilen grafik 180 mm derinliğinde plakaların 65-95-125 mm uzunluklarına ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. 180 mm yüksekliğinde ve 65 mm uzunluktaki klips açılı plakalarda 1,2 mm kalınlıktan başlayarak 2,5 mm kalınlıktaki plakalara kadar maksimum kesme kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış toplam %7 oranında olup 1,2 mm’den 2

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

mm'ye kadar artış %1 civarındadır. Artışın büyük kısmı 2 mm'den 2,5 mm'ye %6 oranındadır. Yine 95 mm uzunluğundaki klips açılı plakalarda 1,2 mm'den 2,5 mm'ye %11 oranında kuvvet artışı vardır. Bu artış lineer artmaktadır. 125 mm uzunluğundaki plakalarda da 1,2 mm'den 2,5 mm'ye maksimum kuvvet artışı %13 olup büyük kısmı 1,2 mm'den 2 mm'ye kadar olan plakalardadır.



Şekil 4.51. 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

Klips Açılı Plaka Uzunluğuna ve Maksimum Kuvvete Göre Karşılaştırma

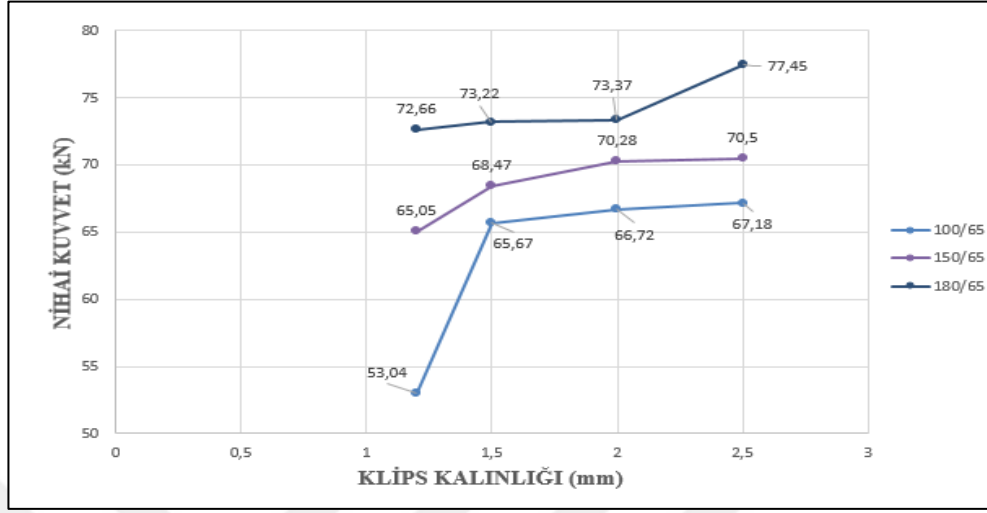
Klips açılı plakalar yüksekliklerine göre karşılaştırıldıktan sonra en/boy oranlarının kesme kuvveti dayanımına etkisini daha detaylı anlatabilmek için klips açılı plaka uzunluklarına göre de karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma bölüm 4.1.1,5.6'da detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

65 mm Uzunluğunda Klips Açılı Plakalar

Şekil 4.52'de verilen grafik 65 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafikte anlaşılabileceği üzere plaka yüksekliği arttıkça maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları için azaldığı görülmektedir. Ancak bu klips açılı

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

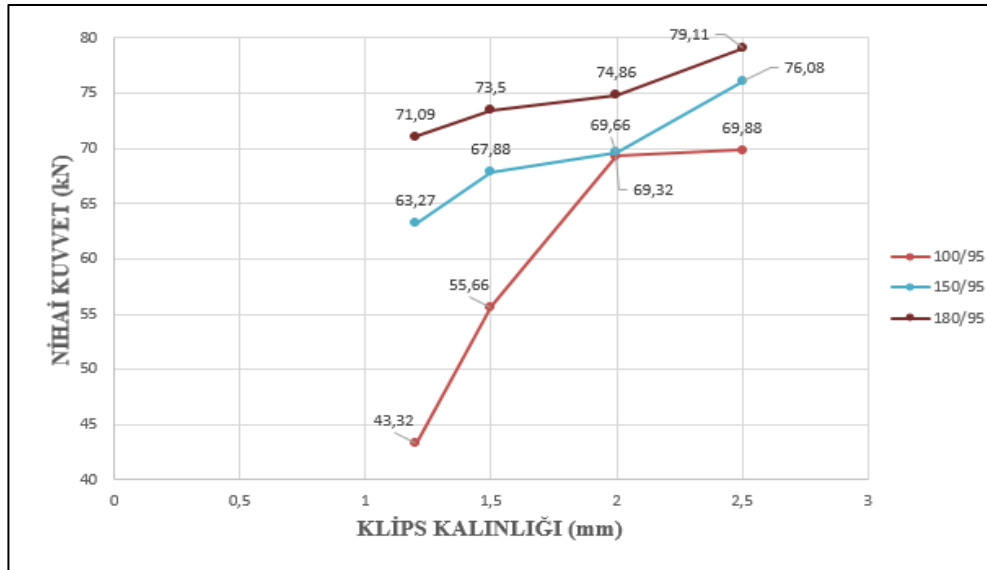
plakalarda plaka kalınlığının artması maksimum kuvveti büyük oranda değiştirmemektedir.



Şekil 4.52. 65 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

95 mm uzunluğunda klips açılı plakalar

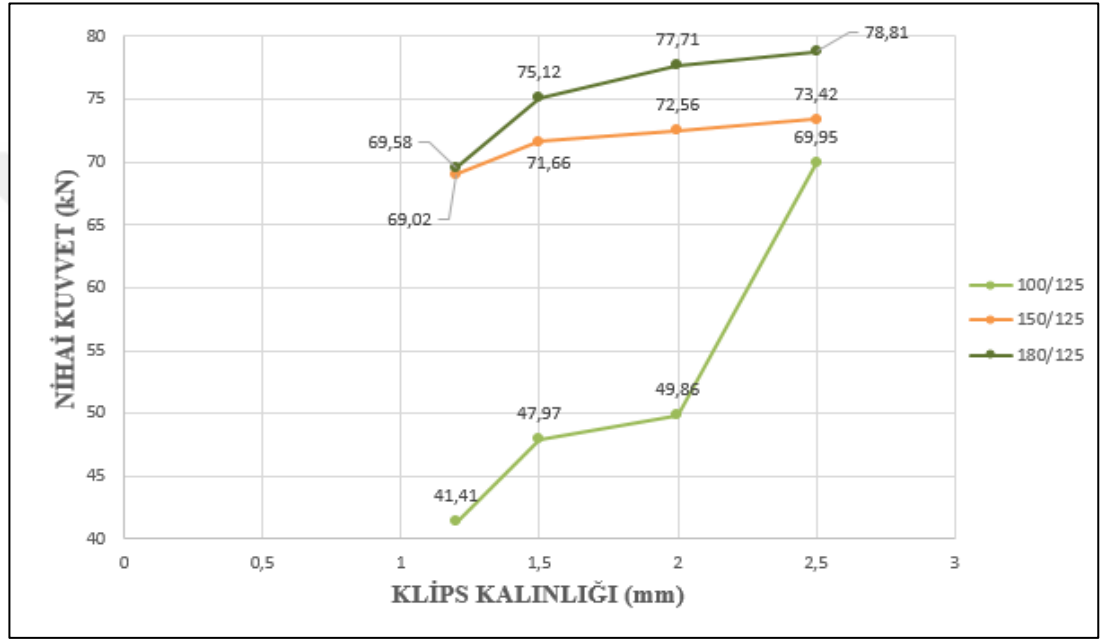
Şekil 4.53'te verilen grafik 95 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafikte anlaşılabileceği üzere plaka yüksekliği arttıkça maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları için azaldığı görülmektedir. Bu klips açılı plakalarda plaka kalınlığının değişmesi maksimum kuvvetide artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.53. 95 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

125 mm uzunluğunda klips açılı plakalar

Şekil 4.54'te verilen grafik 125 mm uzunluğundaki plakaların 100-150-180 mm derinliklerine ve klips açılı plaka kalınlıklarına göre maksimum kuvvet değerleri gösterilmektedir. Grafikte anlaşılabileceği üzere plaka yüksekliği arttıkça maksimum kuvvetinde tüm plaka kalınlıkları için azaldığı görülmektedir. Bu klips açılı plakalarda plaka kalınlığının değişmesi maksimum kuvvetide artırdığı görülmektedir.



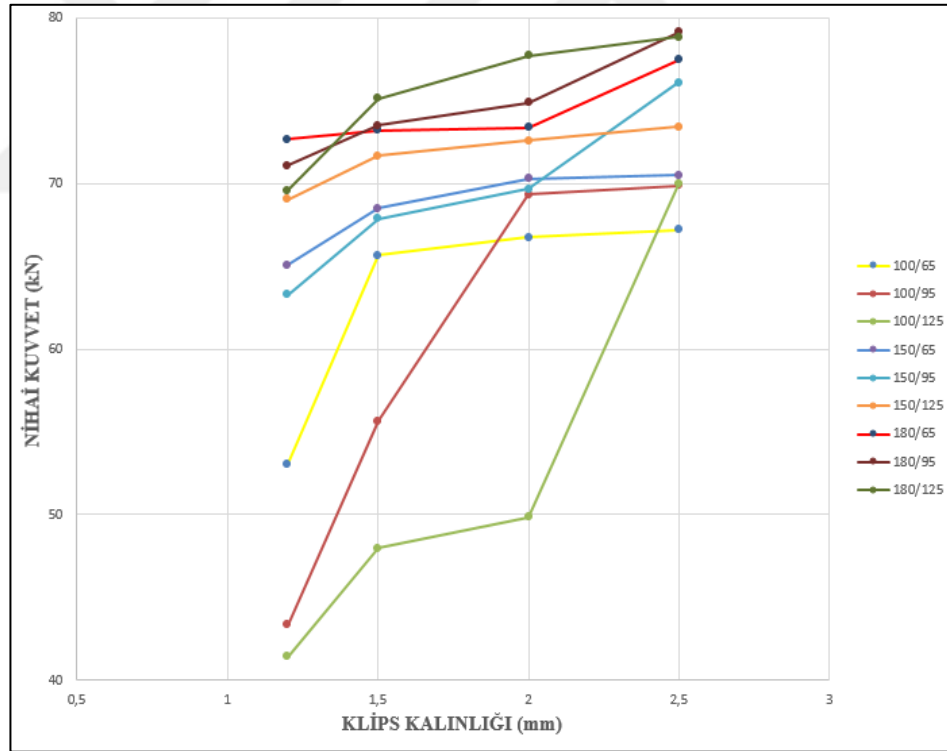
Şekil 4.54. 125 mm uzunlukta klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

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 artırmaktadır. Ancak burada asıl olan gözlem deney numunelerinin yükseklik ve uzunluk ölçülerine göre maksimum kuvvet artışlarıdır. Yapılan deneylerde en yüksek maksimum mukavemet 180/125 mm olan klip açılı plakalarda gözlenmiştir. 1,2 mm plakalarda boyutlar arttıkça mukavemet artmakta lakin 1,2 mm kalınlıklı plakalarda yırtılma ve burkulma olduğu için derinlik artsa bile mukavemette ciddi oranda artış olmamaktadır. 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, akıllı vida sıyırmasının yok denecek kadar az olması ve kaynak yırtılması olmayan numunelerin bulunduğu sistemde kolon ve

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

kiriş burkulmalarının olduğu görülmüştür. Buradan hareketle klips açılı plakalarımızda plaka kalınlığının artması, plaka derinliğinin artması, plaka uzunluğunun artması maksimum kuvveti artırdığı görülmüştür. En yüksek kesme dayanımı 180 mm derinliğindeki klips açılı plakalarda 79,11 kN. olarak gözlemlenmiştir. 150 mm derinliğindeki klips açılı plakaların en yüksek kesme dayanımı 76,28 kN. iken 100 mm derinliğindeki klips açılı plakalarda en yüksek kesme dayanımı maksimum mukavemet 69,96 kN. olduğu görülmektedir.

Ayrıca plaka derinliklerini gruplandırıdığımızda maksimum kesme kuvvetini en düşük değerleri 180 mm derinlikte klips açılı plakalar için 69,58 kN, 150 m derinlikte klips açılı plakalar için 63,28 kN, 100 mm derinlikte klips açılı plakalarda 41,42 kN Olduğu görülmüştür. Bu sebeple 100 mm derinliğindeki plakaların kullanılması durumunda klips açısı kalınlığının minimum 2 mm olması gerektiği kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.55. Tüm klips açılarının kuvvet-kalınlık grafiği

4.1.2 Kolonlarda yanal yer değiştirmelerin karşılaştırılması

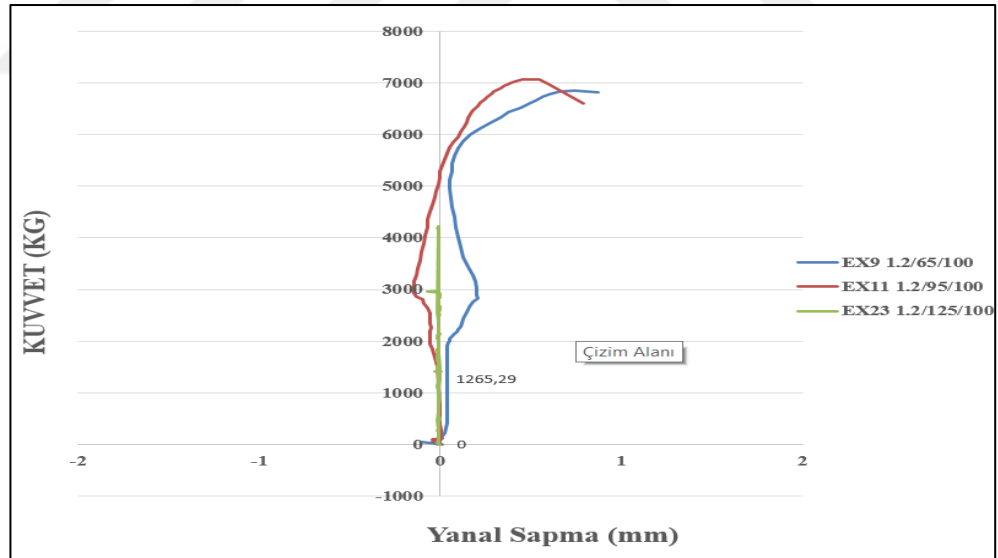
Deneylerde kullanılan klips açılı plakaların kesme kuvveti altındaki davranışlarını araştırırken 400 mm boyundaki kolonlara 200 mm yükseklikte yerleştirilen LVDT

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

cihazları ile kolonlarda meydana gelen yanal yer değiştirmeleride gözlemlenmiştir. Buradaki amaç klips açılı plakaların kolon-kiriş birleşiminde rijit davranış gösterirken kolonlarda burkulma ve kolon kaynaklarında kopma meydana getirip getirmediğini tespit etmektir. Kolonlarda meydana gelecek olan burkulma ve kaynak kopmaları klips açılı 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 kalınlıkta klips açılı

Exp9 (1,2/65/100), Exp11 (1,2/95/100), Exp23 (1,2/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.56’da gösterilmiştir.

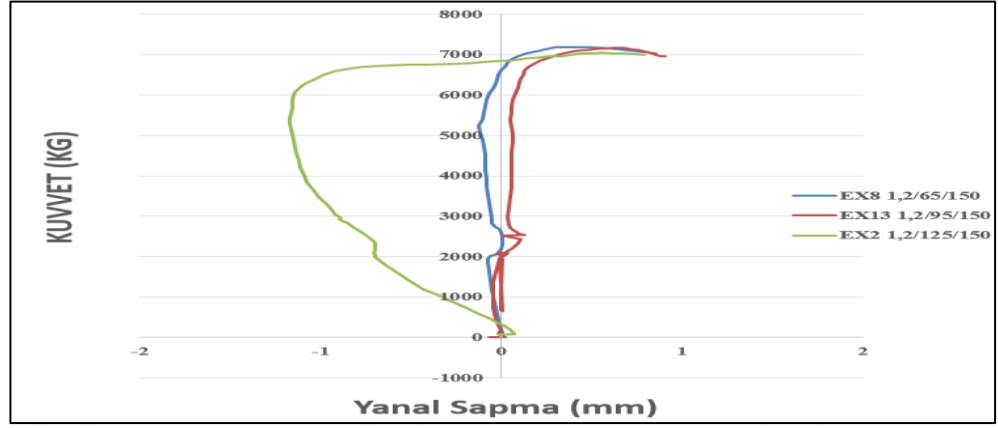


Şekil 4.56. 1,2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

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

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

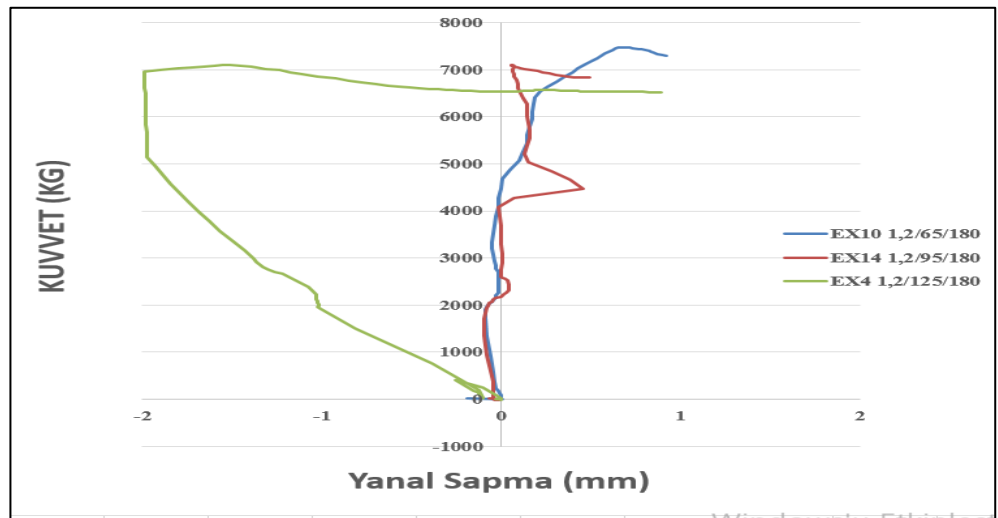
Exp8 (1,2/65/150), Exp13 (1,2/95/150), Exp2 (1,2/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.57’de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. 1,2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.57’de verilen grafikte 1,2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. 1,2/125/150 numunesinde yanal sapma bir 1,06 mm iken diğer iki numunede 1 mm’den daha düşüktür.

Exp10 (1,2/65/180), Exp14 (1,2/95/180), Exp4 (1,2/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.58’de gösterilmiştir.



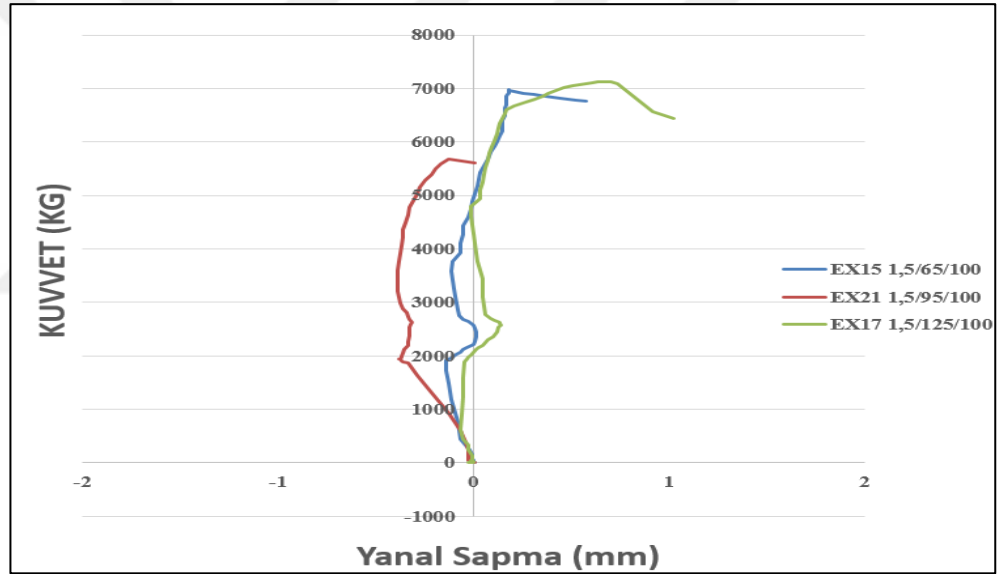
Şekil 4.58. 1,2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.58’de verilen grafikte 1,2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. 1,2/125/180 numunesinde yanal sapma bir 1,98 mm olarak ölçülmüştür. Buradaki sebep 125/180 plakaların daha rijit birleşim oluşturmalarından dolayı kolonlara daha fazla yük aktarmalarından kaynaklanmaktadır. Diğer numunede maksimum yükte yanal yer değiştirme 1 mm’den daha düşüktür.

1,5 mm kalınlıkta klips açılı

Exp15 (1,5/65/100), Exp21 (1,5/95/100), Exp17 (1,5/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.59’da gösterilmiştir.

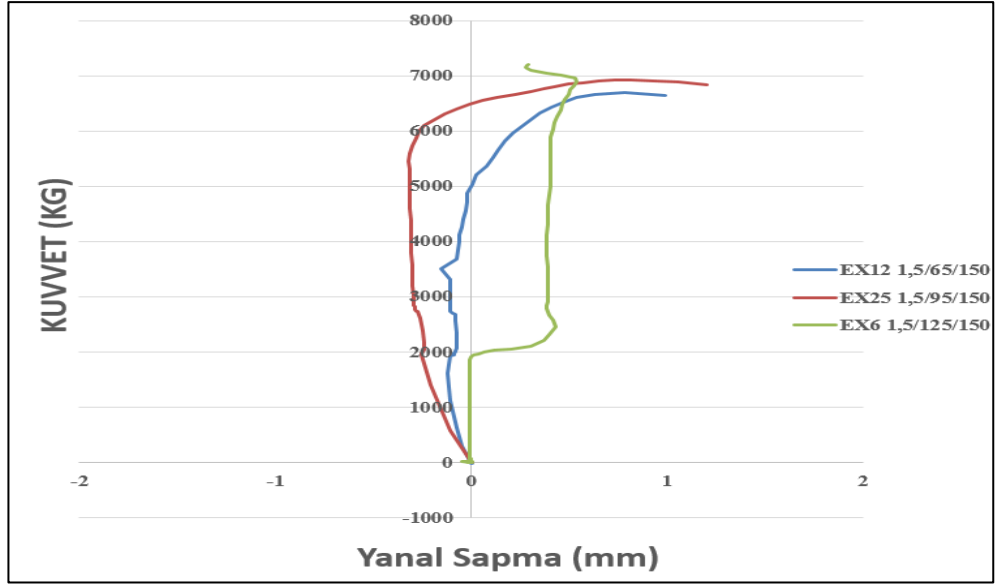


Şekil 4.59. 1,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.59’da verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm numunelerde maksimum yükte yanal sapma 1 mm’den daha düşüktür.

Exp12 (1,5/65/150), Exp25 (1,5/95/150), Exp6 (1,5/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.60’da gösterilmiştir.

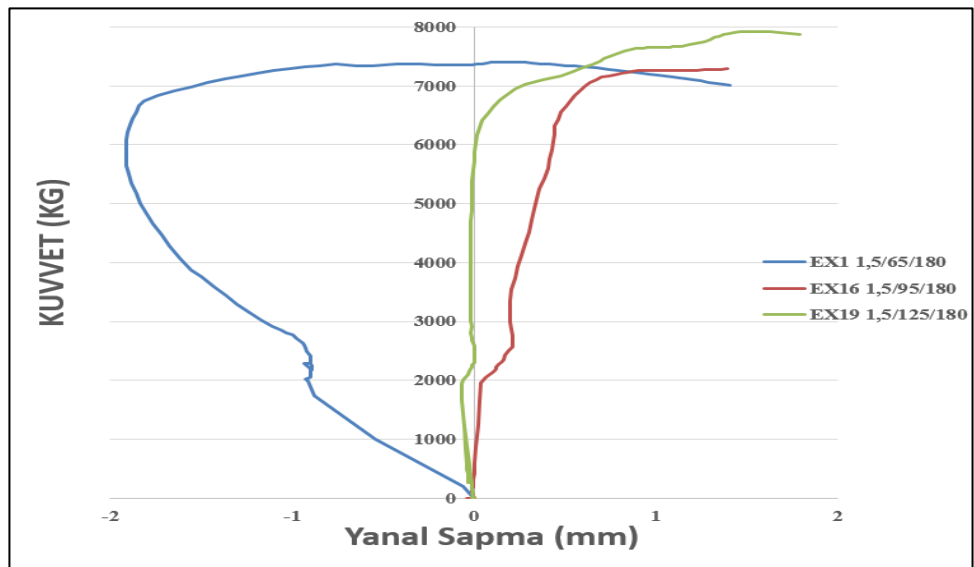
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.60. 1,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.60’da verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm numunelerde maksimum yükte yanal sapma 1 mm’den daha düşüktür.

Exp1 (1,5/65/180), Exp16 (1,5/95/180), Exp19 (1,5/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.61’de gösterilmiştir.



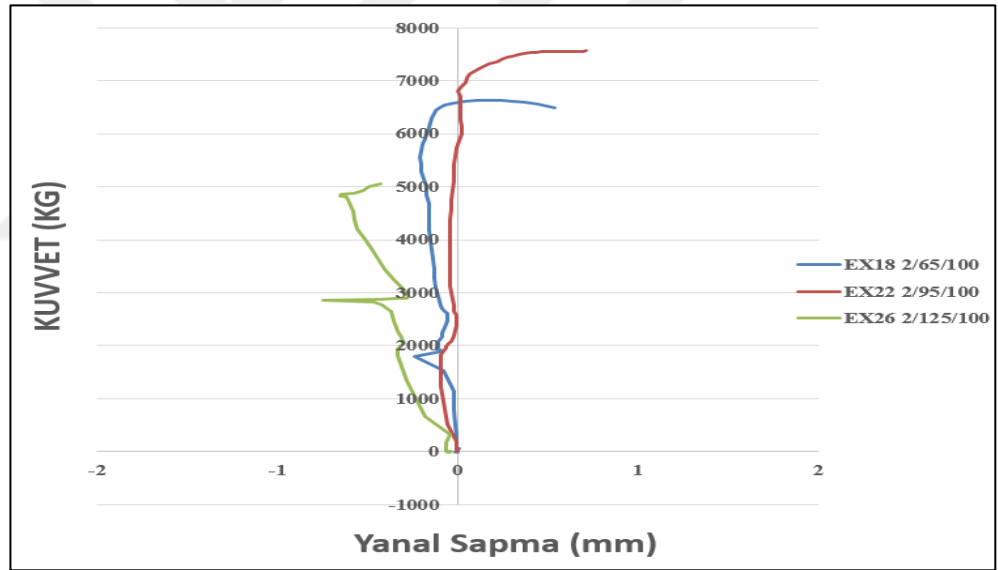
Şekil 4.61. 1,5 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.61’de verilen grafikte 1,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 180 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Deneyde 65/180 ebatlardaki klips açılı plakada maksimum yükte ayanal sapma 1,9 mm ve 125/180 ebatlardaki klips açılı plakada ise maksimum yükte yanal sapma 1,59 mm olarak ölçülmüştür. Sebebinin birleşimdeki rijit davranış olduğu gözlemlenmiştir. 95/180 numunesinde ise 1 mm’den daha düşüktür.

2 mm kalınlıkta klips açılı

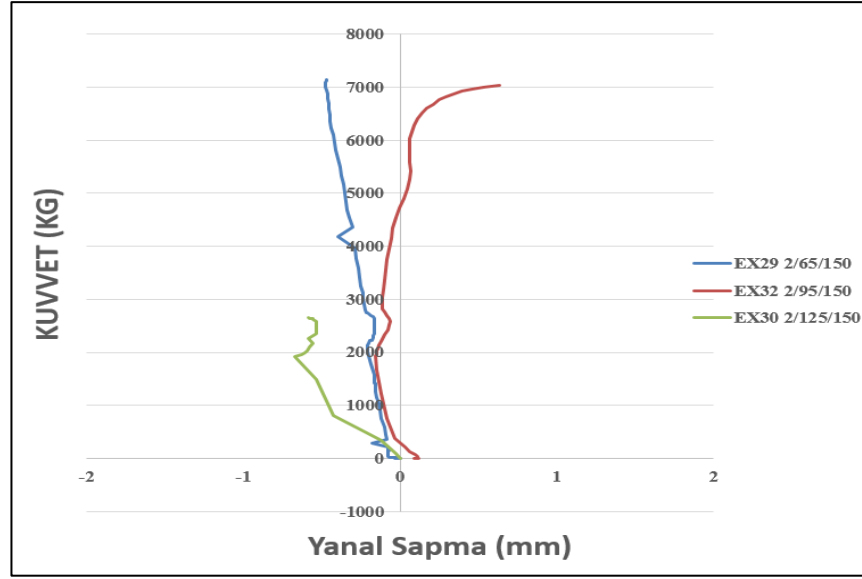
Exp18 (2,0/65/100), Exp22 (2,0/95/100), Exp26 (2,0/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.62’de gösterilmiştir.



Şekil 4.62. 2 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.62’de görülen grafikte 2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanal sapma 1 mm’den daha düşüktür.

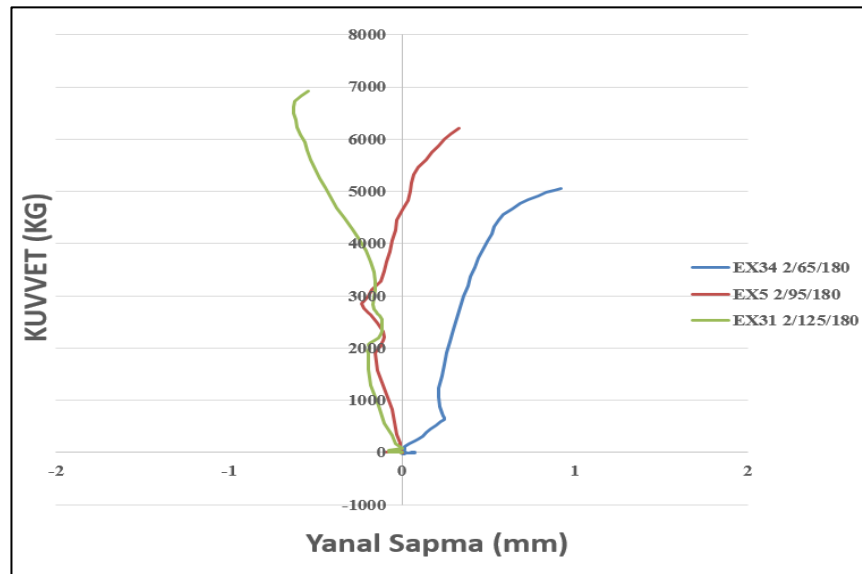
Exp29 (2,0/65/150), Exp32 (2,0/95/150), Exp30 (2,0/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.63’te gösterilmiştir.



Şekil 4.63. 2 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.63'te görülen grafikte 2 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 150 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanıl sapma değlereri gösterilmektedir. Tüm deneylerde maksimum yükte yanıl sapma 1 mm'den daha düşüktür.

Exp34 (2,0/65/180), Exp5 (2,0/95/180), Exp31 (2,0/125/180) numunelerine ait Kuvvet- Yanıl Sapma grafiği Şekil 4.64'te gösterilmiştir.



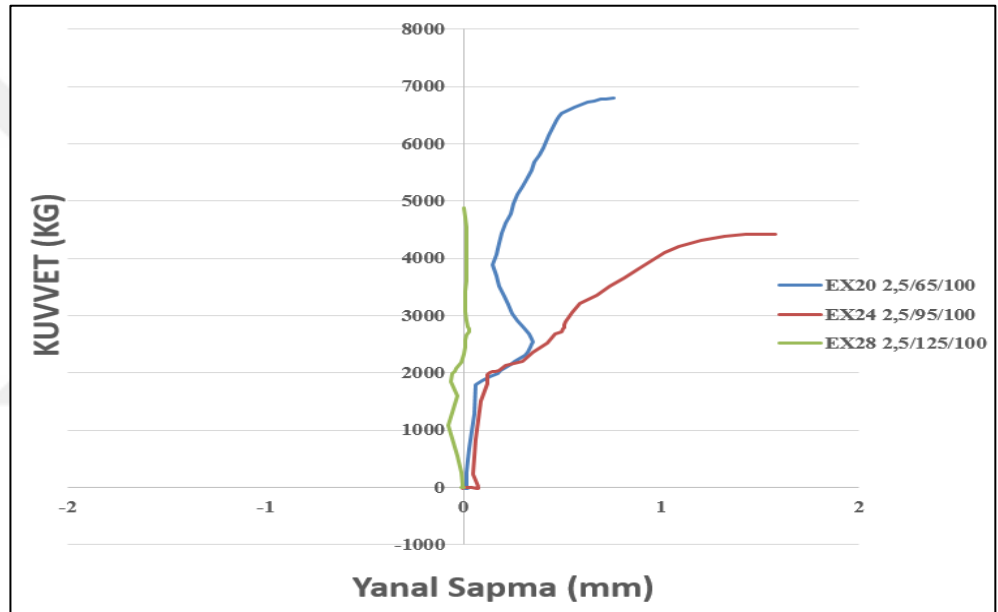
Şekil 4.64. 2 mm kalınlıkta 180 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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

2,5 mm kalınlıkta klips açılı

Exp20 (2,5/65/100), Exp24 (2,5/95/100), Exp28 (2,5/125/100) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.65'te gösterilmiştir.

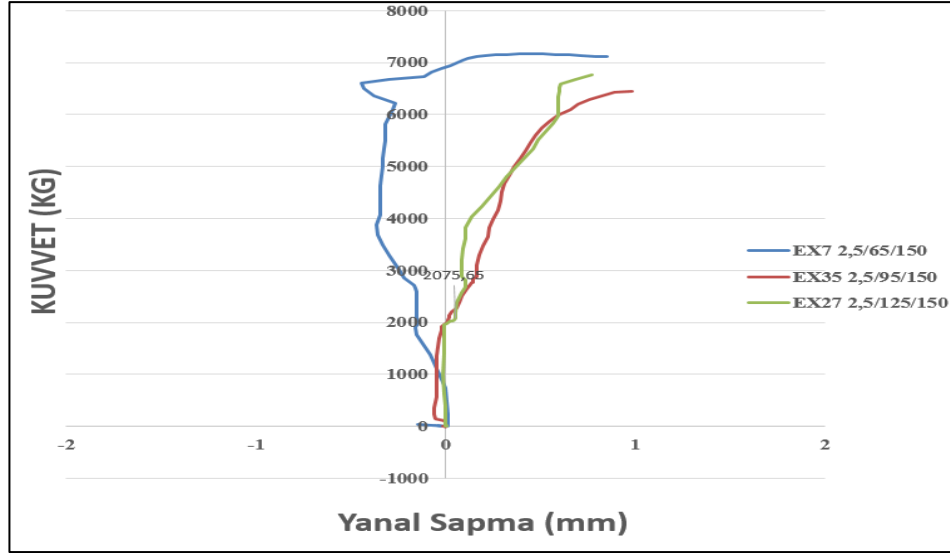


Şekil 4.65. 2,5 mm kalınlıkta 100 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

Şekil 4.65'te görülen grafikte 2,5 mm kalınlıkla 65-95-125 mm boyunda ve 100 mm derinliğinde klips açılı plakalarlar yapılan deney sonucunda kolonlarda meydana gelen yanal sapma değerleri gösterilmektedir. Deney numunelerinde 95/100 ebatlarındaki numunede maksimum yükte yanal yer değiştirme 1.60 mm civarındayken diğer numunelerde 1 mm'den daha düşüktür.

Exp7 (2,5/65/150), Exp35 (2,5/95/150), Exp27 (2,5/125/150) numunelerine ait Kuvvet- Yanal Sapma grafiği Şekil 4.66'da gösterilmiştir.

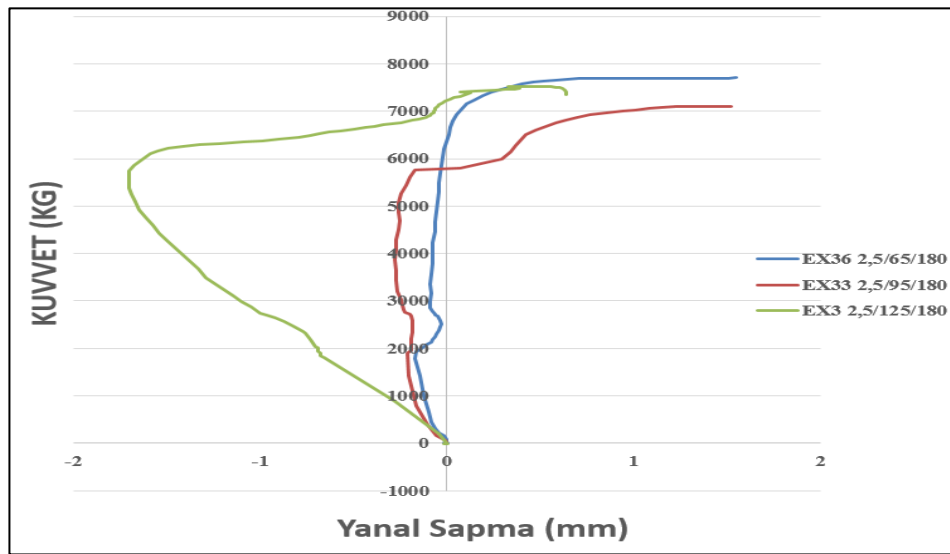
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 4.66. 2,5 mm kalınlıkta 150 mm derinlikte klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

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

Exp36 (2,5/65/180), Exp33 (2,5/95/180), Exp3 (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 klips açılarının kuvvet-yatay deplasman grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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

Yukarıda gösterilen numunelerin yanal yer değiştirme değerleri grafikleri incelendiğinde karşımıza çıkan sonuç 36 adet numunenin yanal yer değiştirmeleri 2 mm’den daha düşüktür. Yapılan deneylerde kolonların yanal yer değiştirmelerinin klip açılı plakanın en/boy oranı ve plaka kalınlıkları ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Plaka kalınlığı ve plaka derinliği arttıkça kolon yanal yer değiştirmelerinin arttığı görülmektedir. Klips açısının en/boy oranı arttıkça kolon yanal yer değiştirmelerinin arttığı görülmektedir. Bu durum klips açısının W/D oranının artmasının kolon-kiriş birleşimini daha rijit duruma getirdiğinin ve yük aktarımının daha fazla olduğunun göstergesidir. Aynı durum klips açılı plaka kalınlığı içinde geçerlidir. Plaka kalınlığı arttıkça kolon yanal yer değiştirmesi de 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 (W/D) ve göçme modları Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Klips açılarının maksimum kesme kuvveti ve göçme modları

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı W/D	Kolon Durumu	Kolon Kaynak Durumu	Klips Durumu	Klips Kaynak Durumu	Vida Durumu	Kiriş Durumu
EXP9-1,2-65-100	26,49	0,62	BURKULMA YOK	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP11-1,2-95-100	21,64	0,92	BURKULMA YOK	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP23-1,2-125-100	20,69	1,22	BURKULMA YOK	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	1 ADET SIYIRMA	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP8-1,2-65-150	32,49	0,41	BURKULMA YOK	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	BURKULDU
EXP13-1,2-95-150	31,60	0,61	BURKULMA YOK	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	BURKULDU
EXP2-1,2-125-150	34,47	0,81	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÜST VİDA SIYIRDI	BURKULDU
EXP10-1,2-65-180	36,29	0,34	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	BURKULDU
EXP14-1,2-95-180	35,51	0,51	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	BURKULDU
EXP4-1,2-125-180	34,75	0,68	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	BURKULDU
EXP15-1,5-65-100	32,80	0,61	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	1 ADET SIYIRMA BAŞLANGICI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP21-1,5-95-100	27,80	0,91	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP17-1,5-125-100	23,96	1,21	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP12-1,5-65-150	34,20	0,41	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR (AZ)	SAĞLAM	SIYIRDI	KOLON TARAFLARINDA BURKULMA
EXP25-1,5-95-150	33,91	0,61	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR TEK TARAF. BURKULMA VAR	BİR TARAFTA YIRTILMA	SIYIRDI	BURKULDU
EXP6-1,5-125-150	35,79	0,81	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	BURKULDU
EXP1-1,5-65-180	36,58	0,34	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÜST VİDA SIYIRDI	BURKULDU

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı W/D	Kolon Durumu	Kolon Kaynak Durumu	Klips Durumu	Klips Kaynak Durumu	Vida Durumu	Kiriş Durumu
EXP16-1,5-95-180	36,71	0,51	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	BURKULDU
EXP19-1,5-125-180	37,52	0,67	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	SIYIRDI	BURKULDU
EXP18-2-65-100	33,33	0,60	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP22-2-95-100	34,63	0,90	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP26-2-125-100	24,91	1,20	BURKULMA YOK	SAĞLAM	BAŞLANGIÇ SEVİYESİ	SAĞLAM	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP29-2-65-150	35,10	0,40	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	BURKULDU
EXP32-2-95-150	34,80	0,60	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR TEK TARAF. BURKULMA VAR	YIRTILMA VAR TEK TARAF	YOK	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP30-2-125-150	36,24	0,80	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	SAĞLAM	YOK	BURKULDU
EXP34-2-65-180	36,65	0,33	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA YOK	YIRTILMA VAR	YOK	BURKULDU
EXP5-2-95-180	37,39	0,50	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR TEK TARAF. BURKULMA VAR	TEK TARAFLI YIRTILMA VAR	YOK	BURKULDU
EXP31-2-125-180	38,82	0,67	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA VAR	YIRTILMA BAŞLANGICI	YOK	BURKULDU
EXP20-2,5-65-100	33,55	0,59	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA YOK	YIRTILMA VAR	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP24-2,5-95-100	34,90	0,89	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KİRİŞ TARAFINDAKİ KÖŞE YIRTILDI	YIRTILMA YOK	SAĞLAM	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP28-2,5-125-100	34,94	1,19	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA YOK	YIRTILMA BAŞLANGICI	SIYIRDI	UZUN EKSENDE BURKULDU
EXP7-2,5-65-150	35,22	0,39	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KİRİŞ TARAFINDAKİ KÖŞE YIRTILDI	YIRTILMA YOK	YIRTILMA BAŞLANGICI	ÜST VİDA SIYIRDI	BURKULDU

Çizelge 4.5. (devam)

Numune Adı	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	En/Boy Oranı W/D	Kolon Durumu	Kolon Kaynak Durumu	Klips Durumu	Klips Kaynak Durumu	Vida Durumu	Kiriş Durumu
EXP35-2,5-95-150	38,00	0,59	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	SAĞLAM	YIRTILMA YOK	SAĞLAM	SIYIRDI	BURKULDU
EXP27-2,5-125-150	36,67	0,79	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KİRİŞ TARAFINDAKİ KÖŞE YIRTILDI	YIRTILMA YOK	YIRTILMA BAŞLANGICI	YOK	BURKULDU
EXP36-2,5-65-180	38,68	0,33	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KOPTU	YIRTILMA YOK	TEK TARAFLI YIRTILMA VAR	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	BURKULDU
EXP33-2,5-95-180	39,51	0,49	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KOPTU	YIRTILMA YOK	SAĞLAM	ÇOK AZ SIYIRMA VAR	BURKULDU
EXP3-2,5-125-180	39,36	0,66	DİSTORSİYONEL BURKULMA VAR	KİRİŞ TARAFINDAKİ KÖŞE YIRTILDI	YIRTILMA YOK	SAĞLAM	ÜST VİDA YARIM SIYIRDI	BURKULDU



Şekil 4.68. Kolon distorsiyonel burkulması ve klips akıllı vida sıyırması örneği



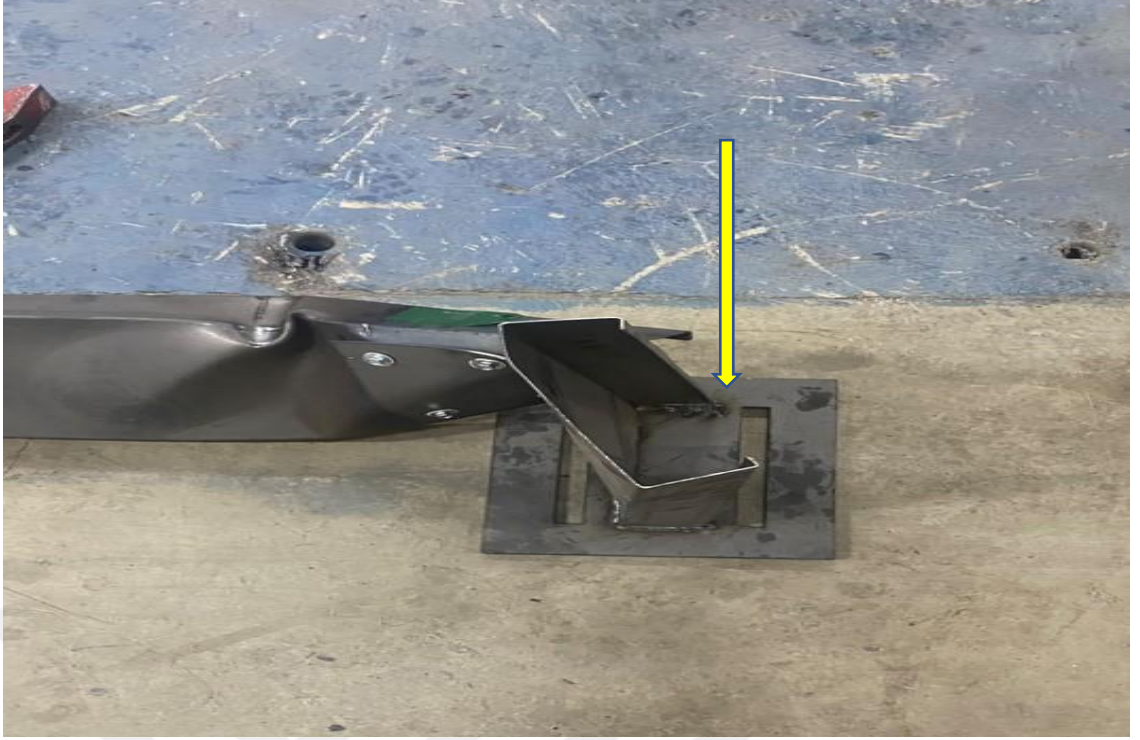
Şekil 4.69. Klips açısı yırtılması örneği



Şekil 4.70. Deneylerde kiriş burkulması ve klips açısı akıllı vida sıyırması durumu



Şekil 4.71. Kolon burulmalı burkulma durumu



Şekil 4.72. Kolon kaynak kopma durumu



Şekil 4.73. Kolon distorsiyonal burkulması, klips açısı yırtılması ve vida sıyrması durumu.



Şekil 4.74. Klips açısı yırtılması durumu



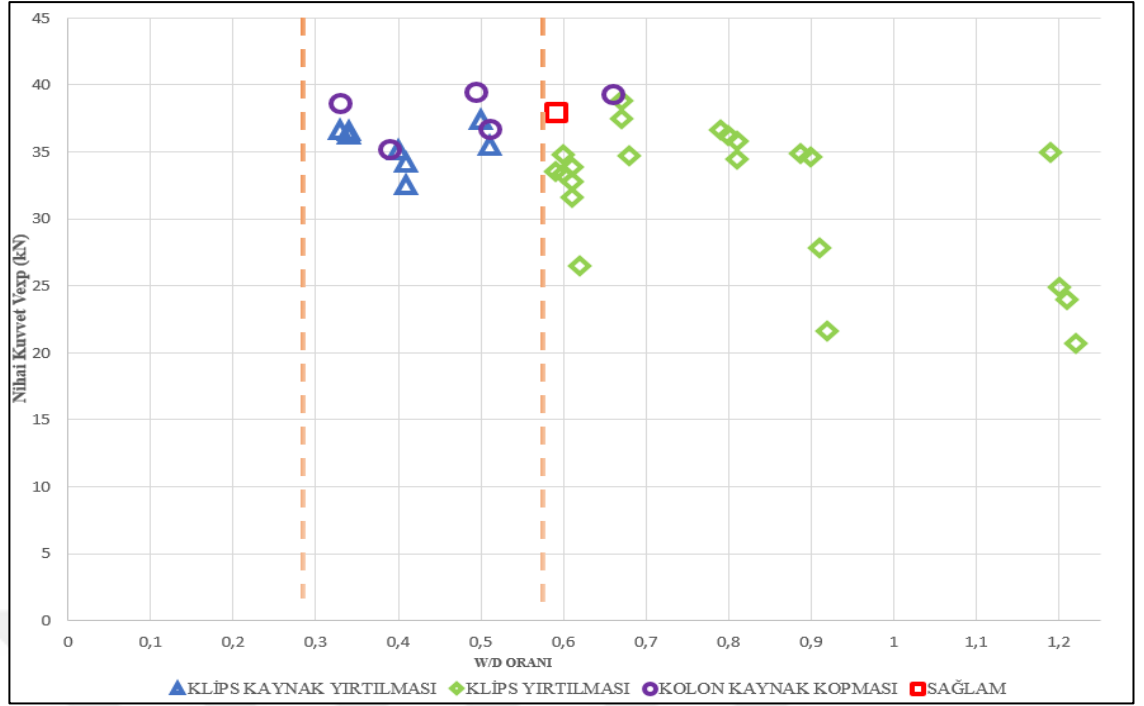
Şekil 4.75. Kolon distorsiyonal burkulması, klips açısı kaynak yırtılması ve giriş burkulması durumu.



Şekil 4.76. Kolon burulmalı burkulması ve kiriş burkulması durumu



Şekil 4.77. 180 mm derinlikle bir plakalar kolon ve kiriş burkulması durumu



Şekil 4.78. Klips açısı-kolon-kiriş göçme modları grafiği

Şekil 4.78’de Numunelerin deney sonucunda klips açılı plakalar ve kolonların göçme modları en/boy (W/D) oranına göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada klips açılı plaka kaynağının durumu, klips açılı plakanın durumu, kolon kaynak durumlarına göz onuna alınmıştır. Çizelge 4.5’te her numunenin kolon kaynağı, klips ve klips kaynağı ve kiriş burkulma durumları verilmiştir. Burada Şekil 4.78’de grafikte de görüldüğü gibi en/boy oranı (W/D) 0,3 ile 0,57 arasında olan klips açılı plakalarda klips kaynak yırtılması ve kolon kaynak yırtılması durum ları gözlemlenmiştir. En/boy oranı (W/D) 0,57’den büyük olan numunelerde klips açılı plaka yırtılması gözlemlenmiştir.

4.3. Kaynaklı Ve Vidalı Klips Açılı Plakalar İçin Önerilen Kesme Kuvveti

Denklemleri

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 klips açılı plakaların maksimum kesme kapasitesinin boyutsuz narinlik oranı (λ) ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. Yaptığımız deneylerin sonuçlarında klips açısı maksimum kesme mukavemetinin narinlik oranı ile ilişkisinin olduğu tespiti doğrulanmıştır. Daha önceki

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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;

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

$$V_{nsp} = 0,299(\lambda)^{-0,77} V_y \quad (4.4)$$

Mallepago ve Madhavan (2022) tarafından önerilen denklem;

$$V_{nsw} = 0,275(\lambda)^{-0,8} V_y \quad (4.5)$$

Ayrıca literatürde bulunan aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

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

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

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

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

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

Yukarıdaki tasarım denklemlerinde aşağıdaki parametlerler kullanılmıştır.

Klips Açılı Plaka Kalınlıkları: 1,2-1,5-2,0-2,5 mm

En/Boy Oranı (W/D): 0,32 - 1,22

Klips Açılı Plaka Verim Gücü: 450 MPa-650 Mpa

Maksimum Kiriş Derinliği: 200 mm

Tip: Kesme Yüğü Altında Fleto tip Kaynaklı Klips Açılı Plaka

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

Çizelge 4.6. Literatürden tasarım kesme denklemlerinin karşılaştırılması

Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nsp} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsp}}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsw} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsw}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641x^{0,187}V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP9-1,2-65-100	1,28	37,55	26,49	7,20	3,68	9,31	2,85	7,14	3,71	8,50	3,12	16,65	1,59
EXP11-1,2-95-100	1,97	56,32	21,64	8,32	2,60	9,99	2,17	7,56	2,86	9,00	2,40	23,03	0,94
EXP23-1,2-125-100	2,69	67,59	20,69	8,29	2,50	9,44	2,19	7,08	2,92	8,43	2,45	26,07	0,79
EXP8-1,2-65-150	1,22	37,55	32,49	7,38	4,40	9,61	3,38	7,38	4,40	8,78	3,70	16,78	1,94
EXP13-1,2-95-150	1,89	56,32	31,60	8,53	3,70	10,31	3,06	7,82	4,04	9,30	3,40	23,20	1,36
EXP2-1,2-125-150	2,58	67,59	34,47	8,50	4,06	9,74	3,54	7,31	4,71	8,71	3,96	26,27	1,31
EXP10-1,2-65-180	1,20	37,55	36,29	7,46	4,86	9,74	3,72	7,49	4,85	8,91	4,07	16,84	2,16
EXP14-1,2-95-180	1,86	56,32	35,51	8,63	4,12	10,46	3,40	7,93	4,48	9,44	3,76	23,28	1,53
EXP4-1,2-125-180	2,53	67,59	34,75	8,59	4,05	9,88	3,52	7,42	4,68	8,84	3,93	26,36	1,32
EXP15-1,5-65-100	1,07	52,63	32,80	11,23	2,92	14,96	2,19	11,54	2,84	13,74	2,39	24,13	1,36
EXP21-1,5-95-100	1,66	78,94	27,80	12,95	2,15	16,01	1,74	12,18	2,28	14,50	1,92	33,34	0,83
EXP17-1,5-125-100	2,26	94,73	23,96	12,88	1,86	15,10	1,59	11,38	2,11	13,55	1,77	37,73	0,64
EXP12-1,5-65-150	1,02	52,63	34,20	11,51	2,97	15,44	2,21	11,92	2,87	14,19	2,41	24,31	1,41
EXP25-1,5-95-150	1,59	78,94	33,91	13,27	2,55	16,52	2,05	12,59	2,69	14,99	2,26	33,60	1,01
EXP6-1,5-125-150	2,17	94,73	35,79	13,20	2,71	15,58	2,30	11,76	3,04	14,00	2,56	38,02	0,94
EXP1-1,5-65-180	1,01	52,63	36,58	11,64	3,14	15,66	2,33	12,10	3,02	14,40	2,54	24,40	1,50

Çizelge 4.6. (devam)

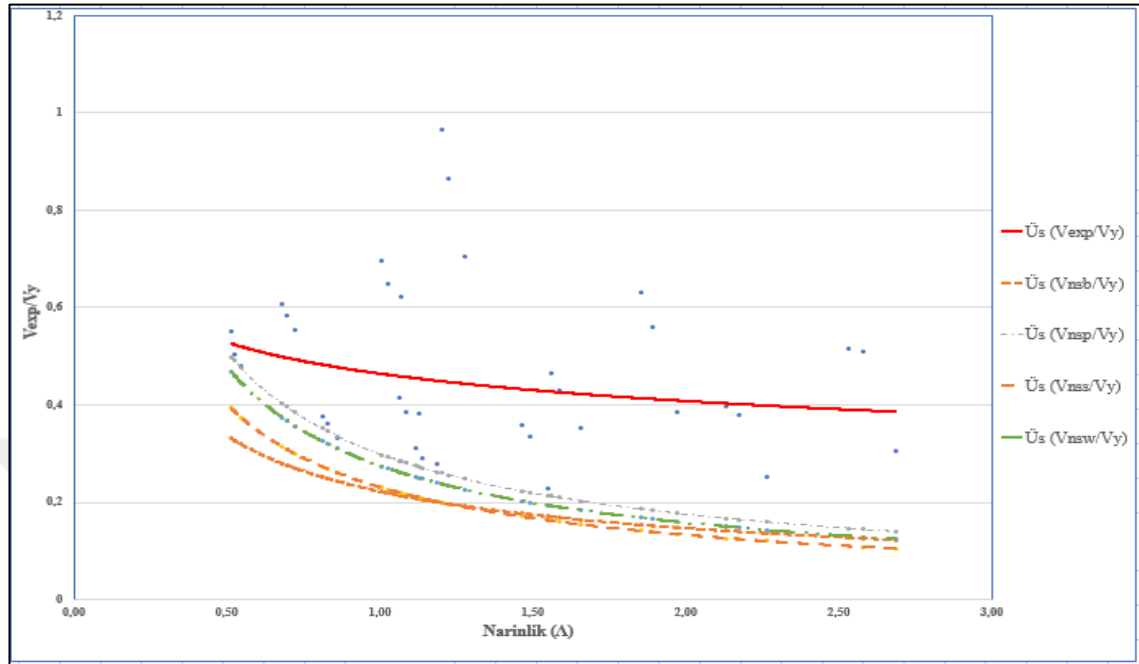
Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nsp} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsp}}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsw} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsw}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641x^{0,187}V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP16-1,5-95-180	1,56	78,94	36,71	13,42	2,74	16,76	2,19	12,78	2,87	15,21	2,41	33,71	1,09
EXP19-1,5-125-180	2,13	94,73	37,52	13,35	2,81	15,80	2,37	11,94	3,14	14,21	2,64	38,15	0,98
EXP18-2-65-100	0,72	60,28	33,33	16,25	2,05	23,13	1,44	18,04	1,85	21,48	1,55	29,72	1,12
EXP22-2-95-100	1,13	90,42	34,63	18,65	1,86	24,60	1,41	18,94	1,83	22,54	1,54	41,01	0,84
EXP26-2-125-100	1,55	108,51	24,91	18,51	1,35	23,13	1,08	17,64	1,41	21,00	1,19	46,39	0,54
EXP29-2-65-150	0,69	60,28	35,10	16,66	2,11	23,87	1,47	18,64	1,88	22,20	1,58	29,95	1,17
EXP32-2-95-150	1,09	90,42	34,80	19,11	1,82	25,39	1,37	19,57	1,78	23,29	1,49	41,33	0,84
EXP30-2-125-150	1,49	108,51	36,24	18,97	1,91	23,87	1,52	18,23	1,99	21,70	1,67	46,74	0,78
EXP34-2-65-180	0,68	60,28	36,65	16,84	2,18	24,21	1,51	18,92	1,94	22,52	1,63	30,06	1,22
EXP5-2-95-180	1,07	90,42	37,39	19,33	1,93	25,75	1,45	19,86	1,88	23,64	1,58	41,47	0,90
EXP31-2-125-180	1,46	108,51	38,82	19,18	2,02	24,21	1,60	18,50	2,10	22,02	1,76	46,90	0,83
EXP20-2,5-65-100	0,55	70,07	33,55	22,34	1,50	33,34	1,01	26,23	1,28	31,23	1,07	36,40	0,92
EXP24-2,5-95-100	0,86	105,10	34,90	25,52	1,37	35,25	0,99	27,36	1,28	32,57	1,07	50,16	0,70
EXP28-2,5-125-100	1,19	126,12	34,94	25,26	1,38	33,05	1,06	25,40	1,38	30,24	1,16	56,69	0,62
EXP7-2,5-65-150	0,52	70,07	35,22	22,90	1,54	34,41	1,02	27,10	1,30	32,27	1,09	36,68	0,96
EXP35-2,5-95-150	0,83	105,10	38,00	26,15	1,45	36,38	1,04	28,27	1,34	33,65	1,13	50,54	0,75
EXP27-2,5-125-150	1,14	126,12	36,67	25,89	1,42	34,11	1,08	26,25	1,40	31,25	1,17	57,12	0,64
EXP36-2,5-65-180	0,52	70,07	38,68	23,15	1,67	34,90	1,11	27,51	1,41	32,75	1,18	36,81	1,05

Çizelge 4.6. (devam)

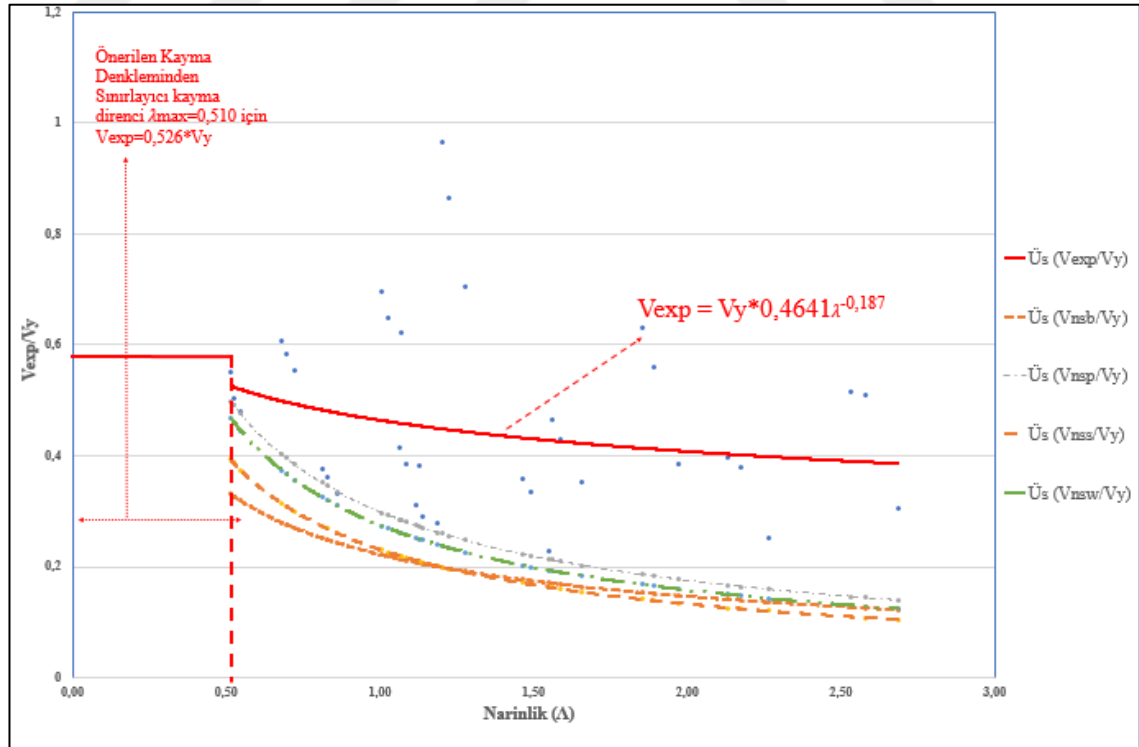
Numune İsmi	Narinlik Oranı (λ)	Akma Dayanımı (V_y) (kN)	Maksimum Kesme Kuvveti (V_{exp}) (kN)	V_{nsb} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_y}$	V_{nsp} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsp}}$	V_{nss} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nss}}$	V_{nsw} (kN)	$\frac{v_{exp}}{v_{nsw}}$	V_{nse} (kN) $=0,4641 \times 0,187 V_y$	$\frac{v_{exp}}{v_{nse}}$
EXP33-2,5-95-180	0,81	105,10	39,51	26,44	1,49	36,90	1,07	28,69	1,38	34,15	1,16	50,72	0,78
EXP3-2,5-125-180	1,12	126,12	39,36	26,18	1,50	34,60	1,14	26,64	1,48	31,71	1,24	57,32	0,69
Ortalama				2,45		1,92		2,51		2,11		1,06	
Standart Sapma				0,98		0,85		1,13		0,95		0,37	
Varyasyon Katsayısı				0,97		0,72		1,27		0,89		0,14	

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

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



Şekil 4.79. Klips açısı tasarım eğrileri



Şekil 4.80. Eğri uydurma kullanılarak önerilen kesme denklemi

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

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 $\lambda_{maks}=0,510$ için maksimum kesme mukavemeti $V_{exp}=0,526xV_y$ olarak bulunur. Buradan yola çıkarak grafikteki eğrinin denklemi;

$$V_{exp} = 0,4641(\lambda)^{-0,187}V_y \quad (4.6)$$

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_{nse} (kN) $=0,4641x^{-0,187}V_y$	V_{exp}/V_{nse}
EXP9-1,2-65-100	26,49	37,55	0,71	1,28	16,65	1,59
EXP11-1,2-95-100	21,64	56,32	0,38	1,97	23,03	0,94
EXP23-1,2-125-100	20,69	67,59	0,31	2,69	26,07	0,79
EXP8-1,2-65-150	32,49	37,55	0,87	1,22	16,78	1,94
EXP13-1,2-95-150	31,60	56,32	0,56	1,89	23,20	1,36
EXP2-1,2-125-150	34,47	67,59	0,51	2,58	26,27	1,31
EXP10-1,2-65-180	36,29	37,55	0,97	1,20	16,84	2,16
EXP14-1,2-95-180	35,51	56,32	0,63	1,86	23,28	1,53
EXP4-1,2-125-180	34,75	67,59	0,51	2,53	26,36	1,32
EXP15-1,5-65-100	32,80	52,63	0,62	1,07	24,13	1,36
EXP21-1,5-95-100	27,80	78,94	0,35	1,66	33,34	0,83
EXP17-1,5-125-100	23,96	94,73	0,25	2,26	37,73	0,64
EXP12-1,5-65-150	34,20	52,63	0,65	1,02	24,31	1,41
EXP25-1,5-95-150	33,91	78,94	0,43	1,59	33,60	1,01

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_{nse} (kN) $=0,4641x^{-0,187}V_y$	V_{exp}/V_{nse}
EXP6-1,5-125-150	35,79	94,73	0,38	2,17	38,02	0,94
EXP1-1,5-65-180	36,58	52,63	0,70	1,01	24,40	1,50
EXP16-1,5-95-180	36,71	78,94	0,47	1,56	33,71	1,09
EXP19-1,5-125-180	37,52	94,73	0,40	2,13	38,15	0,98
EXP18-2-65-100	33,33	60,28	0,55	0,72	29,72	1,12
EXP22-2-95-100	34,63	90,42	0,38	1,13	41,01	0,84
EXP26-2-125-100	24,91	108,51	0,23	1,55	46,39	0,54
EXP29-2-65-150	35,10	60,28	0,58	0,69	29,95	1,17
EXP32-2-95-150	34,80	90,42	0,38	1,09	41,33	0,84
EXP30-2-125-150	36,24	108,51	0,33	1,49	46,74	0,78
EXP34-2-65-180	36,65	60,28	0,61	0,68	30,06	1,22
EXP5-2-95-180	37,39	90,42	0,41	1,07	41,47	0,90
EXP31-2-125-180	38,82	108,51	0,36	1,46	46,90	0,83
EXP20-2,5-65-100	33,55	70,07	0,48	0,55	36,40	0,92
EXP24-2,5-95-100	34,90	105,10	0,33	0,86	50,16	0,70
EXP28-2,5-125-100	34,94	126,12	0,28	1,19	56,69	0,62
EXP7-2,5-65-150	35,22	70,07	0,50	0,52	36,68	0,96
EXP35-2,5-95-150	38,00	105,10	0,36	0,83	50,54	0,75
EXP27-2,5-125-150	36,67	126,12	0,29	1,14	57,12	0,64
EXP36-2,5-65-180	38,68	70,07	0,55	0,52	36,81	1,05
EXP33-2,5-95-180	39,51	105,10	0,38	0,81	50,72	0,78
EXP3-2,5-125-180	39,36	126,12	0,31	1,12	57,32	0,69
Ortalama						1,06
Standar Sapma						0,37
Varyasyon Katsayısı						0,14

4.4. Tasarım Kesme Dayanımı Hesabı

Klips açısının 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

m = Serbestlik Derecesi = $n-1 = 35$

V_P = Test Sonuçlarının Varyasyon Katsayısı ≤ 6.5

V_Q = Yük Etkisi Değişim Katsayısı = LRFD ve LSD için 0.21

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

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

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)	Natesan ve Madhavan (V_{nsp}) (4.4)	Mallepogu ve Madhavan (V_{nsw}) (4.5)	Önerilen Tasarım Denklemi (V_{nsc}) (4.6)
Deneysel Veriler	Yapılan test sayısı	n	36	36	36	36	36
	Serbestlik derecesi	m	35	35	35	35	35
	Profesyonel faktörün ortalama değeri	P_M	2,51	2,45	1,92	2,11	1,06
	Standart sapma	σ	1,13	0,98	0,85	0,95	0,37
	Test sonuçlarının varyasyon katsayısı	V_P	1,27	0,97	0,72	0,89	0,14
	Düzeltilme faktörü	C_P	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
AISİ S100-16 Tablo K2. 1. 1 -1	Malzeme faktörünün ortalama değeri	M_M	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Üretim faktörünün ortalama değeri	F_M	1	1	1	1	1
	Kalibrasyon katsayısı (LRFD)	$C\phi$ (LRFD)	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52
	Kalibrasyon katsayısı (LSD)	$C\phi$ (LSD)	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
	Malzeme faktörünün değişim katsayısı	V_M	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Üretim faktörünün değişim katsayısı	V_F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Yük etkilerinin değişim katsayısı	V_Q	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
	Hedef güvenilirlik indeksi (LRFD)	β_o (LRFD)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	Hedef güvenilirlik indeksi (LSD)	β_o (LSD)	4	4	4	4	4
	Direnç faktörü (LRFD)	ϕ (LRFD)	0,038	0,107	0,203	0,120	0,637
	Direnç faktörü (LSD)	ϕ (LSD)	0,018	0,059	0,128	0,069	0,514
	Güvenlik faktörü (ASD)	Ω (ASD)	42,310	15,000	7,870	13,350	2,513

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 0,038, 0,018 ve 42,31’dir. Natesan ve Madhavanın (2019-2020) denklem (4.3) ve denklem (4.4)’e göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,107, 0,059 ve 15,00 ve 0,203, 0,128 ve 7,87’dir. Mallepogu ve Madhavanın (2022) denklem (4.5)’e göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,120, 0,069, 13,35’dir. Önerilen kesme mukavemeti denkleminde göre direnç ve güvenlik faktörleri 0,637, 0,514, 2,513 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), (4.4) ve (4.5) nolu denklemlerden farklı olmasının sebebi daha önceki çalışmalarda klips açısının sadece derinliği boyunca kaynak yapılması, alt ve üst kenarının kaynaklanmamasından dolayı kesme kuvveti etkisi altında birleşimin çabucak burkulmasıdır. Bizim çalışmamızda klips açısının üç kenarında kaynak yapılması daha fazla kesme mukavemeti taşımaya, daha rijit bir birleşim oluşmasına fayda sağlamıştır.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde 36 adet (bir deney numunesinde 2 adet olmak üzere) CFS kolon ve kiriş, kolon tarafında kaynak ve kiriş tarafında akıllı vida kullanılarak birleşim oluşturulmuştur. Birleşim elemanları kalınlıkları, uzunlukları, genişlikleri ve derinlikleri farklı olan soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı plakalardan oluşturulmuştur. Çelik klips açılı 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 klips açısının kalınlık ve en/boy oranı (W/D) etkileri dikkate alınmıştır. Literatürdeki mevcut kesme tasarım kesme denklemlerinin köşe kaynaklı ve akıllı vidalı klips açısının kesme mukavemetini tahmin etmede oldukça tutarlı olduğu görülmüştür. Kaynaklı ve akıllı vidalı klips açısının maksimum mukavemeti için yeni bir kesme mukavemeti denklemi önerilmiştir.

Tezin amacı soğukta şekillendirilmiş çelik klips açılı plakalar ile farklı birleşim türleri oluşturmak ve maksimum kesme mukavemeti için en uygun çelik klips açısı boyutlarını, en/boy oranını ve kalınlığını tespit etmektir. Klips açılı birleşimlerde akıllı vida kullanımı çalışması daha önce yapılmamış olup, önceki çalışmalarda kolon kiriş birleşiminde klips açıları kolon-kiriş birleşiminde merkezi yerleştirilmemiştir. Bu çalışmada akıllı vida kullanımı, klips açıları kolon kiriş birleşim merkezine yerleştirilmesi, klips kaynakalarının üç kenarlı yapılması çalışmanın kendine özgün olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda kesme kuvvetine mağruz kalan CFS çelik klips açılı plakalar için;

1. Klips açısının kesme mukavemeti en/boy oranına (W/D) ve kalınlığına bağlıdır.
2. Klips kalınlığı arttıkça kesme kuvveti mukavemeti artmaktadır.
3. Klips açısı derinliği aynı olan numunelerde en/boy (W/D) oranı arttıkça kesme mukavemeti artmaktadır ve klips boyu aynı olan numunelerde en/boy (W/D) arttıkça kesme mukavemeti azalmaktadır.

4. Klips açısı derinliği arttıkça kesme mukavemeti artmaktadır ve klips açısı uzunluğu arttıkça kesme mukavemeti artmaktadır.
5. Birleşimlerde akıllı vida kullanımının birleşimin kesme mukavemetini artırdığı gözlemlenmiş olup, klips açılı birleşimlerde akıllı vida kullanılması kesme mukavemetinde önemli bir rol oynamaktadır.
6. En/boy oranı (W/D) 0,3 ile 0,57 arasında olan klips açılı plakalarda klips kaynak yırtılması ve kolon kaynak yırtılması durumları gözlemlenmiştir. En/boy oranı (W/D) 0,57'den büyük olan numunelerde klips açılı plaka yırtılması gözlemlenmiştir.
7. Klips açısı yüksekliği ve kalınlığı azaldıkça kiriş eksenel burkulması gözlemlenmiştir.
8. Klips açısı kalınlığı arttıkça vida sıyırma durumları azaldı ve daha fazla kesme mukavemeti gözlemlenmiştir.
9. Kaynaklı ve akıllı vidalı klips açıları için tasarım kesme sınırı ve boyutsuz narinlik sınırı sırasıyla $\lambda_{maks} = 0,510$ ve $V_{exp} = 0,526V_y$ olarak önerilmiştir.
10. Kaynaklı ve akıllı vidalı klips açıları, vidalı ve cıvatalı birleşimlere göre nispeten daha küçük yer değiştirmeleri ve daha büyük kesme mukavemetleri göstermiştir. Buda kaynağın birleşim rijitliğine katkısını göstermektedir.
11. Klips açılarında tek taraflı kaynaklı birleşimlere göre üç taraflı kaynaklı birleşimlerin kesme mukavemeti ve yer değiştirme konusunda daha verimli olduğu görülmüştür.
12. Karşılık gelen tasarım kesme dayanımı değerini elde etmek için LRFD, LSD ve ASD yöntemleri için direnç ve güvenlik faktörleri sırasıyla 0,646, 0,543 ve 2,475 olarak değerlendirilmiştir.
13. Klips açılı birleşimlerde görsel, ağırlık ve güvenlik bakımından en uygun ebatlar 2*150*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.
- Chung, K. F. ve Lawson, R. M. 2000. Structural performance of shear resisting connections between cold-formed steel sections using web cleats of cold-formed steel strip. *Engineering Structures*, 22(10), 1350–1366.
- Huang, Y. ve Young, B. 2014. The art of coupon tests. *Journal of Constructional Steel Research*, 96, 159–175.
- Laboube, R. ve Mills, J. 2004. Self-drilling screw joints for cold-formed channel portal frames. *Journal of Structural Engineering*, 130(11), 1799–1806.
- Lennon, R., Pedreschi, R., ve Sinha, B. P. 1999. Comparative study of some mechanical connections in cold formed steel. *Construction and Building Materials*, 13(3), 109–116.
- 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. ve Abbasi, M. 2021. Numerical modeling on thin-walled cold-formed steel clip angles subjected to pull-out failures. *Thin-Walled Structures*, 164, 107716.
- Teh, L. H. ve Clements, D. D. A. 2012. Block shear capacity of bolted connections in cold-reduced steel sheets. *Journal of Structures Engineering*, 138(4), 459–467.
- 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.
- 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.
- 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.
- Zhang, W., Mahdavian, M., Yousof, M. ve Cheng Y. 2018. Testing and design of cold-formed steel clip angles in tension: Pull-over and serviceability. *Thin-Walled Structures*, 124, 13–19.