



**HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE  
VİDALI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN  
DENEYSEL DAVRANIŞI**

**Muhammet Semih SOLAK**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU**

**2019  
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE VİDALI KİRİŞ-KOLON  
BİRLEŞİMLERİNİN DENEYSEL DAVRANIŞI**

**Muhammet Semih SOLAK**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**

**Erzurum**

**2019**

**Her hakkı saklıdır**

**T.C.**  
**ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**TEZ ONAY FORMU**

---

**HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE VİDALI KİRİŞ-KOLON  
BİRLEŞİMLERİNİN DENEYSEL DAVRANIŞI**

Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU danışmanlığında, Muhammet Semih SOLAK tarafından hazırlanan bu çalışma 06 / 09 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ana Bilim Dalı Seçiniz Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN *İmza* :

Üye : Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU *İmza* :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KILIÇ *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

**Doç. Dr. Arzu GÖRMEZ**

**Enstitü Müdürü**

Bu tez çalışması ..... tarafından ..... nolu proje ile desteklenmiştir.

## **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.

06 / 09 / 2019

Muhammet Semih SOLAK

## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

### HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE VIDALI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN DENEYSEL DAVRANIŞI

Muhammet Semih SOLAK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU

Bu çalışmada, soğuk haddelenmiş çelik yapılarda akıllı vida ile birleştirilen kolon-kiriş birleşimlerin davranışı incelenmiştir. Mevcut literatürde geleneksel olarak kullanılan bulonlu birleşimler hakkında yeterli çalışmaların olmasına rağmen vidalı birleşimlerin sınırlı sayıda çalışmaları olduğu gözlemlenmiştir. Birleşimlerin yapısal davranışını belirlemek için 4 farklı kalınlığa sahip soğuk haddelenmiş çift C profil kiriş profili ve 3 farklı kalınlıkta guse levhası farklı konfigürasyonlar kullanarak toplamda 12 adet deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada birleşimlerin gerçek davranışını elde edebilmek için tam ölçekli numuneler kullanılmıştır. Birleşimin davranışı moment-dönme eğrileri kullanılarak rijitlik, enerji yutma kapasitesi, sünekliği gibi karakteristik değerleri incelenmiş ve meydana gelen göçme modları yorumlanmıştır. Deney sonuçları kiriş profil kalınlığının ve guse levhası kalınlığının artması moment dayanımını, dönme rijitliğini ve dönme kapasitesine etki ettikleri görülmüştür.

**2019, 75 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Hafif Çelik Çerçeveler, Akıllı Vida, Deneysel Çalışma, Moment-Dönme

## ABSTRACT

MS. Thesis

### EXPERIMENTAL BEHAVIOR OF SCREWED BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS IN COLD-FORMED STEEL FRAMES

Muhammet Semih SOLAK

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Merve SAĞIROĞLU

In this study, the behavior of column-beam joints joined by smart screws in cold rolled steel structures were investigated. Although there are sufficient studies on traditionally used bolted joints in the current literature, it has been observed that there are limited studies on screw joints. In order to determine the structural behavior of the joints, a total of 12 experiments carried using 4 different thickness cold rolled double C section beam profiles and 3 different thickness gusset plates with different configurations. In those experiments, full scale samples were used to obtain the actual behavior of the joints. The behavior of the combination is analyzed by using moment-rotation curves and characteristic values such as stiffness, energy absorption capacity and ductility are examined and the resulting failure modes are interpreted. Experimental results showed that increase in beam profile thickness and gusset plate thickness had an effect on moment strength, rotational stiffness and rotational capacity.

**2019, 75 page**

**Keywords:** Cold-Formed Steel Frames, Self-Drilling Screw, Experimental, Moment-Rotation

## TEŞEKKÜR

Tez yöneticiliğimi üstlenip, çalıőmalarım da bana yardımcı olan ve tecrübesinin esirgemeyen saygı değer danıőmanım Sayın Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU'na en samimi duygularım ile teőekkürlerimi sunarım.

Önemli yardım ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN, Dr. Mahyar MAALİ ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KILIÇ'a őükranlarımı sunarım.

Deney profillerinin montajı ve malzeme temininden dolayı Gençler Metal LTD őTİ'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalıőmamın her aşamasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen eőim Dr. Damlanur SOLAK , İnşaat müh. Servet Meriç KÜRőAD ve Endüstri müh. Serdar ÇELİK'e teőekkürlerimi sunarım.

**Muhammet Semih SOLAK**  
Ağustos 2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
1.2. Hafif Çelik Yapılar.....	2
1.2.1. Hafif çelik yapılarda kullanılan profiller.....	4
1.2.2. Hafif çelik yapılarda birleşimler .....	5
1.2.2.1. Vidalı birleşimler .....	6
1.2.2.2. Perçinli Birleşimler .....	12
1.2.2.3. Kaynaklı birleşimler.....	13
1.2.2.4. Bulonlu birleşimler.....	14
1.2.2.5. Rozetli birleşimler .....	15
1.3. Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması .....	16
1.3.1. Mafsallı birleşimler .....	17
1.3.2. Rijit birleşimler .....	17
1.3.3. Yarı-rijit Birleşimler .....	18
1.4. İnce Cidarlı Hafif Çelik Yapı Elemanların Göçme Modları.....	20
1.4.1. Hafif çelik yapıların gövde profillerinde yerel burkulma .....	20
1.4.2. Hafif çelik yapılarda burulma .....	22
1.4.3. Hafif çelik yapılarda gövde profilinin buruşması .....	23
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>25</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>28</b>
3.1. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar.....	28
3.1.1. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT) .....	28
3.1.2. Gerinim pullarını (Strain gauge) .....	29
3.1.3. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell).....	30



3.1.4. Veri toplama sistemi (Data Logger).....	32
3.2. Deney Düzeneği .....	33
3.3. Deneysel Verilerin Formüller Kullanılarak Verilere Aktarılması .....	35
3.4. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Özellikleri .....	36
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>38</b>
4.1. Birleşim Tipi .....	38
4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Moment-Dönme Eğrileri .....	41
4.2.1. Tp2 Grubu karşılaştırmaları .....	41
4.2.2. Tp3 Grubu karşılaştırmaları .....	46
4.2.3. Tp4 Grubu karşılaştırmaları .....	51
4.2.4. Tp2, Tp3 ve Tp4 gruplarının karşılaştırılması .....	56
4.3. Göçme Modları .....	64
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	69
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>75</b>
EK-1: Tezden Üretilmiş Yayınlar .....	75
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>76</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	Kirişin yüksekliği
E	Elastisite modülü
b	Profil başlık genişliği
G	Kayma modülü
H	Yapı üzerine gelen esas yükler
I	Kirişin atalet momenti
KR (knee-range)	Diz Bölgesi
L	Kiriş açıklığı
M	Moment
$M_{j,max}$	Maksimum moment dayanımı
$M_{Rd}$	Eğilme moment dayanımı
$\Theta$	Dönme
P	Eksenel yük
$S_{j,ini}$	Elastik bölge rijitliği
t	Et kalınlığı
$S_{j,p-1}$	Plastik bölge rijitliği
$\delta$	Deplasman
$\vartheta_j$	Birleşim sünekliği
$\vartheta_{J,MAX,LOAD}$	Maksimum yük sünekliği
$\Theta_r$	Dönme açısı
$\Theta_{Cd}$	Dönme kapasitesi
$\Theta_{Min . K.R.}$	Elastik bölgenin dönme rijitliği
$\Theta_{Mj,max}$	Maksimum dönme
$\Theta M_{Rd}$	Bu momente karşılık gelen dönme
$\Theta_{Msup.k.R}$	Dönme rijitlik plastik bölgesi
°	Derece
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre

Rad	Radyan
kNm	Kilo Newton Metre
P	Basınç



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Soğuk bükme makinesi.....	3
Şekil 1.2. Merdaneli biçimleme makinesi ve soğuk şekil verme sistem elemanları.....	3
Şekil 1.3. Hafif çelik yapıda kullanılan profiller .....	4
Şekil 1.4. Sac panel tipleri .....	5
Şekil 1.5. Sandviç panelin kısımları .....	5
Şekil 1.6. Akıllı vidaların uygulanması a) Çıkıntılı dış kaplama b) Döşeme kaplama c) V giriş çatı kaplama d) Oluklu çatı kaplama.....	6
Şekil 1.7. Vidalı birleşimlerde çekme ve kesme modu a) Çekme modu b) Çekme kuvveti c) Kesme modu d) Kesme kuvveti .....	7
Şekil 1.8. Akıllı vida uçları a) Matkap uçlu vida b) Kendinden dış açan vida .....	7
Şekil 1.9. Vida yuvasının bozulması a) Birleşim elemanı önünde malzemenin yığılması b) Vida yuvasının uzaması .....	9
Şekil 1.10. Levhanın çekme kuvveti etkisiyle göçmesi.....	9
Şekil 1.11. Birleşim elemanının kesilmesi.....	10
Şekil 1.12. Birleşimin kopması.....	10
Şekil 1.13. Eğilme ve sıyrılma göçme modu .....	10
Şekil 1.14. Vidanın sıyrılarak göçmesi .....	11
Şekil 1.15. Birleştirme elemanının göçmesi .....	11
Şekil 1.16. Çekme ve sıyrılma göçme modu .....	12
Şekil 1.17. Perçinli birleşim tipi .....	13
Şekil 1.18 Ark kaynağı çeşitleri: a) Uç uca eklenmiş dikişli kaynak; b) Ark nokta kaynakları; c) Bindirme dikiş kaynakları; d) Köşe kaynağı; e) Kıvrık alın birleşim kaynağı; f) Kıvrık V dikiş kaynağı .....	13
Şekil 1.19. Bulon çeşitleri a) Geleneksel yüksek mukavemetli bulon b) Kolon birleşimde tek taraflı bulon c) Manşonlu tek taraflı bulon d) Mafsallı tek taraflı bulon e) Sabit dişli bulon.....	14
Şekil 1.20. Hafif çelik yapılarda bulonlu birleşimlerin göçme modları a) Levhanın blok halinde yırtılarak göçmesi b) Bulon yuvasının genişleyerek göçmesi c) Levhanın yırtılarak göçmesi d) Bulonların kesilerek göçmesi ...	15
Şekil 1.21. Rozetli birleşim ve rozetli birleşim yapım yöntemi .....	16
Şekil 1.22. Birleşimlerin doğrusal olmayan davranış bölgeleri.....	16

<b>Şekil 1.23.</b> Mafsallı birleşime ait M- $\Phi$ diyagramı .....	17
<b>Şekil 1.24.</b> Rijit birleşime ait M- $\Phi$ diyagramı .....	18
<b>Şekil 1.25.</b> Yarı-rijit birleşime ait M- $\Phi$ diyagramı .....	18
<b>Şekil 1.26.</b> Mafsallı birleşime ait yükleme durumu ve moment (M) diyagramı .....	19
<b>Şekil 1.27</b> Yarı-rijit birleşime ait yükleme durumu ve moment (M) diyagramı.....	19
<b>Şekil 1.28.</b> Hafif çelik yapılarda C profillerinde burkulma türleri ve oluşturdukları dalga boyları.....	20
<b>Şekil 1.29.</b> Eksenel basınç altındaki bir C profilin burkulma modları tekli modlar: a)Yerel (L), b) Çarpılmalı (D), c) Eğilme (F), d) Burulma e)Eğilmeli burulmalı (FT) Birleşik modlar: f) L+D, g) F+L, h) F+D, i) FT+L, j) FT+D, k) F+FT .....	21
<b>Şekil 1.30.</b> Genelleştirilmiş kiriş teorisine göre deformasyon modunun düzlemsel şekilleri a) C profil b) Z profil (Basaglia et al. 2013) .....	22
<b>Şekil 1.31.</b> Burulma deformasyonları a) Kaçıklık verilerek yüklenmiş bir kiriş ve b) Eksenel yüklenmiş bir kolonun burulma şekil değiştirmeleri.....	23
<b>Şekil 1.32.</b> Bir C ve I profilinin yükleme bölgesi altındaki gövde profil buruşması.....	24
<b>Şekil 3.1.</b> Dijital deplasman ölçüm cihazı (LVDT).....	29
<b>Şekil 3.2.</b> Gerinim pulları .....	30
<b>Şekil 3.3.</b> Gerinim pulları yerleştirilmesi.....	30
<b>Şekil 3.4.</b> Hidrolik pompa.....	31
<b>Şekil 3.5.</b> Yük hücresinin yandan görünümü.....	31
<b>Şekil 3.6.</b> Piston elemanının yandan görünüşü .....	32
<b>Şekil 3.7.</b> Veri toplama sistemi (datalogger) .....	33
<b>Şekil 3.8.</b> Gazaltı kaynağı .....	34
<b>Şekil 3.9.</b> Deney düzeneği .....	35
<b>Şekil 3.10.</b> LVDT cihazlarının yerleştirilmesinin gösterimi.....	36
<b>Şekil 3.11.</b> Moment-dönme Eğrisi .....	37
<b>Şekil 4.1.</b> Deney birleşim tipi .....	39
<b>Şekil 4.2.</b> Birleşim detayları.....	39
<b>Şekil 4.3.</b> Kirişin yandan görünüşü ve guse levhası detayları .....	40
<b>Şekil 4.4.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t1-1 (No: 1) .....	42
<b>Şekil 4.5.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t1,5-2 (No: 2) .....	43
<b>Şekil 4.6.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t2-3 (No: 3) .....	43

<b>Şekil 4.7.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t2,5-4 (No: 4) .....	44
<b>Şekil 4.8.</b> Moment-dönme eğrisi Tp2-t1-1, Tp2-t1,5-2, Tp2-t2-3 ve Tp2-t2,5-4'ün karşılaştırmaları.....	44
<b>Şekil 4.9.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t1-5 (No: 5) .....	47
<b>Şekil 4.10.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t1,5-6 (No: 6) .....	47
<b>Şekil 4.11.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t2-7 (No: 7) .....	48
48	
<b>Şekil 4.12.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t2,5-8 (No: 8) .....	48
<b>Şekil 4.13.</b> Moment-dönme eğrisi Tp3-1-5, Tp3-t1,5-6, Tp3-t2-7 ve Tp3-t2,5-8 'in karşılaştırmaları.....	49
<b>Şekil 4.14.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t1-9 (No: 9) .....	52
<b>Şekil 4.15.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t1,5-10 (No: 10) .....	52
<b>Şekil 4.16.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t2-11 (No:11) .....	53
<b>Şekil 4.17.</b> Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t2,5-12 (No:12) .....	53
<b>Şekil 4.18.</b> Moment-dönme eğrisi Tp4-t1-9, Tp4-t1,5-10, Tp4-t2-11 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırmaları .....	54
<b>Şekil 4.19.</b> Moment-dönme eğrisi Tp2-t1-1, Tp3-t1-5 ve Tp4-t1-9'un karşılaştırmaları.....	59
<b>Şekil 4.20.</b> Moment-dönme eğrisi Tp2-t1,5-2, Tp3-t,5-6 ve Tp4-t1,5-10'nun karşılaştırmaları.....	60
<b>Şekil 4.21.</b> Moment-dönme eğrisi Tp2-t2-3, Tp3-t2-7 ve Tp4-t2-11'in karşılaştırmaları.....	62
<b>Şekil 4.22.</b> Moment-dönme eğrisi Tp2-t2,5-4, Tp3-t2,5-8 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırmaları.....	63
<b>Şekil 4.23.</b> Göçme modu deney Tp2-t1-1 (No: 1) .....	64
<b>Şekil 4.24.</b> Göçme modu deney Tp2-t1,5-2 (No: 2) .....	65
<b>Şekil 4.25.</b> Göçme modu deney Tp2-t2-3 (No: 3) .....	65
<b>Şekil 4.26.</b> Göçme modu deney Tp2-t2,5-4 (No: 4) .....	65
<b>Şekil 4.27.</b> Göçme modu deney Tp3-t1-5 (No: 5) .....	66
<b>Şekil 4.28.</b> Göçme modu deney Tp3-t1,5-6 (No: 6) .....	66
<b>Şekil 4.29.</b> Göçme modu deney Tp3-t2-7 (No: 7) .....	66
<b>Şekil 4.30.</b> Göçme modu deney tp3-t2,5-8 (No: 8) .....	67
<b>Şekil 4.31.</b> Göçme modu deney Tp4-t1-9 (No: 9) .....	67

<b>Şekil 4.32.</b> Göçme modu deney Tp4-t1,5-10 (No: 10) .....	67
<b>Şekil 4.33.</b> Göçme modu deney Tp4-t2-11 (No:11) .....	68
<b>Şekil 4.34.</b> Göçme modu deney Tp4-t2,5-12 (No:12) .....	68



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Vida no ve genişlik .....	8
Çizelge 1.2. Birleşimlerin kesme testindeki tipik göçme sonuçları.....	8
Çizelge 4.1. Deney elemanları ve detayları .....	40
Çizelge 4.2. Tp2 grubu deney sonuçları .....	45
Çizelge 4.3. Tp2 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları .....	45
Çizelge 4.4. Tp3 grubu deney sonuçları .....	50
Çizelge 4.5. Tp3 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları .....	50
Çizelge 4.6. Tp4 grubu deney sonuçları .....	55
Çizelge 4.7. Tp4 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları .....	55
Çizelge 4.8. Tp2, Tp3 ve Tp4 grupları için deney sonuçları .....	57
Çizelge 4.9. Tp2-t1-1, Tp3-t1-5 ve Tp4-t1-9'un karşılaştırılması.....	58
Çizelge 4.10. Tp2-t1,5-2, Tp3-t,5-6 ve Tp4-t1,5-10'nun karşılaştırılması.....	60
Çizelge 4.11. Tp2-t2-3, Tp3-t2-7 ve Tp4-t2-11'in karşılaştırılması.....	61
Çizelge 4.12. Tp2-t2,5-4, Tp3-t2,5-8 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.13. Deneysel çalışmalarda meydana gelen göçme modları.....	68



### 1. GİRİŞ

#### 1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde inşaat teknolojisi yeni malzemeler ve yöntemlerle gelişmeye devam etmektedir. Çelik taşıyıcı sistemleri de gün geçtikçe gelişmeye devam etmekte ve beraberinde birçok yapısal sorunu da ortadan kaldırmaktadır. Fabrika, depo, spor tesislerinde, hangarlarda ve endüstriyel yapıların imalatlarında çelik yapı sistemleri kullanılmaktadır. Bu yapı sistemi, iki ana yapısal eleman olarak birbirinden ayrılmaktadır. Bunlardan biri geleneksel olarak kullanılan sıcak haddelenmiş yapı çeliği diğeri ise soğuk haddeleme ve soğuk bükme yöntemiyle üretilen hafif çelik yapı elemanlarıdır. Hafif çelik çerçeve sistemleri, sıcak haddelenmiş çerçeve sistemlerine göre oldukça hafif ve kolay montaj özelliğine sahiptir. Ayrıca farklı şekil ve konfigürasyona sahip profiller soğuk haddeleme yöntemiyle ekonomik olarak üretilebilmektedir. Ülkemizde hafif çelik yapılar inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen tasarım şartnamelerinde oldukça önemli eksiklikler bulunmaktadır. Hafif çelik yapıların kapsamlı olarak analizlerinin yapılabilmesi için birleşim davranışlarının öncelikli olarak incelenmesi gerekmektedir. Kolon-kiriş birleşimleri çelik yapıların genel anlamda davranışını belirleyen önemli unsurlardan birisidir. Yapısal analizlerde ve tasarımlarda birleşim davranışı, kuvvet aktarımına ve yapısal deformasyonlara olan etkileri nedeniyle özellikle ele alınmalıdır. Birleşimlerin üzerlerine gelen yükleri aktarabilmesi, bina deformasyonunu yerçekimi ve yanal kuvvetler altında sınırlandırmak için gereken rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle birleşimler hafif çelik yapılarının yapısal kararlılığını sağlayan en önemli unsurlardandır. Bu çalışmada, soğuk haddelenmiş çelik yapıda kiriş-kolon birleşimi, akıllı vida birleşim elemanı kullanılarak incelendi. Birleşimlerin yapısal davranışını belirlemek için 4 farklı kalınlığa sahip soğuk haddelenmiş çift C profil kiriş profili ve 3 farklı kalınlıkta guse levhası farklı konfigürasyonlar kullanarak toplamda 12 adet deneysel çalışma gerçekleştirildi. Yapılan bu çalışmada birleşimler gerçek davranışı elde edebilmek için tam ölçekli numuneler kullanıldı. Birleşimler moment-dönme eğrileri kullanılarak incelendi ve karakteristik özellikleri ifade edilerek karşılaştırmalar yapıldı.

### 1.2. Hafif Çelik Yapılar

Modern yaşamın kilit taşı olan çelik, 18. yy'de font demirinin inşaat sektöründe ilk kullanımıyla hayatımıza girmiştir. Mühendislerin ve mimarların çelik çerçeveli yapılara yönelmesi sınırsız tasarımını da beraberinde getirmiştir. Bu taşıyıcı sistemin yüksek mukavemete sahip olması küçük kesitlerin büyük açıklıklarda dahi yüksek performans göstermesini sağlamıştır. Diğer taşıyıcı sistemlere göre daha hafiftir bundan dolayı taşıma gücü düşük olan zeminlerde bile ekonomik bir yapıyı mümkün kılmış ve depreme karşı oldukça iyi davranış göstermiştir. Şantiye sahasında montajı hızlı ve hava şartlarından bağımsız olarak yapılabilmektedir. Ayrıca yeniden kullanılabilme ve geri dönüşüm özelliğine sahiptir.

Çelik yapıların taşıyıcı sistem elemanları mekanik özellikleri doğrultusunda sıcak ve soğuk haddeleme yöntemleriyle üretilmektedir. Haddeleme işlemi üst üste ya da art arda bulunan merdaneler sayesinde gerçekleştirilir. Soğuk haddeleme ile daha düşük sıcaklıklarda ihtiyaç duyulan elemanı plastik deformasyona uğratarak uygun mekanik özelliğe sahip olması sağlanır. Sıcak haddeleme ile üretilen elemanlarda yüksek sıcaklık nedeniyle eleman boyutlarında hatalar oluşabilmektedir. Soğuk haddeleme yöntemiyle ise daha düzgün ve hatasız boyutlarda eleman üretmek mümkündür. Tasarımın sağladığı özgürlük, üretilen elemanların daha fonksiyonel olarak çalışmasını ve kompleks birleşimlerin önüne geçilmesinde aktif rol almaktadır.

Soğuk şekillendirme tekniği ile dışardan bir güç uygulanarak malzemenin istenilen şekle girmesi sağlanır. Bu şekillendirme soğuk haddeleme ve soğuk bükme olarak iki tip yöntemden oluşmaktadır. Soğuk bükme sac malzemesinin ihtiyaç duyulan şeklin verilmesini sağlayan tezgâh sistemiyle gerçekleştirilir. Sıkıştırma işlemi için alt ve üst olmak üzere iki kalıp konumlandırılmıştır (Şekil 1.1).

## 1. GİRİŞ



Şekil 1.1. Soğuk bükme makinesi

Hidrolik kuvvet yöntemiyle farklı açılarda bükme işlemi yapılabilmektedir. Merdaneli biçimleme olarak ifade edilen soğuk haddeleme yöntemi istenilen kesit elde edilene kadar merdane çiftleri arasında işleme tabi tutulur.

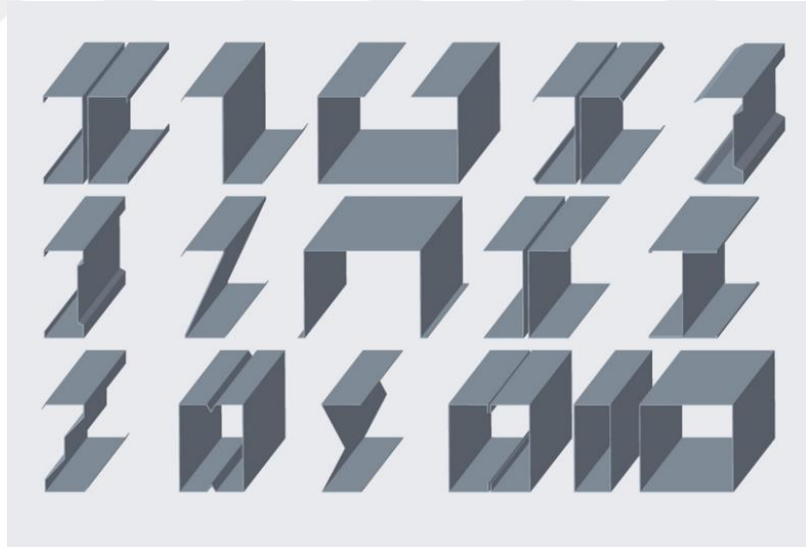
Şekil 1.2’de görüldüğü gibi sistemde bulunan her bir merdane çifti istasyon olarak adlandırılmaktadır. Malzeme kaybını büyük ölçüde azaltan bu sistem zaman kaybını da büyük oranda azaltmaktadır. Bu iki yöntemde kullanılarak taşıyıcı sistem ailesine ince cidarlı olan hafif çelik profiller de kazandırılmıştır.



Şekil 1.2. Merdaneli biçimleme makinesi ve soğuk şekil verme sistem elemanları

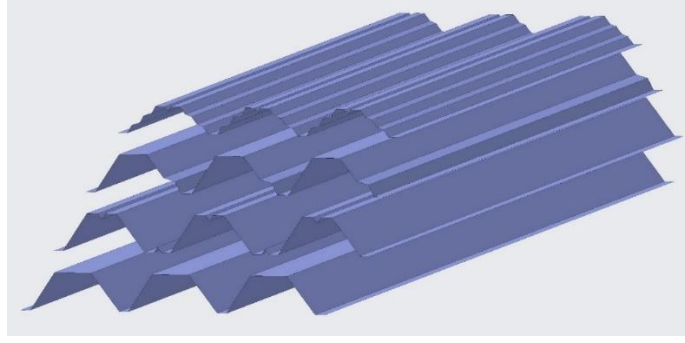
### 1.2.1. Hafif çelik yapılarda kullanılan profiller

Geleneksel yapı sistemlerine göre daha hafif olarak üretilen bu profiller ölü ağırlığın en aza indirilmesi için alternatif olarak üretilmiştir. Profil tip olarak standart şekillerin seçileceği gibi bir veya birkaç tipin birleştirilmesiyle oluşturulan yeni tip profillerinde oluşturulması mümkündür (Şekil 1.3). Piyasada en çok tercih edilen ve tedariki kolay olan C, Z ve U profillerdir. Standartlar net bir şekilde belirtilmiş galvanize sacdan üretilen kendine özgü özellikleri bulunan bu profillerin kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dayanıklılıkları oldukça üst düzeydedir. Otomotiv, kimya endüstrisi ve havacılık endüstrisi gibi birçok alandan beslenerek günümüzdeki pratik kullanım halini almıştır. Profillerin üretiminde tercih edilen uzunluk ise 6 metre ile 12 metre arasında değişmektedir. Profillerin kalınlığını ise 1-10 mm arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalınlık ölçümü yapılırken profil başlığının merkezinden ölçülmesi gerekmektedir.



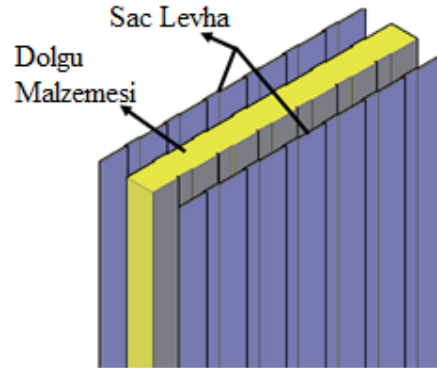
**Şekil 1.3.** Hafif çelik yapıda kullanılan profiller

Dış duvarlar, iç duvarlar, tavan ve çatı gibi birçok kısımda çeşitli formlarda yapılması mümkündür (Şekil 1.4). Piyasada 0,4 mm ile 1,5 mm arasında tedarik ve üretimi gerçekleştirilmektedir. İmalat süresini montaj kolaylığı sebebiyle büyük oranda düşürür. Uygulama sahasındaki kullanım ve yerine göre farklı birleşim elemanlarıyla montaj yapılması mümkündür.



**Şekil 1.4.** Sac panel tipleri

Yalıtım özelliği ve uzun ömürlü olması sebebiyle tercih edilen bu malzeme üç parça elemanın birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 1.5). Bu elemanlar alt ve üst sac levha ile arasındaki dolgu malzemesidir. Dolgu malzemesi tercihen cam yünü, polistren ve poliüreten dolgu sandviç panel olarak üretimi yapılmaktadır. Panelin yüzeyinde bulunan levhanın haddelerinin sayısı tercihen ve istenilen mukavemete göre artırılıp azaltılması mümkündür. Temizlenmesi ve anti bakteriyel özelliği oldukça yüksek bir malzemedir.



**Şekil 1.5.** Sandviç panelin kısımları

### 1.2.2. Hafif çelik yapılarda birleşimler

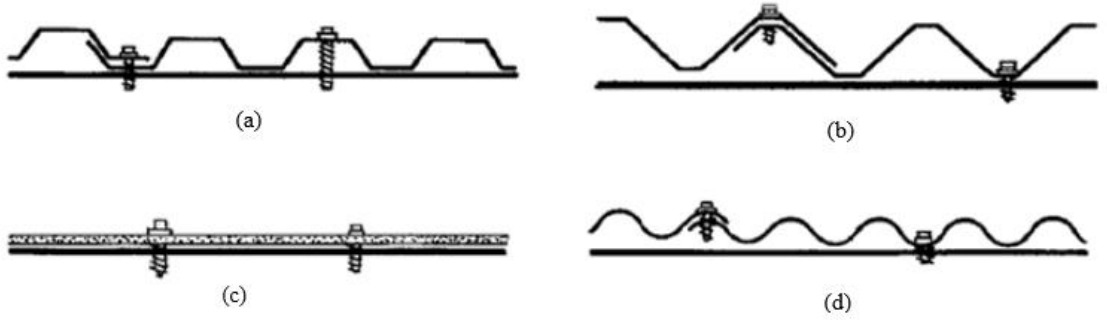
Hafif çelik yapı elemanları birleşim uygulamaları olarak sıcak haddelenmiş ağır çelik elemanlara göre farklı kuramlara sahiptir. Yapının karşılaşılabileceği bütün kuvvetler karşısında sahip olması gereken mukavemeti sağlaması için birleşim elemanı tercihi ve kullanımı oldukça kritiktir. Günümüz yapım işlerinde vida, bulon, punto, perçin, kaynaklı, çivili ve rozetli birleşim yöntemleri kullanılmaktadır. Birleşim tipi seçiminde

## 1. GİRİŞ

imalatın yapılacağı yer ve kullanım amacı göz önüne alınarak uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmelidir. En çok tercih edilen birleşimler ise kaynaklı, bulonlu ve vidalı birleşimlerdir.

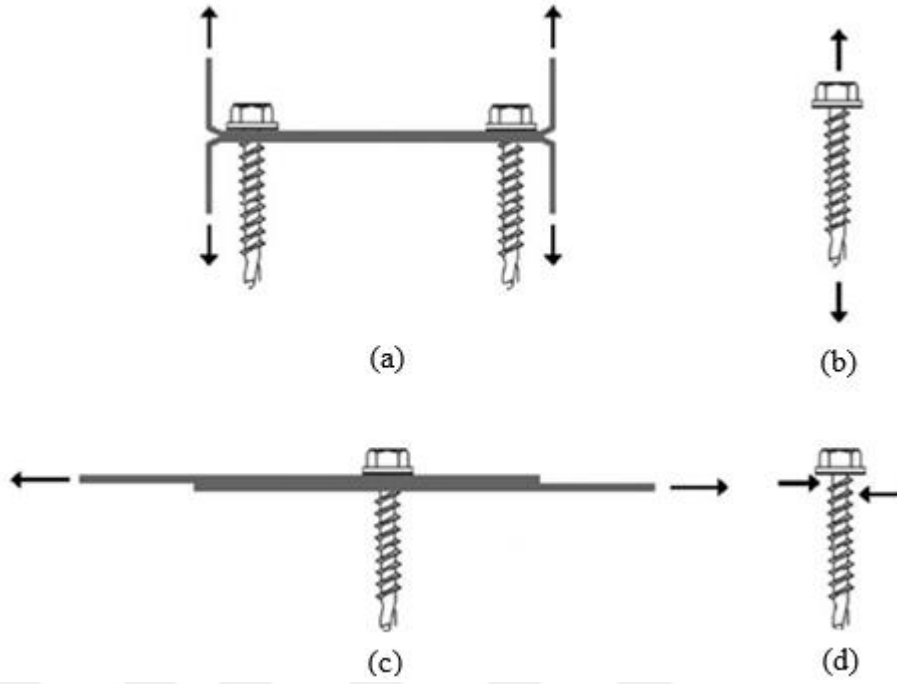
### 1.2.2.1. Vidalı birleşimler

Birleşimler yük aktarımını üstlenen ve işçilik olarak büyük emek gerektiren unsurlardır. Optimum tasarım için öncelikle birleşim elemanının belirlenmesi gerekmektedir. Vidalar iki ya da daha fazla elemanın birleşimini sağlayabilir. Sac kaplama ve çatı kaplamada en çok tercih edilen akıllı vidalardır. Vidalar Şekil 1.6'da görüldüğü gibi çıkıntılı ve düz cephelerde, V kiriş çatı kaplamalarda ve oluklu çatı kaplamalarda birleşim elemanı olarak kullanılmaktadır.



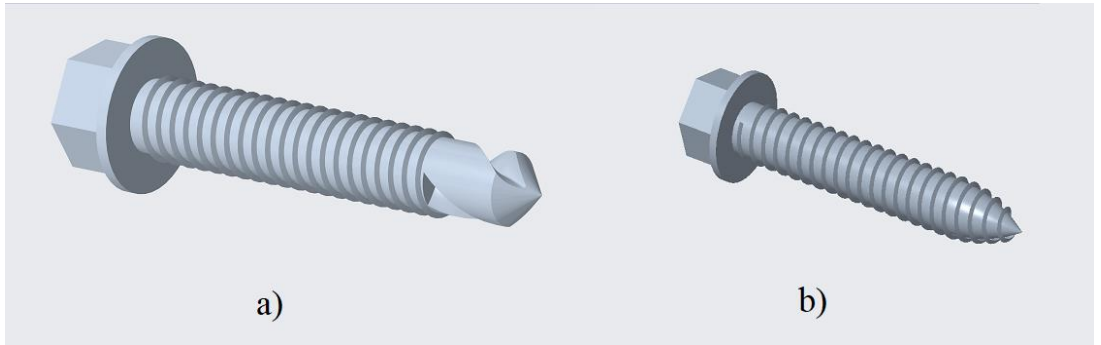
**Şekil 1.6.** Akıllı vidaların uygulanması a) Çıkıntılı dış kaplama b) Döşeme kaplama c) V kiriş çatı kaplama d) Oluklu çatı kaplama (Yu et al. 2010)

Kuvvetler birleşim noktalarına farklı yön ve eksenlerden etki ederek gerilmeler meydana getirir. Kuvvetlerin yönü elemanın uzun kenarına paralel olarak ve elemandan dışarı doğru etki ediyorsa çekme kuvveti uygulandığı ve birleşimlere etki eden kuvvetlerin yönünün vida boyuna dik ise kesme kuvvetine maruz kaldığı söylenebilir. Şekil 1.7'de vidaların çekme ve kesme modlarını göstermektedir.



**Şekil 1.7.** Vidalı birleşimlerde çekme ve kesme modu a) Çekme modu b) Çekme kuvveti c) Kesme modu d) Kesme kuvveti (Serrette et al. 2009)

Şekil 1.8’de gösterildiği gibi iki tip akıllı vida kullanılmaktadır. Bu tip vidalar bağlanacak olan elemanları daha önceden delik açılmasına gerek duyulmadan kendi dişleri ile delerek birleştirir. Birleştireceği elemanların özelliklerine uygun ebat ve tipte vida seçilir (Çizelge 1.1).



**Şekil 1.8.** Akıllı vida uçları a) Matkap uçlu vida b) Kendinden diş açan vida

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.1.** Vida no ve genişlik

Vida No	Vidaların Ortalama Çapı (mm)
No.6	3,505
No.8	4,165
No.10	4,826
No.12	5,486
1/4"	6,350

Vidalı birleşimlerde kesmeye maruz bırakıldıklarında birleşim elemanında, levhalarda ya da her ikisinde göçme modları meydana gelebilmektedir. Bu göçme modları Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

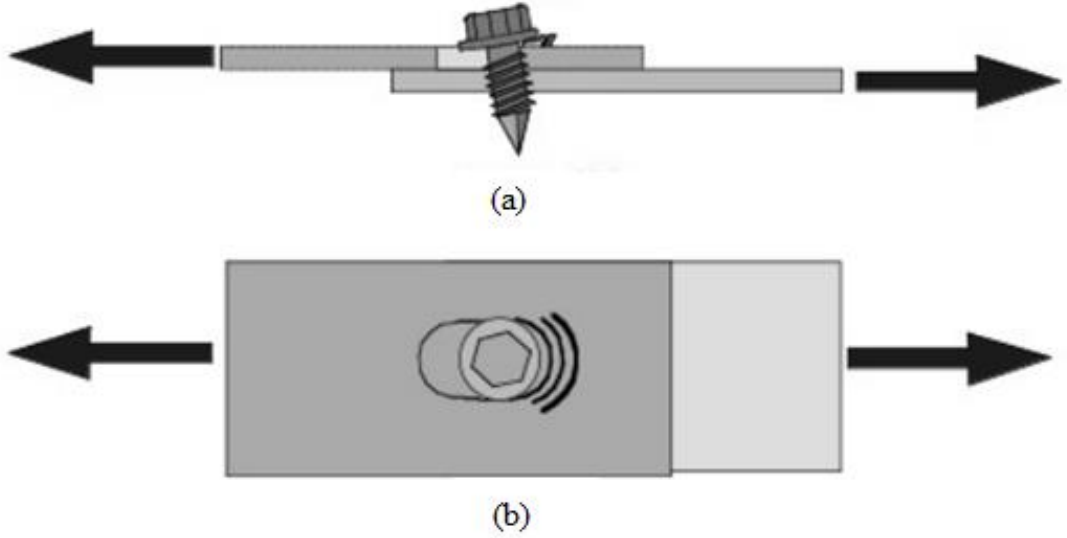
**Çizelge 1.2.** Birleşimlerin kesme testindeki tipik göçme sonuçları (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

Göçme modu	Deliliğin uzaması	Malzemenin ezilmesi	İncelme/yırtılma	Birleşim elemanının çıkması	Göçme bölgesi
Yuvanın bozulması	√	√			Levhalarından biri ya da her ikisi
Profilin yırtılması	√	√	√		Levhalarından biri ya da her ikisi
Birleşim elemanının kesilmesi					Birleşim elemanı
Birleşim elemanının kopması	√	√	√		Levhalarından biri ya da her ikisi
Eğilme ve sıyrılma				√	Levhalar arası ve birleşim elemanı



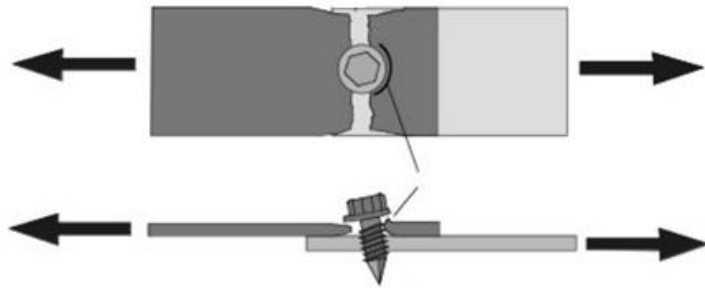
## 1. GİRİŞ

Hafif çelik yapılarda vidalı birleşimlerde yuvasının bozulması göçme modunda (Şekil 1.9) tipik özellik olarak; vida deliğinin uzaması, birleşim elemanı önünde malzemenin yığılması, levhanın düzlem dışına kıvrılması, olası diyagonal çatlakların birleşim elemanı ile bitişik olarak konumlanması, levhaların birinin ya da ikisinin birden göçmesi gözlemlenen durumlardır. Levhalarda ise incelme görülmez (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.9.** Vida yuvasının bozulması a) Birleşim elemanı önünde malzemenin yığılması b) Vida yuvasının uzaması (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

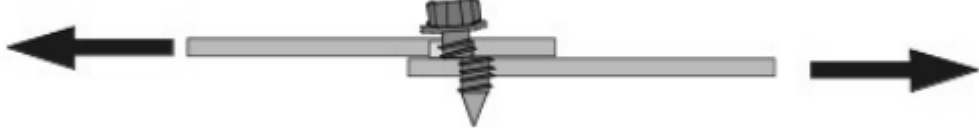
Hafif çelik yapılarda vidalı birleşimlerde levhanın çekme kuvveti etkisiyle göçmesi modunda (Şekil 1.10) ise; levha boyunca incelmesi, levha kalınlığının azalması ve levhaların birinin ya da her ikisinin de kopması mümkündür (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.10.** Levhanın çekme kuvveti etkisiyle göçmesi (TC 7 - TWG 7.10, 2009)

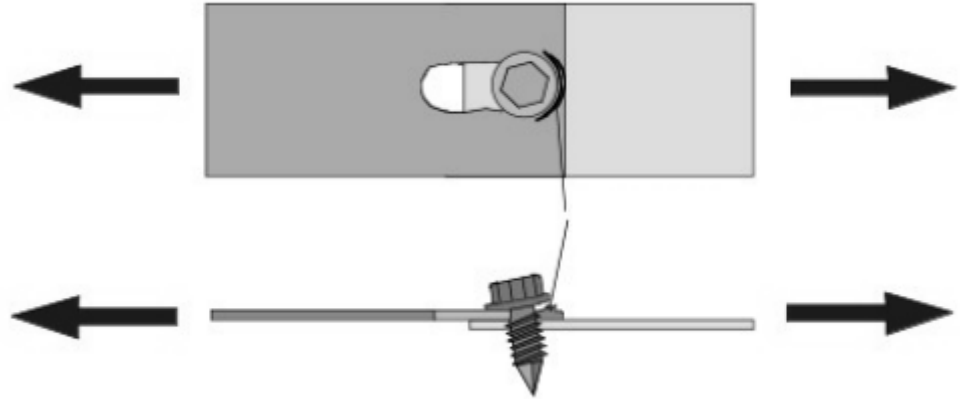
## 1. GİRİŞ

Hafif çelik yapılarda vidalı birleşimlerde birleşim elemanının kesilmesi (Şekil 1.11) göçme modunda dişlilerin arasında oluşan çatlaktan ya da birleşim elemanında oluşan boyunlaşma göçmeye neden olur (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.11.** Birleşim elemanının kesilmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

Hafif çelik yapılarda vidalı birleşimlerde birleşimin kopması göçme modunda (Şekil 1.12) tipik özellik olarak; vida yuvasının genişlemesi, levhanın uygulanan kuvvet yönünde yırtılması, malzemenin yırtılması ve levhaların birinin ya da her ikisinin de kopması görülür (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.12.** Birleşimin kopması (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

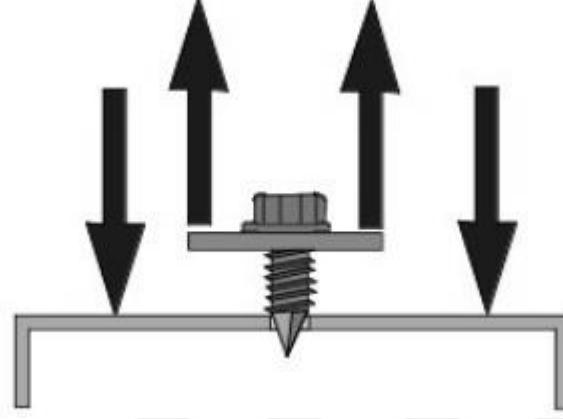
Hafif çelik yapılarda vidalı birleşimlerde eğilme ve sıyrıma göçme modunda (Şekil 1.13) tipik özellik olarak; levhaların kıvrılması ve birleşim elemanının alt tabakadan sıyrılmasıyla göçme modu meydana gelir (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.13.** Eğilme ve sıyrıma göçme modu (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

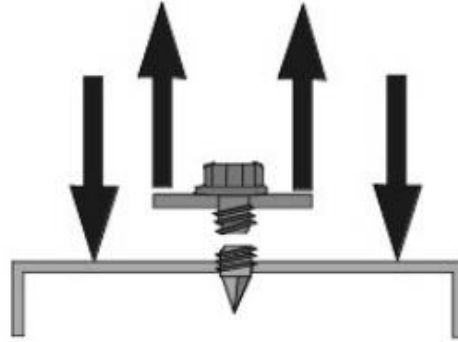
## 1. GİRİŞ

Hafif çelik yapılarda vidanın sıyrılarak göçme modunda (Şekil 1.14) tipik özellik olarak; vidanın alt tabakadan dişlilerinin sıyrılması, vida başlığının deformasyonu ve çelik profilin deformasyonu gözlemlenir (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



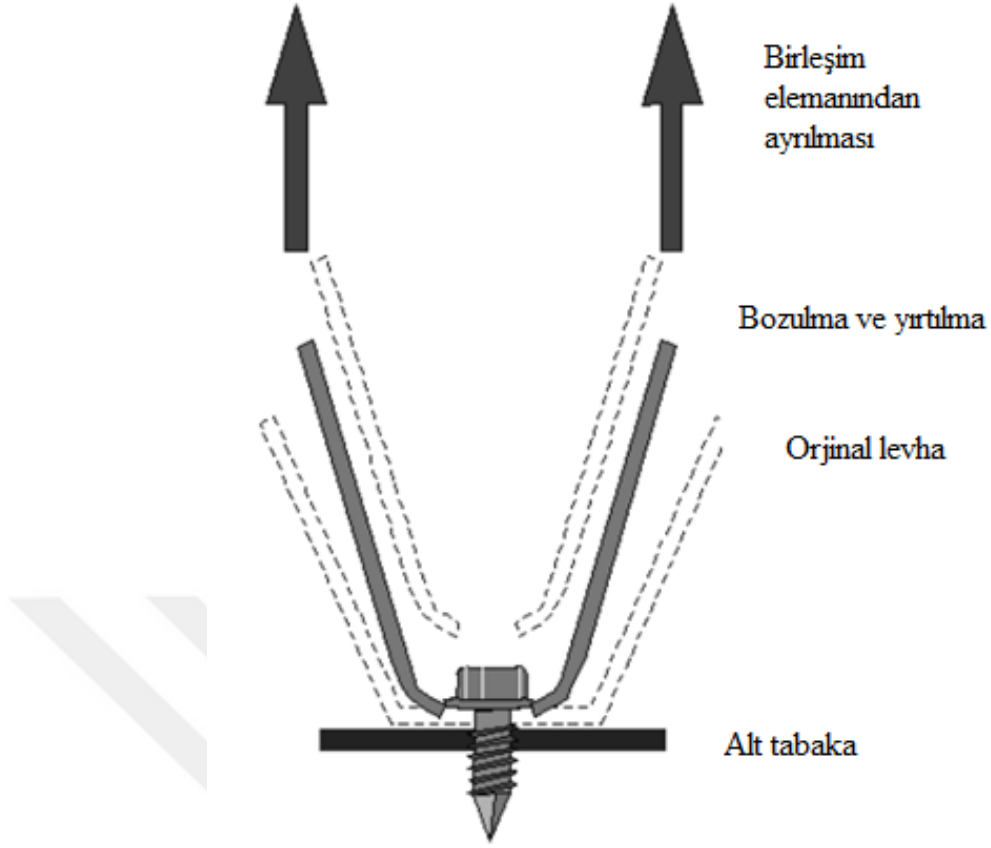
**Şekil 1.14.** Vidanın sıyrılarak göçmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

Hafif çelik yapılarda birleşim elemanının göçme modu (Şekil 1.15) birleşim elemanının kopması ve incilmesiyle meydana gelir (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.15.** Birleştirme elemanının göçmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

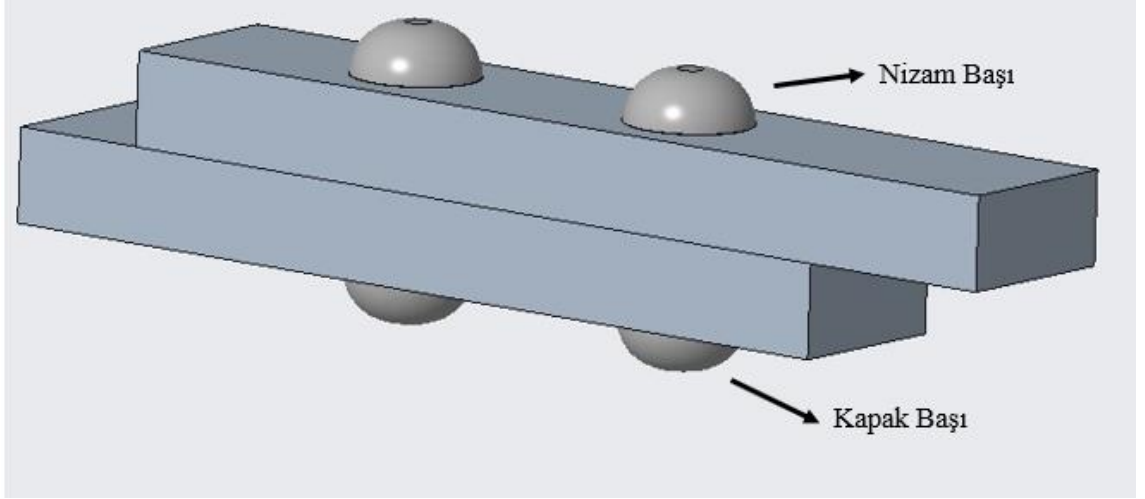
Çekme ve sıyrılma göçme modunda (Şekil 1.16) tipik özellik olarak; birleşim elemanının başlık kısmının temas ettiği levha yüzeyinin yırtılması ve bozulması, birleşim elemanının alt tabakadan geride kalması, profilin tamamen birleştirme elemanından sıyrılması gözlemlenir (TC 7 - TWG 7.10 , 2009).



**Şekil 1.16.** Çekme ve sıyrılma göçme modu (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

### 1.2.2.2. Perçinli Birleşimler

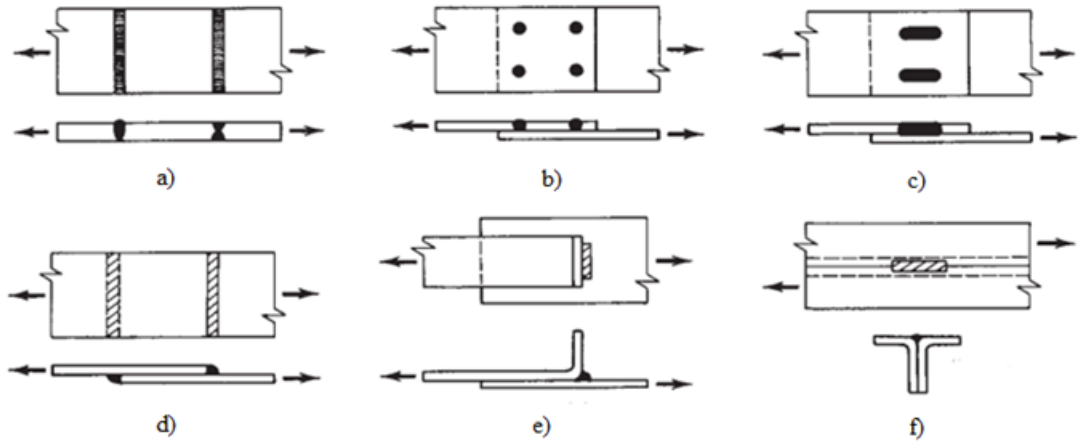
Perçinler iki veya daha fazla plaka arasında kalıcı bağlantılar yapmak için kullanılır. Bir başlık kısmı ve silindirik gövde elemanından oluşmaktadır. Çelik perçinler ısıtılarak montajlanır. Alüminyum ve bakır gibi daha yumuşak perçinler ise ısıtılmaya gerek duymadan montajlanabilir. Daha önceden delik açılan levhaların içerisine dövülerek yerleştirilen perçinin kapak başı yapılarak birbirlerine birleşimi yapılır (Şekil 1.17).



Şekil 1.17. Perçinli birleşim tipi

### 1.2.2.3. Kaynaklı birleşimler

Yapı inşaatı için kullanılan kaynaklar ark kaynakları ve basınç kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Ark kaynağı (Şekil 1.18) mekanik basınç veya darbeler uygulanmadan birleştirilecek yüzeylerde elektrot kullanılarak metallerin birbirlerine kaynaklandığı bir grup işlemdir. Basınç kaynağı, birleşmenin elektrotlar tarafından basınç altında bir arada tutulduğu iş parçaları yoluyla bir elektrik akımına karşı dirençten elde edilen ısı ile oluşturulan bir kaynak işlemleri grubudur (Yu et al. 2010).

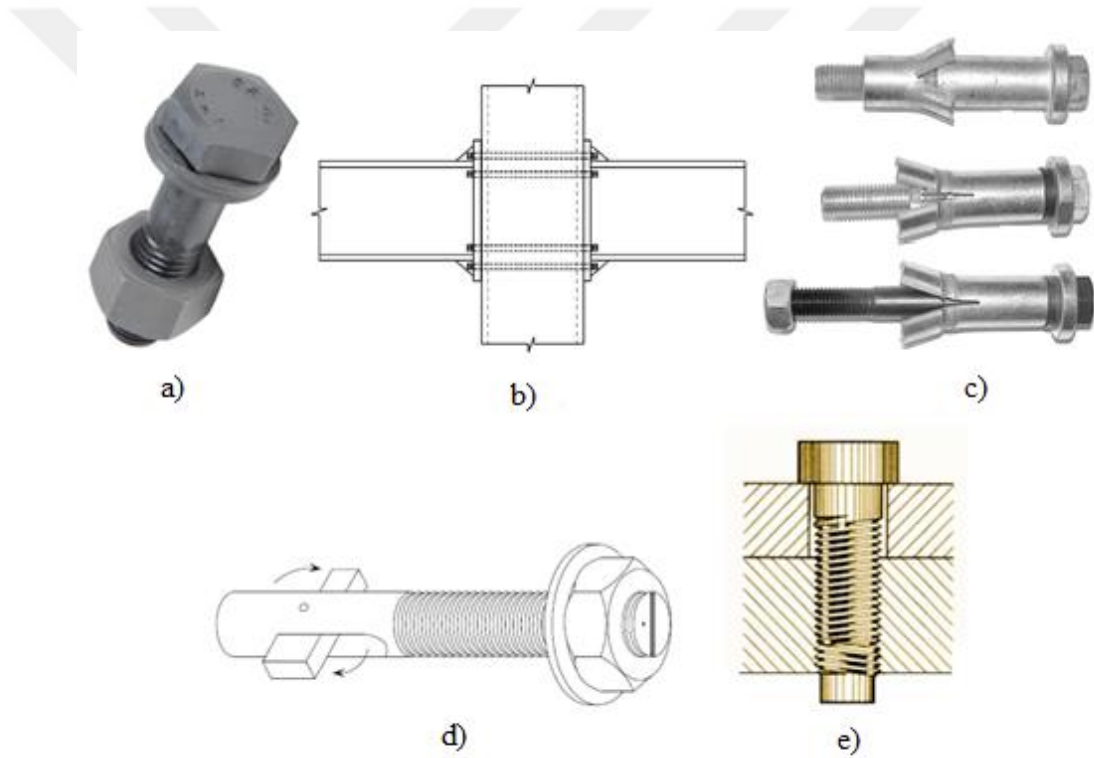


Şekil 1.18 Ark kaynağı çeşitleri: a) Uç uca eklenmiş dikişli kaynak; b) Ark nokta kaynakları; c) Bindirme dikiş kaynakları; d) Köşe kaynağı; e) Kıvrık alın birleşim kaynağı; f) Kıvrık V dikiş kaynağı (Yu et al. 2010)

### 1.2.2.4. Bulonlu birleşimler

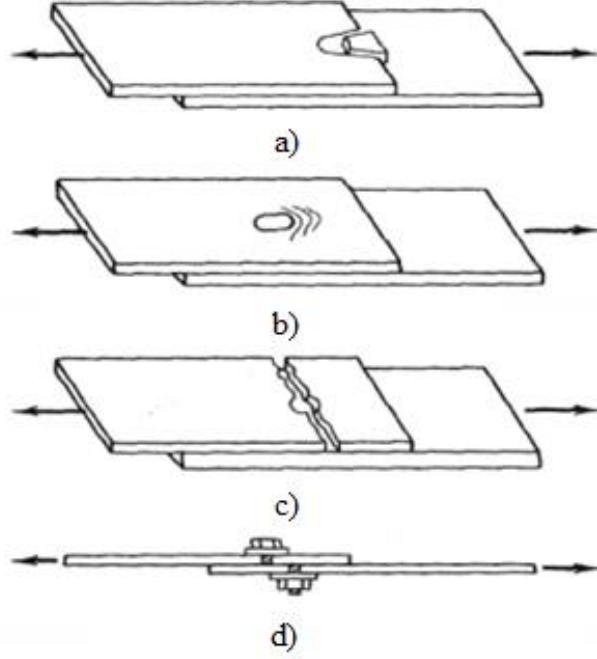
Bulonlar silindirik dişli gövdeli ve altı köşeli başlığı bulunan birleşim elemanlarıdır. İmalatın montajından sonra sökülüp tekrardan kullanılabilirler. Kolay montaj yapımından dolayı en sık kullanılan birleşim elemanlarından birisidir. Bulon tasarımı yapılırken çekme ve kesme kuvvetleri hesaba katılmalıdır (Wanga et al. 2019).

Çelik birleşimlerde kaba ve uygun bulon olmak üzere iki tip bulon kullanılır. Kaba bulonların gövde çapları delik çapından 1 mm kadar az, uygun bulonlarda ise gövde çapları delik çapıyla eşittir (Şekil 1.19).



**Şekil 1.19.** Bulon çeşitleri a) Geleneksel yüksek mukavemetli bulon b) Kolon birleşiminde tek taraflı bulon c) Manşonlu tek taraflı bulon d) Mafsallı tek taraflı bulon e) Sabit dişli bulon (Wanga et al. 2019)

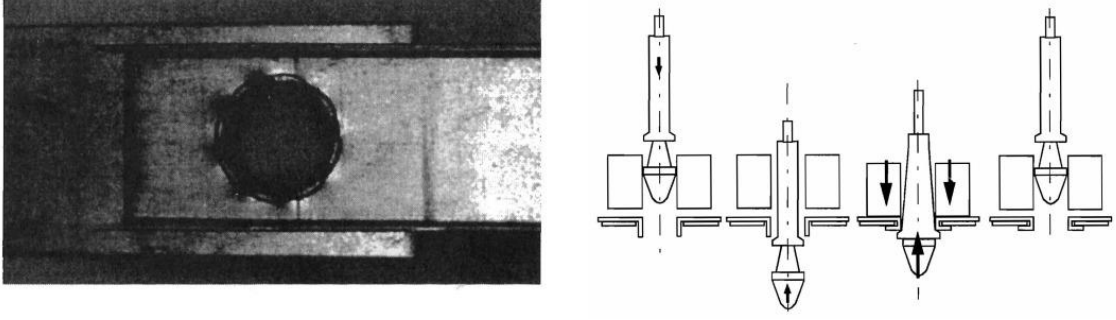
Hafif çelik yapılarda bulonlu birleşimlerde dört tipte göçme moduyla karşılaşılabılır. Bunlar Şekil 1.20’de gösterildiği gibi; Tip I Levhanın blok halinde yırtılarak göçmesi, Tip II Bulon yuvasının genişleyerek göçmesi, Tip III Levhanın yırtılarak göçmesi ve Tip IV Bulonların kesilerek göçmesi modudur (Yu et al. 2008).



**Şekil 1.20.** Hafif çelik yapılar da bulonlu birleşimlerin göçme modları a) Levhanın blok halinde yırtılarak göçmesi b) Bulon yuvasının genişleyerek göçmesi c) Levhanın yırtılarak göçmesi d) Bulonların kesilerek göçmesi (Yu et al. 2008)

### 1.2.2.5. Rozetli birleşimler

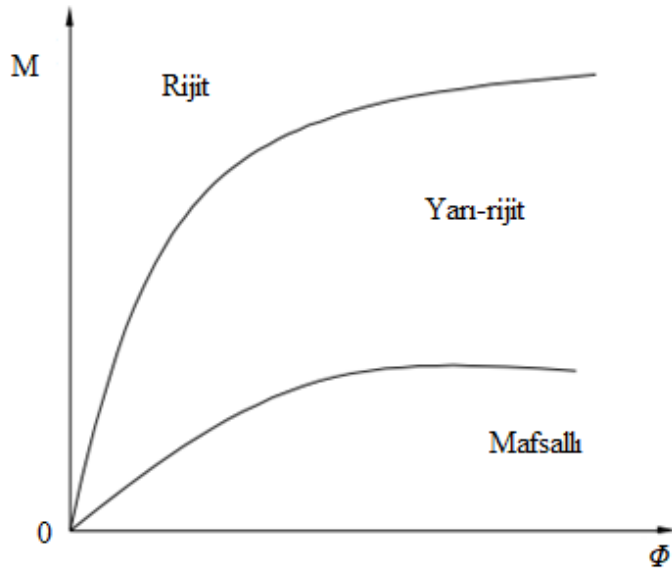
Rozetli birleşimler, ilave birleşim elemanına ihtiyaç duymadan kendi metal kısımlarıyla birleştirilir. Birleşik kısımdaki daha önceden hazırlanmış delikler ve diğer kısımdaki yakalı delikler arasında çiftler halinde oluşturulur. İlk olarak, yakalar deliklere tutturulur. Daha sonra Rozet takım başlıkları, birleşim noktalarındaki deliklerin içine sokulur, burada başlıklar genişler ve daha sonra hidrolik kuvvetle geri çekilir. Genişletilmiş rozet takım başlığı, yakaları dışa doğru kıvrır. Sıkıştırma sayesinde yakaların dişleri birleştirir (Makelainen et al. 1998). Rozetli birleşim ve yapım yöntemi Şekil 1.21'de gösterilmektedir.



Şekil 1.21. Rozetli birleşim ve rozetli birleşim yapım yöntemi (Makelainen et al. 1998)

### 1.3. Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması

Soğuk haddelenmiş olan hafif çelik yapılarda kolon-kiriş birleşimleri, yapısal deformasyonlara karşı önemli bir rol üstlenmektedir. Birleşimler, yapının maruz kaldığı aksenal kuvvetler, kesme kuvveti, dönme momenti ve burulma yüklerini kolon-kiriş elemanları arasında aktarma görevini gerçekleştirirler. Kolon-kiriş birleşimleri genellikle bulon, vida ve kaynak yöntemiyle oluşturulur. Yapısal hataların genellikle birleşim noktalarında görülmesi, birleşim davranışlarının dikkat edilmesi gereken önem hususlardan biri olduğunu göstermektedir. Birleşimlerin davranışlarını anlamak için üç tip modelleme yapılabilir. Bunlar; mafsallı, rijit ve yarı rijit birleşimlerdir. Her üç birleşim tipi de farklı doğrusal olmayan davranış eğrisi gösterecektir (Şekil 1.22).

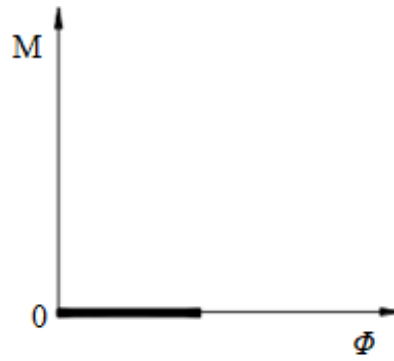


Şekil 1.22. Birleşimlerin doğrusal olmayan davranış bölgeleri (Bjorhovde et al. 1990)



### 1.3.1. Mafsallı birleşimler

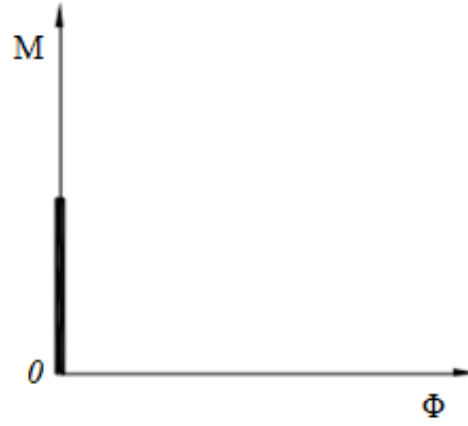
Tasarlanan düğüm noktasının yeterli rijitliğe sahip olmadığı ve yükleme altında kirişin basit kiriş gibi davrandığı birleşimlere mafsallı birleşim denir (Commission Of The European Communities Directorate General for Science, 1997). Mafsallı birleşimlerin düğüm noktalarında dönme meydana gelirken moment değeri ise Şekil 1.23'de gösterildiği gibi sıfır olarak kabul edilir. Fakat bu kabuller gerçek davranışı tam olarak yansıtmamaktadır



Şekil 1.23. Mafsallı birleşime ait M- $\Phi$  diyagramı (Coşkun, 2003).

### 1.3.2. Rijit birleşimler

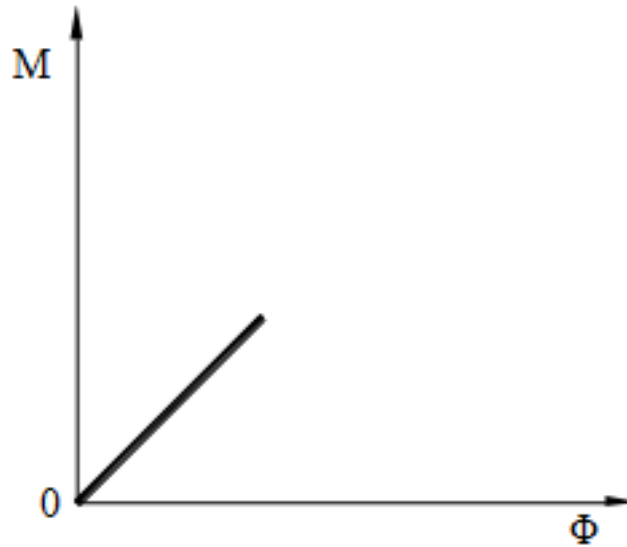
Eğer tasarlanan düğüm noktasının her tarafı yeterli rijitliğe sahip (ideal olarak sonsuz rijit) ve o düğüm noktasına bağlanan tüm yapısal elemanların belli yükleme altında dönmeleri eşit oluyorsa bu birleşim rijit birleşim olarak adlandırılır (Commission Of The European Communities Directorate General for Science, 1997). Etki eden moment kuvveti birleşen elemanları rijitliği oranında aktarılır. Rijit birleşimlerde moment oluşurken dönme meydana gelmez (Şekil 1.24).



**Şekil 1.24.** Rijit birleşime ait M- $\Phi$  diyagramı (Coşkun, 2003)

### 1.3.3. Yarı-rijit Birleşimler

Yapılar projelendirilirken düğüm noktalarını mafsallı veya rijit olarak tasarlamak şüphesiz ki birçok hesap kolaylığını da beraberinde getirmektedir. Ancak her ne kadar hesap kolaylığını beraberinde getirse de yapılan araştırmalar göstermiştir ki düğüm noktalarının davranışı gerçekte bu iki sınır değer arasında kalmaktadır. Bu davranış yarı-rijit davranış olarak adlandırılır (Coşkun, 2003). Moment aktarımının ve dönme olayının kısmen birlikte gerçekleştiği birleşimlerdir (Şekil 1.25).

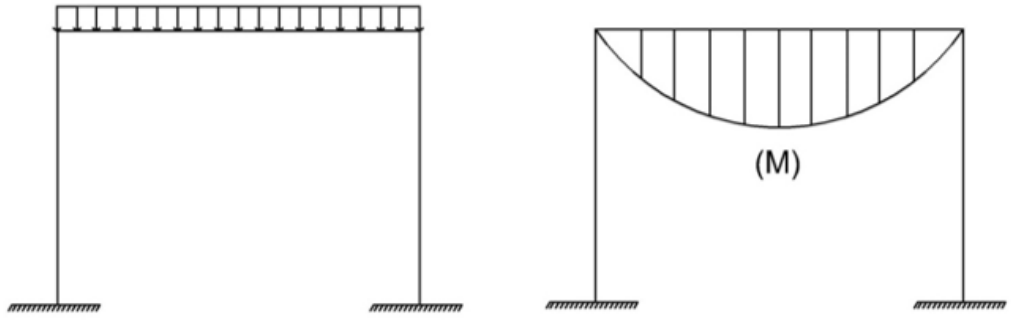


**Şekil 1.25.** Yarı-rijit birleşime ait M- $\Phi$  diyagramı (Coşkun, 2003)

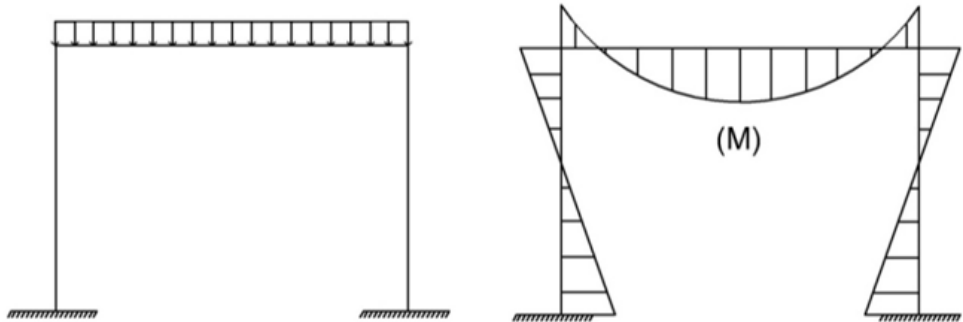
## 1. GİRİŞ

Yapılan araştırmalar kolon-kiriş birleşimlerinin yarı-rijit olarak çözümlenmesi kesit değerlerinin düşmesine ve ekonomik olarak kazanç sağlayacağını göstermektedir. Yarı-rijit birleşim davranışının kullanılması düğüm noktalarına etki eden bütün kuvvetlerin bilinmemesinden dolayı tasarımcılara daha güvenli bir tasarım seçeneği sunmaktadır.

Yapı analizinde rijit veya mafsallı birleşim yerine yarı-rijit birleşim kullanılması sadece deplasmanları değil iç kuvvet dağılımlarını yani kesit tesirlerini de önemli ölçüde etkiler. Şekil 1.26'da mafsallı bir birleşim ve buna ait şematik olarak moment diyagramı gösterilmiştir. Yine aynı Şekil 1.27'de yarı-rijit bir birleşim örneği ve buna ait şematik olarak moment diyagramı gösterilmiştir. İki şekilden de görüleceği gibi mafsallı birleşimde kiriş daha çok zorlanmakta, yarı-rijit birleşimde ise mafsallı birleşime göre kiriş o kadar çok zorlanmamakla birlikte kolonlar da bir miktar zorlanmaktadır (Coşkun, 2003).



**Şekil 1.26.** Mafsallı birleşime ait yüklenme durumu ve moment (M) diyagramı (Coşkun, 2003)



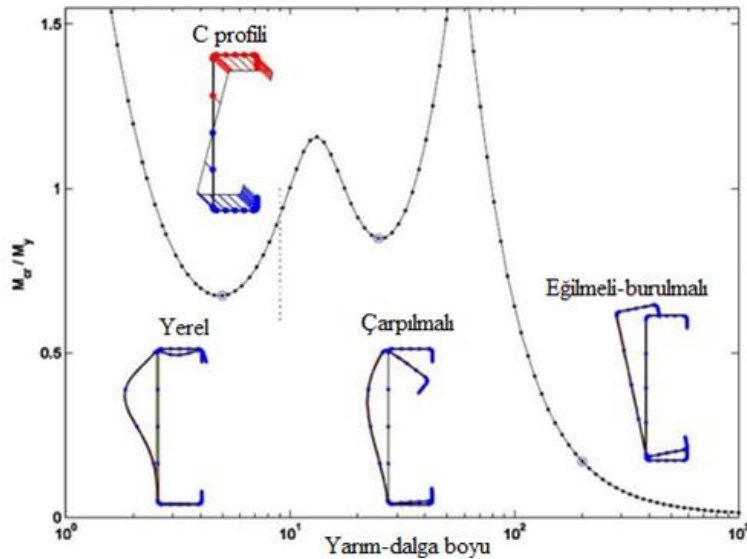
**Şekil 1.27** Yarı-rijit birleşime ait yüklenme durumu ve moment (M) diyagramı (Coşkun, 2003)

## 1.4. İnce Cidarlı Hafif Çelik Yapı Elemanların Göçme Modları

Hafif çelik yapılar galvanize çelikten soğuk şekillendirilmiş narin profillerden oluşması bazı dezavantajların beraberinde getirmektedir. Bu dezavantajlar profilin göçme moduna ulaşmasında ve profilde deformasyonların meydana gelmesinde etkilidir.

### 1.4.1. Hafif çelik yapıların gövde profillerinde yerel burkulma

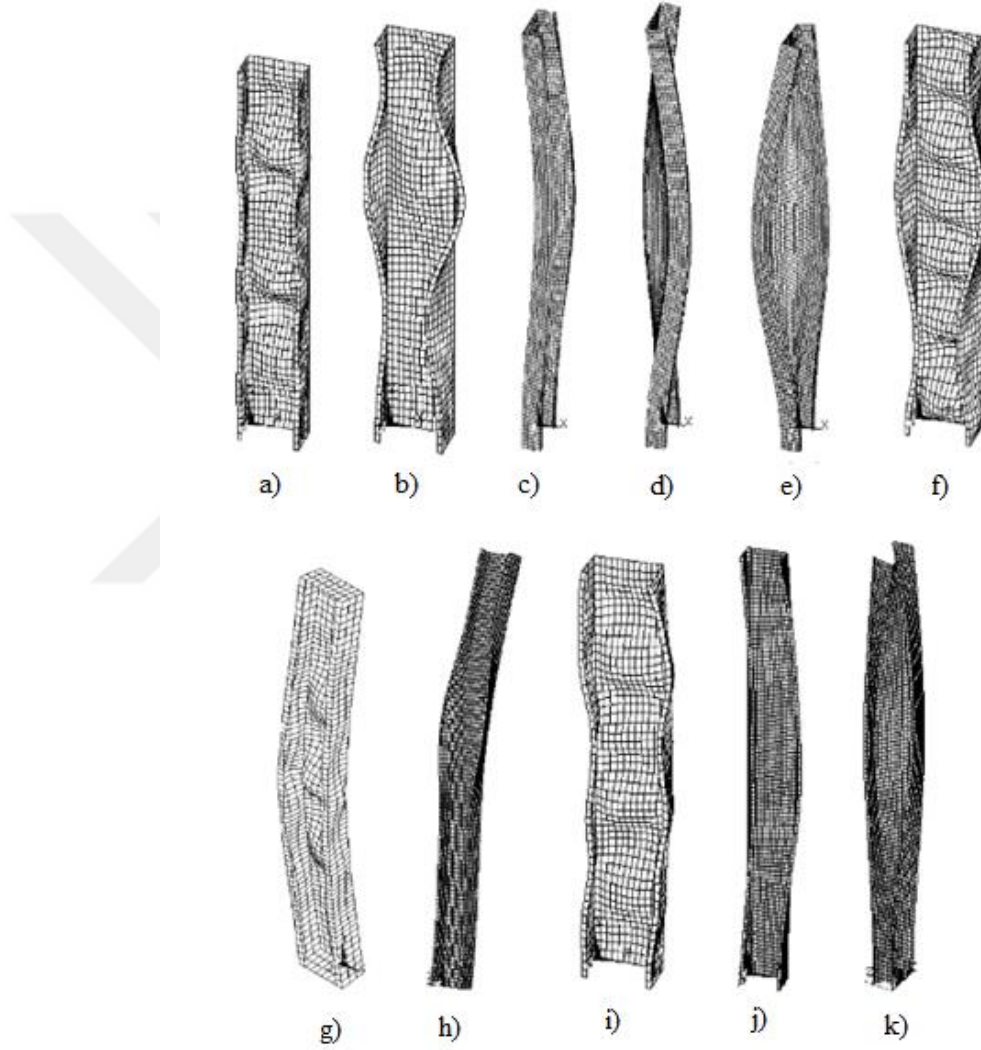
Genel burkulma terimi, kolonlar için eğilme ve eğilmeli-burulmalı burkulmayı, kirişler için ise yanal burulmalı burkulmayı kapsamaktadır. Genel burkulma, profillerin kesit geometrisinde herhangi bir değişiklik meydana gelmeden rijit olarak hareket etmelerinden dolayı rijit-gövde burkulması olarak da adlandırılmaktadır. Çarpılmalı burkulma bükme hatlarının göreceli hareketleri sonucu kesitte meydana gelen bozulma olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.28’de gösterildiği çarpılmalı burkulmada dalga boyları genellikle yerel ve genel burkulmadaki dalga boyları arasında olmaktadır (Öztürk, 2014).



**Şekil 1.28.** Hafif çelik yapılarda C profillerinde burkulma türleri ve oluşturdukları dalga boyları (Schafer, 2008)

## 1. GİRİŞ

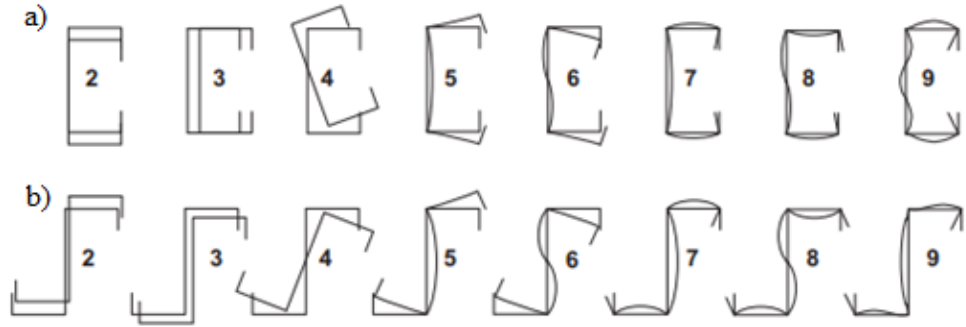
Yerel burkulma özellikle hafif çelik yapılarda yaygın olarak görülür. Çarpılmalı burkulma enine kesitin bozulması sonucu ortaya çıkan burkulma modudur. Hafif çelik profiller kıvrım çizilerinin göreceli hareketiyle karakterize edilir. Yerel ve çarpılmalı burkulma kesit şeklini değiştirdiğinden, bunlar kesit modları olarak kabul edilebilirler ve genel burkulma ile etkileşime girebilirler (Dubina, 2004). Şekil 1.29'da ince cidarlı C profili için burkulma modları görülmektedir.



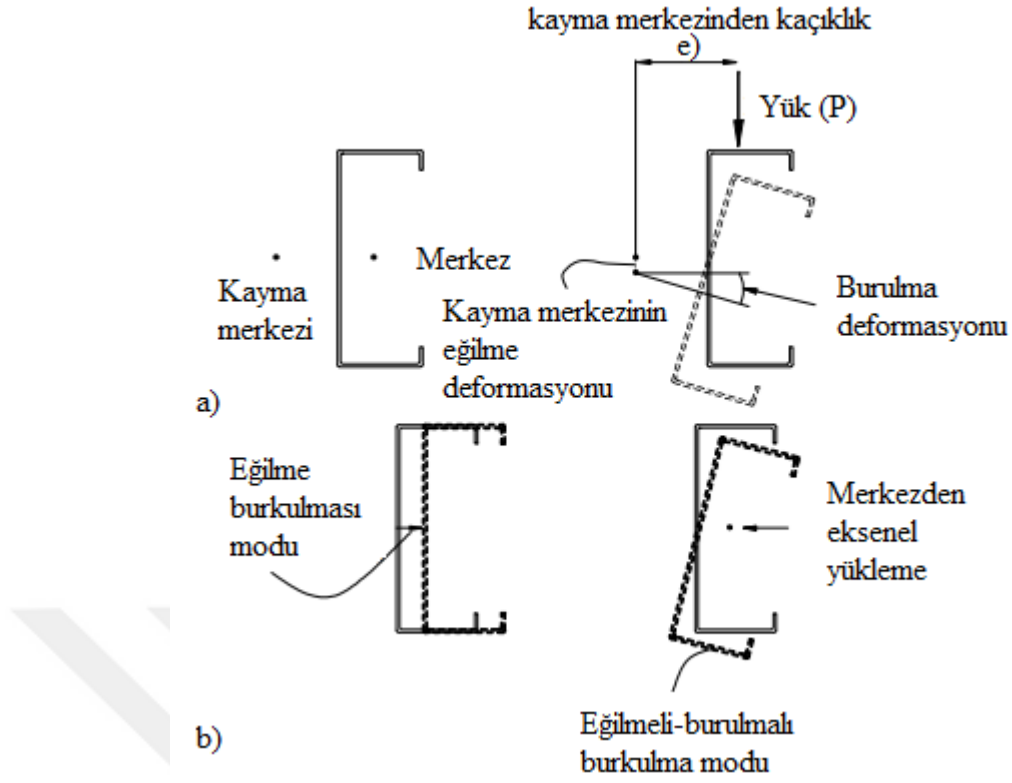
**Şekil 1.29.** Eksenel basınç altındaki bir C profilin burkulma modları tekli modlar: a)Yerel (L), b) Çarpılmalı (D), c) Eğilme (F), d) Burulma e)Eğilmeli burulmalı (FT) Birleşik modlar: f) L+D, g) F+L, h) F+D, i) FT+L, j) FT+D, k) F+FT (Dubina, 2004)

### 1.4.2. Hafif çelik yapılarda burulma

Hafif çelik yapılar ince cidarlı olduklarından burulma sertlikleri düşüktür. Yaygın olarak kullanılan C ve Z ince cidarlı profiller için Şekil 1.30'da deformasyon modları gösterilmektedir. Üretilen hafif çelik profillerin bir çoğu tek eksene göre simetrik ve kayma merkezleri Şekil 1.31'de gösterildiği gibi merkezlerinden kaçaktır. İnce cidarlı kirişlerin burkulma meydana gelmeden eğilmeleri için kayma merkezinden geçen bir eksen üzerinden bileşke kuvvet etki ettirilmelidir. Bu eksenden gelen yükün kaçıklığı Şekil 1.31a'da gösterildiği gibi kirişte kayda değer burulma deformasyonları oluşturacaktır. Bu deformasyonların önüne geçmek için ince cidarlı kirişlerde aralıklarla veya uzunluk boyunca burkulma berkitmeleri kullanılması gerekmektedir. Merkez eksenleri boyunca aksenal olarak yüklenen kolonlar için, uygulanan yükün kayma merkezi eksenindeki kaçıklığı eğilmeli-burulmalı modunda burkulmaya neden olabilir. Eğilmeli-burulmalı modlar Şekil 1.31b'de gösterilmiştir (Dubina et al. 2012.).



**Şekil 1.30.** Genelleştirilmiş kiriş teorisine göre deformasyon modunun düzlemsel şekilleri a) C profil b) Z profil (Basaglia et al. 2013)



**Şekil 1.31.** Burulma deformasyonları a) Kaçıklık verilerle yüklenmiş bir kiriş ve b) Eksenel yüklenmiş bir kolonun burulma şekil değiştirmeleri (Dubina et al. 2012)

### 1.4.3. Hafif çelik yapılarda gövde profilinin buruşması

Hafif çelik yapılarda yüklemeye maruz bırakılan gövde profillerinin yük kapasiteleri gövde buruşmasından dolayı oldukça azalmaktadır.

Şekil 1.32’de gösterildiği gibi meydana gelen buruşmayı engellemek için elemanlarının narinlik kriterlerine uygunluğu kontrol edilmelidir. Ayrıca istenilen rijitliği sağlamak için yeterli miktarda berkitme levhalarının konulması gerekmektedir.



**Şekil 1.32.** Bir C ve I profilinin yükleme bölgesi altındaki gövde profil buruşması (Öztürk, 2014)



### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Hafif çelik yapıların yapı sistemi olarak kullanılması, ekonomik, hızlı inşaat ve hafiflik açısından iyi bir performans göstermesi nedeniyle son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Ancak, yerli ve yabancı standartlara ilişkin mevcut hükümler, hafif çelik yapılar için verilen bilgi ve açıklamalar, geleneksel çelik yapılar kadar yeterli doküman sunamamaktadır. Soğuk haddelenmiş çelik yapılarda birçok profil tipi mevcut olup çok az malzeme kaybına sahip yeni kesme yöntemleri ile daha verimli bir şekilde işlenirler. Soğuk haddeleme işlemleri ile ekonomik olarak üretilebilecek soğuk haddelenmiş çelik profilleri ağırlık oranı bakımından iyi mukavemet avantajına sahiptir. Bununla birlikte, yüksek sismik direnç için yeterli esnekliğe sahip değildir (Hancock, 2003). Erken bölgesel göçme gibi problemler, soğuk haddelenmiş çelik kirişlerinin düşük mukavemet ve rijitliği nedeniyle oluşur. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda geleneksel dudaklı C profillerinin sismik enerji dağılımındaki kısmi süneklik kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Torabian et al. 2015). Hafif çelik yapılarda elastik olmayan deformasyonlar ağırlıklı olarak kiriş-kolon birleşimlerinde görülmektedir (Freya et al. 2016). Yapıların analizinde ve tasarımında bağlantının davranışı, soğuk haddelenmiş çelik yapılar kadar geleneksel çelik yapılarda da önemlidir. Çünkü kuvvet aktarımı görevini üstlenirler, yapısal stabiliteye ulaşırlar ve yapısal deformasyonlar üzerinde etkilidirler. Hazlan et al. (2010), mukavemet, rijitlik ve sünekliklerini değerlendirmek için C profilinden oluşan farklı konfigürasyonlara sahip 12 soğuk haddelenmiş çelik bulonlu kiriş-kolon birleşimini gerçekleştirmiş ve birleşimlerin etkin sünekliklere sahip olduğu ve ani bir göçme gerçekleşmediğini göstermiştir. Araştırmacılar hafif çelik yapılardaki yarı-rijit birleşim davranışını inceleyerek ekonomik ve basit bir tasarım elde etmeye çalışmışlardır (Freya et al. 2016). Çünkü, yarı-rijit birleşimlerin davranışı, çelik çerçevelerin analizinde ve tasarımında doğrusal olmayan ve kolayca çözülemeyen bir yapı olmuştur ve moment-dönme eğrisi, birleşim davranışlarını modellemek için kullanılmıştır (Hazlan et al. 2010; Aydın et al. 2015; Maali et al. 2017). Kaynaklar, vidalar, kör perçinler veya bulonlar, soğuk haddelenmiş çelik yapılarda hafif levhaları ya da profilleri birleştirmek için kullanılır. Ayrıca hafif profilleri birbirleriyle birleştirmek için pres birleştirme ve rozet birleştirme gibi yeni teknikler geliştirilmiştir. Akıllı vidalar, pimler, ince levhalar için perçinler, daha kalın profiller için bulonlar ve ince çelik profillerin birleştirilmesi için punto

kaynağı kullanılır (Lee et al. 2014). Kaynaklı birleşimler, soğuk haddelenmiş çelik elemanlarında çok ince ve uygulaması zor olduğundan, 2 adımda yapılan bulonların yanı sıra vidadan daha pahalı olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaz. Mills and LaBouble (2002), çeşitli konfigürasyonlarla uç levhayı bulonlar yardımıyla birleştirmiştir. Ancak ince levhalı profillerin mafsallı birleşimler için uygun olmadığını ve vida birleşimlerinin moment kapasitesi ve rijitlik performansının daha iyi olduğunu göstermiştir (Mills and LaBouble 2004). Akıllı vidalar, iki çelik elemanı birleştirmeden önce kendi deliklerini açarak dişleri zarar görmeyecek şekilde ilerler ve iki elemanı sıkıca birleştirir. Vida ile birleştirilecek malzemenin kalınlığı, vidanın ucundaki kesicinin uzunluğuna göre seçilmelidir. Vidaların delmesi ve montajı aynı anda yapılabilirdiğinden imalat hızı yüksek ve kolaydır. Vida birleşimleri, davranışlarını gözlemek için kesme deneyine tabi tutulmuştur (Daudet et al.1996;Rogers et al. 1998). Vida 'da kesme, vida yuvasında uzama, eğilme, vida yuvasının uzaması ve eğilme, vidaların cinsine, sayısına ve çelik profillerin kalınlığına göre göçme modlarını gösterdiler (Daudet et al.1996; Rogers et al. 1998). Örneğin, daha kalın tabakalar vidaların kesilmesi ile başarısız olmuştur (Daudet et al. 1996). Kendi deliğini açabilen akıllı vida birleşimleri, genellikle soğuk haddelenmiş kafes kiriş elemanlarını köşebentler ile birleştirmek için kullanılır. Yapılan çalışma kiriş-kolon birleşimlerini akıllı vida yöntemi kullanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Maali et al. (2015), Yapısal performans, kiriş-kolon birleşimlerinin moment-dönme karakteristik değerleri ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Soğuk haddelenmiş çelik kiriş-kolon bulonlu birleşimleri literatürde mevcutken, vidalı kiriş-kolon davranışı soğuk haddelenmiş çelik yapıların pratik kullanımına iyileştirilmesi amacıyla araştırılması gerekmektedir. Wong and Chung (2002), bulonlu kiriş-kolon birleşimlerine yanal yükler altında köşebent plakalar kullanarak test etmiş ve önerilen birleşimin, birleşimler arasında etkili bir şekilde moment aktarabileceğini göstermiştir. Bayan et al. (2012), birleşimlerin mukavemetini ve rijitliğini değerlendirmek için bulonlu kiriş-kolon birleşimlerini farklı konfigürasyonlarla yapmıştır. Testler sırasında iki göçme modu gözlemlenmiştir. Bunlar sünek bir mod olan bulon yuvasının uzaması ve ani çökmeye neden olabilecek göçme modudur. Araştırmacılar, kiriş-kolon birleşimlerinin yapısal davranışını öngörmek için sonlu elemanlar programı kullanarak, Anwer ve arkadaşlarının test ettiği birleşimleri ve kiriş-

kolon birleşimlerini modellemiştir (Chavan et al. 2016). Ayrıca, literatürdeki çalışmalar, rijit kolonlar için soğuk haddelenmiş çelik kirişlerinin dönme kapasitesinin deneysel ve sayısal olarak incelemiştir (Serror et al. 2016; Hassan et al. 2017). Farklı kiriş profilleri ve kalınlıkları (1 mm ile 4 mm arası) ve farklı kalınlıkta guse levhası kullanılan bulonlu kiriş-kolon birleşimleri değerlendirilmiştir (Serror et al. 2016; Hassan et al. 2017). Sabbagh et al. (2012), soğuk haddelenmiş moment dayanımlı çerçeve üzerinde sonlu elemanlar ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Farklı kiriş profilleri ve guse levhaları konfigürasyonları ile birleşimleri araştırılmıştır. Gövde burkulmasının göçmenin temel nedeni olarak görülmesi nedeniyle guse levhaları, moment kuvveti, süneklik ve enerji dağılımındaki artış nedeniyle birleşimi iyileştirmiştir. Hafif çelik yapılarda yapılan testlerde bulonların göçme moduna ulaşmadığı görülmüştür. Yapılan tasarımlarda bulonlu birleşimlerin yerine vidalı birleşimlerin kullanılması daha ekonomik olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, yapılan deneysel testlerde C profil kirişlerinden oluşan 12 soğuk haddelenmiş çelik kiriş-kolon birleşimi vidalı birleşim yöntemi kullanarak test edilmiştir. Moment-dönme ( $M-\Theta$ ) davranışı moment-dönme karakteristiği değerleri kiriş-kolon birleşimlerinin farklı kalınlıktaki kiriş ve guse levhaları göçme modları karşılaştırılmıştır. Her bir guse levhası kalınlığı için 4 farklı kiriş kalınlığı test edilmiştir. Bu çalışma, farklı kiriş ve guse levhası kalınlığındaki birleşimlerden başlayarak vidalı birleşimler için evrimsel bir gelişme sunmaktadır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, hafif çelik yapıların kiriş-kolon birleşimleri akıllı vida ile tasarlanarak incelenmiştir. Birleşimler tam ölçekleri olarak hazırlanmış olup deneysel bir çalışma yapılmıştır. Birleşimler 4 farklı çift-C profil kalınlığı ve 3 farklı guse levhası için toplamda 12 adet deney yapılarak yapısal davranışları belirlenmiştir. Birleşimlerin davranışları moment-dönme eğrileriyle ifade edilmiştir. Bu çalışma moment-dönme eğrilerinin ve karakteristik değerlerinin değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı, akıllı vida kullanarak tasarlanan birleşimin göçme moduna ulaşmasını sağlamaktır. Deney sonuçları, farklı kombinasyon kalınlıklarına sahip diğer deneylerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Birleşimlerin göçme modları, maksimum moment ve rijitliğin profil kalınlıklarıyla olan ilişkisi incelenmiştir.

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

##### 3.1.1. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT)

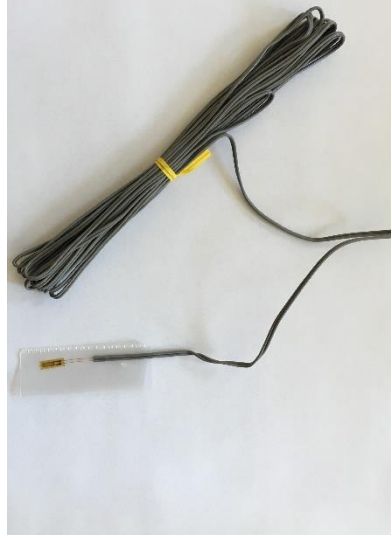
Deformasyon ölçüm cihazları yük altındaki eğilmeleri ve yatay veya düşey deplasmanları sensör milleri yardımıyla ölçmektedir. Bu cihazlar 10 mm'den 300 mm'ye kadar farklı ölçüm uzunluklarında ve 0,001 mm hata oranı ile ölçüm yapabilmektedir. Analog ve dijital olmak üzere iki tip modeli kullanılmaktadır. Doğru verilerin elde edilebilmesi için cihazın sabitlenmesi önemli bir faktördür. Deneylerde tercih edilen LVDT (Linear Variable Differential Transformers, doğrusal değişken fark transformatörü) 100 mm ölçüm kapasiteli ve SDP-100C tipi Japonya'da üretilmiştir. Şekil 3.1.'de kullanılan LVDT cihazı görülmektedir. Deformasyon cihazları sabit olarak bağlandığı sistemde deplasman sensörlerinin yer değişimiyle orantılı olarak ürettiği sinyalleri kablolar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarmaktadır.



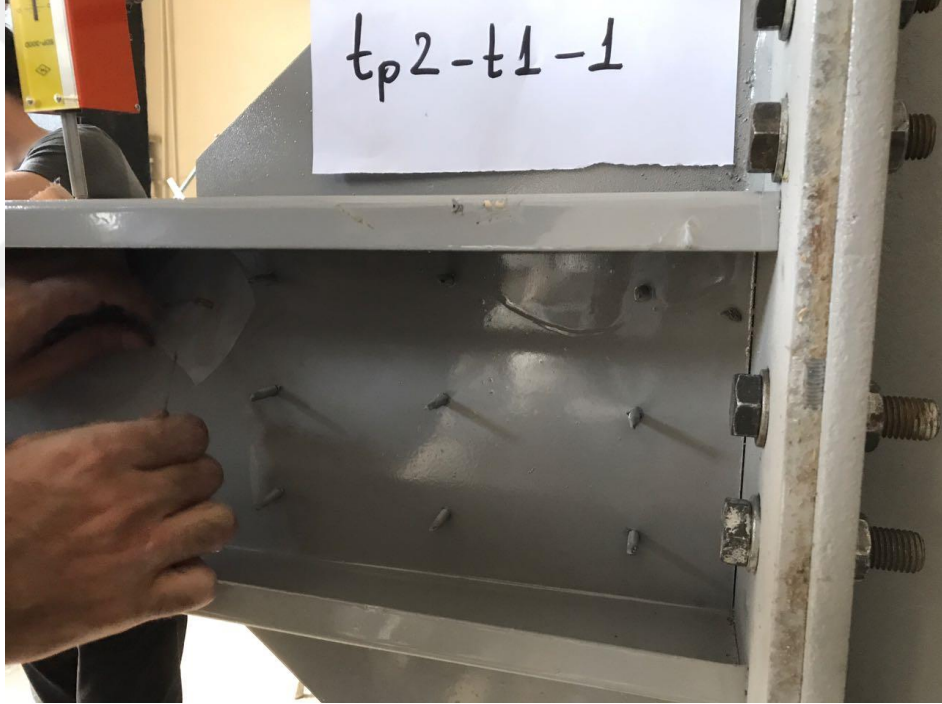
Şekil 3.1. Dijital deplasman ölçüm cihazı (LVDT)

#### 3.1.2. Gerinim pullarını (Strain gauge)

Mekanik büyüklüklerin ölçülmesinde uygulanan önemli ölçüm tekniklerinden biri olan bu küçük pullar birim deformasyonun ölçülmesinde kullanılırlar (Şekil 3.2). Gerilmenin belirleneceği numunenin yüzeyine belirli konfigürasyonlar seçilerek montesi yapılır. Bu montaj işlemi özel sağlamlaştırıcı bantlar ve yapıştırıcılar yardımıyla Şekil 3.3’de gösterildiği gibi uygulanır. Gerinme pulları birim uzunlukta meydana gelen deformasyon miktarını yani mekanik hareketi elektronik sinyale dönüştürerek veriye çevirmek için tasarlanmıştır. İdeal bir deformasyon verisi elde edilirken uzamaya bağlı olarak direncin değişimiyle beraber sıcaklık, malzeme özellikleri ve yapıştırıcı gibi etkenlerde hesaba katılmalıdır. Ölçüm yapılması istenilen yüzey eğer metal ise yüzey iyice taşlama ve zımpara yardımıyla pürüzsüz bir hale getirilir. Daha sonra yüzeyde kalan kir ve yağlı yüzey eter ve türevi kimyasallar yardımıyla temizlenir. Gerinme pulları ölçüm yapılacak olan yüzeye öncesinde yapıştırıcı sürülerek yerleştirilir. Özel koruyucu folyo ile kapatıldıktan sonra iyice yapışmasını sağlamak için birkaç dakika hafifçe bastırılır.



Şekil 3.2. Gerinim pulları (Kılıç, 2014)



Şekil 3.3. Gerinim pulları yerleştirilmesi

#### 3.1.3. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell)

Yükleme hücreleri, çok amaçlı test makineleri, laboratuvarlar, tanklar ve siloların tartımı ve yük ölçmek için kullanılırlar. Gerilme ve sıkışma modlarının ikisinin ölçülmesi için uygun tasarlanan tipleri mevcuttur. Bu tip çalışma prensibine sahip olanlarına kuvvet sensörü denilmektedir. Bilgisayar üzerinden yapılacak

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

---

yüklemelerin kontrolü ve ölçümlerin yapılabilmesi için Şekil 3.4’de gösterilen hidrolik pompaya montajı yapılır. Deney için kullanılan yükleme hücresi 250 kN kapasiteli ve TEDS markalı Şekil 3.5’de gösterilen üründür.



**Şekil 3.4.** Hidrolik pompa



**Şekil 3.5.** Yük hücresinin yandan görünümü

Deneyde kullanılan pompa Amerika Birleşik Devletleri üretimi olan Enerpac U10M serisidir. Bu modelin hidrolik pistonu harekete geçirebilmesi için iki adet yüksek dayanımlı hortum sistemine sahiptir. Hortumlardan biri emiş yaparak hacminin artması diğesinde ise hacim azalması oluşturarak pompalama görevini yerine getirir. Bu hidrolik pompanın istenilen şekilde çalışmasını sağlamak için basınç, yön ve kontrol valfleri

kullanılmıştır. El ile kontrolü manuel olarak sağlanabilen pompanın kapasitesi 90 ton ancak Şekil 3.6’da gösterilen hidrolik pistonun kapasitesi 22 tondur.



**Şekil 3.6.** Piston elemanının yandan görünüşü

#### **3.1.4. Veri toplama sistemi (Data Logger)**

Veri toplama sistemleri dinamik ve statik deneylerde veri toplayan dijital ortama aktarmaya yarayan cihazlardır. Bu cihazlar fiziksel büyüklüğü sayısal olarak ifade edebilmektedir. Veri okuma aralıkları oldukça küçük olup örnekleme hızı ise yüksektir. Deneyde kullanılan veri toplama cihazı Insturinet I420 modeli ABD üretimi, 120 kanallı, 13 portlu giriş kablolarına sahiptir. Portlara takılan dirençler sayesinde algılayıcı uçdaki elektriksel büyüklüğü kaydetmektedir. Giriş voltaj skalası  $\pm 20$  mV ile  $\pm 10$  V arasındadır. DasyLab programı yardımıyla veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. DasyLab programı strain gauge, load cell ve LVDT cihazlarına entegre olarak hazırlanmıştır. Buradaki elektriksel yük programı yardımıyla fiziksel yüke çevrilebilmektedir. Daha sonra sonuç verileri DasyLab programı sayesinde excel ortamına aktarılmıştır. Data logger Şekil 3.7.’de görülmektedir (Kılıç, 2014).

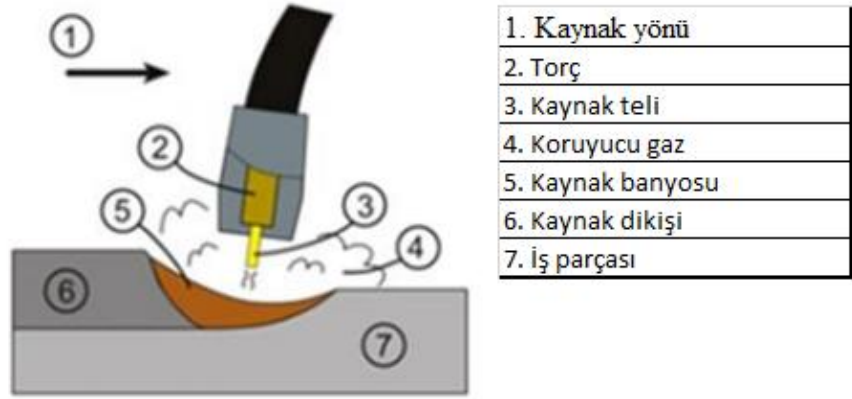




**Şekil 3.7.** Veri toplama sistemi (datalogger)

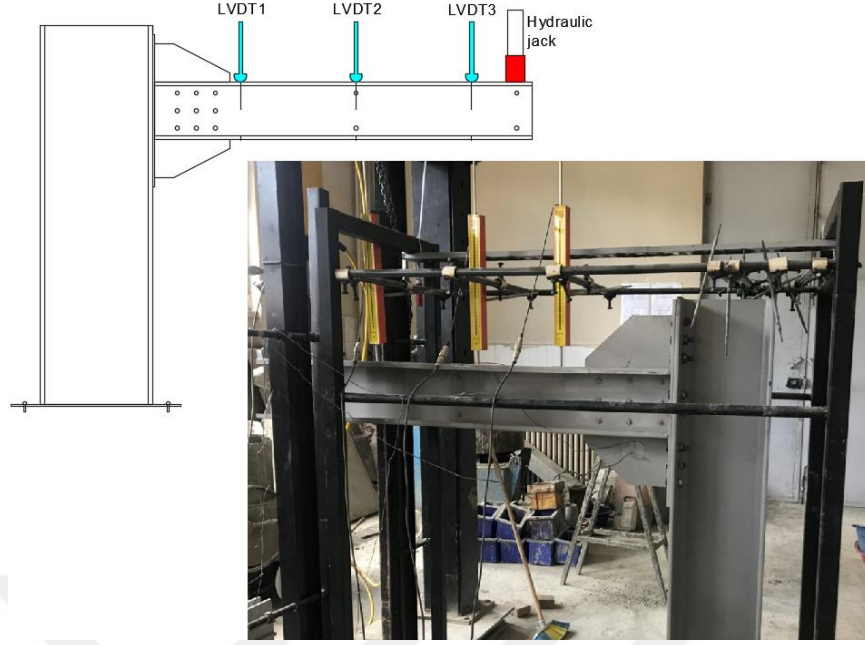
#### **3.2. Deney Düzenegi**

Deneysel çalışmada kullanılacak olan profiller şablonlar oluşturularak ölçüleri ve sayıları belirlendi. Soğuk haddelenmiş ST37 çelik plakasından 1 mm, 1,5mm, 2 mm ve 2,5 mm kalınlıklarında 6 metre boyundaki hazır levhalar atölyeye getirildi. Daha sonra testere yardımıyla 1,5 m boyunda kesildikten sonra soğuk bükme (preste bükme) yöntemi kullanılarak C profilleri üretildi. Belirlenen ölçüde ve kalınlıkta çift C profillerinin arasına yerleştirmek için guse levhalarının kesimi yapıldı. Bu guse levhaları 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklarındaki levhalar kullanılarak oluşturuldu. 15 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş uç plakalar kesilerek bulon delikleri için yuvalar açıldı. Uç kısma akıllı vidalarla montajı yapılan guse levhası uç plakaya 0,7 mm et kalınlığında gazaltı kaynak yapılarak rijit bir birleşim yapıldı. Şekil 3.8’de gösterilen gazaltı kaynağı, elektrod tel ile kaynak yapılan elemanın arasında oluşan ark sayesinde levhaları birbirine birleştirilmesini sağlayan kaynak tipidir. Uç plakanın daha rijit olarak birleştirilmesinin sebebi göçme modlarının uç plakada gözükmesini engellemektir. Kirişin ortasına ve diğer ucuna guse levhaları yerleştirilerek daha sabit bir kiriş elde edildi.



**Şekil 3.8.** Gazaltı kaynağı (Kılıç, 2014)

Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan düzenekler kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çerçeve sisteminde montajı yapılmış olan hidrolik piston uzunluğunu yetersiz olması nedeniyle bağlı olduğu kiriş hareket edebildiği bir sistem geliştirilmiştir. Kolon-kiriş birleşimleri incelenen bu çalışmada kolon olarak yapı çeliği HEA 280 profili tercih edilmiştir. Kolonun rijit hale getirilmesi için zemin kazılarak ankraj elemanları yerleştirilmiş ve kütle betonu dökülmüştür. Kiriş elemanı olarak ise hafif çelik yapıların C profil çifti sırt sırta 12 mm olan akıllı vidalarla birleştirilerek kullanılmıştır. İmalatı yapılan bu kirişler 15 mm alın plakası kullanılarak rijit kolona bulonlarla ankastre olacak şekilde birleşimi yapılmıştır. LVDT cihazlarını sabitlemek ve deformasyonların ölçümünü hassas bir şekilde yapmak için çerçeve sistemi kullanılmıştır. Deney düzeneği ve çerçevesi sistem Şekil 3.9'da görülmektedir.



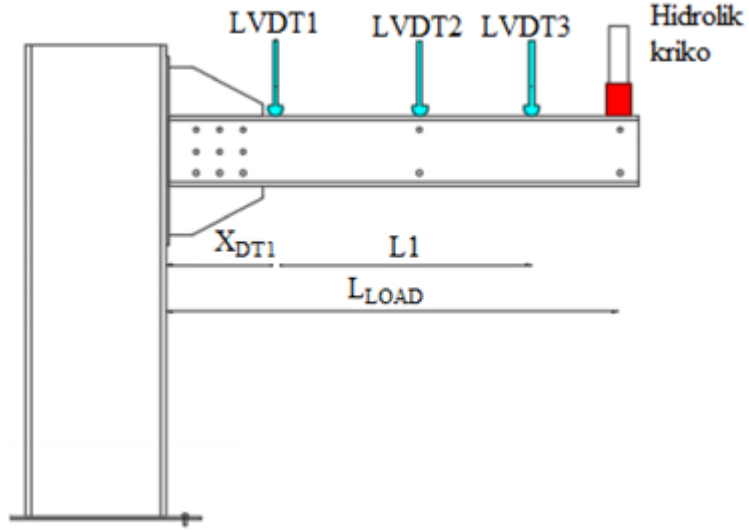
Şekil 3.9. Deney düzeneği (Maali vd. 2018)

#### 3.3. Deneysel Verilerin Formüller Kullanılarak Verilere Aktarılması

Yapılan deneysel çalışmalarda amaç moment-dönme davranışının iyi bir şekilde analiz edilmesidir. Öncelik olarak kirişin mesnetleri ankastre olarak çalışması sağlanacak ve meydana gelen mesnet momentleri aşağıdaki formüller kullanılarak ifade edilecektir.

$$M = PL_{load} \quad (3.1)$$

Yukarıda gösterilen formülde; P, uygulanan kuvvet ve L, uygulanan kuvvet noktasının birleşim noktasına olan uzaklığı Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. LVDT cihazlarının yerleştirilmesinin gösterimi

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da gösterilen LVDT aletlerinin yaptıkları ölçümlerden yararlanılarak aşağıdaki formüllerle kiriş ve birleşimlerdeki dönme hesabı yapılacaktır. (Coelho et al. 2007)

$$\theta = \frac{\arctan(\delta_{DT3} - \delta_{DT1} - \left( \left( \frac{-P}{EI} \right) \left( \frac{x_{DT1}^3}{6} - \frac{L_{load} x_{DT1}^2}{2} \right) \right))}{L1} \quad (3.2)$$

I= Kirişin atalet momenti

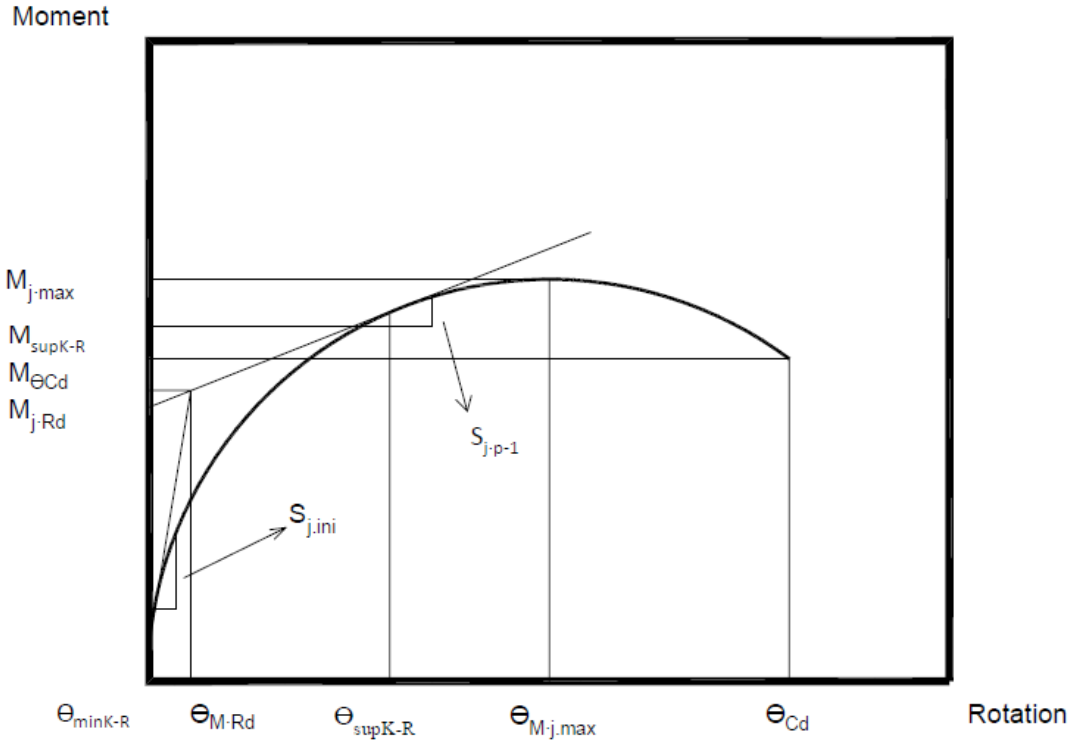
E= Elastisite modülü

$\theta$  =Kirişin dönme değeri

$\delta$  =Kirişin dönme deplasmanı

### 3.4. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Özellikleri

Eğilme momenti ( $M_{Rd}$ ) ile bu momente karşılık gelen dönme ( $\Theta_{M_{Rd}}$ ) arasındaki ilişki Şekil 3.11.’da gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Moment-dönme Eğrisi

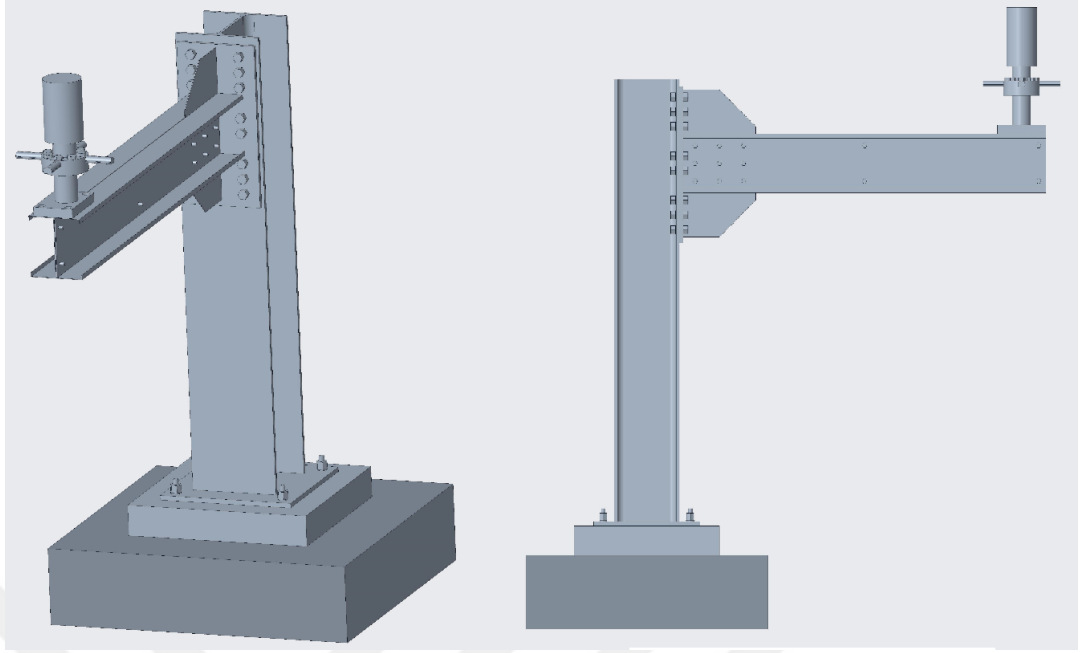
Moment-dönem eğrilerinde 3 ana önemli unsur vardır. Bunlar; moment dayanımı (moment resistance), dönme rijitliği (rotational stiffness) ve dönme kapasitesi (rotation capacity). Oluşturulan grafikte moment dayanımı ( $M_{j,max}$ ); moment-dönme eğrisindeki maksimum momente eşittir. Dönme rijitliği ( $S_{j,ini}$ ); elastik bölgenin eğimine eşittir ve dönme kapasitesi ( $\Theta_{Cd}$ ); moment-dönme eğrisindeki maksimum dönmeye eşittir.

### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında on iki adet deney yapılmıştır. Kolon-kiriş birleşimleri üç farklı kalınlıkta guse levhası ve dört farklı kalınlıkta kiriş konfigürasyonlar yapılarak deneye tabi tutulmuştur. Sırt sırta akıllı vida yöntemiyle birleştirilen çift C profili kiriş olarak kullanılmıştır. Kolon için daha rijit HEA 280 profili tercih edilmiştir. 15 mm'lik uç plaka ile M 20 bulonları yardımıyla kolon-kiriş birleşimi saėlanmıŐtır. Tüm eleman ve tüm birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri ve göçme durumları değerlendirilerek tasarım hesapları gerçekteŐirilmıŐtir.

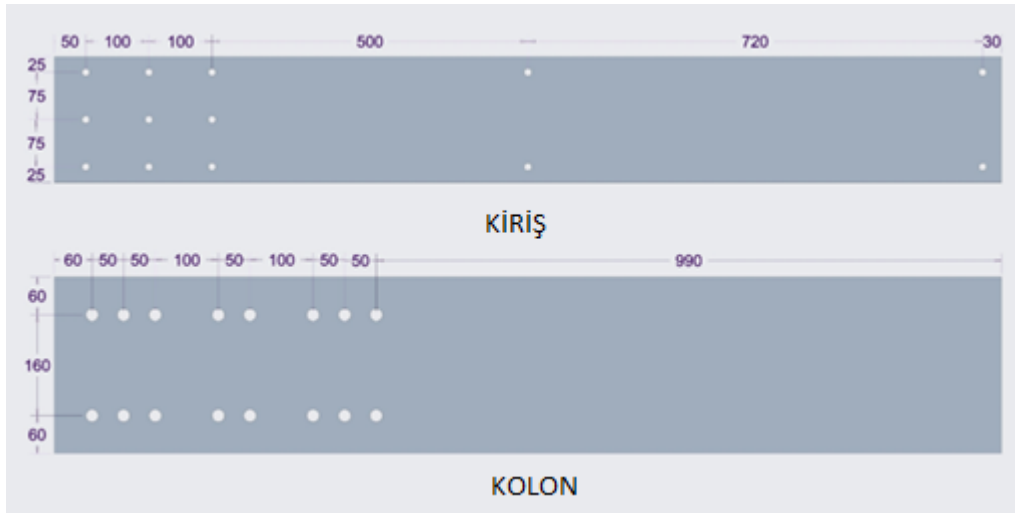
#### 4.1. Birleşim Tipi

Kolon-kiriş birleşimleri literatürde yapılan çalıŐmalarında yeterli oranda kaynak bulunmadığı tespit edilerek deneysel çalışma yapılmıştır. Kolonun kiriş ile olan birleşimi ankastre çalıŐacak şekilde bulonlar yardımıyla montaj edilmiştir. Sırt sırta akıllı vida yöntemiyle birleştirilen soğuk haddelenmiş C profil çifti farklı konfigürasyonlar kullanılarak 12 adet deney çalışması yapılmıştır. Şekil 4.1'de yapılan deneysel çalışmanın birleşim tipi gösterilmektedir.

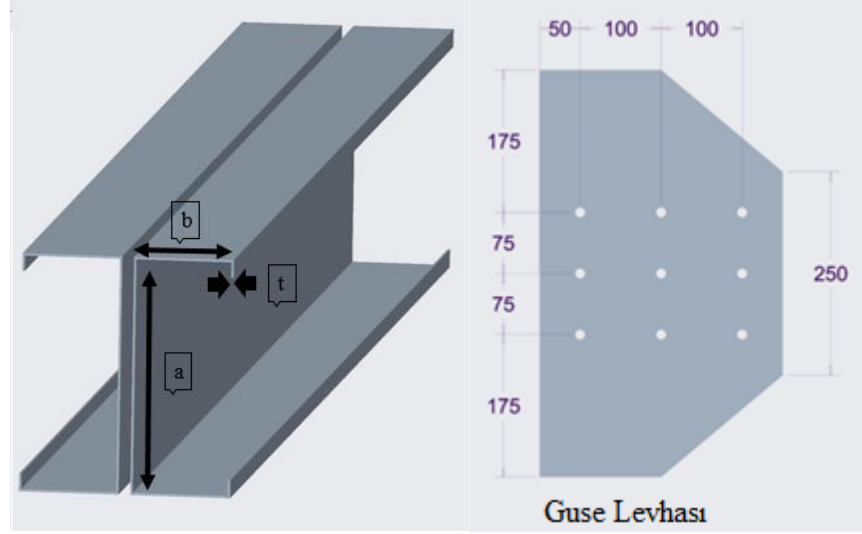


**Şekil 4.1.** Deney birleşim tipi

Deneyde kullanılan kiriş profili için vida ve kolon profili için bulon montajı için kullanılan ölçümler Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kirişin yandan görünüşü ve baş kısmında kullanılan guse levhasının detayı Şekil 4.3’de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Birleşim detayları



Şekil 4.3. Kirişin yandan görünüşü ve guse levhası detayları

Tam ölçekli olarak yapılan bu deneysel çalışma farklı kalınlık konfigürasyonu kullanarak yapılmış olup deney isimleri, kullanılan bulon ve vida özellikleri, guse levhası ve kiriş profilinin kalınlıkları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanları ve detayları

Grup No	Deney No	Guse levhası kalınlık tp (mm)	Kolon	Bulon	Vida (mm)	Uç Plaka (mm)	Kiriş (mm)										
							a	b	t								
Tp2 grubu	Tp2-t1-1	2	HEA280	M20	8	15	198	83	1								
	Tp2-t1.5-2						197	82	1,5								
	Tp2-t2-3						196	81	2								
	Tp2-t2.5-4						195	80	2,5								
Tp3 grubu	Tp3-t1-5	3					HEA280	M20	8	15	198	83	1				
	Tp3-t1.5-6										197	82	1,5				
	Tp3-t2-7										196	81	2				
	Tp3-t2.5-8										195	80	2,5				
Tp4 grubu	Tp4-t1-9	4									HEA280	M20	8	15	198	83	1
	Tp4-t1.5-10														197	82	1,5
	Tp4-t2-11														196	81	2
	Tp4-t2.5-12														195	80	2,5



### 4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Moment-Dönme Eğrileri

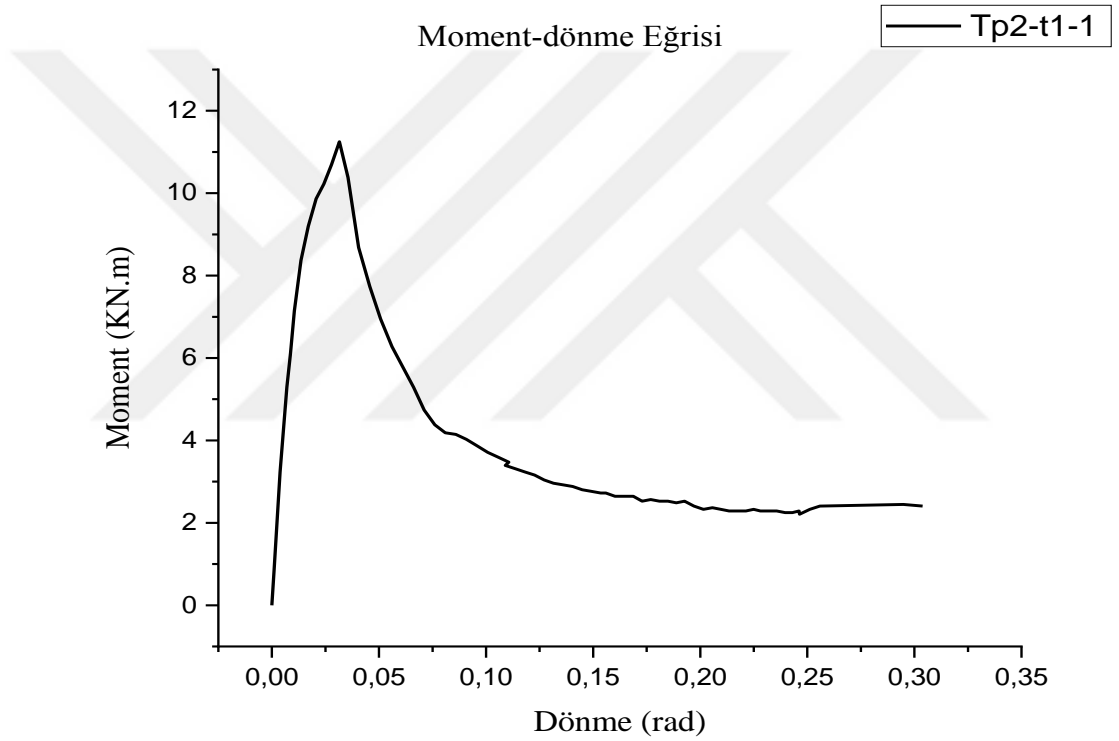
Yapılan deneysel çalışmada 250 kN kapasiteli olan hidrolik piston kullanılarak 12 adet kolon-kiriş birleşimi guse elemanlarının kalınlıklarına göre 3 gruba ayrılarak test edilmiştir. Kirişlerin uç noktasına tekil kuvvet yüklemesi yapılmıştır. Strain gaguges ve LVDT sabit bir şekilde monte edilerek deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Kiriş ve kolon uzunlukları 3 metrelik bir kirişin temsili olarak 1,5 m uzunluğunda seçilmiştir. Ayrıca deneylerde dönme kapasiteleri, moment dayanımları ve göçme modları incelenmiştir.

#### 4.2.1. Tp2 Grubu karşılaştırmaları

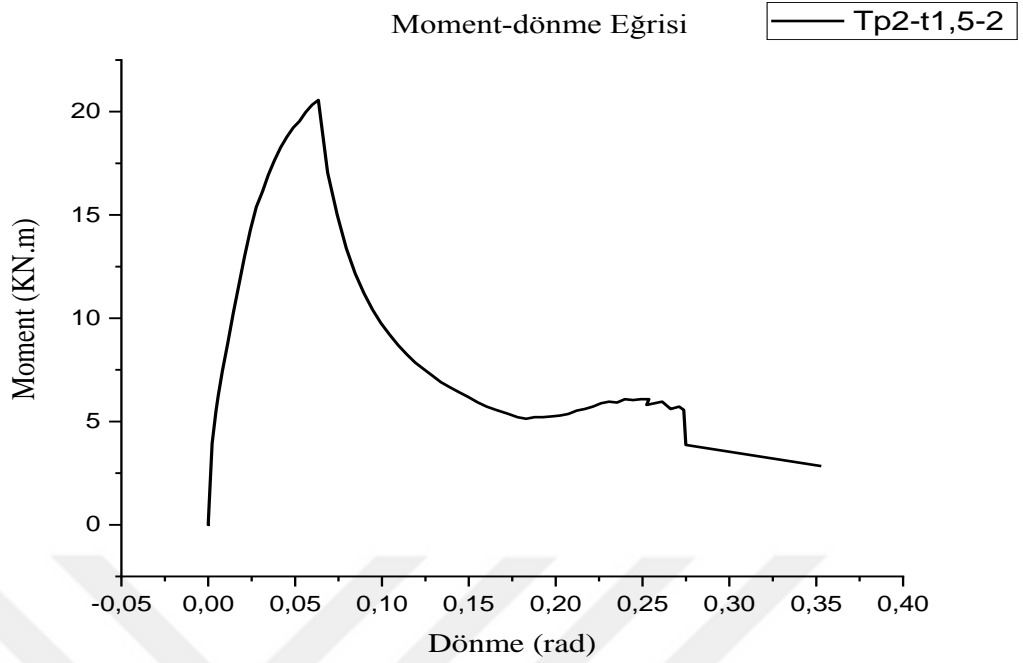
Şekil 4.4'den, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'ye kadar guse levhalarının kalınlığı 2 mm olan farklı C profil kalınlıklarına sahip Tp2 grubu için moment dönme eğrileri formül 2'ye göre hesapları yapılmış ve grafiksel olarak çizimleri gerçekleştirilmiştir. Bu çizimler şekilleri mukavemet, rijitlik ve dönme değerleri Çizelge 1.2'de verilmiştir. Tp2 grubu için birbirleri arasında yapılan kıyaslamalar ise Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Şekil 4.8'de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 3.3'e göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak artışı tespit edilmiştir. Moment değerindeki yüzde artış 5,133 değeri ile 67,464 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir. Sadece 2-3 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $M_{\theta Cd}$  değerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak artışı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış 18,333 değeri ile 272,18 değerleri arasında değişmektedir. Sonuç olarak 1 ve 4. Deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde mukavemet değerlerinde de artışı getirmiştir. Bu artış oranı ise 122,242'den 740,417 değerleri arasında değişmektedir. Tp2 gurubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerin de arttırdığını göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu artış değerleri ise 26,440'dan 211,215 değerleri arasındadır. Sadece 3-4 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Sonuç

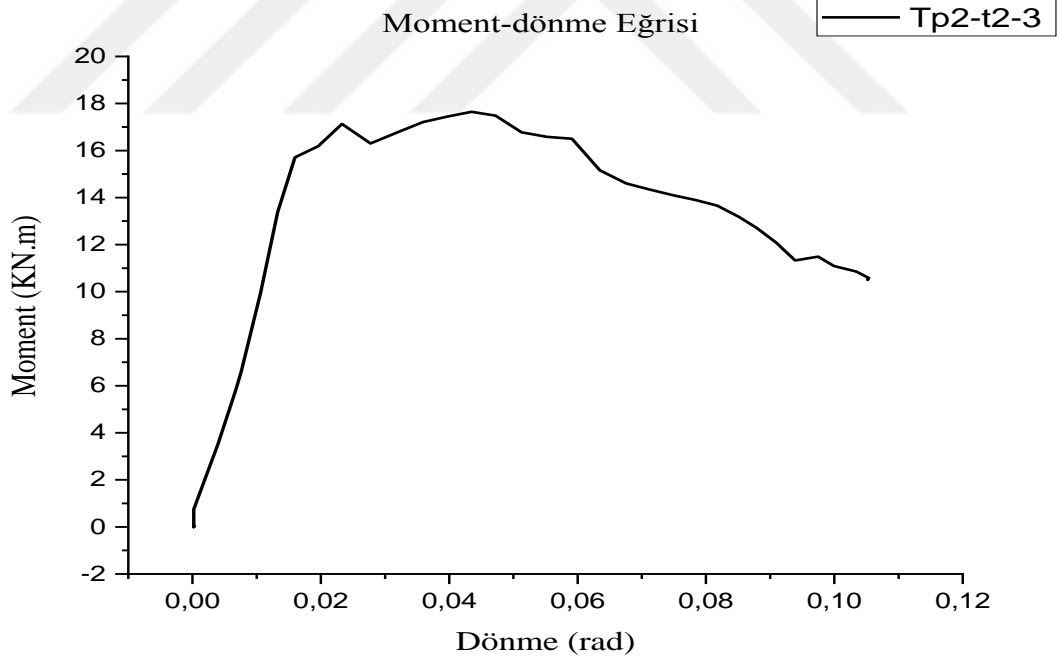
olarak 1 ve 4. deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde de artışı getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış oranları 0'dan 166,677 değeri arasındadır.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir. Bu değerler 103,226 ile 225,581 arasında değişmektedir. Sadece 2-3 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Cd}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde et kalınlığı arttıkça artış görülmesin rağmen  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde azalma görülmüştür.



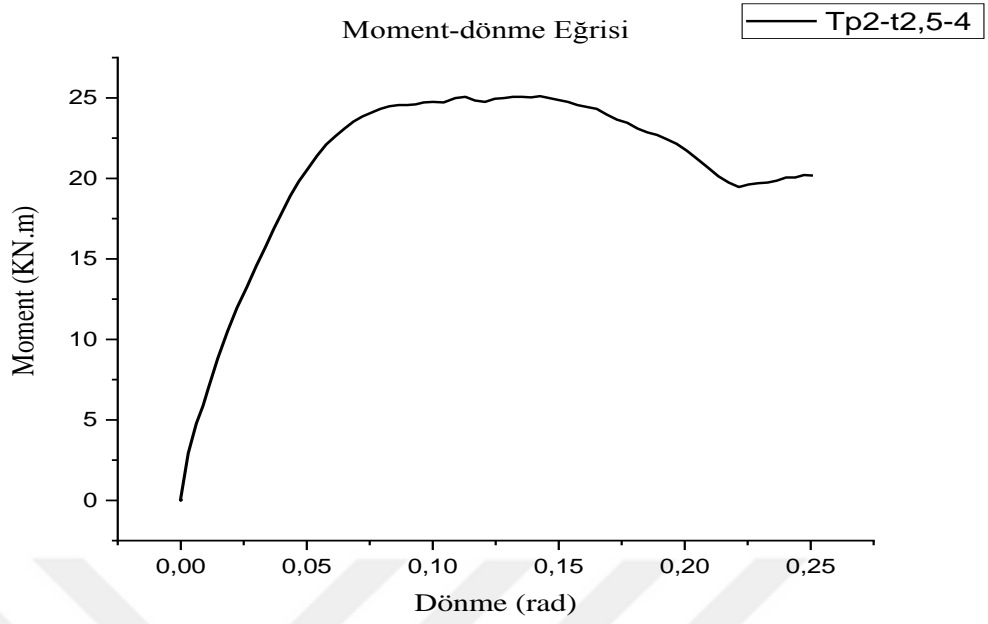
Şekil 4.4. Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t1-1 (No: 1)



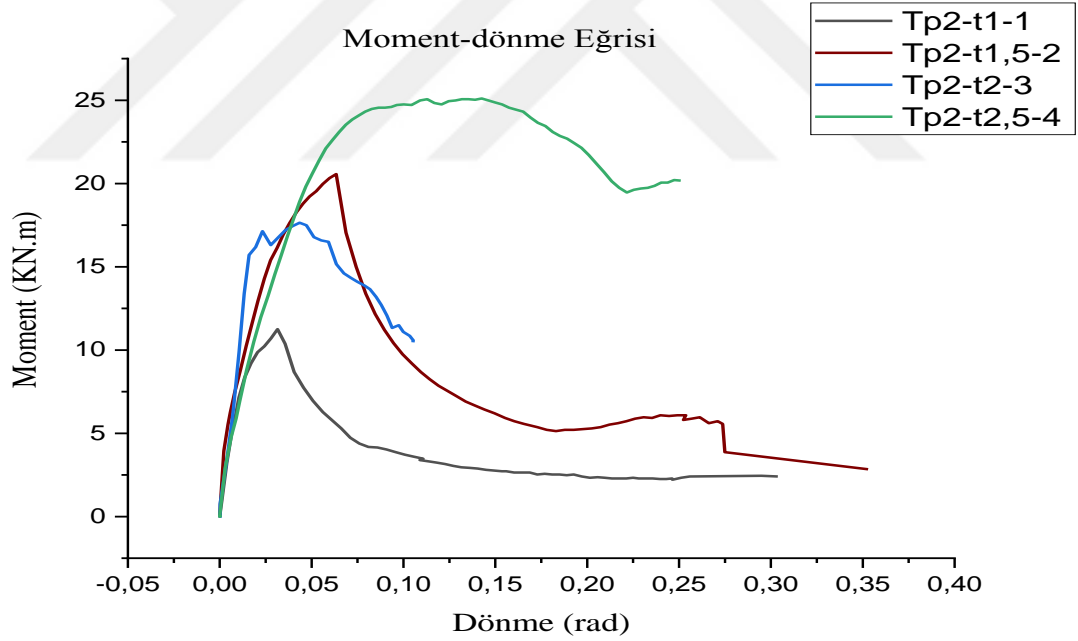
Şekil 4.5. Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t1,5-2 (No: 2)



Şekil 4.6. Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t2-3 (No: 3)



Şekil 4.7. Moment-dönme eğrisi deney Tp2-t2,5-4 (No: 4)



Şekil 4.8. Moment-dönme eğrisi Tp2-t1-1, Tp2-t1,5-2, Tp2-t2-3 ve Tp2-t2,5-4'ün karşılaştırmaları

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

**Çizelge 4.2.** Tp2 grubu deney sonuçları

Deney No	Mafsals Aralığı	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)				
		M <sub>j,Rd</sub>	M <sub>j,max</sub>	M <sub>0Cd</sub>	S <sub>j,ini</sub>	S <sub>j,p-1</sub>	S <sub>j,ini</sub> /S <sub>j,p-1</sub>	Θ <sub>M,Rd</sub>	Θ <sub>Min.K.R</sub>	Θ <sub>Msup.k.R</sub>	Θ <sub>Mj,max</sub>	Θ <sub>Cd</sub>
1	7,14-10,22	9,19	11,24	2,4	10,09	1,49	6,77	0,017	0,0069	0,02	0,031	0,3
2	7,42-17,64	15,39	20,51	2,84	7,52	0,88	8,56	0,017	0,008	0,03	0,063	0,35
3	3,51-17,21	16,18	17,69	10,57	3,09	0,11	26,64	0,015	0,0039	0,035	0,043	0,1
4	8,80-23,09	21,39	24,98	20,17	2,79	0,22	12,81	0,04	0,015	0,065	0,14	0,25

**Çizelge 4.3.** Tp2 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları

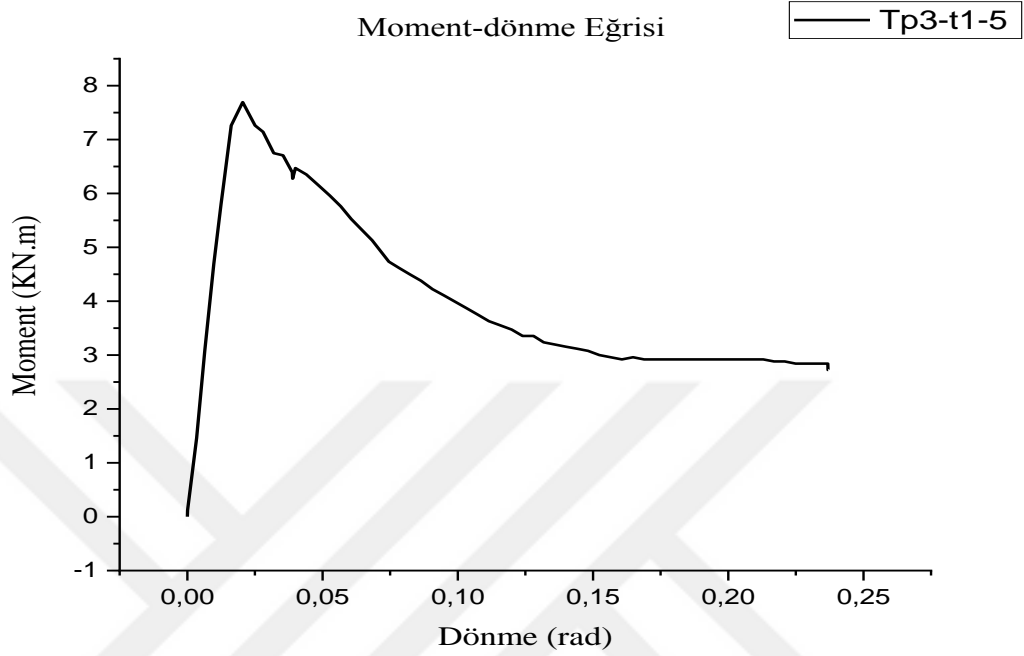
Sıralama	Mafsals Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		M <sub>j,Rd</sub> %	M <sub>j,max</sub> %	M <sub>0Cd</sub> %	S <sub>j,ini</sub> %	S <sub>j,p-1</sub> %	S <sub>j,ini</sub> /S <sub>j,p-1</sub> %	Θ <sub>M,Rd</sub> %	Θ <sub>Mj,max</sub> %	Θ <sub>Cd</sub> %
1-2	231,818	67,464	82,473	18,333	-25,471	-40,940	26,440	0,000	103,226	16,667
2-3	34,051	5,133	-13,749	272,18	-58,910	-87,500	211,215	-11,765	-31,746	-71,429
3-4	4,306	32	41,209	90,823	-9,709	100,000	-51,914	166,667	225,581	150,000
1-4	363,96	132,75	122,242	740,417	-72,349	-85,235	89,217	135,294	351,613	-16,667

##### 4.2.2. Tp3 Grubu karşılaştırmaları

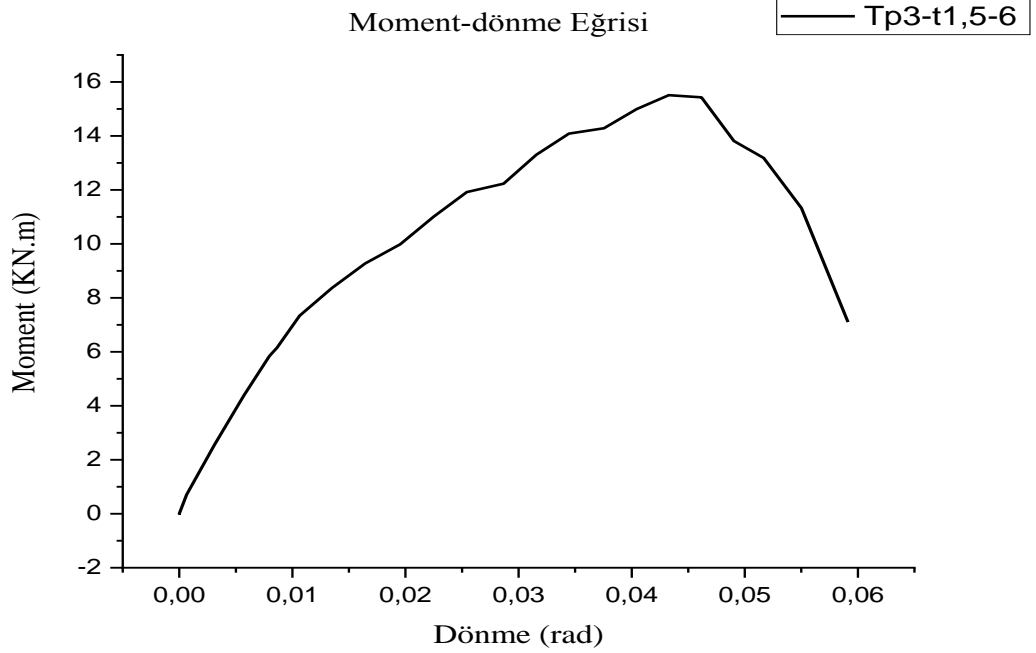
Şekil, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'e kadar guse levhalarının kalınlığı 3 mm olan farklı C profil kalınlıklarına sahip Tp3 grubu için, moment dönme eğrileri formül 2'ye göre hesapları yapılmış ve grafiksel olarak çizimleri gerçekleştirilmiştir. Grafiklerden elde edilen mukavemet, rijitlik ve dönme değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Tp3 grubu için birbirleri arasında yapılan kıyaslamalar ise Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Şekil 4.13'de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 4.5'de göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak artışı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış 27,817 değeri ile 51,653 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir. Sadece 7-8 nolu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $M_{\Theta Cd}$  değerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak artışı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 7-8 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Bu yüzde artış 161,029 değeri ile 171,690 değerleri arasında değişmektedir. Sonuç olarak 5 ve 8. Deneyle karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde mukavemet değerlerinde de artışı getirmiştir. Bu artış oranı ise 150'den 271,324 değerleri arasında değişmektedir. Tp3 gurubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de arttırdığını göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma değerleri ise 10,370'den 42,877 değerleri arasındadır. Sadece 7-8 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak 5 ve 8. deneyle karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde azalma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış oranları 6,667'den 128,571 değeri arasındadır. Sadece 6-7 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir. Bu değerler 44,828 ile 100 arasında değişmektedir. Sadece 6-7 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Cd}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür. Sadece 7-8 no'lu deneyle karşılaştırılmasında istisnai bir durum gerçekleşmiştir. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Mj,max}$

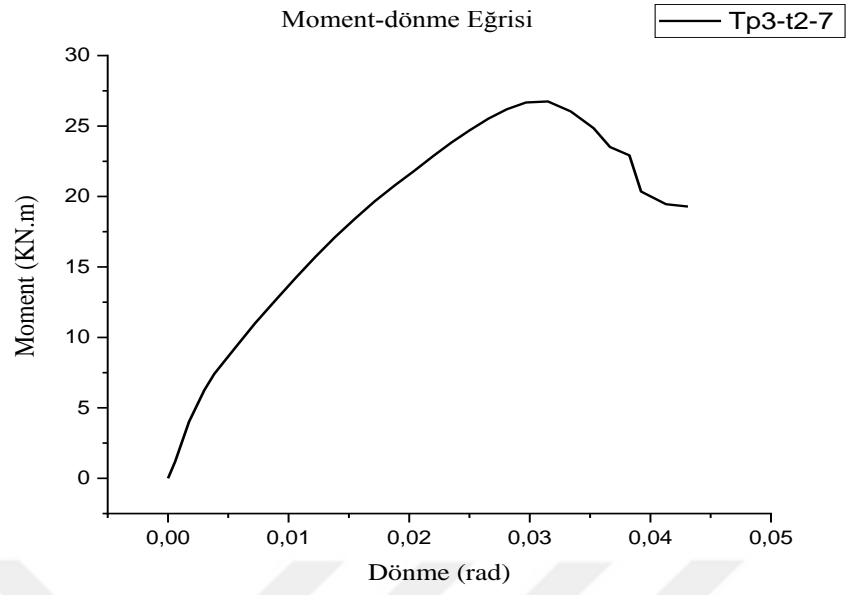
değerlerinde et kalınlığı arttıkça artış görülmesin rağmen  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde azalma görülmüştür.



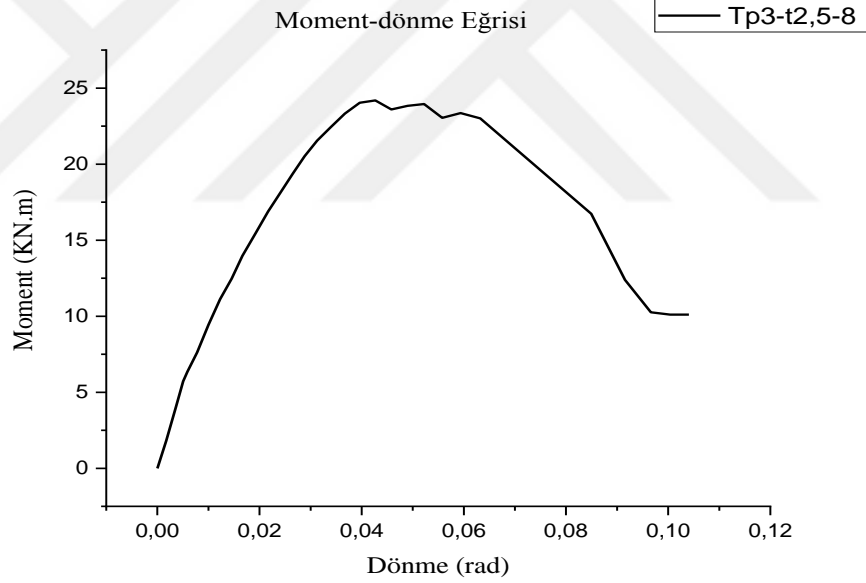
Şekil 4.9. Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t1-5 (No: 5)



Şekil 4.10. Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t1,5-6 (No: 6)

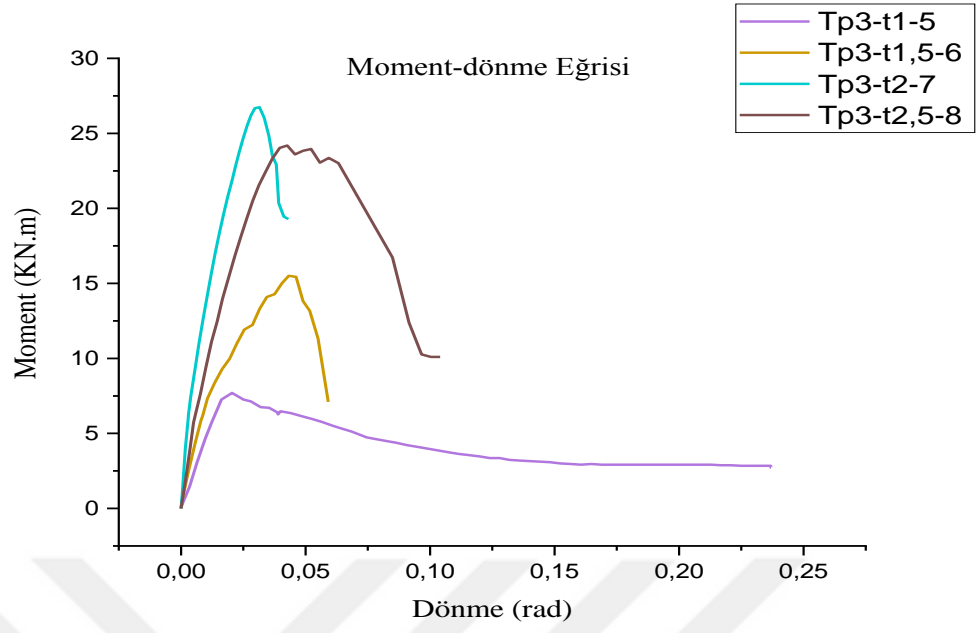


Şekil 4.11. Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t2-7 (No: 7)



Şekil 4.12. Moment-dönme eğrisi deney Tp3-t2,5-8 (No: 8)





Şekil 4.13. Moment-dönme eğrisi Tp3-1-5, Tp3-t1,5-6, Tp3-t2-7 ve Tp3-t2,5-8 'in karşılaştırmaları

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

**Çizelge 4.4.** Tp3 grubu deney sonuçları

Deney No	Mafsal Aralığı	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)				
		$M_{j,Rd}$	$M_{j,max}$	$M_{\Theta Cd}$	$S_{j,ini}$	$S_{j,p-1}$	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$	$\Theta_{M,Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj,max}$	$\Theta_{Cd}$
5	5,80-7,26	7,26	7,69	2,72	6,43	0,91	7,09	0,015	0,012	0,016	0,02	0,23
6	7,34-14,089	11,01	15,51	7,1	1,34	0,33	4,05	0,016	0,01	0,034	0,04	0,06
7	7,41-21,85	14,2	26,66	19,29	1,59	0,44	3,63	0,007	0,0038	0,021	0,029	0,04
8	7,62-21,54	18,15	24,19	10,1	2	0,53	3,75	0,016	0,0078	0,031	0,042	0,1

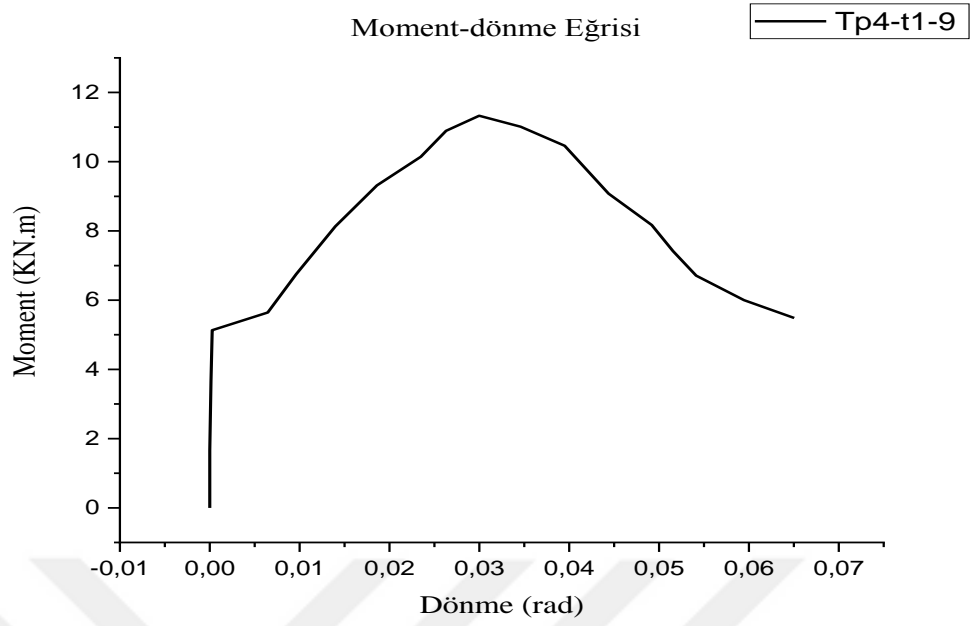
**Çizelge 4.5.** Tp3 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları

Sıralama	Mafsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j,Rd} \%$	$M_{j,max} \%$	$M_{\Theta Cd} \%$	$S_{j,ini} \%$	$S_{j,p-1} \%$	$S_{j,ini}/S_{j,p-1} \%$	$\Theta_{M,Rd} \%$	$\Theta_{Mj,max} \%$	$\Theta_{Cd} \%$
5-6	362,260	51,653	101,691	161,029	-79,160	-63,736	-42,877	6,667	100,000	-73,913
6-7	113,958	28,974	71,889	171,690	18,657	33,333	-10,370	-56,250	-27,500	-33,333
7-8	-3,601	27,817	-9,265	-47,641	25,786	20,455	3,306	128,571	44,828	150,000
5-8	853,425	150,000	214,564	271,324	-68,896	-41,758	-47,109	6,667	110,000	-56,522

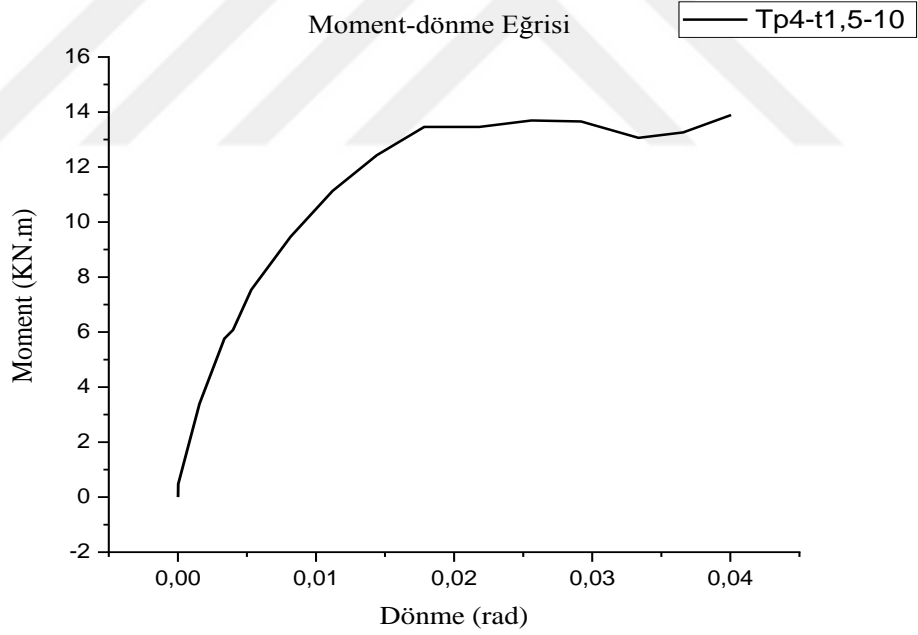
##### 4.2.3. Tp4 Grubu karşılaştırmaları

Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de guse levhalarının kalınlığı 4 mm olan farklı C profil kalınlıklarına sahip Tp4 grubu için, moment dönme eğrileri formül 2’ye göre hesapları yapılmış ve grafiksel olarak çizimleri gerçekleştirilmiştir. Grafiklerden elde edilen mukavemet, rijitlik ve dönme değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Tp4 grubu için birbirleri arasında yapılan kıyaslamalar ise Çizelge 4.7’de verilmiştir.

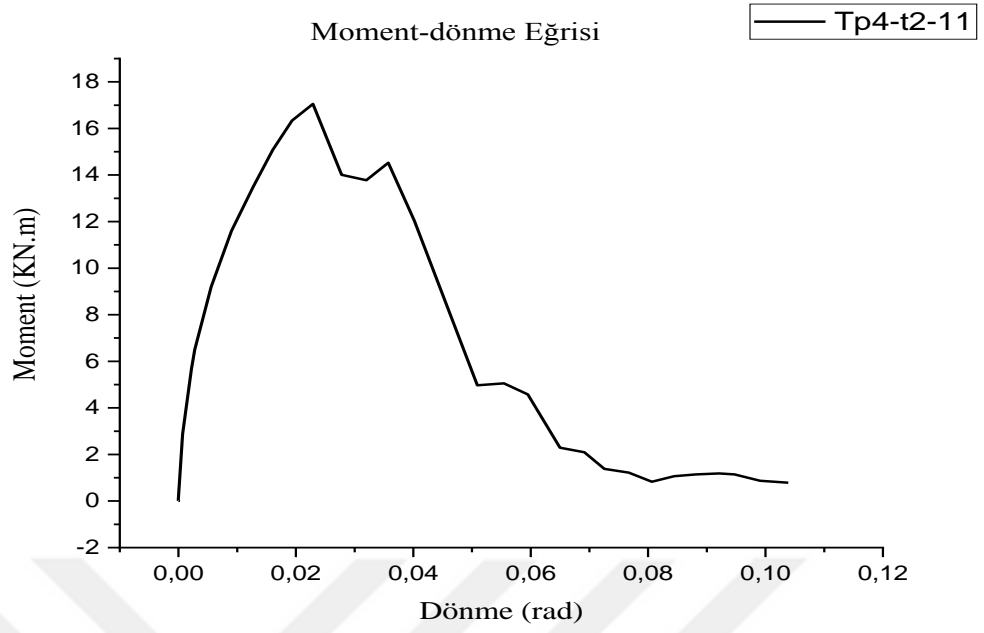
Şekil 4.18’de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 4.7’ye göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde kiriş et kalınlığıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış 8,528 değeri ile 84,148 değerleri arasında değişmektedir. Sadece 11-12 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir.  $M_{\Theta Cd}$  değerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 10-11 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Bu yüzde artış 92,883 değeri ile 121,795 değerleri arasında değişmektedir. Sonuç olarak 9 ve 12. deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde  $M_{j,Rd}$  ve  $M_{j,max}$  mukavemet değerlerinde artış  $M_{\Theta Cd}$  mukavemet değerinde ise azalma meydana gelmiştir. Tp4 gurubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de genellikle artış olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma değerleri ise 78,902’den 26,278 değerleri arasındadır. Sonuç olarak 9 ve 12. deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm’den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde azalma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 10-11 no’lu ve 11-12 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma meydana gelmiştir. Bu değerler için 9-10 no’lu ve 11-12 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Cd}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artma görülmüştür. Sadece 9-10 no’lu deneylerin karşılaştırılmasında istisnai bir durum gerçekleşmiştir. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde et kalınlığı arttıkça artış görülmesin rağmen  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde azalma görülmüştür.



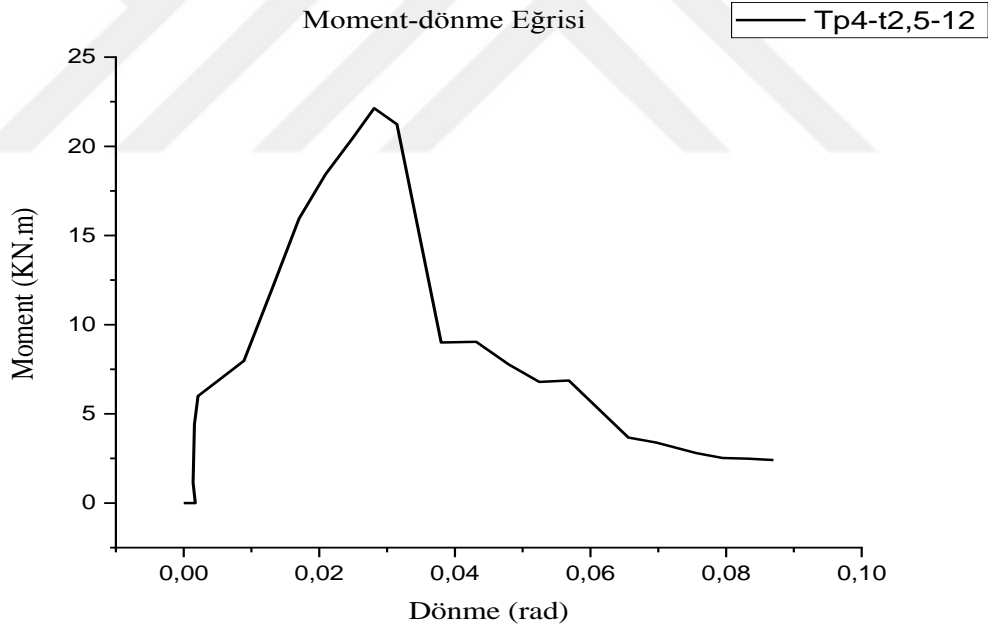
Şekil 4.14. Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t1-9 (No: 9)



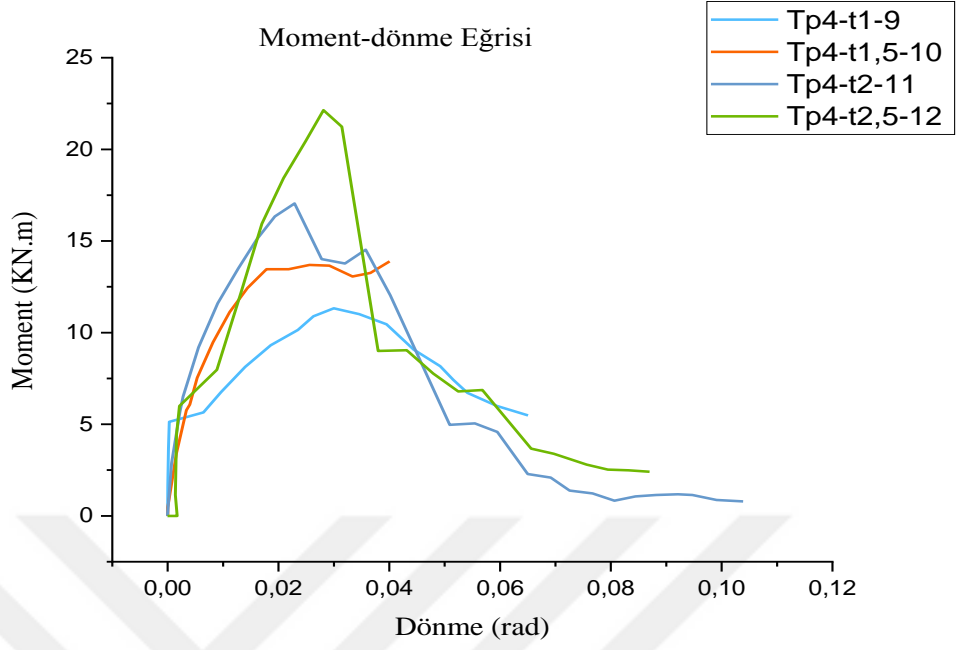
Şekil 4.15. Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t1,5-10 (No: 10)



Şekil 4.16. Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t2-11 (No:11)



Şekil 4.17. Moment-dönme eğrisi deney Tp4-t2,5-12 (No:12)



**Şekil 4.18.** Moment-dönme eğrisi Tp4-t1-9, Tp4-t1,5-10, Tp4-t2-11 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırmaları

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

**Çizelge 4.6.** Tp4 grubu deney sonuçları

Deney No	Mafsal Aralığı	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)				
		$M_{j,Rd}$	$M_{j,max}$	$M_{\Theta Cd}$	$S_{j,ini}$	$S_{j,p-1}$	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$	$\Theta_{M,Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj,max}$	$\Theta_{Cd}$
9	5,13-10,89	6,75	11,33	5,48	30,78	0,42	71,62	0,006	0,0027	0,026	0,029	0,06
10	9,47-13,45	12,43	14,12	10,57	15,8	0,29	52,8	0,011	0,008	0,018	0,043	0,03
11	2,88-16,33	13,49	17,05	0,78	9,75	0,87	11,14	0,009	0,0007	0,019	0,022	0,1
12	5,99-18,43	12,19	22,14	1,73	8,87	1,15	7,66	0,008	0,002	0,021	0,028	0,1

**Çizelge 4.7.** Tp4 grubunun birbirleri arasındaki kıyaslamaları

Sıralama	Mafsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j,Rd} \%$	$M_{j,max} \%$	$M_{\Theta Cd} \%$	$S_{j,ini} \%$	$S_{j,p-1} \%$	$S_{j,ini}/S_{j,p-1} \%$	$\Theta_{M,Rd} \%$	$\Theta_{Mj,max} \%$	$\Theta_{Cd} \%$
9-10	-30,903	84,148	24,625	92,883	-48,668	-30,952	-26,278	83,333	48,276	-50,000
10-11	237,940	8,528	20,751	-92,621	-38,291	200,000	-78,902	-18,182	-48,837	233,333
11-12	-7,509	-9,637	29,853	121,795	-9,026	32,184	-31,239	-11,111	27,273	0,000
9-12	115,972	80,593	95,410	-68,431	-71,183	173,810	-89,305	33,333	-3,448	66,667

##### 4.2.4. Tp2, Tp3 ve Tp4 gruplarının karşılaştırılması

Yapılan deneysel teslerin sonuÇları izelge 4.8’de verilmiştir. Tp2, Tp3 ve Tp4 gruplarının sabit C profil kalınlıŐı için guse levhası kalınlıklarının karşılaştırmaları yapılmıştır. Çizelge 4.9’da 1, 5, ve 9 no’lu deneylerinin, izelge 4.10’da 2, 6 ve 10 no’lu deneylerinin, izelge 4.11’de 3, 7 ve 11 no’lu deneylerinin, izelge 4.12’de 4,8 ve 12 no’lu deneylerinin mukavemet, rijitlik ve dönme deŐerleri arasındaki karşılaştırmaları vermiŐtir.





#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

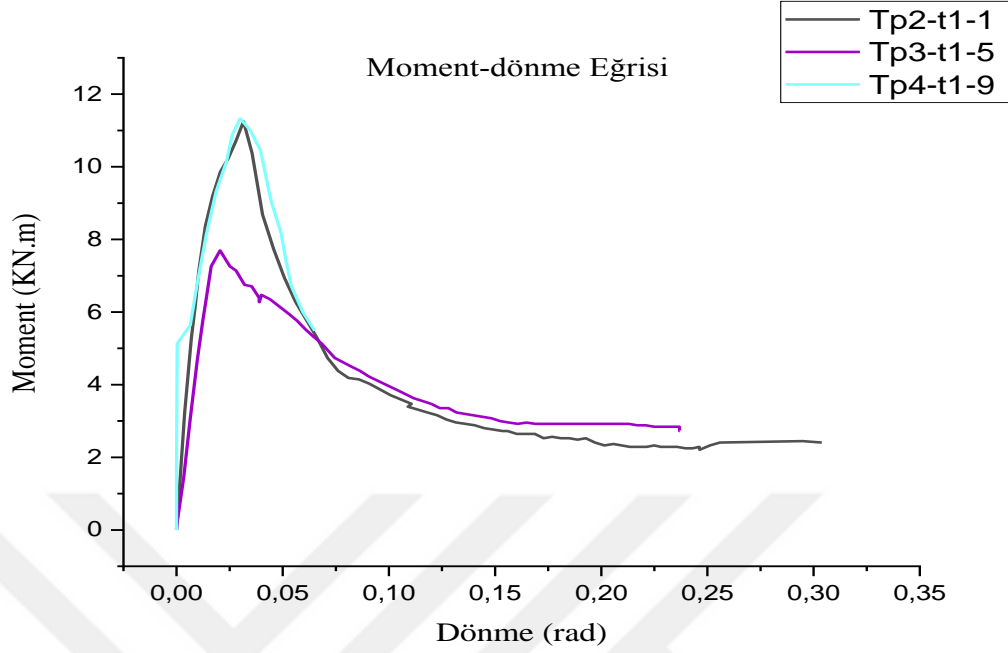
**Çizelge 4.8.** Tp2, Tp3 ve Tp4 grupları için deney sonuçları

Deney No	Mafsal Aralığı	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)				
		$M_{j,Rd}$	$M_{j,max}$	$M_{\theta Cd}$	$S_{j,ini}$	$S_{j,p-1}$	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$	$\theta_{M,Rd}$	$\theta_{Min.K.R}$	$\theta_{Msup.k.R}$	$\theta_{Mj,max}$	$\theta_{Cd}$
1	7,14-10,22	9,19	11,24	2,4	10,09	1,49	6,77	0,017	0,0069	0,02	0,031	0,3
2	7,42-17,64	15,39	20,51	2,84	7,52	0,88	8,56	0,017	0,008	0,03	0,063	0,35
3	3,51-17,21	16,18	17,69	10,57	3,09	0,11	26,64	0,015	0,0039	0,035	0,043	0,1
4	8,80-23,09	21,39	24,98	20,17	2,79	0,22	12,81	0,04	0,015	0,065	0,14	0,25
5	5,80-7,26	7,26	7,69	2,72	6,43	0,91	7,09	0,015	0,012	0,016	0,02	0,23
6	7,34-14,089	11,01	15,51	7,1	1,34	0,33	4,05	0,016	0,01	0,034	0,04	0,06
7	7,41-21,85	14,2	26,66	19,29	1,59	0,44	3,63	0,007	0,0038	0,021	0,029	0,04
8	7,62-21,54	18,15	24,19	10,1	2	0,53	3,75	0,016	0,0078	0,031	0,042	0,1
9	5,13-10,89	6,75	11,33	5,48	30,78	0,42	71,62	0,006	0,0027	0,026	0,029	0,06
10	9,47-13,45	12,43	14,12	10,57	15,8	0,29	52,8	0,011	0,008	0,018	0,043	0,03
11	2,88-16,33	13,49	17,05	0,78	9,75	0,87	11,14	0,009	0,0007	0,019	0,022	0,1
12	5,99-18,43	12,19	22,14	1,73	8,87	1,15	7,66	0,008	0,002	0,021	0,028	0,1

Şekil 4.19’de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 4.9’a göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde et kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu yüzde azalma 7,025 değeri ile 26,551 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça artış göstermiştir. Bu değerler içinde 1-5 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $M_{\Theta Cd}$  değerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış 92,883 değeri ile 121,795 değerleri arasında değişmektedir. Sonuç olarak 1-5, 1-9 ve 5-9 no’lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasındaki 2 mm’den 3 mm ye ve 4 mm’den kadar artışın beraberinde  $M_{\Theta Cd}$  ve  $M_{j,max}$  mukavemet değerlerinde artış  $M_{j,Rd}$  mukavemet değerinde ise azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışma grupları olan 1-5, 1-9 ve 5-9 no’lu deneylerin yapılan deneysel çalışmalar bize guse levhasının kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de genellikle artış olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu artma değerleri ise 4,727’den 957,903 değerleri arasındadır. Sonuç olarak 1-5, 1-9 ve 5-9 no’lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasının profil kalınlıklarının 2 mm’den 4 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde artma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma değerleri ise 11,765’den 64,706 değerleri arasındadır.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma meydana gelmiştir. Bu değerler için 5-9 no’lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Cd}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde guse levhasının et kalınlığı arttıkça azalma görülmesine rağmen  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde artma görülmüştür.

**Çizelge 4.9.** Tp2-t1-1, Tp3-t1-5 ve Tp4-t1-9’un karşılaştırılması

Sıralama	Mafsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j,Rd}$ %	$M_{j,max}$ %	$M_{\Theta Cd}$ %	$S_{j,ini}$ %	$S_{j,p-1}$ %	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$ %	$\Theta_{M,Rd}$ %	$\Theta_{Mj,max}$ %	$\Theta_{Cd}$ %
1-5	-52,597	-21,001	-31,584	13,333	-36,274	-38,926	4,727	-11,765	-35,484	-23,333
1-9	87,013	-26,551	0,801	128,333	205,055	-71,812	957,903	-64,706	-6,452	-80,000
5-9	294,521	-7,025	47,334	101,471	378,694	-53,846	910,155	-60,000	45,000	-73,913



**Şekil 4.19.** Moment-dönme eğrisi Tp2-t1-1, Tp3-t1-5 ve Tp4-t1-9'un karşılaştırmaları

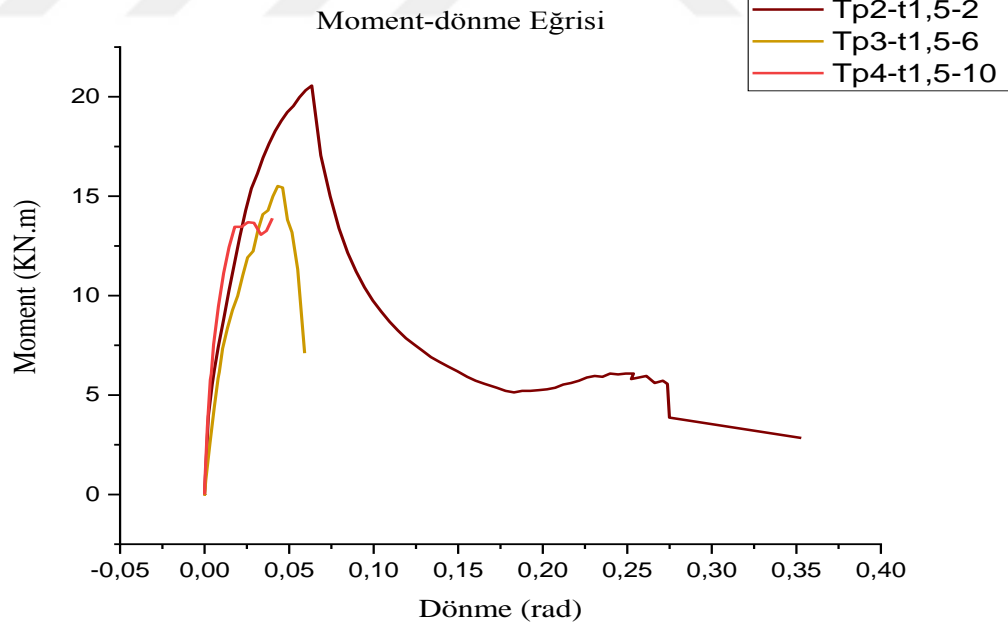
Şekil 4.20'de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 4.10'a göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde et kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 6-10 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma göstermiştir.  $M_{\Theta Cd}$  değerlerinin de et kalınlığıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu yüzde artış 48,873 değeri ile 272,183 değerleri arasında değişmektedir. Sonuç olarak 2-6, 2-10 ve 6-10 no'lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasındaki 2 mm'den 3 mm'ye ve 4 mm'den kadar artışın beraberinde  $M_{\Theta Cd}$  ve  $M_{j,Rd}$  mukavemet değerlerinde artış mukavemet  $M_{j,max}$  değerinde ise azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışma grupları olan 2-6, 2-10 ve 6-10 no'lu deneylerin yapılan deneysel çalışmalar bize guse levhasının kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de genellikle artış olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 2-6 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak 2-6, 2-10 ve 6-10 no'lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasının profil kalınlıklarının 2 mm'den 4 mm'ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde artma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma değerleri ise 5,882'den

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

35,294 değerleri arasındadır.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma meydana gelmiştir.  $\Theta_{Cd}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür. Bu azalma değerleri ise 50'den 91,429 değerleri arasındadır. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$ ,  $\Theta_{Mj,max}$  ve  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde guse levhasının et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür.

**Çizelge 4.10.** Tp2-t1,5-2, Tp3-t,5-6 ve Tp4-t1,5-10'nun karşılaştırılması

Sıralama	Mafsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j,Rd}$ %	$M_{j,max}$ %	$M_{\Theta Cd}$ %	$S_{j,ini}$ %	$S_{j,p-1}$ %	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$ %	$\Theta_{M,Rd}$ %	$\Theta_{Mj,max}$ %	$\Theta_{Cd}$ %
2-6	-33,963	-28,460	-24,378	150,000	-82,181	-62,500	-52,687	-5,882	-36,508	-82,857
2-10	-61,057	-19,233	-31,156	272,183	110,106	-67,045	516,822	-35,294	-31,746	-91,429
6-10	-41,028	12,897	-8,962	48,873	1079,104	-12,121	1203,704	-31,250	7,500	-50,000



**Şekil 4.20.** Moment-dönme eğrisi Tp2-t1,5-2, Tp3-t,5-6 ve Tp4-t1,5-10'nun karşılaştırmaları

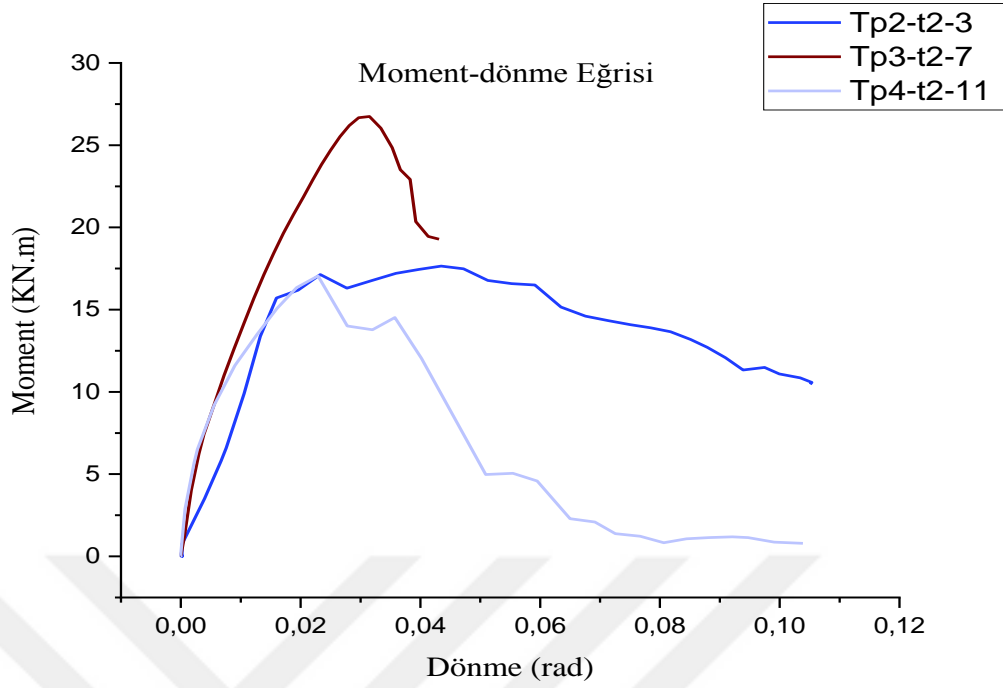
Şekil 4.21'de gösterilen moment-dönme grafiği ve Çizelge 4.11'e göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde et kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

tespit edilmiştir. Bu yüzde azalma 5 değeri ile 16,625 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma göstermiştir. Bu değerler içinde 3-7 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $M_{\Theta Cd}$  değerinde etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu değerler  $M_{\Theta Cd}$  değerleri içinde 3-7 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak 3-7, 3-11 ve 7-11 no'lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasındaki 2 mm'den 3 mm ye ve 4 mm'den kadar artışın beraberinde  $M_{\Theta Cd}$ ,  $M_{j,Rd}$  ve  $M_{j,max}$  mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışma grupları olan 3-7, 3-11 ve 7-11 no'lu deneylerin yapılan deneysel çalışmalar bize guse levhasının kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de azalma olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak 3-7, 3-11 ve 7-11 no'lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasının profil kalınlıklarının 2 mm'den 4 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde artma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu değerler içinde 7-11 no'lu deneysel karşılaştırma çalışması istisnai durum olarak kabul edilmiştir.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde guse levhasının et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür.

**Çizelge 4.11.** Tp2-t2-3, Tp3-t2-7 ve Tp4-t2-11'in karşılaştırılması

Sıralama	Mafsalsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j,Rd}$ %	$M_{j,max}$ %	$M_{\Theta Cd}$ %	$S_{j,ini}$ %	$S_{j,p-1}$ %	$S_{j,ini}/S_{j,p-1}$ %	$\Theta_{M,Rd}$ %	$\Theta_{Mj,max}$ %	$\Theta_{Cd}$ %
3-7	5,401	-12,237	50,707	82,498	-48,544	300,000	-86,374	-53,333	-32,558	-60,000
3-11	-1,825	-16,625	-3,618	-92,621	215,534	690,909	-58,183	-40,000	-48,837	0,000
7-11	-6,856	-5,000	-36,047	-95,956	513,208	97,727	206,887	28,571	-24,138	150,000



**Şekil 4.21.** Moment-dönme eğrisi Tp2-t2-3, Tp3-t2-7 ve Tp4-t2-11'in karşılaştırmaları

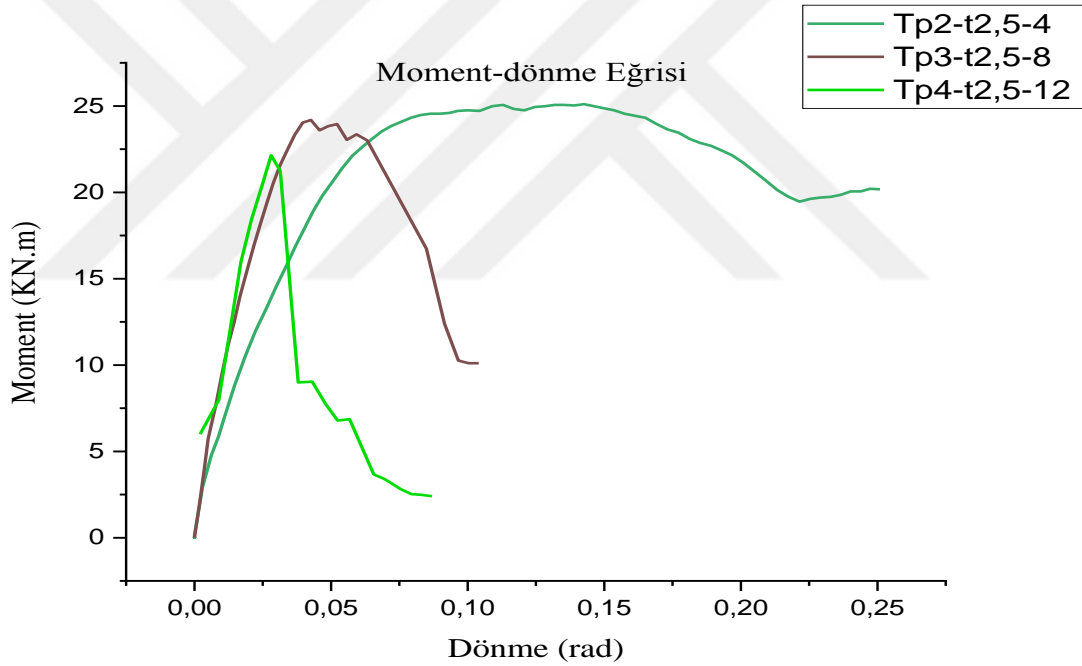
Şekil 4.22'de gösterilen moment-dönme grafiği ve çizelge 4.12'ye göre sayısal veriler incelendiğinde  $M_{j,Rd}$  değerlerinde et kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu yüzde azalma 15,147 değeri ile 43,011 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca  $M_{j,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma göstermiştir. Azalma değerleri 3,163 değeri ile 11,369 değerleri arasında değişmektedir.  $M_{\Theta Cd}$  değerinin de etki kalınlığıyla doğru orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Azalma değerleri 49,929 değeri ile 91,423 arasında değişmektedir. Sonuç olarak 4-8, 4-12 ve 8-12 deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasındaki 2 mm'den 3 mm ye ve 4 mm'den kadar artışın beraberinde  $M_{\Theta Cd}$ ,  $M_{j,Rd}$  ve  $M_{j,max}$  mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışma grupları olan 4-8, 4-12 ve 8-12 no'lu deneylerin yapılan deneysel çalışmalar bize guse levhasının kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de azalma olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak 4-8, 4-12 ve 8-12 no'lu deneylerin karşılaştırılmasında guse levhasının profil kalınlıklarının 2 mm'den 4 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde artma meydana getirmiştir.  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ise et kalınlığıyla orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu değerler 50 ile 60 arasında değişmektedir.  $\Theta_{Mj,max}$  değerleri et kalınlığı arttıkça azalma meydana gelmiştir. Sonuç

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

olarak  $\Theta_{M.Rd}$  ,  $\Theta_{Cd}$  ve  $\Theta_{Mj.max}$  değerlerinde guse levhasının et kalınlığı arttıkça azalma görülmüştür.

**Çizelge 4.12.** Tp2-t2,5-4, Tp3-t2,5-8 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırılması

Sıralama	Mafsal Aralığı %	Mukavemet (KN.m)			Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)		
		$M_{j.Rd}$ %	$M_{j.max}$ %	$M_{\Theta Cd}$ %	$S_{j.ini}$ %	$S_{j.p-1}$ %	$S_{j.ini}/S_{j.p-1}$ %	$\Theta_{M.Rd}$ %	$\Theta_{Mj.max}$ %	$\Theta_{Cd}$ %
4-8	-2,589	-15,147	-3,163	-49,926	-28,315	140,909	-70,726	-60,000	-70,000	-60,000
4-12	-12,946	-43,011	-11,369	-91,423	217,921	422,727	-40,203	-80,000	-80,000	-60,000
8-12	-10,632	-32,837	-8,475	-82,871	343,500	116,981	104,267	-50,000	-33,333	0,000



**Şekil 4.22.** Moment-dönme eğrisi Tp2-t2,5-4, Tp3-t2,5-8 ve Tp4-t2,5-12'nin karşılaştırmaları

Genel olarak yapılan farklı konfigürasyonlar seçilen profiller kullanılarak deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırma guse levhalarının 2 mm, 3mm ve 4 mm'lik kalınlıkları göz önüne alınarak testleri gerçekleştirilmiştir. Levha kalınlıklarının artmasıyla beraber mukavemet, rijitliğin genellikle artmasına ve dönme değerlerinin ise genellikle azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

### 4.3. Göçme Modları

Hafif çelik yapılarda yük aktarım işlevini üstlenen birleşimler yapısal tasarımlar için önem arz etmektedir. Akıllı vidalar kullanılarak yapılan kolon-kiriş birleşimlerinde çeşitli göçme modları oluşabilmektedir. Şekil 4.16'dan Şekil 4.27'e kadar deneysel çalışmada meydana gelen göçme modları gösterilmiş ve buna dayanarak Çizelge 4.13 hazırlanmıştır.

Tp2-t1-1, Tp2-t1.5-2, Tp2-t2-3, Tp3-t1-5, Tp4-t1-9 ve Tp4-t1.5-10 numaralı çalışmalarda gövde burkulması, Tp2-t2.5-4'de ise guse levhasında yırtılma göçme modu meydana gelmiştir. Guse levhasının kalınlığı arttıkça göçme modları kiriş profli üzerinde oluşmazken, guse levhası üzerinde deformasyonlar oluşur.

Vidalı birleşimlerin kesme yükü altındaki göçmesi, tekli mod ya da birleşik modlar şeklinde olabilir. Bu göçme modları; vidalarda kesme, vida yuvasının bozulması, birleşimin kopması, vidanın eğilme ve sıyrılması, vidanın sıyrılarak göçmesi, birleştirilen elemanların ezilmesi şeklindedir. Tp2-t2-3, Tp3-t1.5-6, Tp3-t2-7, Tp3-t2.5-8, Tp4-t2-11 ve Tp4-t2.5-12 numaralı çalışmalarda ise vidalar kesmesi ile göçme modları meydana gelmiştir. Gövde profilin et kalınlığı ve guse levhasının et kalınlığı arttıkça göçme modları vidalar üzerinde oluşmaktadır.



Şekil 4.23. Göçme modu deney Tp2-t1-1 (No: 1)





Şekil 4.24. Göçme modu deney Tp2-t1,5-2 (No: 2)



Şekil 4.25. Göçme modu deney Tp2-t2-3 (No: 3)



Şekil 4.26. Göçme modu deney Tp2-t2,5-4 (No: 4)



Şekil 4.27. Göçme modu deney Tp3-t1-5 (No: 5)



Şekil 4.28. Göçme modu deney Tp3-t1,5-6 (No: 6)



Şekil 4.29. Göçme modu deney Tp3-t2-7 (No: 7)



Şekil 4.30. Göçme modu deney tp3-t2,5-8 (No: 8)



Şekil 4.31. Göçme modu deney Tp4-t1-9 (No: 9)



Şekil 4.32. Göçme modu deney Tp4-t1,5-10 (No: 10)

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.33. Göçme modu deney Tp4-t2-11 (No:11)



Şekil 4.34. Göçme modu deney Tp4-t2,5-12 (No:12)

Çizelge 4.13. Deneysel çalışmalarda meydana gelen göçme modları

Grup No	Deney No	Ölçümler		Göçme Mod Konumu		
		Gövde (mm)	Guse Levhası (mm)	Gövde	Guse Levhası	Akıllı Vida
Tp2	1	1	2	√	-	-
	2	1,5		√	-	-
	3	2		√	-	√
	4	2,5		-	√	-
Tp3	5	1	3	√	-	-
	6	1,5		-	-	√
	7	2		-	-	√
	8	2,5		-	-	√
Tp4	9	1	4	√	-	-
	10	1,5		√	-	-
	11	2		-	-	√
	12	2,5		-	-	√

### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşiminin davranışını belirlemek için mevcut yükler altında 3 farklı kalınlıkta sırt sırta birleştirilmiş çift C profil kiriş ve 3 farklı kalınlık guse levhası olarak 12 adet tam ölçekli deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında birleşimin moment-dönme eğrilerden elde edilen birleşimin rijitliği, moment dayanımı ve dönme kapasitesi gibi karakteristik özellikleri ve göçme şekilleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmede deneyler C profil kalınlığının 1 mm, 1,5 mm, 2 mm ve 2,5 mm'ye kadar kalınlaştığı 3 grupta farklı guse levhası (Tp2, Tp3 ve Tp4) incelenmiştir. Tp2 grubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de arttırdığını göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu artış değerleri ise 26,440'dan 211,215 değerleri arasındadır. Tp2 grupta, Sonuç olarak 1 ve 4. deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinin de artışı getirmiştir. Tp3 grupta, Deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde mukavemet değerlerinin de artışı getirmiştir. Tp3 grubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de arttırdığını göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Tp3 grupta, Sonuç olarak 5 ve 8. deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm'den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde rijitlik değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Tp3 grupta, Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde et kalınlığı arttıkça artış görülmesin rağmen  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde azalma görülmüştür. Tp4 grubunda, deneylerin karşılaştırılmasında profil kalınlıklarının 1 mm den 2,5 mm ye kadar artışın beraberinde  $M_{j,Rd}$  ve  $M_{j,max}$  mukavemet değerlerinde artış  $M_{\Theta_{Cd}}$  mukavemet değerinde ise azalma meydana gelmiştir. Tp4 grubunda yapılan deneysel çalışmalar bize kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin de genellikle artış olduğunu göstermiştir. Rijitlik değerleri ise profil kalınlıklarının artışıyla oranlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Tp4 grubunda, Sonuç olarak  $\Theta_{M,Rd}$  değerlerinde ve  $\Theta_{Cd}$  değerlerinde et kalınlığı arttıkça artış görülmesin rağmen  $\Theta_{Mj,max}$  değerlerinde azalma görülmüştür. Genel olarak yapılan farklı konfigürasyonlar seçilen profiller kullanılarak deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırma guse levhalarının 2, 3 ve 4 mm'lik kalınlıkları göz önüne alınarak testleri

gerçekleşmiştir. Levha kalınlıklarının artmasıyla beraber mukavemet, rijitliğin genellikle artmasına ve dönme değerlerinin ise genellikle azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- Anwer Bayan, Sarifuddin Saad and Osman Hanım. 2012. Structural Performance of Bolted Moment Connections among Single Cold-Formed Channel Sections. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(4), 599-607.
- Aydin, A. C., Kiliç, M., Maali, M. and Sağıroğlu, M. 2015. Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles and stiffeners. *Journal of Constructional Steel*, 114, 338-348.
- Bagheri Sabbagh, A., Petkovski, M., Pilakoutas, K. and Mirghaderi, R. 2012. Development Of Cold-Formed Steel Elements For Earthquake Resistant Moment Frame Buildings. *Thin-Walled Structures*, 53, 99-108.
- Bagheri Sabbagh, A., Petkovski, M., Pilakoutas, K. and Mirghaderi, R. 2013. Cyclic Behaviour Of Bolted Cold-Formed Steel Moment Connections: FE Modelling Including Slip. *Journal Of Constructional Steel Research*, 80, 100-108.
- Basaglia, C., Camotim, D., Gonçalves, R., and Graça, A. 2013. GBT-based assessment of the buckling behaviour of cold-formed steel purlins restrained by sheeting. *Thin-Walled Structures*, 72, 217-229.
- Bjorhovde, R., Colson and A., Brozzetti, J. 1990. Classification system for beam-to-column connections. *Journal of Structural Engineering (United States)*, 116, 3059-3068.
- Bučmys, Ž., and Šaučiuvėnas, G. 2014. The Behavior Of Cold Formed Steel Structure Connections / Šaltai Formuotų Plieninių Konstrukcijų Mazgų Elgsena. *Engineering Structures and Technologies*, 5(3), 113-122.
- Carr, J., Mansour and A., Mills, J. 2005. Self-drilling screwed knee-joints for cold-formed steel portal frames in cyclonic regions. *Seventeenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures: Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction*, 713-725.
- Chavan, A. M. and Angalekar, S. S. 2016. *Finite element analysis of cold form perforated steel beam column connection*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(7), 1310-1314.
- Commission Of The European Communities Directorate General for Science Frame Design Including Joint Behavior Volume I. Research and Development Technical Research Steel (XII-C4), 1997.
- Commission Of The European Communities Directorate General for Science Frame Design Including Joint Behaviour Volume II. Research and Development Technical Research Steel (XII-C4), 1997.
- Coşkun M. T. 2003. Çelik yapılarda yarı-rijit birleşim tiplerinin çerçeve boyutlandırmasına etkileri. Y. Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Craveiro, H. D., Paulo, J., Rodrigues, C., and Lám, L. 2016. Buckling resistance of axially loaded cold-formed steel columns. *Thin-Walled Structures*, 106, 358-375.
- Daudet, L. R. and LaBoube, R. A. 1996. Shear behavior of self drilling screws used in low ductility steel. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures: Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction*, 595–613, St. Louis, USA.
- Dubina, D. 2004. Thin-Walled Structures: Foreword. *Thin-Walled Structures*, 42(2), 149–152.
- Dubina, D., Ungureanu, V. and Landolfo, R. 2013. Design of cold-formed steel structures: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3 design of cold-formed steel structures. In *Design of Cold-formed Steel Structures*,
- LaBoube, R. A. and Stephens, S. F., 2000. Structural behavior of cold-formed steel header beams for residential construction. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, Missouri University of Science and Technology, Rolla, Missouri, Rolla, USA.
- Freitas, A. M. S., Souza, F. T. and Freitas, M. S. R. 2010. Analysis and behavior of steel storage drive-in racks. *Thin-Walled Structures*, 48, 110-117.
- Freya, R., Senthil, R., Merin, W. J., Saravanakumar, R., Kuber, and Gowtham, M. 2016. Behaviour of cold-formed steel semi rigid connections. *Wei-Wen Yu International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures 2016-Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction*, November 9-10, Baltimore, Maryland, USA.
- Girão Coelho, A. M. and Bijlaard, F. S. K. 2007. Experimental behaviour of high strength steel end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63,1228-1240.
- Gutierrez, R., Loureiro, A., Lopez, M., and Moreno, A. 2011. Analysis of cold-formed purlins with slotted sleeve connections. *Thin-Walled Structures*, 49,833-841.
- Hancock, G.J. 2003. Cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 59(4), 473–487.
- Hassan, E. M., Serror, M. H., and Mourad, S. A. 2017. Numerical prediction of available rotation capacity of cold-formed steel beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 84-98.
- Hazlan, A. H., Tahir, M. M., Sulaiman, A. and Mahendran, M. 2011. Bolted beam-column moment connections between cold-formed steel members. *Incorporating Sustainable Practice in Mechanics of Structures and Materials - Proceedings of the 21st Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*. Victoria University, Melbourne.



- Kılıç Mahmut. 2014. Korniyerli and Berkitmeli Birleşimlerin Moment-Dönme Davranışının Araştırılması. Y. Lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Lee, Y. H., Tan, C. S., Mohammad, S., Md Tahir, M., and Shek, P. N. 2014. Review on cold-formed steel connections. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-11.
- Maali, M., Aydın, A. C. and Sağiroğlu, M. 2015. Investigation of innovative steel runway beam in industrial building. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 40(7), 2239-2251.
- Maali, M., Kılıç, M., Sağiroğlu, M. and Aydın, A. C. 2017. Experimental model for predicting the semi-rigid connections' behaviour with angles and stiffeners. *Advances in Structural Engineering*, 20(6), 884-895.
- Maali, M., Sagioglu, M. and Semih Solak, M. 2018. Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9).
- Makelainen Pentti, Jyrki Kesti, Olli Kaitila and Kimmo J. Sahramaa. 1998. Study on Light-gauge Steel Roof Trusses with Rosette Connections. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 3, Missouri University of Science and Technology, St. Louis, Missouri, USA.
- Mills, J., and LaBoube, R. 2002. Self-drilling screw joints for cold-formed channel portal frames. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures: Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction*, 825–838, Missouri Rolla, Orlando, USA.
- Mills, J., and LaBoube, R. 2004. Self-Drilling Screw Joints for Cold-Formed Channel Portal Frames, *Journal Of Structural Engineering*, 130(11), 1799-1806.
- Öztürk Ferhan 2014. Hafif Çelik Çerçeve Sistemlerinin Tepe Birleşim Bölgesinin Sonlu Eleman Analizleri ile Optimizasyonu. Y. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Rogers, C. A., and Hancock, G. J. 1998. Behaviour of thin G550 sheet steel bolted connections. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures: Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction*, St. Louis, Missouri, USA.
- Schafer, B. W. 2008. Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design. *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 766-778.
- Serrette, R. and Peyton, D. 2009. Strength of screw connections in cold-formed steel construction. *Journal of Structural Engineering*, 135(8).
- Serror, M. H., Hassan, E. M. and Mourad, S. A. 2016. Experimental study on the rotation capacity of cold-formed steel beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 216-228.

- TC 7- TWG 7.10. 2009. The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections 2<sup>nd</sup> edition. European Convention for Constructional Steelwork , 42, Portugal,
- Torabian, S., Zheng, B. and Schafer, B. W. 2015. Experimental response of cold-formed steel lipped channel beam-columns. *Thin-Walled Structures*, 89, 152-168.
- Wang, P., Wulan, T., Liu, M., Qu, H. and You, Y. 2019. Shear behavior of lap connection using one-side bolts. *Engineering Structures*, 186, 64–85.
- Wong, M. F. and Chung, K. F. 2002. Structural behaviour of bolted moment connections in cold-formed steel beam-column sub-frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(2), 253–274.
- Yu, C., Xu, K., and Sheerah, I. 2011. Bearing strength of cold-formed steel bolted connections using oversized holes without washers. *Journal of Structural Engineering*, 137(1), 156–159.
- Yu C. and Sheerah I. 2008. Cold-Formed Steel Bolted Connections Without Washers on Oversized and Slotted Holes. Department of Engineering Technology University of North Texas Denton. Texas.
- Yu, W. W., and LaBoube, R. A. 2010. Cold-Formed Steel Design: Fourth Edition. In *Cold-Formed Steel Design: Fourth Edition*.

## EK-1: Tezden Üretilmiş Yayınlar

Arabian Journal of Geosciences (2018) 11:205  
<https://doi.org/10.1007/s12517-018-3540-4>

GCEC 2017



## Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames

Mahyar Maali<sup>1</sup> · Merve Sagioglu<sup>2</sup> · M. Semih Solak<sup>2</sup>

Received: 24 January 2018 / Accepted: 16 April 2018  
 © Saudi Society for Geosciences 2018

### Abstract

In this study, a beam-to-column connection in cold-formed steel structure has been examined using self-drilling screw. An experimental study is carried out for the full-scale specimens of the connection. The beam has different thickness to determine the structural behavior of the connection. The behavior of connections is represented by their moment-rotation curve. So, this study focuses on evaluating the moment-rotation curves and whose characteristic values. The aim of the work is also to provide failure mechanism for the connection whose fastener is self-drilling screws. The failures of the connected members and screws are observed in the knee joint configuration. This was performed through cantilever tests of full-scale beam-to-column joints. Experiment results were evaluated by comparing to the results of other experiments with different combination thickness. The experimental results showed that plastic and maximum deformation decreases while maximum moment and stiffness increases when the profile thickness of the beam increased.

**Keywords** Screwed connection · Cold-formed steel · Moment-rotation curves · Beam-to-column connection

### Introduction

Nowadays, construction technology continues to take within new materials and methods with a great pace. In this context, light construction steel is one of the structure systems produced with galvanized steel cold forming method. Cold-formed steel (CFS) frames mainly differ from hot-rolled steel frames in that various shapes of section can be produced economic, lightness, and easy for prefabrication. It has recently been used as a structure system that shows a good performance in terms of economical and lightness and to eliminate the loss of time to a large extent. Beam-to-column joints affect the behavior of steel buildings. The behavior of joint in design and analysis of structures should specifically be considered

because of their effects on the force transfer and on structural deformations. The connections must have the required rigidity to transfer loads and limit building deformation under gravity and lateral forces. Therefore, one of the most important elements in the structural stability of CFS structures is connections. While connections in low-rise buildings do not cause problems in CFS, connections that will provide resistance against vertical and lateral loads as the number of floors increases are among the topics (Sagioglu and Memari 2015) recently discussed in the world. Structural components or sheets in CFS building are joined by using various connections such as bolted (Serror et al. 2016; Hassan et al. 2017), welded (Landolfo et al. 2012), screw (Mills and LaBoube 2004), rosette joints (Makelainen and Kesü 1999), and storage racks (Freitas et al. 2010) as well as two types of connections, bolted and welded, used in steel structures. Researchers (Yan and Young 2012; Rogers and Hancock 1998) examined the failure modes of various joints in light steel structures to understand structural behavior of CFS frame by carrying out the shear experimental tests.

Self-drilling screws of those are commonly used because the screws can ensure a rapid and effective design using advanced tools. Researchers (Mills and LaBoube 2004) carried out experimental tests showed that self-drilling screws have

This article is part of the Topical Collection on *Global Sustainability through Geosciences and Civil Engineering*

✉ Merve Sagioglu  
 merve.sagioglu@erzurum.edu.tr

<sup>1</sup> Gencler Metal Company, Erzurum, Turkey

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Erzurum Technical University, Erzurum, Turkey

Published online: 02 May 2018



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Muhammet Semih SOLAK  
Uyruğu : TC.  
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.08.1990  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : +905316291186  
e-mail : muhammetsemihsolak@gmail.com

### Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erzurum Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Atatürk Üniversitesi	2014
Lise	Mecidiye Anadolu Lisesi	2007

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Akın Yapı denetim 2014-2015

Erzurum Büyükşehir Belediyesi 2015-devam ediyor

### SCI, SCI-Expanded kapsamında yayınlanan makaleler

Maali M., Sağıroğlu M., **Solak M. S.**, (2018 ), “Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames”, SCI-Expanded, Arabian Journal of Geosciences, 11 (205), pp. 1-6.

### Uluslararası Bildiriler

Maali M., Sağıroğlu M., **Solak M. S.**, (2018 ), “Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames”, GCEC2017, Global Civil Engineering Conference, Kuala Lumpur, MALAYSIA.

### Ödüller

**The best paper award**, 2017, University Putra Malaysia, MALAYSIA