

ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAFİF ÇELİK YAPILARDA VİDALI KİRİŞ-KOLON
BİRLEŞİM (BERKİTMELİ) DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK BELİRLENMESİ**

Casim YAZICI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Merve SAĞIROĞLU

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Nisan, 2018

ERZURUM

Her Hakkı Saklıdır

ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “HAFİF ÇELİK YAPILARDA VİDALI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM (BERKİTMELİ) DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak sunduğumu, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde vermediğimi, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17/04/2018

.....

Casim YAZICI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK YAPILARDA VİDALI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM (BERKİTMELİ) DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Casim YAZICI

Erzurum Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU

Son yıllarda yapısal çelik alanındaki gelişmelerden biri, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin çerçeve sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıdır. Normal çelik yapılarda bulonlu veya kaynaklı birleşim türleri kullanılırken, soğuk şekillendirilmiş birleşimlerde vida, bulon, perçin, kaynak, rozette birleşim ve raf birleşim gibi birçok birleşim tipi kullanılmaktadır. Bunlardan vidalı birleşimler üzerinde sadece kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hafif çelik yapılarda kiriş-kolon birleşimlerinde ise daha çok bulonlu birleşim kullanılmaktadır. Literatür araştırmaları incelendiğinde hadde profilleri ile kıyasla oldukça hafif olan soğuk şekillendirilmiş çelik yapılar daha önce malzemeden deforme olduklarından, vidalı kiriş-kolon birleşimlerinin bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinden daha ekonomik sonuçlar vereceği öngörülmüştür. Hafif çelik kiriş-kolon birleşimlerinde,akıllı vida kullanımının birleşim davranışına etkisini gözlemlemek için birleşimler deneysel olarak incelenmiştir. Hafif çelik yapılarda birleşimin yapısal davranışını belirlemek için kiriş gövdesinde berkitme kullanılarak;kirişin ve bayrak levhasının farklı kalınlıkları için birleşimin tam ölçekli konsol testleri gerçekleştirilmiştir. Birleşimlerin davranışı moment-dönme eğrisi ile temsil edildiğinden, bu çalışmada moment-dönme eğrilerinin ve moment-dönme karakteristik özelliklerinin değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Aynı zamanda, birleşimlerin göçme modları da belirlenmiştir. Deney sonuçları berkitme kullanımının göçmeyi geciktirdiğini, rijitlik ve maksimum momenti artırdığını göstermiştir. Ayrıca kiriş kalınlığı ve bayrak levhasının kalınlığının artması rijitlik ve göçme davranışını değiştirmiştir.

2018, 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Soğuk Haddelenmiş Çelik, vidalı birleşim, Kolon Kiriş Birleşimleri, Çelik Birleşimler

ABSTRACT

MASTER THESIS

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF (STIFFENED) SCREWED BEAM TO COLUMN CONNECTION BEHAVIOR IN COLD FORMED STEEL STRUCTURES

Casim YAZICI

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

Supervisor: Asst. Prof. Merve SAĞIROĞLU

One of the developments in the field of structural steel in recent years is the introduction of cold-formed steel profiles in frame systems extensively. While nuts or welded joints are used in normal steel structures, many types of joints are used in cold formed steel structures such as screws, bolts, rivets, welds, rosette joints and rack joints. Among these, only shear tests were conducted on screw joints. In light steel constructions, bulbous joints are used more in beam-column joints. When the literature is examined, it is predicted that screwed beam-column joints will yield more economical results than bolted beam-column joints because the material deforms first in cold-formed steel structures, which are quite light compared to rolling profiles. In light steel beam-column joints, the combinations were experimentally investigated to observe the influence of the use of smart screws on the joint behavior. Full-scale console tests of the combination have been carried out for different thicknesses of beam and through plate in order to determine the structural behavior of the combination of light steel structures by using stiffening in the web of beam. Since the behavior of the couplings is represented by the moment-rotation curve, this study focused on the evaluation of the moment-rotation curves and the moment-rotation characteristics. Failure modes of the connections were also specified. The results of the experiment show that using stiffeners retards the failure and increases the stiffness and ultimate moments. Besides, the increase in the beam thickness and the through plate thickness changed the stiffness and failure behavior.

2018, 97 sayfa

Keywords: Cold Formed Steel, screw connections, Beams To Column Connections, Steel, Steel To Steel Connection, Steel Connections

TEŞEKKÜR

Yaklaşık üç yıldır sürmekte olan, Erzurum’da başlayıp Ankara ve Ağrı’da devam eden ve çeşitli nedenlerle zaman zaman aksayan, zaman zaman ise çok uzun çalışma saatleri ve emek harcanarak nihayet ortaya çıkan bu tezde, bazı zorluklara rağmen sabır, inanç ve işbirliği sayesinde amaçlanan hedefe ulaşılmış olmasıyla birlikte daha da artmıştır.

Yüksek lisans sürecim boyunca, bu yolda yürürken desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, akademisyenlik hayatına başlamamda en büyük payı olan ve hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen abim Sayın Erhan YAZICI’ya ve kardeşim Hakkı YAZICI’ya, deney sisteminin kurulmasında Gençler Metal Ltd. Şti.’ye, deney aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Dr. Mahyar MAALİ ve Dr. Mahmut KILIÇ’a ve bu tezin oluşmasına en büyük katkıyı sağlayan ve hiçbir konuda yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yanımda olan, ve bu süre başka şehirde öğretim görevlisi olarak göreve başladığım için bu süre boyunca desteğini esirgemeyen ve her türlü bilgilendirme ve yönlendirmeleriyle çalışmamı bilimsel bir temelde sunmamı sağlayan hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Merve SAĞIROĞLU’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Casim YAZICI

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	12
1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	12
1.2. Kaynak Özetleri	13
2. KURAMSAL TEMELLER	21
2.1. Demir- Çelik Üretimi	21
2.1.1. Demir Üretimi	21
2.1.2. Çelik Üretimi	22
2.2. Çelik ürünleri ve üretim yöntemleri	22
2.2.1. Sıcak şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri	22
2.2.2. Soğuk şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri	23
2.2.3. Sürekli formda şekil verme	24
2.2.4. Soğuk bükme	26
2.2.5. Soğuk haddelemenin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi	27
2.3. Hafif Çelik Profillerin Yapılarda Kullanı	29
2.4. Hafif çelik yapılarda göçme modlar	30
2.4.1. Hafif çelik profillerde burulma	30
2.4.2. Hafif çelik profillerde gövde buruşması	31
2.4.3. Hafif çelik yapılarda yerel burkulma	32
2.5. Çelik Yapılarda Kiriş-Kolon Birleşimleri	34
2.6. Çelik Kiriş-Kolon Birleşimlerin Davranışı	34
2.7. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Eğrilerinin Karakteristik Özellikleri	35
2.8. Hafif Çelik Yapılarda Birleşimler	37

2.9.1. Depolama raf birleşimeri.....	37
2.9.2. Kaynaklı birleşimler.....	39
2.9.3. Bulonlu birleşimler.....	40
2.9.4. Vidali birleşimler.....	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1. Deneysel Çalışmalar.....	50
3.2. Deneysel aletler.....	50
3.2.1. Deformasyon ölçme cihazı (LVDT).....	51
3.2.2. Gerinim ölçerler (Strain-gauge)	51
3.2.3. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell) ve bilgisayar	52
3.2.4. Veri toplama sistemi (Data logger)	54
3.3. Deneylerin Yapılması ve Doğru Şekilde Uygulanması	55
3.4. Deneysel Verilerin Formüllerle İstenilen Verilere Dönüştürülmesi	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	59
4.1. Birleşim Tipi	60
4.2. Deney Düzeneği.....	63
4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Moment-Dönme eğrileri.....	65
4.3.1. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S, T3-C2-P1-S	65
4.3.2. T4-C1-P1, T5-C1.5-P1 ve T6-C2-P1	70
4.3.3. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S.....	74
4.3.4. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5	80
4.3.5. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S.....	84
4.3.6. Berkitme kullanımının moment-dönme değerlerine etkisi.....	88
4.3.7. Bayrak levhası kullanımının moment-dönme değerine etkisi.....	89
5. TARTIŞMA	92
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yerel, çarpılmalı ve genel burkulma modları	16
1.2. İncelenen kolon-kiriş birleşim bölgesi.....	17
1.3. Kolon-kiriş birleşim deney sonucu yanal göçmesi	18
2.1. Demir üretim fırınına ait bir kesit	21
2.2. Sıcak haddeleme tekniği	23
2.3. Hafif çelik profil kesitinin adlandırılması.....	24
2.4. Sürekli soğuk şekillendirme (Roll- Forming) işlemi	25
2.5. Sürekli soğuk şekillendirme.....	25
2.6. Sürekli formda şekil verme yöntemi ile üretilebilen bazı kesitler	26
2.7. Soğuk bükme yöntemi ile üretilebilen bazı kesitler.....	26
2.8. Abkant pres tegahı ve bükme kalıbı	27
2.9. Soğuk haddeleme ürünü çelik profiller.....	27
2.10.a) Sürekli şekil değiştirme, b) Preste bükme	28
2.11. Hafif çelikprofillerde kiriş kiriş birleşimi	29
2.12. Hafif çelik profil makas birleşimleri.....	29
2.13. Hafif profil duvar elemanları	30
2.14. Hafif çelik kolon ve kiriş burulma modları	31
2.15. C ve I kesitlerinde yükleme altında gövde buruşması	32
2.16. Bir C kesitin yerel burkulması (a) ve çarpılmalı burkulması (b ve c)	33
2.17. Birleşimin dönme deformasyonu.....	35
2.18. Görülen moment-dönme eğrisi	36
2.19. Depolama raf birleşimi için tipik eğilme testi	38
2.20. Hafif çelik yapılarda bulonlu birleşim	40
2.21. Hafif çelik kiriş-kolon birleşimi	41
2.22. Çelik vidaların deformasyon halleri	44
2.23. Akıllı vidalarının örnekleri	45
2.24. Kesme bağlantılarında bağlantı elemanı davranışı	45
2.25. Soğuk şekillendirilmiş çelik bağlantılarda kesme ve gerilme durumu	46
2.26. Vidalı hafif çelik birleşimi	47

2.27. Akıllı vidaların göçme modları.....	48
2.28. Vidalı kiriş-kolon birleşiminin göçme modları	49
3.1. Dijital deformasyon ölçme cihazı (LVDT).....	51
3.2. Gerinim pulları.....	52
3.3. Yük hücresi	53
3.4. Hidrolik pompa ve piston	53
3.5. Veri toplama sistemi (datalogger).....	54
3.6. Veri toplama cihaz programı	55
3.7. Deneylerin yapıldığı çerçeve sistemi	55
3.8. Burulma önleyici profiller	56
3.9. Deney sistemi birleşim tipi için kirişin LVDT bağlama ve yükleme noktaları gösterimi	57
4.1. Berkitmeli birleşim tipi.....	60
4.2. Berkitmesiz birleşim tipi.....	60
4.3. Birleşim tipi ve modeli	61
4.4. Hafif çelik kirişin adlandırılması ve kiriş alın plakası	63
4.5. Berkitme boyutları	63
4.6. Deney düzeneği.....	64
4.7. Kiriş kesiti ve LVDT konumu	64
4.8. T1-C1-P1-S Kirişin moment-dönme grafiği.....	67
4.9. T2-C1.5-P1-S kirişin moment-dönme eğrisi	67
4.10. T3-C2-P1-S kirişin moment-dönme eğrisi	67
4.11. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S ve T3-C2-P1-S karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi	68
4.12. T1-C1-P1-S kirişinin göçme modu	69
4.13. T2-C1.5-P1-S kirişinin göçme modu.....	69
4.14. T3-C2-P1-S kirişinin göçme modu	70
4.15. T5-C1.5-P1 kirişin moment-dönme eğrisi	71
4.16. T6-C2-P1 kirişin moment-dönme eğrisi	71
4.17. T5-C1.5-P1 ve T6-C2-P1 karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi	72
4.18. T5-C1.5-P1 kirişinin göçme modları	73
4.19. T6-C2-P1 kirişinin göçme modları	73

4.20. T6-C2-P1 kirişinin göçme modları	74
4.21. T7-C1-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi	75
4.22. T8-C1.5-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi	76
4.23. T9-C2-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi	76
4.24. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi.....	77
4.25. T7-C1-P1.5-S kirişin göçme modları.....	78
4.26. T7-C1-P1.5-S kirişin göçme modları.....	78
4.27. T8-C1.5-P1.5-S kirişin göçme modları.....	79
4.28. T9-C2-P1.5-S kirişin göçme modları.....	79
4.29. T10-C1-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi	81
4.30. T11-C1.5-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi	81
4.31. T12-C2-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi	81
4.32. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5 karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi	82
4.33. T10-C1-P1.5 kirişinin göçme modu	83
4.34. T10-C1-P1.5 kirişinin göçme modu	83
4.35. T11-C1.5-P1.5 kirişinin göçme modu	84
4.36. T12-C2-P1.5 kirişin göçme modları	84
4.37. T13-C1-P2-S kirişinin moment-dönme eğrisi	85
4.38. T14-C1.5-P2-S kirişin moment-dönme eğrisi	86
4.39. T15-C2-P2-S kirişinin moment-dönme eğrileri.....	86
4.40. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi	86
4.41. T13-C1-P2-S kirişinin göçme modu	87
4.42. T14-C1.5-P2-S kirişin göçme modları.....	88
4.43. T15-C2-P2-S kirişinin göçme modları	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Mekanik bağlantı elemanlarının uygulama alanları için araştırması	43
4.1. Bayrak levhası boyutları ve berkitmeler mesafeleri	62
4.2. Kiriş detayları ve boyutları	62
4.3. Kiriş, bulon ve vida boyutları	63
4.4. LVDT ve pompa mesafeleri	65
4.5. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S ve T3-C2-P1-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri.....	68
4.6. T5-C1.5-P1 ve T6-C2-P1 deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri	72
4.7. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri.....	77
4.8. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5 deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri.....	82
4.9. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
m	metre
cm	santimetre
mm	milimetre
Rad	radyan
KNm	kilonivtonmetre

Kısaltmalar

CNC	Computer Numerical Control
CFS	Soğuk şekillendirilmiş çelik
BWBN	Bouc-Wen-Baber-Noori
EEEE	Eşdeğer Enerji Elastik-Plastik
OSB	Oriented Structurel Board
$M-\theta$	Moment-dönme
MRd	Eğilme momenti
ÖMRd	Momente karşılık gelen dönme
$M_{j,max}$	Moment dayanımı
$S_{j,ini}$	Dönme rijitliği
Öcd	Dönme kapasitesi
SEMA	Depolama Ekipmanları Üreticileri Derneği
FEM	Avrupa Birliği Uyumlaştırılmış Federasyon
LBW	Lazer ışın kaynağı
SHS	Boşluklu kare kesitler
RHS	Boşluklu dikdörtgen kesit
CHS	Boşluklu Dairesel Kesit
SCF	Stres yoğunlaşma faktörleri
AJ	Japon çelik tasarım standartları
SSBA	Japonya'nın Paslanmaz Çelik Yapı Birliği'nden

AISI	Sismik standardında (soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal sistemler - özel bulonlu moment çerçeveleri)
CFS-SBMF	Soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal sistemler özel bulonlu moment çerçeveleri
AISI SPEC	American Iron And Steel Institute Specification.
LVDT	Deformasyon Ölçme Cihazı
E	Kirişin Elastisite Modülü
I	Kirişin Atalet Momenti
Θ	Kirişin dönme değeri
δ	Kirişin deplasmanı
Θ	Kirişin dönme değeri
δ	Kirişin deplasmanı
b	Kiriş
f_b	Kirişin başlığı
D	Kaba bulonlarda delik çapı
d	Kaba bulonda gövde çapı

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Son yıllarda yapısal çelik alanındaki gelişmelerden biri, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin çerçeve sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıdır. Geleneksel hadde profilleri ile kıyasla oldukça hafif olan bu profillerle de çok katlı olmayan konut yapıları ve bazı hafif endüstriyel yapılar ekonomik olarak inşa edilebilmektedir. Hafif çelik yapılar yurtdışında 1980'li yıllarda yaygınlaşmışken, ülkemizde özellikle 1999 Adapazarı Depremi sonrasında hızla kullanılmaya başlanmıştır. Hafif çelik profillerin son yıllarda CNC makineler yardımıyla çok daha hızlı ve ekonomik olarak üretimi sayesinde hafif çelik yapı sistemlerinin daha da yaygın kullanıldığı görülmektedir. Hafif çelik yapı tekniği uygulamalarında önemli bir yeri olan hafif çelik çerçeve sistemlerin, konutlar, endüstriyel ve tarımsal yapıların çeşitlendirilip geliştirilmesine yeni bir yaklaşım getireceği umulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde hafif çelik yapıların yönetmelikleri mevcut ve yaygın olarak kullanılırken, ülkemizde halen tasarım ve üretim aşamalarında hem yönetmelikler hemde kontrol mekanizmaları bakımından eksiklikleri barındırmaktadır. Hafif çelik yapıların tasarım ve modellemesinde birleşimlerin davranışının hesaba katılması yapının gerçek davranışının belirlenmesi için önemlidir. Bundan dolayı, çelik yapılarda birleşim davranışının iyi bilinmesi gerekir. Birleşimler, birleşim tipine, yerleşim biçimlerine ve elemanlarına göre değişik moment-dönme eğrileri oluştururlar. Deneylerle elde edilen bu moment-dönme eğrileribirleşimin gerçek davranışınıgörsel olarak ifade eder.

20. yüzyılın sonlarına doğru yapısal çelik alanındaki gelişmelerden biri, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin çerçeve sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıdır. Bu çalışmada, soğuk şekillendirilmiş çelik yapılardaki kiriş-kolon birleşimi, akıllı vida kullanılarak incelenmiştir. Bağlantının yapısal davranışını belirlemek için kirişin farklı kalınlıklarda ve kiriş gövdesinde berkitme kullanılarak bağlantının tam ölçekli numuneleri için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bağlantıların davranışı moment-dönme eğrisi ile temsil edildiğinden, bu çalışma

moment-dönme eğrilerinin ve moment-dönme karakteristik değerlerinin değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Çalışmanın amacı, bağlantı elemanının akıllı vida bağlantı elemanları için de göçme modlarını belirtmektir.

1.2. Kaynak Özetleri

Atasaral (2009) çalışmasında, hafif çelik profillerle inşa edilen yapıların tanıtımını yapmış ve bu profillerle oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde merkezi yükleme deneyleri yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. Çalışma konusuna uygun olarak soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profillerle oluşturulan çok parçalı kolonlar üzerinde gerçekleştirilen merkezi yükleme deneyleri ve bu deneylerden elde edilen veriler verilip gerekli araştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile, soğuk şekillendirme yöntemiyle üretilmiş hafif çelik profiller kullanılarak elde edilen çok parçalı kolon tasarımının az katlı konut türü yapılar için uygun olduğunu göstermektedir.

Öncü (2010) çalışmasında, Ülkemizde kullanımı 1999 Kocaeli ve Düzce Depremlerinin ardından mevcut inşaat sektörüne alternatif yapı sistemi arayışları sonucunda kullanım oranı artış gösteren hafif çelik yapılar hakkındadır. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan hafif çelik yapı sistemi, ülkemizde henüz daha tasarım ve üretim aşamalarında hem yönetmelikler hem de kontrol mekanizmaları bakımından eksiklikleri içermektedir. Bu sistem cidar kalınlığı ile başlık yüksekliği oranı çok fazla olan ve soğukta çekme yöntemi ile şekil verilen galvanizli çelik profiller kullanılarak taşıyıcı duvar sistemleri kurgulanarak tam bir yapı sistemi oluşturulması fikri ile geliştirilen bir sistemdir. Genelde 0,5 – 2 mm arası kalınlıkta olan bu çelik profiller ile geliştirilen yapı, özellikle yapım hızı ve mimari özgürlük avantajları ile ön plana çıkar. Hafif çelik yapı sistemi, özellikle üst yapıda ağırlıklarının önemli ölçüde azalmasına olanak vermesi nedeniyle deprem riskinin yüksek olduğu ülkemizde depreme dayanıklı yapı üretiminde önemli bir rol üstlenme yetisine sahiptir. Özellikle yüksek deprem riski taşıyan bölgelerin kentsel dönüşüm projeleri başta olmak üzere yapı geliştirme projelerinde bu tür sistemlerin kısa sürede tamamlanmasından dolayı bu yapıların göz önüne alınması uygun sonuçlar vermektedir.

Öztürk (2014) çalışmasında, hafif çelik profillerin ve bu profillerle inşaa edilen yapıların tanıtımının yapılmasından sonra bu profillerle oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde merkezi yükleme deneyleri yaparak literatür sonuçları ile mukayese etmiştir. Soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profillerle oluşturulan çok parçalı kolonlar üzerinde gerçekleştirilen merkezi yükleme deneyleri ve bu deneylerden elde edilen bulgular verilip gerekli incelemeler yapmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, tepe birleşim bölgesi davranışının birleşim levhası elemanlarında oluşan yerel burkulmalar ve delik geometrilerinin bozulmasına bağlı olduğu, yerel burkulmaların eş zamanlı olarak başladığı modeller yerine profiller arası mesafenin en az, gövde levhasının berkitmeli olarak ve üst başlığın dudaklı olduğu tasarımın amaçlanan optimum tasarım olarak kabul edilebileceği ortaya konulmuştur.

Güneş (2016) çalışmasında, mevcut piyasa şartlarında Türkiye’de yönetmelik olmamasından dolayı, inşa edilen soğuk büküm hafif çelik yapılar ile ilgili genel kabullerin haricinde, kesit, kapasite, tasarım, üretim ve montaj kontrolleri tam olarak yapılamamakta olduğuna değinmiştir. Pazar talebinin özellikle fazla olduğu dönemlerde, standart olarak kabul edilen piyasa şartlarına uygun ekonomik yapılar üretilip, inşa edilmektedir. Mevcut tasarım ve üretim kabulleri her firma için farklılık gösterse de deneyime dayalı kabuller ile tasarım, üretim ve montaj yapılmakta, kesinlikle kontrol talep edilen devlet destekli projelerde ise üretim yapan çoğu firma farklı yurtiçi ve yurtdışı yönetmeliklerinden yararlanarak soğuk şekillendirilmiş hafif çelik yapıları incelemektedirler. Tez kapsamında hafif çelik yapıların tarihçesi, günümüzdeki kullanım şekilleri, Türkiye’de genel olarak kullanılan tasarım ve üretim şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Tez çalışması sonucunda, hafif çelik yapının yurtdışı yönetmelikleri ve ülkemizde kullanılan mevcut yönetmelikler kapsamında yapılan incelemeleri mukayese edilerek oluşturulacak muhtemel bir hafif çelik yönetmeliğinde vurgulanması önerilen noktalar belirlenmiştir.

Dizdar (2017) çalışmasında, hafif çelik çerçeve sistemlerin ekonomik ve kısa inşaat süresi avantajları ile sektörde son yıllardayaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Hafif çelik makasların yaygın kullanımlarına rağmen, bu konuda yeteri kadar bilgi ve çalışma mevcut değildir. Sistemin düşey yükleme altındaki göçme modları genellikle

makasların basınç başlığında oluşan yerel burkulmalardır. Bu yüzden bu tip yapıların güvenilir tasarımları için hafif çelik yapılar için kapsamlı bir yönetmellik gerekmektedir. Bu çalışmada, makasların düşey yük altındaki rijitlikleri ve dayanımları olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Makasların rijitliği, başlık ve çapraz elemanların bağlantı şekline ve kullanılan malzemenin özellikleri incelenmiştir. Birleşim noktalarının esneklikleri ile etkileşimli olarak elde edilen makasların rijitlik tahminleri, ölçülen deneysel verileri isabetli bir şekilde yansıtmıştır. Makasların yük kapasiteleri ile ilgili başlık üzerindeki normal kuvvetler ve eğilme etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel ve numerik çalışmalar ışığında bakıldığında başlıklar üzerinde moment etkisi olduğunu göstermiştir. Başlıklar üzerinde oluşan bu moment değerinin hesaplanması için basitleştirilmiş bir formül üretilmiştir. Başlıklardaki normal kuvvet ve eğilme momentleri numerik çalışma verileri ile deneysel veriler birbirini doğrular nitelikte sonuçlar vermiştir.

Bayan vd. (2011) çalışmalarında, üç temel konudan bahsetmişlerdir. Birinci kısımda, hafif çelik yapıların tasarım kolaylığı ve sıcak haddelenmiş çeliğe göre düşük maliyet ve estetik özgürlüğü üzerine bir inceleme yapmışlardır. İkinci kısımda ise soğuk şekillendirilmiş çelik konstrüksiyonların genel tasarım hususlarını özetlemişlerdir. Son olarak, soğuk şekillendirilmiş çelikprofiller için birleşimlerin ve hafif çelik yapıların davranışları üzerine bir inceleme yapmıştır. Birleşimlerde sırt sırta bağlı tek etkili hafif çelik kesitler arasındaki bulon bağlantılı birleşimlerin moment-dönme kapasiteleri üzerine deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Bağlantıların kuvvet ve sertlik açısından performansını araştırmak için toplam on adet kolon bazlı bağlantı testi ve farklı bağlantı konfigürasyonlarına sahip kiriş-kolon birleşimlerini çerçeve sisteminde deneyleri yapılmıştır. Testlerden iki göçme modu belirlendi;

- 1) Bulon deliği çevresindeki kesit şeklinin değişmesi
- 2) Bağlı kesimin bükülmez arızası.

Birleşimlerde sırt sırta bağlanan soğuk şekillendirilmiş çelik bölümlerin kullanılması, soğuk şekillendirilmiş çelik bölümler arasında basit ve etkili bir birleşim oluşturduğunu göstermiştir.

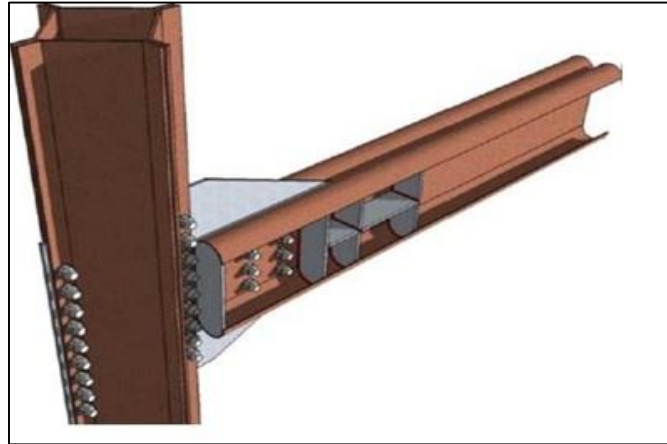
Zaharia ve Dubina (2006) çalışmalarında, hafif çelik kafes sistemlerde bulonlu birleşim olarak tasarlanan birleşim noktalarının rijitliklerini araştırmışlardır. Tek etkili bulon bağlantıları ve kafes sistemin bir bölümü üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde birleşim noktalarının rijitliklerini belirleyen teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen model gövde elemanların burkulma boylarının da belirlenmesinde kullanılan birleşim noktası rijitlik formülü, tam ölçekli olarak hazırlanan deneysel sistemlerde doğrulanmıştır.

Santos vd. (2012) çalışmalarında, hafif çelik kolonların yerel, çarpılmalı ve genel burkulma modlarının birbirleriyle etkileşiminin meydana geldiği ankastre bağlanmış hafif çelik kolonların davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada temel olarak bu üç burkulma modu tipiyle bağlantılı kritik burkulma gerilmeleri arasındaki yakınlığa bağlı olarak, burkulma modu etkileşimini maruz kalan sabit uçlu soğuktan şekillendirilmiş çelik kolonların yapısal davranışı ve nihai dayanımını ele almaktadır. Kesit boyutları, uzunlukları ve başlangıç deplasmanları, ölçülerek elde edilen verilerin deneysel sonuçlarını sunup tartışmadan önce, test hazırlığı ve prosedürü ile ilgili çeşitli yönler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Doğrusal olmayan denge yolları ve nihai mukavemet değerleri ve deformasyona uğramış şekiller ve çöküş mekanizmaları gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada üçlü burkulma modu oluşumunun deneysel olarak kanıtlanması ve bu bileşik modların kolonların kırılma yükünü ne derecede azalttıklarını görmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonunda üçlü mod oluşumu deneysel olarak kanıtlamış ve göçme modaları deneysel çalışma sonucunda Şekil 1.1’de gözlemlenmiştir.



Şekil 1.1. Yerel, çarpılmalı ve genel burkulma modları (Santos vd. 2012)

Sabbagh (2012) çalışmasında, hafif çelik yapılarda bulonlu birleşimlerin göçme şekildeğiştirmesi ve moment-dönme davranışı araştırmak için sonlu eleman modelleri oluşturduktan sonra bunları daha önce yaptıkları deneylerle kıyaslamıştır. Çevrimsel yükleme altında incelenen ve Şekil 1.2’de görülen eğik başlıklı kiriş, kolon ve birleşim levhasından oluşan moment-dönme davranışları, kirişlerdeki eğilme ve birleşimdeki bulon delik deformasyonları olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen deneysel ve sonlu eleman analiz sonuçları arasında önemli bir benzerlik olduğunu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın devamı olarak, sonlu eleman analizleri ve deneyler yürüterek çok katlı çerçeve tipi yapıların sismik moment dayanımları için enerji sönümleyici elemanlar olarak görev yapan bazı hafif çelik profil tipleri geliştirmiştir. Farklı yapısal düzeylerde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalardan eleman düzeyinde yapmış oldukları çalışmada başlık bükümlerini artırmanın hem elastik hem de elastik ötesi davranışı geliştirdiği, ayrıca kavisli başlıklara sahip kirişlerdeki bükümlerin ise yüksek dayanım, rijitlik ve sünekliği sahip olduklarını gözlemlenmiştir. Birleşim düzeyinde yaptıkları çalışmada ise, birleşim plakaları kullanarak birleştirdikleri hafif çelik kolon ve kirişlerin farklı birleşim kombinasyonları ile sayısal olarak araştırmış, ayrıca deneysel olarak da sayısal sonuçlar ile birbirini doğrulamıştır.



Şekil 1.2. İncelenen kolon-kiriş birleşim bölgesi (Sabbagh vd. 2013)

Hazlan vd. (2011) çalışmalarında, üç farklı kiriş derinliği ve dört bağlantı tipinden oluşan hafif çelik kesitler arasındaki oniki kiriş-kolon birleşiminin rijitlik ve süneklik davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Neredeyse tüm birleşimler nihai başarısızlıkları, kirişin birleşimine yakın bölümünde yerel burkulmasından

kaynaklanmıştır. Deneylerden elde edilen moment ve dönme verilerine göre moment ve dönüş eğrileri çizilmiştir. Moment dönme eğrileri, birleşimin davranışsal özellikleri yorumlamamız için sayısal veriler sunar. Bir bağlantının rijitliği, moment-dönme eğrisinin doğrusal (elastik bölge) kısmındaki eğimidir. Bu eğimin dikeye yakın olması birleşimin rijit, yatay eksene yakın olması bu birleşimin moment aktaramayan birleşim olduğunu gösterir.

Yu vd. (2005) çalışmasında, hafif çelik profiller arasındaki bulonlu birleşimlerin moment aktaran birleşimler üzerine kapsamlı deneysel bir araştırma yapıldı ve çeşitli bağlantı konfigürasyonlarına sahip toplam 16 kiriş-kolon birleşiminden oluşan çerçeve, yanal yükler altında test etmiştir. Birleşimlerin moment dirençleri, bağlı bölümlerin moment kapasitelerinin en az% 85'ine ulaşmaktadır. Çalışmanın amacı, soğuk şekillendirilmiş çelik kesitler arasındaki bulonlu birleşimlerin moment bağlantılarının yapısal davranışını öngörmek için teorik bir araştırma sunmaktır. Yarı rijit kiriş-kolon birleşimlerin çerçevelerinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli de sunulmuştur. Deney verileri dikkatli bir şekilde ölçümleme yapıldıktan sonra, bulonlu birleşimlerin moment bağlantılarının esneklik tahmini için yarı ampirik bir formül önerilmektedir. Önerilen kuralların, bulonlu moment bağlantılı soğuk şekillendirilmiş çelik çerçevelerin yapısal performansını tahmin etmek için oldukça etkili olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışma ışığında, bulonlu moment aktaran birleşimlere ait moment-dönme eğrilerinden elde edilen veriler ışığında modellenen bölgeye ait deney sonuçlarıyla paralelik gösteren bazı yanal yük-yerdeğiştirme eğrilerini ortaya koymuşlardır. Bu deney düzeneğine ait deney düzeneği Şekil 1.3'de verilmektedir.



Şekil 1.3. Kolon-kiriş birleşim deney sonucu yanal göçmesi (Yu vd. 2005)

Wong ve Chung (2002)çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik profiller arasındaki bulonlu birleşimlerin üzerine deneysel bir araştırma yürütmüşlerdir. Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller arasındaki bulonlu birleşimlerin moment bağlantılarının dayanım ve rijitliğini değerlendirmek için toplam 20 adet farklı konfigürasyona sahip kiriş-kolon birleşim deneyi gerçekleştirdiler. Testler arasında dört farklı göçme modu tespit edildi:

1. Bulon deliği etrafında kesit gövdesinde deformasyon oluşması
2. Köşebent plakasının yanal burulma burkulması
3. Köşebent plakasındaki eğilme bozukluğu
4. Birleşimdeki soğuk şekillendirilmiş çelik bölümün eğilme yetmezliği

Deneylerde başarısız olan bu bağlantılar için, bağlantıların moment dirençleri tipik olarak birleşim bölgelerinin moment kapasitelerinin% 50'sinin altında bulundu. Sonuç olarak, rasyonel tasarım ve yapı sayesinde, soğuk şekillendirilmiş çelik profiller arasındaki etkili moment bağlantılarına kolayca ulaşılabileceği gösterilmiştir.

Dundu ve Kemp (2006)çalışmalarında,hafif çelik profillerle inşaa edilen bir çerçeve sisteminde kiriş-kolon birleşim bölgesinin yük taşıma kapasitesi ve göçme modlarını belirlemek için deneyler çalışmalar yürütmüşlerdir. Yapılan deneylerin sonucunda, profil başlığının basınç bölgesinde ve profil gövdesinde yerel burkulma, yatay destek noktaları arasındaki profilde eğilmeli-burulma burkulması ve bulon deliklerinin etrafında çekme şekildeğiştirmesi olmak üzere üç farklı göçme modu belirlemişlerdir. Bunlar arasından en son basınç başlığı ve gövdede oluşan göçme modlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, gerçekleştirilen tüm deneylerde basınç başlığı ve gövdede oluşan yerel burkulmaların göçmenin asıl nedeni olduğu görülmüştür ve birleşimdeki bulon sayısının artırılmasının moment kapasitesi üzerinde önemli bir rolünün olmadığı anlaşılmıştır.Soğuk şekillendirilmiş çelik (CFS) kirişlerin dönme kapasitesi deneysel inceleme ile değerlendirmişler. Farklı yapısal düzeyler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bağlantı seviyesinde, bayrak levhası kullanılarak, bulon mukavemetli bağlantı tipi benimsenmiştir. Gövdede düzlem dışı berkitmeler olmadan bağlantıları bulonlu olarak bağlarsa, kiriş gövdesindenmaruz

kalınan gücü fazla taşımamıştır. Bu nedenle, düzlem dışındaki berkitmelererken göçme, burkulma ve nispeten yüksek moment kuvveti ve süneklik üretmek üzere incelenmiştir. Sonuç olarak, flanş kıvrımlarının sayısının arttırılmasının her durumda davranışını arttırmayacağını ortaya koydu. Bu arada, düzlem dışı berkitme kullanılması, moment kuvvetini ve sünekliği, berkitmeler olmadan karşılaştırıldığında artırabilir. Bu çalışmada, dönme kapasitesinin değerlendirildiği, enerji yutan elemanlar olarak soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerinin kullanımını desteklemek amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Hassan vd. (2017) çalışmalarında, hafif çelik profillerle inşa edilen bir çerçeve sistemindeki kiriş-kolon birleşim bölgesini deneysel olarak inceleyen bir çalışmayı sayısal inceleme yöntemiyle de ele almışlardır. Soğuk şekillendirilmiş çelik (CFS) kirişlerin dönme kapasitesini, sayısal inceleme ile incelemiştir. Yapılan çalışmada bulonlu birleşim elemanı ve farklı profil kalınlıkları (1 mm - 4 mm) kullanılmıştır. Buna ek olarak, farklı kesit şekilleri araştırmalar yapmıştır. Soğuk şekillendirilmiş çelik (CFS) kirişlerinin enerji yutucu elemanlar olarak kullanılması değerlendirildi. Hem tekil hem de döngüsel yükleme prosedürleri uygulanmıştır. Kiriş profili kalınlığı, kiriş kesit şekli ve düzlem dışı berkitme konfigürasyonu incelendi. Yapılan sayısal yöntem sonuçları deneysel veriler ile uyumaktadır.

Zilvinas vd. (2013) çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik birleşimlerin davranışını incelemişlerdir. Soğuk şekillendirilmiş çelik bağlantıların özellikleri, rijitliği etkileyen asıl nedenlere değinmişlerdir. Günümüzde, hafif çelik yapıların kullanımında, mukavemet / maliyet oranı ile ortaya çıkabilen artan bir eğilim vardır. Bu makalenin amacı, soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların birleşim davranışını gözden incelemektir. Kirişten kirişe, kirişten kolona ve kiriş bağlantılarının test edilmesi ve birleşimlerin tanımlanması üzerine güncel yayınları gözden geçirmişlerdir. Bu makalede, soğuk şekillendirilmiş çelik birleşimlerin dayanımlarını artırma tekniği üzerinde durulmaktadır.

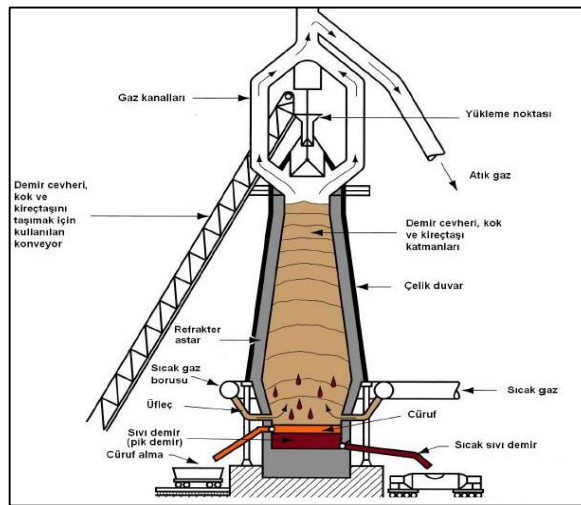
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Demir- Çelik Üretimi

Demir, tarihte çok eski devirlerden bu yana bilinmekle beraber, geniş ölçüde üretilemediğinden, günümüzden yaklaşık iki yüzyıl öncesine kadar sadece silah ve basit eşya yapımında kullanılmıştır. Yaygın olarak 18. Yüzyılda İngiltere’de “yüksek fırın” yönteminin bulunmasıyla “hamdemir” ve “font” (pik) üretimi başlamıştır(Deren vd.2005).

2.1.1. Demir Üretimi

Demir üretmek için doğada Hematit (Fe_2O_3), Manyetit (Fe_3O_4), Siderit (FeCO_3), Pirit (FeS_2) ve Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) şeklinde bulunan ve en az %60 oranında demir (Fe) içeren demir cevheri, kömürü ve kireçtaşı yüksek fırına üst kısımdan sürekli olarak yüklenirken, fırının alt kısmından da yüksek sıcaklıktaki gazlar fırına üflenir. Bu işlemler neticesinde yanma ve ergime sağlanmış olur. Yükleme malzemeleri yukarıdan aşağı doğru yavaşça aşağı inerken içeri üflenilen sıcak gazlar sayesinde fırın sıcaklığı yaklaşık olarak 1650°C ’ye çıkması sonucu sıvı demir elde edilir. Demir üretim fırını Şekil 2.1.’de verilmektedir.



Şekil 2.1. Demir üretim fırınına ait bir kesit(Öztürk 2014)

2.1.2. Çelik Üretimi

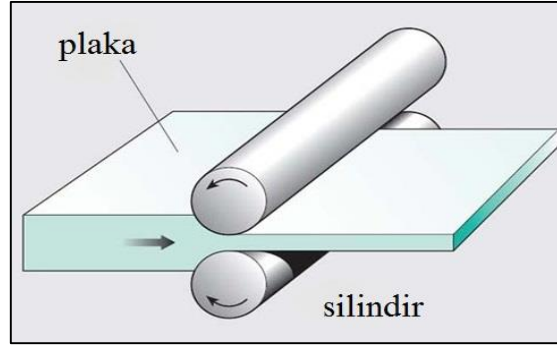
Ham demirin içyapısında yüksek miktarda karbon, fosfor ve silisyumiçerdiğinden ham demir ne haddelenebilmekte ne de şekil verilebilmektedir. İşlenebilirliği sağlamak için sözü edilen maddelere, özellikle de karbon miktarların azaltılması gerekmektedir. Çelik üretiminde bu karbon Isıl İşlem olarak adlandırılan bir yöntem kılınarak kireç ilavesi ile oluşturulan bazik cüruf ile bağlanır. Isıl işlem sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucunda karbon azalmakta ve oluşan karbonmonoksitin (CO) büyük bir kısmı gaz halinde uçmaktadır. Isıl işlem için gereken oksijen havadan, saf oksijen üflenerek veya oksijenin bağlı bulunduğu demir filizinden ve miktarı az da olsa hurda demirinden temin edilerek istenilen boyutlarda çelik üretimi gerçekleştirilir.

2.2. Çelik ürünleri ve üretim yöntemleri

Çelik, günümüzde mühendislik uygulamalarında artan talepler doğrultusunda en fazla kullanılmakta olan malzeme olduğundan, ihtiyaçlardogrultusunda farklı konfigürasyonlarda üretilmekte ve demir-çelik tesisinden çıktığında yarı mamul hali üzerinde uygulanan farklı işlemlerle son ürün haline getirilmektedir.Çelik yarı mamuller üzerinde uygulanan bu teknikler sonucunda elde edilen ürünlerin sıcak veya soğuk şekillendirmeye bağlı olarak bazı mekanik özellikleri de farklı göstermektedir.

2.2.1. Sıcak şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri

Çeliğin kristalleşme sıcaklığı üzerinde yaklaşık 1200°C civarında ısıtıldıktan sonra itme kuvveti uygulanarak malzemeniniki silindir arasından sıkıştırılarak geçirilmesi işleмиyle istenen şeklin verilmesine sıcak haddeleme adı verilmektedir. Bu işlem sırasında sıcak malzeme silindirler tarafından basınç uygulayarak sıkıştırılırken, burada silindirlerin verdiği şekli alır. Bu sıcak şekil verme işlemi Şekil 2.2.'de verilmiştir. Sıcak haddelenme ile üretilen çelik ürünleri olarak geleneksel olarak üretilen profilleruygun kalıplardan geçirilerek I, U, L, Z, T gibi profillerinin yanı sıra, levhalar, borular, kutu kesitler, dolu kesit çubuklar ve nervürlü çubuklar üretilmektedir.



Şekil 2.2.Sıcak haddeleme tekniği

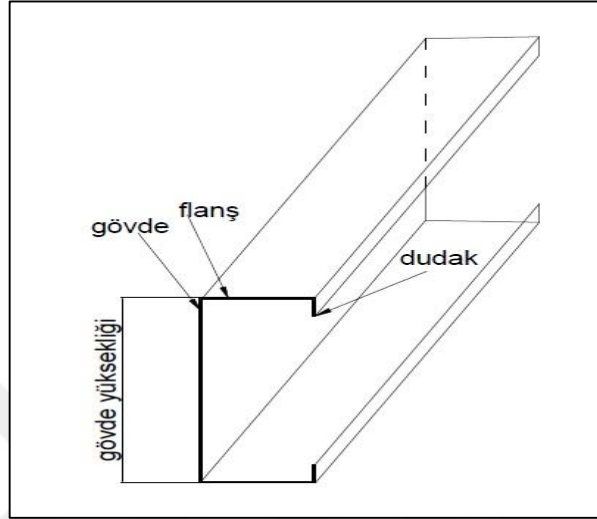
2.2.2. Soğuk şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri

Soğuk şekillendirme yönteminde malzemenin sıcak şekillendirmede olduğu gibi önceden ısıtılmasına gerek yoktur. Malzeme, basınç ile bir kalıbın şeklini almaya zorlanır ya da silindirler arasından geçerken verilmek istenen şekli alır. “Eğme”, “bükme”, “zımbalama”, “dövme”, “soğuk haddeleme” olarak adlandırılan bu işlemler, üretimin özelliğine göre bir veya birkaç işlem adımından geçmektedir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan soğuk şekillendirilmiş ürünler daha çok sıcak hadde profillerinin benzeri olan ve çoğunlukla soğuk haddeleme tekniği ile üretilen “hafif çelik profiller”dir.

Hafif çelik sistemlerde kullanılan çelik malzemenin üretimi, fabrikalarda endüstriyel standartlara göre seri olarak üretilmektedir. Ergimiş çelik, üretim bandında silindir veya pres yöntemi ile levha haline ya da rulo sac haline gelmesi için şekil verilmektedir. Bu aşamadan sonra üretilmiş olan levha veya rulo sac halindeki çelik, istenilen boyutlarda kesilmektedir. Kesilmiş levha çelik, baskı kalıp, silindir kalıp veya bükme işlemi ile profil şekli verilmektedir. Şantiye alanında kesme işlemi uzun süreceği için kesme işlemini enaza indirmek için profiller, üretim esnasında uygun boyutlarda kesilmektedir.

Hafif profil üretiminde soğuk bükme tekniği çok daha az kullanılmaktadır. Bu yöntem ile üretilen çelik profillerde köşe bölgelerinde sürekli formda şekil vermeye nispeten daha fazla alan kayıpları oluşmaktadır. Hafif çelik profillerinin kesit

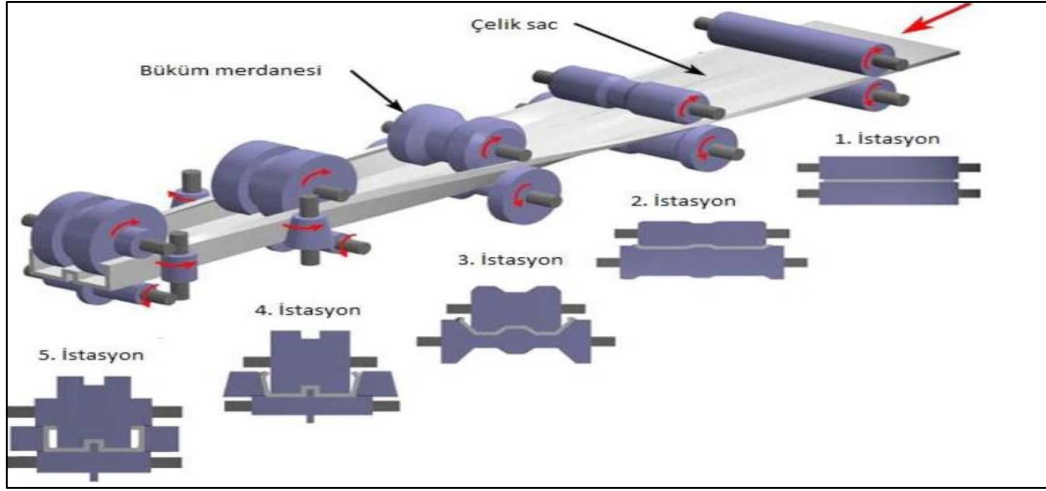
şekillerinin adlandırılması Şekil 2.3'de verilmektedir. Genel olarak, soğuk şekillendirilmiş incecidarlı ana taşıyıcı elemanların yüksekliği, 50 mm ile 300 mm arasında; cidar kalınlıkları ise 2 mm ile 6 mm arasında değişmektedir.



Şekil 2.3. Hafif çelik profil kesitinin adlandırılması (Savaş 2006)

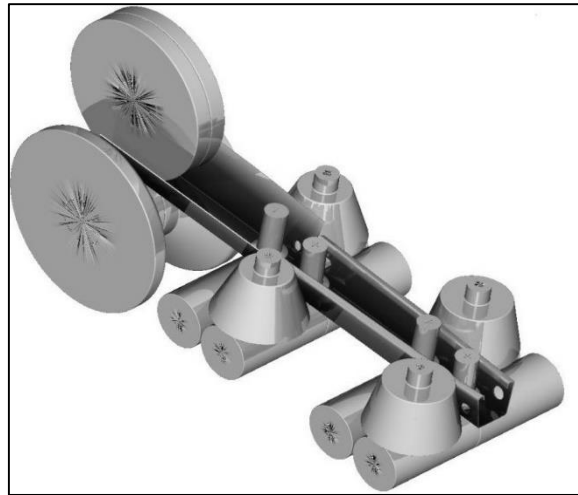
2.2.3. Sürekli formda şekil verme

Soğuk haddelemede, başlangıçta düz olan çelik sac eleman istenilen kesit şekli elde edilene kadar gitgide artan şekilde, “istasyon” denilen küçük adımlarla sürekli deformasyona maruz kalarak nihayi şekli alması işlemine sürekli formda şekil verme denir. Sürekli formda şekil verme işlemi Şekil 2.4’de verilmektedir. Uygulamada Roll-Forming olarak da adlandırılan bu yöntemde peş peşe sıralanmış çok sayıda hadde silindirleri kullanılmaktadır. İnce sac levhanın nihai kesite adım adım getirilmesinin başlıca nedeni, malzemenin iç yapısında ani plastik şekil değiştirme nedeniyle oluşacak kusurların ve artık gerilme olarak adlandırılan gerilmeyi öğütme ve azaltılmasını ve çok sayıda hadde silindirinden geçtiği için kesitlerde meydana gelecek deformasyonları en aza indirmektir.

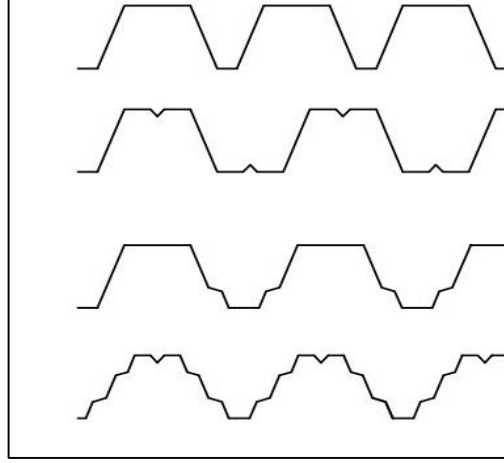


Şekil 2.4. Sürekli soğuk şekillendirme (Roll- Forming) işlemi (Öztürk 2014)

Şekillendirme işleminde kullanılan silindirlerin yerleşimi ve gerekli istasyon sayısı elde edilmek istenilen kesit şekline bağlı olarak değişmektedir. Üretilen malzeme kesme boyları genellikle 6 m ve 12 m'dir. Sürekli soğuk şekillendirme yöntemiyle şekillendirme işleminin uygulandığı bir makineye ait istasyonların görünümü Şekil 2.5'de verilmiştir. Sürekli formda şekil verme sonucu üretimden çıkan bazı kesit görüntüleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Sürekli soğuk şekillendirme



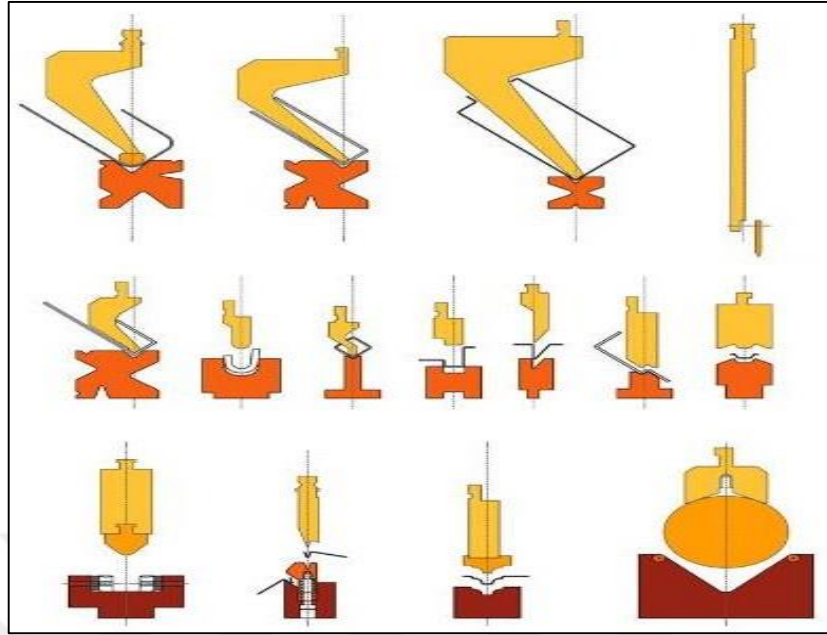
Şekil 2.6. Sürekli formda şekil verme yöntemi ile üretilen bazı kesitler

2.2.4. Soğuk bükme

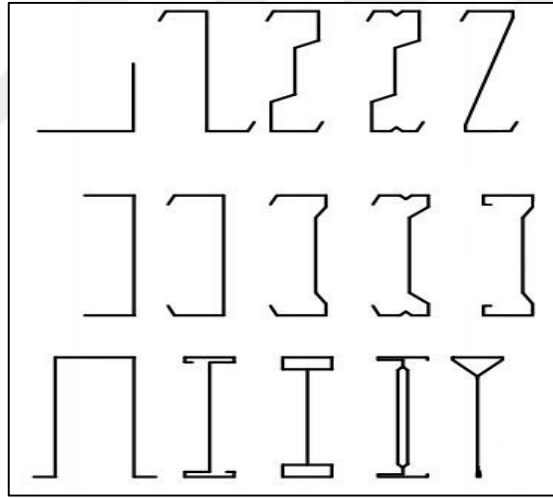
Prete bükerek şekil verme, bir baskı tezgahı, kalıplar ve bazı yardımcı aparatların gerektiği, kısıtlı üretim hacmi ile bir bükme yöntemidir. “Abkant pres” adıyla da anılan pres tezgahı, düşey ekseninde hareketli bir üst kiriş ve sabit mesnetli bir alt kiriş kalıbından ve tezgahdan oluşur. Prete bükme işlemi ile malzemeye şekil vermek için, alt kısımda bulunan kirişe istenilen kalıp yerleştirildikten sonra sac malzeme sabit kirişin bulunduğu düzleme istenilen ölçülerde yerleştirilir ve hareketli kiriş yardımı ile istenilen şekil verilir. Soğuk bükme işlemi uygulanan bir “Abkant” pres ve bükme kalıbına ait tipik görünüm Şekil 2.7’de, yöntem uygulanarak üretilen bazı kesitler ise Şekil 2.8’de ve soğuk şekil verme sonucu üretilen malzeme kesit şekilleri ise Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.7. Soğuk bükme yöntemi ile üretilen bazı kesitler



Şekil 2.8. Abkant pres tegahı ve bükme kalıbı

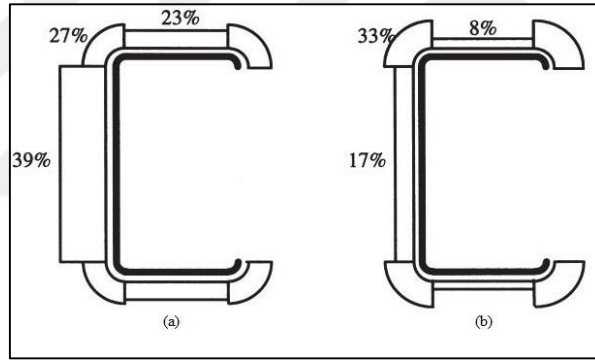


Şekil 2.9. Soğuk haddeleme ürünü çelik profiller

2.2.5. Soğuk haddelemenin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi

Soğuk şekillendirme sürecinde malzemenin mekanik yapısında önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Soğuk haddeleme sonucu malzemede meydana gelen bu değişiklikler özellikle malzemenin köşe bölgelerinde meydana gelmektedir. Bunun temel nedeni ise malzemenin köşe bölgeleri düz bölgelerine nispeten daha çok

plastik şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Kesitlerin mekanik özelliklerinde meydana gelen bu değişimlerin büyük bir kısmı şekil verme yöntemine bağlıdır. Malzeme üzerine herhangi bir dış yük uygulanıp kaldırıldıktan sonra, bu elemanın üzerinde kalan gerilme dağılımı olarak adlandırılan ve malzemedeki elastik geri toparlanma çabasının mevcut plastik şekil değiştirme tarafından tutulması sonucu ortaya çıkan “artık gerilmeler” hafif çelik profillerde önemli bir öneme sahiptir. Malzeme herhangi bir dış yüke maruz bırakılmamış hali ile karşılaştırıldığında, sürekli soğuk şekillendirme işlemi uygulanmış malzemede, özellikle köşe büküm bölgelerinde oluşan artık gerilmeler, bu bölgelerin akma dayanımında bir artış sağlarken, preste bükme ile şekillendirme bu özelliklerde daha küçük bir değişime neden olmaktadır. Soğuk şekillendirilmiş bir profilde eğilme artık gerilmelerinin akma dayanımının yüzdesi olarak gösterimi Şekil 2.10’da görülmektedir.



Şekil 2.10.a) Sürekli şekil değiştirme, b) Preste bükme(Schafer B.W. ve T. Peköz 1998)

Soğuk şekillendirilmiş kesitlerdeki eğilme artık gerilmeleri malzemede zaten var olan artık gerilmelerinden çok fazladır. Artık gerilmeleri sürekli şekil verme işleminde preste bükmeye göre daha yaygındır. Özellikle malzemelerin köşe bölgelerinde büyük membran artık gerilmeleri oluşmaktadır. Uygulanan sürekli şekil verme işlemi ile bu bölgelerde akma dayanımını artırdığı için oluşan olumsuz etki de giderilmiş olmaktadır. Sıcak haddeleme yöntemiyle üretilmiş profiller, bu işlemten sonra soğuma ile ortaya çıkan artık gerilmelerden etkilenir. Bu profillerin yükseklikleri genellikle 50 mm - 300 mm arasında, kalınlıkları ise 1 mm - 6 mm arasında imal edilebilmektedir.

2.3. Hafif Çelik Profillerin Yapılarda Kullanı

Hafif profillerin geçmişte belli kesit tipleri ve imalatları kısıtlıyken, günümüzde gelişen teknoloji ve hafif çeliğe yönelik artan taleplerden dolayı hafif çelik yapılar olan talepler gün geçtikçe artmaktadır. Ancak zamanla malzeme ve üretim de yaşanan yeni gelişmeler sayesinde bu profillerin kullanım alanlarının sınırları günümüzde oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Soğuk haddelenmiş çelik profiller genellikle çelik kolon, kiriş ve makas gibi taşıyıcı yapı malzemelerinde tek etkili veya çift etkili olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hafif çelik profillerde kiriş-kiriş birleşimi Şekil 2.11.'de, makas birleşimleri Şekil 2.12.'de taşıyıcı elemanlar Şekil 2.13.'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Hafif çelik profillerde kiriş-kiriş birleşimi



Şekil 2.12. Hafif çelik profil makas birleşimleri



Şekil 2.13. Hafif profil duvar elemanları

Hafif profillerin konutlarda yaygın kullanımına Amerika Birleşik Devletleri öncülük etmiştir. Bugün Avrupa ve Türkiye’de bu profillerin özellikle konut türü yapılarda kullanımının oldukça yaygınlaştığı görülmektedir. Bunun yanı sıra hafif çelik yapılar, konut türü yapılar, endüstriyel yapılar ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan geçici yapılar olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

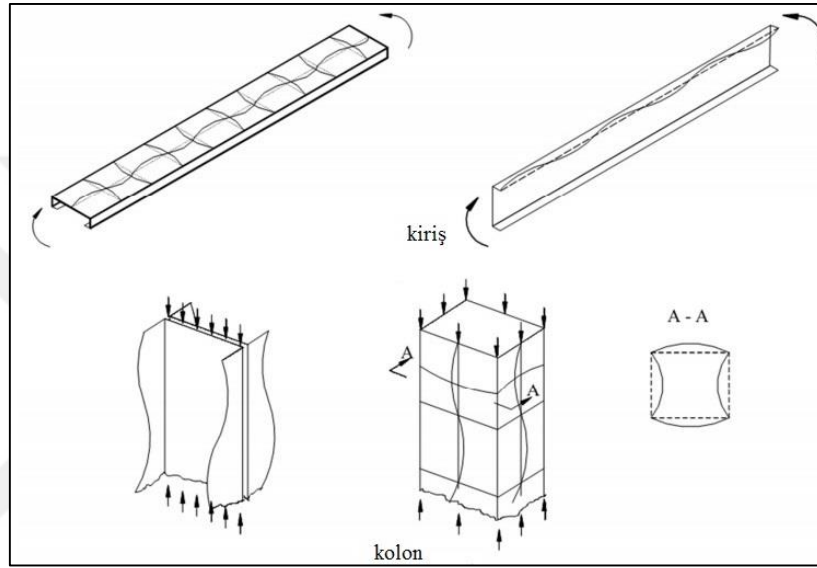
2.4. Hafif çelik yapılarda göçme modlar

Hafif çelik yapılarda profillerin cidar kalınlıkları ince olduğundan dolayı çelik yapılara kıyasla avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar vardır. Hafif çelik profillerin üretim yöntemlerinden kaynaklı kısıtlamalardan dolayı, malzemede eksantristeden kaynaklanan ve malzeme cidar kalınlığının ince oluşundan dolayı göçme modları aşağıda verilmiştir.

2.4.1. Hafif çelik profillerde burulma

Soğuk şekillendirme ile üretilen kesitlerin çoğu tek eksene göre simetrik olduklarından dolayı kayma merkezi ağırlık merkezine göre eksantriktir. Kesitlerdeki eksantristenin var olması nedeni ile yükleme sonucunda kirişlerde önemli bir burulma şekil değiştirme meydana gelmektedir. Bu nedenle, kirişlerde belli aralıklarda burulmayı engelleyecek şekilde kesitlerde sağlamlaştırma yapılmalıdır. Buna ek olarak yanal burulmaya neden olan dış yüklerden daha düşük yük değerlerinde eğilmeli-burulmalı burkulmaya neden olmaktadır. Hafif çelik profiller düşük burulma

rijitliklerine sahiptir. Burulmalar genellikle hafif çelik profillerde sıklıkla görülmekte ve bağımsız düzlem elemanların kısa dalga boylu burulmaları sonucunda oluşmaktadır. Dalga boyu, burulmaya uğramış yapıelemanın burulma ya da burkulmaların malzemenin hangi uzunluğunda meydana geldiğini, dolayısıyla göçme modlarının oluşma sıklığını tanımlayan bir terimdir. Hafif çelik kolon ve kirişin burulma şekilleri Şekil 2.14’de görüldüğü gibi meydana gelmektedir.



Şekil 2.14. Hafif çelik kolon ve kiriş burulma modları(Yu 2000)

Hafif çelik yapılarda, kesit ve eleman geometrisinde bozukluk, artık gerilmeler, akma dayanımının kesit boyunca düzenli olmayan dağılımı, farklı mesnet ve yükleme koşulları gibi düzensizliğe barındırabilirler.

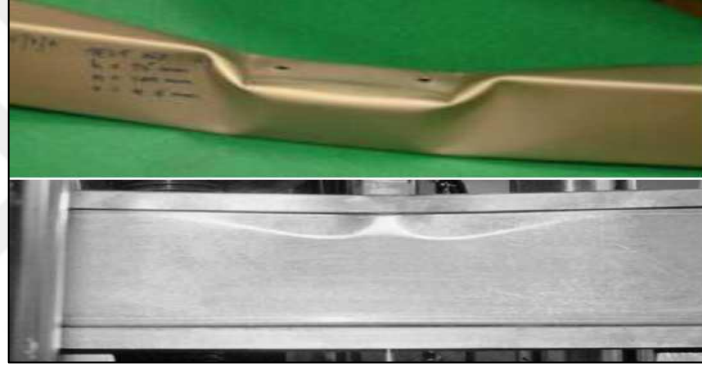
2.4.2. Hafif çelik profillerde gövde buruşması

Genel burkulma terimi, kolonlar için eğilme ve eğilmeli-burulmalı burkulmayı, kirişler için ise yanal burulmalı burkulmayı içermektedir. Hafif çelik profiller ince cidarlarından dolayı düşük burulma rijitliklerine sahiptir. Soğuk şekillendirme ile üretilen kesitlerin çoğu tek eksene göre simetrik olduklarından dolayı kayma merkezi, ağırlık merkezine göre eksantriktir. Hafif çelik profillerde gövde buruşması mesnetlerde

ve düzgün yayılı yüklerin altındaki noktalarda Şekil 2.15’de görüldüğü gibi meydana gelen gövde buruşmaları en önemli bir problemdir.

Gövde buruşmasının temel nedenleri;

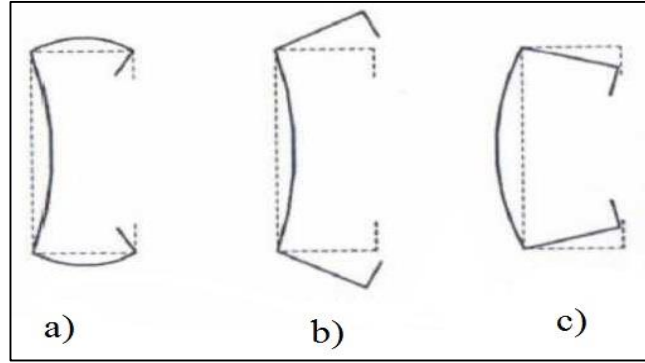
- Tasarım esnasındamesnetlerdeki berkitmelerin uygulamadaki zorlukları,
- Hafif çelik profil gövdelerinin boy-kalınlık oranlarının (narinlik) büyük oluşu,
- Yükleme yapılan başlık ve gövdenineksantrik oluşu kısaca sıralanmaktadır.



Şekil 2.15.C ve I kesitlerinde yükleme altında gövde buruşması (Öztürk 2014)

2.4.3. Hafif çelik yapılarda yerel burkulma

Bir kesitte meydana gelen burkulma modlarının yerel ve çarpılmak burkulma olarak ikiye ayrılmıştır. Burkulma modlar kesitin şeklini ve dayanımını etkiledikleri içinyapılan çalışmalarda “kesit modları” olarak tanımlama yapılmıştır (Dubina vd. 2013). Bir hafif C profil kesitinde oluşan yerel ve çarpılmak burkulma modları Şekil 2.16’da verilmektedir.



Şekil 2.16.Bir C kesitin yerel burkulması (a) ve çarpılmalı burkulması (b ve c) (Dubina ve V. Ungureanu)

Şekil 2.16a’da görüldüğü gibi, köşelerin eleman boyunca yerdeğiştirmediği durumda düzlem elemanların yerel burkulması, bunların genişliklerine bağlı yarım dalga boyları ile belirlenmektedir. Kesitlerin çarpılmalı burkulması ise Şekil 2.16b ve 2.16c’de gösterildiği gibi dudakların ya da başlıkların, başlık ya da gövde kesişim bölgelerinde dönmeleri ile meydana gelmektedir. Çarpılmalı burkulma, “berkitme burkulması” ya da “yerel burulma burkulması” olarak da adlandırılmaktadır. Bu burkulma durumunda, gövde ve dudak ya da başlıkların çarpılmalı burkulması, yerel burkulma yarım dalga boyundan daha büyük fakat, birbirleri ile aynı yarım dalga boyunda oluşmaktadır.

Ara berkitmeli elemanlardaki çarpılmalı burkulma, ara berkitmenin düzlem elemana dik olarak yaptığı yerdeğiştirme ile belirlenmektedir.

Yerel burkulma ince cidarlı elemanların yapısını belirleyen ve bu doğrultuda çözülen bir olgudur. Çarpılmalı burkulma ise, uzun bir levhanın elastik kritik burkulma problemi ya da bir kolon başlığının eğilmeli-burulmalı burkulması problemi olarak değerlendirilmektedir. Yerel ve çarpılmalı burkulma modları aynı zamanda eğilme ya da eğilmeli-burulmalı gibi genel burkulma modları ile de etkileşimde bulunmaktadır. Yerel burkulma, çarpılmalı burkulma ile aynı anda oluşabildiği gibi daha düşük ya da daha yüksek yüklerde de görülebilmektedir.

2.5. Çelik Yapılarda Kiriş-Kolon Birleşimleri

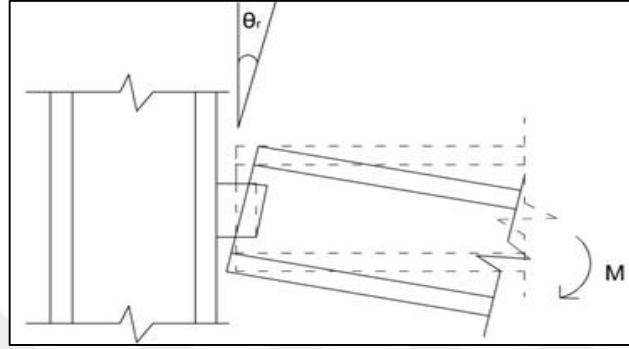
Çelik yapıların davranışının gerçekçi olarak incelenebilmesi için malzeme ve geometrik özelliklerinin yanı sıra kiriş-kolon birleşim davranışının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Gaylord vd. (1992). Birleşimin davranışıkarmaşık olduğu için ve çoğu durumlarda basit formüllerle tanımlamak veya herhangi bir formüle dönüştürmek imkânsızdır. Bu sebeple, analitik olarak tanımlanan formüller çoğunlukla test sonuçlarından yararlanılarak elde edilir. Birleşim tasarımı, tasarımcılar üretim aşamasında zaman zaman tasarlandığı halinden sapor. Yapısal hataların araştırmaları, hataların merkezinde yapı elemanlarından çok birleşimler veya diğer detaylar olduğunu gösterir. Ayrıca, yükleme ve detayların çok ve farklı konfigürasyonundan dolayı tasarımcının birleşimin davranışı hakkında bilgi sahibi olması önemlidir.

Kolonlar genellikle sürekli olarak yapılarak kirişler kolonlara birleşim malzemeleri yardımı ile bağlanır. Hesaplarda, kiriş-kolon birleşimleri genellikle tam rijit kabul edilerek birleşim tipinin etkisi ve davranışı göz önüne alınmaz. Ancak, bazı araştırmacıların yaptığı çalışmalar, yapı davranışının birleşim tipine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Chen 1993). Hafif çelik yapılarda depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapının malzeme ve geometrik özelliklerinin yanı sıra birleşim tiplerinin de etkili olduğunu belirtmiştir. Çelik yapılarda kiriş-kolon birleşimleri çerçeve sistemlerin davranışında önemli rol oynamaktadır (Yorgun 1995).

2.6. Çelik Kiriş-Kolon Birleşimlerin Davranışı

Birleşimler üzerine etkiyen kuvvetleri bir elemandan diğerine aktaran araçlardır. Kiriş-kolon birleşimleri için aktarılan kuvvetler, eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momentidir. Plan düzlemi için burkulmanın etkileri ihmal edilebilir. Ayrıca, çoğu birleşim için eksenel ve kesme deformasyonları genellikle dönme deformasyonları ile karşılaştırıldığında küçük kalmaktadır. Yani, yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet momenttir. Bu yüzden pratik amaçlar için sadece birleşimin dönme deformasyonu göz önüne alınmalıdır. Dönme deformasyonları, birleşimde momentin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Birleşime M momenti uygulandığında θ_r miktarı döner.

Şekil 2.17’de görüldüğü gibi dönme, kiriş ve kolon arasındaki açının değişimidir. Kiriş-kolon birleşimlerinin taşıma gücü için yapılan çalışmaların sonuçları; yük-deplasman, moment-deplasman ve moment-dönme olmak üzere çeşitli biçimlerde verilmiştir (Yüksel 2001).

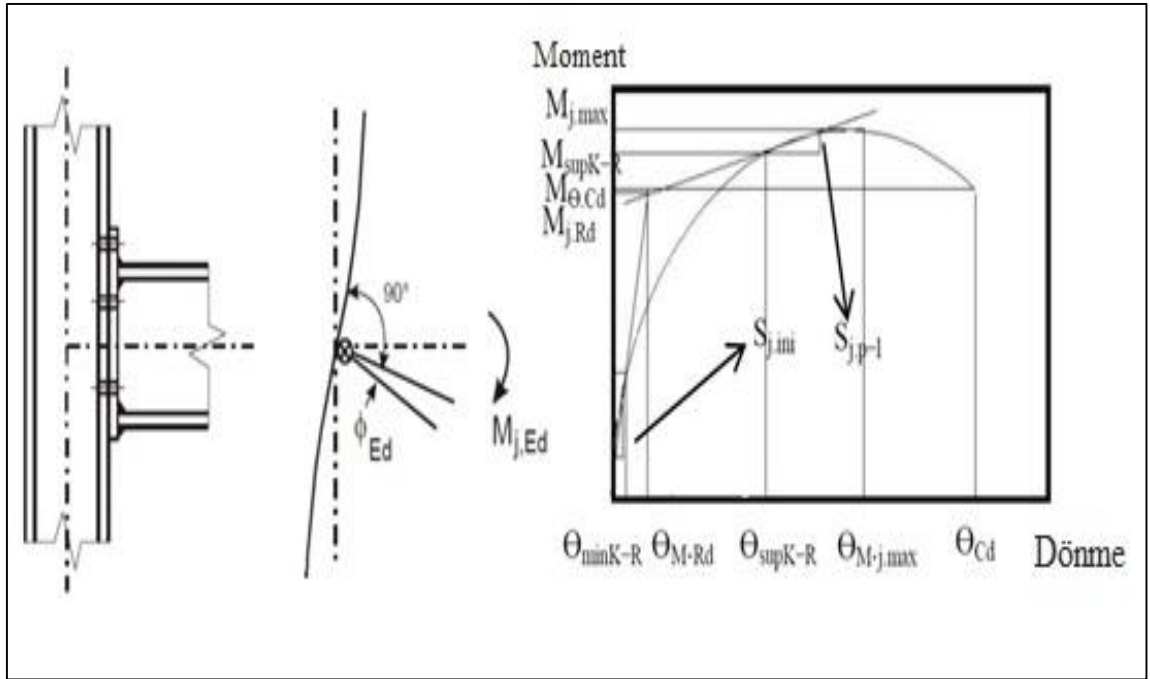


Şekil 2.17.Birleşimin dönme deformasyonu (Yüksel 2001)

Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar ışığında görüleceği gibi birleşimin, $M-\theta_r$ eğrisi birleşimi en iyi şekilde ifade etmiştir. $M-\theta_r$ eğrisi birleşime etkileyen yük altında meydana gelecek moment değeri sonucu buna karşılık olarak oluşacak dönme değeri ile birleşimleri sınıflandırır. Moment-dönme bağıntısı ile temsil edilen bu moment açısal yer değiştirme ilişkisi doğrusal değildir. Tasarlanan birleşimlerde kullanılan yapı malzemesinin türüne ve konumuna göre farklı moment-dönme eğrileri oluştururlar. Birleşimlerin rijitlik veya esnekliği, levha ve korniyer kalınlığı, bulon çapı, birleşim derinliği gibi geometrik parametrelere göre değişkenlik göstermektedir (Yüksel 2001).

2.7. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Eğrilerinin Karakteristik Özellikleri

Şekil 2.18’de görülen moment-dönme eğrisi, eğilme momenti (M_{Rd}) ile bu momente karşılık gelen dönme (θ_{MRd}) arasındaki bağlantıyı açıklamaktadır. Ayrıca, Şekil 2.18. ’de görüldüğü gibi moment dönme eğrisi doğrusal değildir (Maali et al. 2017).



Şekil 2.18. Görülen moment-dönme eğrisi (Maali vd. 2017)

Bir moment-dönme eğrisinden 3 tane önemli özellik elde edilir:

1. Moment dayanımı (moment resistance);
2. Dönme rijitliği (rotational stiffness);
3. Dönme kapasitesi (rotation capacity).

Bu özellikler;

1. Moment dayanımı ($M_{j,max}$); moment-dönme eğrisindeki maksimum momente eşittir.
2. Dönme rijitliği ($S_{j,ini}$); sekant rijitliğidir. Başlangıç rijitliği $S_{j,ini}$ elastik bölgenin eğimine eşittir.
3. Dönme kapasitesi (θ_{Cd}); moment-dönme eğrisindeki maksimum dönmeye eşittir.

Moment dayanımı, dönme rijitliği ve dönme kapasitesin bulmak için 18 adet gerçek ölçekte deneysel çalışma yapmışlardır. Ayrıca, aynı araştırmacılar, 1991 yılında

sonlu elemanlar yöntemiyle birleşimlerde moment-dönme eğrisi elde edilmiştir (Bose vd. 1996).

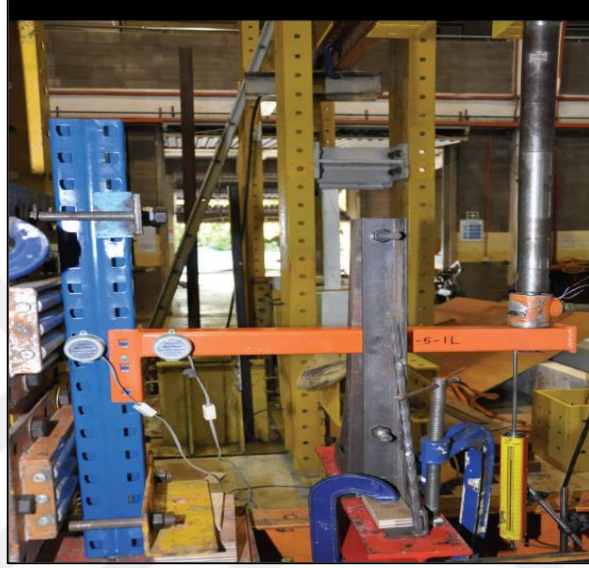
2.8. Hafif Çelik Yapılarda Birleşimler

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların yapısal bir sistem olarak kullanımı son yıllarda artmaktadır. Hafif çelik yapılarda bulonlu, kaynaklı, depolama raf bağlantısı gibi çeşitli bağlantı türleri kullanılır. Hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan vidalı bağlantılar, ekonomik, hızlı ve kolay kurulumlarından ötürü tercih edilmektedir. Çelik yapılarda kullanılan bulon ve kaynak gibi geleneksel birleşim yöntemleri, hafif çelik yapılarda da kullanılmakla birlikte, kolay tahribat etkileri nedeniyle, ince cidarlı hafif profiller için pek uygun değildir. Bu nedenle hafif profillerin montajında perçin ve son yıllarda geliştirilen ucu matkaplı “akıllı vida” gibi özel birleştirme araçları daha çok kullanılmaktadır. Hafif çelik profilleri daha kalın mesnet elemanlarına birleştirmek için sıklıkla kullanılan pnömatik çivileme uygulamasının yanında son yıllarda pres perçinleme veya yapıştırma gibi birleşim teknolojileri de geliştirilmiştir. Başlangıçta çoğunlukla otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş olan bu yöntem yapılarda da etkili bir şekilde uygulanmaktadır. Soğuk haddelenmiş çelik yapıların stabilizasyonu hakkında fikir alışverişinde bulundular ve soğuk haddelenmiş malzemeler arasındaki bağlantıların stabilizasyonunu hakkında araştırma yaptılar. 20. yüzyılın sonlarında ve 21. yüzyılın başlarında bu araştırmalar sonucu birleşimler, basınçlı birleşimler ve rosette birleşimi bulundu (Rondal 2000). Soğuk haddelenmiş çelik elemanların birleşimleri hakkında çok sayıda inceleme yapmışlardır. Bu araştırmaların ışığında soğuk haddelenmiş çelik birleşimler için sınıflandırmalar yapılmıştır. Birleşim tipleri, depolama raf bağlantıları, kaynaklı birleşimler, bulonlu birleşimler ve vida birleşimler diye dört temel kısma incelenmiştir (Jaspart 2000).

2.9.1. Depolama raf birleşimeri

Palet rafları, tahrik rafları, konsol kolları, geçici palet rafları, dar koridor rafları, çift derin palet rafları ve geri itme rafları gibi çok sayıda raf yapısı bulunmaktadır. Depolama rafı yapıları genel olarak soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar tarafından

tasarlanmıştır. Endüstriyel yapılarda depolama raf sisteminde yaygın olarak kullanılan bir birleşim tipidir. Raf sistemleri hafif çelik çerçevelere benzer olduğundan dolayı tasarımda yer alan parametreler de çoğunlukla eşdeğerdir. Literatürde depolama raf birleşimi üzerine eğilme davranışı ile ilgili Şekil 2.19.'da görüldüğü gibi çeşitli deneyler yapılmıştır.



Şekil 2.19. Depolama raf birleşimi için tipik eğilme testi (Lee vd. 2014)

Depolama raf birleşimleri hafif çelik çerçeve sistemlerine benzer olarak çalışmaktadır. Kiriş-kolon birleşimlerinin, nihai limit durumu ve nihai limit hali altında çerçeve sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Baldassino ve Bernuzzi 2000). Bu yapılan çalışmaya benzer olarak başka bir çalışmada optimum bir model olarak yarı-rijit çerçeve, çerçevenin yanal rijitlik katkıda bulunan kiriş ucu elemanların bağlantı elemanların gerçek davranışı belirlemek için araştırılmıştır. Depolama rafların kilit unsurlarının davranışı değerlendirmek ve performansındaki ana parametreler, kolon-kiriş birleşimleri açısından değerlendirildi (Bernuzzi ve Castiglioni 2001). Hafif çelik palet raf sistemleri veya yapıları sismik yüke maruz kalma konusunda daha iyi bir deneyime sahiptir. Yarı-rijit bağlantı deneysel çalışmasından ve sonlu elemanlar model analizinden, sismik verileri tanımlamak için bir analitik model geliştirildi. Bazı durumlarda, bulonlu moment bağlantıları, depolama raf sistemindeki soğuk şekillendirilmiş çelik parçalar arasında ekonomik ve uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle kancalı uç birleşiminde konvansiyonel palet raf sistemlerinde kiriş-kolon bağlantılarının esnekliğini belirlemek için tek konsol yerine sonlu elemanlar yöntemi ile çift konsol testleri yapılmıştır. Çift konsol, gerçek çerçeve makaslama moment oranında daha yakın sonuç vermiştir. Depolama raflı birleşim tipinde bu çalışmada sürme çelik depolama raflarındaki bulon bağlantılı moment bağlantıları üzerine sonlu elemanlar yöntemiyle birleşim davranışı belirlemeye çalışıldı. Araştırma sonucunda, sonlu elemanlar sonuçları, çerçevede bulonlu kirişin tasarım yükünde dikey bağlantıya geçme momentinin bağlantıdaki dik kaymasından daha düşük olduğunu gösterdi (Bajoria ve Talikoti 2006).

2.9.2. Kaynaklı birleşimler

Atomik yapısı aynı veya benzer metallerin ısı etkisi altında birleştirmesine kaynak denmektedir. Birleşim elemanlarının ergitilme ile yapılan kaynaklar ve plastik kıvam oluşturacak şekilde birleşim elemanlarının basınç altında kalması ile oluşan kaynaklar olarak ikiye ayrılır. Ergitme kaynağında ek olarak elektroda ihtiyaç duyulmaktadır. Basınç kaynağında ise yanıcı bir gaz ve oksijen takviyesiyle birleşim elemanları plastik kıvama getirilip basınç ile birleştirilmektedir. Çelik yapı elemanlarının yerinde montajında genel olarak kullanılan kaynak tipi ergitme kaynağıdır (Odabaşı 1992).Kaynaklı birleşimler, hafif çelik birleşimler arasında rijit mafsallar oluşturur. Bu birleşim tipi hafif çelik yapılarda kullanılan malzemenin cidar kalınlığının ince olmasından dolayı imalat sürecinde ciddi zorluklara sebep olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılmamaktadır. Birleşimin imalat sürecinde titiz ve dikkatli bir çalışma gerekmektedir. Lazer ışın kaynağı (LBW), paslanmaz çelik kaynak ve diğer kaynaklı derzler üzerinde yoğunlaşmıştır. Lazer ışın kaynağı (LBW), otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya devam etmekle birlikte, soğuk haddelenmiş çelik konstrüksiyonda hala yeni bir yöntem olarak kabul edilmektedir.Yapılan araştırmalardaLBW teknolojisinin soğuk şekillendirilmiş çelik bağlantısı haline getirilme olasılığı üzerine bir çalışma başlatıldı ve büyük bir laboratuvar testi ile devam edildi. Soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin inşasında LBW kaynak tekniğini incelemeyi amaçlıyordu. LBW tekniği, hatayı en aza indirecek ve böylece bağlantıların emniyetini artıracak şekilde kaynak yapılmıştır (Mammana vd. 2009).

2.9.3. Bulonlu birleşimler

Bulonlu birleşimler, çelik konstrüksiyonda sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çeliklerin her ikisine de uygulanabilen ortak bir bağlantı elemanıdır. Bulonlu birleşimler hafif çelik çerçeve sistemlerinin birleşimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulonlu birleşim en çok hafif çelik sistemlerin diğer çelik elemanlarla ya da beton ile birleşimlerinde kullanılır. Bu birleşim araçları iki yapı elemanının birleşiminde üzerine etkiyen kesme kuvvetini, çekme kuvvetini veya her ikisinin de diğer yapı elemanına aktarır. Bulonlu birleşimin hafif çelik yapılarda kullanım yöntemi şekil 2.20’de verilmiştir. Uç tarafında üretim araçları ile dış açılmış olan silindirik gözdeli ve altıgen başlıklı bir birleşim aracıdır. Çelik elemanlara açılmış olan deliklere yerleştirilir ve bulon ucuna pul ve somun geçirilir (Odabaşı 1992).



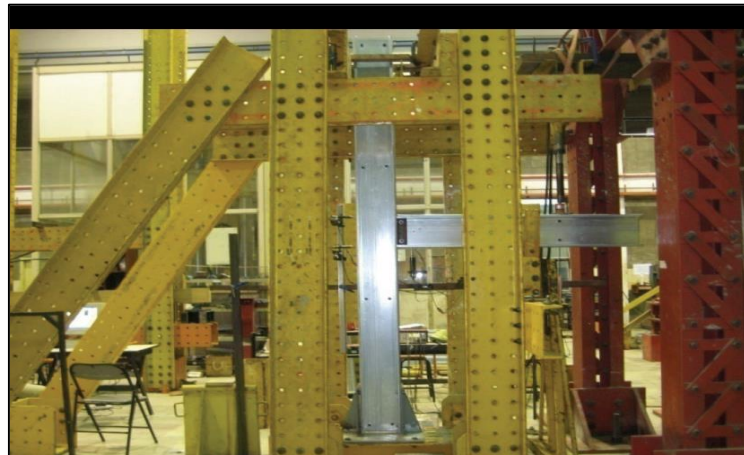
Şekil 2.20. Hafif çelik yapılarda bulonlu birleşim(Hazlan vd. 2010)

Bulonlu birleşimler çelik yapılarda ve hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu birleşim araçları üzerine gelen eksenel kuvveti, kesme kuvvetini ve momenti birleştirdiği bir yapı malzemesinden diğerine aktarır.

Kimand ve Kuwamura (2007) çalışmalarında, sonlu elemanlar modeli statik kesme altında ince duvarlı paslanmaz çelik plakalarda bulon bağlantılarıyla ilgili çalışmalar yapmıştır. Japon çelik tasarım standartları (AIJ), statik makaslama yüklü paslanmaz çelik bulonlu bağlantıların nihai davranışını (göçme modu, nihai güç ve

kıvrım oluşumu) tahmin etmede daha az doğruluğa sahiptir. Nihai dayanımı hesaplamak için değiştirilmiş bir formül önerdi. Bu çalışmanın yanı sıra soğuk şekillendirilmiş çelik yapılarda iki bulon ile tek makaslama bağlantılarının yapısal davranışını analiz etmek için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bozulma modu ve sonlu elemanlar modelinin kıvrılması, deneysel verilere kıyasla makul bir uyum sağlar. Japonya'nın Paslanmaz Çelik Yapı Birliği'nden (SSBA) Kuwamura'nın denklemlerinin, bulonlu bağlantıların nihai sağlamlığını kıvrılma olmadan tahmin etmek için daha uygun olduğu görülmektedir. Nihai bağlantının SSBA tasarım standardındaki güç, kıvrılma etkisi durumunda aşırı tahmin edildi. Sonlu elemanlar analizi, deneysel verilerle iyi bir uyum sağlamıştır (Kim vd. 2009).

Hafif çelik yapılarda kolon-kiriş birleşimlerinin davranışını deneysel olarak inceledi. Deneysel inceleme çift etkili gövde birleşimlerinde, kolon kiriş birleşimlerini kiriş gövdesinden birleşim elemanı ile köşebentlerle birleşimi hakkında çalıştı. Şekil 2.21.'de, bu incelemelerde dış etkilerden muhafaza edilmiş birleşim testi düzeneği gösterilmektedir. Eurocode [4] 'ü tasarım şartnamesini kullanarak farkını bilmek için, üst başlık birleşim bağlantısı için Eurocode modeli, sonlu elemanlar sonuçları ve deney verileri karşılaştırılmıştır. Soğuk şekillendirilmiş kanal bölümleriyle bağlantılı olarak Eurocode'un benimsenmesinde yetersizlik olduğu bulundu (Tan vd. 2013).



Şekil 2.21. Hafif çelik kiriş-kolon birleşimi (Lee vd. 2014)

2.9.4. Vidalı birleşimler

Vidalı birleşimler hafif çelikte yaygın bir şekilde kullanılan birleşim türüdür. Soğuk haddelenmiş çelik malzemesinin cidar kalınlığı ince olduğundan dolayı vidalı birleşimler basit tasarım ve kısa sürede kurulum olarak avantaj sağlar. Hafif çelik yapılarda iki yapı elemanını birleştiren vidalı birleşimler, üzerine etkiyen kesme kuvveti ve çekme kuvvetini diğer yapı elemanına aktarır. Bu çalışmada ise kiriş-kolon birleşiminde bulon yerine vida kullanarak birleşimde eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve momente maruz kalacaktır. Literatür çalışmaları incelendiğinde vidalı birleşimler hafif çelik yapılarda genellikle makaslama testleri, sıcaklık testleri ve çekme testleri gibi deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir.

Deneysel testler hafif çelik kesitlerde makaslarda akıllı vidalar sadece kesmeye maruz kalması denendiğinde geleneksel birleşimlere kıyaslandığında daha iyi moment kapasitesine sahip olduğu gözlemlendi. Vidalı rijit birleşimler çatı eğimi altında rüzgaramaruz kaldığı durumda incelendi. Bayrak plakası vidalı birleşimlerin yapıdaki davranışını belirlemek için farklı kombinasyonlarda denediler (Mills ve LaBoube 2004).

Soğuk şekillendirilmiş çelik konstrüksiyonda vidalı birleşimlerin mukavemeti, güvenlik ve direnç faktörleri ile birlikte araştırılmıştır. Vidalı mafsalların gücü, bağlandıkları elemanlardan daha düşüktü. Tasarımcıların malzemelerini kullanırken üretici tarafından sağlanan emniyet faktörünü kullanmaları önerildi. Vidalı kesme mukavemeti testleri sırasında, bir bağlantı elemanının daha doğru kesilme direnci için vidalı tutturma elemanının kaldırılması tavsiye edildi. Akıllı vidaları üzerinde yapılan 264 makaslama testinin sonuçları sunulmuştur. Yapılan testler tek makaslı tek vidaları, tek makaslı iki vidayı ve çift makaslı tek vidaları içermektedir. Düşük sünekliğe sahip çelikte akıllı vidalarının performansı ve davranışı, normal sünekliğe sahip çelikteki vidaların performansı ve davranışı ile karşılaştırılmıştır. Tek makaralı vidalar için eğilme/dayanma sınır durumu ve çift kesme vidaları için yatak sınır durumu için yeni denklemler sunulmuştur (Serrette ve Peyton 2009).

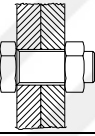
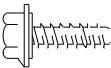
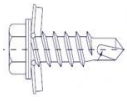
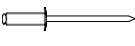
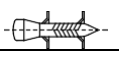
2.9.4.1. Vidalı birleşimlerin mekanik özellikleri

Toma vd. (1993), bu çalışmada soğuk haddelenmiş çeliklerin vidalı birleşimlerinin yapılan çalışmalar neticesinde üç çeşit olduğu tasnif edilmiştir.

1. Mekanik bağlantı elemanları ile birleşimler
2. Kaynaklı birleşimler
3. Yapıştırmaya dayalı birleşimleri.

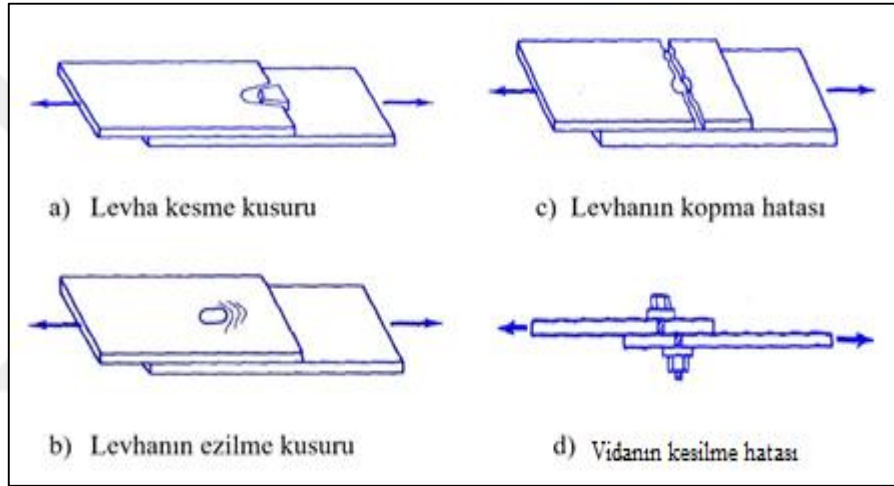
Çizelge 3.1’de mekanik birleşim malmelerinin uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Mekanik bağlantı elemanlarının uygulama alanları için araştırması

İnce ve kalın	Çelikten ahşaba	İnceden inceye	Bağlantı elemanları	Özellikleri
X		X		Vida M5-M16
X				Akıllı vida ϕ 6,3 pul $\geq$ 16 mm ise, 1 mm kalın elastomer
	X	X		Altıgen başlı vida ϕ 6,3 veya 6,5 yıkayıcı ϕ 16 mm, 1 mm kalınlıkta elastomer
X		X		Akıllı vida boyutları : ϕ 4,22 yada 4,8 mm ϕ 5,5 mm ϕ 6,3 mm
X				Dişli vida ϕ 8 mm diş açan $\geq$ 16 mm ise, 1 mm kalınlığında elastomlu veya elastomsuz pul
	X			Perçin boyutları : ϕ 4,0 mm ϕ 4,8 mm ϕ 6,4 mm
X				Düpel vida

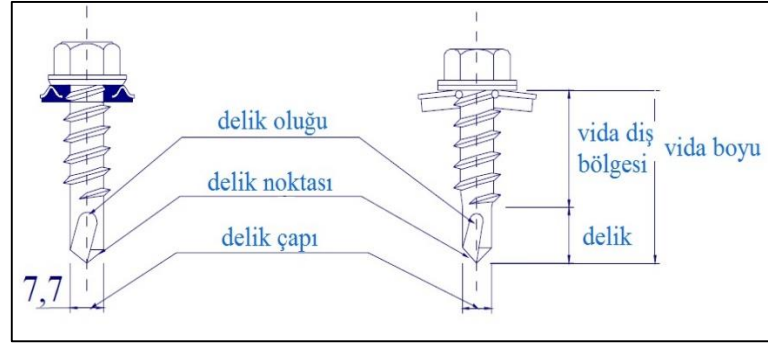
İnce cidarlı kesitlerde vida çapı genelde M5-M16'dır. Tercih edilen malzeme sınıfları 8.8 veya 10.9'dur. Test sonuçlarına göre aşağıdaki dört temel soğuk şekillendirilmiş çelik vidalı bağlantılarda genellikle ortaya çıkmaktadır.

- İki paralel çizgi boyunca tabakanın uzunlamasına kesilmesi, bakınız Şekil 2.22a;
- Vidanın önüne malzeme çekilmesi veya yığılması, bakınız Şekil 2.22b;
- Tablayın net bölümden yırtılması, bakınız Şekil 2.22c;
- Vidanın makaslanması, bakınız Şekil 2.22d'de verilmiştir.



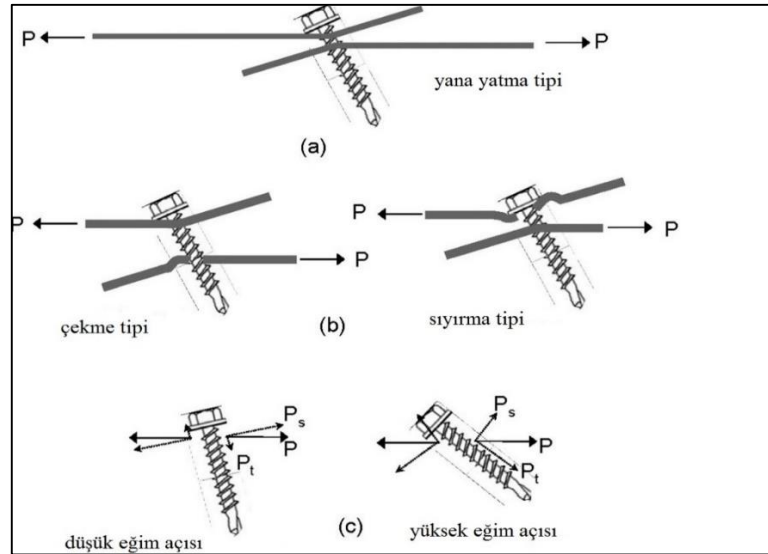
Şekil 2.22. Çelik vidaların deformasyon halleri (Yu 2000)

Birçok durumda, bir mafsallık farklı türdeki deformasyon kombinasyonuna tabidir. Tabakanın yırtılması genellikle aşırı vida dönüşü ve tabaka malzemesinin dağılması nedeniyle meydana gelmektedir. Vidalar, sac metal kaplamanın ve çatı kaplamasının çerçeveleme elemanlarına bağlanması ve çatı kaplamasında bağlantıların yapılması için hızlı ve etkili bir yöntemdir. Ayrıca bu birleşim malzemeleri hafif çelik çerçe sistemleri ve çatı makaslarında ve alçıpan panellerini metal kanallara ve raylara tutturmak için de kullanılabilirler. Akıllı vidanın mekanik kısımları Şekil 2.23'de verilmiştir.

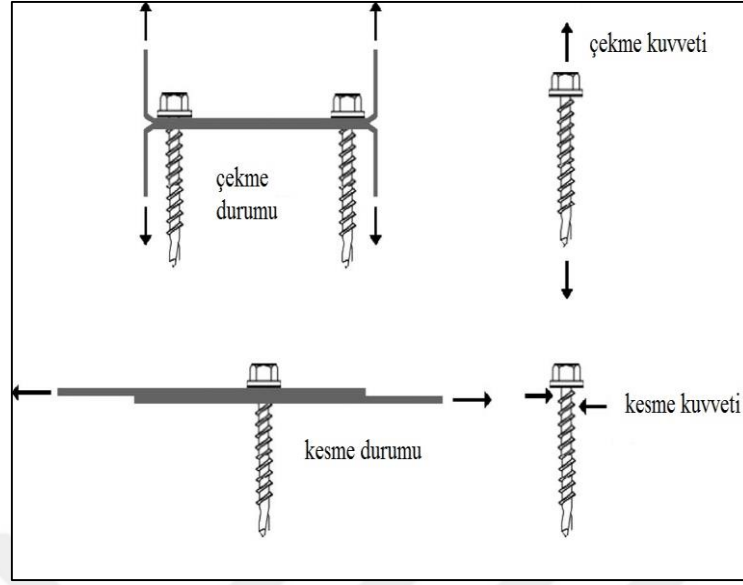


Şekil 2.23. Akıllı vidalarının örnekleri (Yu 2000)

Peköz (1990), bu çalışmada ilk olarak hafif çelikte, çelik-çelik bağlantıların dayanımını tahmin etmek için bir dizi denklem önerdi. Peköz'un çalışmalarına dayanarak, şartlar, vida bağlantılı bağlantıları ele alan, 1996'da AISISPEC 1996, Bölüm E4, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanları Tasarımı için AISI Şartnamesinde tanıttı. Birleşimdeki, birleşim elemanındaki başarısızlığa dayalı bir bağlantı kuvvetini tahmin etmeye yönelik hükümlere ek olarak, 1996 AISI Spesifikasyonunda ayrıca, vida bağlantı elemanlarının kesilme ve gerilme mukavemetlerinin, bağlantı kuvvetinin 1.25 katı veya daha fazla olması şarttır. Hafif çelik yapılarda vidalı bağlantıların kesme kuvveti etkisizliğine çekme kuvveti etkisi altındaki davranışları Şekil 2.24. ve Şekil 2.25'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Kesme bağlantılarında bağlantı elemanı davranışı (Peköz 1990)

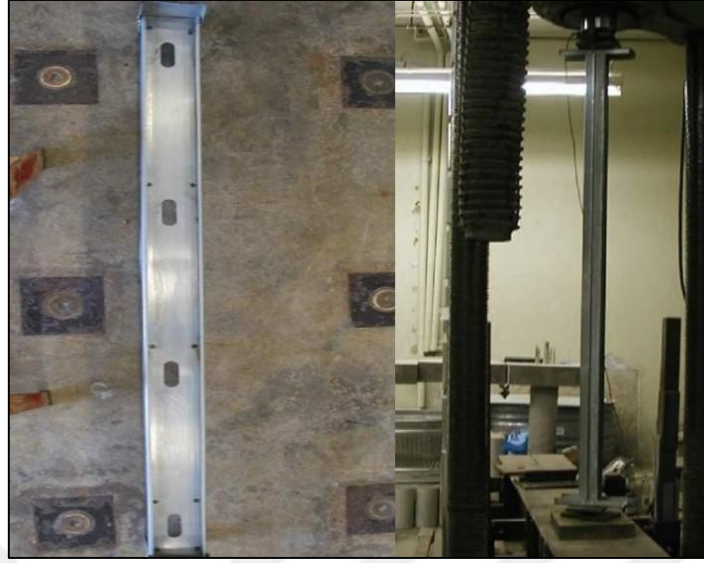


Şekil 2.25. Soğuk şekillendirilmiş çelik bağlantılarda kesme ve gerilme durumu (Peköz 1990)

2.9.4.2. Vidalar ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar

Yan vd. (2012) çalışmalarında, ince çelik levhaların yüksek sıcaklıklarda vidalı bağlantıları üzerinde bir test programı sunulmaktadır. Yükseltilmiş sıcaklıklarda toplam 102 adet tek etkili kesme vidalı bağlantı numunesi test edildi. Bu çalışmada üç farklı kalınlıkta ince çelik sac ele alınmıştır. Göçme esnasındaki yükleri ve göçme modları testlerden elde edildi. Göçme modları kayma, eğilme, vida kesilmesi, gövde kesit gerilimi ve malzeme hatası dahil olmak üzere birkaç arıza modu gözlenmiştir.

Stone vd. (2005) çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin davranışlarını incelemek ve soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların tasarımına yönelik Kuzey Amerika Şartnamesi'nin mevcut tasarım hükümlerini değerlendirmek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Her numune için, vidalar birbirine ayarlanmış aralıklarla yerleştirilmiş iki akıllı vida ile birbirine bağlanmıştır. Soğuk şekillendirilmiş C kesitleri başlık kısımlarından çelik plaka bağlantı parçalarının her bir ucuna dik olacak şekilde tek bir akıllı vida ile bağlanmıştır. Yapılan araştırma sonucunda mevcut tasarım gerekliliklerinin, üretilmiş dikmelerin nihai kapasitesini güvenli olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışma düzeneği Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26. Vidalı hafif çelik birleşimi(Stone vd. 2005)

Yan ve Young (2012) çalışmalarında, vidalı birleşimler için sismik tasarım ve yangın direnci artırmak için bir araştırma yürütmüşlerdir. Deneysel veriler ışığı altında plakalarda vidalı birleşim üzerine yapılan çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarında akıllı vidalı kullanarak soğuk şekillendirilmiş çatı kaplama bağlantısı ortam sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda ki reaksiyonlarını araştırmışlardır. Kenar ve uç mesafesinin bağlantı direnci üzerindeki etkisi, sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel yöntem ile araştırıldı ve mukayese edildi. Bu veriler ışığı altında sıcaklık etkileri hesaba katıldığında kısmi güvenlik faktörü türetilmiştir. Buna ek olarak çalışmanın devamı olarak Hong Kong'da, toplam 102 numuneyle kararlı durum testi ve geçici durum testi kullanan yüksek sıcaklıklarda ince sacın vidalı bağlantılarını inceleyen bir araştırma yapıldı. Mevcut tasarım özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda mukavemet tahmini için güvenli olduğu belirlendi. Geçici durum testi için, vidalı birleşimde göçme modu yük arttıkça değişebilir olduğu belirtildi. Buna ek olarak (Tahir vd. 2011), bu çalışmada Malesya Teknoloji Üniversitesi'nde araştırılan tam ölçekli vidalı birleşimler testleri serisi vardı. Farklı konfigürasyonlarda toplam 12 kolon-kiriş birleşimi incelenmiş ve Eurocode analitik modeli ile karşılaştırılmıştır. Kiriş derinliği arttıkça birleşimler başlangıçtaki mukavemeti arttı. Araştırılan vidalı mafsalların hepsi mukavemet, bağlı kiriş bükülme direncinin % 25'inden fazladır. Göçme modları Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27. Akıllı vidaların göçme modları (Yan ve Young 2012)

Maali vd. (2017) çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik yapılarıdaki kiriş-kolon birleşimi, akıllı vida kullanılarak incelemişlerdir. Birleşimin yapısal davranışını belirlemek için kirişin farklı kalınlığa sahip olduğu bağlantının tam ölçekli numuneleri için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bağlantıların davranışı moment-dönme eğrisi ile temsil edildiğinden, bu çalışmada moment-dönme eğrilerinin ve moment-dönme eğrilerinin karakteristik değerlerinin değerlendirilmesine odaklanır. Deney sonuçları, farklı kalınlıklarına sahip diğer deneylerin sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Deney sonuçları plastik ve maksimum deformasyonun azaldığını, kirişin profil kalınlığı arttığında maksimum moment ve sertliğin arttığını göstermiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda birleşimin göçme modu Şekil 2.28.'de verilmiştir.



Şekil 2.28. Vidalı kiriş-kolon birleşiminin göçme modları (Maali vd. 2017)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmalar

Bu araştırma kapsamında, hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşiminin davranışını belirlemek için mevcut yükler altında 3 farklı kalınlıkta çift C profil kiriş ve 3 farklı kalınlıkta bayrak levhası kullanılarak berkitmeli ve berkitmesiz olarak çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında birleşimin moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Moment-dönme eğrilerinden elde edilen birleşimin rijitliği, moment dayanımı ve dönme kapasitesi gibi karakteristik özellikleri literatüre sunulmuştur. Bulon yerine vida kullanılması ve bu kirişlerde berkitmeli ve berkitmesiz yapılar hem daha düşük maliyet hemde uygulamadaki rahatlığı ile tercih edilmesi hedeflenmiştir. Böylece berkitmenin yük etkisi altında kiriş davranışını nasıl ve ne şekilde etkilediği hakkında daha somut bilgilere ulaşabilecektir.

Bu çalışmada hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşimlerine davranış deneysel olarak incelemek amacıyla literatürde daha önce yapılan berkitmesiz kiriş-kolon birleşimleri için değerlendirmeler yapılmıştır ve bu çalışmalarda göçmenin genel olarak birleşim noktasına yakın kiriş gövdesinde meydana geldiği görülmüştür (Maali et al., 2017; Sagiroglu et al., 2018). Bu göçmeyi geciktirmek, kiriş göçmesini birleşim göçmesine yakınlaştırmak ve böylece daha ekonomik olmasını amaçlayan bu çalışmada kiriş üzerine birleşime yakın bölgede berkitme eklenmesine karar verilmiştir. Ayrıca kirişin malzeme kalınlığının (t) ve berkitme kalınlığının (tp) 2mm'den az olduğu berkitmeli ve berkitmesiz vidalı birleşimlerin de davranışının belirlenmesine karar verilmiştir. Berkitmenin birleşimin göçme moduna ve rijitliğe etkisi de incelenmiştir.

3.2. Deneysel aletler

Bu tezde kullanılan deneysel aletler hepsi yeni ve dijital olmalarından ötürü deney sisteminde elde edilen verilerin hata oranları düşüktür ve kalibrasyonları sertifika bilgilerine göre yapılmıştır.

3.2.1. Deformasyon ölçme cihazı (LVDT)

Deformasyon ölçme aletleri deney düzeneğinde yatay veya düşey olarak deformasyonları ve eğilmeleri ölçmek için kullanılır. Bu aletler, en küçük olanı 100 mm en büyük olanı 300 mm olarak üretilir. Bu cihazların hata oranı 0.001 mm'dir. Bu ölçüm cihazları dijital ve analog olmak üzere iki çeşittir. Deneylerde kullanılan LVDT'ler Japonya da üretilmiştir. Deneylerde kullanılan LVDT'ler Şekil 3.1'de verilmiştir. Deformasyon ölçüm cihazları deney düzeneğinde sabit noktalara bağlandıktan sonra veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.1. Dijital deformasyon ölçme cihazı (LVDT)

3.2.2. Gerinim ölçerler (Strain-gauge)

Malzemede meydana gelen birim deformasyon ölçebilen bu pullar, farklı konfigürasyonlarda malzeme özellikleri belli olan çelikler üzerine yapıştırılır. Özel bir yöntem ile hazırlanan çok ince bir tel, ince plastik yüzey üzerine yerleştirilir. İhtiyaç halinde gerekli yerlerde sağlamlaştırma bandı ve bağlantı elemanları yapıştırılarak bir gerinim ölçer yapıştırılmış olur. Yapılan deneylerde gerinme pullarının ölçtüğü yük sonucu oluşan elastik bölgedeki fiziksel deformasyonu, elektriksel sinyallere dönüştürerek veri toplama sistemi tarafından algılanmasını sağlar. Gerinim pullarının yapı malzemesinde kullanılacağı yer eğer metal bir yüzey ise, o yüzey önce spiral makinesi ile taşlanır, zımparalanır sonra aseton gibi eriticilerle yüzeyde oluşan yüzey

yağından arındırılır. Gerilme pulları yapı malzemesinin üzerine yatay ve dikey doğrultuda konulur. Özel plastik yapı malzemesi ile örtülür. İşaretparmağıyla birkaç dakika bastırılır. Deneylerde kullanılan gerinim pulları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Gerinim pulları

3.2.3. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell) ve bilgisayar

Yükleme hücreleri; akademik çalışmalarda, laboratuvarlarda, endüstriyel tesislerde, depolama tanklarında ve silolarda sıklıkla tercih edilen yük ya da kuvvet ölçme cihazıdır. Sadece basma yönünde veya basma-çekme yönlerinde çalışan modelleri vardır. Bu cihazların iki yönde çalışanlarına kuvvet sensörü denilmektedir. Yükleme etkisi altında oluşabilecek diyafram etkisi ile hem basma hem de çekme yükleri okumaya imkan sağlamaktadır. Bu yük hücreleri bağlantı aparatları yardımı ile hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Hidrolik pompa ise tasarımda hedeflenen yükü yüklemek için kullanılır. Deneylerde kullanılan yükleme hücresi FUTEK markalı olup LCF500 SERIES modelidir. Yük hücresinin maksimum kapasitesi 111 kN’ dur. Yük hücresinin ve birleşim malzemeleri Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Yük hücresi

Kullanılan pompa Amerika Birleşik Devletleri üretimi olup ENERPAC RC258 modelidir. Kullanılan pompada hidrolik piston ile yükleme yapılabilmesi için iki adet hortum sistemi bulunmaktadır. Hortumlardan biri hidrolik yağı hidrolik pistonu yönlendirirken diğeri de hidrolik yağı pompanın deposuna geri çekmektedir. İstenilen hıza ayarlanabilmesi için valfi bulunmaktadır. Yükleme manüel olarak kumanda yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 3.4’de pompa şekli görülmektedir. Pompanın kapasitesi 700 bar dır ancak kullanılan hidrolik pistonun kapasitesi 11.34 tondur. Pompa ve piston Şekil 3.4’de verilmiştir.



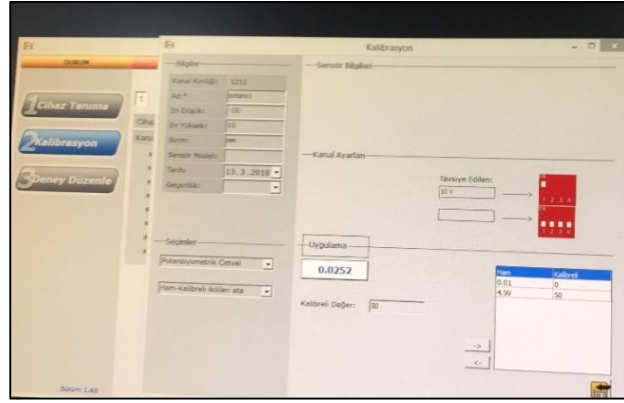
Şekil 3.4. Hidrolik pompa ve piston

3.2.4. Veri toplama sistemi (Data logger)

Veri toplama cihazının temel amacı, dinamik ve statik verileri toplamak ve depolamaktır. Bu veri toplama cihazları aynı zamanda dinamik ve statik sayısallaştırıcı olarak da adlandırılırlar. Bu veri toplama cihazının ilk bakışta ön plana çıkaran özellikleri yüksek çözünürlük, yüksek dinamik aralık, eş zamanlı örnekleme yeteneği, hızlı örnekleme, ivmeölçerler ile birim deformasyon ölçerleri de içeren geniş çalışma olanağı sağlamaktadır. Mevcut projedeki deneylerde kullanılan veri toplama cihazının modeli TESTBOX 1001 ABD üretimi, 8 kanallı, 9 portlu giriş kablolarına sahiptir. Portlara dirençler takılabilmektedir ve dirençler kablo yardımıyla bilgisayara verileri aktarmaktadır. Portlara bağlanan dirençler vasıtasıyla, sıcaklıkları, gerilmeleri, yükleri, voltajları, dirençleri ve deformasyonları ölçülebilir. Giriş voltaj aralıkları ± 10 mV ile ± 10 V aralığındadır. Veriler toplandıktan sonra veri toplama cihazının programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu program straingauge, loadcell ve LVDT lerin özelliklerine bağlı olarak hazırlanmıştır. İlgili programdan okunan veriler çeşitli programlar sayesinde sayısallaştırılmıştır. Şekil 3.5’de veri toplama cihazı, Şekil 3.6’da veri toplama cihaz ekranı görülmektedir.



Şekil 3.5. Veri toplama sistemi (datalogger)



Şekil 3.6. Veri toplama cihaz programı

3.3. Deneylerin Yapılması ve Doğru Şekilde Uygulanması

Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzeme Laboratuvar'ında deney düzeneği çerçeve sistemi kuruldu. Yapılan çerçeve sisteme kaynak ve bulon yardımıyla hidrolik piston bağlandı. Deney sisteminde kirişin burulmasını engellemek için bir sistem geliştirildi. Laboratuvar'da kurulan çerçeve Şekil 3.7'de, burulmayı önleyiciler ise Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Deneylerin yapıldığı çerçeve sistemi

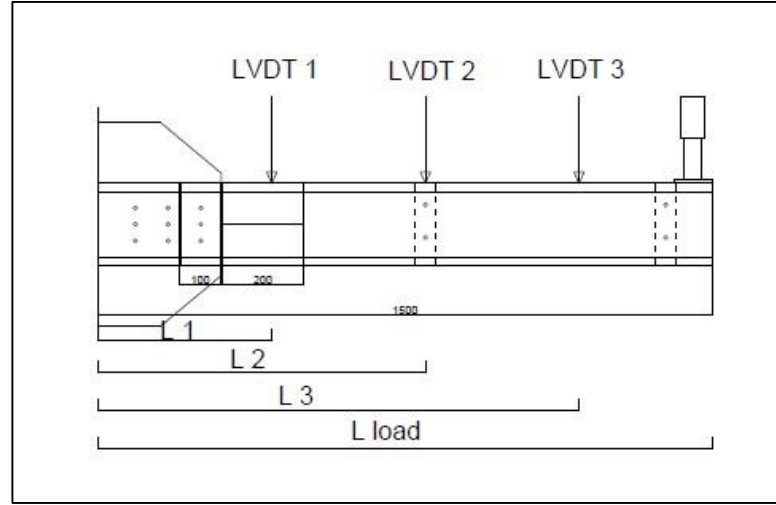


Şekil 3.8. Burulma önleyici profiller

3.4. Deneysel Verilerin Formüllerle İstenilen Verilere Dönüştürülmesi

Bu çalışmanın amacı hafif çelik yapıların kolon-kiriş birleşimlerinin moment dönme davranışının incelenmesidir. Bundan dolayı kiriş-kolon birleşiminde kirişin davranışları bize moment-dönme eğrisini vereceği için kolonun yatayda deplasmanı sıfır olacak şekilde ankastre bağlandı. Kirişin mesnetleri ise ankastre yapıldı ve mesnetlerdeki moment değeri aşağıdaki formüller ile hesaplandı.

Aydın vd. (2015), yapmış oldukları bu çalışmada yatay ve dikey LVDT'ler ile deplasmanları ölçülerek aşağıdaki formüller ile kirişlerde ve birleşimlerdeki oluşan deplasman değerleri ile dönme açıları hesaplanmıştır. Deney sistemi birleşim tipi için kirişin LVDT bağlama ve yükleme noktaları gösterimi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney sistemi birleşim tipi için kirişin LVDT bağlama ve yükleme noktaları gösterimi

Diferansiyel yöntemle göre sabit yük altında çeliğin dönme açısının bulunması için dönme formülünün çıkarılması aşağıda verilmiştir.

$$\iint EI \delta b.el(DTi) = -PX + C_1$$

$$\int EI \delta b.el(DTi) = \left(\frac{-PX^2}{2} \right) + C_1X + C_2$$

$$EI \delta b.el(DTi) = \left(-\frac{PX^3}{6} \right) + \left(\frac{C_1X^2}{2} \right) + C_2X + C_3$$

$$X = 0, \int EI \delta b.el(DTi) = \theta = 0 \rightarrow C_2 = 0$$

$$X = L, \iint EI \delta b.el(DTi) = M = 0 \rightarrow C_1 = PL_{load}$$

$$X = 0, E\delta_{b.el}(DTi) = \left(\frac{PX^3}{6}\right) = \delta = 0 \rightarrow C_3 = 0$$

$$\delta_{b.el}(DTi) = \left(-\frac{P}{EI}\right) \left(\left(\frac{X^3 DTi}{6}\right) - \left(\frac{Lload X^2 DTi}{2}\right)\right)$$

Burada;

E= Kirişin Elastisite Modülü

I = Kirişin Atalet Momenti

θ = Kirişin dönme açısı

δ = Kirişin deplasmanı

θ = Kirişin dönme açısı

δ = Kirişin deplasman değeri

$$\delta_{b_{el}}(DTi) = \frac{P}{E_b I_b} (x^3 \frac{DTT_i}{6}) - L_{load} (x^2 \frac{DTT_i}{2})$$

$$\theta_B = \frac{\arctan(\delta_{DT1} - \delta_{DT3} - \delta_{b_{el}(DT1)})}{L_1} = \frac{\arctan(\delta_{DT2} - \delta_{DT3} - \delta_{b_{el}(DT2)})}{L_2}$$

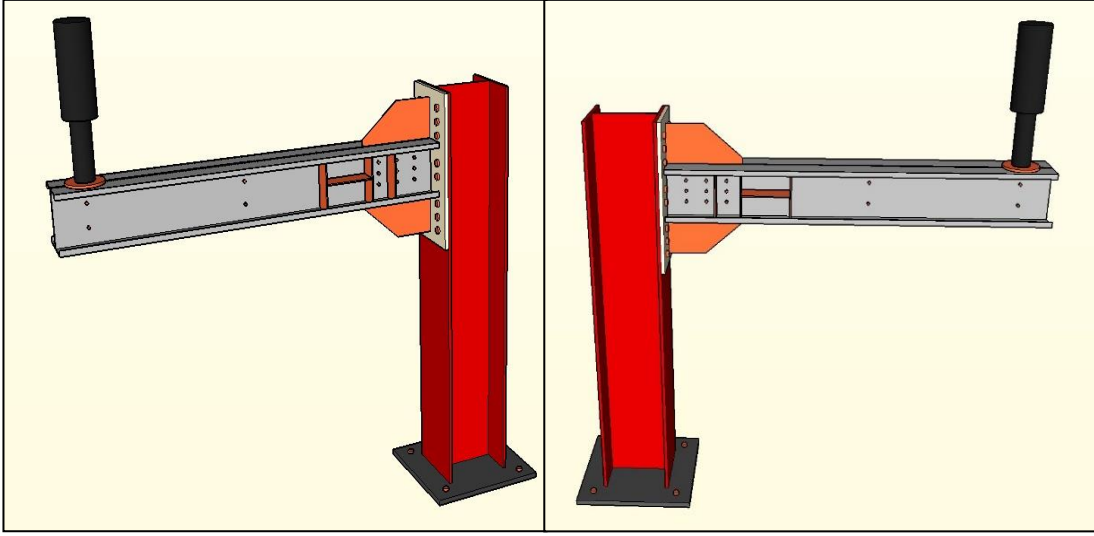
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu araştırmanın kapsamında kolon-kiriş vidalı birleşiminde 3 farklı kalınlıkta kiriş, 3 farklı kalınlıkta bayrak levası ve bunlar berkitmeli ve berkitmesiz olmak üzere 15 adet deney yapılması düşünülmüştür. Deneylerden elde edilen veriler ile birleşimin moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Çizilen moment-dönme eğrileri, birleşimin rijitliğini, moment dayanımını ve dönme kapasitesi ile ilgili bilgiler ve diğer tüm sonuçlar literatüre sunulmuştur.

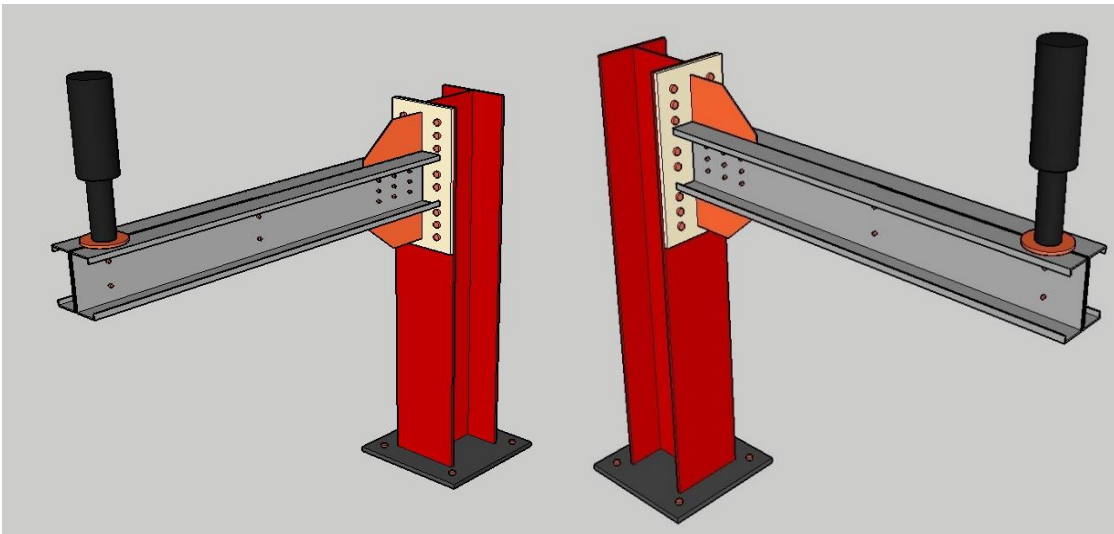
Bu çalışmada 2Cprofilinin sırt sırta birleştirilmesiyle oluşturulan kiriş, çelik kolona alın levhasıyla birleştirilmiştir. Bu birleşimde sadece birleşim davranışını gözlemleyebilmek için, kolon HEA200 profilden seçilmiştir, böylece oldukça rijit seçilen bu kolonda deney esnasında herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Ayrıca kiriş 15 mm kalınlığında alın levhası kullanılarak M20 bulonlar ile kolona birleştirilmiştir. 2C profilden oluşan kiriş arasında bayrak levhası kullanılarak ve 75 cm de bir rijitleştirici yerleştirilerek 12 mm çapında akıllı vidalar yardımıyla elde edilmiştir. Hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan vidalı bağlantılar, ekonomik, hızlı ve kolay kurulumlarından ötürü tercih edilmektedir. Bu çalışmada, kiriş-kolon bağlantılarında vidaların kullanımı araştırılmıştır. Kiriş-kolon bağlantıları tarafından aktarılan en önemli kuvvet momentlerin ve bağların davranışı en iyi moment-dönme eğrileri ile temsil edildiğinden moment dönme eğrileri ile elde edilen karakteristik özellikler, farklı kiriş profili kalınlıkları ve bayrak levhası kalınlık değerleri için dikkate alınmıştır. Daha önce yapılan testlerde daha kalın kiriş kesit kalınlıklarının vidalarda başarısız olduğu görülürken, daha ince kiriş kalınlıkları için kiriş gövdesinde çökmeye neden olmuştur (Sagiroglu et al. 2018, Maali et al. 2017). Bu nedenle, bu çalışmanın aksine, düzlemsel kiriş kalınlıklarında düzlem dışı berkitme kullanarak, burkulmayı geciktirmek, moment ve dönme kapasitesini arttırmak ve daha ekonomik tasarım elde etmek için deneyler gerçekleştirildi.

4.1. Birleşim Tipi

Uygulamadaki rahatlığından dolayı kolon-kiriş birleşiminde literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bulon yerine vida ve berkitmeli ve berkitmesiz olmak üzere aynı birleşim tipi farklı konfigürasyonlarda 15 adet deney yapılmıştır. Belirlenen deney sistemlerinin modelleri Şekil 4.1’de berkitmeli birleşim tipi, Şekil 4.2’de ise berkitmesiz birleşim tipi verilmektedir.

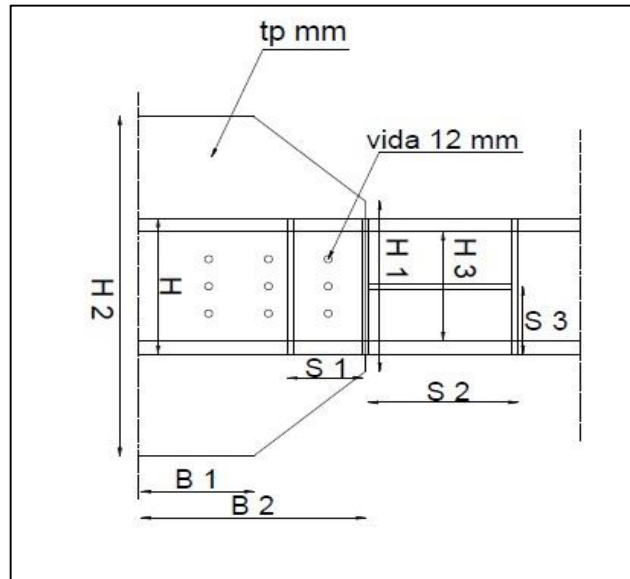


Şekil 4.1. Berkitmeli birleşim tipi



Şekil 4.2. Berkitmesiz birleşim tipi

Literatür araştırmalarında da görüleceği gibi kolon-kiriş birleşimlerinde birleşim davranışı gözlenmeden kirişte göçme meydana gelmektedir. Bu davranış bize birleşimin rijit bir birleşim olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla birleşim elemanlarının çok güçlü olduğu anlaşılmaktadır (Serror vd. 2016). Bundan dolayı birleşim elemanı olarak 12 mm vida olarak belirlenmiştir. Yürütülen bu deneysel çalışmada birleşimlerde kullanılan berkitme kalınlığı 1,1.5 ve 2 mm olarak belirlenmiş olup mesafeleri ise Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Birleşim bölgesinde kullanılan bu berkitmeler kirişin göçmesini geciktirerek asıl hedeflenen birleşim elemanı olan vidanın birleşimdeki moment-dönme eğrilerinin araştırılmasına olanak sağlar. Birleşim tipi, bayrak levhasının Şekil 4.3.'de görülmektedir. Çizelge 4.1.'de ise bayrak levhası boyutları ve vidalar arasındaki mesafeler verilmiştir. Kiriş-kolon birleşiminde kullanılacak kirişler St 37 çeliğinden üretilmiş olup, kiriş cidar kalınlıkları 1, 1.5 ve 2 mm seçilerek birleşim bölgesine berkitmeli ve berkitmesiz olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılan kiriş detayları, boyutları ve diğer parametreler Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Farklı cidar kalınlıklarından oluşan bu malzemelerden üretilen hafif çelik kiriş adlandırılması ve kiriş alın plakası ise Şekil 4.4.'de, berkitmelerin kiriş kesiti içerisindeki konumu Şekil 4.5.'de ve kiriş kesitinin boyutları ve kiriş kesinin koyutları, bulon ve vida çapları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3.Birleşim tipi ve modeli

Çizelge 4.1. Bayrak levhası boyutları ve berkitmeler mesafeleri

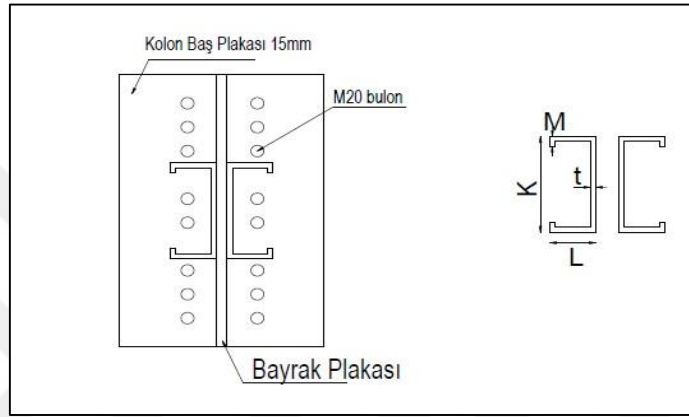
BAYRAK PLAKASI VE BERKİTME BOYUTLARI									
B1 (mm)	B2 (mm)	H (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H 3 (mm)	TP (mm)	S 1	S2	S3
150	300	200	250	500	160	1	100	200	100
150	300	200	250	500	160	1.5	100	200	100
150	300	200	250	500	160	2	100	200	100

Çizelge 4.2. Kiriş detayları ve boyutları

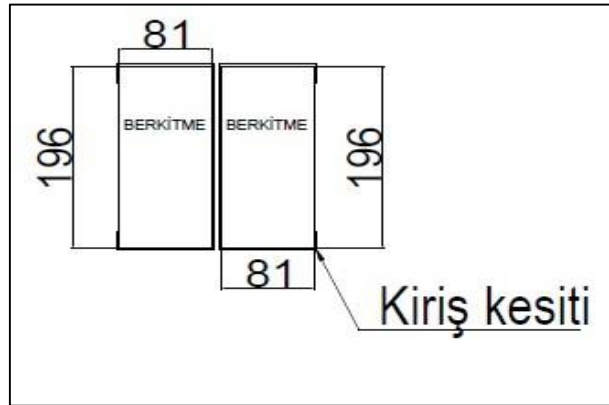
DENEY NO	KİRİŞ BOYUTLAR (mm)	C KESİT KALINLIĞI (mm)	BAYRAK PLAKASI		BULON (mm)	VİDA (mm)	BERKİTME
			LEVHA KALINLIĞI (mm)	BAYRAK LEVHASI BOYUTLARI (mm)			
T1-C1-P1-S	C-200*85*20	1	1	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T2-C1,5-P1-S	C-200*85*20	1.5	1	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T3-C2-P1-S	C-200*85*20	2	1	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T4-C1-P1	C-200*85*20	1	1	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T5-C1,5-P1	C-200*85*20	1.5	1	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T6-C2-P1	C-200*85*20	2	1	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T7-C1-P1,5-S	C-200*85*20	1	1.5	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T8-C1,5-P1,5-S	C-200*85*20	1.5	1.5	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T9-C2-P1,5-S	C-200*85*20	2	1.5	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T10-C1-P1,5	C-200*85*20	1	1.5	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T11-C1,5-P1,5	C-200*85*20	1.5	1.5	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T12-C2-P1,5	C-200*85*20	2	1.5	500*250*300*150	M 20	12	YOK
T13-C1-P2-S	C-200*85*20	1	2	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T14-C1,5-P2-S	C-200*85*20	1.5	2	500*250*300*150	M 20	12	VAR
T15-C2-P2-S	C-200*85*20	2	2	500*250*300*150	M 20	12	VAR

Çizelge 4.3. Kiriş, bulon ve vida boyutları

K (mm)	L (mm)	M (mm)	t (mm)	BULON	VİDA
200	85	20	1	M 20	12
200	85	20	1.5	M 20	12
200	85	20	2	M 20	12



Şekil 4.4. Hafif çelik kirişin adlandırılması ve kiriş alın plakası

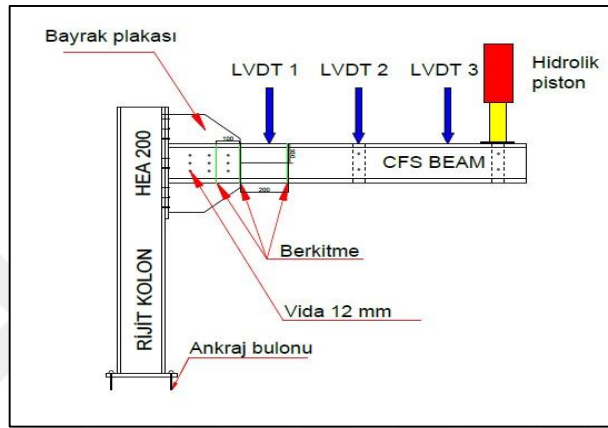


Şekil 4.5. Berkitme boyutları

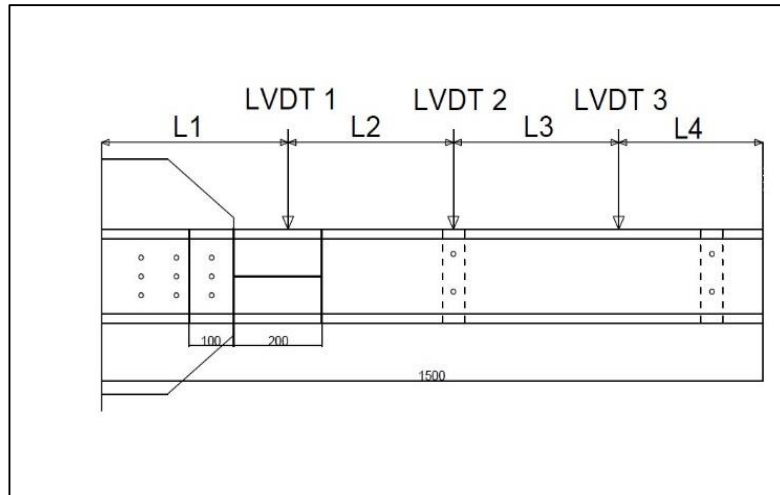
4.2. Deney Düzeneği

Bu çalışmada sıcak hadde ürünü olan HEA 200 profil deney düzeneğinde kolon olarak kullanılmıştır. Rijit kolon ankraj plakası yardımı ile zemine ankastre olacak şekilde bağlantısı yapılmıştır. Soğuk haddelenmiş çift etkili çelik kirişler ise bayrak

plakası yardımı ile birbirlerine 12 mm akıllı vidalar ile birleştirilmiştir. Hazırlanan kiriş birleşimi 15 mm alın plakası yardımı ile kolona ankastre olacak şekilde birleştirilir. Burada Çizelge 4.3’de kiriş kalınlıkları, bayrak levhası boyutları ve kalınlıkları ve diğer parametreler verilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.6’da verilmiş olup buna ek olarak kiriş üzerindeki LVDT lerin konumu Şekil 4.7’de verilmiştir. Deneysel çalışmada kiriş üst bölgesinde bulunan LVDT konumları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Deney düzeneği



Şekil 4.7. Kiriş kesiti ve LVDT konumu

Deneyin uygulama aşamasında LVDT’yi taşıyan çerçeve hareketli olduğu için tüm deneylerde yüklemeden önce LVDT’lerin ve pompanın mesafeleri ölçülmüştür. Bu ölçümler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. LVDT ve pompa mesafeleri

DENEY NO	LVDT1 (cm)	LVDT2 (cm)	LVDT3 (cm)	POMPA (cm)
T1-C1-P1-S	34	83.5	117	143
T2-C1,5-P1-S	36	84.5	117	141.5
T3-C2-P1-S	35.5	84.5	117.5	141.5
T4-C1-P1	35.8	84.2	119	143
T5-C1,5-P1	34.5	83.5	120	142
T6-C2-P1	34.5	83	116	145
T7-C1-P1,5-S	34	82.5	117	141
T8-C1,5-P1,5-S	34	82.5	119	141.5
T9-C2-P1,5-S	35	83.5	117	140.5
T10-C1-P1,5	34.5	82.5	118	140.5
T11-C1,5-P1,5	34	82.5	119	142.5
T12-C2-P1,5	35	83.5	117.5	140.5
T13-C1-P2-S	34.5	83	117.5	140.5
T14-C1,5-P2-S	34.5	83.5	118	140.5
T15-C2-P2-S	35	83.5	118	140.5

4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Moment-Dönme eğrileri

Yapılan bu çalışmada 15 adet kirişin tekil yük altında moment-dönme eğrileri çizilerek, moment-dönme eğrilerinin temsil ettiği dönme kapasitesi, moment dayanımı ve rijitlik gibi karakteristik özellikler belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan deneylerde birleşimlerin göçme modları değerlendirilmiştir.

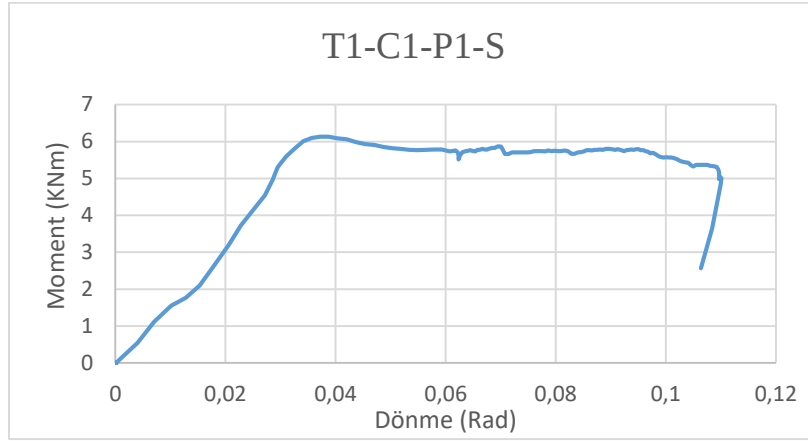
Deney numuneleri ölçüm cihazlarının kalibrasyonları sertifika bilgilerine göre yapıldıktan sonra yüklemeye başlanmıştır. Deney esnasında T4-C1-P1 kirişinden loadcell'den kaynaklı olarak veri alınamadığından bu deney için bu tez kapsamında değerlendirme yapılmamıştır.

4.3.1. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S, T3-C2-P1-S

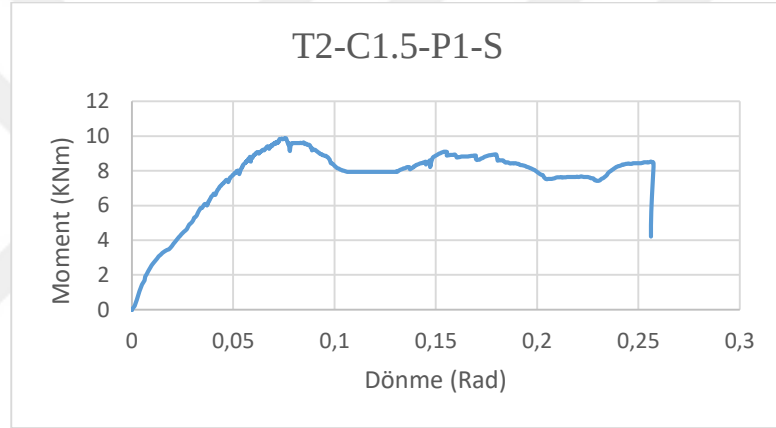
Bu çalışma kapsamında verilen ve tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin moment-dönme eğrileri Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.11'de ise moment dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak

gösterilmiştir. Çizelge 4.5’de ise bu deneye ait moment-dönme eğrisi karakteristik değerleri verilmektedir. Moment-dönme eğrileri ve moment-dönme karakteristik değerleri incelendiğinde C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$), cidar kalınlığı 1mm olan birleşime göre %30,75 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kalınlığı olan birleşimin, cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %17,26 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, C profil cidar kalınlığı 1mm’den 1,5 mm’ye ve 1,5 mm’den 2 mm’ye yükseldiğinde sırasıyla %37,95 ve %11,62 artış göstermiştir. Kritik moment ($M_{\theta,cd}$) ise 1 mm’den , 1,5 mm ve 2 mm’ye çıktığında yaklaşık %24,75-%30,27 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında moment dayanımı artış göstermiştir ve artış oranı en fazla maksimum moment de gözlenmiştir. Rijitlik oranı incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde, 1 mm olan birleşime göre %19,22 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %58,15 olmuştur.

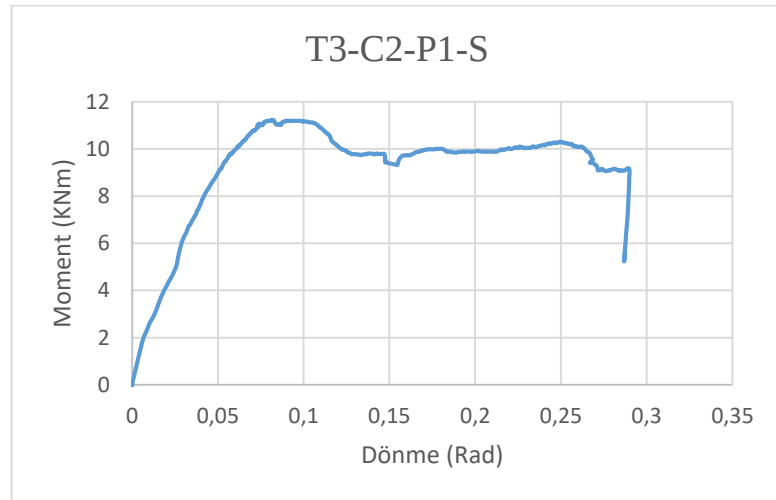
Dönme değerleri incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$) na karşılık gelen dönme değeri (θ_{Mrd}), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %3,12 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %17,95 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerlerine kadar karşılık gelen dönme değeri ($\theta_{j,max}$) C profil cidar kalınlığı 1 mm’den 1.5 mm’ye ve 1,5 mm den 2 mm’ye yükseldiğinde sırasıyla %50 ve %16,48 artış göstermiştir. Dönme kapasitesi (θ_{cd}) ise 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %56,8-%13,79 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında dönme kapasitesi artış göstermiştir. Moment-dönme eğrileri davranış olarak oldukça benzerlik göstermekte sadece C profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır.



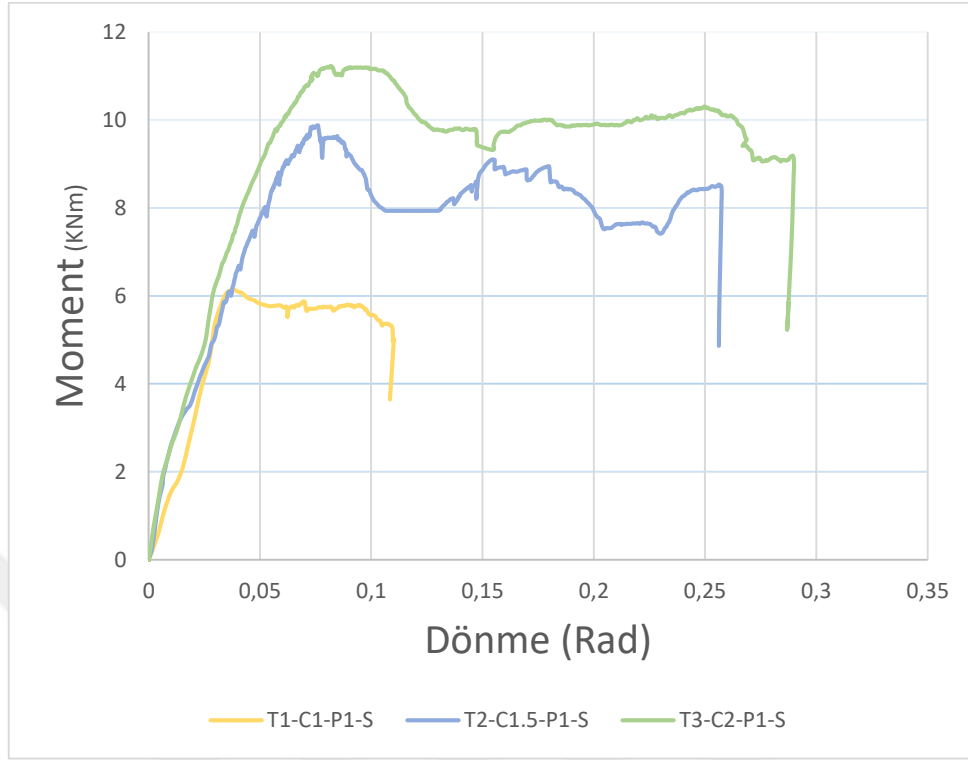
Şekil 4.8. T1-C1-P1-S Kirişin moment-dönme grafiği



Şekil 4.9. T2-C1.5-P1-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.10. T3-C2-P1-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.11. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S ve T3-C2-P1-S karşılaştırmalı moment-dönme eğrisi

Çizelge 4.5. T1-C1-P1-S, T2-C1.5-P1-S ve T3-C2-P1-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri

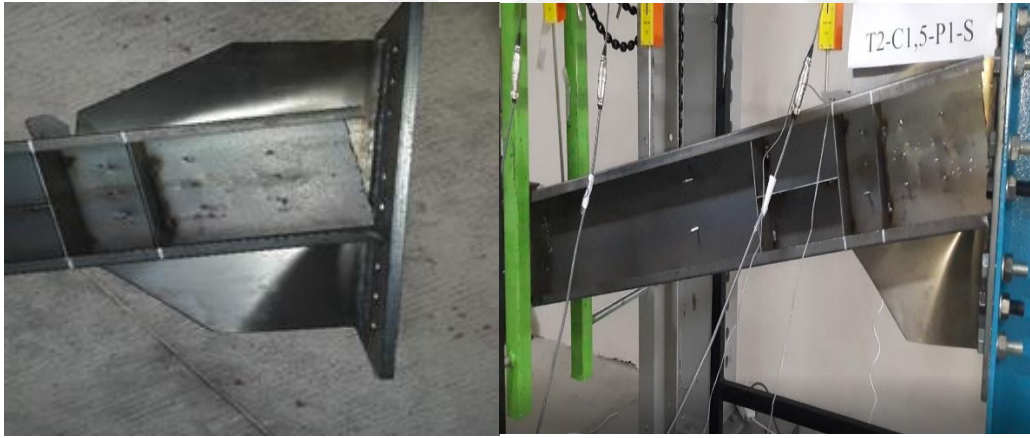
DENEYİN ADI	DAYANIM (KN m)				RİJİTLİK (KN m/Rad)			DÖNME (Rad)				
	KR (knee-range)	Mr.d	Mj. max	Möcd	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ÖMR.d	ÖMin .K .R.	ÖMsup.k.R	Ö-Mj. max	Öc.d
T1-C1-P1-S	1.54-6.006	5.81	6.13	3.64	1.81	0.31	5.84	0.031	0.1	0.034	0.038	0.11
T2-C1,5-P1-S	2.94-9.93	8.39	9.88	4.86	3.4	0.47	7.23	0.032	0.011	0.069	0.076	0.25
T3-C2-P1-S	2.99-10.83	10.1	11.18	5.22	4.32	0.25	17.28	0.039	0.013	0.072	0.091	0.29

Tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin göçme şekilleri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, bayrak levhasının ince olması ve berkitme kullanımı dolayısıyla kiriş gövdesinde herhangi bir göçme şekli meydana gelmemiştir. Fakat tüm deneylerde kirişin tümsel deformasyonundan dolayı kirişin alt başlığının ucunda levhada ezilmeler

meydana gelmiştir. Ayrıca T1-C1-P1-S numunesinde v şeklinde bir deformasyonla kirişin alt başlığında burulma başlangıçları da gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu numunelerde bayrak levhalarında buruşma meydana gelmiştir. Sonuç olarak bu deneylerde C profil kalınlığı arttıkça göçme şekli değişmemiştir.



Şekil 4.12. T1-C1-P1-S kirişinin göçme modu



Şekil 4.13. T2-C1.5-P1-S kirişinin göçme modu



Şekil 4.14. T3-C2-P1-S kirişinin göçme modu

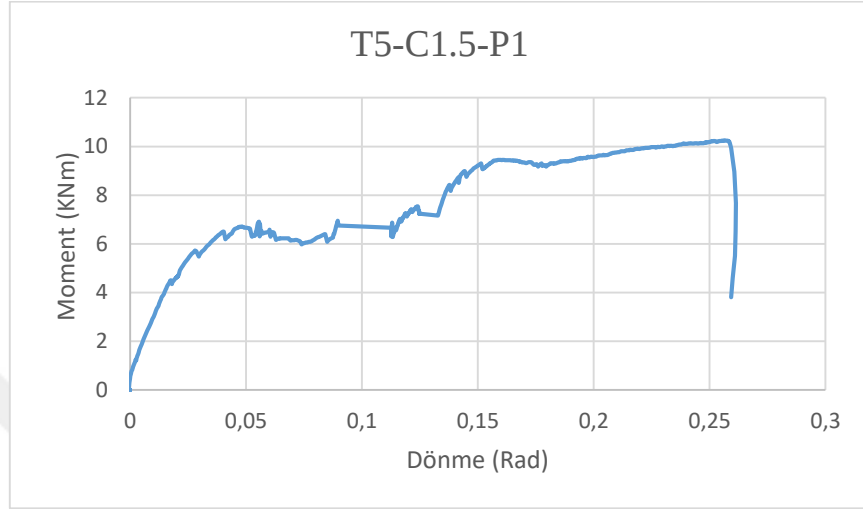
4.3.2. T4-C1-P1, T5-C1,5-P1 ve T6-C2-P1

T4-C1-P1 kiriş deneyinde tekil yükleme altında loadcell den kaynaklı bir sıkıntıdan dolayı veri alınamamıştır. Diğer tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin moment-dönme eğrileri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’de verilmiştir. Şekil 4.17’de ise moment dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.6.’da ise bu deneye ait moment-dönme eğrisi karakteristik değerleri verilmektedir. Moment-dönme eğrileri ve moment-dönme karakteristik değerleri incelendiğinde C profil cidar kalınlığı 2 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$), cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %21,77 oranında artış göstermiştir. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm den 2 mm’ye yükseldiğinde %17,57 artış göstermiştir. Kritik moment ($M_{\theta,Cd}$) ise cidar kalınlığı 1,5 mm’den 2 mm ye çıktığında yaklaşık %3,54 azalmıştır.

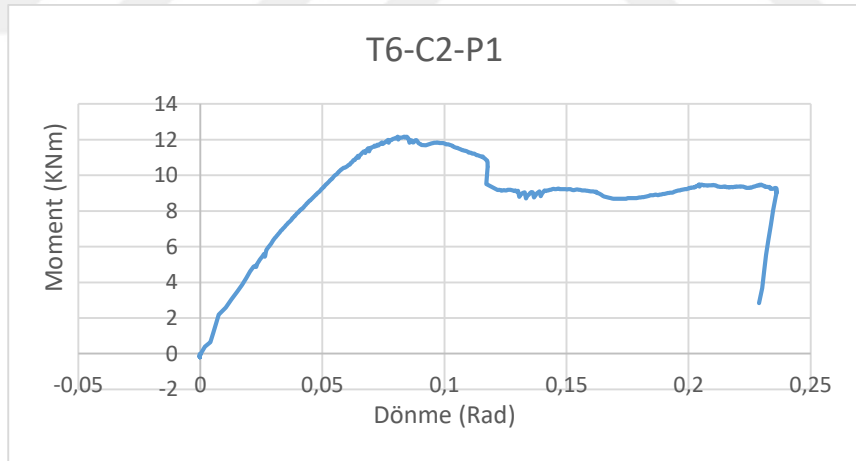
Rijitlik oranı incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 2 mm olan birleşimde, 1,5 mm olan birleşime göre %497,67 oranında azalış göstermiştir. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında rijitlik oranı azalmıştır.

Dönme değerleri incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 2 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$) na karşılık gelen dönme değeri (θ_{Mrd}), cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %18,42 oranında artış göstermiştir. Maksimum moment ($M_{j,max}$)

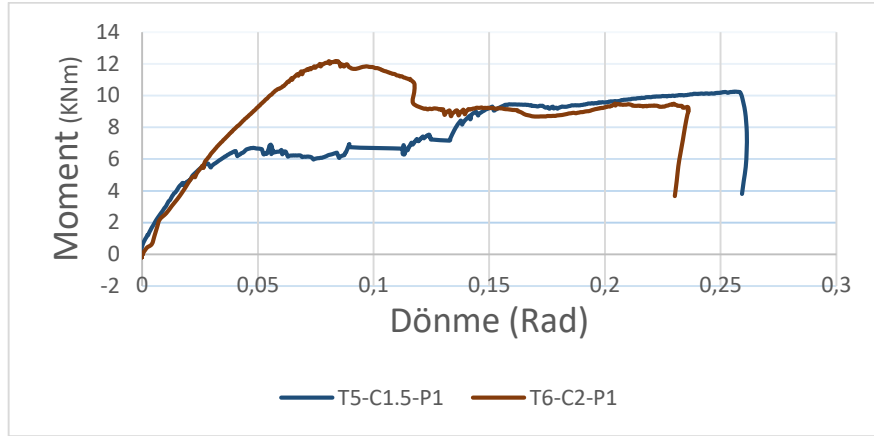
değerlerine kadar karşılık gelen dönme değeri ($\Theta_{j_{max}}$) C profil cidar kalınlığı 1,5 mm'den 2 mm'ye yükseldiğinde sırasıyla %69,41 artış göstermiştir. Dönme kapasitesi (Θ_{cd}) ise 1,5 mm den 2 mm ye çıktığında yaklaşık %13,04 azalmıştır.



Şekil 4.15. T5-C1.5-P1 kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.16. T6-C2-P1 kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.17.T5-C1.5-P1 ve T6-C2-P1 karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi

Çizelge 4.6. T5-C1.5-P1 ve T6-C2-P1 deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri

DENEYİN ADI	DAYANIM (KN m)				RİJİTLİK (KNm/Rad)			DÖNME (Rad)				
	KR (knee-range)	Mr.d	Mj. max	Mocd	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ΘMR.d	ΘMin .K .R.	ΘMsup. k.R	Θ-Mj. max	Θc.d
T5-C1,5-P1	2.44-9.86	8.3	9.94	3.8	4.5	0.103	43.69	0.031	0.007	0.072	0.026	0.26
T6-C2-P1	3.04-11.50	10.6	12.06	3.67	2.63	0.36	7.31	0.038	0.013	0.07	0.085	0.23

Tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin göçme şekilleri Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, bayrak levhasının ince olması dolayısıyla kiriş gövdesinde herhangi bir göçme şekli meydana gelmemiştir. Fakat tüm deneylerde kirişin tümsel deformasyonundan dolayı kirişin alt başlığının ucunda levhada ezilmeler meydana gelmiştir.



Şekil 4.18. T5-C1.5-P1 kirişinin göçme modları



Şekil 4.19. T6-C2-P1 kirişinin göçme modları



Şekil 4.20. T6-C2-P1 kirişinin göçme modları

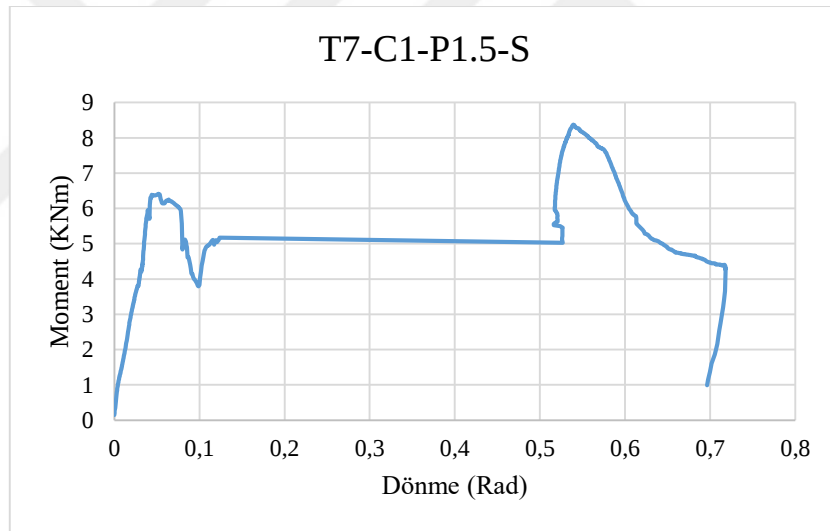
4.3.3. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S

Bu çalışma kapsamında verilen ve tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin moment-dönme eğrileri Şekil 4.21., Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmiştir. Şekil 4.24’de ise moment dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.7 ise bu deneye ait moment-dönme eğrisi karakteristik değerleri verilmektedir. Moment-dönme eğrileri ve moment-dönme karakteristik değerleri incelendiğinde C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %50,48 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %5,3 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %35,36 ve %6,55 artmıştır. Kritik moment ($M_{\theta,Cd}$) değerleri, C profil cidar kalınlığı 1mm’den 1.5 mm’ye ve 1,5 mm den 2 mm’ye yükseldiğinde sırasıyla %47,62 artış ve %4,16 azalış göstermiştir.

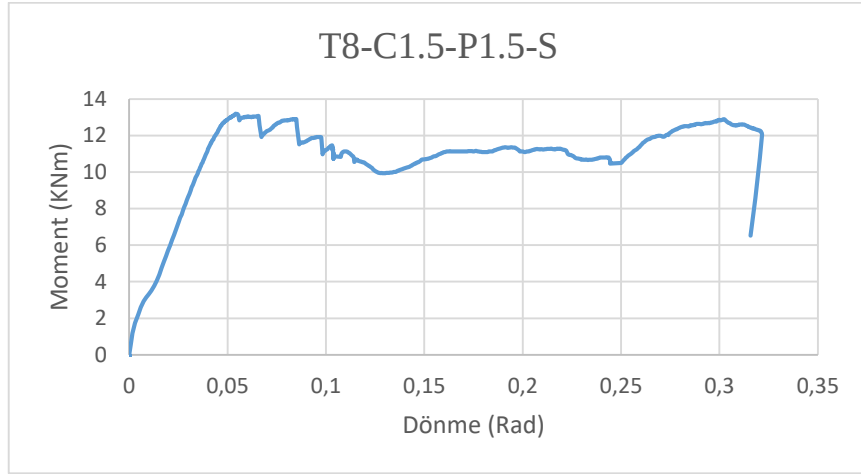
Rijitlik oranı incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde, 1 mm olan birleşime göre %29,88 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan

birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %16,68 olmuştur. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında rijitlik oranı artış göstermiştir.

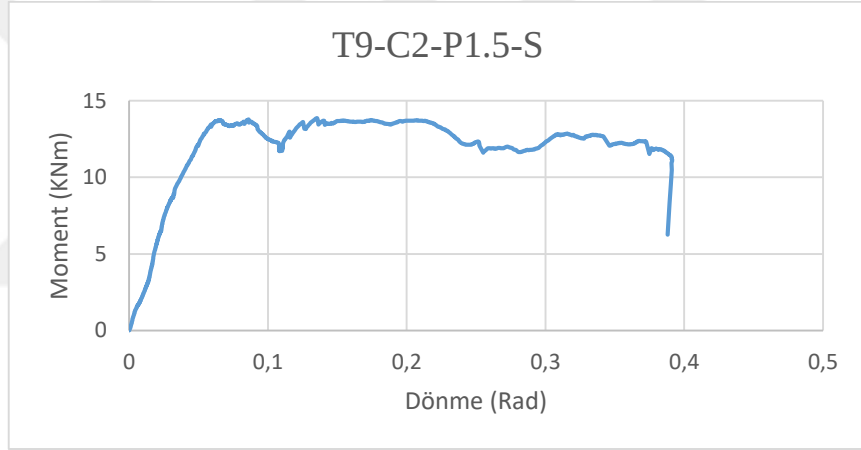
Dönme değerleri incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$) na karşılık gelen dönme değeri (Θ_{Mrd}), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %189,47 oranında azalış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %68 artış göstermiştir. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerlerine kadar karşılık gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$) C profil cidar kalınlığı 1 mm'den 1.5 mm'ye ve 1,5 mm den 2 mm'ye yükseldiğinde sırasıyla %74,19 ve %121,42 azalış göstermiştir. Dönme kapasitesi (Θ_{cd}) ise, C profil cidar kalınlığı 1mm'den 1.5 mm'ye ve 1,5 mm den 2 mm'ye yükseldiğinde sırasıyla %132,26 azalış ve %25,81 artış göstermiştir.



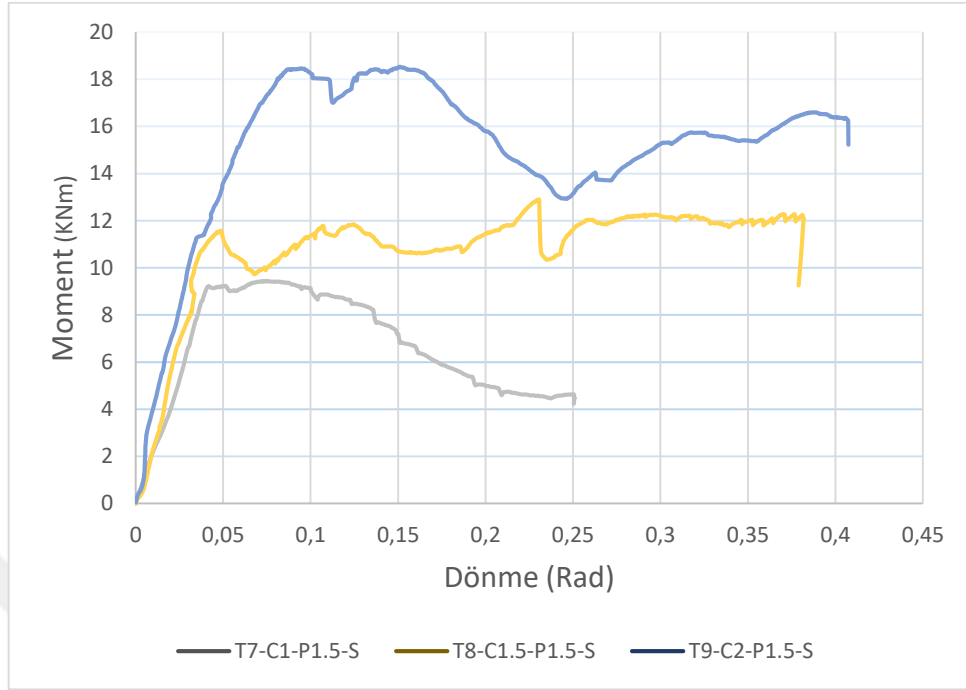
Şekil 4.21. T7-C1-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.22. T8-C1.5-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.23. T9-C2-P1.5-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.24. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S karşılaştırmalı moment-dönme eğrisi

Çizelge 4.7. T7-C1-P1.5-S, T8-C1.5-P1.5-S ve T9-C2-P1.5-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri

DENEYİN ADI	DAYANIM (KN m)				RİJİTLİK (KN m/Rad)			DÖNME (Rad)				
	KR (knee-range)	Mr.d	Mj. max	Mocd	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ÖMR.d	ÖMin .K .R.	ÖMsup .k.R	Ö-Mj. max	Öc.d
T7-C1-P1,5-S	6.21-8.30	6.21	8.3	3.41	6.45	0.18	35.83	0.055	0.055	0.54	0.54	0.72
T8-C1,5-P1,5-S	2.19-12.77	12.5	12.84	6.51	10.22	0.2	51.10	0.019	0.004	0.048	0.056	0.81
T9-C2-P1,5-S	9.26-13.60	13.2	13.74	6.25	3.68	0.06	61.33	0.05	0.033	0.049	0.14	0.39

Tekil yükleme altında gerçekleştirilen bayrak levhası kalınlığı 1,5 mm olan vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin göçme şekilleri Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, bayrak levhasının 1 mm olduğu T7 deneyi esnasında burulma engelleyici demirlerin kiriş kenarlarına yakınlştırılması ihmal edildiğinden ve kiriş kalınlığının bayrak levhası kalınlığından daha az olmasından dolayı kiriş uzunluğunca burulma meydana gelmiştir. Burulma Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da görüldüğü gibi, bayrak levhasının bittiği birleşime yakın mesafede kiriş

gövdesinde yatay berkitme bulunmayan 2 dikey berkitme arasından başlamıştır. T8 ve T9 deneylerinde ise moment-dönme eğrileri ve göçme şekilleri benzer davranış göstermiştir. Kiriş gövdesinde herhangi bir göçme şekli meydana gelmemiştir. Fakat tüm deneylerde kirişin tümsel deformasyonundan dolayı kirişin alt başlığının ucunda levhada ezilmeler meydana gelmiştir. Göçme ise vidaların kesme kuvveti dolasıyla kırılmalarından meydana geldiği gözlemlenmiştir. C profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır.



Şekil 4.25. T7-C1-P1.5-S kirişin göçme modları



Şekil 4.26. T7-C1-P1.5-S kirişin göçme modları



Şekil 4.27. T8-C1.5-P1.5-S kirişin göçme modları



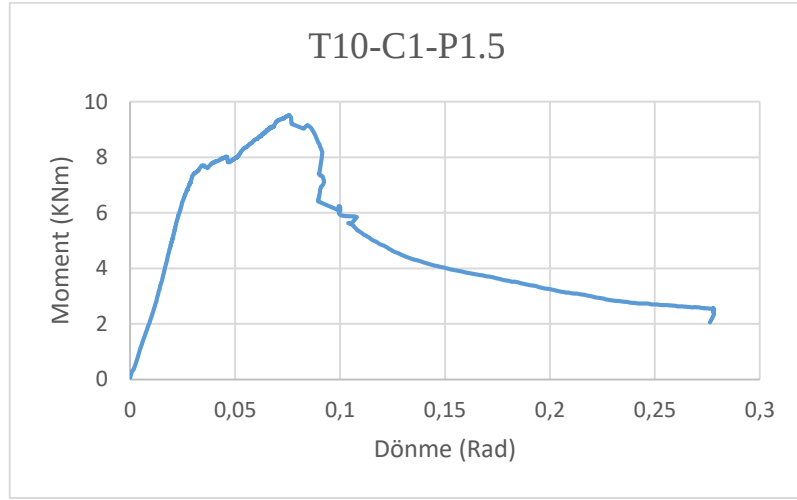
Şekil 4.28. T9-C2-P1.5-S kirişin göçme modları

4.3.4. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5

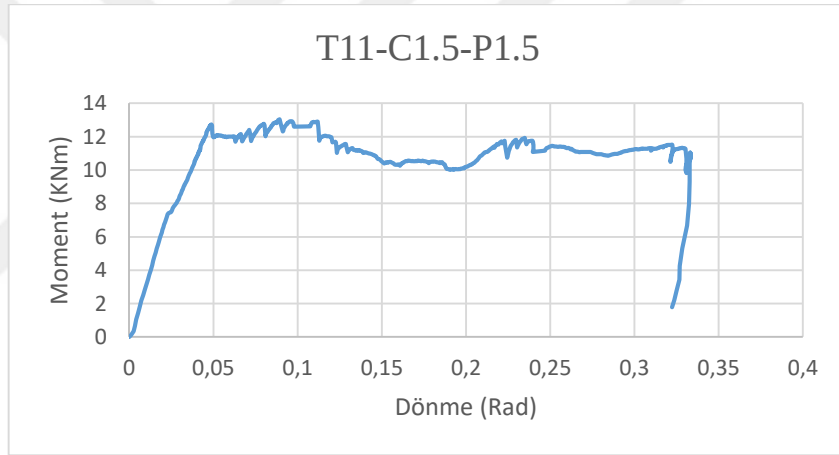
Bu çalışma kapsamında verilen ve tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin moment-dönme eğrileri Şekil 4.29., Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. Şekil 4.32’de ise moment dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.8 ise bu deneye ait moment-dönme eğrisi karakteristik değerleri verilmektedir. Moment-dönme eğrileri ve moment-dönme karakteristik değerleri incelendiğinde C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %35,29 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %5,85 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, C profil cidar kalınlığı 1mm’den 1.5 mm’ye ve 1,5 mm den 2 mm’ye yükseldiğinde sırasıyla %26,28 ve %4,58 artış göstermiştir. Kritik moment ($M_{\Theta,cd}$) ise 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %59,22-%49,08 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında moment dayanımı artış göstermiştir ve artış oranı en fazla maksimum moment de gözlenmiştir.

Rijitlik oranı incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde, 1 mm olan birleşime göre %76,15 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %2,13 azalış olmuştur.

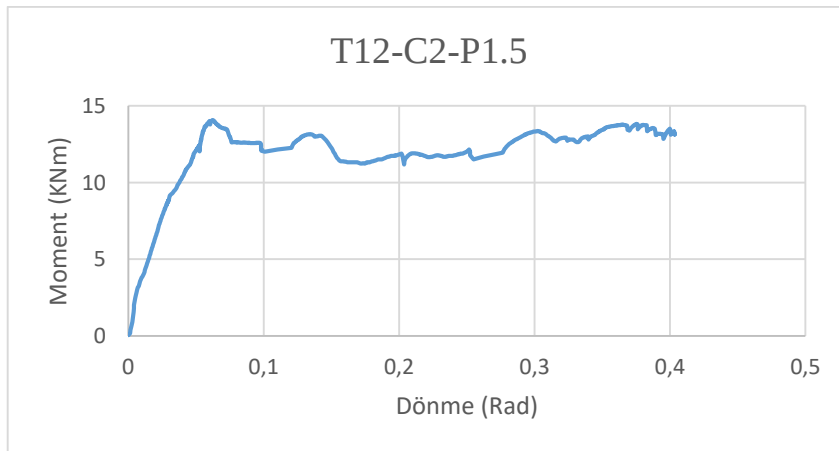
Dönme değerleri incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$) na karşılık gelen dönme değeri (Θ_{Mrd}), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %5,88 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %17,07 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerlerine kadar karşılık gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$) C profil cidar kalınlığı 1 mm’den 1.5 mm’ye ve 1,5 mm den 2 mm’ye yükseldiğinde sırasıyla %21,87 artış ve %71,43 azalış göstermiştir. Dönme kapasitesi (Θ_{cd}) ise 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %27,27-%17,5 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında dönme kapasitesi artış göstermiştir.



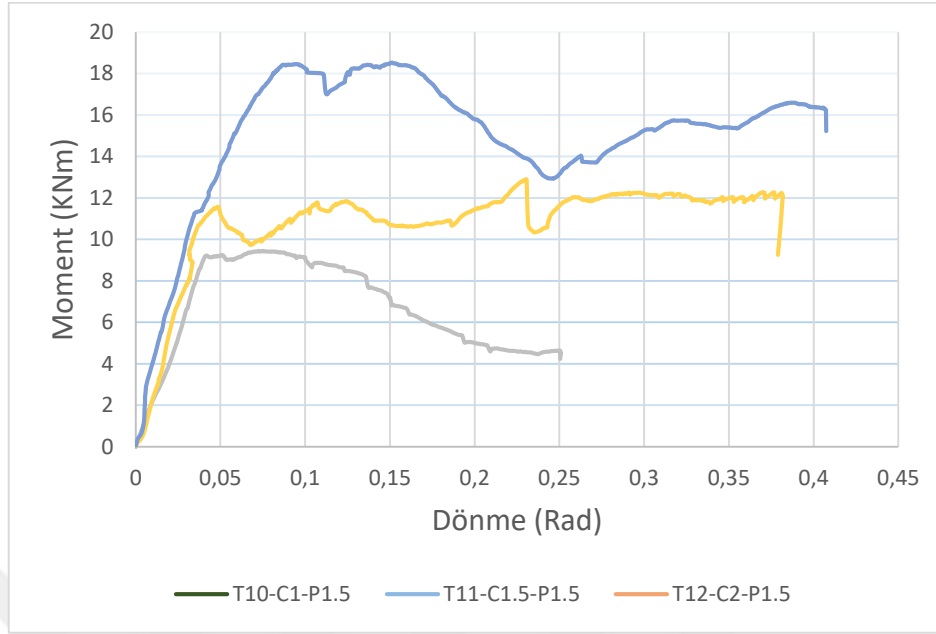
Şekil 4.29. T10-C1-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.30. T11-C1.5-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.31. T12-C2-P1.5 kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.32. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5 karşılaştırılmalı moment-dönme eğrisi

Çizelge 4.8. T10-C1-P1.5, T11-C1.5-P1.5 ve T12-C2-P1.5 deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri

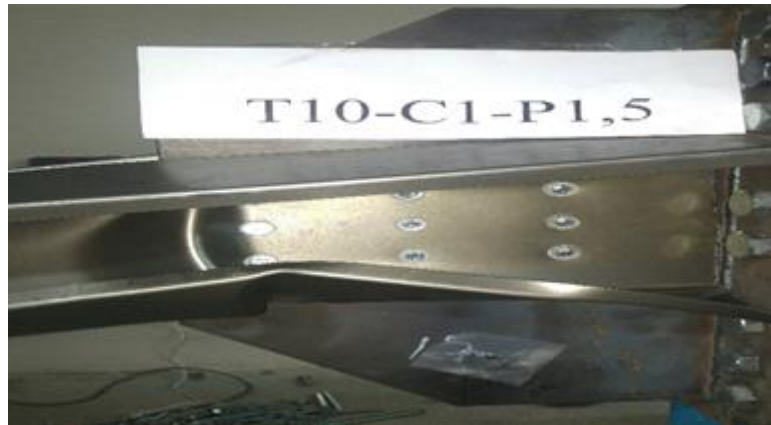
DENEYİN ADI	DAYANIM (KN m)				RİJİTLİK (KN m/Rad)			DÖNME (Rad)				
	KR (knee - range)	Mr. d	Mj. max	Möc d	Sj.i ni	Sj.p -I	Sj.ini/Sj.p -I	ÖMR. d	ÖMi n .K .R.	ÖMsup.k. R	Ö-Mj. max	Öc. d
T10-C1-P1,5	7.24-9.23	8.01	9.51	2.72	3.58	0.43	8.33	0.032	0.029	0.069	0.075	0.24
T11-C1,5-P1,5	7.41-12.73	12.4	12.9	6.67	4.89	0.14	34.93	0.034	0.023	0.09	0.096	0.33
T12-C2-P1,5	6.35-13.52	13.2	13.52	13.1	5.13	0.15	34.20	0.041	0.02	0.056	0.056	0.4

Moment-dönme eğrileri davranış olarak oldukça benzerlik göstermekte sadece C profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır. Şekiller incelendiğinde, bir önceki grupta olduğu gibi bu grupta da bayrak levhasının 1,5 mm olduğu T10 deneyi esnasında kiriş kalınlığının bayrak levhası kalınlığından daha az olmasından dolayı kiriş uzunluğunca burulma hareketi yapmaya çalışmıştır fakat burulma engelleyici profiller yüzünden yapamamıştır. Şekil 4.33 de görüldüğü gibi, bayrak levhasının bittiği birleşime yakın mesafede kiriş gövdesinde kiriş gövdesinde yerel burkulma olmuştur.

T11 ve T12 deneylerinde ise göçme şekilleri benzer davranış göstermiştir. Kiriş gövdesinde herhangi bir göçme şekli meydana gelmemiştir. Fakat tüm deneylerde kirişin tümsel deformasyonundan dolayı kirişin alt başlığının ucunda levhada ezilmeler meydana gelmiştir. Göçme ise vidaların kesme kuvveti dolasıyla kırılmalarından meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kirişin cidar kalınlığı bayrak plakası kalınlığına kıyasla eşit veya daha kalın olduğundan dolayı bayrak levhasının kiriş altında kalan bölgesinde deformasyonlar (buruşma) görülmektedir.



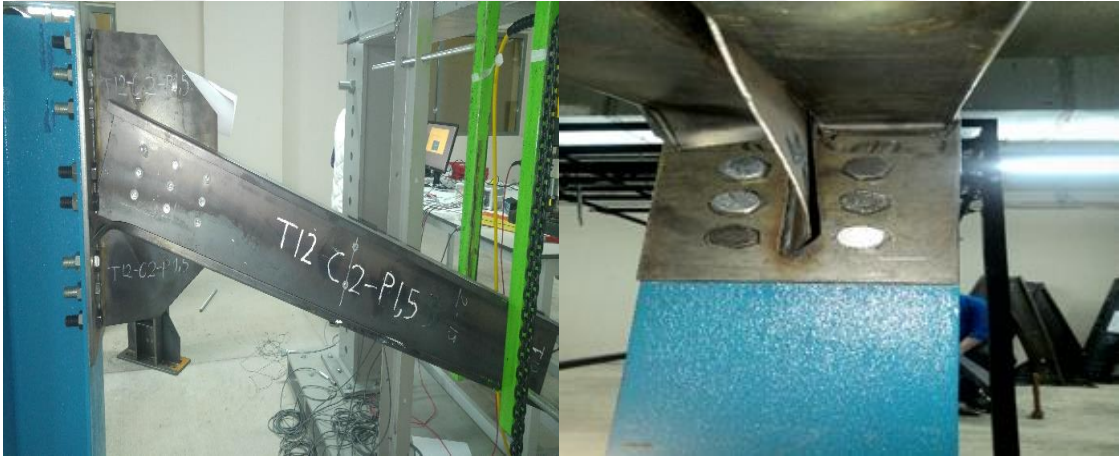
Şekil 4.33. T10-C1-P1.5 kirişinin göçme modu



Şekil 4.34. T10-C1-P1.5 kirişinin göçme modu



Şekil 4.35. T11-C1.5-P1.5 kirişinin göçme modu



Şekil 4.36. T12-C2-P1.5 kirişin göçme modları

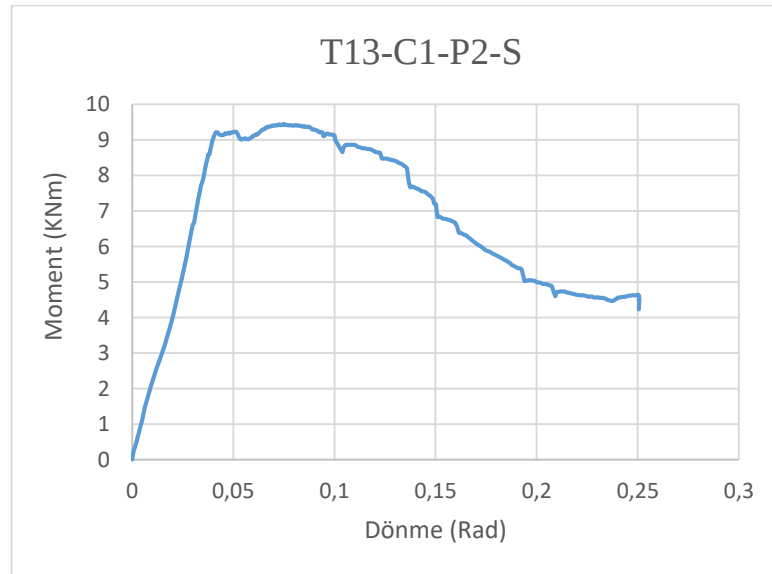
4.3.5. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S

Bu çalışma kapsamında verilen ve tekil yükleme altında gerçekleştirilen vidalı kiriş-kolon birleşim deneylerinin moment-dönme eğrileri Şekil 4.37., Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'de verilmiştir. Şekil 4.40'da ise moment dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.9'da ise bu deneye ait moment-dönme eğrisi karakteristik değerleri verilmektedir. Moment-dönme eğrileri ve moment-dönme karakteristik değerleri incelendiğinde C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %17,26 oranında artış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde bu artış cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %36,67 olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, C profil

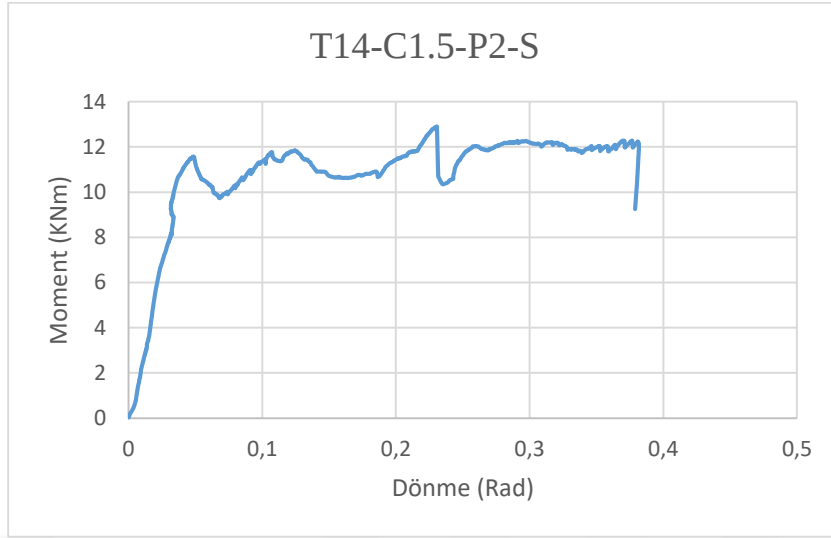
cidar kalınlığı 1mm'den 1.5 mm'ye ve 1,5 mm den 2 mm'ye yükseldiğinde sırasıyla %26,31 ve %30,75 artış göstermiştir. Kritik moment ($M_{\Theta,cd}$) ise 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %54,27-%29,92 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında moment dayanımı artış göstermiştir ve artış oranı en fazla maksimum moment de gözlenmiştir.

Rijitlik oranı incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde, 1 mm olan birleşime göre %3,01 oranında azalış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %2,30 artış olmuştur.

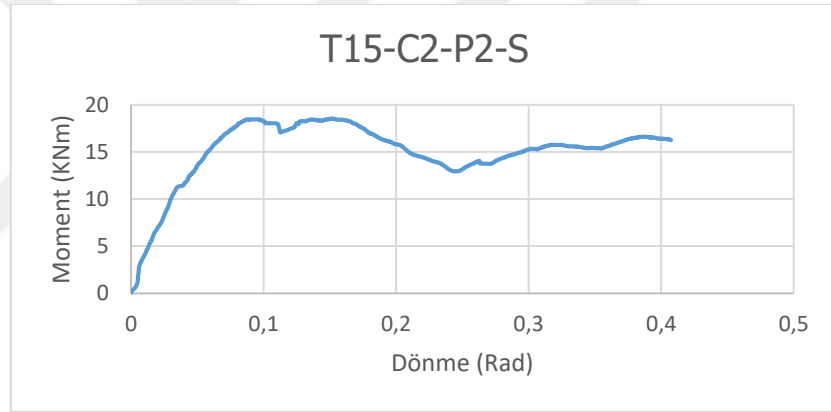
Dönme değerleri incelendiğinde, C profil cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşimde moment dayanımı ($M_{j,Rd}$) na karşılık gelen dönme değeri (Θ_{Mrd}), cidar kalınlığı 1 mm olan birleşime göre %48,84 oranında azalış gösterirken; 2 mm cidar kullanılan birleşimlerde cidar kalınlığı 1,5 mm olan birleşime göre %18,87 artış olmuştur. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerlerine kadar karşılık gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$) C profil cidar kalınlığı 1 mm'den 1.5 mm'ye ve 1,5 mm den 2 mm'ye yükseldiğinde sırasıyla %67,27 artış ve %46,66 azalış göstermiştir. Dönme kapasitesi (Θ_{cd}) ise 1 mm den, 1,5 mm ve 2 mm ye çıktığında yaklaşık %32,43-%13,79 artmıştır. Sonuç olarak C profil cidar kalınlığı arttığında dönme kapasitesi artış göstermiştir.



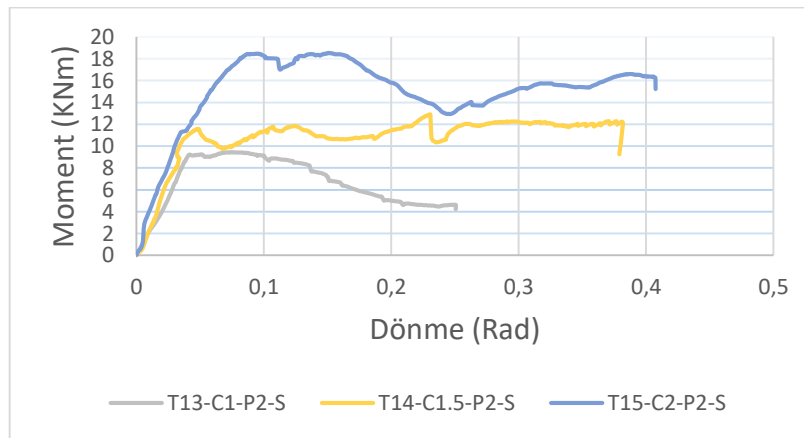
Şekil 4.37. T13-C1-P2-S kirişinin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.38. T14-C1.5-P2-S kirişin moment-dönme eğrisi



Şekil 4.39. T15-C2-P2-S kirişinin moment-dönme eğrileri



Şekil 4.40. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S karşılaştırmalı moment-dönme eğrisi

Çizelge 4.9. T13-C1-P2-S, T14-C1.5-P2-S ve T15-C2-P2-S deneylerinin moment-dönme karakteristik değerleri

DENEYİN ADI	DAYANIM (KN m)				RİJİTLİK (KN m/Rad)			DÖNME (Rad)				
	KR (knee-range)	Mr.d	Mj. max	Mocd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ØMR.d	ØMin. K.R.	ØMsup .k.R	Ø-Mj. max	Øc.d
T13-C1-P2-S	9.03-9.30	9.3	9.41	4.23	3.76	0.1	37.60	0.064	0.04	0.064	0.072	0.25
T14-C1.5-P2-S	10.73-12.57	11.2	12.77	9.25	4.38	0.12	36.50	0.043	0.04	0.22	0.22	0.37
T15-C2-P2-S	11.03-18.04	17.8	18.44	13.2	4.52	0.121	37.36	0.053	0.033	0.082	0.15	0.42

Moment-dönme eğrileri davranış olarak oldukça benzerlik göstermekte sadece C profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır. Şekiller incelendiğinde, bir önceki grupta olduğu gibi bu grupta da bayrak levhasının 1,5 mm olduğu T13 deneyi esnasında kiriş kalınlığının bayrak levhası kalınlığından daha az olmasından dolayı bayrak levhasının bittiği birleşime yakın mesafede kiriş gövdesinde göçme meydana gelmiştir. T14 ve T15 deneylerinde ise göçme şekilleri benzer davranış göstermiştir. Kiriş gövdesinde herhangi bir göçme şekli meydana gelmemiştir. Fakat tüm deneylerde kirişin tümsel deformasyonundan dolayı kirişin alt başlığının ucunda levhada ezilmeler meydana gelmiştir. Göçme ise vidaların kesme kuvveti dolayısıyla kırılmalarından meydana geldiği gözlemlenmiştir. T15 deneyinde hem C profil kalınlığı hem de bayrak levhası kalınlığı 2 mm olduğundan birleşim oldukça falza dayanım göstermiştir ve göçme sonunda Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de görüldüğü gibi bayrak levhası buruşmaya başlamış fakat birleşim noktasından yırtılarak deforme olmuştur.



Şekil 4.41. T13-C1-P2-S kirişinin göçme modu



Şekil 4.42. T14-C1.5-P2-S kirişin göçme modları



Şekil 4.43. T15-C2-P2-S kirişinin göçme modları

4.3.6. Berkitme kullanımının moment-dönmeye değerlerine etkisi

Aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve aynı bayrak levhası kalınlığına sahip berkitme kullanılan ve kullanılmayan T2 ve T5 deneyleri ile T3 ve T6 deneyleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Maksimum moment değeri kirişte berkitme kullanıldığında sırasıyla %0,61 ve %7,87 azalmıştır. maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), %65,79 ve %6,59 artmıştır. Ayrıca rijitlik oranı %504,87 azalmış ve %57,69 artmıştır.

Aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve aynı bayrak levhası kalınlığına sahip berkitme kullanılan ve kullanılmayan T7 ve T10 deneyleri ile; T8 ve T11 deneyleri ile; T9 ve T12 deneyleri ile birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Maksimum moment değeri kirişte berkitme kullanıldığında sırasıyla %14,56, %0,46 azalış ve %1,16 artış görülmüştür. Maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılık gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), %86,11, %69,03 ve %60 artmıştır. Ayrıca rijitlik oranı %76,75, %31,64 %44,24 artmıştır.

Sonuç olarak berkitmesiz birleşimler ile berkitmeli birlikte karşılaştırıldığında, moment oranlarında kayda değer bir farklılık görülmezken; berkitme kullanımı ile rijitlik ve dönme kapasiteleri artmıştır.

Ayrıca göçme şekilleri incelendiğinde, aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve aynı bayrak levhası kalınlığına sahip berkitme kullanılan ve kullanılmayan tüm deneylerde aynı göçme şekilleri görülmüştür. Bu demektir ki seçilen kalınlıklar için berkitme kullanımı göçme şeklini etkilememiştir. Sadece T8 ve T11 deneyleri ile, T9-T12 deneylerinde berkitme kullandığında vida zorlanırken, kullanılmadığı durumlarda bayrak levhası zorlanmıştır (buruşmuştur).

4.3.7. Bayrak levhası kullanımının moment-dönme değerine etkisi

Aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve berkitmeli T1, T7 ve T13 deneyleri ile T2, T8 ve T14 deneyleri ile; T3, T9 ve T15 deneyleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. T1, T7 ve T13 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %34,86 ve %11,79 artmıştır. T2, T8 ve T14 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %22,63 artmış ve %0,54 azalmıştır. T3, T9 ve T15 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %39,37 ve %25,49 artmıştır.

T1, T7 ve T13 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %47,22 artış ve %650 azalmıştır. T2, T8 ve T14 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %65,45 artmış ve ve %40,90 azalmıştır. T3, T9 ve T15 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %39,33 ve %6,66 artmıştır.

T1, T7 ve T13 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde rijitlik oranı, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %84,46 ve %4,71 artmıştır. T2, T8 ve T14 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde rijitlik oranı, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %80,19 artış ve %40 azalma görülmüştür. T3, T9 ve T15 deneyleri incelendiğinde, bayrak levhası kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan birleşimlerde rijitlik oranı, bayrak levhası kalınlığı 2 mm olan birleşimlere göre sırasıyla %53,74 artış ve %64,16 azalış görülmüştür.

Aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve berkitmesiz T5 ve T11 deneyleri ile T6 ve T12 deneyleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. T5 ve T11 deneyleri incelendiğinde, maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, bayrak levhası kalınlığı 1 mm den 1,5 mm'ye çıktığında %22,94 artmıştır. T6 ve T12 deneyleri incelendiğinde, maksimum moment ($M_{j,max}$) değerleri, bayrak levhası kalınlığı 1 mm den 1,5 mm'ye çıktığında %10,80 artmıştır. T5 ve T11 deneyleri incelendiğinde, maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), bayrak levhası kalınlığı 1 mm den 1,5 mm'ye çıktığında %72,92 artmıştır. T6 ve T12 deneyleri incelendiğinde, maksimum moment ($M_{j,max}$) değerine karşılın gelen dönme değeri ($\Theta_{j,max}$), bayrak levhası kalınlığı 1 mm den 1,5 mm'ye çıktığında %51,78 azalmıştır. Rijitlik oranı ise, bayrak levhası kalınlığı 1 mm den 1,5 mm'ye çıktığında T5 ve T11 deneyleri için %25,08 azalırken, T6 ve T12 deneyleri için %78,62 artış göstermiştir.

Sonuç olarak bayrak levhası kalınlığı arttıkça moment dayanımı, rijitlik ve dönme kapasitesi artış göstermiştir.

Ayrıca göçme şekilleri incelendiğinde, aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve berkitme kullanılan tüm deneylerde; bayrak plakası 1 mm kalınlığında olan T1, T2, T3 deneylerinde bayrak plakasında gerçekleşen buruşma sebebiyle göçme olmuştur. Bazar plakaka kalınlığı 1,5 mm ve 2 mm olan berkitmeli birleşimlerde; kiriş C profil cidar kalınlığı ince olan (1 mm)lar kirişin gövdesinde meydana gelen burulmadan göçerken, kiriş C profil cidar kalınlığı daha kalın olan (1,5 mm ve 2 mm)lar vidaların kesmeye upramasından göçmüştür. Ayrıca T15 deneyinde bayrak plakasında birleşim noktasında yırtılma meydana gelmiştir. Sonuç olarak, bayrak plakasının kalınlığı arttıkça deneylerde göçme şekilleri değişmiştir.

5. TARTIŞMA

Hafif çelik yapılarda kiriş-kolon birleşiminde yaygın olarak bulon kullanılıyor. Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde birleşimin dayanım kapasitesi kirişin dayanım kapasitesinden yüksek olduğu için göçme modları kirişte oluşmaktadır. Bu çalışmada ise kiriş cıdar kalınlıkları düşürülerek berkitmeli ve berkitmesiz olarak birleşim malzemesi olarak 12 mm akıllı vidalar tercih edilerek birleşim modellenmiştir. Göçme modları incelendiğinde kiriş cıdar kalınlıkları 2 mm olan kirişlerin bayrak levhası 1 mm olan kirişlerde bayrak levhasının ince olmasından dolayı bayrak levhasında buruşma gözlemlenmektedir. Kiriş kalınlığı ve bayrak levhasının 2 mm olduğu kirişlerde bayrak levhası ve kirişin dayanım kapasiteleri yüksek olduğundan dolayı göçme modları vidalarda olduğu için bir sonraki deneysel çalışmada vida çapları artırılabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşiminin davranışını belirlemek için mevcut yükler altında 3 farklı kalınlıkta çift C profil kiriş ve 3 farklı kalınlıkta bayrak levhası kullanılarak berkitmeli ve berkitmesiz olarak 14 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'den 2 mm'ye kadar kalınlaştığı 5 grupta incelenmiştir. Ayrıca bu gruplar berkitme kullanılan ve kullanılmayan durumlar ve bayrak levhasının 1 mm'den 2 mm'ye kadar olan kalınlaştığı durumlar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. C profil cidar kalınlığı arttığında genel olarak moment dayanımı, rijitlik oranı ve dönme kapasitesi artmaktadır. Moment-dönme eğrileri davranış olarak oldukça benzerlik göstermekte; C profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır. Ayrıca, bu deneylerde C profil kalınlığı arttıkça göçme şeklinin değişmediği gözlemlenmiştir.

Berkitmesiz birleşimler ile berkitmeli birleşimler karşılaştırıldığında, moment değerlerinde kayda değer bir farklılık görülmezken; berkitme kullanımı ile rijitlik ve dönme kapasiteleri artmıştır. Ayrıca göçme şekilleri incelendiğinde, aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve aynı bayrak levhası kalınlığına sahip berkitme kullanılan ve kullanılmayan tüm deneylerde aynı göçme şekilleri görülmüştür. Bu demektir ki seçilen kalınlar için berkitme kullanımı göçme şeklini etkilememiştir.

Bayrak levhası kalınlığı arttıkça moment dayanımı, rijitlik ve dönme kapasitesi artış göstermiştir. Ayrıca göçme şekilleri incelendiğinde, aynı C profil cidar kalınlığına sahip ve berkitme kullanılan tüm deneylerde; bayrak plakası daha ince iken bayrak plakasında gerçekleşen buruşma sebebiyle göçme olmuştur. Bayrak plakaka kalınlaştıkça göçme sebebi C profil kalınlığına bağlı olarak kirişin gövdesinde meydana gelen burulmadan veya vidaların kesmeye upramasından olmaktadır. Sonuç olarak, bayrak plakasının kalınlığı arttıkça deneylerde göçme şekilleri değişmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Jaber, M., Beale, R. G., and Godley, M.H. R., “A theoretical and experimental investigation of pallet rack structures under sway,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 62, no. 1-2, pp. 68–80, 2006.
- Ahamed, Hazlan & Mahendran, Mahen (2010) Bolted beam-column moment connections between cold-formed steel members. In 21st Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM 21), Victoria University, Melbourne.
- Akbaş, T.T., 2005. Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Yapı Davranışına Olan Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ali, B. A., Saad, S., and Osman, M. H., “Cold-formed steel frame with bolted moment connections,” *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 534–544, 2010.
- Atasaral H., 2009, Soğuk Şekillendirilmiş Çok Parçalı Hafif Çelik Kolonların Merkezi Yükleme Altında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Aydın AC, Kilic M, Maali M, Sagiroglu M (2015b) Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles and stiffeners. *J. Constructional Steel Research* 114: 338-348.
- Bajoria, K. M. and Talikoti, R. S., “Determination of flexibility of beam-to-column connectors used in thin walled cold-formed steel pallet racking systems,” *Thin-Walled Structures*, vol. 44, no. 3, pp. 372–380, 2006.
- Bajoria, K. M., Sangle, K. K., and Talicotti, R. S., “Modal analysis of cold-formed pallet rack structures with semi-rigid connections,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 3, pp. 428–441, 2010.
- Baldassino, N. and Bernuzzi, C., “Analysis and behaviour of steel storage pallet racks,” *Thin-Walled Structures*, vol. 37, no. 4, pp. 277–304, 2000.

- Bayan, A, Sariffuddin S., Hanim O, (2011) Cold formed steel joints and structures, ISSN 0976 – 4399
- Bernuzzi, C. and Castiglioni, C. A., “Experimental analysis on the cyclic behaviour of beam-to-column joints in steel storage pallet racks,” *Thin-Walled Structures*, vol. 39, no. 10, pp. 841–859, 2001.
- Bose B, Youngson G K, and Wang Z M,. 1996.”An appraisal of the design rules in Eurocode 3 for bolted end plate joints by comparison with experimental results”, Proceedings from the Institute of Civil Engineers Structures and Buildings.
- Chen, W.F. and Kishi N., 1989. Semirigid Steel Beam-to-Column Connections: Data Base and Modelling. *Journal of Structural Engineering*, ST1(115), 105-119.
- Chen, W.F. and Lui E.M., 1991. *Stability Design of Steel Frames*. CRC Press, 380s, Londra.
- Chen, W.F.,ed., 1993. *Semi-Rigid Connections in Steel Frames*, New York: Council of Tall Buildings and Urban Habitat and McGraw-Hill.
- Coelho, a.m.g.,bijlaard, f.s.k.,2007. Experimental behavior of high-strength steel end-plate connections. *journal of constructional stel research*, 63(9), 1228-40
- Coşkun, M.T., 2003, “Çelik yapılarda yarı-rijit birleşim tiplerinin çerçeve boyutlandırmasına etkileri”, Y.Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- D. Dubina and R. Zaharia, “The influence of node semi-rigidity of the thin-walled steel trusses bolted joints,” in *Proceedings of the International Conference on Advances in Steel Structures*, Hong Kong, China, 1996.
- D. Dubina and V. Ungureanu, “Behaviour of multi-span coldformedZ- purlins with bolted lapped connections,” *Thin-Walled Structures*, vol. 48, no. 10-11, pp. 866–871, 2010.
- Daudet, L. R. and LaBoube, R. A., “Shear behavior of self drilling screws used in low ductility steel,” in *Proceedings of the 13th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, pp. 595–613, University of Missouri-Rolla, St. Louis, Mo, USA, October 1996.

- Deren, H., Uzdiger, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö., Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, 2005.
- Dizdar C., 2017, Hafif Çelik Döşeme Makas Kirişlerinin Düşey Yük Altındaki Davranışlarının Deneysel Ve Analitik Olarak İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Dubina, D., Ungureanu, V. ve Landolfo, R., Design of Cold-formed Steel Structures: Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-3 - Design of Cold-formed Steel Structures, First Edition, 2013.
- Dundu, M. and Kemp, A. R., “Plastic and lateral-torsional buckling behavior of single cold-formed channels connected back-to-back,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 132, no. 8, pp. 1223–1233, 2006.
- Dundu, M. ve Kemp, A. Strength requirements of single cold-formed channels connected back-to-back, *Journal of Constructional Steel Research* 62 (2006) 250–261.
- Ekinci, Savaş, “Hafif çelik yapı sistemleri. Taşıyıcı sistem, yapı fiziği etkileri ve mimari tasarım ilkeleri açısından analizi”, yüksek lisans, 2006
- Emad, M. Hassan, Mohammed H. Serror, Sherif A. Mourad, Numerical prediction of available rotation capacity of cold-formed steel beams, *Journal of Constructional Steel Research* 128 (2017) 84–98
- Feng, R. and B. Young, “Experimental investigation of coldformed stainless steel tubular T-joints,” *Thin-Walled Structures*, vol. 46, no. 10, pp. 1129–1142, 2008.
- Feng, R. and Young, B., “Tests and behaviour of cold-formed stainless steel tubular X-joints,” *Thin-Walled Structures*, vol. 48, no. 12, pp. 921–934, 2010.
- Gaylord, E.H., Gaylord C.N. and Stallmeyer J.E., 1992. Design of Steel Structures. Mc.Graw Hill Book Company, New York.
- Gilbert, B. P. and Rasmussen, K. J. R., “Bolted moment connections in drive-in and drive-through steel storage racks,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 6, pp. 755–766, 2010.

- Güneş A. S., 2016, Hafif Çelik Yapıların Farklı Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Mevcut Kontrol Şartları Ve Oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Hassan, E. M., Serror, M. H., Mourad, S. A., Numerical prediction of available rotation capacity of cold-formed steel beams, *J. Constr. Steel Res.* 128 (2017) 84–98
- Ho, H. C. and Chung, K. F., “Structural behavior of lapped coldformed steel Z sections with generic bolted configurations,” *Thin-Walled Structures*, vol. 44, no. 4, pp. 466–480, 2006.
- Ho, H. C. and Chung, K. F., “Experimental investigation into the structural behaviour of lapped connections between coldformed steel Z sections,” *Thin-Walled Structures*, vol. 42, no. 7, pp. 1013–1033, 2004.
- Jaspart, J. P., “General report: session on connections,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 55, no. 1–3, pp. 69–89, 2000.
- Kim, T. S., Kuwamura, H., and Cho, T. J., “A parametric study on ultimate strength of single shear bolted connections with curling,” *Thin-Walled Structures*, vol. 46, no. 1, pp. 38–53, 2008.
- Kim, T. S., Kuwamura, H., Kim, S. H., Lee, Y. T., and Cho, T. J., “Investigation on ultimate strength of thin-walled steel single shear bolted connections with two bolts using finite element analysis,” *Thin-Walled Structures*, vol. 47, no. 11, pp. 1191–1202, 2009.
- Kimand, T. S., Kuwamura, H., “Finite element modeling of bolted connections in thin-walled stainless steel plates under static shear,” *Thin-Walled Structures*, vol. 45, no. 4, pp. 407–421, 2007.
- Kwon, Y. B., Chung, H. S., and Kim, G. D., “Experiments of cold-formed steel connections and portal frames,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 132, no. 4, pp. 600–607, 2006.
- Landolfo, R., Mammana, O., Portioli, F., Lorenzo, G. Di, and Guerrieri, M. R., “Experimental investigation on laser welded connections for built-up cold-formed

- steel beams,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 65, no. 1, pp. 196–208, 2009.
- Lim, J. B. P. and Nethercot, D. A., “Finite element idealization of a cold-formed steel portal frame,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 1, pp. 78–94, 2004.
- Lim, J. B. P. and Nethercot, D. A., “Stiffness prediction for bolted moment-connections between cold-formed steel members,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 60, no. 1, pp. 85–107, 2004.
- Lim, J. B. P. and Nethercot, D. A., “Ultimate strength of bolted moment-connections between cold-formed steel members,” *Thin-Walled Structures*, vol. 41, no. 11, pp. 1019–1039, 2003.
- Lim, J. ve Nethercot, D., Finite Element Idealization of a Cold-Formed Steel Portal Frame, *Journal Of Structural Engineering* 130 (2004) 78-94.
- Lorenzo, G. D., Portioli, F., and Landolfo, R., “Experimental and numerical study of innovative connecting systems for coldformed members,” in *Proceedings of the 19th CTA Conference*, Genova, Italy, 2003.
- Lu, W., P. Mäkeläinen, J. Outinen, and Z. Ma, “Design of screwed steel sheeting connection at ambient and elevated temperatures,” *Thin-Walled Structures*, vol. 49, no. 12, pp. 1526–1533, 2011.
- Maali M., Sagioglu Mand Solak M.M., Experimental Behavior of Screwed Beam-to-Column Connections in Cold-formed Steel Frames, Conference paper, 2017
- Maali, Mahyar, [2] Merve Sağiroğlu, [3] Mahmut Kılıç, [4] Abdulkadir Cüneyt Aydın, Investigation of moment resistance characteristic of bolted semi-rigid connections: An experimental study, *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering*, 2017.
- Mashiri, F. R. and Zhao, X. L., “Fatigue tests and design of thin CHS-plate T-joints under cyclic in-plane bending,” *Thin-Walled Structures*, vol. 45, no. 4, pp. 463–472, 2007.

- Mashiri, F. R., Zhao, X. L., and Grundy, P., “Fatigue tests and design of welded T connections in thin cold-formed square hollow sections under in-plane bending,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 128, no. 11, pp. 1413–1422, 2002.
- Mashiri, F. R., Zhao, X. L., and Grundy, P., “Fatigue tests and design of thin cold-formed square hollow section-to-plate T connections under cyclic in-plane bending,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 128, no. 1, pp. 22–31, 2002.
- Mashiri, F. R., Zhao, X. L., Grundy, P., and Tong, L., “Fatigue design of welded very thin-walled SHS-to-plate joints under inplane bending,” *Thin-Walled Structures*, vol. 40, no. 2, pp. 125–151, 2002.
- Merwe, P. van der, *Development of design criteria for ferritic stainless steel cold-formed structural members and connections [Ph.D. thesis]*, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo, USA, 1987.
- Mills, J. and LaBoube, R., “Self-drilling screw joints for coldformed channel portal frames,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 11, pp. 1799–1806, 2004.
- Mills, J. E., “Knee joints in cold-formed channel portal frames,” in *Proceedings of the 15th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, pp. 577–592, University of Missouri-Rolla, St. Louis, Mo, USA, October 2000.
- Moazed, R., Szyszkowski, W., and Fotouhi, R., “The in-plane behaviour and FE modeling of a T-joint connection of thinwalled square tubes,” *Thin-Walled Structures*, vol. 47, no. 6-7, pp. 816–825, 2009.
- Mohammed, H. Serror, Emad M. Hassan, Sherif A. Mourad, Experimental study on the rotation capacity of cold-formed steel beams, *Journal of Constructional Steel Research* 121 (2016) 216–228.
- Odabaşı, Y., 1992. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Yayınları, vize/kirklareli, Kasım 2000, İstanbul.
- Öncü, S., 2010, Hafif Çelik Yapıların Tasarımı Ve Deprem Riski Düşük Bölgelerde Orta Yükseklikteki Binalarda Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Öztürk, F., 2014, Hafif Çelik Çerçeve Sistemlerin Tepe Birleşim Bölgesinin Sonlu Eleman Analizleri İle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Pan, C. L., “Prediction of the strength of bolted cold-formed channel sections in tension,” *Thin-Walled Structures*, vol. 42, no. 8, pp. 1177–1198, 2004.
- Paula, V. F. de, Bezerra, L. M., and Matias, W. T., “Efficiency reduction due to shear lag on bolted cold-formed steel angles,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 64, no. 5, pp. 571– 583, 2008.
- Peköz, T., “Design of cold-formed steel screw connections,” in *Proceedings of the 10th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, pp. 575–587, University of Missouri-Rolla, St. Louis, Mo, USA, October 1990.
- Rondal, J., “Cold formed steel members and structures: general report,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 55, no. 1–3, pp. 155–158, 2000.
- Rondal, J., “Cold formed steel members and structures: general report,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 55, no. 1–3, pp. 155–158, 2000.
- Sabbagh, A., Petkovski, M., Pilakoutas, K. ve Mirghaderi, R., Experimental work on cold-formed steel elements for earthquake resilient moment frame buildings, *Engineering Structures* 42 (2012) 371–386.
- Salih, E. I., Gardner, L., and Nethercot, D. A., “Bearing failure of bolted connections in stainless steel,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Steel Structures*, 2009.
- Salih, E. L., Gardner, L., and Nethercot, D. A., “Numerical investigation of net section failure in stainless steel bolted connections,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 12, pp. 1455–1466, 2010.
- Santos, E., Batista, E. ve Camotim, D., Experimental investigation concerning lipped channel columns undergoing local–distortional–global buckling mode interaction, *Thin-Walled Structures* 54 (2012) 19–34.

- Sato, A. and Uang, C. M., "Seismic design procedure development for cold-formed steel-special bolted moment frames," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 65, no. 4, pp. 860–868, 2009.
- Serrette, R. and Peyton, D., "Strength of screw connections in cold-formed steel construction," *Journal of Structural Engineering*, vol. 135, no. 8, pp. 951–958, 2009.
- Serror, M.H., Hassan, E.M., Mourad, S.A., Experimental study on the rotation capacity of cold-formed steel beams, *J. Constr. Steel Res.* 121 (2016) 216–228
- Song, J. H. and Huh, H., "Failure characterization of spot welds under combined axial/shear loading conditions," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 53, no. 7, pp. 513–525, 2011.
- Stone, T.A. and LaBoube, R.A., Behavior of cold-formed steel built-up I-sections, *Thin-Walled Structures*, (2005).
- Tahir, M. M., Hamid, H. A., Tan, C. S., and Mahendran, M., "Structural behavior of screwed beam-to-column moment connections with cold-formed steel members," in *Proceedings of the 6th International Symposium on Steel Structures*, pp. 503–510, Seoul, Republic of Korea, 2011.
- Tan, C. S., Lee, Y. H., Lee, Y. L. et al., "Numerical simulation of cold-formed steel top-seat flange cleat connection," *Jurnal Teknologi*, vol. 61, no. 3, pp. 63–71, 2013.
- Teh, L. H. and Rasmussen, K. J. R., "Strength of arc-welded T-joints between equal width cold-formed RHS," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 63, no. 4, pp. 571–579, 2007.
- Toma, A., Sedlacek, G., Weynand, K., Connections in Cold-Formed Steel, Thin-Walled Structures, Vol. 22, No. 16, p. 219-237, Elsevier Science Publishers Ltd., 1993.
- Uang, C. M., Sato, A., Hong, J. K., and Wood, K., "Cyclic testing and modeling of cold-formed steel special bolted moment frame connections," *Journal of Structural Engineering*, vol. 136, no. 8, pp. 953–960, 2010.

- Wilkinson, T. and Hancock, G. J., “Tests to examine plastic behavior of knee joints in cold-formed RHS,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 126, no. 3, pp. 297–305, 2000.
- Winter, G., “Tests on bolted connections in light gage steel,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 82, no. 2, pp. 1–25, 1956.
- Wong, M. F. and Chung, K. F., “Structural behaviour of bolted moment connections in cold-formed steel beam column subframes,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 58, no. 2, pp. 253–274, 2002.
- Wong, M. F., *Bolted moment connections in cold-formed steel beam-column subframes [M.S. thesis]*, The Hong Kong Polytechnic University, 2002.
- Wong, M.F., Chung, K.F., Structural behaviour of bolted moment connections in cold-formed steel beam-column sub-frames, *Journal of Constructional Steel Research* 58 (2002) 253–274
- Yan, S. and Young, B., “Screwed connections of thin sheet steels at elevated temperatures—part I: steady state tests,” *Engineering Structures*, vol. 35, pp. 234–243, 2012.
- Yan, S. and Young, B., “Screwed connections of thin sheet steels at elevated temperatures—part II: transient state tests,” *Engineering Structures*, vol. 35, pp. 228–233, 2012.
- Yan, Shu, Young, Ben, Screwed connections of thin sheet steels at elevated temperatures – Part I, Steady state tests, *Engineering Structures* (2012).
- Yorgun, C., Yardımcı, N., Arda, T.S., “Kaynaklı Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3’e Göre Hesabı”, *İ.T.Ü. Dergisi*, Cilt 52, Sayı 3-4, 1995, sf.49-56.
- Yu, C., Xu, K., and Sheerah, I., “Bearing strength of cold-formed steel bolted connections using oversized holes without washers,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 137, no. 1, pp. 156–159, 2011.
- Yu, W., Chung, K. ve Wong, M., Analysis of bolted moment connections in cold-formed steel beam–column sub-frames, *Journal of Constructional Steel Research* 61 (2005) 1332–1352.

- Yu, W.W., Cold-Formed Steel Design, John Wiley & Sons, 2000
- Yüksel, D., 2001. Çelik Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zaharia, R. and Dubina, D., "Stiffness of joints in bolted connected cold-formed steel trusses," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 62, no. 3, pp. 240–249, 2006.
- Zaharia, R. ve Dubina, D., Stiffness of joints in bolted connected cold-formed steel trusses, *Journal of Constructional Steel Research* 62 (2006) 240–249.
- Zhao, X. L. and Hancock, G. J., "T-joints in rectangular hollow sections subject to combined actions," *Journal of Structural Engineering*, vol. 117, no. 8, pp. 2258–2277, 1991.
- Zhao, X. L., "Deformation limit and ultimate strength of welded T-joints in cold-formed RHS sections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 53, no. 2, pp. 149–165, 2000.
- Zilvinas Bučmys & Gintas Sauciuvenas (2013) The behavior of cold formed steel structure connections, *Engineering Structures and Technologies*, 5.3, 113-122

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitim hayatını Erzurum’da tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2015 yılında Erzurum Teknik Üniversitesi’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.

