

**KORNİYERLİ VE BERKİTMELİ
BİRLEŞİMLERİN MOMENT-DÖNME
DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

Mahmut KILIÇ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı
Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
2014
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KORNİYERLİ VE BERKİTMELİ BİRLEŞİMLERİN MOMENT-
DÖNME DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

Mahmut KILIÇ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yapı Bilim Dalı**

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**KORNİYERLİ VE BERKİTMELİ BİRLEŞİMLERİN MOMENT-DÖNME
DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN danışmanlığında, Mahmut KILIÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 15/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı –Yapı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza

Üye : Prof. Dr. Ensar OĞUZ

İmza :

Üye :Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu ...18.../12.../2014... tarih ve ...50.../1681... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP 2014/76 projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2014/76

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KORNİYERLİ VE BERKİTMELİ BİRLEŞİMLERİN MOMENT-DÖNME DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Mahmut KILIÇ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Çelik yapıların analiz ve dizaynında birleşim davranışının hesaba katılması, yapının gerçek davranışını temsil edebilmesi açısından önemlidir. Dolayısıyla, birleşim davranışının iyi bilinmesi gerekir. Birleşimler, birleşim tipine, yerleşim biçimlerine ve elemanlarına göre değişik moment-dönme eğrileri oluştururlar. Bu eğriler deneylerle elde edilen gerçek davranışın mühendislik bakış açısıyla görsel anlatımıdır. Bazı birleşimler için bu deneyler kısmen yapılmış, çeşitli veri bankaları oluşturulmuştur. Bu veri bankalarından yola çıkılarak birleşimin davranışını analizde ifade edebilmek için sınıflandırmalar yapılmış ve modeller oluşturulmuştur.

Bu tez kapsamında literatürde olan mevcut alt-üst başlık korniyerli birleşimlerden farklı olarak alt-üst başlık korniyerlerinde ve kiriş gövdesinde berkitme kullanımı önerilmiş ve bu birleşim tipinin davranışının belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır.

Bu tez kapsamında bu tip birleşimler için birleşimin boyutlarındaki değişimin birleşim davranışına etkileri incelenmiş, böylece birleşim elemanlarının optimum boyutları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Deneylerde çerçeveler, laboratuvardaki beton kütleyle ankraj edilmiştir. Hidrolik basınç aleti ve yük hücresi ile yükleme yapılmış; deformasyonlar ve eğimler, şekil değiştirme ölçer ve LVDT ler ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler, veri toplama cihazıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu veriler yardımıyla moment-dönme eğrileri elde edilmiştir. Moment-dönme eğrisinin temsil ettiği, rijitlik, dönme kapasitesi ve moment dayanımı ile ilgili bilgiler elde edilmiştir.

2014, 132 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yarı-rijit birleşim, moment-dönem eğrisi, korniyer, berkitme

ABSTRACT

Master Thesis

EXAMINATION OF MOMENT-ROTATION BEHAVIOUR OF THE CONNECTIONS WITH STIFFENERS AND ANGLES

Mahmut KILIÇ

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Taking into account the behaviour of connection in analysis and design of steel frames is important due to presenting the actual behavior of frames. So, the behavior of the connections should be well known. The connections form various moment-rotation curves according to the type of connection, the elements of connection and the shape of placement. These curves are visual expression of the actual behavior that has been obtained from experiments. The experiments of some connections have been obtained partially and has been formed the databank. It has been done the classification and formed models by this databank to express the behavior of connection.

To determine the behavior of the connection, the various connection experiments which are different from the connection with top and bottom angle in the literature are done in this thesis. The use of stiffeners in top and bottom angle and web of the connection with the top and bottom flange angle is suggested.

Also, the effects of the change in the dimensions of the connection members to the connection behaviour have been examined for the new connection type. Thus, the optimum sizes of the connection elements have been predicted. In the experiments, frames was anchored in concrete mass in the laboratory. It was loaded with Hydraulic pressure device and load cell. Deformation and displacement was measured by the strain gauge and LVDT. The data was collected by the data logger devices and transferred to the computer. Moment-rotation curves were plotted by these data. The information about the rotational stiffness, the moment resistance and the rotation capacity that represents the moment-rotation curves was obtained.

2014, 132 pages

Keywords: Semi-rigid connection, moment-rotation curves, angle, stiffener.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, yüksek lisans eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN'a,

Sayın Yrd. Doç. Dr. Merve SAĐIROĐLU'na,

Çalışma esnasında her türlü desteği ve ilgiyi esirgemeyen, Mahyar MAALİ'ne, arkadaşlarıma,

Gençler Metal LTD.ŐTİ.' ne,

Bu süreçte her zaman yanımda olan eőime ve aileme çok teşekkür ederim.

Mahmut KILIÇ

Kasım, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Korniyerli ve Berkitmeli Birleşimlerin Moment-Dönme Davranışının Araştırılması.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Kaynak Özetleri.....	3
2.2. Çelik Yapılar.....	8
2.3. Çelik Üretimi.....	10
2.4. Çeliğin Sınıflandırılması.....	11
2.5. Çeliğin Avantajları ve Dezavantajları.....	12
2.5.1. Avantajları.....	12
2.5.2. Dezavantajları.....	12
2.6. Çeliğin Kalitesi ve Karakteristik Özellikleri.....	13
2.6.1. Çelik birleştirme elemanları.....	14
2.6.1.a. Perçin ile birleşim.....	15
2.6.1.b. Bulon ile birleşim.....	15
2.6.1.c. Kaynak ile birleşim.....	17
2.7. Yarı-Rijit Çelik Kiriş-Kolon Birleşimlerin Davranışı.....	18
2.8. Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Sınıflandırılması.....	20
2.8.1. Kısa alın levhalı birleşim tipi.....	21
2.8.2. Çift korniyerli gövde birleşim tipi.....	21
2.8.3. Alın levhalı birleşim tipi.....	22
2.8.4. Üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi.....	23
2.8.5. Tek korniyerli gövde birleşim tipi.....	24

2.8.6. Üst ve alt başlık korniyerli, gövde çift korniyerli birleşim tipi.....	25
2.8.7. Kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi.....	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. Deney Sistemi ve Veri Toplama İçin Gerekli Cihazlar.....	27
3.1.1. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT);	27
3.1.2. Gerilim pullarını (Straingage)	27
3.1.3. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell) ve bilgisayar	28
3.1.4. Veri toplama sistemi (Data Logger).....	31
3.2. Deney Düzeneği	32
3.3. Deneysel Verilerin Formüllerle İstenilen Verilere Çevrilmesi	34
3.4. Modellerin Seçimi ve Adlandırılması	37
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....	40
4.1. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Özellikleri.....	40
4.2. Deneylerin Hazırlaması	41
4.3. Deney F60-L73-TF10-TB10-B8 (EXP 1).....	45
4.4. Deney F60-L64-TF5-TB10-B8 (EXP2).....	51
4.5. Deney F60-L55-TF5-TB10-B8 (EPX-3).....	57
4.6. Deney F60-L73-TF5-TB10-B8(EXP4).....	64
4.7. DeneyF60-L73-TF5-B8 (exp-5).....	71
4.8. F60 Tipi Birleşimlerin Karşılaştırılması.....	78
4.9. DeneyF50-L73-TF5-B8 (exp-6).....	84
4.10. Deney F50-L73-TF5-TB10-B8 (exp-7)	90
4.11. DeneyF50-L64-TF5-TB10-B8(EXP-8).....	96
4.12. DeneyF50-L55-TF5-TB10-B8(EXP-9).....	102
4.13. DeneyF50-L73-TF10-TB10-B8 (EXP-10).....	107
4.14. F50 Birleşimlerin Karşılaştırılması	113
4.15. F50 ve F60 Birleşimlerin Karşılaştırılması	120
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	126
KAYNAKLAR	130
ÖZGEÇMİŞ	133

SİMGELER DİZİNİ

ν	Poisson oranı
σ_a	Akma sınırı mukavemeti
σ_B	Kopma mukavemeti
τ_{em}	Kayma emniyet gerilmesi
σ_{em}	Emniyet gerilmesi
D	Kaba bulonlarda delik çapı
d	Kaba bulonda gövde çapı
E	Elastisite modülü
fb	Kirişin flanşı
G	Kayma modülü
H	Yapı üzerine gelen esas yükler
I	Kirişin atalet momenti
KR(knee-range)	KR Bölgesi
L	Kiriş açıklığı
LVDT	Deformasyon cihazı
M	Moment
$M_{j, Max}$	Moment dayanımı
$M_{R,d}$	Eğilme moment dayanımı
Θ	Kirişin dönme değeri
P	Eksenel yük
$S_{j,ini}$	Rijitliği elastik bölge
$S_{j,p-l}$	Rijitliği plastik bölge
Z	Yapı üzerine gelen ilave yükler
α_t	Lineer ısı katsayısı
δ	Kirişin deplasmanı
ϑ_j	Birleşim suneklik
$\vartheta_{J,MAX,LOAD}$	Maksimum yük sunekliği
Θ_r	Dönme açısı
$\Theta_{C,d}$	Dönme kapasitesi

$\Theta_{\text{Min}} . K.R.$	Dönme rijitlik elastik bölgesi
$\Theta\text{-Mj. Max}$	Maksimum dönme
ΘMRd	Bu momente karşılık gelen dönme
$\Theta M_{\text{sup.k.R}}$	Dönme rijitlik plastik bölgesi

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İngiltere Coalbrookdale Köprüsü	9
Şekil 2.2. (a) Magnetit, (b) Hematit, (c) Geotit, (d) Limonit, (e) Siderit.....	10
Şekil 2.3. Perçin birleşim aracı	15
Şekil 2.4. Ergitme kaynağı.....	18
Şekil 2.5. Bulon-Pul-Somun birleşimi ve raylarda kullanımı.....	16
Şekil 2.6. Birleşimin dönme deformasyonu.....	19
Şekil 2.7. Birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri	20
Şekil 2.8. Kısa alın levhalı birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	21
Şekil 2.9. Çift korniyerli gövde birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	22
Şekil 2.10. Alın levhalı birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	23
Şekil 2.11. Üst ve alt başlık korniyerli birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	23
Şekil 2.12. Tek korniyerli gövde birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri.....	24
Şekil 2.13. Üst ve alt başlık korniyerli, gövde çift korniyerli birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	25
Şekil 2.14. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri	26
Şekil 2.15. Birleşim tipleri ve $M-\theta_r$ diyagramları	26
Şekil 3.1. Deformasyon cihazı (LVDT) dijital cihazın görüntüsü.....	27
Şekil 3.2. Gerilim pulları	28
Şekil 3.3. Yük hücresi	29
Şekil 3.4. Hidrolik pompa.....	30
Şekil 3.5. Hidrolik piston.....	30
Şekil 3.6. Veri toplama sistemi (datalogger)	31
Şekil 3.7. DasyLab programı	32
Şekil 3.8. Deney düzeneği	33

Şekil 3.9. Çerçeve ve deney düzeneği	34
Şekil 3.10. Deney sistemi birleşim tipi için kirişin LVDT bağlama ve yükleme noktaları gösterimi.....	35
Şekil 3.11. Deney birleşim çeşitleri	38
Şekil 3.12. Birleşimin detayı.....	38
Şekil 4.1. Görünen moment-dönme eğrisi	40
Şekil 4.2. Matkap ve CNC kesme makinesi	42
Şekil 4.3. Gazaltı kaynağı	43
Şekil 4.4. Deney düzeneği	45
Şekil 4.5. Çelik kolon-kiriş ve bulonlarda meydana gelen kırılmalar	46
Şekil 4.6. Kolonda meydana gelen sehim gösterilmiştir	47
Şekil 4.7. Moment-dönme grafiği birinci yükleme.....	47
Şekil 4.8. Moment-dönme grafiği ikinci yükleme	48
Şekil 4.9. Kirişin berkitmesi için moment-gerilme grafiği	50
Şekil 4.10. Birleşim noktası için moment-gerilme grafiği.....	51
Şekil 4.11. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	52
Şekil 4.12. Kiriş- Kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası	52
Şekil 4.13. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları	53
Şekil 4.14. Kolonda meydana gelen sehim.....	53
Şekil 4.15. Moment-dönme eğrisi.....	54
Şekil 4.16. Moment- Dönme eğrisi.....	54
Şekil 4.17. Kirişin Berkitmesinin moment-gerilme grafiği	56
Şekil 4.18. Birleşimin moment-gerilme grafiği	57
Şekil 4.19. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	58
Şekil 4.20. Kiriş- Kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası	59
Şekil 4.21. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları.....	60
Şekil 4.22. Moment-dönme eğrisi.....	61
Şekil 4.23. Moment-dönme eğrisi.....	61
Şekil 4.24. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	63
Şekil 4.25. Birleşimin moment-gerilme grafiği	64
Şekil 4.26. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	65
Şekil 4.27. Kolon-Kiriş birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası.....	66

Şekil 4.28. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları.....	67
Şekil 4.29. Kolonda meydana gelen sehim.....	67
Şekil 4.30. Moment-dönme eğrisi.....	68
Şekil 4.31. Moment-Dönme eğrisi.....	68
Şekil 4.32. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	70
Şekil 4.33. Birleşimin moment-gerilme grafiği.....	71
Şekil 4.34. LVDT bağlantıları ve mesafeleri.....	72
Şekil 4.35. Deney düzeneği.....	72
Şekil 4.36. Kiriş- Kolon birleşiminin yükleme sonrası.....	73
Şekil 4.37. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları.....	73
Şekil 4.38. Kolonda meydana gelen sehim.....	74
Şekil 4.39. Moment-dönme birincil yükleme.....	74
Şekil 4.40. Moment-dönme ikincil yükleme.....	75
Şekil 4.41. Birleşimin moment-gerilme grafiği.....	77
Şekil 4.42. F60 korniyerli deneylerin 1. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması.....	79
Şekil 4.43. F60 korniyerli deneylerin 2. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması.....	80
Şekil 4.44. LVDT bağlantıları ve mesafeleri.....	84
Şekil 4.45. Deney düzeneği.....	85
Şekil 4.46. Kiriş-Kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası.....	85
Şekil 4.47. Kolonda meydana gelen sehim.....	86
Şekil 4.48. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları.....	86
Şekil 4.49. Moment-dönme grafiği birincil yükleme.....	87
Şekil 4.50. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	87
Şekil 4.51. Birleşimin moment-gerilme grafiği.....	89
Şekil 4.52. LVDT bağlantıları ve mesafeleri.....	90
Şekil 4.53. Deney düzeneği.....	91
Şekil 4.54. Kiriş-Kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası.....	91
Şekil 4.55. Kolonda meydana gelen sehim.....	92
Şekil 4.56. Moment-dönme grafiği birincil yükleme.....	92
Şekil 4.57. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	93

Şekil 4.58. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	95
Şekil 4.59. Birleşimin moment-gerilme grafiği	96
Şekil 4.60. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	97
Şekil 4.61. Deney düzeneği	97
Şekil 4.62. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları.....	98
Şekil 4.63. Moment-dönme grafiği birincil yükleme.....	98
Şekil 4.64. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	99
Şekil 4.65. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	101
Şekil 4.66. Birleşimin moment-gerilme grafiği	102
Şekil 4.67. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	103
Şekil 4.68. Deney düzeneği	103
Şekil 4.69. Moment-dönme grafiği birincil yükleme.....	104
Şekil 4.70. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	104
Şekil 4.71. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	106
Şekil 4.72. Birleşimin moment-gerilme grafiği	107
Şekil 4.73. LVDT bağlantıları ve mesafeleri	108
Şekil 4.74. Deney düzeneği	108
Şekil 4.75. Kiriş-Kolon birleşim bölgesi öncesi ve sonrası.....	109
Şekil 4.76. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	110
Şekil 4.77. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme.....	110
Şekil 4.78. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği.....	112
Şekil 4.79. Birleşimin moment-gerilme grafiği	113
Şekil 4.80. F50 korniyerli deneylerin 1. Yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması.....	115
Şekil 4.81. F50 korniyerli deneylerin 2. Yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması.....	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2000 yılı sonrasında yapılan birleşim deneyleri	8
Çizelge 2.2. St37 ve St52 çelik cinslerinin mekanik özellikleri	13
Çizelge 2.3. Bulon çeşitleri ve delik çapı gövde çapı kalınlıkları	17
Çizelge 3.1. Deney elemanları ve detayları	39
Çizelge 4.1. Deney verileri	49
Çizelge 4.2. Deney verileri	55
Çizelge 4.3. Deney verileri	62
Çizelge 4.4. Deney verileri	69
Çizelge 4.5. Deney verileri	76
Çizelge 4.6. Birincil yükleme moment-dönme verileri.....	81
Çizelge 4.7. Birincil yükleme süneklik karşılaştırması	82
Çizelge 4.8. İkincil yükleme moment-dönme verileri	83
Çizelge 4.9. İkincil yükleme süneklik karşılaştırması	84
Çizelge 4.10. Deney verileri	88
Çizelge 4.11. Deney verileri	94
Çizelge 4.12. Deney verileri	100
Çizelge 4.13. Deney verileri	105
Çizelge 4.14. Deney verileri	111
Çizelge 4.15. Birincil Yükleme moment-dönme eğrilerin verileri	117
Çizelge 4.16. Birincil Yükleme süneklik karşılaştırması.....	118
Çizelge 4.17. İkincil Yükleme moment-dönme eğrilerin verileri.....	119
Çizelge 4.18. İkincil Yükleme süneklik karşılaştırması	120
Çizelge 4.19. F50 ve F60 birleşimlerin karşılaştırılması.....	122
Çizelge 4.20. Süneklik değerlerinin karşılaştırılması	124
Çizelge 4.21. Kolonlarda meydana gelen sehim miktarları.....	125

1. GİRİŞ

1.1. Korniyerli ve Berkitmeli Birleşimlerin Moment-Dönme Davranışının Araştırılması

Kiriş-kolon birleşimi çerçeve sistemlerin davranışında önemli rol oynamaktadır. 50 yılı aşkın süredir kiriş-kolon davranışları hem deneysel hem de teorik olarak incelenmektedir. Çelik yapılarda kullanılan hesap yöntemlerinde kiriş kolon birleşimleri mafsallı ya da rijit olarak kabul edilmektedir. Bu teorilere göre rijit birleşimlerde elemanlarda yerel dönme olmaz, dıştan bir moment etkidiğinde bu moment elemanların rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır. Ancak gerçekte birleşimler ne tam rijit ne de tam mafsallıdır. Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalarda birleşimin yarı rijit kabul edilmesiyle daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşme amaçları şöyle sıralanabilir:

Günümüzdeki yaygın olarak kullanılan hesap yöntemlerinde çelik yapıların analiz ve dizaynında birleşimlerin etkisi hesaba katılmamaktadır. Bu tez ile birleşimlerin moment-dönme eğrilerinin elde edilmesi, analiz ve dizaynında hesaba katılması için önerilerde bulunmaktadır.

Genellikle 1930-1970 yılları arasında yapılan statik deneylerle moment-dönme eğrileri elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak o zaman ki deney sistemleriyle günümüz deney sistemlerinin çok farklı olmasından dolayı sonuçlarda farklılıklar gözlemlenmiştir. Günümüzdeki deney sistemleri ve daha hassas ölçüm aletleri sayesinde daha az hata ile daha güvenilir ölçümler yapılarak, daha iyi verilerin elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

Daha önce yapılan birleşim deneylerinden yola çıkılarak birleşimler sınıflandırılmıştır. Fakat günümüzdeki çelik yapı projelerinde birçok farklı birleşim tipi yapılmaktadır. Literatürde bu birleşim tipleri için deneysel veriler olmadığından bu birleşimlerin gerçek davranışı bilinmemektedir.

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarında yapılmış ve malzemeler bir çelik firma yardımıyla hazırlanmıştır. Deneylerde çerçeveler laboratuvardaki beton kütleyle ankraj edilmiş Hidrolik basınç aleti ve Loadcell ile yükleme yapılmıştır; deformasyonlar ve eğimler, straingauge ve LVDT'ler ile ölçülmüş ve okunan veriler datalogger cihazıyla toplanıp bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu veriler çeşitli matematiksel işlemlerle moment ve dönme değerlerine dönüştürülmüş, moment-dönme eğrileri çizdirilmiş ve moment-dönme eğrisinin temsil ettiği, rijitlik, dönme kapasitesi ve moment dayanımı ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Birleşimlerde kullanılan elemanların boyutlarının birleşimin davranışına olan etkisi incelenmiştir. Eleman boyutları değiştirilerek boyut etkileri ortaya konmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaynak Özetleri

Simoos (1995), yarı-rijit birleşimli düzlemsel çelik çerçeveler için optimum dizayn yapabilen bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Çalışmada, optimizasyon algoritması, özel bir şartnamede belirtilen deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında yapının eleman ve birleşimlerinin maliyetini minimize etmektedir. Çalışmalarının sonucunda, yarı-rijit birleşimli dizaynlar rijit birleşime göre daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar vermiştir.

Hasan et al. (1998), çelik çerçevelerde kiriş-kolon birleşimleri için x-y düzleminde paralel olmayan iki çizgi ile oluşan üç bölgeye göre sınıflandırma yapmış olup parametre olarak moment-dönme diyagramları seçilmiştir. Bu çalışmada doğrusal olmayan çizgiler 3 parametreye göre modellemişlerdir, bu üç parametre başlangıç birleşim rijitliği, birleşimin moment kapasitesi ve şekil parametresidir. Bu çalışmanın diğer birleşim sistemlerine göre daha avantajlı, daha basit ve doğru olduğu vurgulanmıştır.

Awkar and Lui (1999), çalışmalarında MATHCAD programını kullanarak çok katlı çerçevelerin birleşimlerini deprem altındaki davranışını modellemişlerdir. Modellenen birleşim, rijitliğinin dışında malzemenin nonlinerliğinde içerir. Bu modelleme sayesinde, maliyetin düşürülebilmesi için deneylerde esneklik etkisinin de hesaba katılması sonucuna varılmıştır.

Erdem (1999), birleşimin davranışının ve geometrik lineer olmamalarının, düzlemsel çerçevelerin davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada malzeme davranışının elastik olduğu kabul edilmiş ve birleşimlerde Richard Modeli kullanılmıştır.

Kameshki and Saka (2001), çok katlı yapılarda genetik algoritma ile optimum dizayn için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu dizayn algoritması, İngiliz şartnamelerine göre çelik kesit tablosundan kesit seçerek BS5950 şartnamesi gerilme ve kullanılabilirlik sınırlayıcılarına göre optimum en az ağırlıklı çerçeveyi elde etmektedir. Bu araştırmada, moment-dönme eğrisinin oluşturabilmek için doğrusal olmayan deneysel model kullanmışlar yük-deplasman etkisini göz önüne almışlardır.

Değertekin (2001), çalışmasında Türk Standartlarındaki (TS648) sınırlayıcı parametreler olan gerilme, burkulma ve deplasman sınırlarını dikkate almıştır. Yarı-rijit elemanların özellikleri ve yük altındaki dönmeleri dikkate alınarak belirli yük altında model tasarlamıştır. Minimum malzeme kullanımı ile optimum tasarım gerçekleştiren bir algoritma oluşturmuştur. Yapılan çalışmaların sonucunda, rijit birleşimli çerçeve tasarımına göre daha ekonomik tasarımlar elde edilmiştir.

Pucinotti (2001), üst-alt başlık ve gövde korniyerli kiriş-kolon birleşimlerinin davranışı için basit bir mekanik model geliştirmişlerdir. Bu mekanik model deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve sonuç olarak, başlangıç rijitliğini tahmin ederken global birleşim davranışı için tek bir birleşen varsayıldığından, basitleştirilmiş modelin, farklı birleşimlerin gerçek davranışını tahmin edebildiği ifade etmiştir.

Lee and Moon (2002), yarı-rijit birleşimlerin lineer olmayan moment-dönme ilişkisini tanımlamak için iki parametrelili logaritmik bir model oluşturmuşlardır. Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin analizi için bu yöntemin etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir.

Hayalioğlu vd (2004), yarı-rijit çelik çerçeveler için kiriş-kolon birleşimlerinin lineer olmayan davranışını ve kiriş-kolon elemanlarının kuvvet-deplasman etkilerini göz önüne alan bir analiz yapmış ve bir tasarım örneği sunmuşlardır. Bu araştırmada çerçeve elemanları şartname olarak Türk Standartına (TS648) göre boyutlandırma yapılmıştır.

Rijit birleşimlerle yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre; yarı-rijit birleşimlerin rijit birleşimlere göre daha az maliyetli sonuçlar verdiği görülmüştür.

Öztürk ve Çatal (2005), çalışmalarında yarı-rijit çerçevelerin dinamik davranışını inceleyebilmek için bir bilgisayar program kullanmışlardır. Bu araştırmada, birleşim esnekliği lineer elastik dönme yayları ile modellenmiştir. Aynı kesit ve geometriye sahip, farklı yay katsayılı yarı-rijit birleşimler incelenmiştir. Birleşim esnekliğinin titreşim frekansının azalmasına sebep olduğu görülmüştür.

Cabrero and Bayo (2005), çalışmalarında yapının profil boyutlarının yanı sıra optimal teorik değerlere uygun birleşim dizaynını optimize eden bir metot geliştirmeye çalışmışlardır. Yarı-rijit alın levhalı birleşim için ön-dizayn metodunu, birleşimin uygunluğunu ve uygulanabilirliğini kontrol etmişlerdir. Yapılan örnekler sonucunda, mafsallı ve rijit birleşimlere göre yarı-rijit birleşimlerin daha ekonomik sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Uslu (2009), doğrusal olmayan katı cisim analizi ile korniyerli yarı-rijit birleşimli çelik yapı elemanlarını analiz etmiştir. Araştırma sonuçlarını diğer çalışmalardaki modellerin analitik çözümleri ile karşılaştırmıştır.

Ali *et al.* (2009), genetik algoritma programlama tekniği kullanarak çelik yapıların çok aşamalı maliyet optimizasyonu için bir model hazırlamışlardır. Üretim aşamalarını minimize etmişlerdir. Bu yarı-rijit birleşimlerin dizaynında Eurocode 3 ve AISC yönetmelikleri kullanılmıştır. Bu metot diğer metotlarla karşılaştırıldığında maliyette %10-%25 arasında daha ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. Metot, ilk dizayn aşamasında dizayn seçeneklerinin muhtemel etkilerini ölçebildiğini göstermiştir. Bu da tasarımcının daha iyi bir dizayn kararı verebileceğini göstermiştir.

Türker vd (2009), Yarı-rijit çelik birleşimlerin dinamik yükler altındaki değişken karakteristik değerleri üzerine araştırma yapmıştır. Dönmeyi yay rijitliğine bağlı, kiriş-

kolon ve mesnet birleşim değerleri üzerine bir yaklaşım ile deneysel bir model önermiştir.

Zlatkov *et al.* (2011), yarı-rijit birleşimli yapıların dinamik dizaynı için matris formülasyonunu elde etmişlerdir. Deprem bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliği (2007 deprem yönetmeliği) dikkate alarak dinamik ve sismik dizayn için birleşimlerin çeşitli rijitlik seviyelerinde rijitlik matris elemanlarını hesaplayan bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Veriler neticesinde yarı-rijit birleşimlerin serbestlik derecelerinin önemli olduğu ve yapılacak olan mühendislik çalışmalarında ve dizaynlarında rijitlik değerinin önemini savunmuşlardır.

Abidelah *et al.* (2012), Cabrero and Bayo (2007) ve Coelho *et al.* (2004a, 2004b) birleşimleri uygun ve ekonomik hale getirmek için çeşitli araştırmalar yapmışlardır.

Chen and Lui (1991) Birleşimler, kuvvetleri bir elemandan diğerine aktaran araçlardır, yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet ise momenttir. Bu yüzden pratik amaçlar için sadece birleşimin dönme deformasyonu göz önüne alınabilir. $M-\theta$ eğrisi, moment ve ona bağlı olan dönme miktarının karşılıklı etkileşimini gösterir. Tasarlanan birleşimler, içerdikleri bileşenlere ve bunların yerleştiriliş şekline göre değişik moment-dönme eğrilikleri oluştururlar.

Yee and Melchers (1986) birleşim davranışının, birleşim elemanlarının boyutlarının seçimine göre oldukça fazla değişebildiğini göstermiştir.

Sagiroglu ve Aydın (2013a,b) Birleşime giren elemanların geometrik parametrelerinin değişimi, moment-dönme eğrisiyle beraber analiz ve dizayn sonuçlarını da oldukça etkileyebilmektedir. Ayrıca moment-dönme eğrisi rijitlik, moment dayanımı ve dönme kapasitesini kapsayan birleşimin davranışsal karakteristikleri hakkında bilgi verir (European Committee for Standardization 2003).

Azizinamini and Radziminski (1989), Liew *et al.* (1997), Jones *et al.* (1980) ve Kishi and Chen (1986a, 1986b) birleşimin gerçek davranışının ideal rijit ve ideal mafsallı davranışları arasında yarı-rijit olarak nitelendirilen bir davranış olduğunu çeşitli deneysel çalışmalar göstermişlerdir.

Batho (1931) yarı-rijit birleşimlerin moment-dönme eğrileri nonlineerdir. Bu eğriyi elde etmenin tek yolu gerçek ölçekli yapılan deneylerdir. Fakat bu deneyler 1990 öncelerine dayanır ve o zamanlar deneyler perçin ile yapılmaktaydı. Kullanılan deneysel aletlerle ölçümün hassasiyeti ve sonuçların güvenilirliği günümüzle karşılaştırıldığında daha azdır. Bu deneysel verilerden yola çıkılarak birleşimin davranışını temsil eden moment-dönme eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca, birleşim davranışı analitik, ampirik, mekanik vs. farklı şekillerde ifade edilebilir. Fakat birleşim üzerinde en çok bilgi ancak deneysel verilerle elde edilebilmektedir. Ama bu teknik oldukça pahalı olmaktadır ve her deney özel bir amaca göre yapılmaktadır (Limaa *et al.* 2002).

Yukarıda genel hatlarıyla vurgulanan ve daha birçok benzerinin literatürde bulunabileceği çalışmalarda birçok deney yapılmış, rapor edilmiş ve bu sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından toplanarak çeşitli veri bankaları oluşturulmuştur. Çalışmalarla ilgili deneyler yapılmış ve bu deneyler de Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. 2000 yılı sonrasında yapılan birleşim deneyleri

Yazarın adı ve yılı	Açıklama	Adet
Popov and Takhirov (2002)	Dinamik yükler altında kolon-kiriş birleşimlerinde bulon deneyi	2
Limaa <i>et al.</i> (2002)	Eksenel yük altında uç plakalı birleşim deneyleri	3
Coelho <i>et al.</i> (2004a)	Yayıllı yük altında uç plakalı birleşim deneyleri	8
Coelho <i>et al.</i> (2004b)	Yayıllı yük altında T birleşim deneyleri	32
Coelho and Bijlaard (2007), Coelho <i>et al.</i> (2009)	Eksenel yük altında uç plakalı birleşim deneyleri	31
Cabrero and Bayo (2007)	Eksenel ve statik yükler altında T birleşim deneyleri	2
Shi <i>et al.</i> (2007)	Eksenel yük altında uç plakalı birleşim deneyleri	5
Piluso and Rizzano (2008)	Cycle yük altında T birleşim deneyleri	1
Abidelah <i>et al.</i> (2012)	Eksenel yük altında berkitmeli ve berkitmesiz uç plakalı birleşim deneyleri	4

2.2. Çelik Yapılar

Arkeolojik çalışmalar sonucunda ortaya atılan bir teoriye göre dünyada ilk demir cevheri, Türkiye’de Kaz Dağları’nda çıkan büyük yangın sonucunda toprak altında bulunan demirin yüksek sıcaklık sonucu erimesi ve işlenmesidir. Başka bir kurama göre ise düşen bir meteorun içindeki demirin işlenmesi sonucu araç-gereçlerin yapılmış olmasıdır.

Silah ve eşya yapımı haricinde demir 18. yüzyılda İngiltere’de ham olarak işlenmiş ve köprü yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan ilk malzeme olan font(%4 oranında karbon içeren ve ham demire hurda demir ve katkı maddeleri ilave edilerek elde edilen malzeme,pik), basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir yapı malzemesidir. Font kullanılarak yapılan ilk köprü İngiltere’de Severn Nehri üzerinde Coalbrookdale Köprüsü’dür (Şekil 2.1). (Deren *et al.* 2008)



Şekil 2.1. İngiltere Coalbrookdale köprüsü

20. yüzyıl başlarında kaynaklı birleşimlerin uygulanmaya başlanmasıyla çelik yapı terimi kullanılmaya başlanmıştır. Çeliğin inşaat sektöründe kullanılması ile başta Amerika ve Avrupa olmak üzere dünyanın bir çok yerinde çelik konstrüksiyon yapılar inşa edilmiştir. Yapı malzemesi olarak çelik günümüzde, karkas yapı ve köprü olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Çelik yapılar taşıma gücü iyi olması sebebiyle %50'ye ulaşabilen hafiflikleri sayesinde, çelik yapılara etkiyen deprem yükleri azalmaktadır. Bu durum yapının taşıyıcı sistem ve temel boyutlarında küçülmeyi sağlamaktadır. Yüksek dayanımı sayesinde öz ağırlığının taşıdığı yararlı yüke oranı küçüktür. Çelik yapıların montajı tamamlandığı andan itibaren kullanımı mümkündür. Sürekli denetim altında üretimi yapılan yapı çeliği, homojen, izotrop ve güvenli bir malzemedir. Tüm bunların yanında, çeliğin mimari özgürlük, narinlik, çok katlı bina tasarımına uygunluğu, depreme dayanıklılık, hızlı yapı üretimi, ekonomi, değişim, geri dönüşüm gibi çok önemli avantajları da vardır.

Çeliğin yüksek dayanım ihtiyacına cevap verebilme yeteneğinden dolayı, çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinin çelik ile yapılmasına yönelmiştir. 1994 Northridge

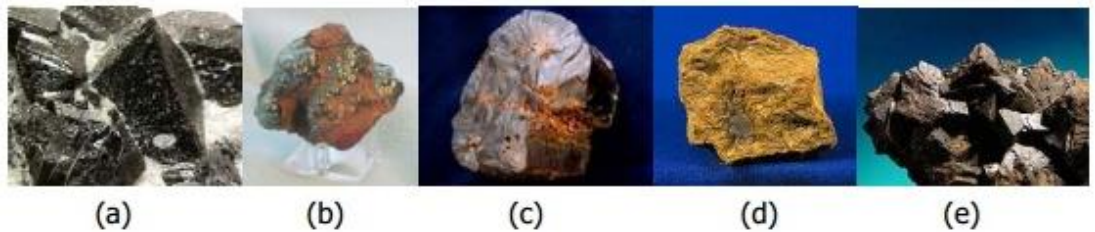
depreminden sonra çelik yapıların büyük depremlerde dahi fazla zorlanmayacağı düşüncesi ortaya çıkmıştır. Çünkü bu depremde birçok çelik çerçeve yapıda çok önemli kiriş-kolon birleşim yeri hasarları gözlenmiştir. Bu sayede kiriş-kolon birleşim yerlerinin davranışının önemi anlaşılmıştır. Bu depremin sonrasında rijit çelik çerçeve kiriş-kolon birleşimlerinin son derece kötü performans göstermesi nedeniyle FEMA-SAC projesi gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında sünek çelik yapı tasarımı konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş, çeşitli şekillerde çelik yapılar rijitlik yönünden incelenmiştir. Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında kiriş-kolon birleşimlerinin davranışı incelenmiş ve çeşitli birleşim tipleri sunulmuştur. (Deren *et al.*2008)

2.3. Çelik Üretimi

Doğada serbest halde bulunmayan çelik yer kabuğunun yaklaşık olarak %4,5 ini oluşturmaktadır. Doğuda demir cevheri;

- Oksitler [magnetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3)],
- Hidroksitler [geotit ($FeO(OH)$) ve limonit ($FeO(OH).nH_2O$)],
- Karbonatlar [siderit(Fe_2CO_3)]

şekillerinde bulunur. (Şekil 2.2.)



Şekil 2.2. (a) Magnetit, (b) Hematit, (c) Geotit, (d) Limonit, (e) Siderit

Doğada bulunan demir cevheri kok kömürü ile yakılıp ham demir elde edilir. Kok kömürü sayesinde gerekli sıcaklık sağlanır ayrıca demir ile kimyasal tepkimeye girer. Üretilen ham demirin karbon oranı (%3-5) oranındadır. Çelik üretimi günümüzde Siemens-Martin, elektrik arkı, oksijen üfleme gibi yöntemler ile şekillendirilip mekanik özellikleri değiştirilmektedir. (Deren *et al.*2008)

2.4. Çeliğin Sınıflandırılması

Çelik sınıflandırılması üretim yöntemine göre, karbon içeriğine göre standartlara göre veya işlenme aşamasına göre çeşitli sınıflandırma çeşitleri mevcuttur. (Deren *et al.*2008)

Üretim yöntemine göre;

- Paylaşımçı mizaç
- Temel oksijen safhaları
- Elektrik fırın metotları

Karbon içeriğine göre;

- Düşük karbon çelik sınıfları,
- Orta seviyede karbon çelik sınıfları,
- Yüksek Karbon çelik sınıfları,

Standartlara göre;

- Alaşım olmayan çelik sınıfları
- Çelik alaşım sınıfları
- Paslanmaz çelik sınıfları
- Çelik alet sınıfları
- Saç ve şeritler için çelik sınıfları

İşlenme aşamasına göre;

- Sıcak haddeleme yüzey kaplama teknikleri
- Soğuk haddeleme yüzey kaplama teknikleri
- Tavlama işlemine tabi çelikler
- Su verilmiş ve menevişlenmiş çelikler

2.5. Çeliğin Avantajları ve Dezavantajları

2.5.1. Avantajları

Çelik, yapı malzemesi olarak kullanılan betona göre çoğu mekanik özellikleri yönünden üstünlük sağlamaktadır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Odabaşı 1992; Deren *et al.* 2008)

- 1- Çelik homojen ve izotrop bir malzeme olduğundan dolayı, boyuna veya enine herhangi bir mekanik özelliği değişmemektedir.
- 2- Elastiklik modülü diğer malzemelere göre yüksek olduğundan dolayı dayanımı yüksek ve kullanım hacmi küçüktür.
- 3- Burkulma olmayan durumlarda çeliğin çekme dayanımı basınç dayanımına eşittir.
- 4- Süneklilik oranı yüksek olduğundan dolayı şekil değiştirmeye elverişli bir malzemedir.
- 5- İnşaat süresi kısadır, montajı kolay ve hava şartlarından etkilenmez.
- 6- Yeniden kullanıma uygundur.
- 7- Montaj tamamlandıktan sonra tam yükte çalışırlar.

2.5.2. Dezavantajları

Mekanik ve uygulama avantajlarına rağmen çelik; önlem alınmaması durumunda geri dönüşü bulunmayan dezavantajlarda içermektedir.

- 1- 600°C'den sonra dayanımı hızla düşmekte ve kullanılmaz hale gelmektedir. Bu yüzden yangına karşı önlem alınmalıdır. Örneğin; iletken olmayan bir elemanla yüzeyin kaplanması veya yanmaz boya ile boyanması dayanımı artırır.
- 2- Korozyona karşı dayanımı düşük olduğundan dolayı sürekli olarak bakım gerektirmektedir. Ayrıca gömme gibi durumlarda özel alaşımlı çelik kullanılmalıdır.
- 3- Asit, baz ve tuza karşı dayanıksızdır.
- 4- Ses ve ısıya karşı dayanımı yoktur. Ek yalıtım malzemesi gerektirir.
- 5- Malzeme seçiminde narin kesitler alındığından dolayı statik hesaplamalarda burkulma gibi stabilite problemlerine dikkat edilmelidir.

2.6. Çeliğin Kalitesi ve Karakteristik Özellikleri

Kalite yönünden yapılarda en çok kullanılan çelik malzeme çeşidi St37 ve St52'tir. Bu isimlendirmede kullanılan 37 ve 52 sayıları çeliğin çekmedeki kopma mukavemeti(σ_B) (kg/mm^2) değeridir. Çizelge 2.2'de St37 ve St52 çelik cinslerinin mekanik özellikleri verilmiştir. St52 çeliği yüksek mukavemet ve dayanıma sahip olması gereken yapılarda kullanılmaktadır. Bu yüzden kullanım alanı geniş değildir. Deneylerde kullanılacak olan çelik cinsi St37'dir. Çizelge 2.2'de belirtilen H esas yükleri, Z ise ilave yükleri temsil etmektedir. (Odabaşı 1992)

Çizelge 2.2. St37 ve St52 çelik cinslerinin mekanik özellikleri.

Çelik Cinsi	Akma Sınırı σ_a (kN/cm^2)	Emniyet Gerilmesi σ_{em}		Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em}	
		(H)	(HZ)	(H)	(HZ)
St37	24	14	16	9	10,5
St52	36	21	24	13,5	15,5

Çeliğin kullanımı ve tasarımı sürecinde emniyet gerilmeleri hesaplarında, kopma mukavemeti yerine akma sınırı mukavemeti (σ_a) göz önünde tutulmaktadır. Alman DİN standartlarına göre σ_{em} ;

$$\text{H yüklemesinde} \quad \sigma_{em}^H = \frac{\sigma_a}{1,71}$$

$$\text{HZ yüklemesinde} \quad \sigma_{em}^{HZ} = \frac{\sigma_a}{1,50}$$

Ülkemizde yürürlükte olan (TS 648) standardına göre;

$$\text{H yüklemesinde} \quad \sigma_{em}^H = 0,6 \sigma_a (\leq 0,5 \sigma_b \text{ olmalıdır})$$

$$\text{HZ yüklemesinde} \quad \sigma_{em}^{HZ} = 0,6 \sigma_{em}^H$$

dir. Çeliğin karakteristik özellikleri ise çelik cinslerine bağlı değildir ve hepsi için ortaktır. Bunlar;

$$\text{Elastisite modülü} \quad E = 2\,100\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Poisson sayısı} \quad \nu = 0,3$$

$$\text{Kayma modülü} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 810\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lineer ısı katsayısı} \quad \alpha_t = 12 \times 10^{-6}$$

2.6.1. Çelik birleştirme elemanları

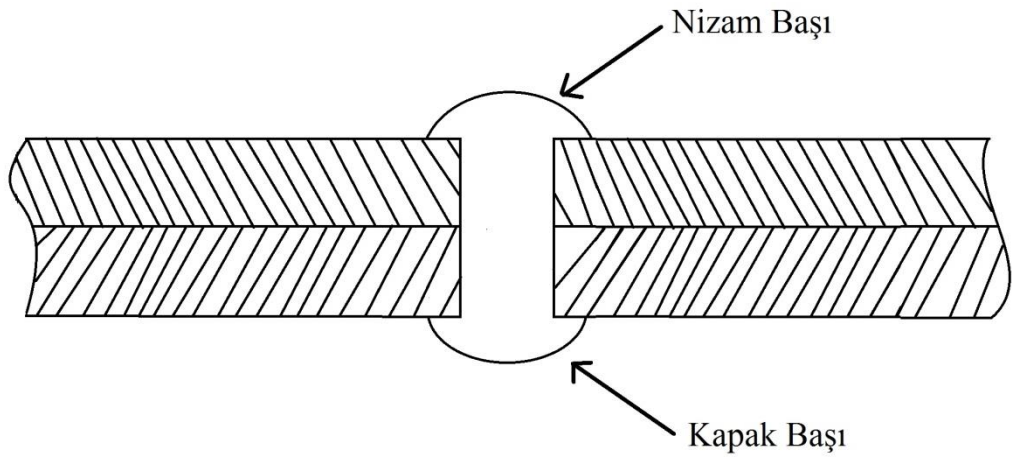
Çeşitli geometrilerde kesilip hazırlanan çelik elemanlarını birleştirmede kullanılan 3 çeşit araç vardır. Bunlar;

- Perçinli Birleşimler
- Bulonlu Birleşimler
- Kaynaklı Birleşimler

dir.

2.6.1.a. Perçin ile birleşim

Yük aktarımında makaslamaya ve ezilmeye çalışan birleşim aracıdır. Silindirik gövdeye ve yuvarlak iki başa sahiptir (Şekil 2.3).

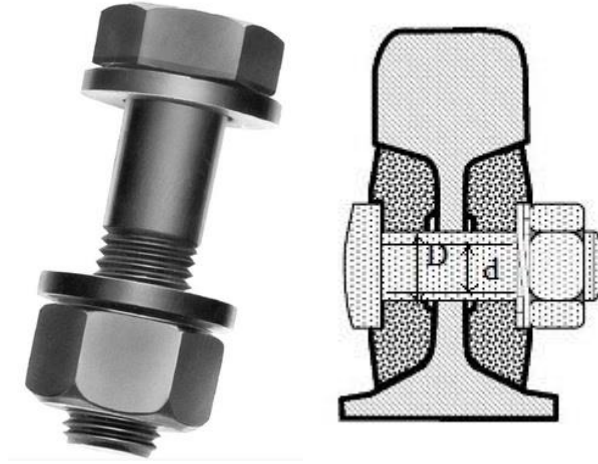


Şekil 2.3. Perçin birleşim aracı

Tek başlıklı ham perçin şekil verilebilecek minimum sıcaklık derecesine kadar ısıtıldıktan sonra daha önceden matkap veya benzer bir araç ile açılmış deliğe yerleştirilerek taşınan kısım perçin çekici ile dövülerek Şekil 2.3'de gösterilen kapak başı oluşturulur. Perçinlerin tekrar kullanımı mümkün olmadığından giderek uygulaması azalmaktadır (Odabaşı 1992)

2.6.1.b. Bulon ile birleşim

Uç tarafında belli uzunlukta spiral diş açılmış olan silindirik gözdeli ve altıgen başlıklı bir birleşim aracıdır. Çelik elemanlara açılmış olan deliklere yerleştirilir ve bulon ucuna pul (rondela) ve somun geçirilir. Şekil 2.5'de bulon şekli ve tren raylarında kullanım şekli gösterilmiştir (Odabaşı 1992).



Şekil 2.4. Bulon-Pul-Somun birleşimi ve tren raylarında kullanımı

Çelik bağlantılarında kullanılan bulon çeşidi ikiye ayrılır. Bunlar;

- Kaba bulon (siyah bulonlar)
- Uygun bulon (parlak bulonlar)

Yapılacak olan deneyler çelik yapı elemanlarının birleştirilmesinde kaba bulon kullanılacaktır. Kaba bulonlarda (d) gövde çapı ile (D) delik çapı arasında;

$$d=D-1^{\text{mm}}$$

iken uygun bulonlarda gövde çapı ile delik çapı birbirlerine eşittir. Uygun bulonlarda, diş açılmamıştır sadece gövde kısmı tornalamak suretiyle işlenmiştir. Kaba bulonlarda gövde işlenmemiştir. Deneylerde kullanılacak olan bulon M8 olup St37 çeliğinden üretilmiştir. Bulon gövde çapı ve gerekli olan delik çapı genişliği Çizelge 2.2’de belirtilmiştir.

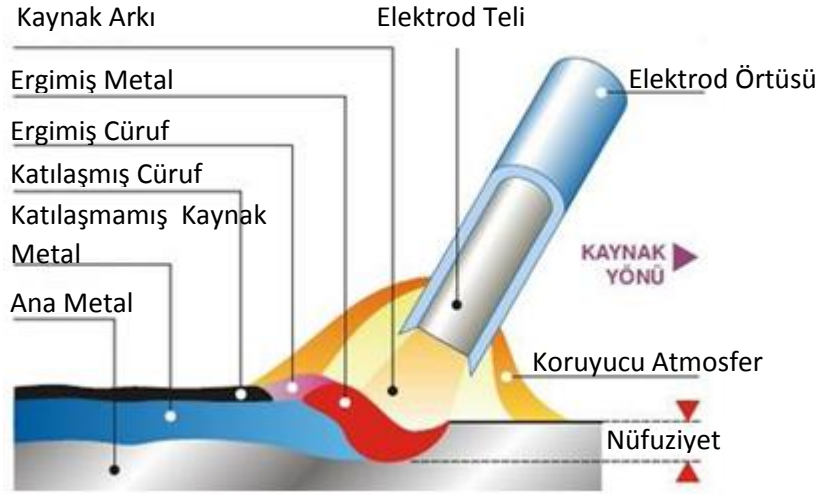
Çizelge 2.3. Bulon çeşitleri ve delik çapı gövde çapı kalınlıkları (Odabaşı 1992)

BULON		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
Delik çapı (D) (mm)		9	11	13	15	17	19	20
Gövde çapı (d) (mm)	Kaba Bulonlarda	8	10	12	14	16	18	20
	Uygun Bulonlarda	9	11	13	15	17	19	20

Yapılacak olan deneylerde kiriş ile kolon bulonlar yardımıyla birleştirilmiştir. Fakat bulon birleşimi ile birlikte uygulamada kiriş-kolon birleşimi için çeşitli yöntemler mevcuttur. (Odabaşı 1992)

2.6.1.c. Kaynak ile birleşim

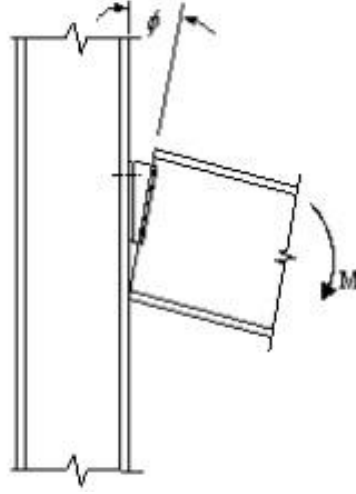
Atomik yapısı aynı veya benzer metallerin ısı etkisi altında birleştirme işlemine kaynak denmektedir. Birleşim elemanlarının ergitilme ile yapılan kaynaklar ve plastik kıvam oluşturacak şekilde birleşim elemanlarının basınç altında kalması ile oluşan kaynaklar olarak ikiye ayrılır. Ergitme kaynağında 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 yaygın olarak kullanılan kaynak tipi ergitme kaynağı olup Şekil 2.4’de gösterilmiştir. (Odabaşı 1992)



Şekil 2.5. Ergitme kaynağı

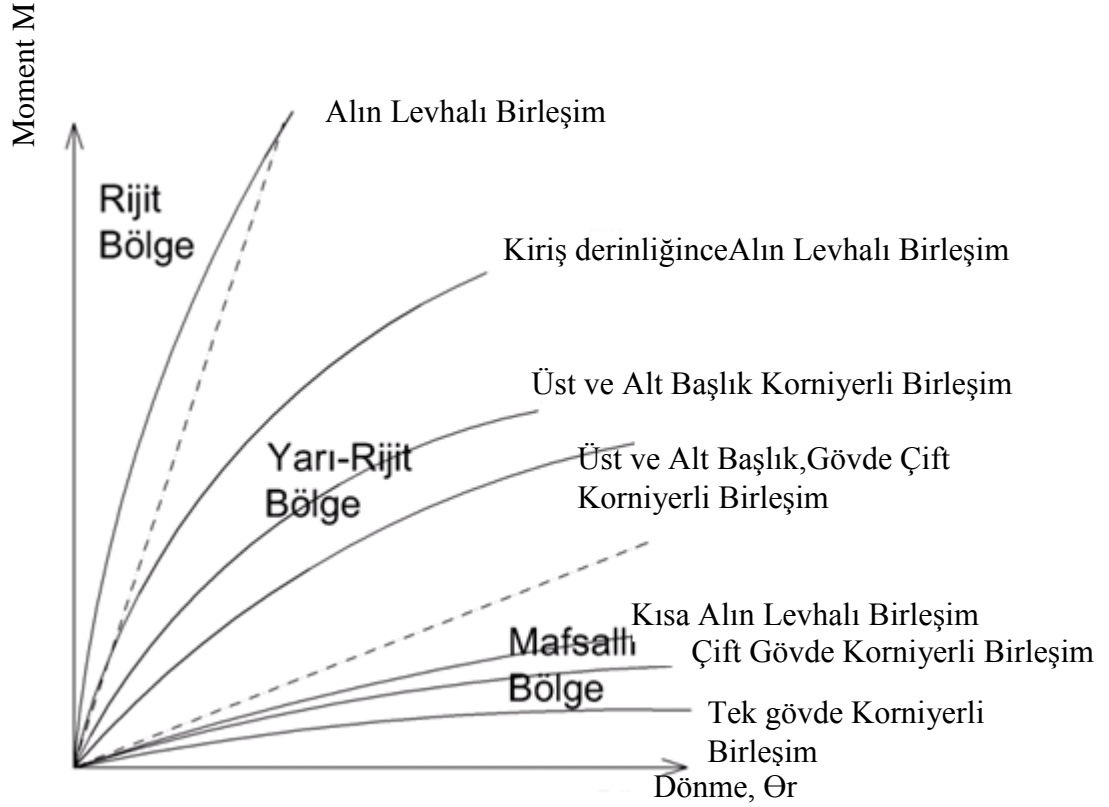
2.7. Yarı-Rijit Çelik Kiriş-Kolon Birleşimlerin Davranışı

Birleşimler gelen kuvvetleri bir elemandan diğerine aktaran araçlardır. Kiriş-kolon birleşimlerinde aksenal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti aktarılmaktadır. Plan düzlemi için burkulmanın etkileri ihmal edilebilir. Çoğu birleşim için aksenal ve kesme deformasyonları genellikle dönme deformasyonları ile karşılaştırıldığında küçük kalmaktadır (Chen and Lui 1991). Dolayısıyla, moment yapıdaki birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet olduğu için pratik amaçlar için sadece dönme deformasyonunu göz önüne almak gerekir. Dönme deformasyonları, birleşimde momentin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Birleşime M momenti uygulandığında θ_r miktarı döner. Şekil 2.6'daki gibi dönme kiriş ve kolon arasındaki açının değişimidir (Chen and Lui 1991).



Şekil 2.6. Birleşimin dönme deformasyonu

Kiriş-kolon birleşim yapıları hakkında deneysel ve teorik çalışmalar ile moment-dönme, moment-deplasman, yük-deplasman sonuçları çıkartılabilmektedir (Yüksel 2001). Ancak yapı elemanlarının birleşim davranışlarının, $M-\theta$, eğrileriyle daha iyi bir şekilde ifade edilebildiği görülmüştür. $M-\theta$, eğrisi moment ve ona bağlı olan dönme miktarının etkileşimini göstermektedir. Moment-dönme bağıntısı ile temsil edilen bu moment açısız yer değiştirme ilişkisi doğrusal değildir. Modellerde birleşim tipine göre yarı-rijit birleşimlerin moment eğrilik ilişkileri gösterilmiştir. Şekil 2.7’de bazı yaygın olarak kullanılan yarı-rijit bağlantı çeşitlerinden bazılarının moment-dönme davranışı gösterilmiştir. Tüm bağlantı çeşitleri, ideal mafsallı veya tamamen rijit bağlantıların iki uç durumları arasına düşen doğrusal olmayan bir moment-dönme davranışı sergiler. Diğerlerine göre esnek olan birleşimin dönme kapasitesi daha fazla olacaktır. Örneğin, tek gövde korniyerli birleşim çok esnek bir birleşimi ifade ederken, çift gövde korniyerli birleşimin tek gövde korniyerli birleşime göre daha rijit olduğunu söyleyebiliriz. Çelik yapılar birleşimin yarı-rijit davranışından etkilendikleri için bu birleşimlerin moment-dönme özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.



Şekil 2.7. Birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri (Yüksel 2001)

Birleşimler, içerdikleri bileşenlere, parametrelere ve bunların yerleştiriliş şekline göre değişik moment-dönme eğrilikleri oluştururlar. Birleşimlerin rijitlik veya esnekliği, korniyer kalınlığı, levha kalınlığı, birleşim derinliği, bulon çapı gibi geometrik parametrelere bağlıdır. (Sagiroglu ve Aydin 2013a,b)

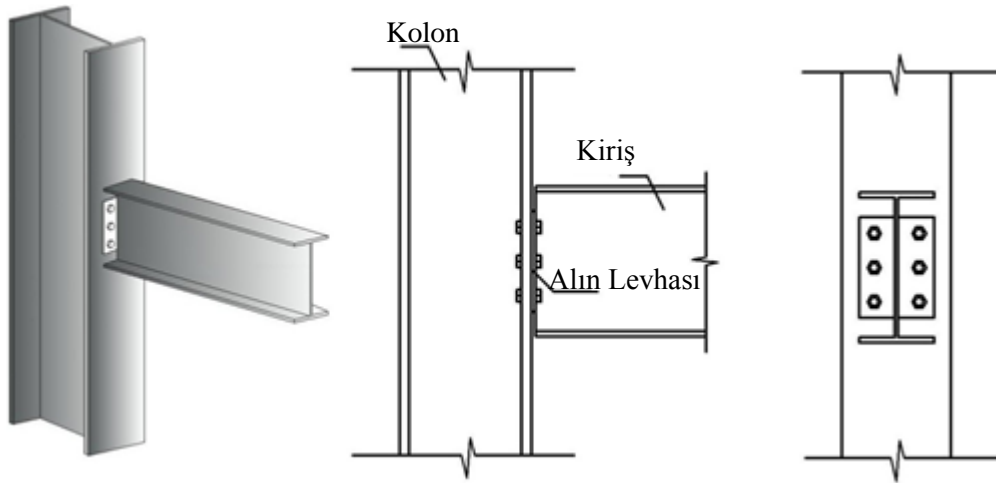
2.8. Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Sınıflandırılması

Kiriş-kolon birleşimlerinin uygulamadaki davranışlarına ulaşmak için deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Birleşimlerinin, imalatının tüm parametreleri dikkate alınarak sınıflandırılabilmesinin çok zor olmasından dolayı pratikte yarı-rijit birleşimlerin kullanılması gecikmiştir. Birçok birleşim tipi ve buna bağlı olarak çok sayıda parametrenin mevcut oluşundan bu durumun oluşması kaçınılmazdır.

Chen and Kishi (1989), çelik yapılarda kullanılan birleşim tipleri davranışlarının sınıflandırılması üzerine birçok çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda çelik yapılarda kullanılan birleşim tiplerinin sınıflandırılması yapılmıştır.

2.8.1. Kısa alın levhalı birleşim tipi

Kısa alın levhalı bir kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.8’de verilmiştir. Birleşimde kullanılan levha boyutu kiriş derinliğinden daha küçüktür. Bu birleşimde levha kirişe kaynaklanır ve daha sonra kolona bulonlanır. Bu tasarım ile oluşan düğüm noktası davranışı mafsallı gibi düşünülür ve kısa alın levhalı birleşim kiriş ile kolon arasında hareket aktarımını sağlar.

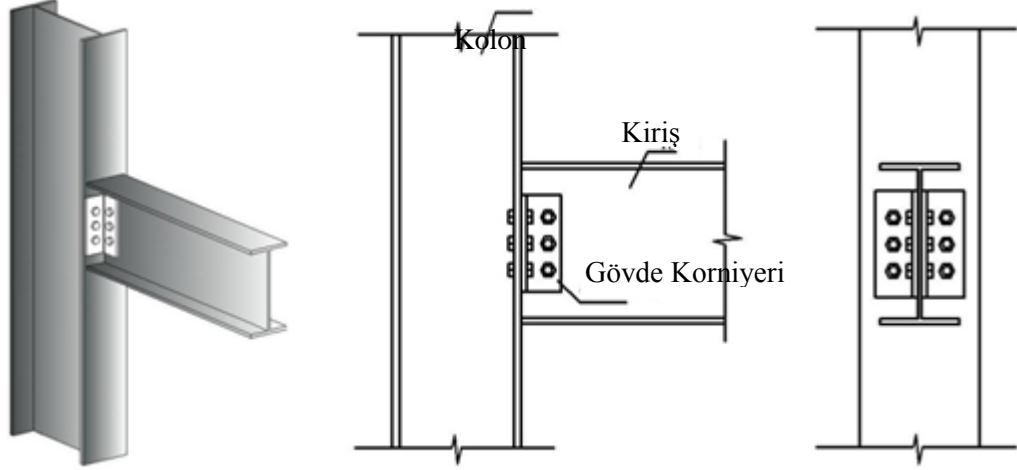


Şekil 2.8. Kısa alın levhalı birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri(Chen and Kishi 1989)

2.8.2. Çift korniyerli gövde birleşim tipi

Çift korniyerle yapılmış kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.9’da verilmiştir. Çift korniyerin kiriş gövdesine ve kolon başlığına kaynak veya bulonla sabitlenmesiyle yapılan birleşimlerdir. Bu tip birleşimlerde daha

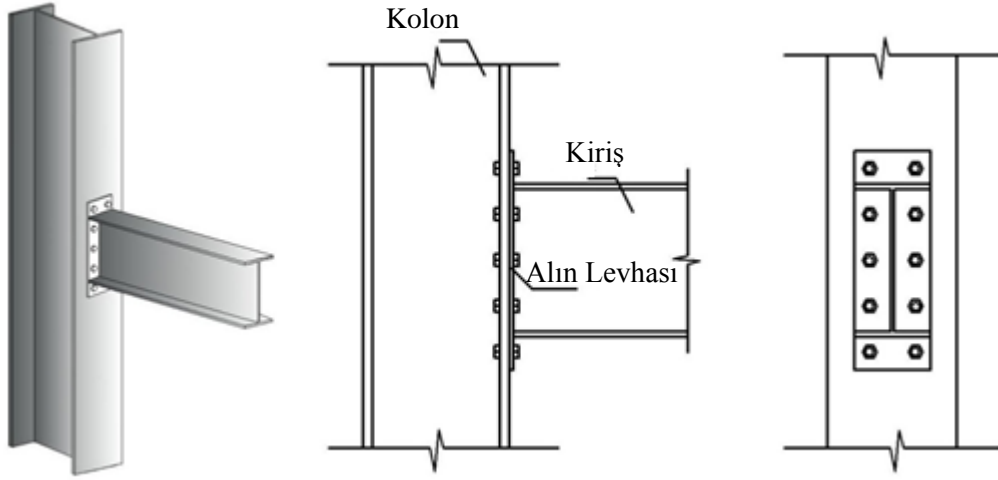
çok yüksek mukavemetli bulonlar kullanılmaktadır. Böylece düğüm noktasının rijitliği artırılmış olmasına rağmen yine de birleşim mafsallı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.9. Çift korniyerli gövde birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri (Chen and Kishi 1989)

2.8.3. Alın levhalı birleşim tipi

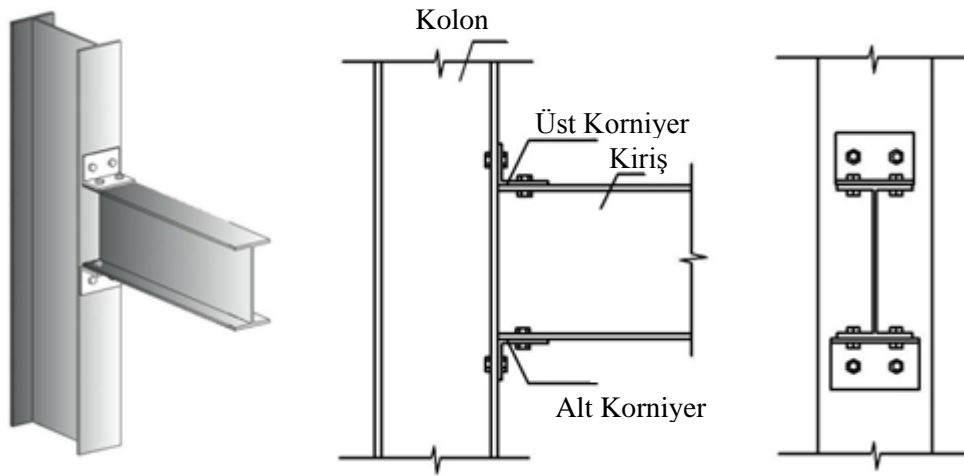
Alın levhalı kiriş kolon birleşiminin kesit, iki ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.10'da verilmiştir. Alın levhalı birleşimler Northridgen depreminden sonra çok sık olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şantiye kaynağı gerektirmediğinden uygulaması daha kolaydır. Çelik levha tam penetrasyonlu küt kaynağı ile kiriş ucuna kaynaklanır. Daha sonra ISO 8.8 veya 10.9 kalitesinde tam öngermeli bulonlar ile levha kolona bulonlanır. Alın levhası uzatılmış birleşimler, sadece çekme bölgesinde uzatılanlar ve hem çekme hem basınç bölgesinde uzatılanlar olmak üzere 2 çeşide ayrılırlar. Çekme bölgesinde uzatılan alın levhalı birleşimlerin kullanımı daha yaygındır. Bunun yanında çekme ve basınç bölgesinde uzatılan alın levhalı birleşimler, deprem yükünü momente dönüştürmek için kullanılır. Bu düğüm noktası rijite yakın davranış sergiler.



Şekil 2.10. Alın levhali birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri

2.8.4. Üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi

Üst ve alt başlık korniyerli bir kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.11’de verilmiştir. Bu tür birleşimlerde kiriş gövdesini kolona bağlayan korniyerler yoktur. Alt başlık korniyeri düğüm noktasına gelen kesme kuvvetini karşılarken, üst başlık korniyeri de kirişin çerçeve düzlemi dışına yapacağı deformasyonu engellemek için kullanılmıştır.

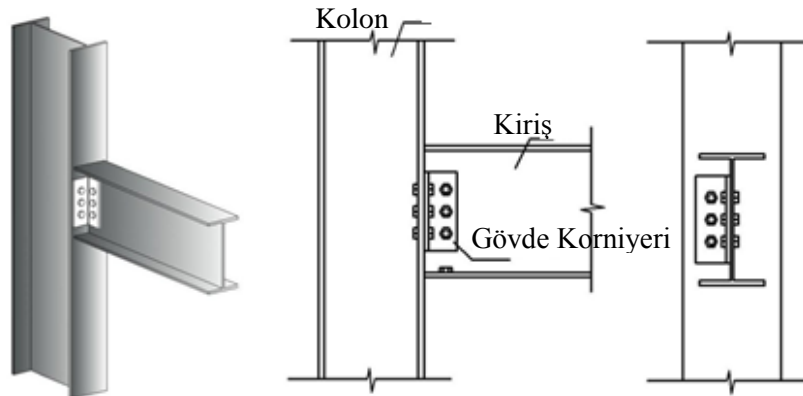


Şekil 2.11. Üst ve alt başlık korniyerli birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri (Chen and Kishi 1989)

Alt başlık köşebendinin kesme kuvvetini karşılayacağı için et kalınlığının kesme kuvvetini karşılayacak kadar kalın olması gerekir, ancak birleşimin ideal mafsala yakın olabilmesi yani dönme yapabilmesi için de fazla kalın olmaması gerekir. Köşebentlerin kolona bağlantısı bulonlarla yapılabildiği gibi kaynakla da oluşturulabilir, ancak alt başlık köşebendi kaynak dikişleri düşey çekilmeli, üst başlık köşebendi dikişleri ise dönme engellemenek için yatay çekilmelidir. Bunun yanında korniyerin kirişe bağlantısı için böyle bir sınırlandırma yoktur. Birleşimin rijitliği $M-\theta_r$ diyagramında yarı-rijit bölgeye denk gelmektedir (Chen and Kishi 1989).

2.8.5. Tek korniyerli gövde birleşim tipi

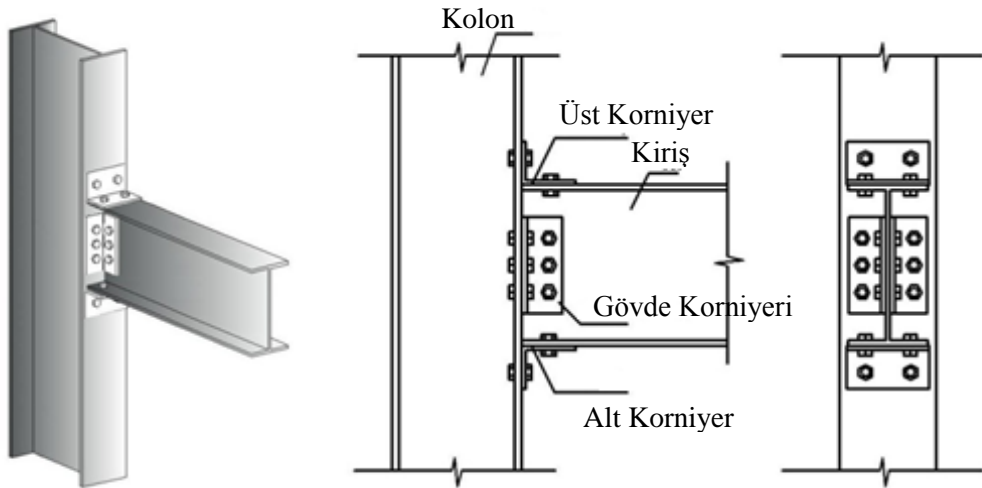
Tek korniyerle yapılmış kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.12’de verilmiştir. Tek korniyerin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve kiriş gövdesine sabitlenmesi yapılır. Yaygın olarak korniyer imalat yerinde kolona kaynatılıp, inşaat alanında kirişe bulonlanır. Tek levhalı birleşimlerde aynı korniyer birleşimde olduğu gibi yapılabilir. Tek levhalı birleşimde daha az malzeme gereksinimi duymasına rağmen rijitliği korniyerden fazladır. Çift korniyerli birleşimin, tek korniyerli birleşime oranla moment-dönme rijitliği yaklaşık iki katıdır. Kishi and Chen (1986) yaptığı deneylerle bu tip bir birleşimin moment aktarmadığı dolayısıyla böyle bir birleşimin mafsallı bir birleşim olarak göz önüne alınması gerektiğini belirtmişlerdir (Chen and Kishi 1989).



Şekil 2.12. Tek korniyerli gövde birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri (Chen and Kishi 1989)

2.8.6. Üst ve alt başlık korniyerli, gövde çift korniyerli birleşim tipi

Bu tip bir kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.13'de verilmiştir. Şekil 2.13'de de görüldüğü üzere bu tip bir birleşim kiriş gövdesindeki çift korniyerlerin yanı sıra kiriş üst ve alt flanşlarında da korniyerlerin kullanılmasında oluşmaktadır. Bu birleşimde kesme kuvvetini gövdede kullanılan korniyerler tarafından karşılandığı, momentin ise kirişin alt ve üst başlıklarında kullanılan korniyerler tarafından karşılandığı düşünülmektedir. Birleşimin rijitliği $M-\theta$ diyagramında yarı-rijit bölgeye denk gelir. (Chen and Kishi 1989)

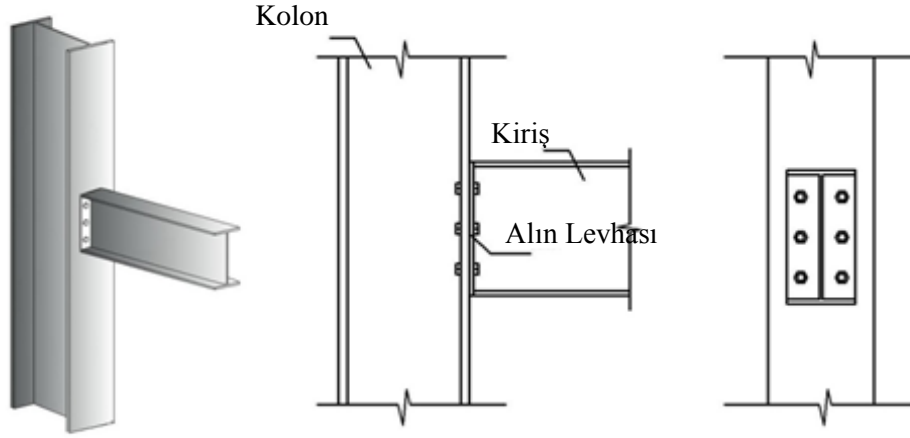


Şekil 2.13. Üst ve alt başlık korniyerli, gövde çift korniyerli birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri (Chen and Kishi 1989)

2.8.7. Kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi

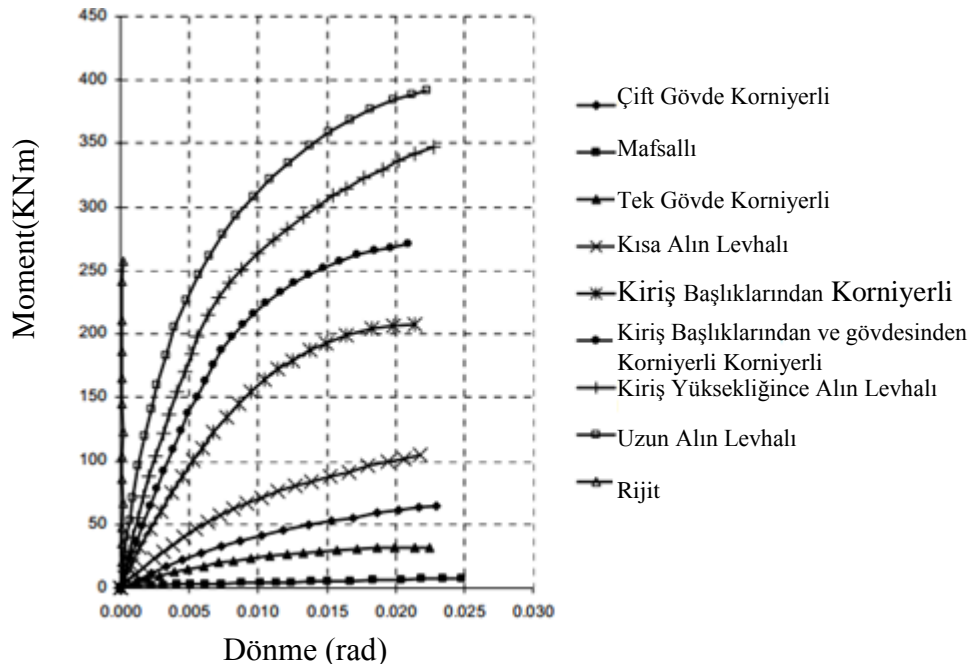
Kiriş derinliğine eşit alın levhası kullanılarak yapılmış bir kiriş-kolon birleşiminin kesit, iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.14'de verilmiştir. Bu tür birleşimlerde de alın levhalı birleşimlerdeki gibi önce atölyede levha kiriş ucuna kaynaklanır daha sonra şantiye sahasında bulonlarla kolona bağlanır. Şantiye kaynağı gerektirmediğinden uygulaması kolaydır. Bu birleşim tipi uzatılmış alın levhalı birleşim tipine göre daha zayıf olmasına rağmen, çatı detaylarında daha çok kullanılmaktadır. Bu tür

birleşimlerde gövde derinliğince alın levhalı birleşiminde uzatılmış birleşimlerden farkı, birleşimi rijitleştiren levhada uzama olmadığından bu tür birleşimler yarı-rijit birleşim olarak davranacağı kabul edilmektedir.



Şekil 2.14. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim 3 boyutlu görünüşü, kesit ve karşıdan görünüşleri (Chen and Kishi 1989)

Şekil 2.15’de $M-\theta$ diyagramlarının birleşim çeşidine göre değişimi verilmiştir.



Şekil 2.15. Birleşim tipleri ve $M-\theta$ diyagramları

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Sistemi ve Veri Toplama İçin Gerekli Cihazlar

3.1.1. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT);

Deneyleerde yük altında eğimleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılmaktadır. En az ölçü gösteren deformasyon cihazı 100 mm ve en çoğu 250 mm'dir ve hata oranı 0.001 mm'dir. Deney esnasında, düşmesini engellemek ve doğru ölçü vermesini sağlamak için bu aleti sabit yere bağlamak gerekmektedir. Dijital ve analog olmak üzere iki çeşidi vardır. Yapılan deneyleerde kullanılan LVDT(Linear Variable Differential Transformers,(doğrusal değişken fark transformatoru)) 100 mm, SDP-100C modeli Japonya da üretilmiştir. Şekil 3.1'de kullanılan LVDT gösterilmiştir. Deformasyon cihazları uygun bir şekilde dirençlere bağlandıktan sonra kablolar yardımıyla okunan veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.1. Deformasyon cihazı (LVDT) dijital cihazın görüntüsü

3.1.2. Gerilim pullarını (Strainage)

Birim deformasyon ölçebilen bu küçük pullar, çeşitli konfigürasyonlarda özellikleri tanımlı çelikler üzerine yapıştırılır. Özel bir teknikle imali hazırlanan çok ince bir tel,

ince plastik yaprakçık üzerine yerleştirilir. Gerekli yerlerdeki sağlamlaştırma bantları ve bağlantı kolları yapıştırılarak bir strain gauge yapılmış olur. Gerilme pullarının ölçtüğü yük nedeniyle oluşan elastik bölgedeki fiziksel deformasyonu, elektriksel sinyallere dönüştürerek veri toplama sistemi tarafından algılanmasını sağlar. Fiziksel deformasyon verisi, birim deformasyon formatında ölçüldüğünde, çeşitli malzeme özelliklerinden (elastik modül, poisson oranı vb.) bu malzemeleri çeliğin sınıfına ve laboratuvarın sıcaklıklarına göre seçilir. Gerilme pullarının kullanılacağı yer eğer metalik bir yüzey ise, o yüzey önce taşlanır, zımparalanır sonra aseton, eter gibi eriticilerle yüzey yağından temizlenir. Gerilme pulları için genellikle iki komponentli yapıştırıcılar kullanılır. Bu yapıştırıcılar ölçüm yapılacak yere sürülür. Gerilme pulları buraya istenen yönde konur. Özel plastik folye ile örtülür. Başparmakla birkaç dakika hafifçe bastırılır. Şekil 3.2’de gerilim pulları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gerilim pulları

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

Yükleme hücreleri; akademik çalışmalarda, laboratuvarlarda, endüstriyel tesislerde, depolama tanklarında ve silolarda sıklıkla kullanılan yük ya da kuvvet ölçme sensörüdür. Sadece basma yönünde, basma-çekme yönlerinde ya da farklı

konfigürasyon ve geometrilere (eğilme, kesme vb.) çalışan modelleri vardır. İki yönde çalışanlarına kuvvet sensörü (force transducer) adı da verilebilmektedir. Oluşacak diyafram etkisi ile hem basma hem de çekme yükleri okunabilir. Bu alet hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Hidrolik pompa yükü yüklemek için kullanılır ve yükleme hücre aleti, hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Kullanılan yükleme hücresi TEDS markalı ve maksimum kapasitesi 250 kN'dur. Şekil 3.3'de yük hücresi görülmektedir.

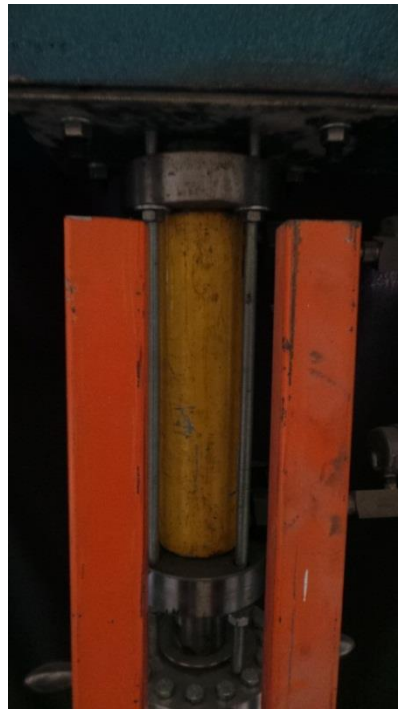


Şekil 3.3. Yük hücresi

Kullanılan pompa Amerika Birleşik Devletleri üretimi olup Enerpac U10M modelidir. Kullanılan pompada hidrolik pistonu basabilmek için iki adet hortum sistemi bulunmaktadır. Hortumlardan biri hidrolik yağı basarken diğeri de hidrolik yağı pompanın deposuna geri çekmektedir. İstenilen hıza ayarlanabilmesi için valfi bulunmaktadır. Yükleme manüel olarak kumanda yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 3.4'de pompa şekli görülmektedir. Pompanın kapasitesi 90 ton dur ancak kullanılan hidrolik pistonun (Şekil 3.5) kapasitesi 22 tondur.



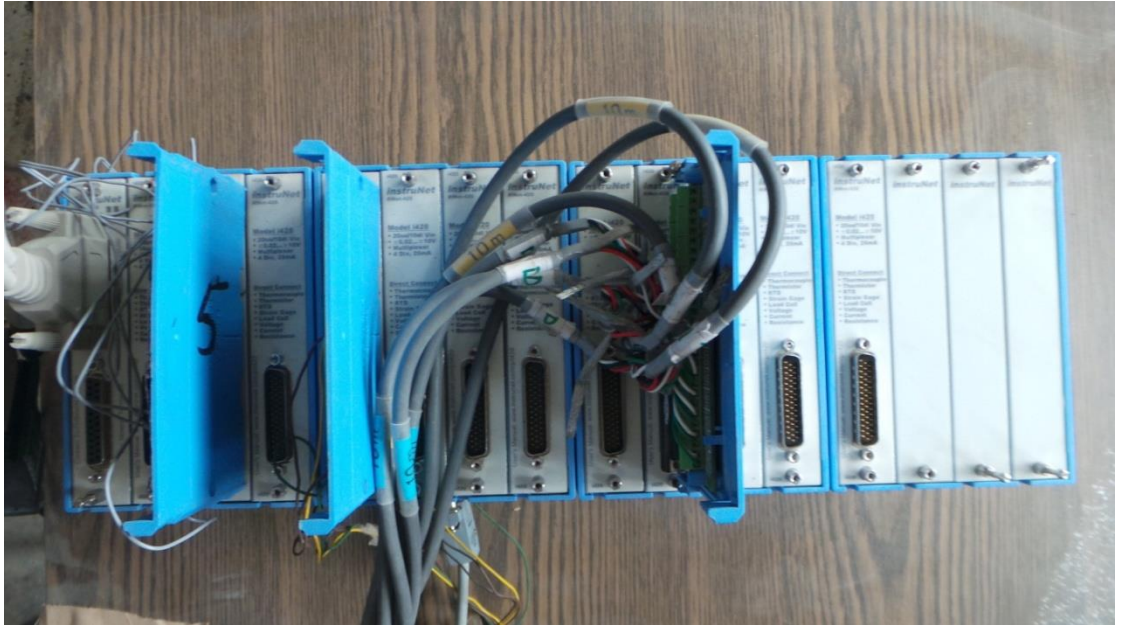
Şekil 3.4. Hidrolik pompa



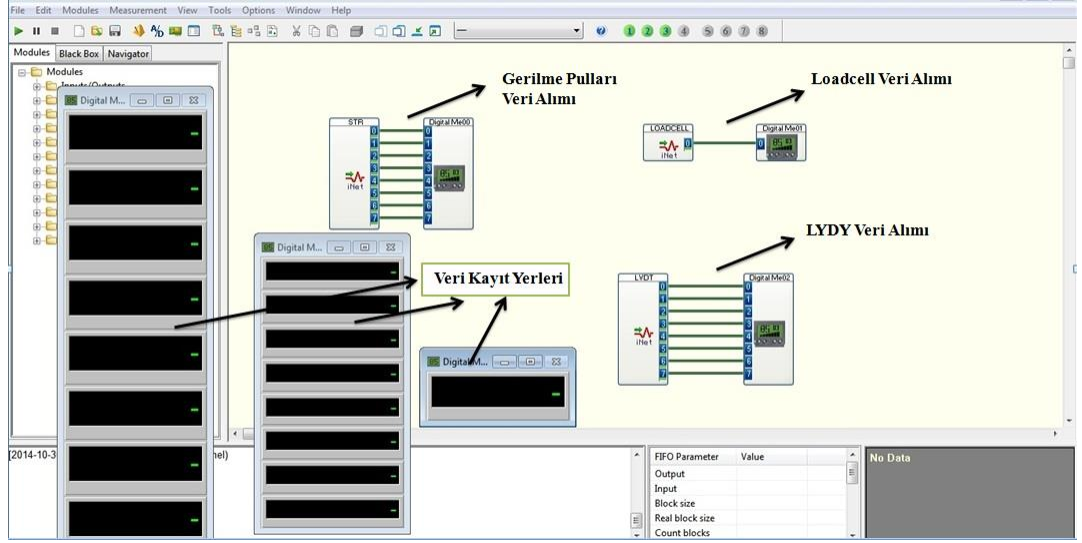
Şekil 3.5. Hidrolik piston

3.1.4. Veri toplama sistemi (Data Logger)

Veri toplama cihazı genel amaçlı dinamik ve statik veri toplama cihazlarını içermektedir. Bu cihazlar aynı zamanda dinamik ve statik sayısallaştırıcı, "Data Logger" ve "Dynamic Strain Meter" olarak da adlandırılırlar. Bu cihaz ilk bakışta ön plana çıkan özellikleri yüksek çözünürlük, yüksek dinamik aralık, eş zamanlı örnekleme yeteneği, hızlı örnekleme, ivmeölçerler ile birim deformasyon ölçerleri de içeren geniş sensör uyumluluğudur. Mevcut projedeki deneylerde kullanılan veri toplama cihazının modeli Insturinet I420 modeli ABD üretimi, 120 kanallı, 13 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 ± 20 mV ile ± 10 V aralığındadır. Veriler toplandıktan sonra DasyLab programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. DasyLab programı strain gauge, loadcell ve LVDT lerin özelliklerine bağlı olarak hazırlanmıştır. DasyLab programından okunan veriler çeşitli programlar sayesinde MS Excel ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.6'da datalogger, Şekil 3.7 DasyLab programı görülmektedir.



Şekil 3.6. Veri toplama sistemi (datalogger)



Şekil 3.7. DasyLab programı

3.2. Deney Düzenegi

İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı Laboratuvarı'nda öncelikle mevcut çerçeve sisteminde değişiklikler yapıldı. Mevcut çerçeve sistemine kaynak ve bulonlar yardımıyla hidrolik pistonumuz bağlandı, piston uzunluğumuz yetersiz olduğu için mevcut kolonlarda delikler açıldı ve hidrolik pistonumuzun bağlı olduğu giriş seyyar hale getirildi. Deneylerde kirşin burkulmasını engellemek için sistem geliştirildi, bunun için iki adet seyyar kolan bağlandı ve daha sonra bu kolonlara mesafeleri ayarlanabilen kutu profiller monte edildi. Zemin iyileştirilmesi yapıldı, zemin 1.5x0.9x1.5 boyutlarında kazılarak ankraj elamanları yerleştirildi ve çelik bağlantılı kütle betonu döküldü. Şekil 3.8 deney düzenegi görülmektedir.



Şekil 3.8. Deney düzeneği

Deformasyon cihazlarını sisteme bağlamak için çerçevesel sistem imal edildi. Bunun yapılmasında ki amaç; deney esnasında deformasyon cihazlarını sabitlemek ve ölçüm hassasiyetinin korunmasıdır. Şekil 3.9’da çerçevesel sistem görünmektedir.



Şekil 3.9. Çerçeve ve deney düzeneği

3.3. Deneysel Verilerin Formüllerle İstenilen Verilere Çevrilmesi

Bu deneysel araştırmada amaç moment-dönme davranışını incelemek Bu nedenle kirişin mesnetleri ankastre olacak ve mesnetlerdeki moment aşağıdaki formül ile hesaplanacaktır.

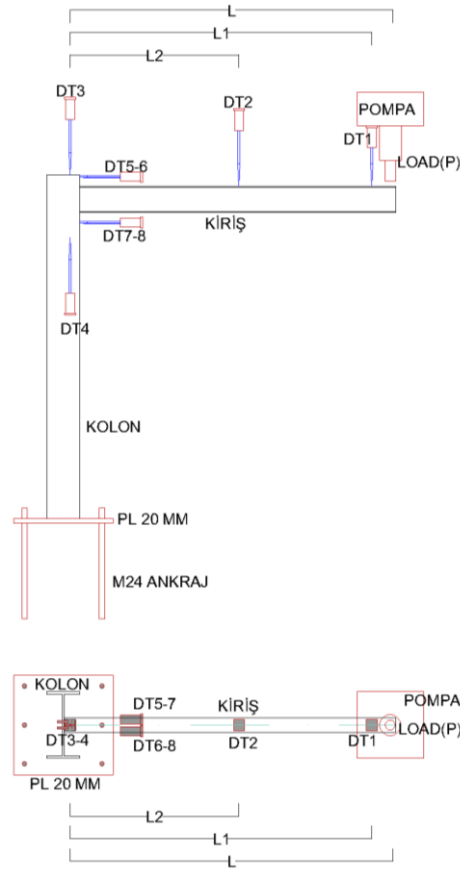
$$M=PL$$

Burada;

P= Eksenel yük

L= Kiriş açıklığıdır.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi yatay ve dikey LVDT'lerle deplasmanlar ölçülerek aşağıdaki formüller ile kirişlerde ve birleşimlerdeki dönme hesaplanacaktır (Coelho and Bijlaard 2007).



Şekil 3.10. Deney sistemi birleşim tipi için kirişin LVDT bağlama ve yükleme noktaları gösterimi

Sabit yük altında çeliğin dönme açısının bulunması için diferansiyel yonteme göre;

$$\iiint EIV = -P$$

$$\iint EIV = -PX + C_1$$

$$\int EIV = \left(\frac{-PX^2}{2}\right) + C_1X + C_2$$

$$EIV = \left(\frac{PX^3}{6}\right) + \left(\frac{C_1X^2}{2}\right) + C_2X + C_3$$

Burada;

E= Kirişin elastisite modülü

I = Kirişin atalet momenti

X=0, $\Theta=0$ için $\rightarrow C_2=0$

X=L, M=0 için $\rightarrow C_1=PL$

X=0, $\delta=0$ için $\rightarrow C_3=0$

Burada;

Θ = Kirişin dönme değeri

δ = Kirişin deplasmanı

$$\delta_{b,el}(DT_i) = -\frac{P}{E_b I_b} \left(X^3 \frac{DT_i}{6} \right) - L_{load} \left(X^2 \frac{DT_i}{2} \right)$$

$$\theta_B = \frac{\arctan(\delta_{DT1} - \delta_{DT4} - \delta_{b,el}(DT1))}{L_1} = \frac{\arctan(\delta_{DT2} - \delta_{DT4} - \delta_{b,el}(DT2))}{L_2}$$

Kontrol etmek için;

$$\theta_b = \frac{\arctan(\delta_{DT1} - \delta_{DT3} - \delta_{b,el}(DT1))}{L_1} = \frac{\arctan(\delta_{DT2} - \delta_{DT3} - \delta_{b,el}(DT2))}{L_2}$$

$$(DT = LVDT)$$

$$\Phi = \frac{\arctan(\delta_{DT5} - \delta_{DT6})}{(h_b - t_{fb})}$$

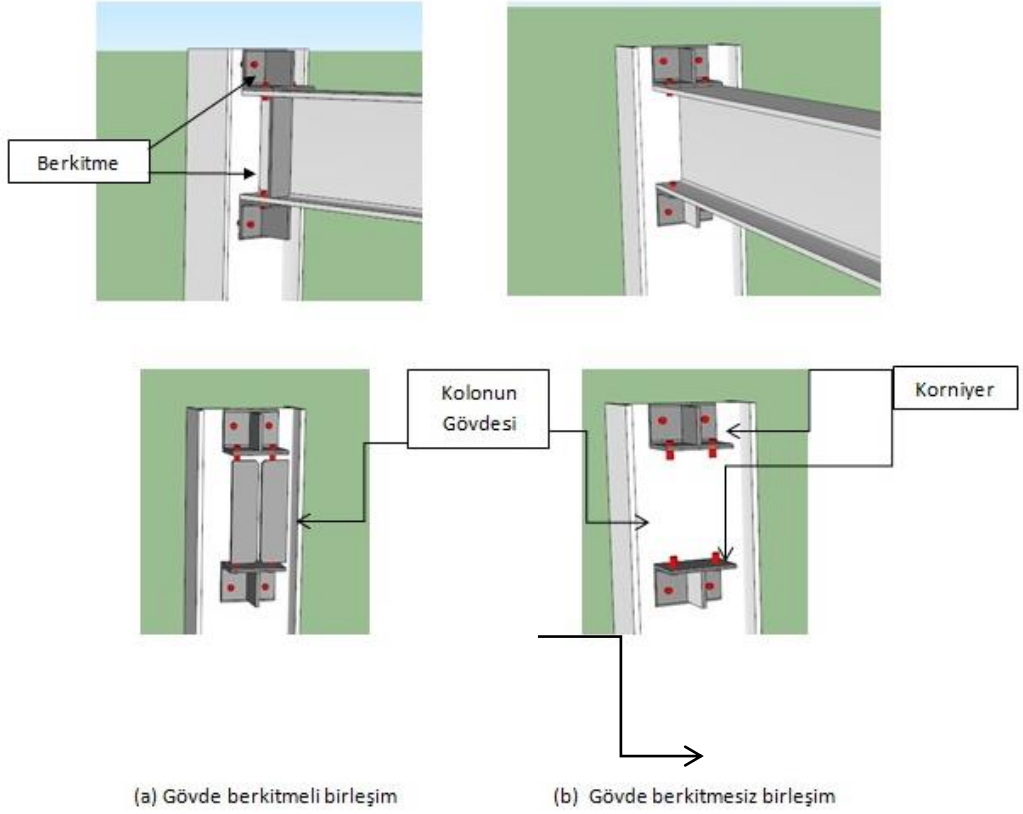
$$\Phi = \frac{\arctan(\delta_{DT7} - \delta_{DT8})}{(h_b - t_{fb})}$$

b= kiriş

fb= kirişin flanşı

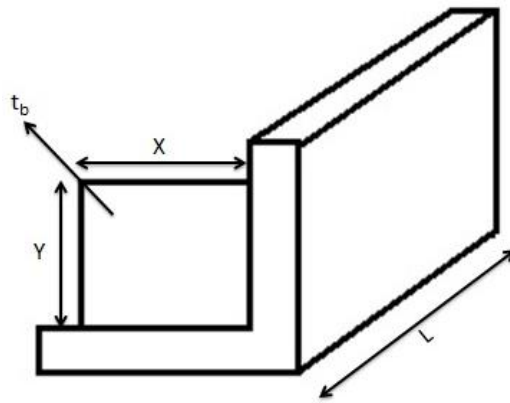
3.4. Modellerin Seçimi ve Adlandırılması

Kiriş kolon birleşiminin gövdede yapıldığı literatür ve şartnamelerde az olmasından yola çıkarak, kirişin kolon gövdesine bağlandığı birleşim tipi seçilmiştir. Birleşim tipinde ise birleşimin davranışını iyileştirmek için alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşimlerin başlık ve gövdesinde kullanımı önerilmektedir. Literatürde berkitmelerin kullanımının birleşimin dönme kapasitesini iyileştirdiği gözleğinden dolayı bu çalışmada birleşim tipinde korniyerli berkitmenin kullanılması düşünülmüştür. Bu araştırmada önerilen birleşim tiplerine en yakın birleşim tipleri bazı araştırmacılar tarafından (Xiao *et al.* 1994; Coelho *et al.* 2004a, 2004b; Coelho and Bijlaard 2007; Vellascovd 2007; Piluso and Rizzano 2008; Abidelah *et al.* 2012) 1994-2012 yıllarında yapılmıştır. Şekil 4.10'da bu çalışmaya esas olan birleşim tipi görülmektedir.



Şekil 3.11. Deney birleşim çeşitleri

Şekil 3.12’de birleşimlerin boyut simgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Birleşimin detayı

Çizelge 3.1 deney isimler ve özellikleri gösterilmiştir bu çizelgede deneylerin çeşitleri laboratuvardaki makinelerin kapasitesine ve çok kullanılan köşebentler ve berkitmelere bağlı olarak seçilmiştir

Çizelge 3.1. Deney elemanları ve detayları

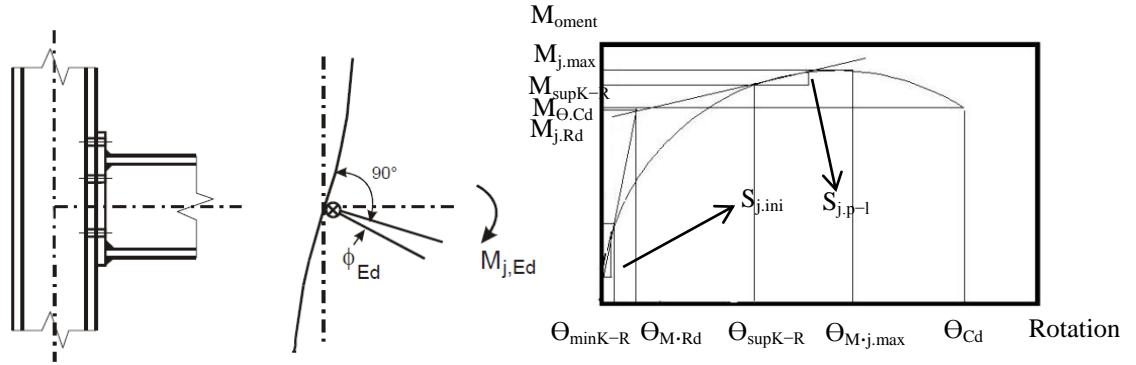
NO	Kolon profili	Kiriş profili	Alt-üst başlık korniyerleri	Korniyer boyu(L) (mm)	Alt-üst başlık berkitme kalınlığı(t_p) (mm)	Gövde Berkitmesi	Kiriş berkitme kalınlığı(t_f)	Bulon çapı	X_{MAX} ve Y_{MAX}
1	IPE300	IPE120	L60x60x6	73	10	VAR	10	8	5,1
2	IPE300	IPE120	L60x60x6	64	5	VAR	10	8	5,1
3	IPE300	IPE120	L60x60x6	55	5	VAR	10	8	5,1
4	IPE300	IPE120	L60x60x6	73	5	VAR	10	8	5,1
5	IPE300	IPE120	L60x60x6	73	5	YOK	-----	8	5,1
6	IPE300	IPE120	L50x50x5	73	5	YOK	-----	8	4,2
7	IPE300	IPE120	L50x50x5	73	5	VAR	10	8	4,2
8	IPE300	IPE120	L50x50x5	64	5	VAR	10	8	4,2
9	IPE300	IPE120	L50x50x5	55	5	VAR	10	8	4,2
10	IPE300	IPE120	L50x50x5	73	10	VAR	10	8	4,2

4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Bu araştırma kapsamında iki grup deney yapılmıştır. Bu gruplar F60 ve F50 olarak adlandırılmıştır. Her bir grubun içerisinde beşer adet deney yapılmıştır. Korniyer boylarının değiştirilmesi, berkitme ve korniyer kalınlığı incelenmiştir. Ayrıca her grup deneyleri birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak iki grup birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

4.1. Eurocode-3 Yönetmeliği Tasarımlarda Moment-Dönme Özellikleri

Şekil 5.1’de görülen moment-dönme eğrisi, eğilme momenti (M_{Rd}) ile bu momente karşılık gelen dönme ($\Theta_{M_{Rd}}$) arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Ayrıca, Şekil 4,1’de görüldüğü gibi genel olarak moment dönme eğrisi doğrusal değildir.



Şekil 4.1. Görülen moment-dönme eğrisi

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 (moment resistance) ($M_{j,max}$); moment-dönme eğrisindeki maksimum momente eşittir.
- 2- Dönme rijitliği (rotational stiffness) ($S_{j,ini}$); sekant rijitliğidir. Başlangıç rijitliği $S_{j,ini}$ elastik bölgenin eğimine eşittir.
- 3- Dönme kapasitesi (rotation capacity) (Θ_{cd}); moment-dönme eğrisindeki maksimum dönmeye eşittir.

Bu yüzden, Bose *et al.* 1996 yılında moment dayanımı, dönme rijitliği ve dönme kapasitesin bulmak için 18 adet gerçek deneysel çalışma yapmışlardır. Ayrıca, aynı araştırmacılar, 1991 yılında sonlu elemanlar yoluyla birleşimlerde moment-dönme eğrisi elde edilmiştir.

4.2. Deneilerin Hazırlaması

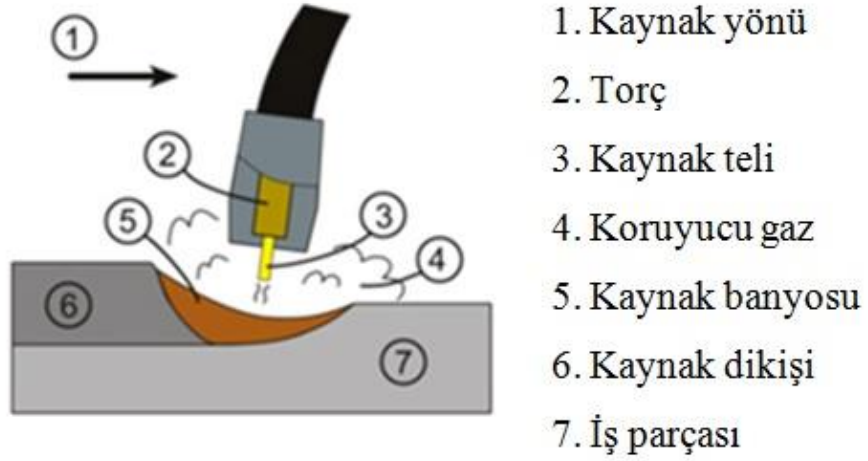
Çelik malzemesi (ST37) seçildikten sonra kesmeye başlanılıyor her bir çelik malzemesinin boyu 12 metre olduğundan dolayı kolon ve kirişler testere makinesi yardımıyla 1.5 m boyunda kesildikten sonra matkapla bulon delikleri deliniyor. Şekil 4.2'de testere ve matkap görülmektedir. Birleşimlerde aynen testere makinesi yardımıyla kesildikten sonra bulonların delik yerleri matkap yardımıyla delinip hazırlanıyor. Kolonun ankraj plakası plazma yardımıyla yaklaşık sıfır hata oranıyla kesiliyor, kesilen plakalar gaz altı kaynakla kolonlara kaynatılıyor.



Şekil 4.2. Matkap ve CNC kesme makinesi

Gaz altı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen bir elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak bölgesine sürekli şekilde beslenen (sürülen), masif haldeki tel elektrod eriyerek tükendikçe kaynak metalini oluşturur. Elektrod, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazlar tarafından korunur (Şekil 4.3). Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya

neden olur. Başlıca türleri MIG-MAG ve WIG (TIG) gaz altı kaynak teknikleridir. Bu kaynak türünde koruyucu gaz olarak Argon ve Helyum gibi soy gazlar kullanan MIG (Metal InertGas) kaynak tekniği ile koruyucu gaz olarak aktif bir gaz olan Karbondioksit kullanan MAG (Metal Active Gas) teknikleri en yoğun olarak kullanılır. Diğerlerine göre nispeten daha az kullanılan WIG tekniğinin diğerlerinden farkı erimeyen Wolfram (Tungsten) elektrod kullanılmasıdır. (Deren *et al.*2008)



Şekil 4.3. Gazaltı kaynağı

Avantajları:

1. Gaz altı kaynağı örtülü elektrod ark kaynağına göre daha hızlı bir kaynak yöntemidir. Çünkü;
 - Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine sürekli beslendiği için kaynakçı örtülü elektrod ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir.
 - Cüruf oluşmadığı için örtülü elektrodlardaki gibi her paso sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur ve kaynak metalinde cüruf kalıntısı oluşma riski olmadığından, daha kaliteli kaynaklar elde edilir.

- o Örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrodlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığılma hızına sahiptir.
2. Gaz altı kaynağı ile elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellikle sertleşme özelliğine sahip çeliklerde önemlidir.
 3. Gaz altı kaynağında derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar.
 4. İnce malzemeler çoğunlukla TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanarak veya kullanmadan birleştirilse de, gaz altı kaynağı ince malzemelerin kaynağına örtülü elektrod ark kaynağından daha iyi sonuç verir.
 5. Hem yarı otomatik hem de tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur.

Dezavantajları:

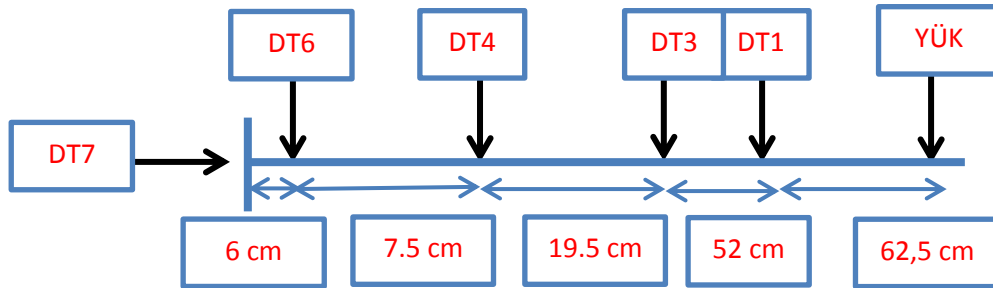
1. Gaz altı kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
2. Gaz altı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaşılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
3. Sertleşme özelliği olan çeliklerde gaz altı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir. Çünkü örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur.
4. Gaz altı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, örtülü elektrod ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir.

Her bir deney için iki adet moment-dönme grafiği çizilmiştir. Bunlardan birincisi ilk yüklemeye ikincisi de ikinci yüklemeye göre çizilmiştir. Her deneyde mukavemet bölgesi dayanım özellikleri ve dönme özellikleri belirlenmiş ve gerilme pulları

yardımla elastik-plastik bölgesi belirlenmiştir.

4.3. Deney F60-L73-TF10-TB10-B8 (EXP 1)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulu kullanılmıştır. Şekil 4,4'de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Deneylerimizde piston uzunluğumuz yeterli olmadığı için deneylerde pistonun bağlı olduğu kiriş aşağı kaydırılarak sabitlenmiştir. Bunu yapmamızın nedeni ise ilk yüklemde çizilen moment-dönme grafiğimizin devamını sağlamak ve birleşimin kırılmasını görebilmektir. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 1.5 cm olmuştur. Şekil 4.5'de kolonda meydana gelen sehim gösterilmiştir.



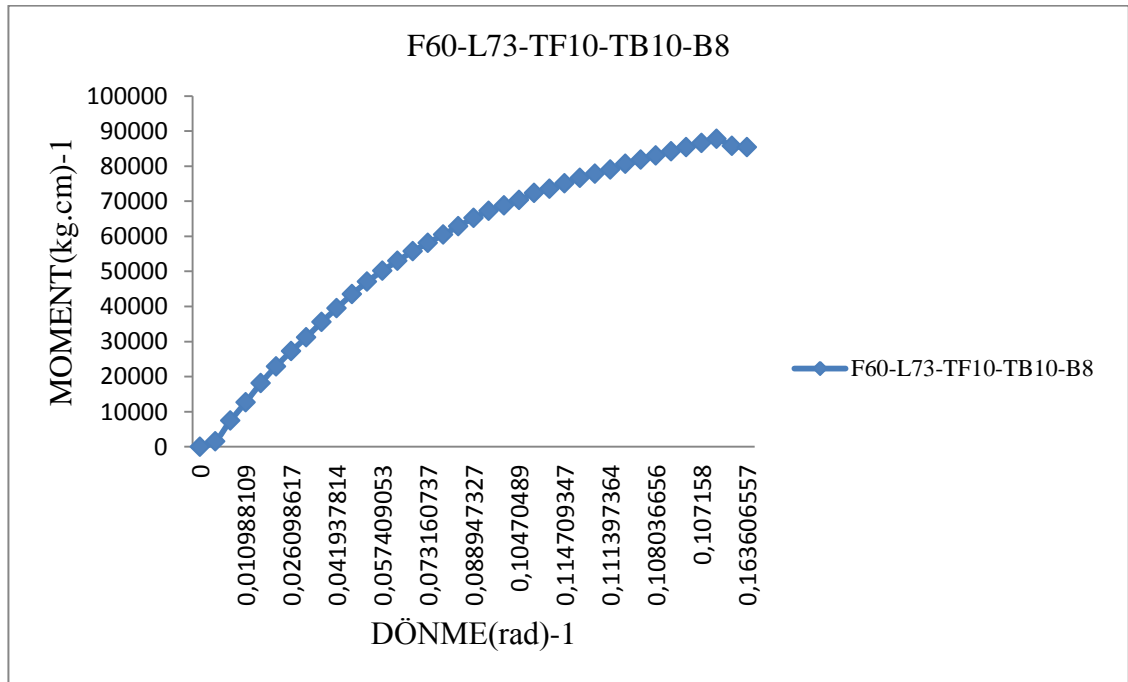
Şekil 4.4. Deney düzeneği



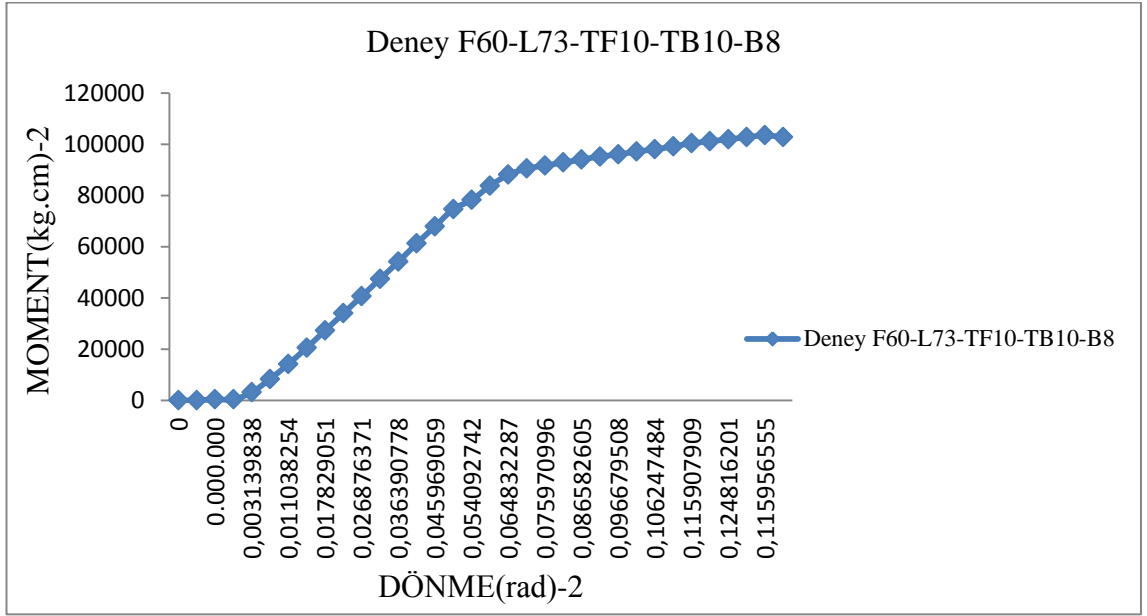
Şekil 4.5. Çelik kiriş-kolon ve bulonlarda meydana gelen kırılmalar



Şekil 4.6. Kolonda meydana gelen sehım gösterilmiştir



Şekil 4.7. Moment-dönme grafiği birinci yükleme

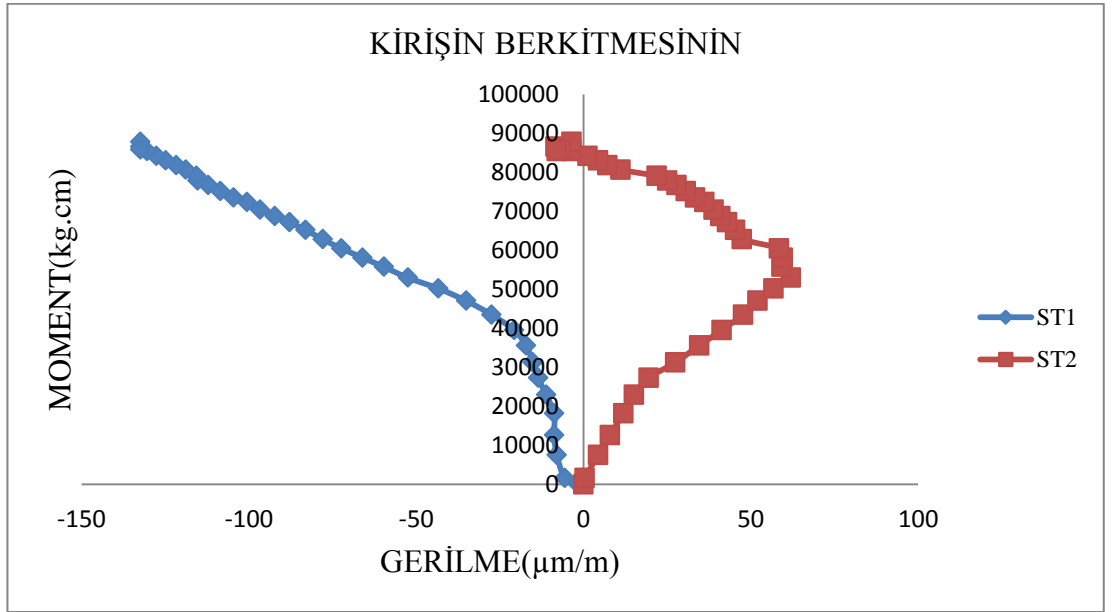


Şekil 4.8. Moment-dönme grafiği ikinci yükleme

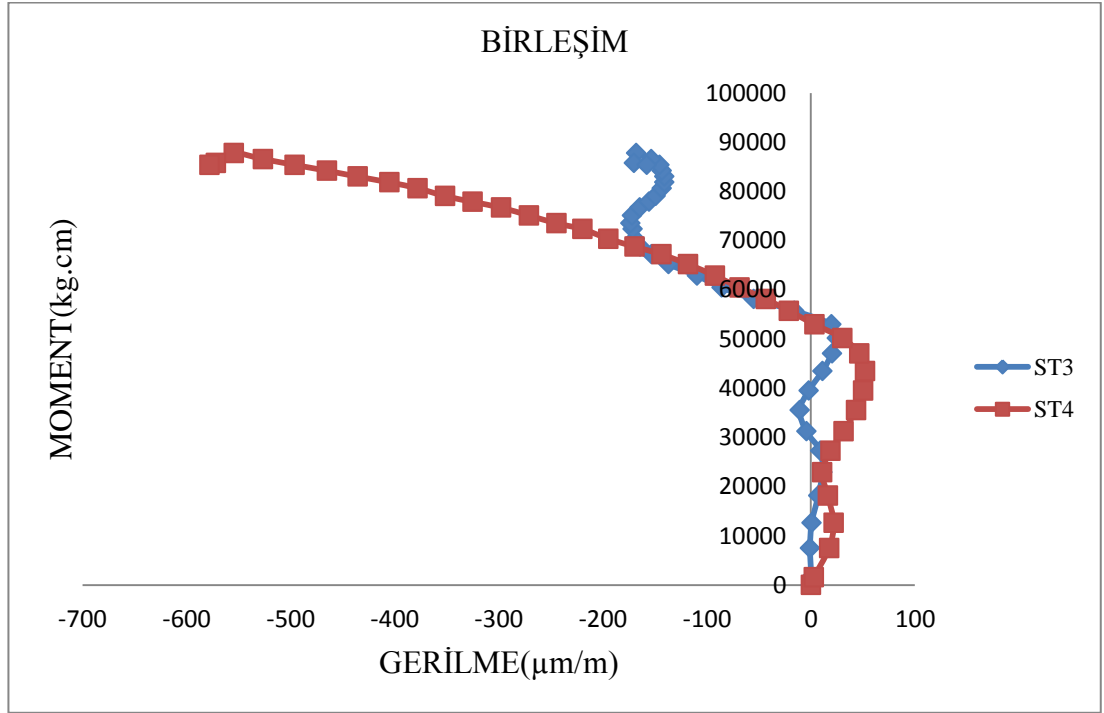
Çizelge 4.1. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{ØCd}	S _{j.ini}	S _{j.p-1}	S _{j.ini/Sj.p-1}	ØMR.d	ØMin . K.R.	ØMsup. k.R	Ø-M _{j. max}	Ø _{C.d}
EXP 1-1	47039.33-58107.42	55735.687	86568.198	83382.330	0.812	0.261	3.110	0.057	0.052	0.0732	0.1072	0.1636
EXP 1-2	67998.8466-88161.303	83812.530	102788.951	102788.950	0.928	0.202	4.583	0.046	0.046	0.0648	0.1203	0.1259

Moment-dönme değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %33.49 oranında birinci yüklemden fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %15.78 oranında birinci yüklemden fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %22.48 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ki ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Kirişin berkitmesi için moment-gerilme grafiği



Şekil 4.10. Birleşim noktası için moment-gerilme grafiği

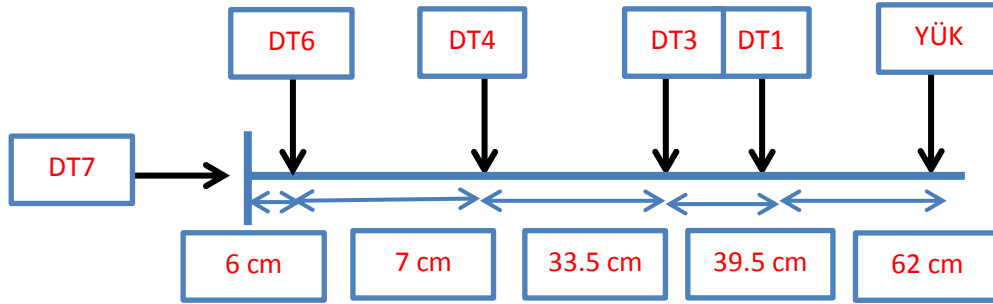
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 birlikte değerlendirildiğinde kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde ki gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehim ve birleşimin kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.5 de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deneyin sonlandığı görülmektedir. Şekil 6 da ise kolonda meydana gelen sehim görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.4. Deney F60-L64-TF5-TB10-B8 (EXP2)

Bu deneyimizde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Loadcell kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulu kullanılmıştır. Şekil 4.11 de LVDT

bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Bir önceki deneylerde olduğu gibi gerekli düzenlemeler yapılmış ve deneye devam edilmiştir. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2 cm olmuştur.



Şekil 4.11. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



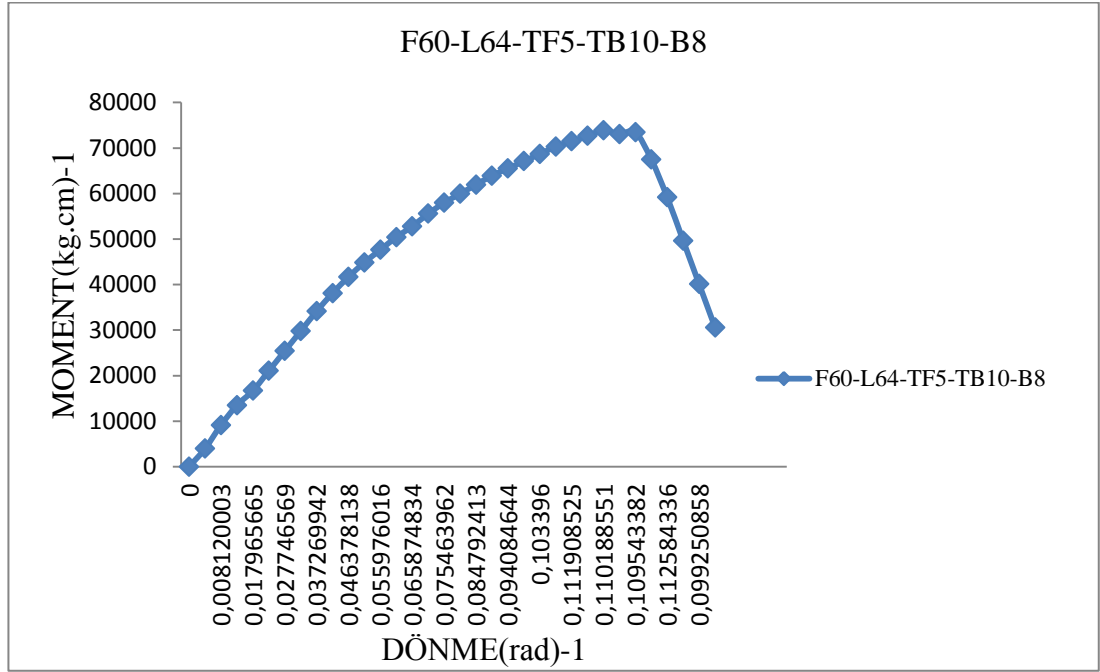
Şekil 4.12. Kiriş- kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası



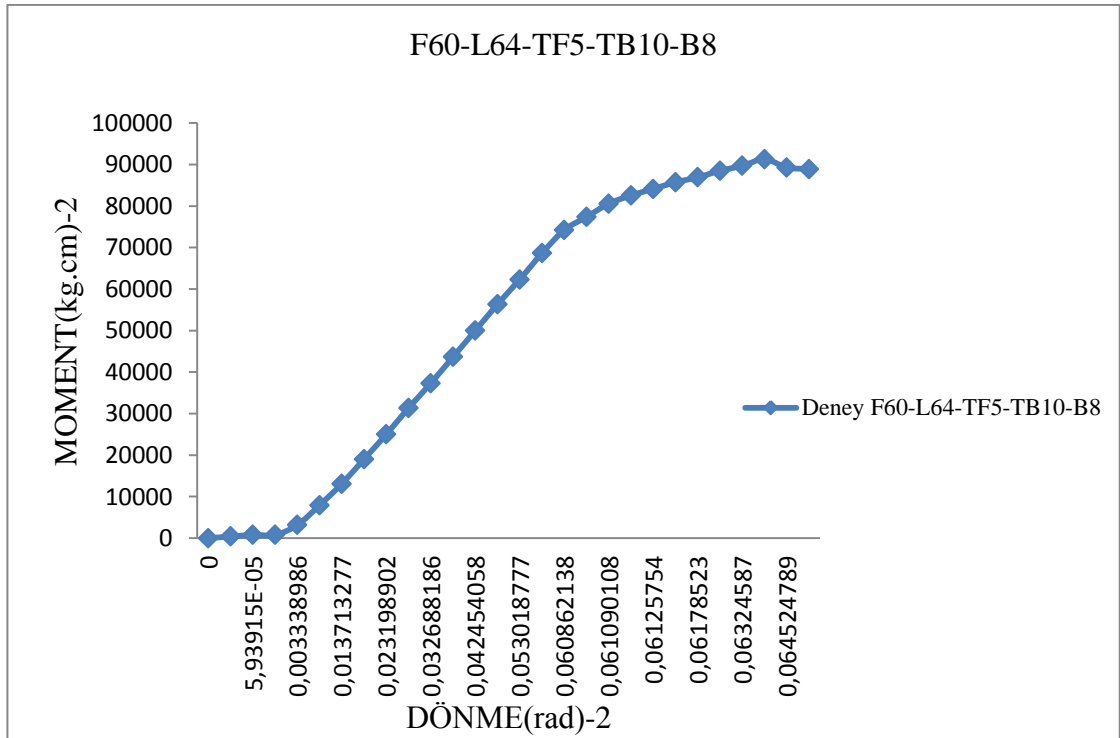
Şekil 4.13. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları



Şekil 4.14. Kolonda meydana gelen sehim



Şekil 4.15. Moment-dönme eğrisi

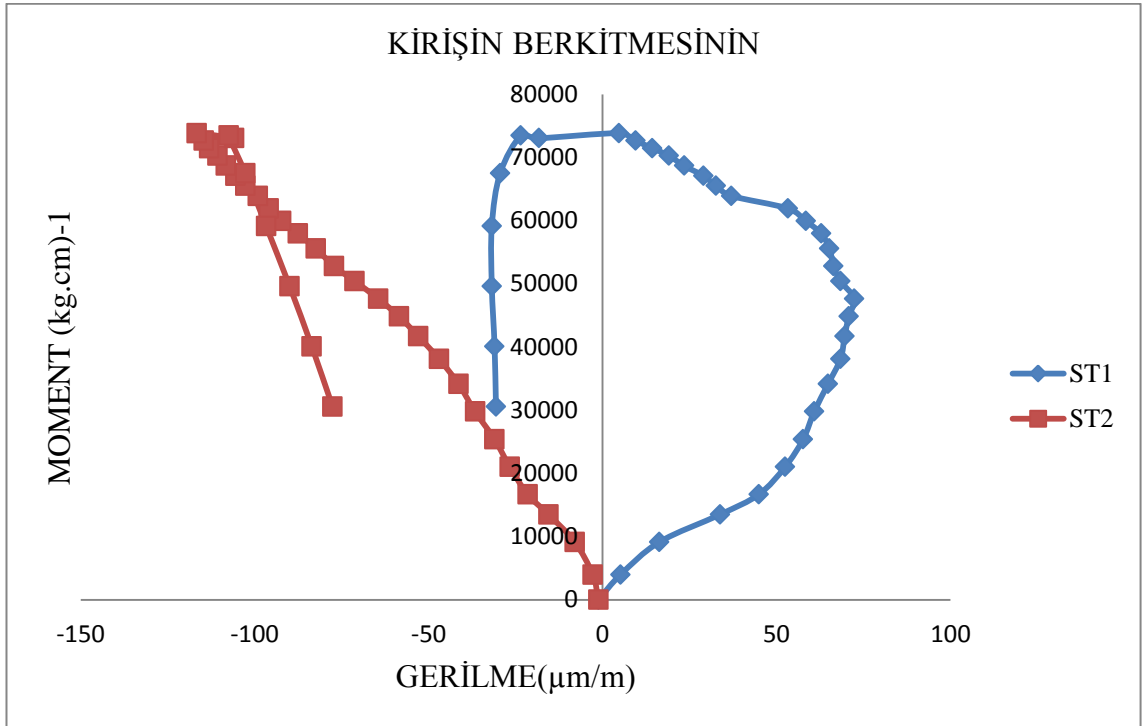


Şekil 4.16. Moment- Dönme eğrisi

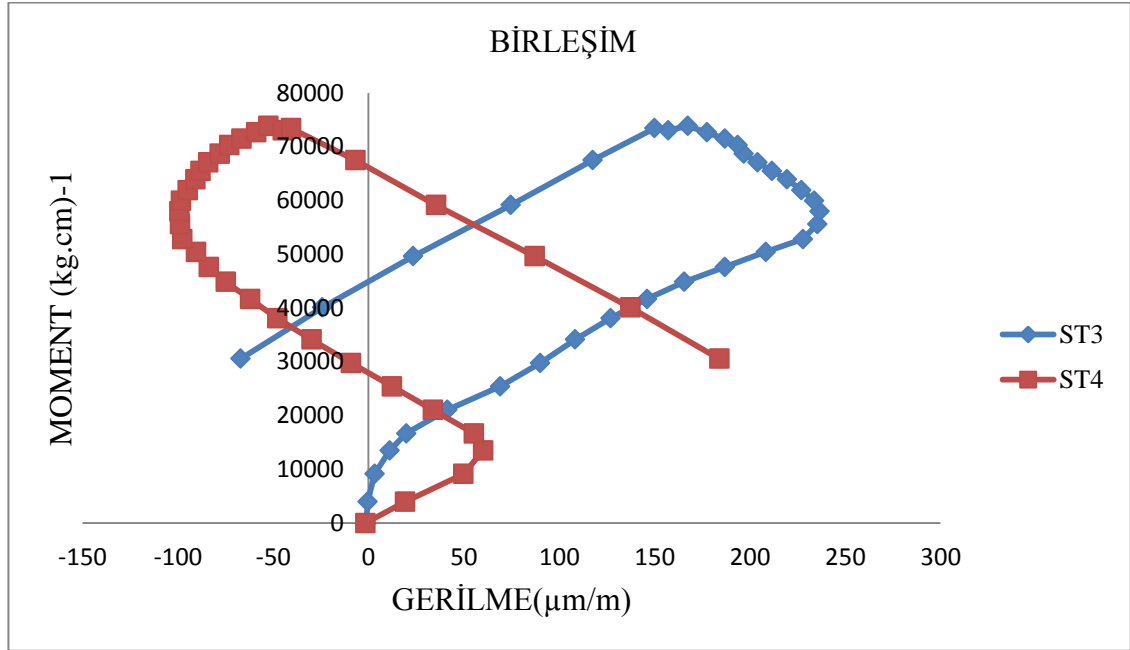
Çizelge 4.2. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{Øc.d}	S _{j.ini}	S _{j.p-1}	S _{j.ini/S_{j.p-1}}	ØMR.d	ØMin K.R.	ØMsu p.k.R	Ø-Mj. max	Ø _{C.d}
EXP 2-1	44859.83-57960.498	52799.640	72649.119	67488.256	0.8544	0.3833	2.229	0.065	0.051	0.075	0.111	0.110
EXP 2-2	74226.2772-85177.18	77401.730	91294.340	88912.761	0.767	0.1965	3.903	0.061	0.608	0.061	0.063	0.065

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %31.78 oranında birinci yüklemde fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %20.42 oranında birinci yüklemde fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %7.96 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.17. Kirişin Berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.18. Birleşimin moment-gerilme grafiği

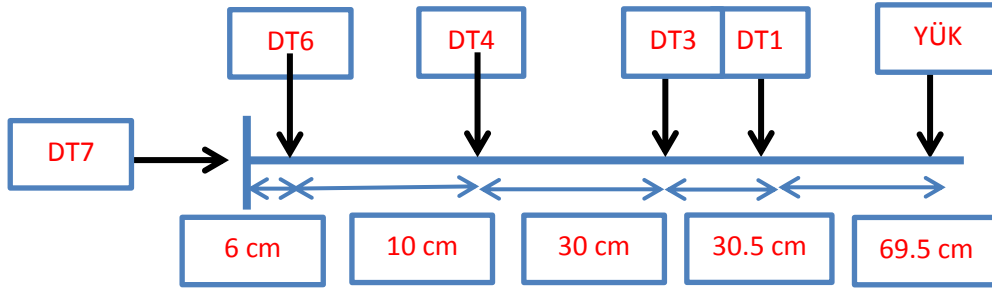
Şekil 4.12'e bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranla çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.13'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı. Şekil 4.14'de ise kolonda meydana gelen sehimi görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.5. Deney F60-L55-TF5-TB10-B8 (EPX-3)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.19'da LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Daha önceki deneylerde olduğu gibi gerekli

düzenlemeler yapıldı ve deneylere devam edilerek ilk yüklemde çizilen moment-dönme grafiğimizin devamını sağlandı ve birleşimin kırılması görüldü. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2 cm olmuştur.



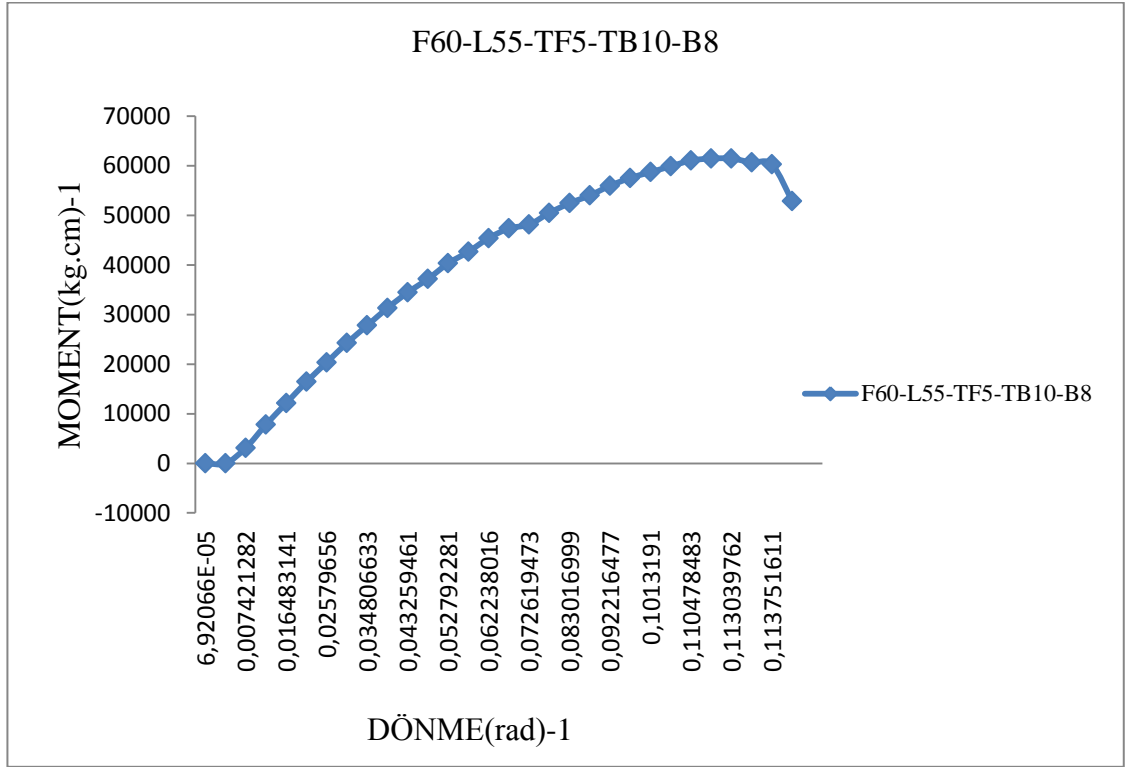
Şekil 4.19. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



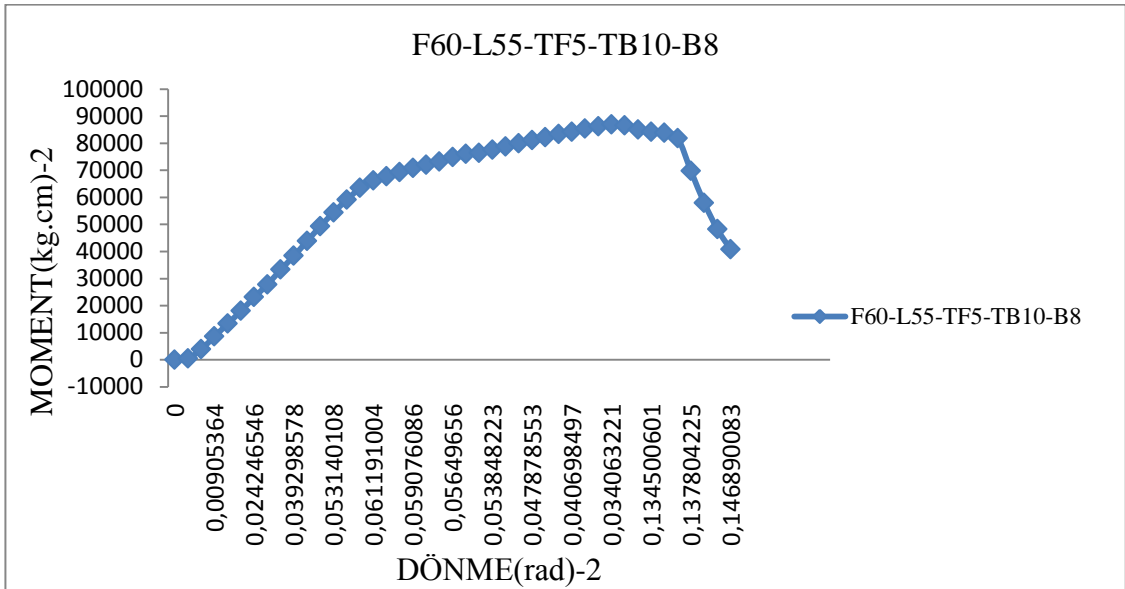
Şekil 4.20. Kiriş- kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası



Şekil 4.21. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları



Şekil 4.22. Moment-dönme eğrisi

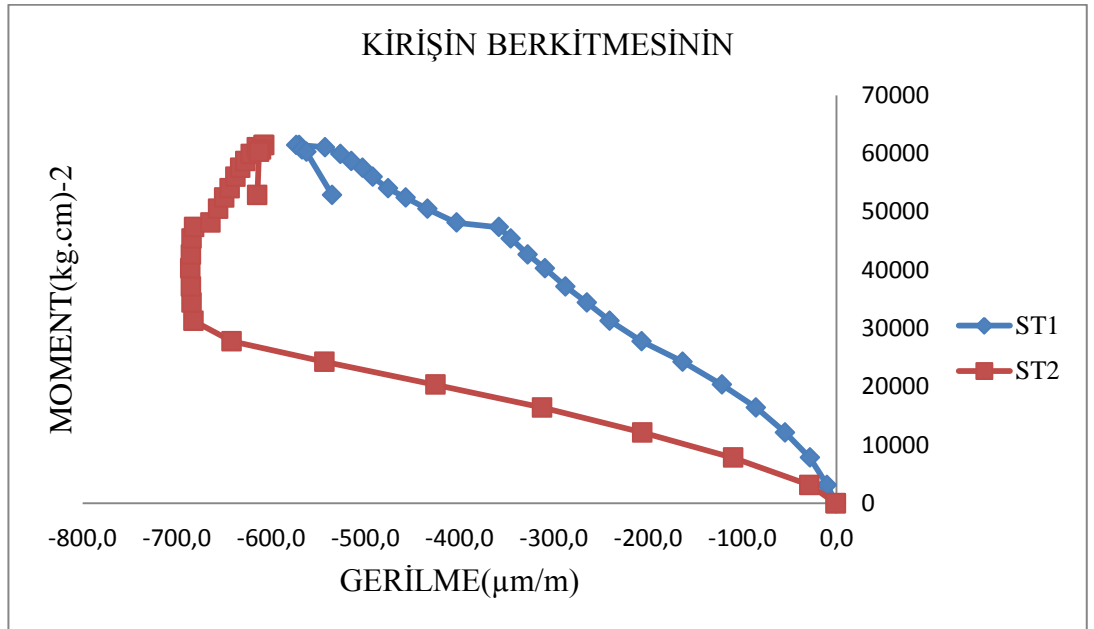


Şekil 4.23. Moment-dönme eğrisi

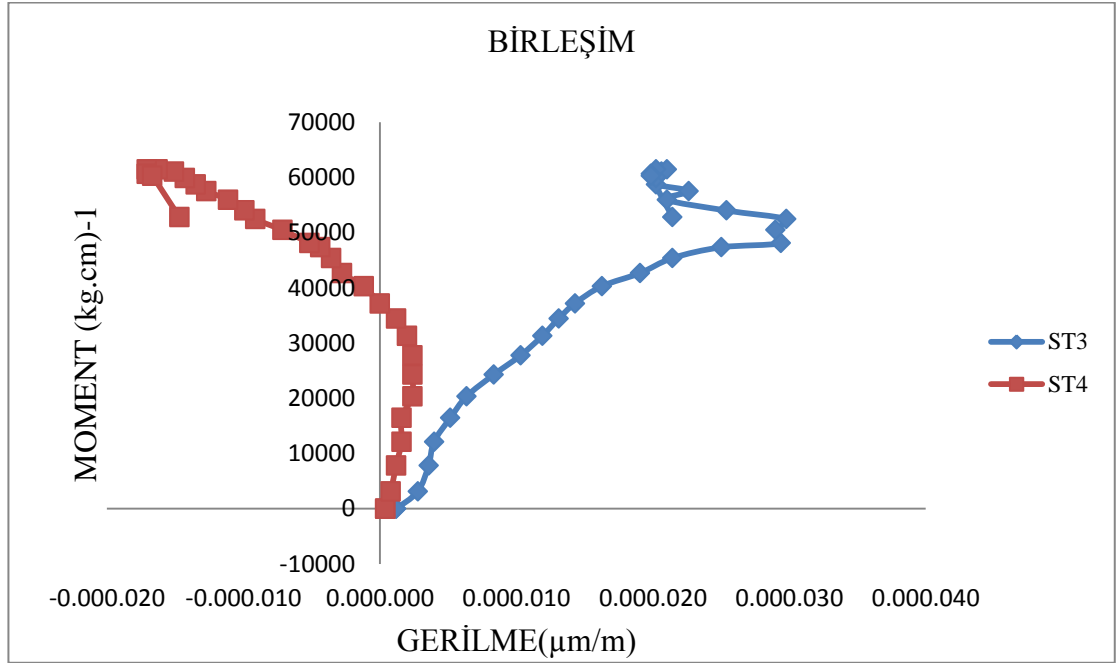
Çizelge 4.3. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kgcm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{θC.d}	S _{j.ini}	S _{j.p-1}	S _{j.ini/S_{j.p-1}}	θMR.d	θMin .K .R.	θMsup. k.R	θ-Mj. max	θC.d
EXP 3-1	31315.043-55975.64	45406.990	61455.770	60281.450	0.826	0.2578	3.204	0.0559	0.0390	0.0922	0.1129	0.1138
EXP 3-2	59122.11-67735.93	66169.780	86921.250	83788.950	1.101	0.2607	4.226	0.0612	0.0579	0.0605	0.0341	0.1347

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %31.37 oranında birinci yüklemden fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %29.29 oranında birinci yüklemden fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %8.58 oranında arttığı görülmüştür. Dolayısıyla eğilme momenti dayanımı bu şekil yüklemelerde, ikinci yüklemelerin birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.24. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.25. Birleşimin moment-gerilme grafiği

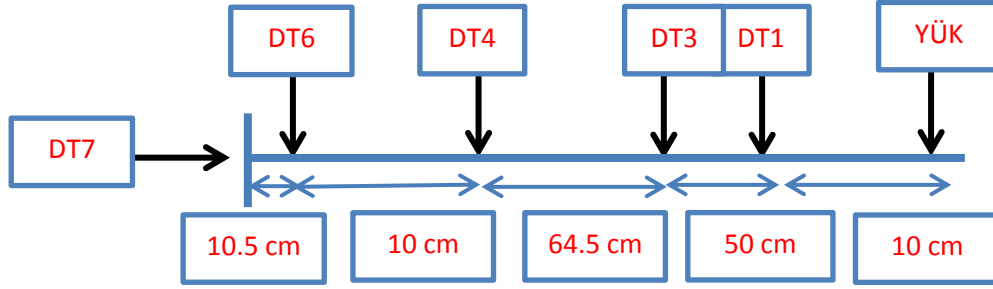
Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.21’de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Üst birleşim noktalarında ki bulonların kırılmasıyla deney sonlandırıldı.

4.6. Deney F60-L73-TF5-TB10-B8(EXP4)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.26 da LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Diğer gruplarda olduğu gibi deneylere devam edildi ve ikinci yükleme yapıldı. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi

artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2.2 cm olmuştur.



Şekil 4.26. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



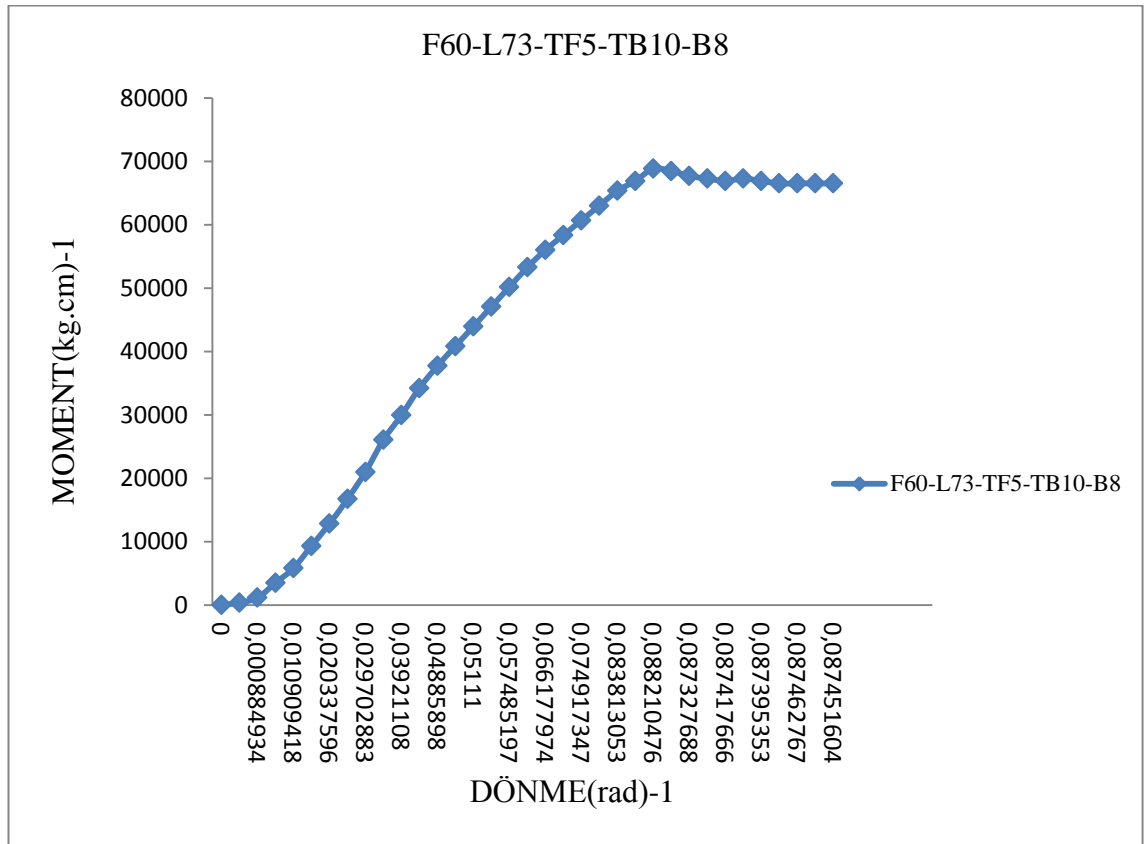
Şekil 4.27. Kiriş-kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası



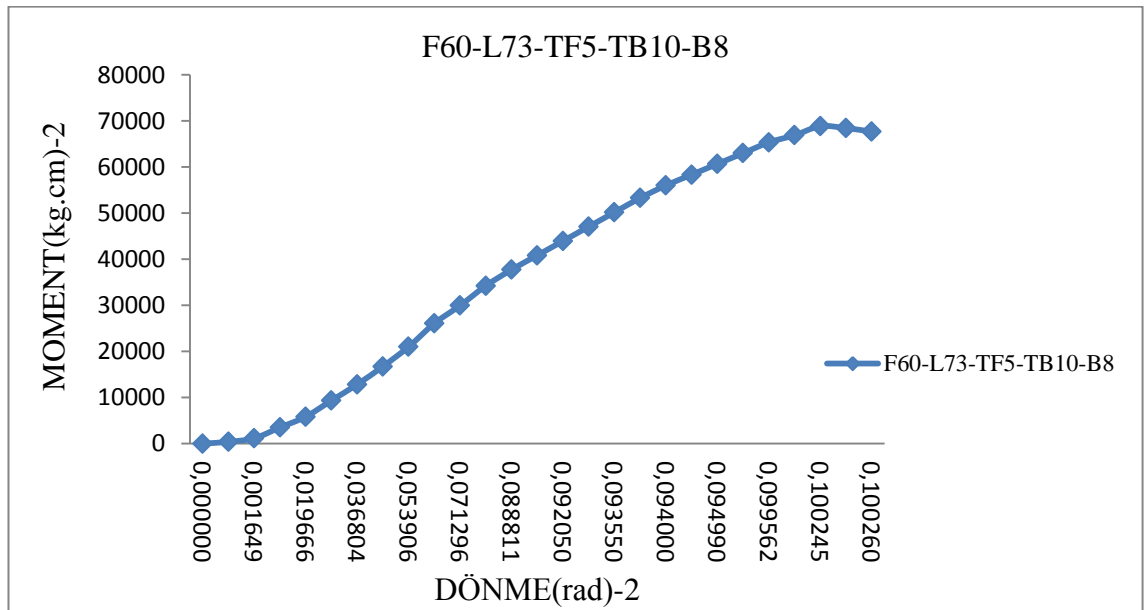
Şekil 4.28. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları



Şekil 4.29. Kolonda meydana gelen sehim



Şekil 4.30. Moment-dönme eğrisi

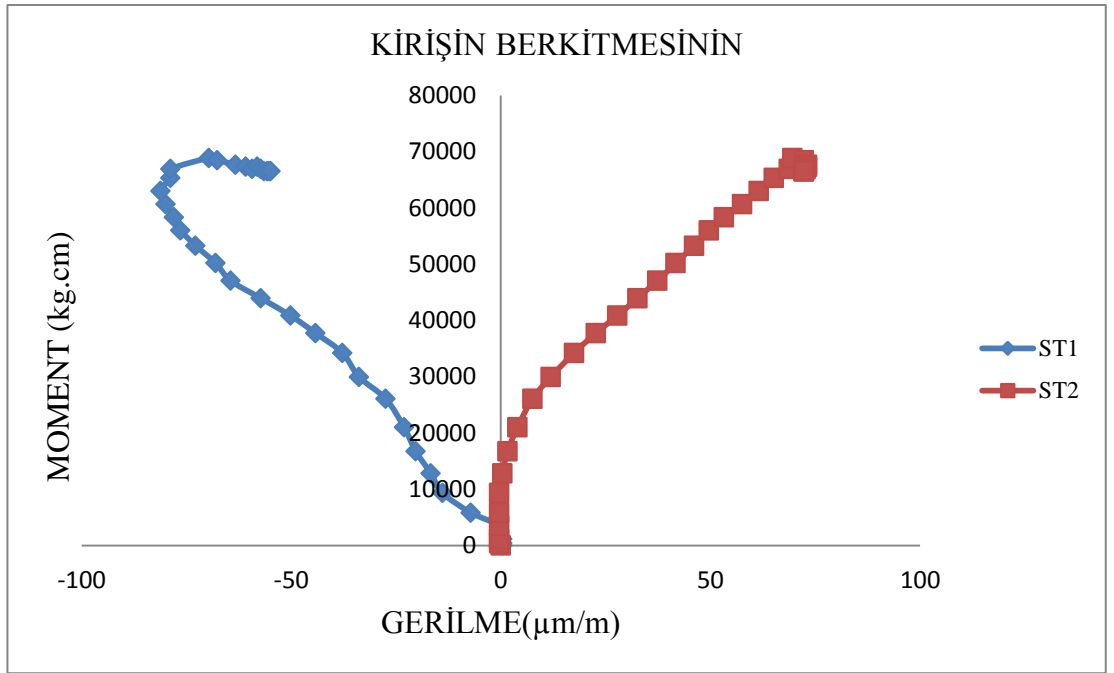


Şekil 4.31. Moment-dönme eğrisi

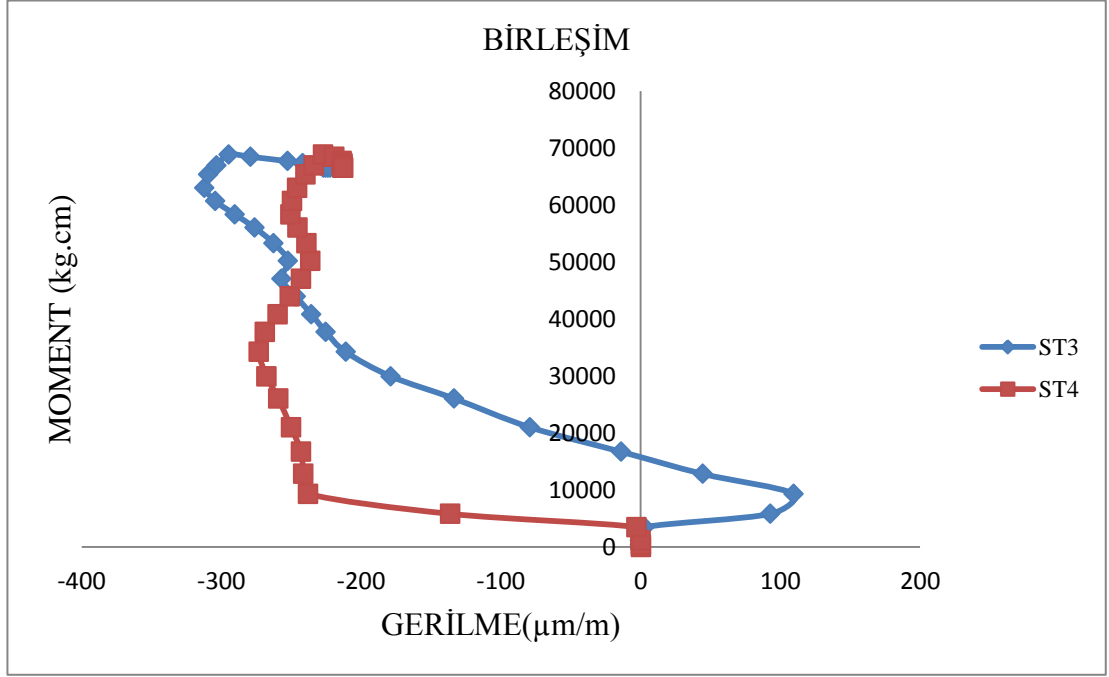
Çizelge 4.4. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	Mr.d	Mj. max	Møcd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ØMR.d	ØMin . K .R.	ØMsup.k.R	Ø-Mj. max	Øc.d
EXP 4-1	43952.052-65344.65165	56009.7010	68845.2591	66122.5500	0.9007	0.330	2.7300	0.0575	0.0511	0.0838	0.0882	0.0885
EXP 4-2	29949.63-538287.008	47001.7100	68845.2600	67678.3900	0.851	0.430	1.9791	0.0921	0.7130	0.0936	0.1002	0.1003

F60-L73-TF5-TB10-B8 birleşiminin moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.4' de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırırsak eğilme momenti ikinci yüklemeye göre %19.16 oranında arttığı görülmüştür. Dolayısıyla eğilme momenti, moment dayanımı bu şekilde yüklemelerde ki ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.32. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.33. Birleşimin moment-gerilme grafiği

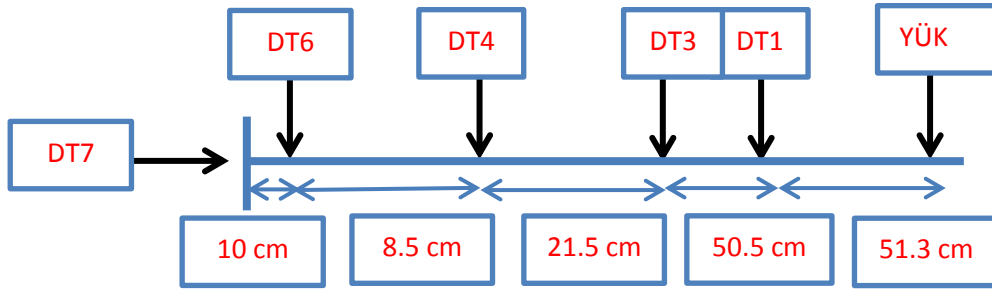
Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 incelendiğinde kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.28'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı. Şekil 4.29'da ise kolonda meydana gelen sehim görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.7. DeneyF60-L73-TF5-B8 (exp-5)

Bu deneyde 2 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Üst korniyerli birleşimin üzerinde 2 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.34'de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Daha önce yapılan deneylerde olduğu

gibi deneylere devam edildi ve bulon kırılmaları görüldü. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2.3 cm olmuştur.



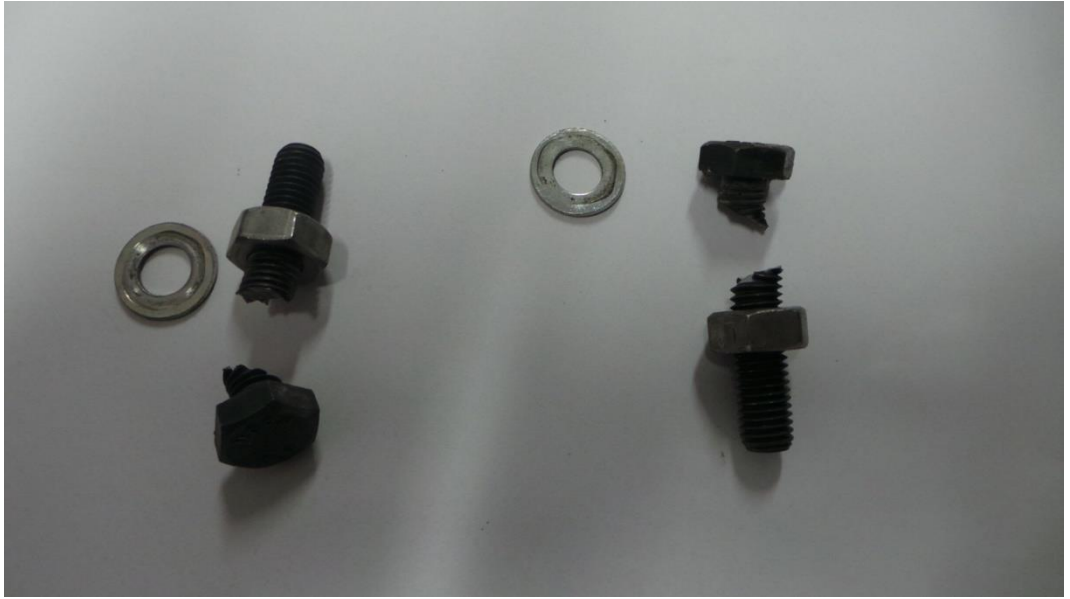
Şekil 4.34. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



Şekil 4.35. Deney düzeneği



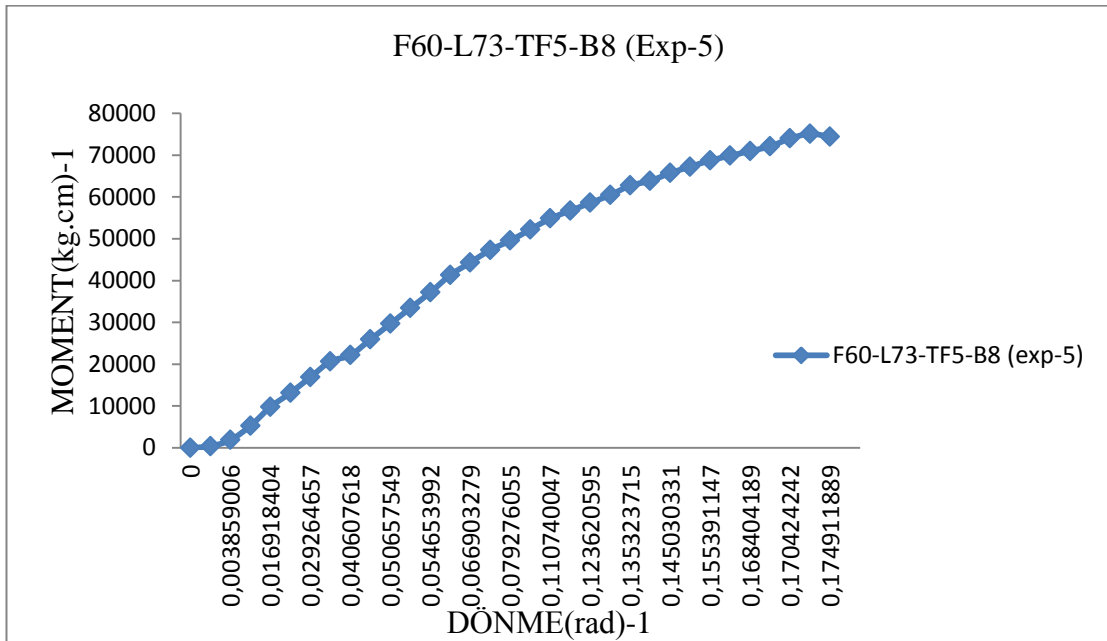
Şekil 4.36. Kiriş- kolon birleşiminin yükleme sonrası



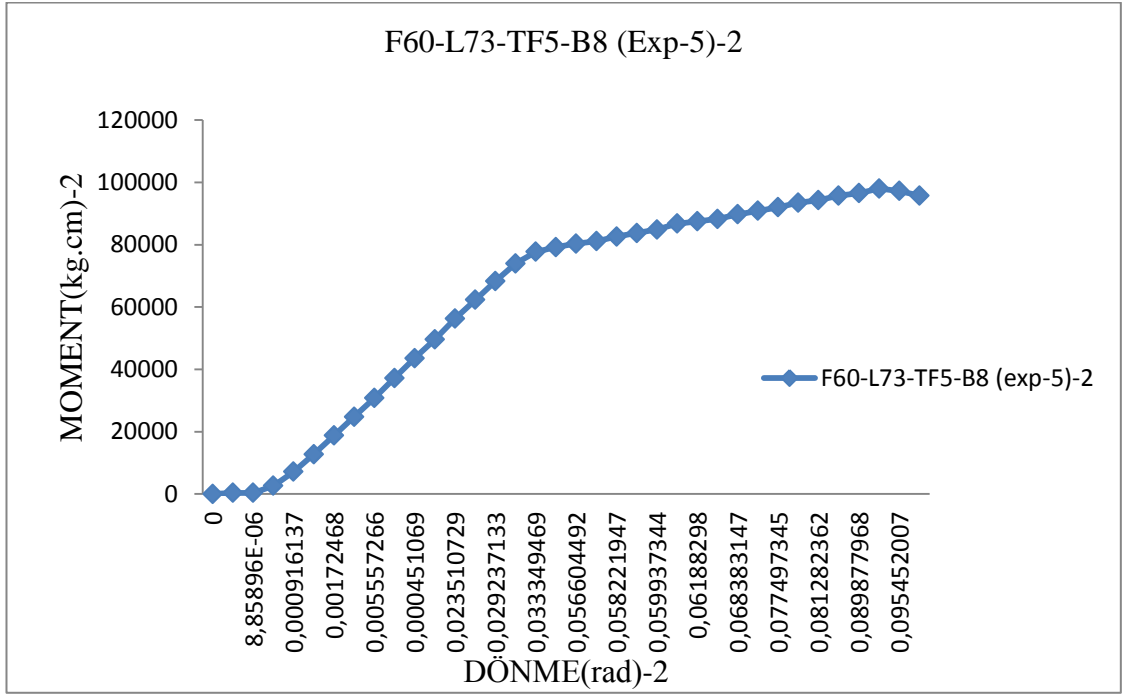
Şekil 4.37. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen civata kırılmaları



Şekil 4.38. Kolonda meydana gelen sehim



Şekil 4.39. Moment-dönme birincil yükleme

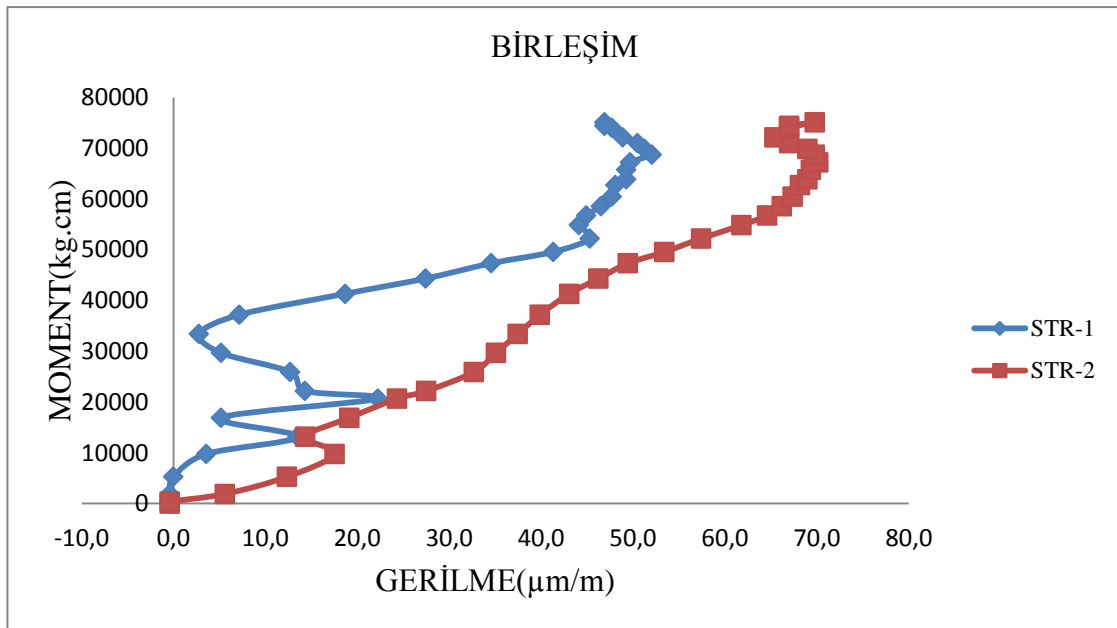


Şekil 4.40. Moment-dönme ikincil yükleme

Çizelge 4.5. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR(knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{Öc.d}	S _{j.ini}	S _{j.p-1}	S _{j.ini/Sj.p-1}	ØMR.d	ØMin .K .R.	ØMsup.k.R	Ø-Mj. max	Ø _{c.d}
EXP 5-1	37179.92- 54835.004	49573.2300	73984.3000	73233.1890	0.89156	0.4304	2.0716	0.1011	0.0547	0.1573	0.2262	0.2345
EXP 5-2	68350.4542- 77739.25	73983.7300	97268.6800	96516.8500	1.097	0.2070	5.2995	0.0333	0.0292	0.3335	0.0899	0.0955

Moment-dönme eğrileri Çizelge 5.5 gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %32.99 oranında birinci yüklemde fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %23.34 oranında birinci yüklemde fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %20.31 oranında azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ki ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.41. Birleşimin moment-gerilme grafiği

Şekil 4.41 incelendiğinde birleşim bölgelerinde gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını incelemek için deneylere devam edildi. Şekil 4.37'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı. Şekil 4.38 de ise kolonda meydana gelen sehimi görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.8. F60 Tipi Birleşimlerin Karşılaştırılması

Eşit olan F60 birleşimlerinde korniyer genişliği arttıkça maksimum moment dayanımı artıyor. En ideal boy kirişin flanşının boyunda olan birleşimleridir.

Korniyer genişliği eşit olan F60 birleşimlerinde birleşim berkitme kalınlığı arttıkça birleşimin maksimum moment mukavemeti artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında %20.47 oranında artış olduğu görülmüştür.

Aynı F60 birleşimlerinde kirişte berkitme kullanıldığında plastik eğilme momenti %11.49 oranında artış göstermiştir.

Aynı F60 birleşimlerde birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça %0.48 oranında plastik eğilme momentinde azalma olduğu görülmüştür.

Aynı olan F60 birleşimlerinde boy arttıkça plastik moment eğilmesi %18.93 oranında artış göstermiştir.

Aynı özelliklere sahip F60 deney grubunda her deneyin plastik eğilme momenti ile maksimum moment kapasitesi karşılaştırıldığında birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça kapasitesinde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı özelliklere sahip F60 deneylerinde boy oranı arttıkça kapasite azalmaya başlamıştır.

Eşit olan F60 birleşimlerinde boy arttıkça dayanım azalıyor.

Eşit olan F60 birleşimlerinde korniyer berkitme kalınlığı arttıkça dayanım artıyor.

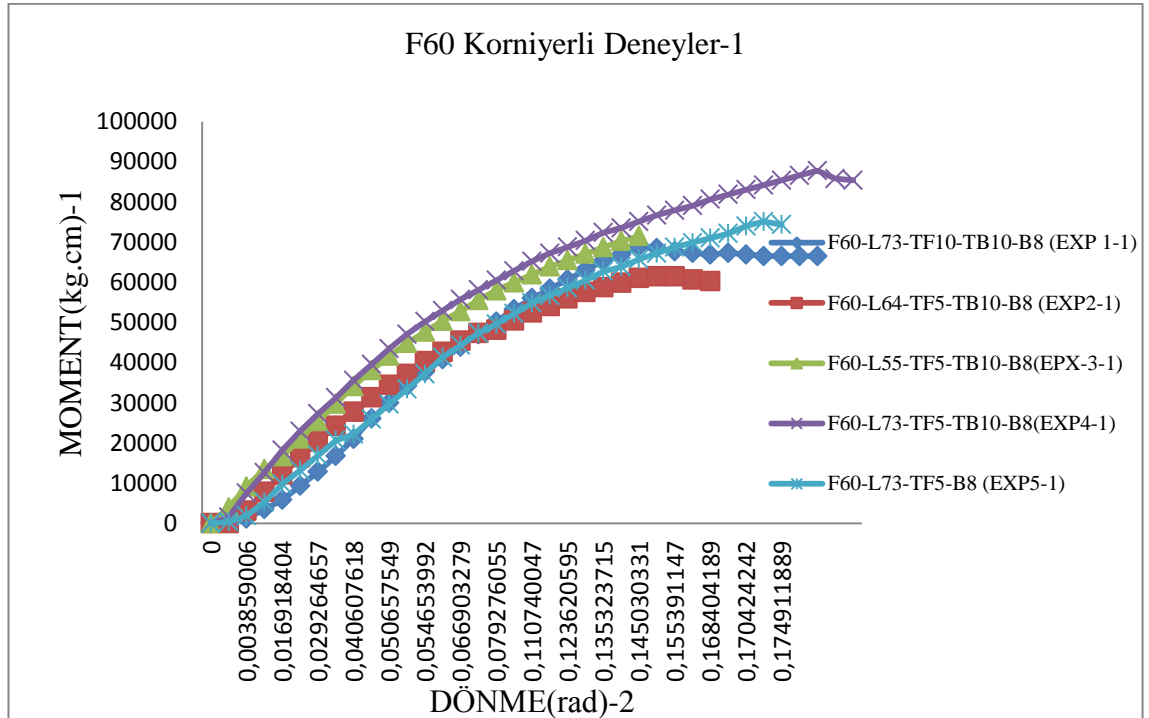
Aynı olan F60 birleşimlerinde birleşim kalınlığı arttıkça birleşimin sünekliğide artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında bu oranın %45.09 olduğu görülmüştür.

Aynı olan F60 birleşimlerinde berkitme kalınlığı arttıkça maksimum yük sünekliği %17.86 oranında artış görülmüştür.

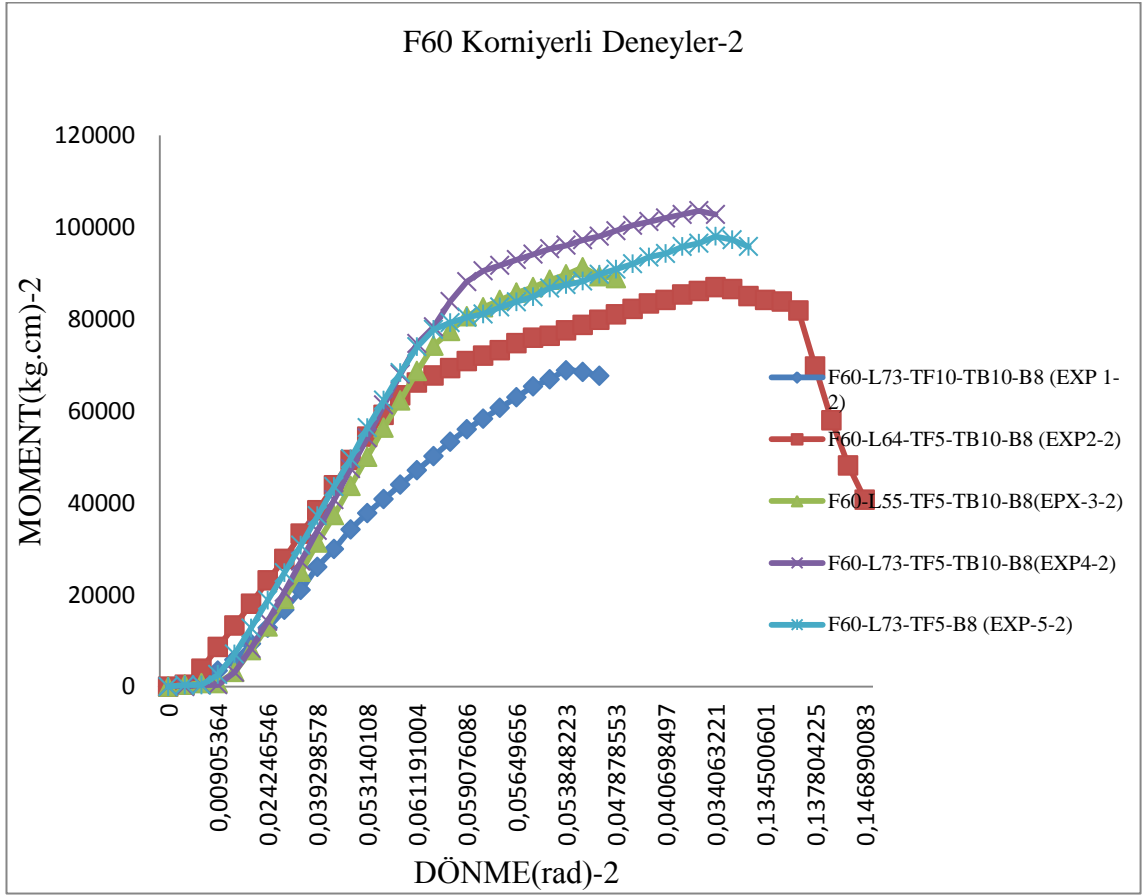
Aynı olan F60 birleşimlerinde farklı boylarda boy arttıkça maksimum yük sünekliği azalıyor.

Deneilerin kırılmaları incelendiğinde; kırılmaların birleşimin üst bölgesinden cıvataların kırılması ile ve pulların eğilmesiyle olmuştur.

Kolonun gövdesinde yükleme sırasında sehim oluşmuştur. En fazla sehim kirişte berkitmenin kullanılmadığı deneyde olduğu ve değerinde 2.3 cm olduğu görülmüştür. Deneiler karşılaştırıldığında en az sehim 1.5 cm olduğu görülmektedir. Bu sehimleri engellemekte kiriş ve kolonda berkitme kullanılması ve berkitme kalınlığı önemlidir.



Şekil 4.42. F60 tipi korniyerli deneylerin 1. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması



Şekil 4.43. F60 tipi korniyerli deneylerin 2. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması

Çizelge 4.6. Birincil yükleme moment-dönme verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j.} max	M _{Øca}	S _{j.ini}	S _{j.p-l}	S _{j.ini/S_{j.p-l}}	ØMR.d	ØMin .K .R.	ØMsup.k.R	Ø-M _{j.} max	Ø _{C.d}
EXP 1-1	47039.33- 58107.42	55735.6878	86568.1980	83382.3300	0.812	0.2610	3.1106	0.0574	0.0525	0.0732	0.1072	0.1636
EXP 2-1	44859.83- 57960.498	52799.6400	72649.1196	67488.2560	0.8544	0.3833	2.2291	0.0659	0.0510	0.0755	0.1110	0.1109
EXP 3-1	31315.043- 55975.64	45406.9900	61455.7700	60281.4500	0.8261	0.2578	3.2049	0.0559	0.0390	0.0922	0.1129	0.1138
EXP 4-1	43952.052- 65344.65165	56009.7010	68845.2591	66122.5500	0.9007	0.3300	2.7300	0.0575	0.0511	0.0838	0.0882	0.0885
EXP 5-1	37179.92- 54835.004	49573.2300	73984.3000	73233.1890	0.89156	0.4304	2.0716	0.1011	0.0547	0.1573	0.1704	0.1739

Çizelge 4.7. Birincil yükleme süneklik karşılaştırması

Deney Adı	Dönme (rad)			Birleşim Süneklik	Maksimum Yük Süneklik
	$\Theta_{MR,d}$	$\Theta-Mj. \max$	$\Theta_{C,d}$	$\vartheta_J = \Theta_{C,d} / \Theta_{MR,d}$	$\vartheta_{J,MAX,LOAD} = \Theta-Mj. \max / \Theta_{MR,d}$
F60-L73-TF10-TB10-B8 (EXP 1-1)	0.0574	0.1072	0.1636	2.85017	1.86759
F60-L64-TF5-TB10-B8 (EXP2-1)	0.0659	0.1110	0.1109	1.68285	1.6843
F60-L55-TF5-TB10- B8(EXP-3-1)	0.0559	0.1129	0.1138	2.035778	2.01967
F60-L73-TF5-TB10- B8(EXP4-1)	0.0575	0.0882	0.0885	1.539130	1.53391
F60-L73-TF5-B8 (EXP5-1)	0.1011	0.1704	0.1739	1.720079	1.68546

Çizelge 4.8. İkincil yükleme moment-dönme verileri

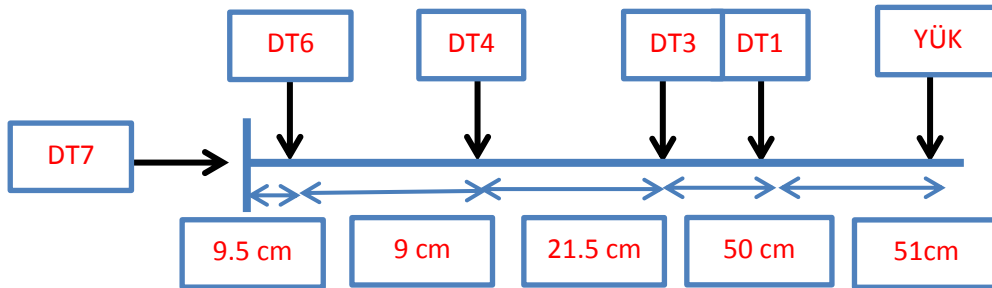
Deney Adı	Dayanım (kg.cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R,d}	M _{j. max}	M _{ØC,d}	S _{j.ini}	S _{j.p-l}	S _{j.ini/S_{j.p-l}}	ØMR,d	ØMin .K .R.	ØMsup.k. R	Ø-Mj. max	ØC,d
EXP 1-2	67998.8466- 88161.303	83812.530	102788.951	102788.9500	0.9283	0.2025	4.5832	0.0469	0.0460	0.0648	0.1203	0.1259
EXP 2-2	74226.2772- 85177.18	77401.730	91294.340	88912.7612	0.767	0.1965	3.9033	0.0610	0.6086	0.0611	0.0635	0.0657
EXP 3-2	59122.11- 67735.93	66169.780	86921.250	83788.9500	1.1016	0.2607	4.2261	0.0612	0.0579	0.0605	0.0341	0.1347
EXP 4-2	29949.63- 538287.008	47001.710	68845.260	67678.3900	0.851	0.4300	1.9791	0.0921	0.7130	0.0936	0.1002	0.1003
EXP 5-2	68350.4542- 77739.25	73983.730	97268.680	96516.8500	1.097	0.2070	5.2995	0.0333	0.0292	0.3335	0.0899	0.0955

Çizelge 4.9. İkincil yükleme süneklik karşılaştırması

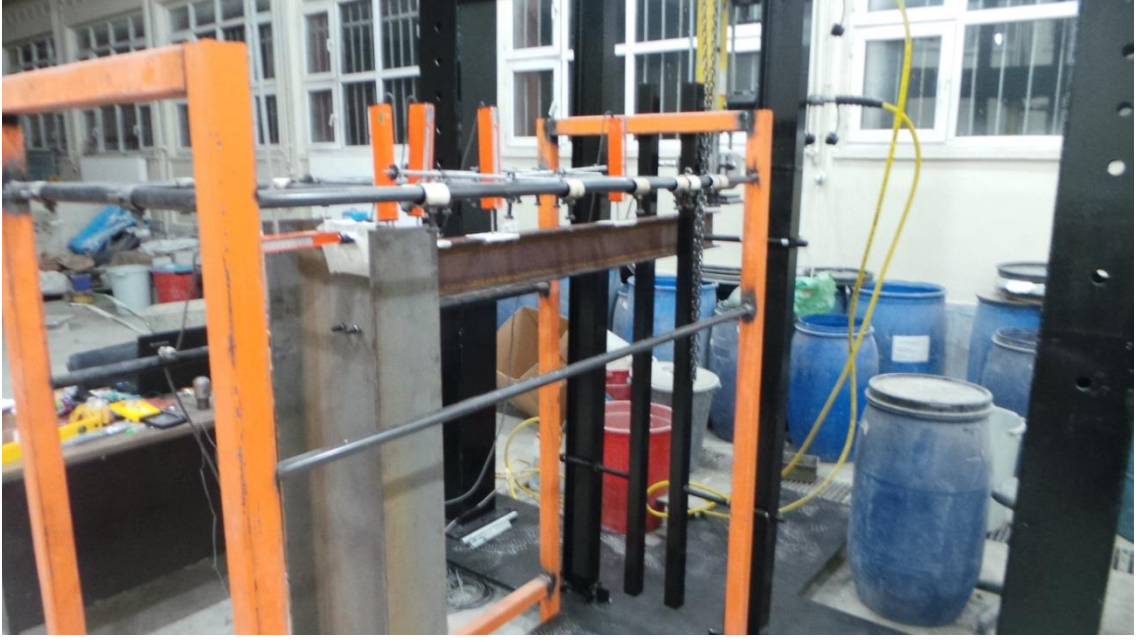
Deney Adı	Dönme (rad)			Birleşim Süneklik	Maksimum Yük Süneklik
	$\Theta_{MR.d}$	$\Theta-Mj_{max}$	$\Theta_{C.d}$	$\vartheta_J = \Theta_{C.d} / \Theta_{MR.d}$	$\vartheta_{J.MAX.LOAD} = \Theta-Mj_{Max} / \Theta_{MR.d}$
EXP 1-2	0.0469	0.1203	0.1259	2.684435	2.5650
EXP 2-2	0.0610	0.0635	0.0657	1.07704	1.04098
EXP 3-2	0.0612	0.0341	0.1347	2.20098	0.557189
EXP 4-2	0.0921	0.1002	0.1003	1.089033	1.087945
EXP 5-2	0.0333	0.0899	0.0955	2.8676	2.699699

4.9. Deney F50-L73-TF5-B8 (exp-6)

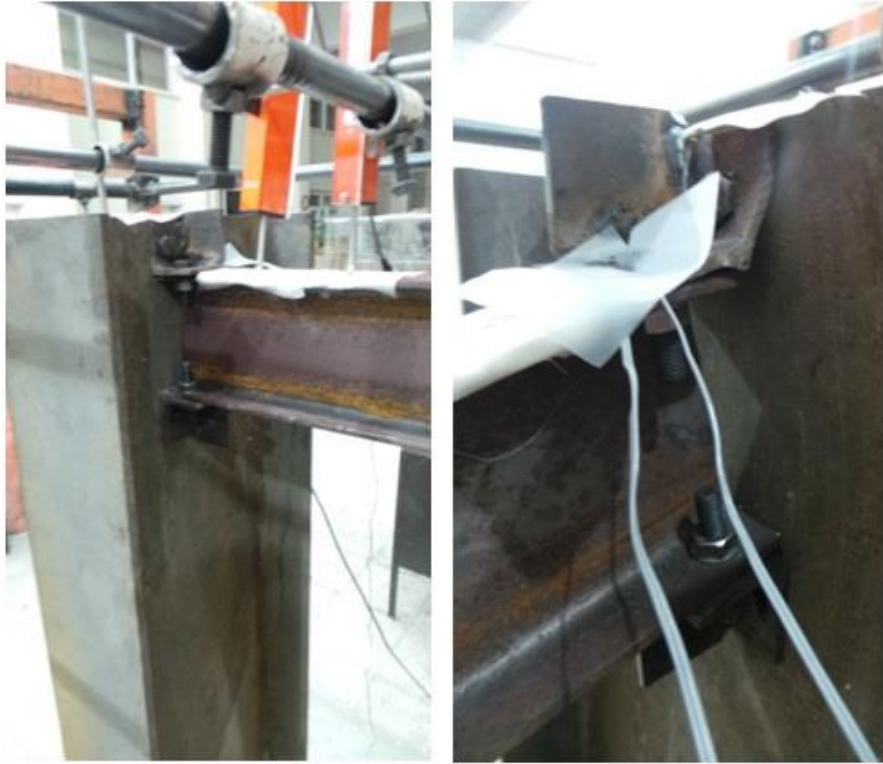
Bu deneyde 2 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Üst korniyerli birleşimin üzerinde 2 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.44 de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. F60 tipi deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de gerekli düzenlemeler yapıldı ve bulon kırılmaları incelendi. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 1.9 cm olmuştur.



Şekil 4.44. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



Şekil 4.45. Deney düzeneği



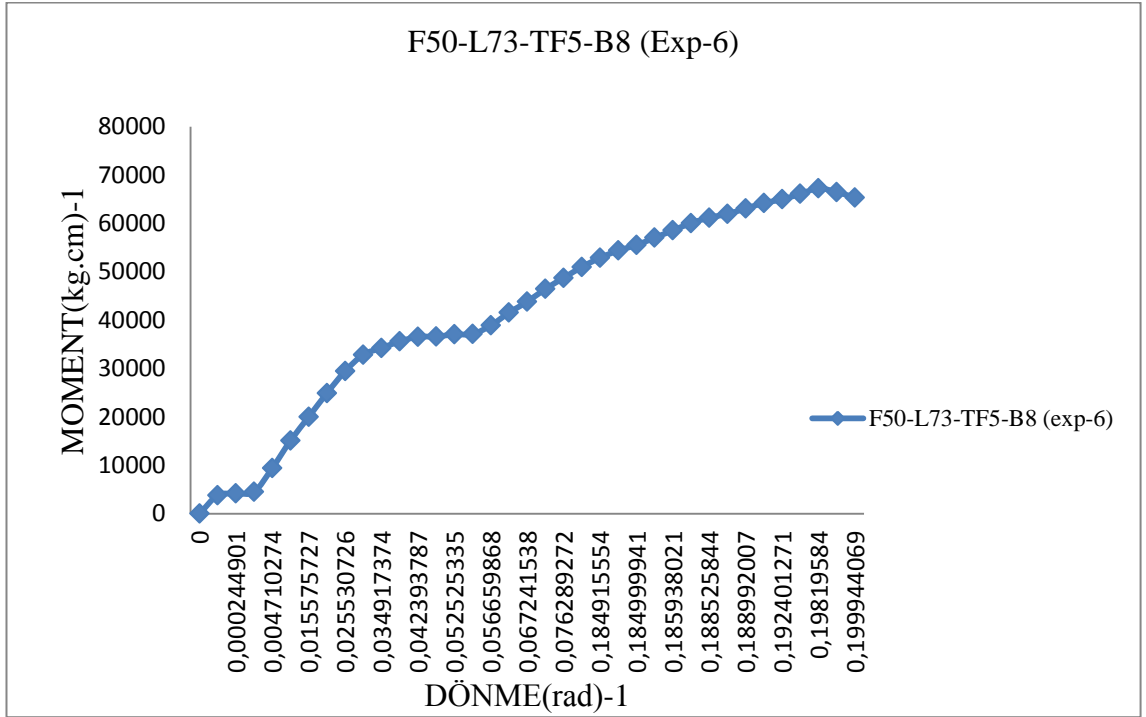
Şekil 4.46. Kiriş-kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası



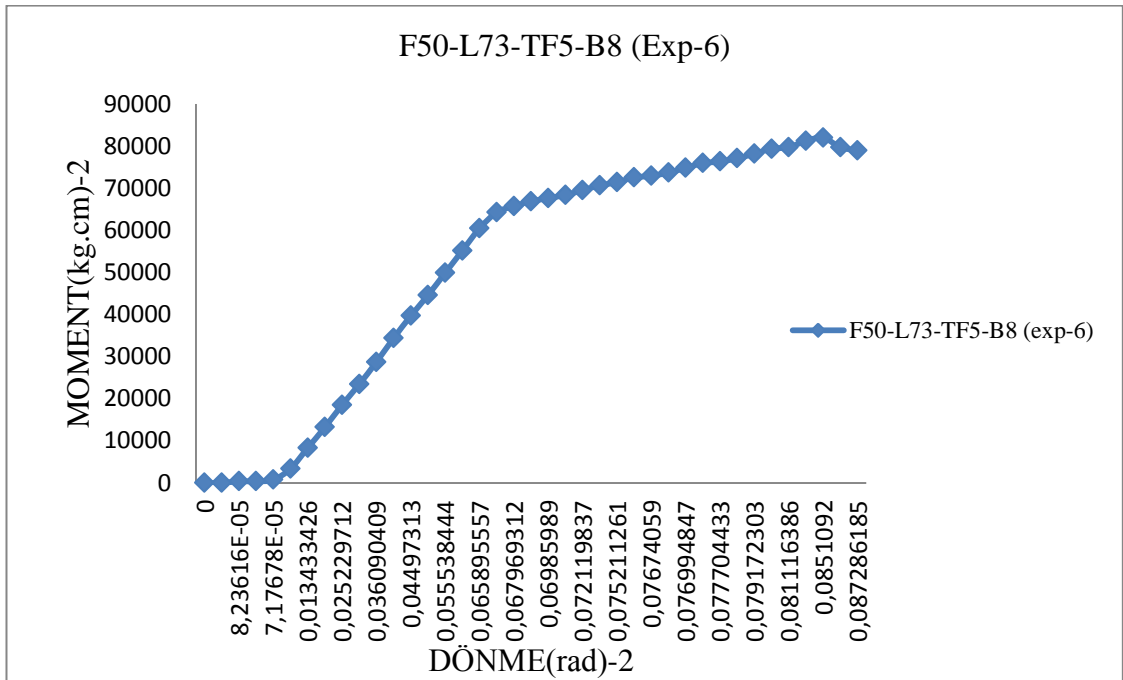
Şekil 4.47. Kolonda meydana gelen sehim



Şekil 4.48. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları



Şekil 4.49. Moment-dönme grafiği birincil yükleme

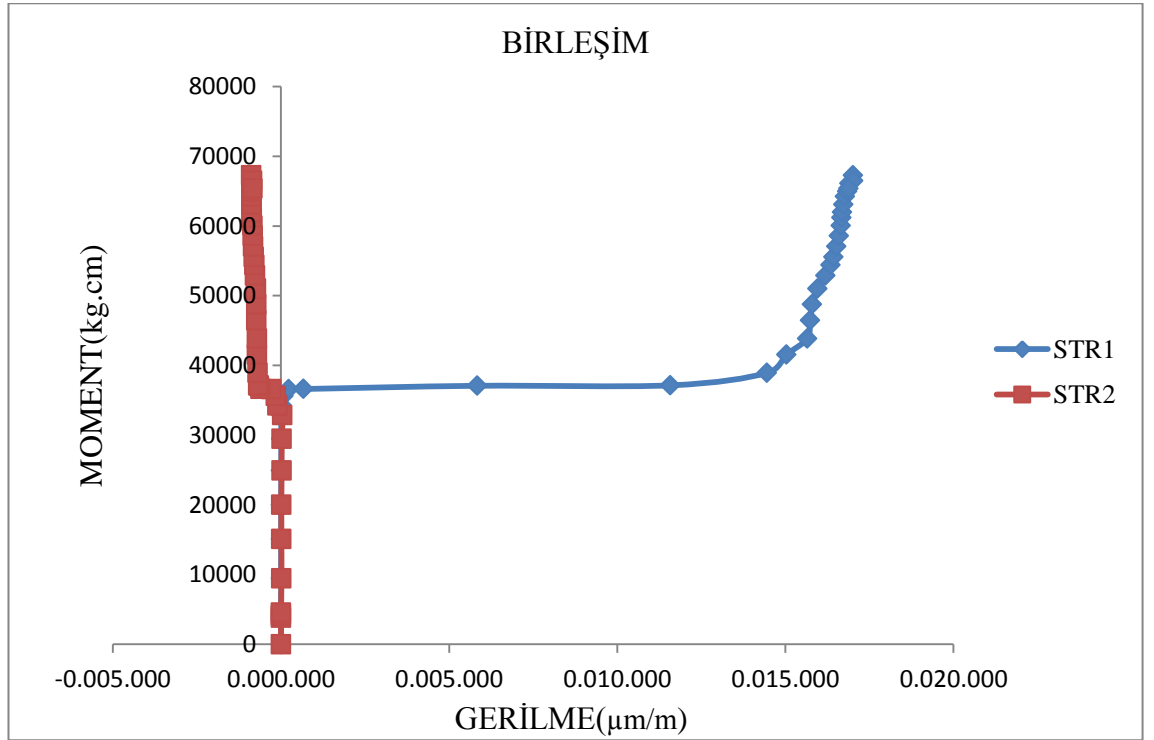


Şekil 4.50. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

Çizelge 4.10. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{ØCd}	S _{j.ini}	S _{j.p-l}	S _{j.ini/S_{j.p-l}}	ØMR.d	ØMin .K .R.	ØMsup.k.R	Ø-M _{j. max}	ØC.d
EXP 6-1	15113.5644-52900.79	38919.5171	67259.930	65370.570	0.88615	0.3708	2.3898	0.0473	0.0100	0.1849	0.1982	0.1999
EXP 6-2	55170.7662-67640.87109	64239.9300	81244.624	79733.094	1.3322	0.2210	6.0272	0.0669	0.0617	0.0699	0.0821	0.0863

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.10 de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştıracak olursak eğilme momenti ikinci yüklemeye %39.41 oranında birinci yüklemeye göre fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemeye %17.21 oranında birinci yüklemeye göre fazla ve ikinci yüklemeye dönme kapasitesinin birinci yüklemeye göre %29.31 oranında arttığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekilde yüklemelerde ki ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.51. Birleşimin moment-gerilme grafiği

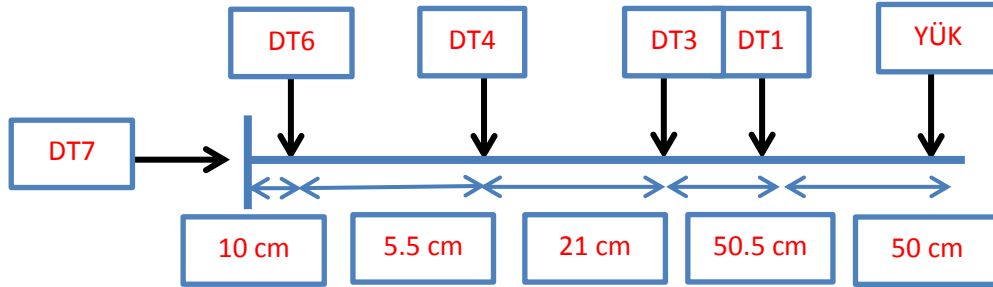
Şekil 4.51'e bakıldığında birleşim bölgelerinde gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranla fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.48'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim

noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı. Şekil 4.47’de ise kolonda meydana gelen sehim görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.10. Deney F50-L73-TF5-TB10-B8 (exp-7)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.52 de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Önceki deneylerde yapılan düzenlemeler yapıldı ve deneye devam edildi Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2.5 cm olmuştur.



Şekil 4.52. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



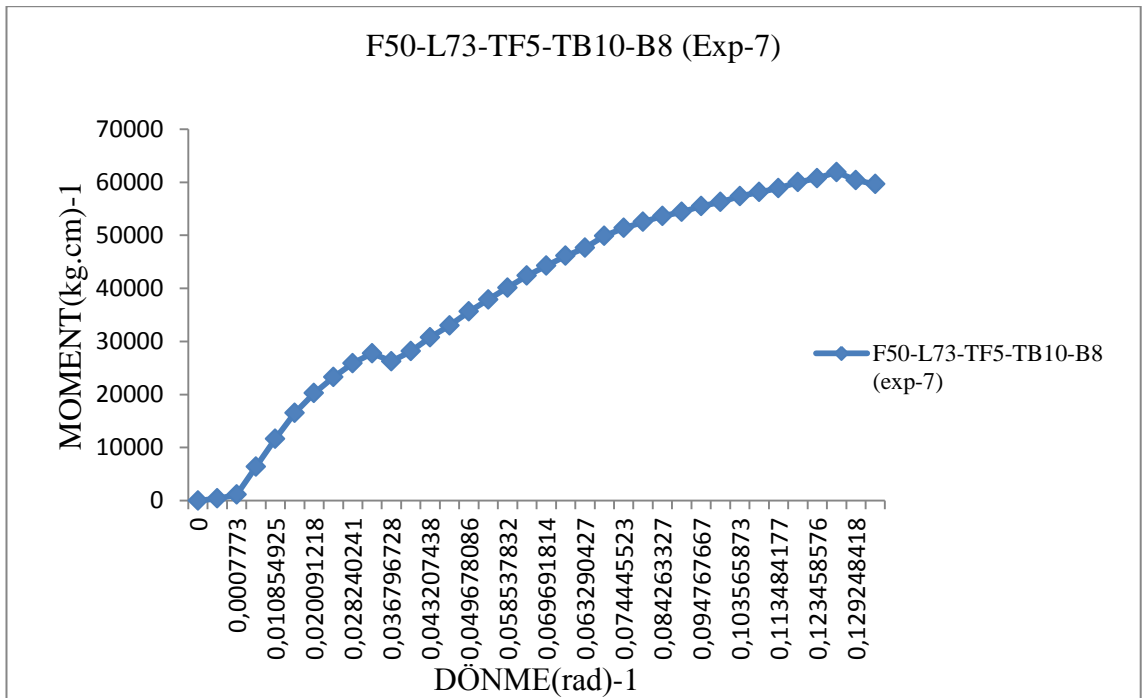
Şekil 4.53. Deney düzeneği



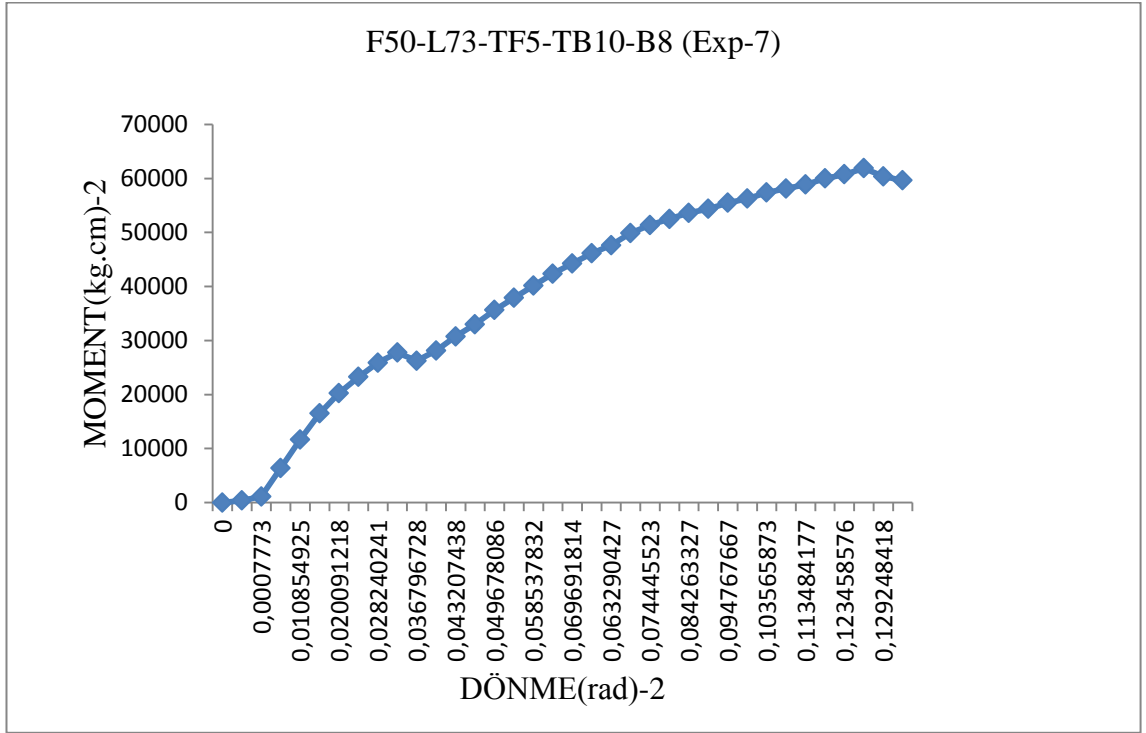
Şekil 4.54. Kiriş-kolon birleşiminin yükleme öncesi ve sonrası



Şekil 4.55. Kolonda meydana gelen sehim



Şekil 4.56. Moment-dönme grafiği birincil yükleme

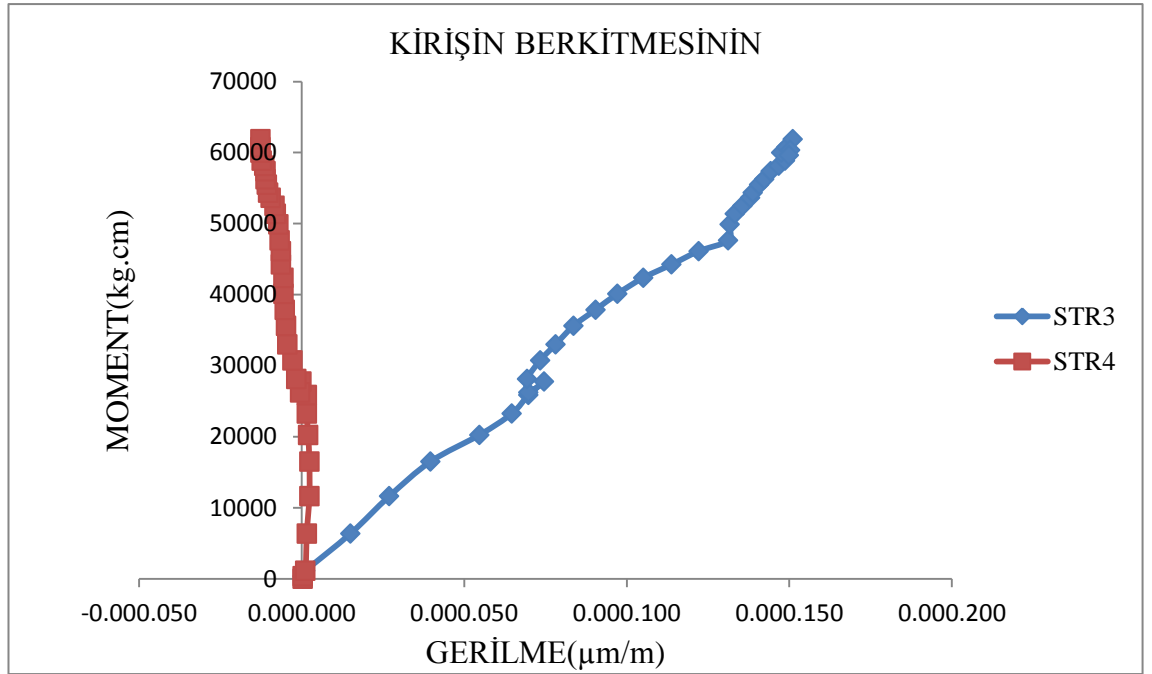


Şekil 4.57. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

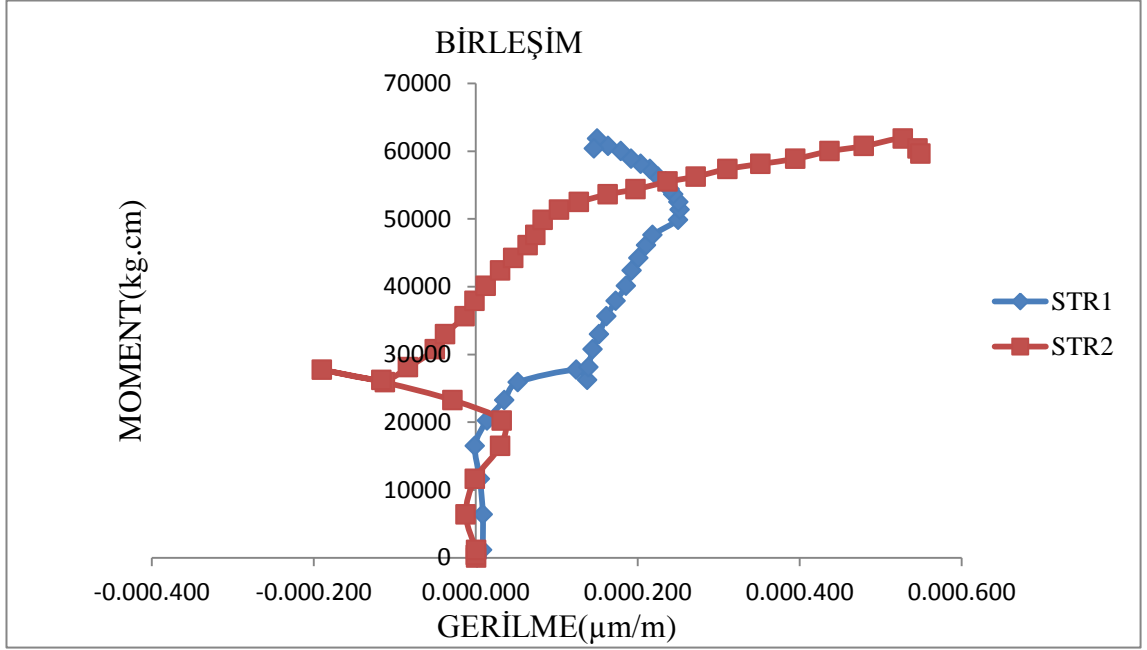
Çizelge 4.11. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR(knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{θCd}	Sj.ini	Sj.p-I	Sj.ini/Sj.p-I	θMR.d	θMin .K .R.	θMsup.k.R	θ-Mj. max	θC.d
EXP 7-1	25875.69-42376.13	35625.9500	60751.6224	60376.6114	0.9426	0.3576	2.6359	0.0432	0.0282	0.0641	0.1235	0.1292
EXP 7-2	56630.12-66381.002	61130.5296	76506.9200	75756.8518	1.3097	0.1215	10.7811	0.0240	0.0225	0.0423	0.0816	0.0823

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %41.72 oranında birinci yüklemde fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %20.59 oranında birinci yüklemde fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %80.00 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.58. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.59. Birleşimin moment-gerilme grafiği

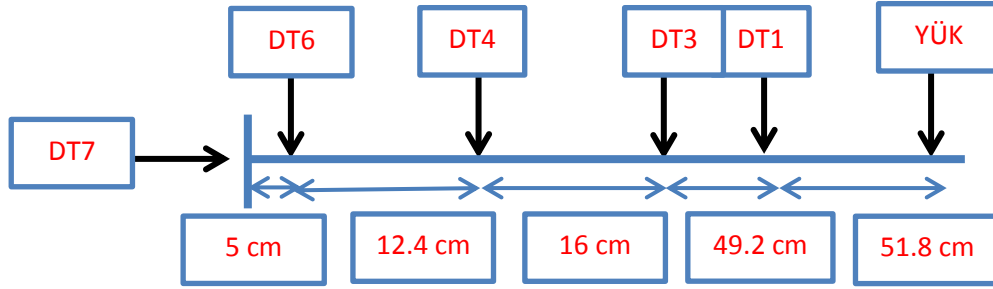
Şekil 4.58 ve Şekil 4.58'e bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranla daha fazladır.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 5.54'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı. Şekil 4.55'de ise kolonda meydana gelen sehim görülmektedir. Bu sehimi engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır.

4.11. DeneyF50-L64-TF5-TB10-B8(EXP-8)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.60'da LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Daha önceki deneyde yapılan düzenlemeler

yapıldı ve deneye devam edilerek bulon kırılmaları incelendi. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2 cm olmuştur.



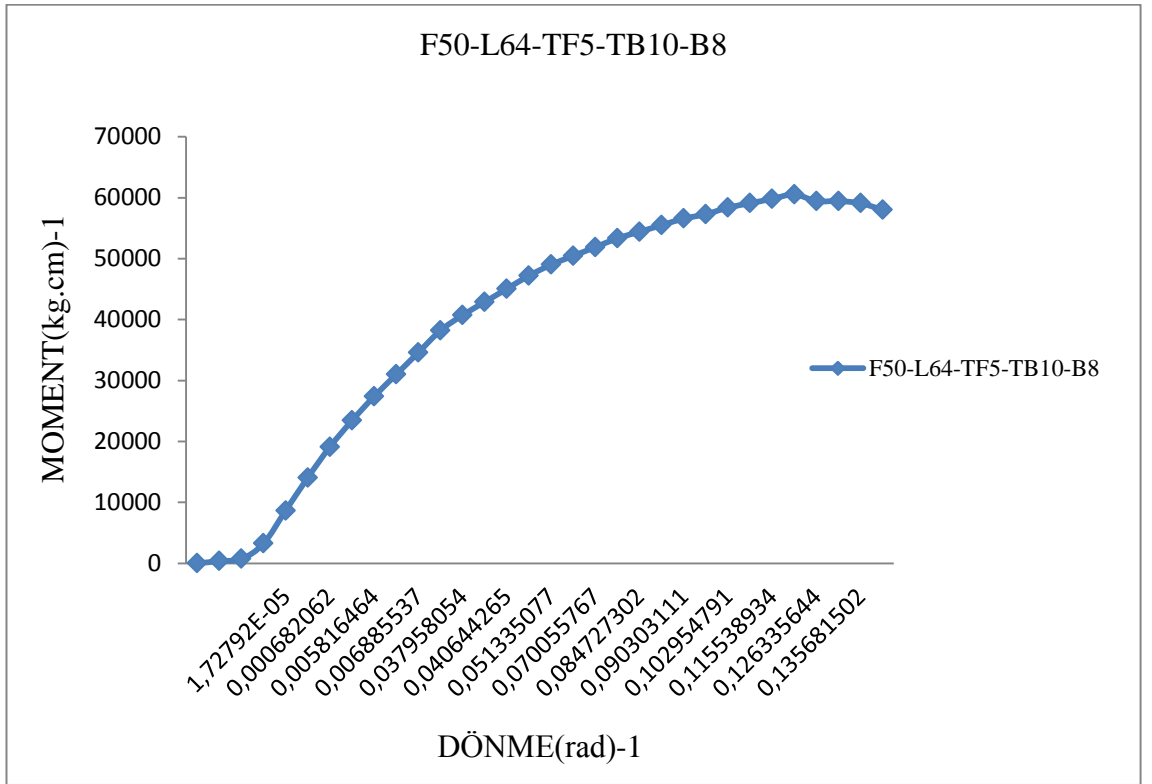
Şekil 4.60. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



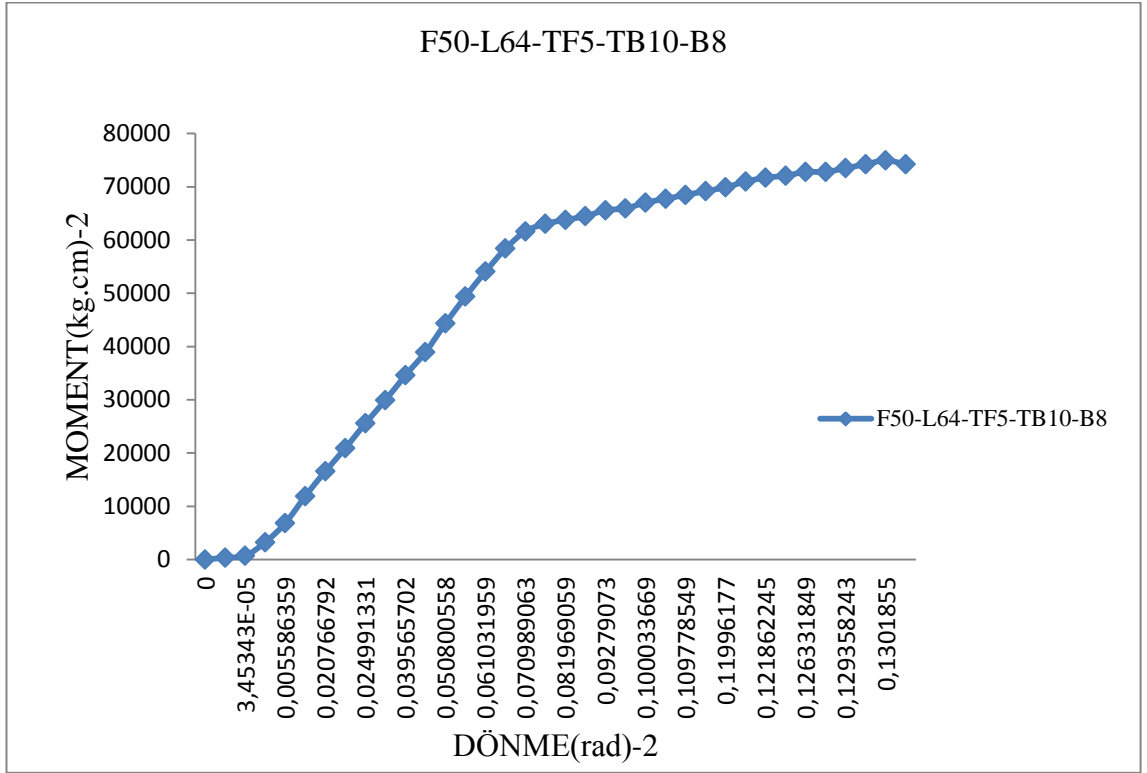
Şekil 4.61. Deney düzeneği



Şekil 4.62. Birleşimin üst bölgesinde meydana gelen cıvata kırılmaları



Şekil 4.63. Moment-dönme grafiği birincil yükleme

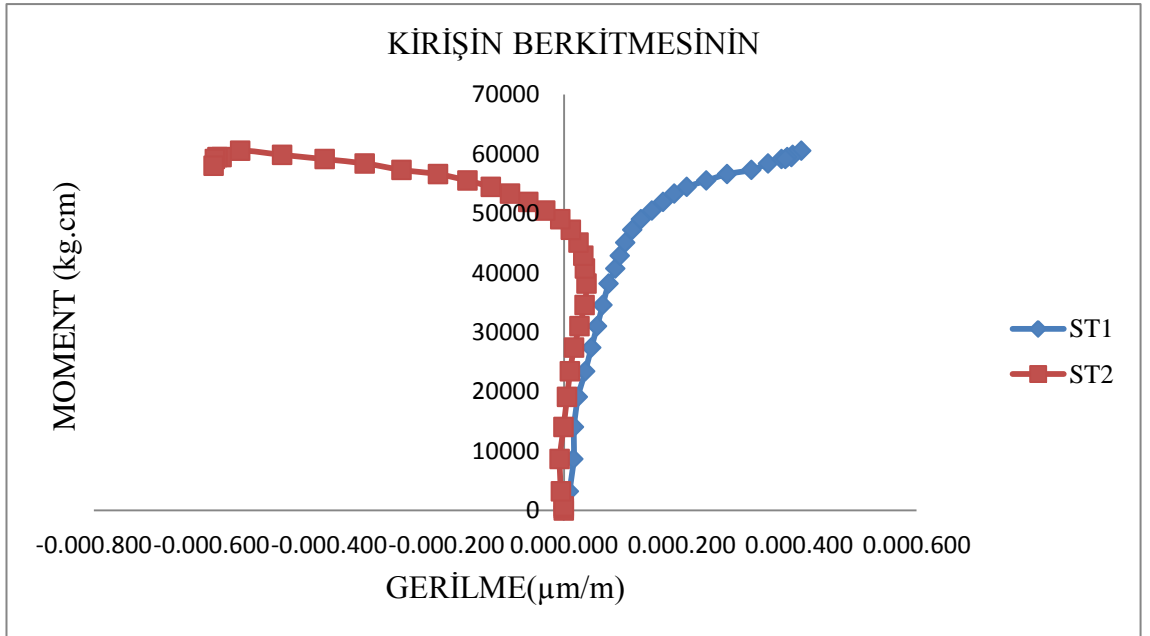


Şekil 4.64. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

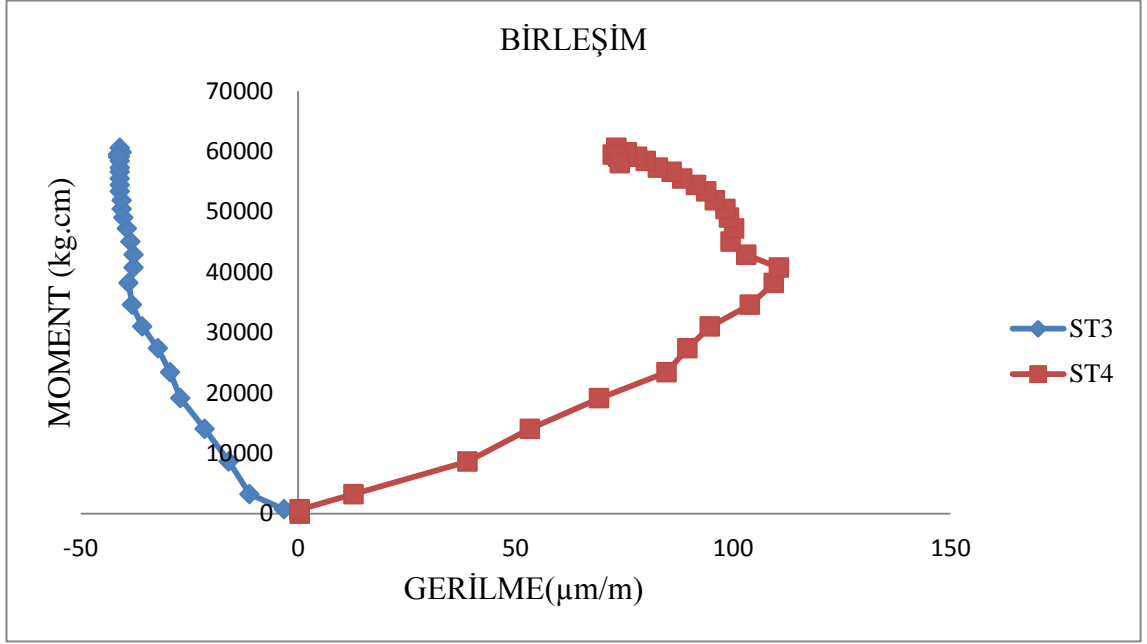
Çizelge 4.12. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR(knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{ØCd}	S _{j.ini}	S _{j.p-l}	S _{j.ini/Sj.p-l}	ØMR.d	ØMin .K .R.	ØMsup.k.R	Ø-M _{j. max}	Ø _{C.d}
EXP 8-1	34595.78-49010.6975	42884.3610	60542.6300	58020.0190	0.9194	0.2713	3.3895	0.0380	0.0069	0.0513	0.0120	0.1373
EXP 8-2	58382.077-61625.53	58382.0780	74238.9400	74237.9400	0.9509	0.1293	7.3542	0.0657	0.0657	0.0710	0.0585	0.0595

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %26.54 oranında birinci yüklemde fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %18.44 oranında birinci yüklemde fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %42.24 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.65. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.66. Birleşimin moment-gerilme grafiği

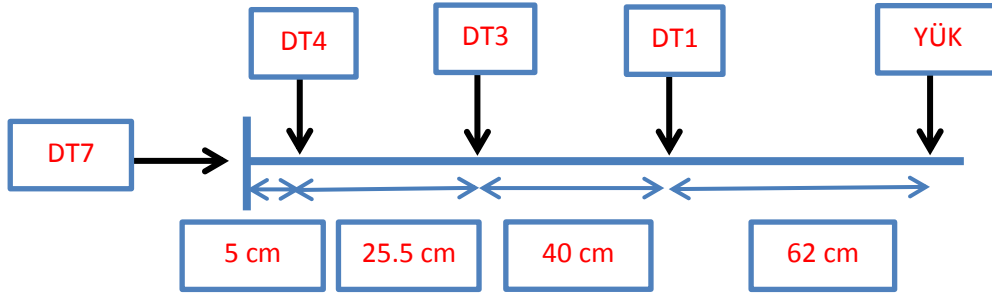
Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'ya bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

Kolondaki sehimi ve birleşim kırılmasını görebilmek için deneylere devam edildi, Şekil 4.62'de bulon kırılmalarına ait fotoğraflar görülmektedir. Burada üst birleşim noktalarında ki bulonların kesilmesiyle deney sonlandırıldı.

4.12. DeneyF50-L55-TF5-TB10-B8(EXP-9)

Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.67'de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Deneylerimizde piston uzunluğumuz yeterli olmadığı için deneylerde pistonun bağlı olduğu kirişimiz aşağı çekilmiştir. Bunu yapmamızın nedeni ise ilk yüklemde çizilen moment-dönme grafiğimizin devamını

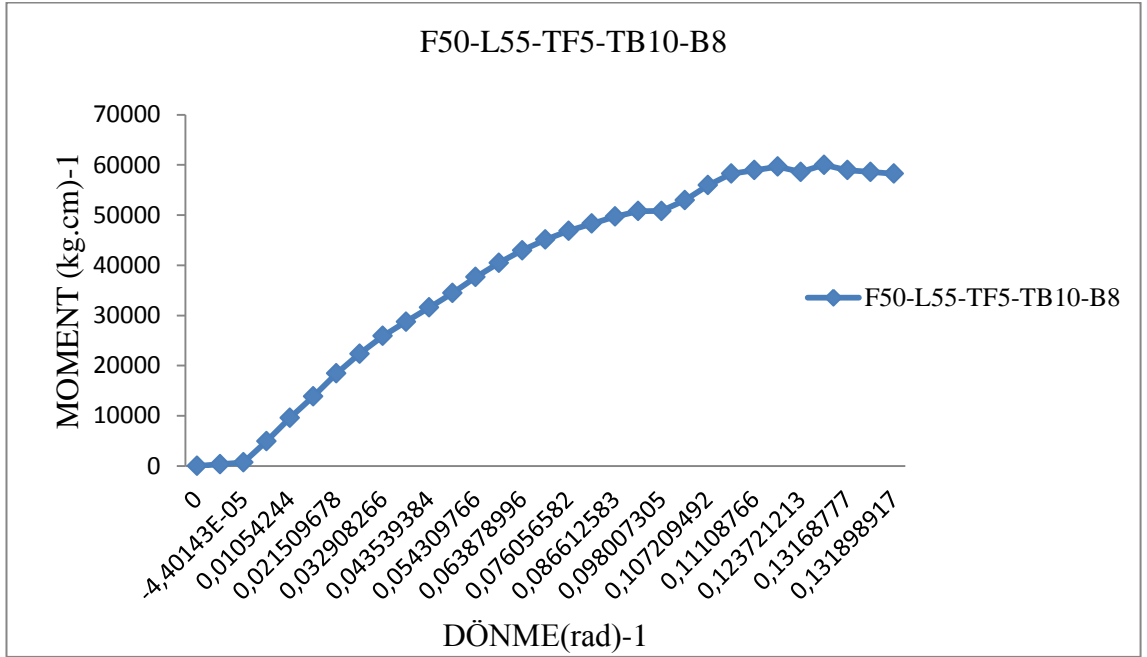
sağlamak ve birleşimin kırılmasını görebilmektir. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 1.9 cm olmuştur.



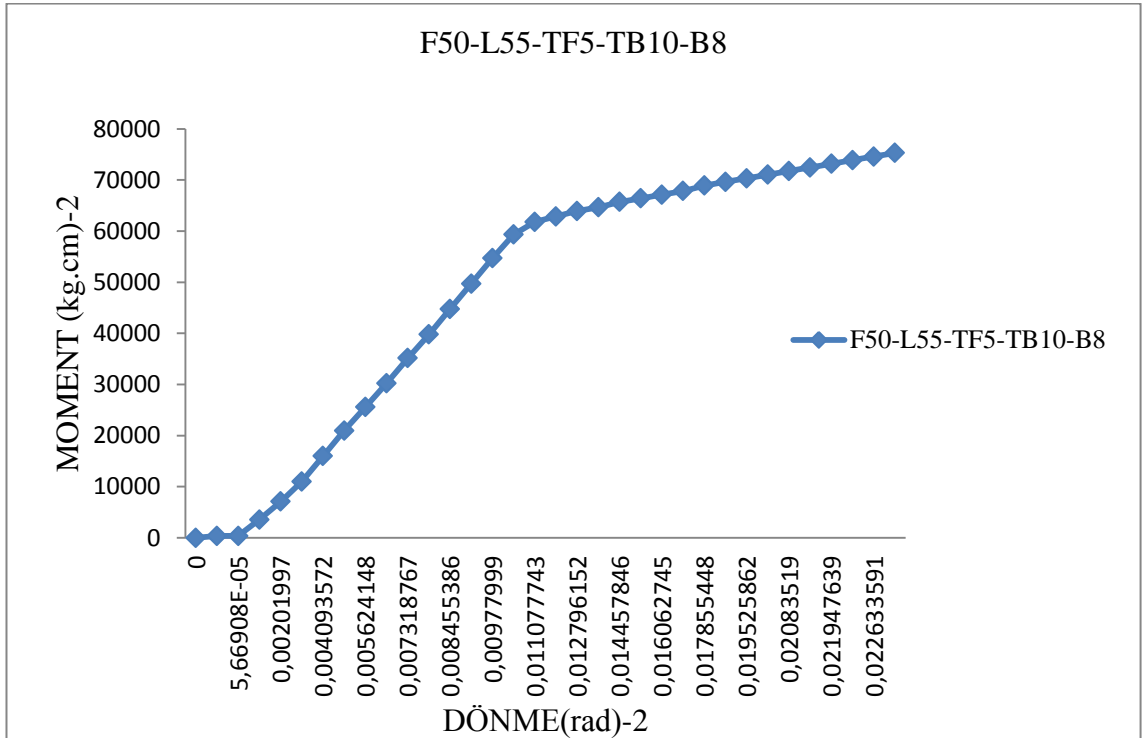
Şekil 4.67. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



Şekil 4.68. Deney düzeneği



Şekil 4.69. Moment-dönme grafiği birincil yükleme

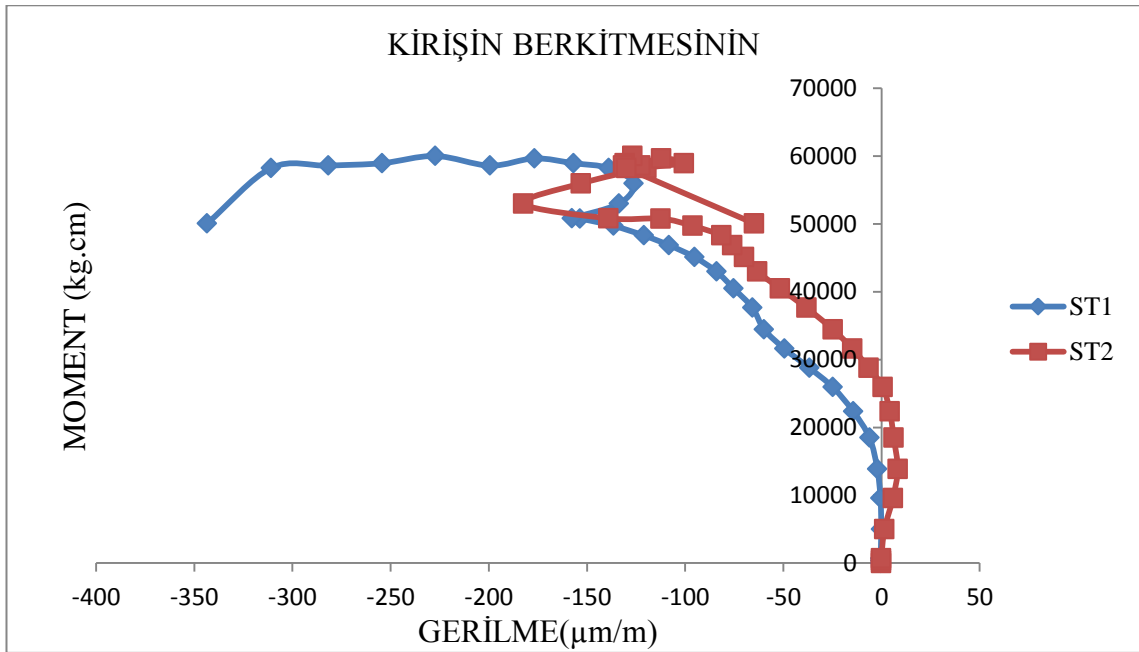


Şekil 4.70. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

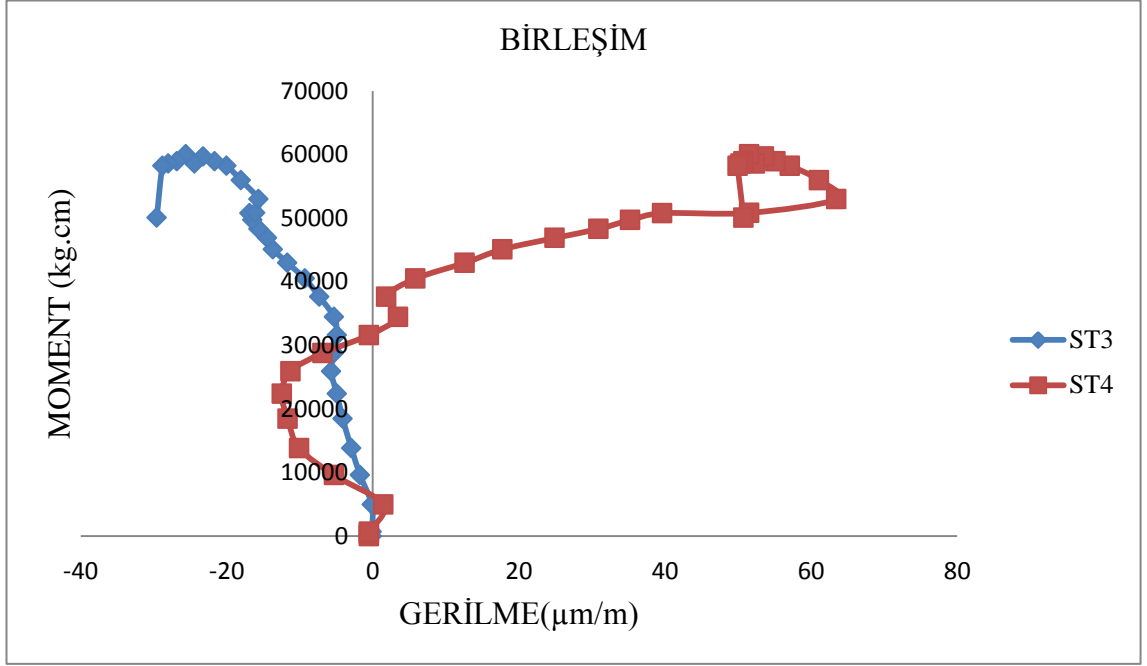
Çizelge 4.13. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R,d}	M _{j. max}	M _{ÖCd}	S _{j.ini}	S _{j.p-l}	S _{j.ini/Sj.p-l}	Θ _{MR.d}	Θ _{Min .K .R.}	Θ _{Sup. k.R}	Θ _{Mj. max}	Θ _{C.d}
EXP 8-1	34595.78-49010.6975	42884.3610	60542.6300	58020.019	0.9194	0.2713	3.3895	0.0380	0.0069	0.0513	0.0120	0.1373
EXP 8-2	58382.077-61625.53	58382.0780	74238.9400	74237.940	0.9509	0.1293	7.3542	0.0657	0.0657	0.0710	0.0585	0.0595

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.13’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasiteleri verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırırsak eğilme momenti ikinci yüklemeye göre %20.96 oranında birinci yüklemeye göre fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemeye göre %18.75 oranında birinci yüklemeye göre fazla ve ikinci yüklemeye göre dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %45.01 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekilde yüklemelerde ki ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.71. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği

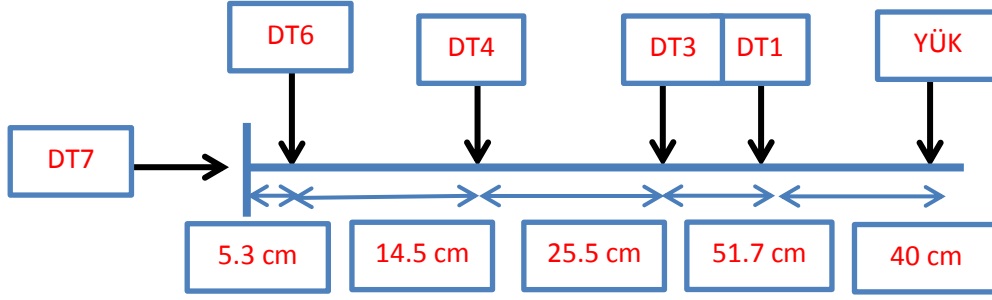


Şekil 4.72. Birleşimin moment-gerilme grafiği

Şekil 4.71 ve Şekil 4.72 ye bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

4.13. DeneyF50-L73-TF10-TB10-B8 (EXP-10)

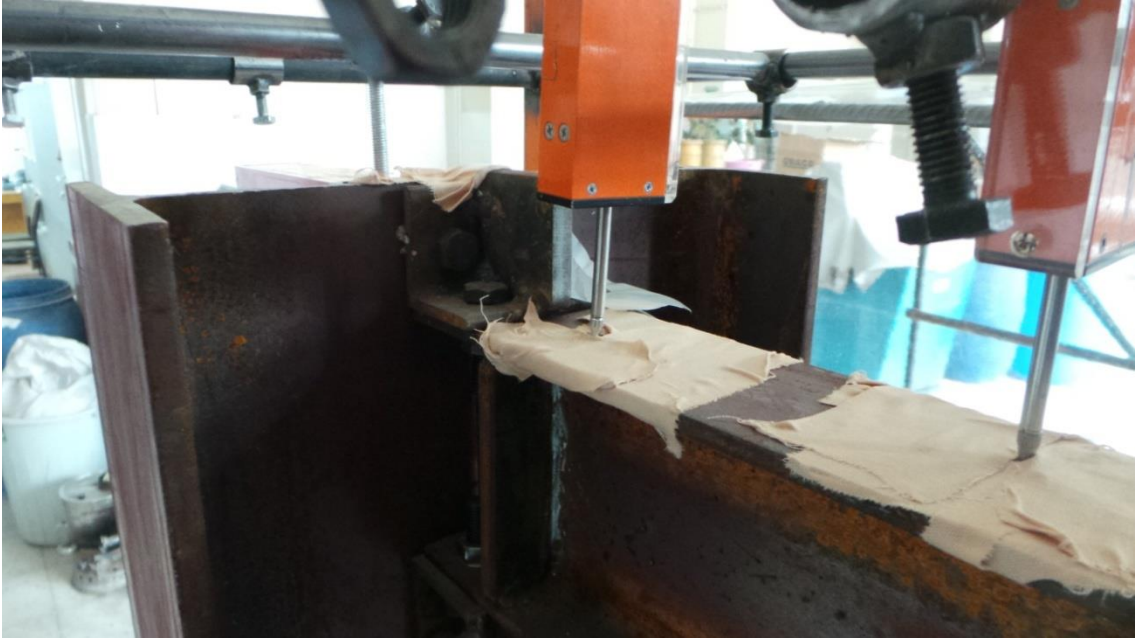
Bu deneyde 4 adet gerilme pulu, 5 adet LVDT ve bir adet Yük Hücresi kullanılmıştır. Kirişin berkitmesinin üstünde iki adet ve üst korniyerli birleşimin üzerinde de iki adet olmak üzere toplam 4 adet gerilme pulları kullanılmıştır. Şekil 4.73’de LVDT bağlantılarının mesafeleri gösterilmiştir. Önceki gruplardaki deneylere benzer olarak gerekli düzenlemeler yapıldı ve deneye devam edildi. Berkitmeler sayesinde kiriş moment kapasitesi artmıştır ve kolonda berkitme kullanılmadığı için sehim meydana gelmiştir. Kolondaki maksimum sehim 2 cm olmuştur.



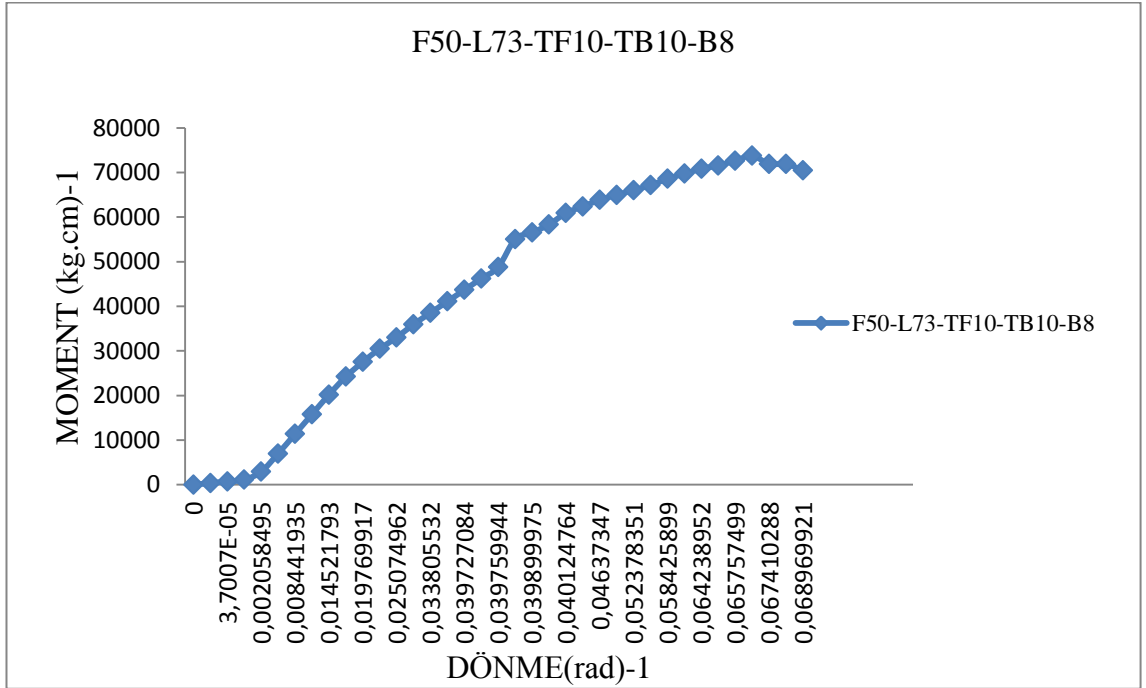
Şekil 4.73. LVDT bağlantıları ve mesafeleri



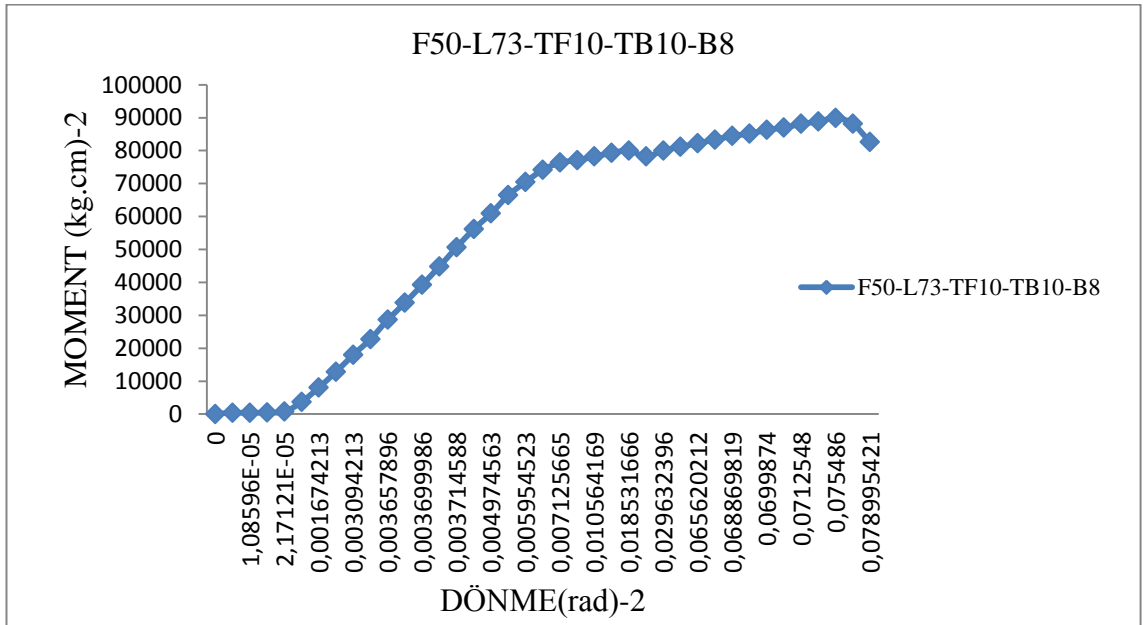
Şekil 4.74. Deney düzeneği



Şekil 4.75. Kiriş-kolon birleşim bölgesi öncesi ve sonrası



Şekil 4.76. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

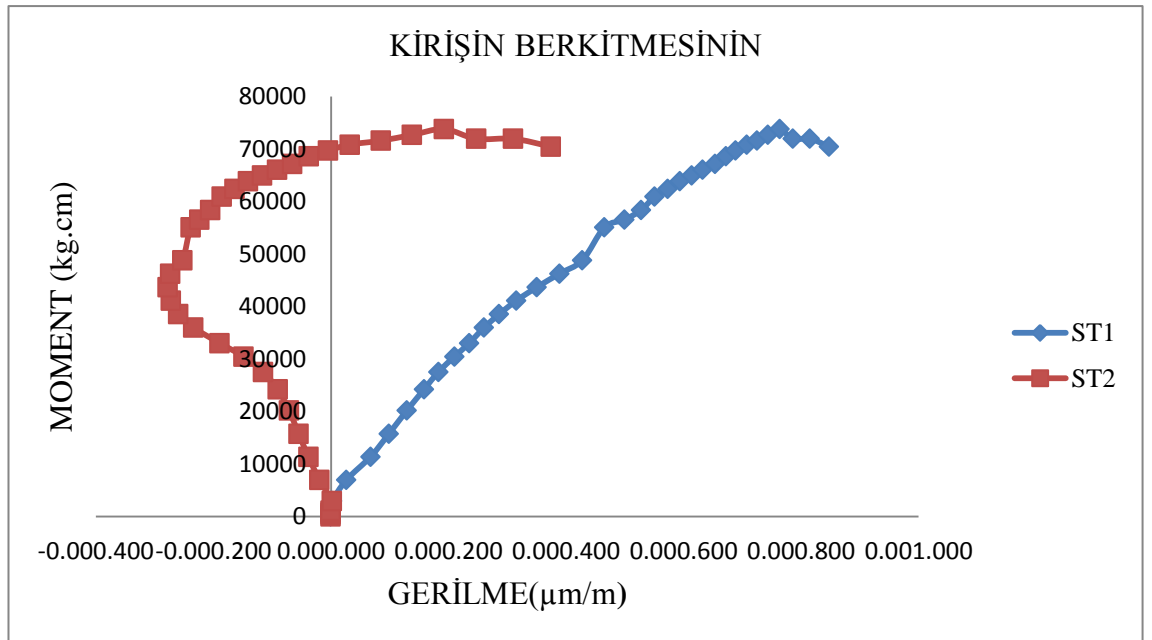


Şekil 4.77. Moment-dönme grafiği ikincil yükleme

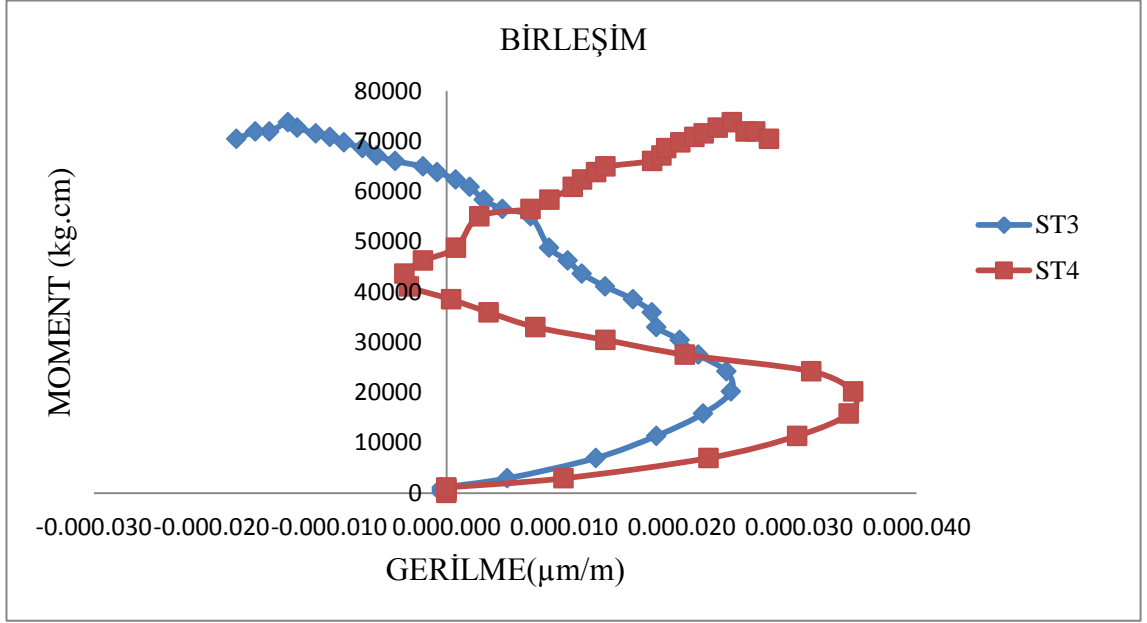
Çizelge 4.14. Deney verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	M _{R.d}	M _{j. max}	M _{OCd}	S _{j.ini}	S _{j.p-1}	S _{j.ini/Sj.p-1}	Θ _{MR.d}	Θ _{Min . K .R.}	Θ _{Msup. k.R}	Θ- _{Mj. max}	Θ _{C.d}
EXP 10-1	30458.6678-56513.6768	55045.787	72660.440	70458.610	0.9799	0.2911	3.3663	0.0397	0.0225	0.0399	0.0656	0.6793
EXP 10-2	74156.97-83334.81	74156.970	89992.860	82600.580	1.0757	0.1490	7.2195	0.0069	0.0069	0.0656	0.0755	0.0790

Moment-dönme eğrilerini Çizelge 4.14’de gösterilmiştir. Bu çizelgede eğilme momenti, moment dayanımı ve dönme kapasitesi verilmiştir. İkinci yükleme ile birinci yüklemeyi karşılaştırsak eğilme momenti ikinci yüklemde %25.77 oranında birinci yüklemekten fazla ve moment dayanımı ikinci yüklemde %19.25 oranında birinci yüklemekten fazla ve ikinci yüklemde dönme kapasitesi birinci yüklemeye göre %47.96 oranında azaldığı görülmüştür. Bu yüzden eğilme momenti, moment dayanımı bu şekil yüklemelerde ikinci yüklemeler birinci yüklemelere göre fazla çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.78. Kirişin berkitmesinin moment-gerilme grafiği



Şekil 4.79. Birleşimin moment-gerilme grafiği

Şekil 4.78 ve Şekil 4.79'a bakıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesinde gerilmelere oranlar çok daha fazla düzeydedir.

4.14. F50 Tipi Birleşimlerin Karşılaştırılması

Eşit olan F50 birleşimlerinde korniyer genişliği arttıkça maksimum moment dayanımı artıyor. 55 mm genişliğinden 73mm genişliğe %1.208 artış görünüyor.

Korniyer genişliği eşit olan F50 birleşimlerinde birleşim berkitme kalınlığı arttıkça birleşimin maksimum moment dayanımı artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında %16.39 oranında artış olduğu görülmüştür.

Aynı F50 birleşimlerinde kirişte berkitme kalınlığı arttıkça plastik eğilme momenti %7.43 oranında artış göstermiştir.

Aynı F50 birleşimlerde birleşimin berkitme levhasının kalınlığı arttıkça %35.28 oranında plastik eğilme momentinde artış olduğu görülmüştür.

Aynı olan F50 birleşimlerinde boy arttıkça plastik moment eğilmesi %1.21 oranında artış göstermiştir.

Aynı özelliklere sahip F50 deney grubunda plastik eğilme momenti ile maksimum moment kapasitesi karşılaştırıldığında birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça kapasitesinde azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı özelliklere sahip F50 deneylerinde boy oranı arttıkça kapasite artışa başlamıştı ve artış %40.99'dur.

Eşit olan F50 birleşimlerinde boy arttıkça dayanım azalıyor.

Eşit olan F50 birleşimlerinde korniyer berkitme kalınlığı arttıkça dayanım artıyor.

Aynı olan F50 birleşimlerinde birleşim kalınlığı arttıkça birleşimin sünekliğide azalıyor. Deneyler karşılaştırıldığında bu oranın %74.78 olduğu görülmüştür.

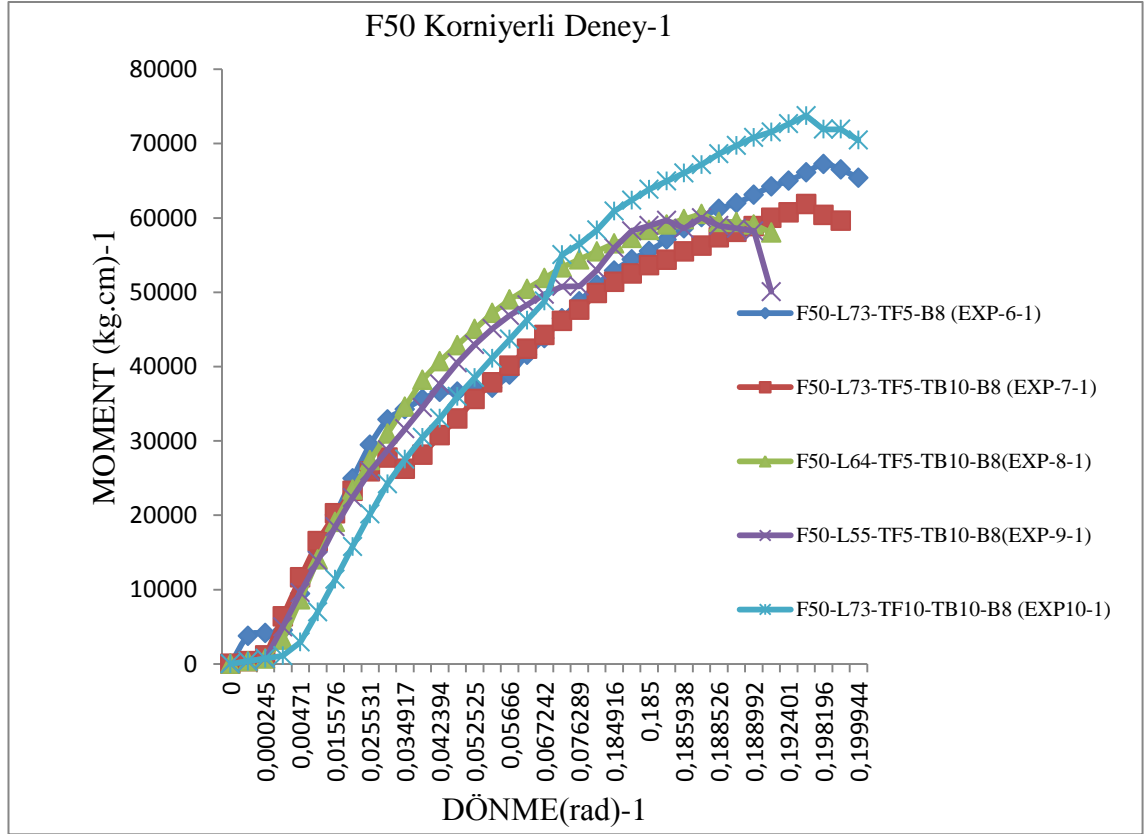
Aynı olan F50 birleşimlerinde berkitme kalınlığı arttıkça maksimum yük sünekliği %73.30 oranında azalma görülmüştür.

Aynı olan F50 birleşimlerinde farklı boylarda boy arttıkça maksimum yük sünekliği artıyor.

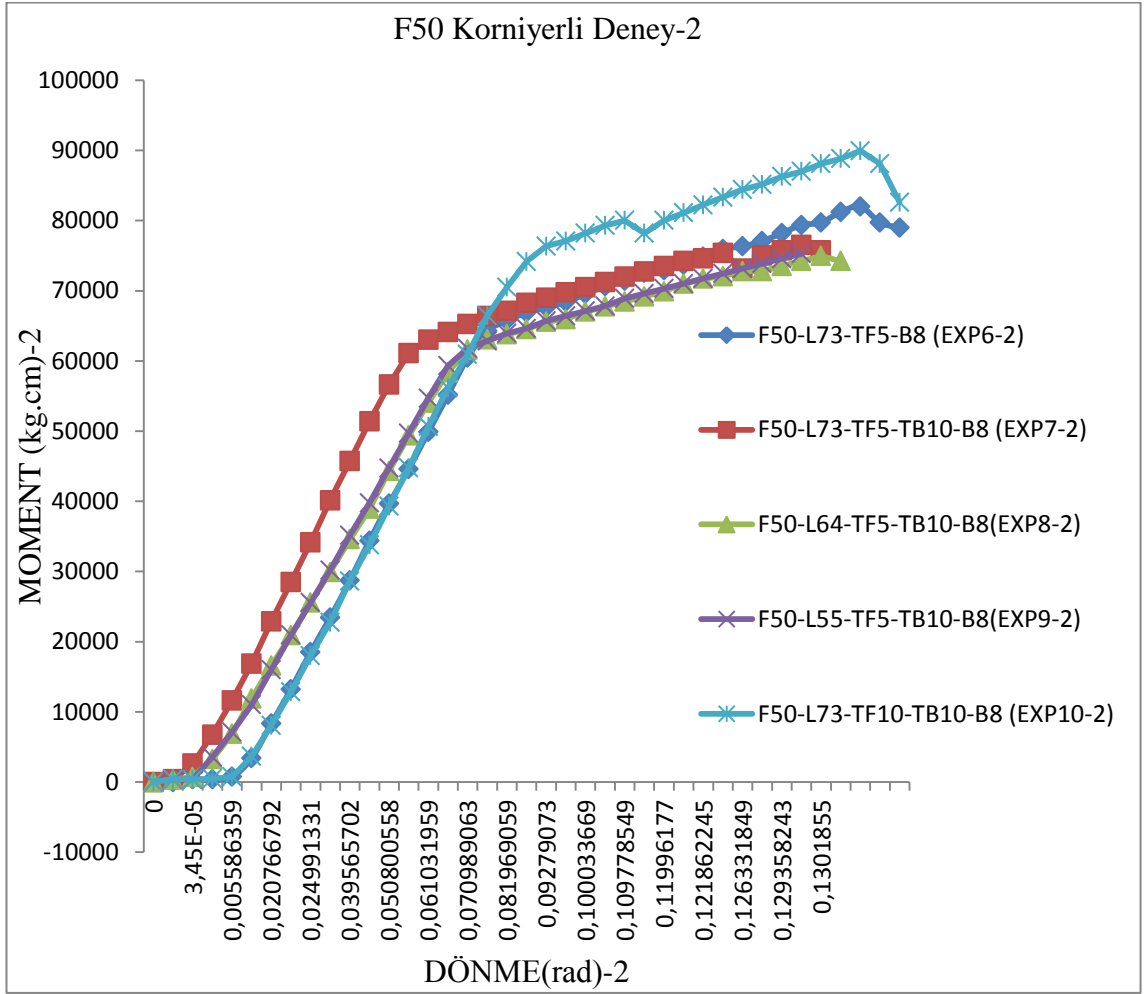
Deneylerin kırılmaları incelendiğinde; kırılmaların birleşimin üst bölgesinden civataların kırılması ile ve pulların eğilmesiyle olmuştur.

Kolonun gövdesinde yükleme sırasında sehim oluşmuştur. En fazla sehim 2.5 cm olduğu görülmüştür. Deneyler karşılaştırıldığında en az sehim 1.9 cm olduğu

görülmektedir. Bu sehimleri engellemekte kolonda berkitme kullanılması ve berkitme kalınlığı önemlidir.



Şekil 4.80. F50 korniyerli deneylerin 1. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması



Şekil 4.81. F50 korniyerli deneylerin 2. yükleme sonucu moment-dönme karşılaştırması

Çizelge 4.15. Birincil yükleme moment-dönme eğrilerin verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	MR.d	Mj. max	M _{ØCd}	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ØMR.d	ØMin.K.R.	ØMsup.k.R	Ø-Mj. max	Ø _{C.d}
EXP 6-1	15113.5644- 52900.79	38919.5171	67259.9300	65370.5700	0.88615	0.3708	2.3898	0.0473	0.0100	0.1849	0.1982	0.1999
EXP 7-1	25875.69- 42376.13	35625.9500	60751.6224	60376.6114	0.9426	0.3576	2.6359	0.0432	0.0282	0.0641	0.1235	0.1292
EXP 8-1	34595.78- 49010.6975	42884.3610	60542.6300	58020.0190	0.9194	0.2713	3.3895	0.0380	0.0069	0.05134	0.1202	0.1373
EXP 9-1	28765.6599- 55973.5668	46877.4600	60017.3900	58241.7200	0.8293	0.1905	4.3533	0.0575	0.3808	0.1072	0.1301	0.1319
EXP 10-1	30458.6678- 56513.6768	55045.7879	72660.4400	70458.6100	0.9799	0.2911	3.3663	0.0397	0.0225	0.0399	0.0656	0.06793

Çizelge 4.16. Birincil Yükleme süneklik karşılaştırması

Deney Adı	Dönme (rad)			Birleşim Süneklik	Maksimum Yük Süneklik
	$\Theta_{MR.d}$	$\Theta-Mj. \max$	$\Theta C.d$	$\eta J = \Theta c.d / \Theta_{MR.d}$	$\eta J.MAX.LOAD = \Theta Mj. \max / \Theta_{MR.d}$
EXP 6-1	0.0473	0.1982	0.1999	4.2262	4.1903
EXP 7-1	0.0432	0.1235	0.1292	2.9907	2.8587
EXP 8-1	0.0380	0.120	0.1373	3.6132	3.1578
EXP 9-1	0.0575	0.1301	0.1319	2.2939	2.2626
EXP 10-1	0.0397	0.0656	0.06793	1.7111	1.652

Çizelge 4.17. İkincil Yükleme moment-dönme eğrilerin verileri

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	MR.d	Mj. max	M Θ_{Cd}	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	Θ MR.d	Θ Min.K.R.	Θ Msup.k.R	Θ -Mj. max	$\Theta_{C.d}$
EXP 6-2	55170.7662-67640.87109	64239.9300	81244.6244	79733.0940	1.3322	0.2210	6.0272	0.0669	0.0617	0.0699	0.0821	0.0863
EXP 7-2	56630.12-66381.002	61130.5296	76506.9200	75756.8518	1.3097	0.1215	10.7811	0.0240	0.0225	0.0423	0.0816	0.0823
EXP 8-2	58382.077-61625.53	58382.0780	74238.9400	74237.9400	0.9509	0.1293	7.3542	0.0657	0.0657	0.0710	0.12998	0.13095
EXP 9-2	54693.55-63927.526	59310.5400	73871.8100	74299.4200	0.8951	0.1655	5.4085	0.0105	0.0098	0.0128	0.0224	0.0228
EXP 10-2	74156.97-83334.81	74156.9700	89992.8600	82600.5800	1.0757	0.1490	7.2195	0.0069	0.0069	0.0656	0.0755	0.0790

Çizelge 4.18. İkincil yükleme süneklik karşılaştırması

Deney Adı	Dönme (rad)			Birleşim Süneklik	Maksimum Yük Süneklik
	$\Theta_{MR.d}$	$\Theta-Mj. max$	$\Theta C.d$	$\frac{\Theta J = \Theta c.d}{\Theta MR.d}$	$\frac{\Theta J.MAX.LOAD = \Theta Mj. Max}{\Theta MR.d}$
EXP 6-2	0.0669	0.0821	0.0863	1.28998	1.2272
EXP 7-2	0.0240	0.0816	0.0823	3.42916	3.4
EXP 8-2	0.0657	0.12998	0.13095	1.993150	1.9784
EXP 9-2	0.0105	0.0224	0.0228	1.52	2.133
EXP 10-2	0.0069	0.0755	0.0790	11.44	10.94

4.15. F50 Tipi ve F60 Tipi Birleşimlerin Karşılaştırılması

Birleşimin kendi kalınlığı arttıkça maksimum moment dayanımı artış göstermektedir ve bu artış oranı %2.34 oranından %16.66 oranına kadardır. Maksimum moment dayanımının en az olduğu değer deneylerde kullanılan birleşim genişliğinin 55 mm de olduğu değerdir. En fazla maksimum moment dayanımı L64-TF5-TB10-B8 deneyinde elde edilmiştir. Deneyde moment eğilme dayanımı kalınlık arttıkça artış göstermiştir. Bu artış %1.23 den %36.39 a kadardır. Sadece genişliğin 55 mm olduğu zaman azaldığı görülmüştür. Moment kapasitesi birleşimin kalınlığı arttıkça artış göstermiştir ve bu oran %3.18 den %15.49 oranına kadar değişim olmuştur. Moment kapasitesinin en az olduğu deney 55 mm genişlikte olduğu değerdir. Moment kapasitesinin en fazla olduğu deney ise L73-TF10-TB10-B8 dir. Sonuç olarak kirişin flanşından küçük olan birleşimin seçilmesi uygun değildir. Çünkü kiriş flanşının genişliğinden(64 mm) az seçilen birleşimlerde moment mukavemeti düşük çıkmaktadır.

Birleşimin sünekliği ve maksimum yük sünekliği birleşimin kalınlığı arttıkça azalmaya başlamış en fazla azalma kirişte berkitmenin olmadığı deneylerde olmuştur ve en az azalma birleşimin genişliğinin 55 mm olduğu deneyde olmuştur. Ayrıca birleşimin berkitme kalınlığı ve korniyer kalınlığı arttığı zaman birleşim sünekliği ve maksimum yük sünekliği artış göstermiştir. Sonuç olarak sünekliği artırmak için korniyer kalınlığını ve berkitme kalınlığını artırmak gereklidir.

Bütün deneylerde kolonda sehim meydana gelmiştir. En fazla sehim kirişte berkitmenin kullanılmadığı durumda meydana gelmiştir. Sehim engellemek için kolonda berkitmeler kullanılmalıdır. Deneylerin kırılma performanslarına bakıldığında hepsi birbirine benzerdir. Korniyer birleşimin kalınlığı arttıkça rijitlik azalmaktadır. Bu azalma %52.56 oranından %8.22 oranına kadardır. En az 64 mm olan birleşimlerde olurken en fazlada L73-TF10-TB10-B8 deneyindedir. Sadece L73-TF5-TB10-B8 deneyinde kalınlık arttıkça rijitlikte artmıştır.

Çizelge 4.19. F50 ve F60 birleşimlerin karşılaştırılması

Deney Adı	Dayanım (kg cm)				Rijitlik (kg cm/rad)			Dönme (rad)				
	KR (knee-range)	MR.d	Mj. max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ØMR.d	ØMin.K.R	ØMsup.k.R	Ø-Mj. max	ØC.d
EXP 1-1	47039.33-58107.42	55735.6878	86568.1980	83382.3300	0.812	0.2610	3.1106	0.0574	0.0525	0.0732	0.1072	0.1636
EXP 1-2	67998.8466-88161.303	83812.5300	102788.9519	102788.9500	0.9283	0.2025	4.5832	0.0469	0.0460	0.0648	0.1203	0.1259
EXP 2-1	44859.83-57960.498	52799.6400	72649.1196	67488.2560	0.8544	0.3833	2.2291	0.0659	0.0510	0.0755	0.1110	0.1109
EXP 2-2	74226.2772-85177.18	77401.7300	91294.3400	88912.7612	0.767	0.1965	3.9033	0.0610	0.6086	0.0611	0.0635	0.0657
EXP 3-1	31315.043-55975.64	45406.9900	61455.7700	60281.4500	0.8261	0.2578	3.2049	0.0559	0.0390	0.0922	0.1129	0.1138
EXP 3-2	59122.11-67735.93	66169.7800	86921.2500	83788.9500	1.10168	0.2607	4.2261	0.0612	0.0579	0.0605	0.0341	0.1347
EXP 4-1	43952.052-65344.65165	56009.7010	68845.2591	66122.5500	0.9007	0.3300	2.7300	0.0575	0.0511	0.0838	0.0882	0.0885
EXP 4-2	29949.63-538287.008	47001.7100	68845.2600	67678.3900	0.851	0.4300	1.9791	0.0921	0.7130	0.0936	0.1002	0.1003
EXP 5-1	37179.92-54835.004	49573.2300	73984.3000	73233.1890	0.89156	0.4304	2.0716	0.1011	0.0547	0.1573	0.1704	0.1739
EXP 5-2	68350.4542-77739.25	73983.7300	97268.6800	96516.8500	1.097	0.2070	5.2995	0.0333	0.0292	0.3335	0.0899	0.0955
EXP 6-1	15113.5644-52900.79	38919.5171	67259.9300	65370.5700	0.88615	0.3708	2.3898	0.0473	0.0100	0.1849	0.1982	0.1999
EXP 6-2	55170.7662-67640.87109	64239.9300	81244.6244	79733.0940	1.3322	0.2210	6.0272	0.0669	0.0617	0.0699	0.0821	0.0863
EXP 7-1	25875.69-42376.13	35625.9500	60751.6224	60376.6114	0.9426	0.3576	2.6359	0.0432	0.0282	0.0641	0.1235	0.1292

Çizelge 4.19. (devam)

EXP 7-2	56630.12- 66381.002	61130.5296	76506.9200	75756.8518	1.3097	0.1215	10.7811	0.0240	0.0225	0.0423	0.0816	0.0823
EXP 8-1	34595.78- 49010.6975	42884.3610	60542.6300	58020.0190	0.9194	0.2713	3.3895	0.0380	0.0069	0.0513	0.1202	0.1373
EXP 8-2	58382.077- 61625.53	58382.0780	74238.9400	74237.9400	0.9509	0.1293	7.3542	0.0657	0.0657	0.0710	0.0585	0.0595
EXP 9-1	28765.6599- 55973.5668	46877.4600	60017.3900	58241.7200	0.8293	0.1905	4.3533	0.0575	0.3808	0.1072	0.1301	0.1319
EXP 9-2	54693.55- 63927.526	59310.5400	73871.8100	74299.4200	0.8951	0.1655	5.4085	0.0105	0.0098	0.0128	0.0224	0.0228
EXP 10-1	30458.6678- 56513.6768	55045.7879	72660.4400	70458.6100	0.9799	0.2911	3.3663	0.0397	0.0225	0.0399	0.0656	0.0679
EXP 10-2	74156.97- 83334.81	74156.9700	89992.8600	82600.5800	1.0757	0.1490	7.2195	0.0069	0.0069	0.0656	0.0755	0.0790

Çizelge 4.20. Süneklik değerlerinin karşılaştırılması

Deney Adı	Dönme (rad)			Birleşim Sünekliği	Maksimum Yük Sünekliği
	$\Theta_{MR.d}$	$\Theta-Mj. \max$	$\Theta C.d$	$\mathcal{J}J=\Theta c.d/\Theta MR.d$	$\mathcal{J}J.MAX.LOAD= \Theta Mj. \max/ \Theta MR.d$
EXP 1-1	0.0574	0.1072	0.1636	2.850	1.867
EXP 1-2	0.0469	0.1203	0.1259	2.686	2.566
EXP 2-1	0.0659	0.1110	0.1109	1.683	1.685
EXP 2-2	0.0610	0.0635	0.0657	1.078	1.041
EXP 3-1	0.0559	0.1129	0.1138	2.033	2.018
EXP 3-2	0.0612	0.0341	0.1347	2.201	0.557
EXP 4-1	0.0575	0.0882	0.0885	1.539	1.534
EXP 4-2	0.0921	0.1002	0.1003	1.089	1.089
EXP 5-1	0.1011	0.1704	0.1739	1.720	1.685
EXP 5-2	0.0333	0.0899	0.0955	2.862	2.695
EXP 6-1	0.0473	0.1982	0.1999	4.228	4.191
EXP 6-2	0.0669	0.0821	0.0863	1.289	1.228
EXP 7-1	0.0432	0.1235	0.1292	2.991	2.857
EXP 7-2	0.0240	0.0816	0.0823	3.430	3.399
EXP 8-1	0.0380	0.1202	0.1373	3.616	3.168
EXP 8-2	0.0657	0.0585	0.0595	0.906	0.891
EXP 9-1	0.0575	0.1301	0.1319	2.294	2.264
EXP 9-2	0.0105	0.0224	0.0228	2.182	2.146
EXP 10-1	0.0397	0.0656	0.0679	1.710	1.651
EXP 10-2	0.0069	0.0755	0.0790	11.525	11.013

Çizelge 4.21. Kolonlarda meydana gelen sehim miktarları

Deney Adı	Sehim miktarı(cm)
Deney F60-L73-TF10-TB10-B8 (EXP 1)	1.5
Deney F60-L64-TF5-TB10-B8 (EXP2)	2
Deney F60-L55-TF5-TB10-B8(EPX-3)	2
Deney F60-L73-TF5-TB10-B8(EXP4)	2.2
Deney F60-L73-TF5-B8 (EXP-5)	2.3
Deney F50-L73-TF5-B8 (EXP-6)	1.9
Deney F50-L73-TF5-TB10-B8 (EXP-7)	2.5
Deney F50-L64-TF5-TB10-B8(EXP-8)	2
Deney F50-L55-TF5-TB10-B8(EXP-9)	1.9
Deney F50-L73-TF10-TB10-B8 (EXP-10)	2

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 10 adet deney yapılmıştır ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1- F60-L64-TF5-TB10-B8, F60-L55-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF5-TB10-B8 deneylerinin birleşimlerinde ki korniyer genişliği arttıkça maksimum moment dayanımı artıyor. En ideal boy F60-L64-TF5-TB10-B8 deneyinde (kirişin flanşının boyunda olan) görülmüştür.

2- F60-L73-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF10-TB10-B8 birleşimlerinde, birleşim berkitme kalınlığı arttıkça birleşimin maksimum moment dayanımı artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında %20.47 oranında artış olduğu görülmüştür.

3- F60-L73-TF5-B8(EXP-5) ile F60-L73-TF5-TB10-B8, F60-L64-TF5-TB10-B8, F60-L55-TF5-TB10-B8 deneyleri karşılaştırıldığında birleşimlerde kirişte berkitme kullanıldığında plastik eğilme momenti %11.49 oranında artış göstermiştir.

4- F60-L73-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerde birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça %0.48 oranında plastik eğilme momentinde azalma olduğu görülmüştür.

5- F60-L64-TF5-TB10-B8, F60-L55-TF5-TB10-B8 deneylerin birleşimlerinde ki boy arttıkça plastik eğilme moment %18.93 oranında artış göstermiştir.

6- Aynı özelliklere sahip F60 deney grubunda her deneyin plastik eğilme momenti ile maksimum moment kapasitesi karşılaştırıldığında birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça kapasitesinde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı özelliklere sahip F60 deneylerinde boy oranı arttıkça kapasite azalmaya başlamıştır.

- 7- F60-L64-TF5-TB10-B8, F60-L55-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF5-TB10-B8 deneylerin birleşimlerinde boy arttıkça dayanım azalmaktadır.
- 8- F60-L73-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki berkitme kalınlığı arttıkça dayanım artıyor.
- 9- Aynı olan F60 birleşimlerinde birleşim kalınlığı arttıkça birleşimin sünekliğide artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında bu oranın %45.09 olduğu görülmüştür.
- 10- F60-L73-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki berkitme kalınlığı arttıkça maksimum yük sünekliği %17.86 oranında artış görülmüştür.
- 11- F60-L64-TF5-TB10-B8, F60-L55-TF5-TB10-B8, F60-L73-TF5-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki farklı boylar incelendiğinde boy arttıkça maksimum yük sünekliğinin azaldığı görülmüştür.
- 12- Deneylerin kırılmaları incelendiğinde; kırılmaların birleşimin üst bölgesinden bulon kırılması şeklinde ve pulların eğilmesiyle olmuştur.
- 13- Kolonun gövdesinde yükleme sırasında sehim meydana gelmiştir. En fazla sehim kirişte berkitmenin kullanılmadığı deneyde (Deney F60-L73-TF5-B8 (EXP-5) olduğu ve değerinde 2.3 cm olduğu görülmüştür. Deneyler karşılaştırıldığında en az sehim F60-L73-TF10-TB10-B8 (EXP 1) deneyinde ve 1.5 cm olduğu görülmektedir. Bu sehimleri engellemekte kiriş ve kolonda berkitme kalınlığının dikkate alınarak kullanılması önerilmiştir.
- 14- F50-L73-TF5-TB10-B8, F50-L64-TF5-TB10-B8 ve F50-L55-TF5-TB10-B8 deneylerinin birleşimleri incelendiğinde korniyer genişliği arttıkça maksimum moment dayanımı artıyor. 55 mm genişliğinden 73 mm genişliğe %1.208 artış görünüyor.

15- F50-L73-TF5-TB10-B8 ve F50-L73-TF10-TB10-B8 deneyleri karşılaştırıldığında birleşimdeki berkitme kalınlığı arttıkça birleşimin maksimum moment dayanımı artıyor. Deneyler karşılaştırıldığında %16.39 oranında artış olduğu görülmüştür.

16- Aynı F50 birleşimlerinde kirişte berkitme kullanıldığında plastik eğilme momenti %7.43 oranında artış göstermiştir.

17- F50-L73-TF5-TB10-B8 ve F50-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça %35.28 oranında plastik eğilme momentinde artış olduğu görülmüştür.

18- F50-L73-TF5-TB10-B8, F50-L64-TF5-TB10-B8 ve F50-L55-TF5-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki boy arttıkça plastik eğilme momenti %1.21 oranında artış göstermiştir.

19- Aynı özelliklere sahip F50 deney grubunda her deneyin kendi plastik eğilme momenti ile maksimum moment kapasitesi karşılaştırıldığında birleşimin berkitme kalınlığı arttıkça kapasitesinde azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca, F50-L73-TF5-TB10-B8, F50-L64-TF5-TB10-B8 ve F50-L55-TF5-TB10-B8 deneylerinde boy oranı arttıkça kapasite artışa başlamıştı ve artış % 40.99 oranında olmuştur.

20- F50-L73-TF5-TB10-B8, F50-L64-TF5-TB10-B8 ve F50-L55-TF5-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerin boyu arttıkça dayanım azalıyor.

21- F50-L73-TF5-TB10-B8 ve F50-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde korniyer berkitme kalınlığı arttıkça dayanım artıyor.

22- F50-L73-TF5-TB10-B8 ve F50-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinin birleşimlerinde berkitme kalınlığı arttıkça birleşimin sünekliğide azalıyor. Deneyler karşılaştırıldığında %74.78 oranında azalma olduğu görülmüştür.

23- F50-L73-TF5-TB10-B8 ve F50-L73-TF10-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki berkitme kalınlığı arttıkça maksimum yük sünekliği %73.30 oranında azalma görülmüştür.

24- F50-L73-TF5-TB10-B8, F50-L64-TF5-TB10-B8 ve F50-L55-TF5-TB10-B8 deneylerinde birleşimlerdeki farklı boylarda boy arttıkça maksimum yük sünekliği artıyor.

25- Kolonun gövdesinde yükleme sırasında sehim oluşmuştur. En fazla sehim 2.5 cm olduğu görülmüştür. Deneyler karşılaştırıldığında en az sehim 1.9 cm olduğu görülmektedir. Bu sehimleri engellemek için kolonda berkitme kalınlığına dikkat edilerek berkitme kullanılması önerilmiştir.

26- Birleşimin kendi kalınlığı arttıkça maksimum dayanım artış gösteriyor. Bu oran %2.34 oranından %16.66 oranına kadardır. Maksimum moment dayanımının en az olduğu değer deneylerde kullanılan birleşim genişliğinin 55 mm de olduğu değerdir. En fazla maksimum moment dayanımı L64-TF5-TB10-B8 deneyinde olduğu görülmüştür.

27- Deneyde moment eğilme dayanımı korniyerin kalınlığı arttıkça artış göstermiştir, bu artış %1.23 den %36.39 a kadardır. Sadece korniyer genişliğinin 55 mm olduğu zaman azaldığı görülmüştür.

28- Moment kapasitesi birleşimin kalınlığı arttıkça artış göstermiştir ve bu oran %3.18 den %15.49 oranına kadar değişim olmuştur. Moment kapasitesinin en az olduğu deney korniyer genişliğinin 55 mm olduğu deneydir. Moment kapasitesinin en fazla olduğu deney ise L73-TF10-TB10-B8 dir. Sonuç olarak kirişin flanşından küçük olan birleşimin seçilmesi uygun değildir. Çünkü kiriş flanşının genişliğinden(64 mm) az seçilen birleşimlerde moment dayanımı düşük çıkmaktadır.

29- Birleşimin sünekliği ve maksimum yük sünekliği birleşimin kalınlığı arttıkça azalmaya başlamış en fazla azalma kirişte berkitmenin olmadığı deneylerde olmuştur ve

en düşük azalma korniyer genişliğinin 55 mm olduğu deneyde olmuştur. Ayrıca birleşimin berkitme kalınlığı ve korniyer kalınlığı arttığı zaman birleşim sünekliği ve maksimum yük sünekliği artış göstermiştir. Sonuç olarak sünekliği artırmak için korniyer kalınlığını ve berkitme kalınlığını artırmak gereklidir.

30- Deneyler karşılaştırıldığında kirişin berkitmesinde gerilmeler elastik bölgede iken, birleşim bölgelerinde ise gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Birleşim bölgelerinde gerilme oranları kirişin berkitme bölgesindeki gerilmelere oranla çok daha fazla düzeydedir.

KAYNAKLAR

- Abidelah, A., Bouchaï, A., Kerdal, D.E., 2012. Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 13–27.
- Ali N.B.H., Sellami M., Cutting-Decelle A.F. and Mangin J.C., 2009. Multi-stage production cost optimization of semi-rigid steel frames using genetic algorithms. *Engineering Structures*, 31(2009), 2766-2778.
- Awkar, J.C. and Lui E.M., 1999. Seismic analysis and response of multistory semirigid frames. *Engineering Structures*, 21(1999), 425-441.
- Azizinamini, A., Radziminski, J.B., 1989. Static and cyclic performance of semi-rigid steel beam-to-column connection. *Journal of Structural Engineering-Asce*, 115, 2979–99.
- Batho, C., 1931. Investigations on Beam and Stanchion Connections. Department of Scientific and Industrial Research, 61-137.
- 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.
- Bose B, Sarkar S, and Bahrami M, , 1991." Finite Element Analysis of unstiffened extended end plate connections." *Structural Engineering Review*, 3, 211-224.
- Cabrero, J.M. and Bayo E., 2005. Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections. *Engineering Structures*, 27(2005), 1125-1137.
- Cabrero, J.M., Bayo, E., 2007. The semi-rigid behaviour of three-dimensional steel beam-to-column joints subjected to proportional loading. Part I:experimental evaluation, *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 1241–53.
- 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., Lui , E.M., 1991. *Stability Design of Steel Frames*. London, CRC Press.
- Coelho, A.M.G., Bijlaard, F.S.K., Gresnigt, N., Silva, L.S., 2004b. Experimental assessment of the ductility of extended end plate connections, *Engineering Structures*, 26, 1185–1206.
- Coelho, A.M.G., Bijlaard, F.S.K., 2007. Experimental behaviour of high strength steel end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(9), 1228–40.
- Coelho, A.M.G., Bijlaard, F.S.K., Gresnigt, N., Silva. L.S., 2004a. Experimental assessment of the behaviour of bolted T-stub connections made up of welded plates. *Journal of Constructional Steel Research*, 60, 269–311.
- Deren, H., Uzgider, Erdoğan., Piroğlu, Filiz., Çağlayan, Özden., 2008. *Çelik Yapılar. Çağlayan Kitabevi, İstanbul*.
- Değertekin, Ö., 2001. Yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve sistemlerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı. Y.Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye.
- Erdem, H., 1999. Yarı rijit bağlı düzlemsel çerçevelerin nonlinear analizi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(3), 1-12.

- Hasan, R., Kishi N. and Chen W.F., 1998. A new nonlinear connection classification system. *Journal of Constructional Steel Research*, 47 (1998), 119-140.
- Hayalioğlu, M.S., Değertekin S.Ö. and Görgün H., 2004. Design of semi-rigid planar steel frames according to Turkish Steel Design Code. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4(2), 101-116.
- Jones, S.W., Kirby, P.A., Nethercot, D.A., 1980. Effect of semi-rigid connections on steel column strength. *Journal of Constructional Steel Research*, 1, 38–46.
- Kameshki, E.S. and Saka M.P., 2001. Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm. *Computers and Structures*, 79 (2001), 1593-1604.
- Kishi, N., Chen, W.F., 1986a. Steel connection data bank program. In: *Structural engineering*. 2nd ed. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Report no. CE-STR86-18;.
- Kishi, N., Chen, W.P., 1986b. Data base of steel beam-to-column connections. In: *Structural engineering*. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, 1/2, Report no. CE-STR-86-26.
- Le, S.S. and Moon T.S., 2002. Moment-Rotation Model of Semi-Rigid Connections with Angles. *Engineering Structures*, 24(2002), 227-237.
- Liew, J.Y.R., Yu, C.H., Ng, Y.H., Shanmugam, N.E., 1997. Testing of semi-rigid unbraced frames for calibration of second-order inelastic analysis. *Journal of Const Steel Res*, 41, 159–95.
- Limaa, L.R.O., Andradea, S.A.L., Vellascob, P.C.G., Silvac, L.S., 2002. Experimental and mechanical model for predicting the behaviour of minor axis beam-to-column semi-rigid joints. *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 1047–1065.
- Odabaşı Y., 1992. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Yayınları, vize/kirklareli, Kasım 2000, İstanbul.
- Öztürk A.U. and Catal H.H., 2005. Dynamic analysis of semi-rigid frames. *Mathematical and Computational Applications*, 1(10), 1-8.
- Piluso, V., Rizzano, G., 2008. Experimental analysis and modelling of bolted T-stubs under cyclic loads. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(6), 655–69.
- Popov, EP., Takhirov, S.M., 2002. Bolted large seismic steel beam-to-column connections Part 1. experimental study. *Engineering Structures*, 24(12),1523–34.
- Pucinotti, R., 2001. Top-and-seat and web angle connections: prediction via mechanical model. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(2001), 661-694.
- Sağiroğlu, M., Aydın, A.C., 2013a. Yarı-Rijit Bağlantılı Üç Boyutlu Çelik Çerçevelerin Rijitlik Matrisi Metoduyla Çözümü. *Çelik Yapılar Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Teknik Üniversitesi Süleyman Demirel Kültür Merkezi*, 437-446.
- Sağiroğlu, M., 2013. Yarı-rijit Kiriş-kolon Birleşimli Uzay Çelik Çerçevelerin Rijitlik Matrisi Metodu ile Analiz ve Dizaynı. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum*.
- Sağiroğlu, M., Aydın, A.C., 2013b. Design and Analysis of Steel Space Frame with Semi-Rigid Beam-to-Column Connections Using Stiffness, 10th Psf. Strc. S.Conf. Singapore,69-70.

- Shi, Y., Shi, G., Wang, Y., 2007. Experimental and theoretical analysis of the moment–rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(9), 1279–93.
- Simoës, L. M. C., 1995. Optimization of frames with semi-rigid connections. *Computer and Structures*, 60(4), 531-539.
- Türker, T., Kartal M.E., Bayraktar A. and Muvafık M., 2009. Assessment of semi-rigid connections in steel structures by modal testing. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(2009), 1538-1547.
- Uslu, C.H., 2009. 3-D finite element analysis of semi-rigid steel connections. Y.Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Yee, K.L., Melchers, R.E., 1986. Moment–rotation curves for bolted connections. *Journal of Structural Engineering*, 112, 615–35.
- Yüksel, D., 2001. Çelik Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zlatkov, D., Zdravkovic S., Mladenovic B. and Stojic R., 2011. Matrix formulation of dynamic design of structures with semi-rigid connections. *Architecture and Civil Engineering*, 9(1), 89-104.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Erzurum'un İspir ilçesinde doğan Mahmut KILIÇ, ilk, orta, lise öğreniminin ardından 2009 yılında Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden, 2010 yılında ise aynı üniversitenin Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Akademik hayatına 2011 yılında Bayburt Üniversitesinde başlayan Kılıç, 2014 yılından itibaren Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Kılıç evli ve bir çocuk babasıdır.