YARI-RİJİT BİRLEŞİMLERDE MOMENT-DÖNME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Mahyar MAALI

Doktora Tezi
Inşaat Mühendisliği Anabilim Dali
Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN
2016
Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

YARI-RİJİT BİRLEŞİMLERDE MOMENT-DÖNME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Mahyar MAALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yapı Bilim Dalı

ERZURUM
2016

Her hakkı saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

YARI-RİJİT BİRLEŞİMLERDE MOMENT-DÖNME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN danışmanlığında, Mahyar MAALI tarafından hazırlanan bu çalışma, 14/11/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** / ~~**oy çokluğu**~~ (5./5.) ile kabul edilmiştir.

Başkan:	Prof. Dr. Rüstem GÜL	İmza	
Üye :	Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU	İmza :	
Üye :	Prof. Dr. Ensar OĞUZ	İmza :	
Üye :	Doç. Dr. Süleyman ADANUR	İmza :	
Üye :	Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN	İmza :	

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 17./11./2016 tarih ve 44../..17..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

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

Doktora Tezi

YARI-RİJİT BİRLEŞİMLERDE MOMENT-DÖNME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Mahyar MAALI

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

Danışman: Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

Çelik yapıların analiz ve tasarımında birleşimlerin davranışının hesaba katılması yapının gerçek davranışını temsil edebilmesi açısından önemlidir. Dolayısıyla, birleşimlerin davranışının iyi bilinmesi gerekir. Birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet moment olduğundan, birleşim davranışı dönme deformasyonu ile temsil edilebilir. Birleşimler, birleşim tipine, birleşim elemanlarına ve bu elemanların yerleştiriliş biçimlerine 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, veri bankaları oluşturulmuştur. Bu veri bankalarından yola çıkılarak birleşimin davranışını analizde ifade edebilmek için sınıflandırılmış ve modeller oluşturulmuştur. Fakat bunlar literatürde tanımlı 7 tip birleşimle sınırlı kalmıştır.

Bu tez kapsamında literatürde tanımlı olan bu birleşim tiplerinden farklı 2 tip birleşim tipi önerilmiştir. Bu birleşimlerin davranışları hakkında yeterli bilgiye sahip olabilmek ve böylece kullanımına imkân verebilmek için çeşitli deneysel çalışmalar ve sayısal modellemeler yapılmıştır. Bu birleşim tiplerinden birincisi T birleşimlerdir, fakat literatürden farklı olarak T birleşim elemanı, levhalardan kaynaklanarak değil; ½IPE profilinden elde edilmiştir. Böylece, T birleşimlerin kaynaklarında meydana gelen işçilik hataları, Kopma noktası oluşumu, yerinde kaynağın iyi performans gösterememesi gibi problemlerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür. İkinci birleşim tipinde ise alt-üst başlık korniyerli birleşimlerin davranışını iyileştirmek için başlık ve gövdelerinde berkitmelerin kullanımı önerilmiştir. Literatürde de berkitmelerin kullanımının birleşimin dönme kapasitesini iyileştirdiğini belirten çalışmalar mevcuttur.

Bu tez kapsamında bu iki tip birleşim tipi için laboratuvarda gerçek boyutlu deneyler yapılmış, deneylerden okunan veriler yardımıyla moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Böylece, birleşimlerin davranışı ve moment-dönme eğrisinin temsil etttiği rijitlik, dönme kapasitesi ve moment dayanımı ile ilgili değerlendirmeler ve grafikler sunulmuştur. Ayrıca, bu iki tip birleşim için birleşim boyutlarındaki değişimin birleşim davranışına etkileri gözlemlenmiş, böylece birleşim elemanlarının optimum boyutları hakkında bilgi verilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sayısal modelleme yapılmış yarı rijit birleşimlerin genel olarak moment dönme ilişkisi ve davranışı sayısal olarak modellenmiştir. Böylece deneylerle kalibre edilmiş model sayesinde deneyi yapılmamış birleşimler için de gerçek davranışa en yakın sonuçlar elde edilmiştir.

2016, 332 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çelik çerçeveler, Yarı-rijit birleşimler, T birleşim, Moment-dönme eğrisi, Alt üst köşenbent

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERIC INVESTIGATION OF MOMENT-ROTATION BEHAVIOUR OF SEMI-RIGID CONNECTIONS

Mahyar MAALI

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Depertman of Civil Engineering
Depertman of Structural Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Cüneyt AYDIN

Taking into account the behavior of connections in design and analysis of steel frames is required because it represents the actual behavior. So, the behavior of the connections should be well known. Since the most important force which transmitted by connections in the frame is moment, the connection behavior can be represented by rotational deformation. 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. But they have been limited with 7 connection types that are defined in the literature.

Two new connection experiments which are different from the connections types in the literature are suggested in this thesis. Full-scale experiments carried out and models are formed by finite element method to determine the behavior of the connections and to ensure to use in construction. The first connections are T shape combinations which are created by ½ IPE profil, while the T elements in literatures is composed by welding. Thus, elimination of the problems occurring at the welds of connection such as the occurrence of the fracture points, inability to perform well in place is expected. In the second connection type, the use of stiffeners in flange and web of the connection with the top and bottom flange angle is suggested to improve the behavior of the connection. Using stiffeners in the connections was suggested because of observing to improve the capacity of rotation in literature.

Full-scale tests for the two connection types carried out in the Structures Engineering Laboratory and are plotted their moment-rotation curves in this research. Thus, diagrams related to the rotational stiffness, the moment resistance and the rotation capacity that represents the moment-rotation curves was obtained and evaluated. Also, the effects of the change in the dimensions of the connection members to the connection behavior are examined and the optimum sizes of the connection elements are informed. Finite element analysis is realized by means of the database which are obtained in the tests to simulate numerically the moment-rotation behavior of semi-rigid connections. Thus, behavior of connections which is not tested before can be predicted thanks to the analytical model are fitted by tests.

2016, 332 pages

Keywords: Steel frames, Semi-rigid connection, T connection, Moment-rotation curves, Angles Connection

TEŞEKKÜR

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

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

Çalışmalarım esnasında her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Mahmut KILIÇ'a ve tüm arkadaşlarıma,

Gençler Metal Ltd.Şti.'ne,

Ayrıca, bursiyer olarak desteklediği icin TÜBİTAK (2215)'a,

Bu süreçte her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Mahyar MAALİ
Ekim, 2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ xxiii
1. GİRİŞ 1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Hedefleri 1
1.2. Literatür Özeti 3
2. KURAMSAL TEMELLER 20
2.1. Çelik Yapılar 20
2.2. Çelik Yapılarda Kiriş-Kolon Birleşimleri 21
2.3. Yarı-Rijit Çelik Çerçeve Kiriş-Kolon Birleşimleri 21
2.5. Literatürde Tasnif Edilmiş 7 Tip Kiriş-Kolon Birleşim Sınıfları 24
2.6. I Kesitlerde Birleşimlerin Sınıflandırılması 26
2.6.1. AISC yönetmeliği 26
2.6.1.a. AISC yönetmeliğine göre birleşim rijitliği 27
2.6.1.b. AISC yönetmeliğine göre birleşim kapasitesi 27
2.6.2. Eurocode-3 yönetmeliği 28
2.6.2.a. Eurocode-3 yönetmeliği birleşim kapasitesi 29
2.6.2.b. Eurocode-3 yönetmeliği birleşim rijitliği 29
2.6.2.c. Eurocode-3 yönetmeliği tasarımlarda moment-dönme özelikleri 30
2.7. Dönmeyi Belirlemek için Diferansiyel Denklemlerin Oluşturulması ve Çözümü, ... 32
2.7.1. Sınır şartlarının yazılması 33
3. MATERYAL ve YÖNTEM 38
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yarı-Rijit Birleşimlerin Modellenmesi 38
3.1.1. Modelleme detayları ve simülasyon çalışmaları 39
3.1.2. Sonlu elemanlar modelleri için genel konfigürasyonlar 40

3.1.3. Sürtme ve malzemenin özellikleri 40
3.2. Deneysel Çalışmalar 41
3.2.1. Deneysel aletler 41
3.2.1.a. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT); 41
3.2.1.b. Gerinim pulları (Straingauge) 42
3.2.1.c. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell) ve bilgisayar 43
3.2.1.d. Veri toplama sistemi (Data Logger) 44
3.2.2. Deneylerin yapılması ve doğru şekilde uygulanması 46
3.2.2.a. Deney sisteminin yapılması 46
3.2.3 Deneysel verilerin formüllerle istenilen verilere çevrilmesi 48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 51
4.1. Kullanılan Birleşim Tipleri 51
4.1.1. Kaynaksız T birleşim tipi 51
4.2. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim tipi; 55
4.3. Malzeme Özellikleri 58
4.4. Deneylerin Yapılması ve Doğru Şekilde Uygulanması 58
4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 63
4.6. Alt-üst korniyerli birleşimler 156
4.6.1. t_p6 tip deneyler 156
4.6.3. tp10 deneyler 193
4.6.4. Berkitmeli köşebentlerle tanzim edilmiş berkitmesiz kirişli birleşimlerin davranışı 214
4.6.5. Köşebentlerin ve kirişlerin berkitmeli olarak tanzim edildiği birleşimlerin davranışı 220
4.7. Sayısal Modelleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi 228
4.7.1. Ansys workbench ile sonlu elemanlar analizi 228
4.7.1.a. Modelin oluşturulması 228
4.7.1.b. Eleman tiplerinin belirlenmesi 229
4.7.1.c. Malzeme özellikleri ve modeller 229
4.7.1.d. Sınır Koşullarının tanımlanması 230
4.7.1.e. Sonlu elamanlar ağ yapısının oluşturulması 230
4.7.2. ANSYS Workbench ile bazı deney numunelerin çözümü 231

4.7.2.a. T tip birleşimi 231
4.7.3. Alt-üst korniyerli birleşimler 265
4.7.3.a. t_p6 tip birleşimlerin sayısal modelleri 265
4.7.3.b. tp8 tipi modellerin sayısal modelleri 272
4.7.3.c. tp10 tipli birleşimlerin sayısal modelleri 280
4.7.4. Sayısal ve deneysel modellerin karşılaştırması 288
4.7.4.a. T tip birleşimler 288
4.7.4.c. tp tip birleşimler 291
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 295
KAYNAKLAR 300
EKLER 306
EK 1. 306
EK 2. 318
ÖZGEÇMİŞ 333

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

P : Eksenel yük,

L : Kiriş açıklığı,

$M_{j,Rd}$: Moment dayanımı,

Sij : Dönme rijitliği,

Θ_{Cd} : Dönme kapasitesi,

Ψ_j : Birleşim sünekliği,

$\varphi_{maxload}$: Birleşim maksimum yük sünekliği,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ana M. Gira'o Coelho ve arkadaşları (2004a) Deneylerin düzeneyi 7
Şekil 1.2. Deney düzeneği 8
Şekil 1.3. Coelho ve Bijlaard (2007) ve Coelho ve arkadaşları (2009)'nın deney düzeneği üzerinde ölçüm sistemi ve diğer ekipman bağlantıları 9
Şekil 1.4. Cabrero ve Bayo (2007)'nın deney düzeneği 10
Şekil 1.5. Yongjiu Shi ve arkadaşlarının (2007) deney düzeneği 11
Şekil 1.6. Abidelah ve arkadaşları (2012) Deney düzeneği 12
Şekil 1.7. Krishnamurthy ve Graddy modeli (1987) 14
Şekil 1.8. Bursi ve Jaspart modeli (1997) 15
Şekil 1.9 Baharri ve Sherbourne model tipi (2000) 16
Şekil 1.10. Díaz model tipi (2010) 17
Şekil 1.11. Roxana Balc ve arkadaşları sonlu elamanlar modeli (2012) 18
Şekil 1.12. Roxana Balc (2012) sonlu elamanlar modeli ve Dubina va arkadaşlarının (2000) deney modeli 19
Şekil 2.1. Birleşimin dönme deformasyonu 23
Şekil 2.2. 7 tip birleşim için moment-dönme eğrileri 24
Şekil 2.3. Literatürde tasnif edilmiş 7 kiriş-kolon birleşim tipi ve bu birleşimlere ait Moment-dönme eğrileri (Chen and Kishi (1989) ve Abdalla and Chen (1994)) 26
Şekil 2.4. Yarı rijit birleşimin rijitlik, dayanım ve süneklik karakteristikleri (AISC 2010) 27
Şekil 2.5. Rijit, yarı rijit ve mafsallı birleşimlerin sınıflandırılması (AISC 2010) 28
Şekil 2.6. Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması 30
Şekil 2.7. Moment-dönme eğrisi (2005) 31
Şekil 2.8. Yayılı yük kuvvetleri denklem hesabı 33
Şekil 2.9. Ankastre mesnet 36
Şekil 2.10. Serbest uç 36
Şekil 2.11. Ankastre mesnet kuvvetleri 37
Şekil 2.12. Sabit mesnet kuvvetleri 37

Şekil 3.1. Digital (LVDT) cihazı 42
Şekil 3.2. Gerinim pulları 43
Şekil 3.3. Yük hücresi 43
Şekil 3.4. Hidrolik pompa ve piston 44
Şekil 3.5. Veri toplama sistemi (datalogger) 45
Şekil 3.6. Veri toplama cihazı programı 45
Şekil 3.7. Deney düzeneği ve temel beton ankrajı detayları 47
Şekil 3.8. Çerçeve ve deney düzeneği 48
Şekil 3.9. Deney sistemi 49
Şekil 4.1. T tipi birleşim: Kaynaksız T birleşim elemanlı birleşim tipi 52
Şekil 4.2. T tipi birleşim: birleşim deney detayları 53
Şekil 4.3. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim tipinin deney detayları 56
Şekil 4.4. Testere ve manyetikli matkap makineleri 59
Şekil 4.5. Plazma makinesi 60
Şekil 4.6. LVDT lerin yerleştirmesi 61
Şekil 4.7. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 67
Şekil 4.8. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 68
Şekil 4.9. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 68
Şekil 4.10. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 70
Şekil 4.11. B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 71
Şekil 4.12. B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 71
Şekil 4.13. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 72

Şekil 4.14. B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 72
Şekil 4.15. B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 73
Şekil 4.16. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 74
Şekil 4.17. B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 74
Şekil 4.18. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 75
Şekil 4.19. B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 75
Şekil 4.20. B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 76
Şekil 4.21. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 79
Şekil 4.22. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 80
Şekil 4.23. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 80
Şekil 4.24. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 82
Şekil 4.25. B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 83
Şekil 4.26. B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 83
Şekil 4.27. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 84
Şekil 4.28. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 84

Şekil 4.29. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 85
Şekil 4.30. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 85
Şekil 4.31. B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 86
Şekil 4.32. B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 86
Şekil 4.33. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 87
Şekil 4.34. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 87
Şekil 4.35. B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 88
Şekil 4.36. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneylerinin moment dönme eğrileri 92
Şekil 4.37. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneylerinin moment dönme eğrileri 92
Şekil 4.38. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi deneylerinin moment dönme eğrileri ..93
Şekil 4.39. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 95
Şekil 4.40. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 96
Şekil 4.41. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 96
Şekil 4.42. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 97
Şekil 4.43. B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 97

Şekil 4.44. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 98
Şekil 4.45. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 98
Şekil 4.46. B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 99
Şekil 4.47. B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 99
Şekil 4.48. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 100
Şekil 4.49. B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 100
Şekil 4.50. B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 101
Şekil 4.51. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 104
Şekil 4.52. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 105
Şekil 4.53. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 105
Şekil 4.54. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 107
Şekil 4.55. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 108
Şekil 4.56. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 108
Şekil 4.57. B160-T140-H_{max}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 109
Şekil 4.58. B160-T140-H_{min}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 109

Şekil 4.59. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 110
Şekil 4.60. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 110
Şekil 4.61. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 111
Şekil 4.62. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 111
Şekil 4.63. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 112
Şekil 4.64. B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 112
Şekil 4.65. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyin moment-birim şekil değiştirme eğrisi 113
Şekil 4.66. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 116
Şekil 4.67. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 117
Şekil 4.68. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 117
Şekil 4.69. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesmesi ve Kopma görüntüleri 119
Şekil 4.70. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 120
Şekil 4.71. B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 120
Şekil 4.72. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 121
Şekil 4.73. B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 121

Şekil 4.74. B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 122
Şekil 4.75. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyin moment birim şekil değiştirme eğrisi 122
Şekil 4.76. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 123
Şekil 4.77. B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 123
Şekil 4.78. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 124
Şekil 4.79. B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 124
Şekil 4.80. B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 125
Şekil 4.81. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 128
Şekil 4.82. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 129
Şekil 4.83. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri 129
Şekil 4.84. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 131
Şekil 4.85. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 132
Şekil 4.86. B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 133
Şekil 4.87. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 133
Şekil 4.88. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 134

Şekil 4.89. B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 134
Şekil 4.90. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 135
Şekil 4.91. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 135
Şekil 4.92. B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 136
Şekil 4.93. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 136
Şekil 4.94. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 137
Şekil 4.95. B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 137
Şekil 4.96. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 T birleşimlerin moment dönme eğrileri 141
Şekil 4.97. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 T birleşimlerin moment dönme eğrileri 145
Şekil 4.98. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 , B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneylerinin moment dönme eğrileri 154
Şekil 4.99. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-

T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneylerinin moment dönme eğrileri 154
Şekil 4.100. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10 ve L91-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 159
Şekil 4.101. L82-t_p6-BS5, L82-t_p6-BS6, L82-t_p6-BS10 ve L82-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 160
Şekil 4.102. L73-t_p6-BS5, L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10 ve L73-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 160
Şekil 4.103. L91-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 162
Şekil 4.104. L91-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 162
Şekil 4.105. L91-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 163
Şekil 4.106. L91-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 163
Şekil 4.107. L82-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 164
Şekil 4.108. L82-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 164
Şekil 4.109. L82-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 165
Şekil 4.110. L82-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 165
Şekil 4.111. L73-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 166
Şekil 4.112. L73-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 166
Şekil 4.113. L73-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 167
Şekil 4.114. L73-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 167
Şekil 4.115. L91-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 168
Şekil 4.116. L91-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 168
Şekil 4.117. L91-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 169
Şekil 4.118. L91-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 169
Şekil 4.119. L82-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 170
Şekil 4.120. L82-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 170
Şekil 4.121. L82-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 171
Şekil 4.122. L82-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 171
Şekil 4.123. L73-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 172
Şekil 4.124. L73-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 172
Şekil 4.125. L73-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 173
Şekil 4.126. L73-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 173

Şekil 4.127. L91-t_p8-BS6, L91-t_p8-BS8, L91-t_p8-BS10 ve L91-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 179
Şekil 4.128. L82-t_p8-BS6, L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10 ve L82-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 180
Şekil 4.129. L73-t_p8-BS6, L73-t_p8-BS8, L73-t_p8-BS10 ve L73-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 180
Şekil 4.130. L91-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 182
Şekil 4.131. L91-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 182
Şekil 4.132. L91-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 183
Şekil 4.133. L91-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 183
Şekil 4.134. L82-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 184
Şekil 4.135. L82-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 184
Şekil 4.136. L82-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 185
Şekil 4.137. L82-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 185
Şekil 4.138. L73-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 186
Şekil 4.139. L73-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 186
Şekil 4.140. L73-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 187
Şekil 4.141. L73-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 187
Şekil 4.142. L91-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 188
Şekil 4.143. L91-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 188
Şekil 4.144. L91-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 189
Şekil 4.145. L91-t_p8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 189
Şekil 4.146. L82-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 190
Şekil 4.147. L82-t_p8-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 190
Şekil 4.148. L82-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 191
Şekil 4.149. L82-t_p8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 191
Şekil 4.150. L73-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 192
Şekil 4.151. L73-t_p8-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 192
Şekil 4.152. L73-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 193
Şekil 4.153. L91-t_p10-BS6, L91-t_p10-BS8, L91-t_p10-BS10 no'lu korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 199

Şekil 4.154. L91-t_p10, L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 199
Şekil 4.155. L82-t_p10, L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS8, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 200
Şekil 4.156. L91-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 202
Şekil 4.157. L91-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 202
Şekil 4.158. L91-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 203
Şekil 4.159. L91-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 203
Şekil 4.160. L82-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 204
Şekil 4.161. L82-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 204
Şekil 4.162. L82-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 205
Şekil 4.163. L82-t_p10-BS12 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 205
Şekil 4.164. L82-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 206
Şekil 4.165. L73-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 206
Şekil 4.166. L73-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 207
Şekil 4.167. L73-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 207
Şekil 4.168. L73-t_p10-BS12 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri 208
Şekil 4.169. L73-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 208
Şekil 4.170. L91-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 209
Şekil 4.171. L91-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 209
Şekil 4.172. L91-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 210
Şekil 4.173. L82-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 210
Şekil 4.174. L82-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 211
Şekil 4.175. L82-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 211
Şekil 4.176. L82-t_p10-BS12 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 212
Şekil 4.177. L73-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 212
Şekil 4.178. L73-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 213
Şekil 4.179. L73-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 213
Şekil 4.180. L73-t_p10-BS12 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi 214
Şekil 4.181. L91-t_p6, L82-t_p6 ve L73-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 217

Şekil 4.182. L91-t_p8, L82-t_p8 ve L73-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 217
Şekil 4.183. L91-t_p10, L82-t_p10 ve L73-t_p10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 218
Şekil 4.184. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10, L91-t_p8-BS6, L91-t_p8-BS8, L91-t_p8-BS10, L91-t_p10 BS6, L91-t_p10-BS8 ve L91-tp10-BS10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 225
Şekil 4.185. L82-t_p6-BS5, L82-t_p6-BS6, L82-t_p6-BS10, L82-t_p8-BS6, L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10, L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipli korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 226
Şekil 4.186. L73-t_p6-BS5, L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10, L73-t_p8-BS6, L73-t_p8-BS8, L73-t_p8-BS10, L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS8, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 226
Şekil 4.187. ANSYS Workbench'te hazırlanan örnek sayısal modeller 229
Şekil 4.188. Örnek bir modelle sonlu elamanlar ağ yapısının görünümü..... 230
Şekil 4.189. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 234
Şekil 4.190. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 234
Şekil 4.191. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 235
Şekil 4.192. T300 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri 237
Şekil 4.193. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 240
Şekil 4.194. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 240
Şekil 4.195. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 241
Şekil 4.196. T270 elemanı kullanılan T birleşimlerinin sayısal modelleri 243

Şekil 4.197. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 246
Şekil 4.198. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 246
Şekil 4.199. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri 247
Şekil 4.200. T240 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri 249
Şekil 4.201. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 252
Şekil 4.202. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 252
Şekil 4.203. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 253
Şekil 4.204. T140 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modelleri..... 255
Şekil 4.205. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 257
Şekil 4.206. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 258
Şekil 4.207. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10ve B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 258
Şekil 4.208. T160 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri 260
Şekil 4.209. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 262
Şekil 4.210. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 262
Şekil 4.211. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri 263
Şekil 4.212. T200 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modelleri..... 265

Şekil 4.213. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10 ve L91-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi 267
Şekil 4.214. L82-t_p6-BS5 ve L82-t_p6-BS10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi..... 268
Şekil 4.215. L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10 ve L73-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi..... 268
Şekil 4.216. tp6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 270
Şekil 4.217. tp 6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 271
Şekil 4.218. tp 6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 272
Şekil 4.219. L91-t_p8-BS8 ve L91-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi..... 275
Şekil 4.220. L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10 ve L82-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi..... 275
Şekil 4.221. L73-t_p8-BS6 ve L73-t_p8-BS8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi..... 276
Şekil 4.222. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 278
Şekil 4.223. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 279
Şekil 4.224. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 280
Şekil 4.225. L91-t_p10-BS6, L91-t_p10-BS8, L91-t_p10-BS10 ve L91-t_p10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 282
Şekil 4.226. L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri..... 283
Şekil 4.227. L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri 283
Şekil 4.228. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri..... 285

Şekil 4.229. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri 286
Şekil 4.230. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri 287
Şekil 4.231. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri 288
Şekil 4.232. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri 289
Şekil 4.233. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri 290
Şekil 4.234. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri 291
Şekil 4.235. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri 292
Şekil 4.236. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri 293
Şekil 4.237. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri 293
Şekil 4.238. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri 294

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 7 tip birleşim deneyleri 6
Çizelge 1.2. 2000 yılı sonrasında yapılan birleşim deneyleri 13
Çizelge 2.1 Literatürde tanımlı 7 tip birleşim üzerinde yapılmış deneyler..... 25
Çizelge 2.2. Birleşim rijitliğine bağlı sınıfladırrma 29
Çizelge 4.1. T tipi birleşim: Kaynaksız T birleşim elemanlı birleşim deney detayları .. 54
Çizelge 4.2. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim deney detayları 57
Çizelge 4.3. T tip birleşimlerde LVDT lerin yerleştirmesi 62
Çizelge 4.4. Alt-üst birleşim tiplerde LVDT lerin yerleştirmesi 63
Çizelge 4.5. T300 elemanı kullanılan birleşimlerin deneylerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri 69
Çizelge 4.6. T270 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri..... 81
Çizelge 4.7. T240 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri..... 94
Çizelge 4.8. T140 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri..... 106
Çizelge 4.9. T160 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri..... 118
Çizelge 4.10. T200 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri..... 130
Çizelge 4.11. Deneylerin moment dönme eğri değerlerinin karşılaştırmaları 142
Çizelge 4.12. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları 146
Çizelge 4.13. Deneylerin moment ve dönme kapasitelerinin karşılaştırılması..... 155
Çizelge 4.14. Deneylerin moment ve dönme kapasitelerinin karşılaştırılması..... 161
Çizelge 4.15. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları 181
Çizelge 4.16. Deneylerin moment dönme değerleri ve karşılaştırmaları..... 201
Çizelge 4.17. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları 219
Çizelge 4.18. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları 227

Çizelge 4.19. T300 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrisi özellikleri 236
Çizelge 4.20. T270 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrileri özellikleri 242
Çizelge 4.21. T240 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri 248
Çizelge 4.22. T140 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri 254
Çizelge 4.23. T160 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme değrilerinin özellikleri 259
Çizelge 4.24. T200 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri 264
Çizelge 4.25. tp 6 tipli birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerine ilişkin değerler 269
Çizelge 4.26. tp 8 tipli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen moment dönme eğrilerine ilişkin veriler 277
Çizelge 4.27. tp 10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen moment dönme eğrilerine ilişkin veriler 284

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı ve Hedefleri

Çeşitli yükler altında çelik yapıların davranışı kiriş-kolon birleşim noktalarınının davranışına bağlıdır. Dolayısıyla çerçeve sistemler davranışında kolon-kiriş birleşim önemli rol oynamaktadır. Çelik yapılarda kiriş-kolon birleşimleri 1917 yılından beri deneylerle incelenmektedir. Ayrıca, bu deneylerden yola çıkılarak son 50 yılda çeşitli teorik modeller geliştirilmiş ve halen bu modeller üzerindeki çalışmalar artarak devam etmektedir.

Geleneksel çelik yapılar hesap metotlarında kiriş-kolon birleşimleri rijit veya mafsallı kabul edilmektedir. Birleşim davranışı üzerine yapılan bu idealleştirme, analiz işlemini basitleştirmesine karşın idealleştirilmiş davranış ile yapının gerçek davranışı arasında farklılıkların olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu teorik idealleştirmelere göre;

1- Rijit birleşimlerde elemanlarda yerel dönme olmaz, dıştan bir moment etkidiğinde bu moment elemanların rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır.
2- Yine bu kabule göre mafsallı bir birleşimde yerel dönme oluşur. Ancak elemanlar moment aktarmaz.

Fakat gerçekte birleşimler ne tam rijit ne de tam mafsallıdırlar. Çelik çerçevelerde kullanılan birleşimler gerçekte yarı-rijit ve doğrusal olmayan bir davranış gösterirler. Son yıllarda yapılan çalışmalarda birleşimi yarı-rijit kabul etmenin daha doğru sonuçlar verdiği ispatlanmıştır. Ayrıca bazı çalışmalar, yarı-rijit birleşim performansının birleşim elemanlarında, boyut ve ağırlıklarında azalma gibi yararları sağladığını da görülmüştür.

Birleşimin gerçek davranışı olan yarı-rijit davranış, basit bir analiz ile kolaylıkla çözülemeyen ve doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan birleşim davranışının belirlenebilmesi için 1917 yılından beri çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bu

tez kapsamında da önerilen 2 tip yarı-rijit birleşimin moment-dönme davranışını anlamak için tam ölçekli deneyler ve sonlu eleman modelleri yapılmıştır. Bu birleşimlerden birincisi kaynaksız T birleşimlerdir. Fakat literatürden farklı olarak T birleşim elemanı, levhalardan kaynaklanarak değil; 1/2IPE profilinden elde edilmiştir. Böylece, T birleşimlerin kaynaklarında meydana gelen işçilik hataları, Kopma noktası oluşumu, kaynağın yerinde iyi performans gösterememesi gibi problemlerin ortadan kalkacağı düşünülmüştür. İkinci birleşim tipinde ise alt-üst başlık korniyerli birleşimlerin davranışını iyileştirmek için başlık ve gövdesinde berkitmelerin kullanımı önerilmiştir. Ayrıca, bu tez kapsamında bu iki tip birleşim için birleşim boyutlarındaki değişimin birleşim davranışına etkileri incelenmiş, böylece birleşim elemanlarının optimum boyutları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca sayısal modelleme yapılarak yarı-rijit birleşimlerin genel olarak moment dönme ilişkisi ve davranışı simüle edilmiştir. Böylece deneylerle kalibre edilmiş model sayesinde deneyi yapılmamış birleşimler için de gerçek davranışa en yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak önerilen tezin gerçekleşme amaçları şöyle sıralanabilir:

1. Günümüzdeki yaygın hesap metotlarında çelik yapıların analiz ve tasarımında birleşimlerin etkisi hesaba katılmamaktadır. Bu tez kapsamındaki birleşimlerin moment-dönme eğrilerinin elde edilmesi ve analiz ve dizaynda hesaba katılması için önerilerde bulunmaktır.
2. Birleşimler için moment-dönme eğrilerinin elde edildiği statik deneyler çoğunlukla 1917-1970 tarihleri arasında gerçekleşmiş olup, o zaman ki deney düzenekleri günümüzdeki deney düzeneklerinden çok farklı olması sebebiyle sonuçlarda farklılıklar olmaktadır. Günümüz dijital deney aletleri ile daha hassas, daha az hata ile güvenilir ölçümler yapılarak veri elde edilebilmektedir.
3. Geçmiş yıllarda yapılmış birleşim deneylerinden yola çıkılarak birleşimler sınıflandırılmış, moment-dönme eğrileri ancak bu birleşimler için tanımlanmış, matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Fakat günümüzdeki çelik yapı projelerinde farklı birçok birleşim tipi yapılmaktadır. Literatürde bu birleşim tipleri için deneysel veriler olmadığından bu birleşimlerin gerçek davranışı bilinememektedir. Bu tez

kapsamında literatürde tanımlı olmayan 2 tip kiriş-kolon birleşiminin deneysel verileri elde edilmiştir. Böylece moment-dönme eğrilerinin temsil ettiği rijitlik, moment dayanım ve dönme kapasitesini veren birleşimin karakteristikleri ile ilgili literatürdeki eksiklik giderilmiştir.

4. Kaynaksız birleşim tiplerinde kaynakların yol açtığı erken çatlak başlangıcı, deformasyon kapasitesinde azalma gibi problemlerin olmayacağı öngörülmüştür. Bu sonuçların kaynaklı birleşim sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

5. Birleşimlerin davranışının gerçek ölçekli deneylerle elde edilmesi literatürde yetersizdir. Bu tezde birleşim davranışını tamamen yapıdaki gibi temsil edecek şekilde deney modeli hazırlanmıştır. Deney ölçeğinin birleşimin davranışına etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

6. Birleşimlerde kullanılan elemanların boyutlarının birleşimin davranışına olan etkisi incelenmiştir. Eleman boyutları değiştirilerek boyut etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

7. 2 tip birleşimin moment-dönme eğrisi sonlu eleman yöntemiyle elde edilmiş ve deneylerden elde edilen moment-dönme eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Böylece, deneylerin sonucuyla sayısal modellerin kalibrasyonu sağlanmış ve farklı durumlar için yorumda bulunabilme imkânı sağlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Çelik yapıların analiz ve tasarımında yapının malzeme, geometri gibi temel özelliklerinin yanında birleşim yerlerinin davranışının da dikkate alınması gereklidir. Bu yüzden birleşimler çelik yapıların tasarımında önemli bir yere sahiptirler ve davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Pratikte birleşim davranışının dikkate alınmasının bu kadar gecikmesinin en önemli sebebi, kiriş-kolon birleşimlerini tüm davranış parametrelerini dikkate alan bir yaklaşımla sınıflandırılmasının çok güç olmasıdır. Çok birleşim tipi ve buna bağlı çok sayıda değişken mevcut olduğundan bu doğal bir sonuçtur. Kusurlu çelik yapılar incelendiğinde, hataların merkezinde elemanlardan çok birleşimler veya diğer detaylar olduğunu görülmüştür. Bu yüzden, araştırmacılar, birleşimleri uygun ve ekonomik hale getirmek için çeşitli araştırmalar

yapmaktadırlar. Ayrıca, şartnameler özellikle European Committee for Standartization (2005), moment-dönme eğrisi; rijitlik, moment dayanımı ve dönme kapasitesini kapsayan birleşimin davranış karakteristikleri hakkında bilgi verir.

Ayrıca, son yıllarda yarı-rijit kiriş-kolon birleşimli uzay çelik çerçevelerin analiz ve dizaynı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda, rijit ve yarı-rijit birleşimli uzay çelik çerçevelerin analiz ve tasarımını yapan bir program geliştirilmiştir (Sağıroğlu ve Aydın 2013, 2013a, 2013b; Aydın at el 2015). Bu araştırmaların sonucu, yarı-rijit birleşim tasarımının, daha ekonomik ve çelik çerçevelerde gerçek davranışa en yakın sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. (Azizinamini and Radziminski 1989; Liew *et al.* 1997).

Çelik bir yapının gerçek davranışını anlayabilmek için birleşimlerin davranışı hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Birleşimlerin doğru ve gerçek davranışını anlayabilmek sadece deneylerle mümkün olmaktadır (Batho 1931). Ayrıca, birleşim davranışı analitik, ampirik, mekanik, sayısal modeli vs. farklı şekillerde ifade edilebilir. Fakat birleşim üzerinde en çok bilgi ancak deneysel verilerle elde edilebilmektedir (Abdalla and Chen 1994.)

Young, Wilson ve Moore Illinois Üniversitesinde 1917 yılında ilk deneyleri rijit birleşimler üzerinde yapmışlar ve daha sonrada birleşim üzerindeki deneyler günümüze kadar devam etmiştir (Young 1917; Wilson and Moore 1917). 1917-1950 yıllar arasında perçinli birleşimler üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Steel Structures Research Committee 1931, 1934, 1936; Young and Jackson 1934; Rathbun 1936).

1950 yılından sonra çelik binaların birleşimlerinde bulon kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda birleşimlerin geometrik ve mekanik özelikleri, moment-dönme eğrileri, mukavemet momentleri ($M_{j,Rd}$) ve dönme rijitlikleri (K_j) araştırılmıştır.

Yarı-rijit birleşimler üzerinde yapılan araştırmalardan derlenen en önemli dört veri bankası aşağıda özetlenmiştir:

1- Goverdhan (1984) veri bankası: Bu veri bankasında 1950-1983 yılları arasında yapılan 230 adet birleşim deneyi verileri bir araya toplanmıştır. Bu deneylerde, alın levhalı birleşim tipi, kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi, üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi, üst ve alt başlık korniyerli gövde çift korniyerli birleşim tipi, kısa alın levhalı birleşim tipi, çift korniyerli gövde birleşim tipi, tek korniyerli gövde birleşim tipleri kullanılmıştır.

2- Nethercot (1985a, 1985b) veri bankası: Çelik birleşimler üzerine Avrupa'da kullanılmış ilk veri bankasıdır. Nethercot, diğer araştırmacılar tarafından yapılan (Jones vd 1980) 700'den fazla bireysel testleri toplayıp bu çalışmaları 70'den fazla deneysel grupta incelemiştir. Bu deneyler levhalarla yapılmış T birleşimler üzerinedir.

3- Çelik birleşimlerin veri bankası: Amerika Birleşik Devletleri tarafından yapılan bu veri bankası Kishi and Chen (1986a, 1986b) ve Goverdhan (1984) tarafından 1936-1986 yılları arasında yapılan 303 deneysel çalışmayı kapsamaktadır. Bu veri bankasında sunulan deneylerle kurulan matematik model arasında ilişki bulunmaya çalışılmıştır. 1995 yılında Abdalla ve Chen 46 adet deney ile bu verileri artırmışlardır. Bu deneylerde alın levhalı birleşim tipi, kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi, üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi, üst ve alt başlık korniyerli gövde çift korniyerli birleşim tipi, kısa alın levhalı birleşim tipi, çift korniyerli gövde birleşim tipi, tek korniyerli gövde birleşim tipi incelenmiştir.

4- SERICON veri bankası: Avrupa deney sonuçları Arbed Recherches ve Aachen Üniversitesi tarafından kompozit birleşimler için incelenmiştir. Bu veri bankası Cruz ve arkadaşları 1998 tarafından genişletilmiş ve SERICON II veri bankası oluşturulmuştur.

Birleşim davranışının analizde kullanımını ifade edebilmek için bu veri bankaları ile sınıflandırmalar ve matematiksel modellemeler elde edilmiştir. Fakat sınıflandırmaya konu olan birleşimler 7 tiple sınırlı kalmıştır ve günümüzde kullanılan birleşim tiplerinin önemli bir kısmı bu sınıflandırma içerisinde nerede olduğu bilinememektedir. Çizelge 1.1'de deneyler yıllarıyla özetlenmiş olan bu 7 tip birleşim, 1958-1990 yıllarında araştırılmıştır.

Çizelge 1.1. 7 tip birleşim deneyleri

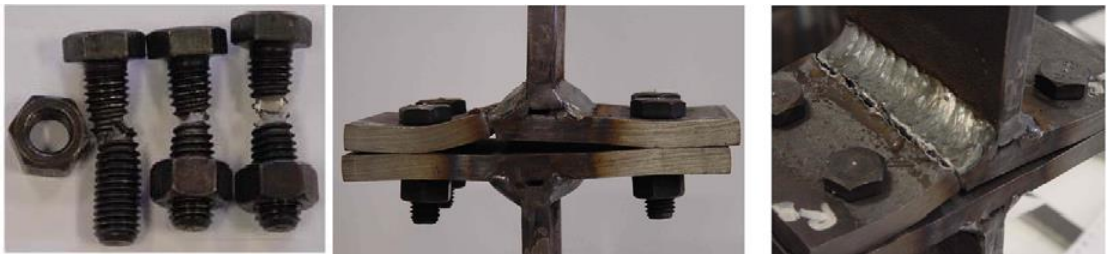
Birleşim tipi	Yazarlar	Deney Âdeti	Deney yılı
Çift korniyerli gövde birleşim tipi	Davison ve ark. W. C. Bell ve ark. C. W. Lewitt ve ark. W. H. Sommer L. E. Thompson ve ark. B. Bose	2 4 6 4 48 1	1987 1958 1966 1969 1970 1981
Üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi	Davison ve arkadaşları A. Azizinamini ve ark	4 20	1987 1985
Alın levhalı birleşim tipi	Zveonini ve Zanon Moore ve P.A. Sims A. N. Sherbourne J. R. Bailey J. O. Surtees et al. J. A. Packer et al S. A. Ioannides R. J. Dews P. Grundy et al. N. D. Johnstone et al.	10 2 5 26 6 3 6 3 2 8	1988 1986 1961 1970 1970 1977 1978 1979 1980 1981
Kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi	Davison ve arkadaşları Phillips ve Packet J. R. Ostrveer	3 5 24	1987 1986 1970
Kısa alın levhalı birleşim tipi	Aggarwal Davison ve arkadaşları W. H. Sommer	6 1 20	1990 1987 1969
Kısa alın levhalı ve alt başlık korniyerli birleşim tipi	Aggarwal	2	1990
Alt başlık korniyerli birleşim	Aggarwal	9	1990

2000 yılından sonra yapılan deneyler ise aşağıda özetlenmiştir:

Popov and Takhirov (2002) 2 adet 1/1 ölçekli dinamik yükler altında T birleşimli kolon-kiriş birleşimleri üzerinde deney yapmışlardır. Bu araştırmada T birleşimi kirişin gövdesine kaynak ve bulonla bağlanmıştır. Bu araştırmada eğilme plastik deformasyonu T birleşim üzerinde, plastik deformasyon ise bulonda olmuştur. Ayrıca bu T birleşimi enerjinin dağılımına ve kirişin gövde ve başlığında burkulmasını önlenmesine yol açmıştır.

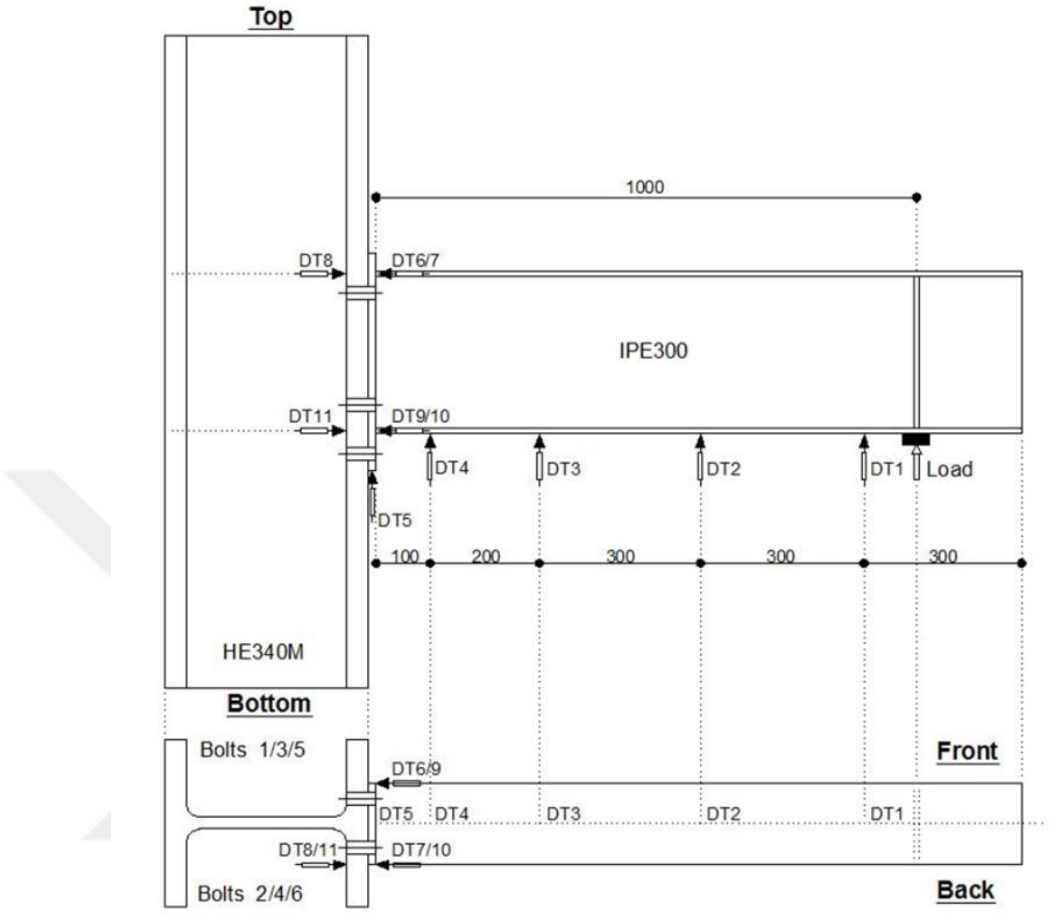
Lima *et al.* (2002) kolonun gövdesinde bağlanan yarı-rijit birleşimlerin davranışını anlamak için eksenel yükler altında deneysel ve 3 boyutlu sayısal model olarak incelemişlerdir. Bu tip birleşimler için hala daha yeni bir şartname yoktur ve bu araştırma birleşimin göçme yükünü ve rijitliğini belirlemeye yöneliktir.

Coelho *et al.* (2004a) yayılı yük altında çeşitli T birleşimlerle 32 adet deney yapmışlardır. Bu araştırmada, T birleşimlerde, berkitmelerin mukavemeti, deformasyon kapasitesi ve göçme davranışları araştırılmıştır. Ayrıca, kaynağın özelikleri, T birleşim elemanlarının boyutları, bulon çapı ve çeliklerin kalitesi incelenmiştir. Sonuç olarak Kopmalar kaynak yerlerinden ve bulonlardan olmuştur. Deneysel çalışmanın neticesinde yazarlar; kaynak kalınlığının artırılması sonucunda birleşimin rijitlik ve dayanım değerleri artarken deformasyon kapasitesinin azaldığını vurgulamışlardır. Ayrıca, bulon boyunun uzunluğunun deformasyonu arttığı da ilgili çalışmada belirtilmiştir. Şekil 1.1'de Ana M. Gira'o Coelho ve arkadaşları tarafından yapılan deneylerin Kopma görüntüleri görülmektedir.



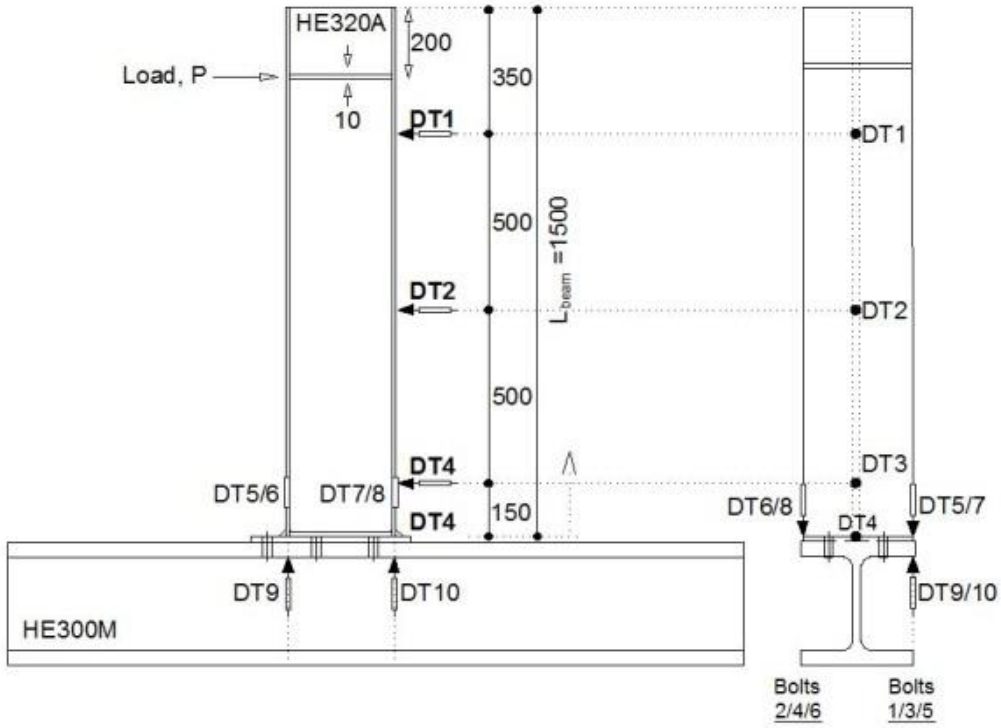
Şekil 1.1. Ana M. Gira'o Coelho ve arkadaşları (2004a) Deneylerin düzeneyi

Coelho *et al.* (2004b) yayılı yük altında alın levhalı plaka birleşimlerle 8 adet deney yapmışlardır. Bu araştırmada çeliğin kalitesi ve plakanın kalınlığının birleşim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak alın levhası kalınlığı artarken, esneklik iyileşmiş, dönme kapasitesi azalmış ve bulonun Kopması ile göçmenin daha düşük dayanım değerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Şekil 1.2'de Ana M. Gira'o Coelho ve arkadaşları tarafından yapılan bu deneyin düzeneği verilmiştir.



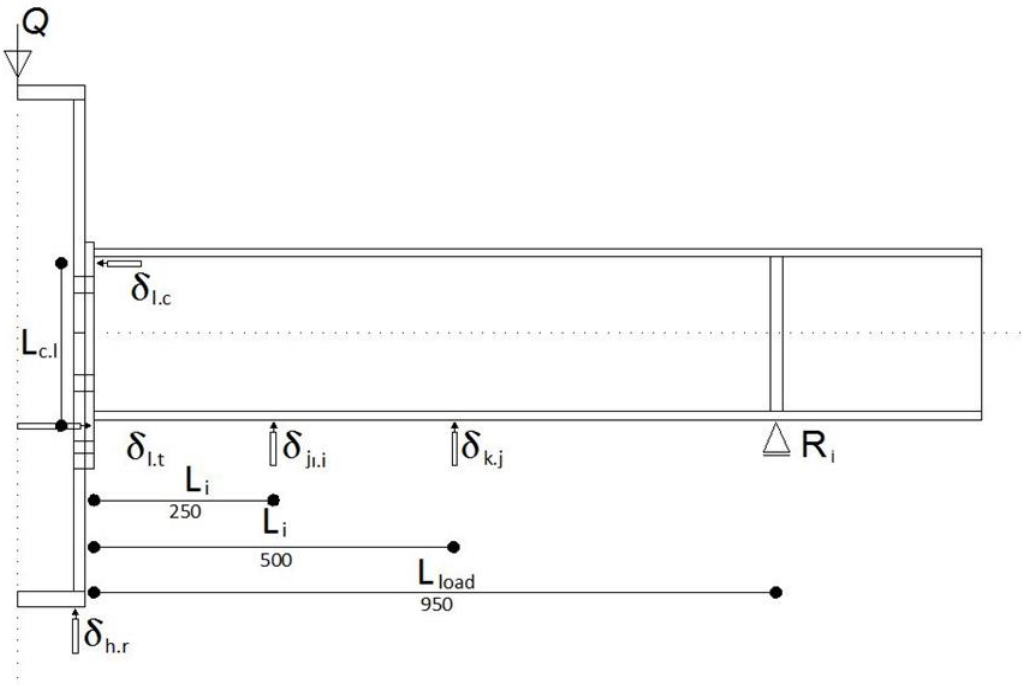
Şekil 1.2. Deney düzeneği, Coelho *et al.* (2004b)

Coelho and Bijlaard (2007) ve Coelho *et al.* (2009) eksenel yük altında toplam 31 adet alın levhalı birleşim deneyi yapmışlardır. Bu araştırmada, Eurocode 3 şartnamesini incelemişler ve alın levhalı birleşimde en uygun boyutları optimize etmeye çalışmışlardır. Şekil 1.3 de bu deney düzeneği üzerindeki ölçüm sistemi ve diğer ekipmanların bağlantılarını göstermektedir.



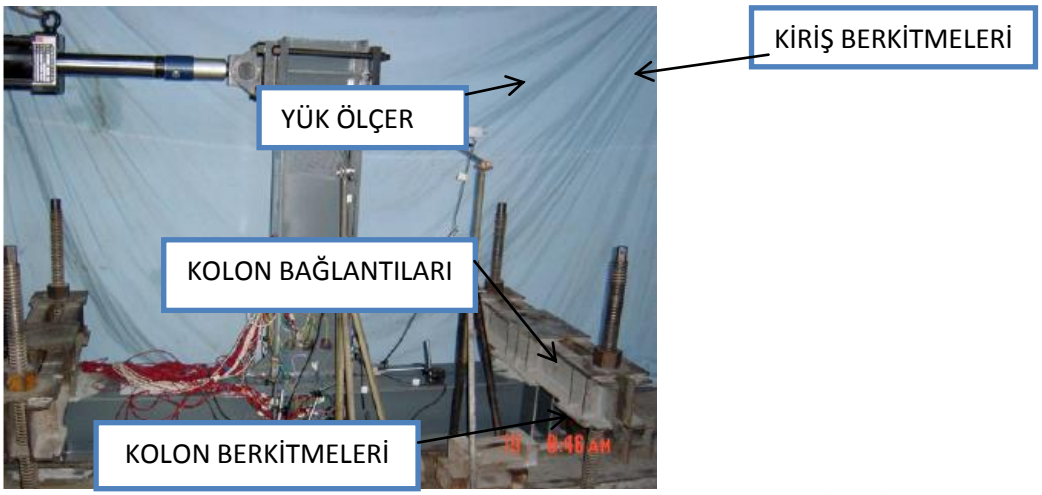
Şekil 1.3. Coelho ve Bijlaard (2007) ve Coelho ve arkadaşları (2009)'nın deney düzeneği üzerinde ölçüm sistemi ve diğer ekipman bağlantıları

Cabrero and Bayo (2007) eksenel statik yükler altında 2 adet T birleşim deneyi yapmışlardır. Bu araştırmada amaç, yükler altında birleşimlerin davranışını anlamaktır. Sonuç olarak T birleşimi kalınlığı artarken moment kapasitesinin arttığı görülmüştür. Eurocode 3 şartnamesine göre elde edilen dönme kapasiteleri deneylerde elde edilen dönme miktarından çok fazladır. Cabrero ve Bayo araştırmalarının sonucunda Eurocode 3 için deneysel verilerle şartname arasındaki farkı azaltacak bir öneride bulunmuşlardır. Şekil 1.4.'de Cabrero and Bayo (2007) tarafından yapılan deneyin düzeneği görülmektedir.



Şekil 1.4. Cabrero ve Bayo (2007)'nın deney düzeneği

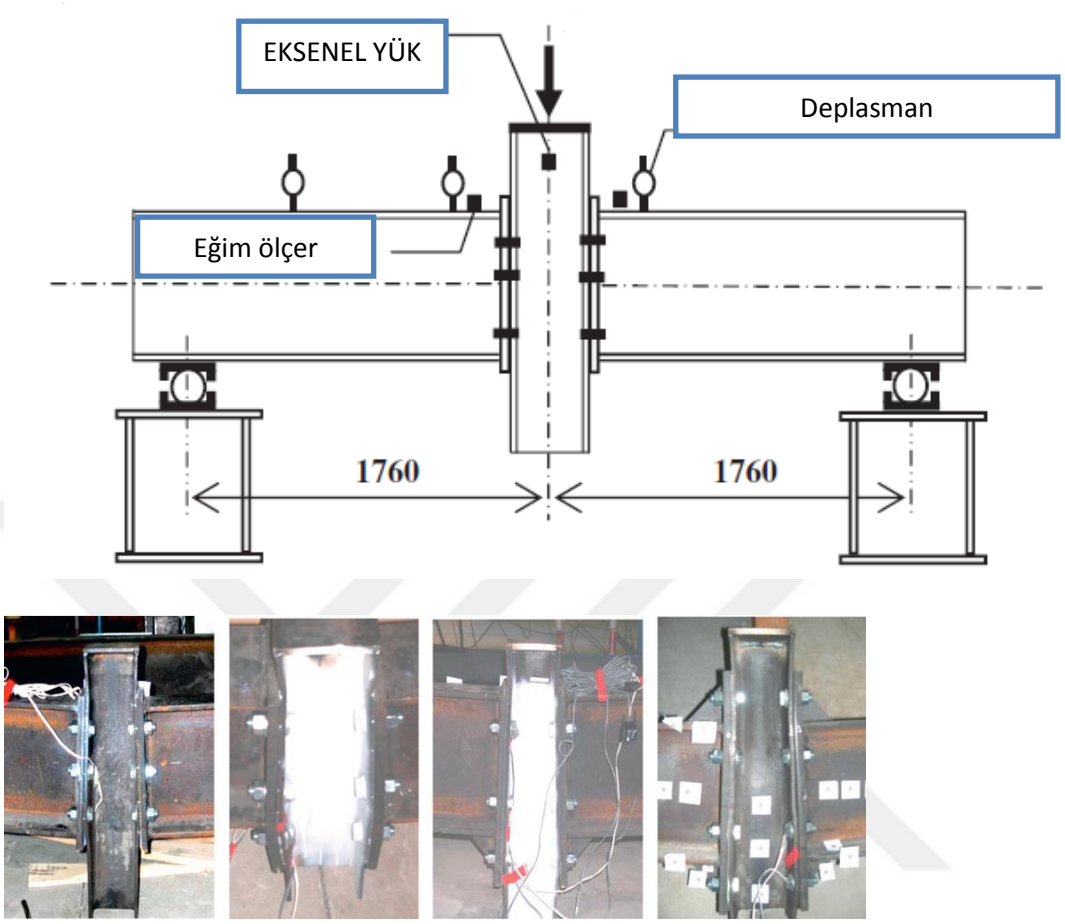
Yongjiu Shi ve arkadaşları (2007) eksenel yükler altında 5 adet uç plaka birleşim deneyi yapmışlardır. Bu araştırmada, yeni teorik modeliyle berkitmelerde ve birleşimlerde moment-dönme eğrisini elde etmişlerdir. Bu araştırmada birleşimlerin kolon-kiriş bağlantı bölgesinin, bulonun ve alın levhalı plakanın davranışı incelenmiştir. Şekil 1.5'de Shi *et al.* (2007) tarafından yapılan deneyin düzeneği görülmektedir.



Şekil 1.5. Yongjiu Shi ve arkadaşlarının (2007) deney düzeneği

Piluso and Rizzano (2008) çeşitli T birleşimlerin dinamik yük altında deneylerini yapmışlardır. Bu araştırmada çevrimsel yük altında moment-dönme eğrisini, enerji dağılımını ve birleşimin mukavemetini incelemişlerdir. Sonuç olarak, T birleşimin çevrimsel yük etkisinde davranışını geometrik ve mekanik özeliklerine bağlı olarak irdelemişlerdir.

Abidelah *et al.* (2012) berkitmenin alın levhalı birleşimlerdeki etkisini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Berkitmeli ve berkitmesiz alın levhalı birleşimler için deney sistemi Şekil 1.6'da görülen 4 adet deney yapmışlardır. Basınç ve çekme bölgesinde Kopma rahat incelensin diye kolonun mukavemetini kirişe göre az seçmişlerdir. Yükleme Şekil 1.6'da görüldüğü gibi kolon-kiriş birleşimlerde kolonun orta noktasından yüklenmiştir. Mukavement ve dönme kapasitesinin sonuçları Eurocode 3 şartnamesiyle karşılaştırılmıştır. Burada amaç, berkitmelerin birleşimlerdeki etkisini irdeleyerek ve şartnamelerdeki detayları iyileştirmek için öneride bulunmaktır. Sonuç olarak kolonun zayıf olması nedeniyle yerel burkulma plastik olarak kolonun gövdesinde görülmüştür ve tüm burkulma sistemde elastik–plastik olarak da kolonun başlığında olmuştur. Berkitmeli birleşimlerde moment kapasitesi biraz daha fazla ve süneklilik daha azdır. Ayrıca bu birleşimlerde kuvvet bulonlar arasında eşit dağılmıştır. Fakat berkitmesiz birleşimlerde eşit dağılmamıştır.



Şekil 1.6. Abidelah ve arkadaşları (2012) Deney düzeneği

Aydın vd (2015) eksenel yük altında 10 adet berkitmeli ve berkitmesiz alt ve üst başlık korniyerli birleşimlerin deneylerini yapmışlardır. Bu araştırmada amaç, berkitmenin davranışını ve etkisini alın levhalı plaka üzerinde görmektir. Sonuç olarak EN1993-1-8 şartnamesine göre berkitmeli alın levhalı plaka ve berkitmesiz alın levhalı plaka birleşimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Aydın ve arkadaşları (2015) eksenel yük altında 4 adet alın levhalı sinüs şeklinde kirişin moment-dönme eğrisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çizelge 1.2'de 2000 yılı sonrasında yapılan birleşim deneyleri özetlenmektedir.

Çizelge 1.2. 2000 yılı sonrasında yapılan birleşim deneyleri

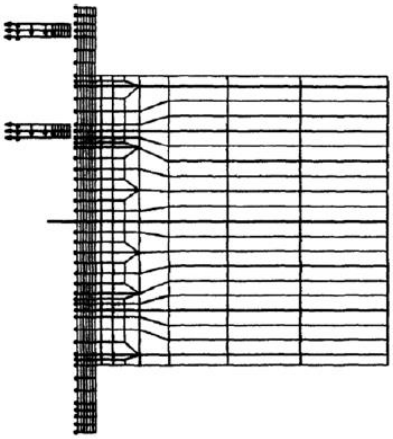
Yazarın adı ve yılı	Açıklama	Adet
Popov and Takhirov (2002)	Dinamik yükler altında kolon-kiriş birleşimlerinde bulon deneyi	2
Limaa *et al.* (2002)	Eksenel yük altında alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	3
Coelho *et al.* (2004a)	Yayılı yük altında T birleşim deneyleri	32
Coelho *et al.* (2004b)	Yayılı yük altında alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	8
Coelho and Bijlaard (2007)	Eksenel yük altında alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	7
Coelho *et al.* (2009)	Eksenel yük altında alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	24
Cabrero and Bayo (2007)	Eksenel ve statik yükler altında T birleşim deneyleri	2
Shi *et al.* (2007)	Eksenel yük altında alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	5
Piluso and Rizzano (2008)	Cycle yük altında T birleşim deneyleri	1
Abidelah *et al.* (2012)	Eksenel yük altında berkitmeli ve berkitmesiz alın levhalı plakalı birleşim deneyleri	4
Aydın *et al.* (2015)	Alt ve üst korniyerli yarı-rijit birleşimlerin deneysel incelenmesi	10
Aydın *et al.* (2015)	Alın levhalı birleşimleri sinüs kirişlerde incelenmesi	4

Doğrusal olmayan gerek malzeme gerekse birleşim davranışını sayısal olarak modelleyebilmek deneysel çalışmaların zorluğu (ekonomik, zaman, deney düzeneği vb.) sebebiyle büyük önem taşır. Bu sebeple doğru kullanılması durumunda gerçekçi sonuçlar veren sonlu elamanlar yöntemi yaygın hale gelmiştir. Bu durumun genel anlamda nedenleri;

1- Tüm birleşimler için uygun deneyler yapmanın zorluğu,
2- Birleşimlerin özel bölgelerinde meydana gelen kuvvet etkisini anlamak (örnek olarak; bulona gelen kuvvetin etkisinin birleşimin davranışına etkisini belirlemek),
3- Deneylerin fazla maliyetli olması,

olarak sıralanabilir. Bir birleşimin analizini gerçekleştirebilmek için, birleşimde kullanılan malzemelerin geometrik, mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Örnek olarak; bir bulonun eksenel taşıma kapasitesi ve yük aktarımı sırasındaki davranışı, bulon ile birleşim plakasının arasında olan etkileşim örneğin; bulon delik çapının plaka üzerinde, bulonların yerleşimi, birleşim bölgesindeki kaynak ve kusurları; genel davranışı elde edebilmek için gereklidir.

1976 yılında, Şekil 1.7'de görülen ilk üç boyutlu (3D) bulon birleşim modeli Krishnamurthy ve Graddy tarafından sonlu eleman modellemesi ile yapılmıştır. Bu araştırmada, 8 düğümlü Brick eleman alın levhalı birleşimlerde kullanılmıştır. Bu araştırmada, bulon ve birleşimin arasındaki ilişkiyi anlamak için çeşitli analizler yapılmıştır. Ancak 1976 yılında bilgisayarların analiz gücü sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla, üç boyutlu modellerin yerine sadece iki boyutlu modellerle (2D) çalışmalar yapılabilmiştir.



Şekil 1.7. Krishnamurthy ve Graddy modeli (1987)

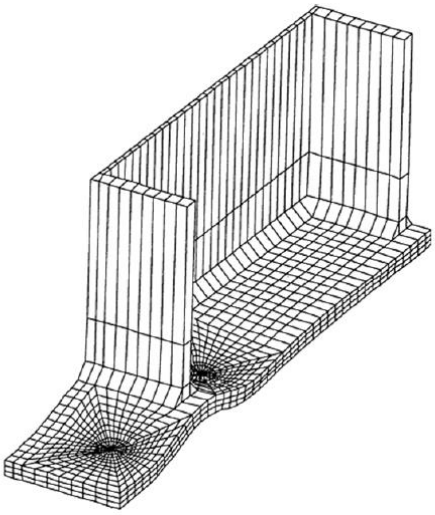
Krishnamurthy and Graddy (1987) çalışmasına benzer bir çalışma Kukreti ve arkadaşları tarafından 1987 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada sayısal olarak 2 boyutlu model üzerinden elde edilen moment-dönme eğrisi deneysel sonuçlarla uyum görülmüştür.

Chasten *et al.* 1992 yılında sonlu elemanlarla uzun berkitmesiz alın levhalı birleşim üzerinde araştırma yapmışlardır. Bu çalışmadaki sayısal modelde, birleşimde 8 adet bulon ve kabuk (Shell) adında eleman kullanılmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada alın levhalı birleşimlerin kolon başlığına yük aktarımındaki etkinliğini irdelemişlerdir.

Butterworth (1997) alın levhalı kolon-kiriş birleşimleri üzerine yaptığı çalışmasında kendi elde ettiği deneysel verileri kullanarak çeşitli sonlu elemanlar modelleri

oluşturmuştur. Bu araştırmada 5 adet gerçek ölçekli alın levhalı birleşim deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modelleri MYSTRO ve LUSAS kullanılarak oluşturulmuştur. Bu araştırmada, 3 boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sonlu elamanlar yöntemini kullanarak zaman ve maliyet gibi konularda tasarruf sağlanırken aynı zamanda birleşimde kuvvet ve gerilme dağılımlarının görsel olarak da sunulması birleşim davranışını anlamak açısından ciddi bir avantaj teşkil etmektedir.

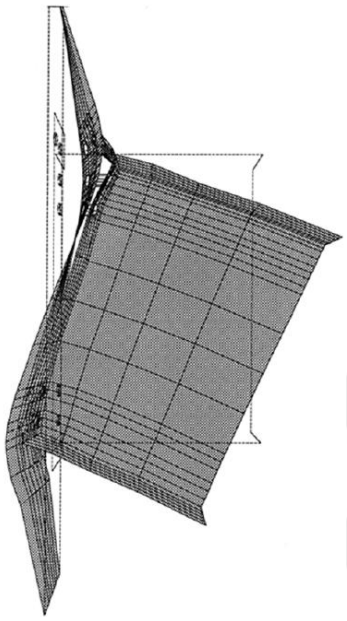
Bursi and Jaspart 1997-1998 yıllarında kolon ve kiriş başlıklarının davranışını anlamak için brick elemanı (3D) mesh olarak kullanarak alın levhalı birleşimin 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini incelemişlerdir ve analiz modellerini deneysel modellerle karşılaştırmışlardır. Şekil 1.8.'de modeli görülen bu araştırmanın amacı eleman tipi, önyükleme, ve sürtünme katsayısı analizlerindeki farklılıkları anlamaktır.



Şekil 1.8. Bursi ve Jaspart modeli (1997)

Baharri and Sherbourne'nun 2000 yılında sonlu elemanlarda kabuk elemanlarla modelledikleri çalışmalarında, 8 bulonlu ve alın levhalı birleşimin analizini yapmışlardır. Çalışmaya esas olan Şekil 1.9'daki sonlu elemanlar modelinde bulon ve somun tipi dikkate alınmamıştır. Kolon başlığı ve alın levhalarında ki bulon dikkate

alınmaksızın modele dâhil edilmiştir. Ayrıca, kolon başlığı ve alın levhası arasındaki ara yüzey üç boyutlu olarak (3D interface) modellenmiştir.



Şekil 1.9 Baharri ve Sherbourne model tipi (2000)

Yine aynı yıl yapılan benzer bir çalışmada Yong ve arkadaşları çift korniyerli gövde birleşimlerini incelemişlerdir. Bu birleşimde kolon başlığına bulonlanan korniyerler, kiriş gövdesine kaynaklanarak birleştirilmiştir. Kurdukları sonlu elemanlar modelinde, deneylerde kullanılan 6 köşeli somun başlıklarının analizlerini basitleştirebilmek için 4 köşe başlıklı olarak modellemişlerdir.

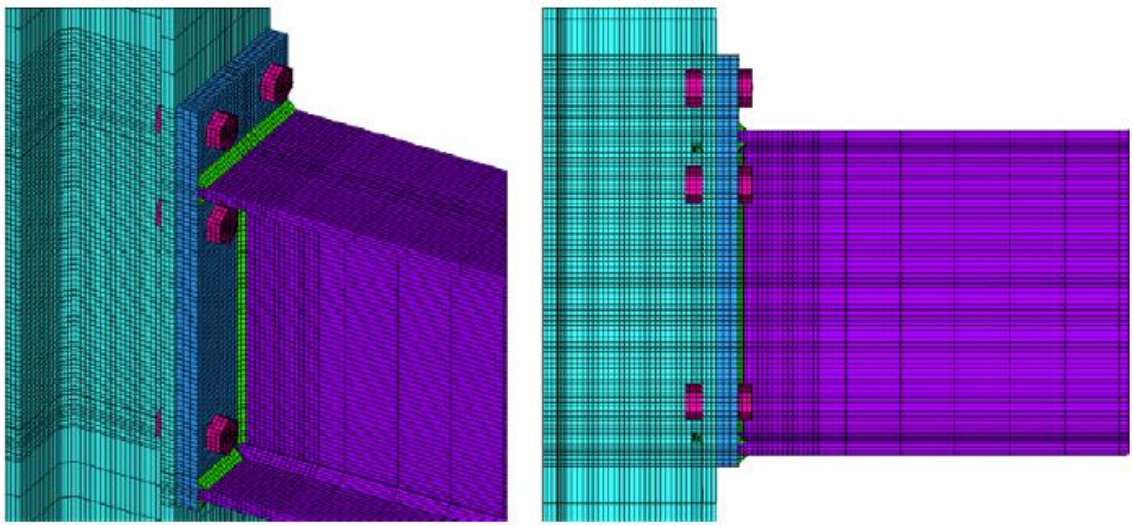
Gantes and Lemonis 2003 yılında T-bulonlu birleşimleri sonlu elemanlar ile modellemişlerdir. Bu araştırmada malzemenin doğrusal olmayan davranışını analize dâhil etmeye çalışmışlardır. Sonlu elemanlar modeli ile deneysel sonuçları karşılaştıran araştırmada, bulon boyunun doğrusal olmayan davranış üzerindeki etkisini vurgulanmıştır.

Cabrero (2006), Bursi and Jaspar'in 1997-1998 yıllarında yaptıkları birleşimleri yeni bir sonlu elemanlar modeli ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında ayrık eleman kullanan

araştırmacılar, kolon ve kiriş modellerinde 8 düğüm noktalı Brick eleman kullanırken, bulonları Truss elemanlarla, alın levhalarını ise Shell elamanlarla modellemişlerdir. Deneysel ve kurulan sonlu elemanlar modellerinin sonuçları karşılaştırıldığında, dönme ve moment dayanım açısından uyumlu sonuçların elde edildiği görülmüştür.

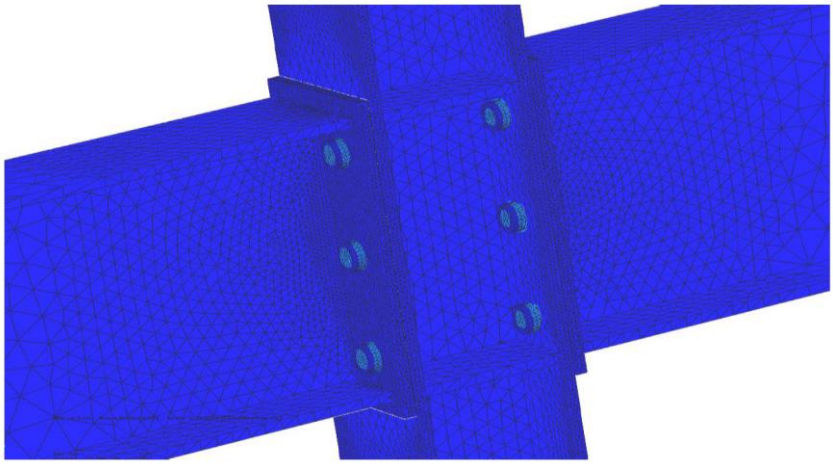
Mohamadi and Mofid 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında alın levhalı birleşimlerin sonlu elemanlar metodu ile analizlerini yaparak literatürdeki veri bankalarından elde edilen deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. 20 düğüm noktalı Brick elemanlarla kurdukları sonlu elamanlar modeline büyük yerdeğiştirmeler uygulayarak malzeme davranışını irdelemişlerdir.

Şekil 1.10'da sayısal modeli gösterilen Díaz (2010) sonlu elemanlar yöntemi ile alın levhalı birleşimleri üç boyutlu olarak modellenmişlerdir. Bu araştırmada tüm modeller 8 düğümlü Brick elemanlarla modellenmiştir. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar literatürde olan deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak sayısal model sonuçlarının gerçek davranışı yeterli yaklaşıklıkla ifade ettiği ve ayrıca bu modellerin yarı-rijit birleşimlerin optimum tasarımı için kullanılabileceği vurgulanmıştır.



Şekil 1.10. Díaz model tipi (2010)

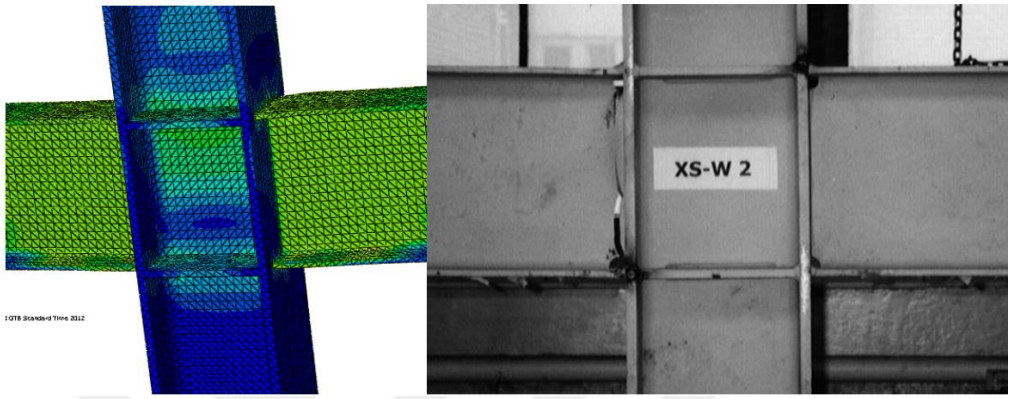
Balc 2012 yılında kiriş-kolon birleşimlerde alın levhalı bulon birleşimleri incelemek için düşük maliyetli olması ve analiz süresinde tasarruf edilmesi sebebi ile sonlu elemanlar yöntemiyle bir çalışma yapmıştır. Oluşturdukları sayısal modeller için yaptıkları analizin doğrulanması maksadıyla çalışmalarının sonuçlarını Aribert ve arkadaşlarının 1999'da yaptıkları deneylerle karşılaştırmışlardır. Ayrıca, bu araştırmada Şekil 1.11'de görüldüğü gibi sonuçların daha hassas alınması için birleşim noktalarındaki ağ sıkılaştırılmıştır.



Şekil 1.11. Roxana Balc ve arkadaşları sonlu elamanlar modeli (2012)

Roxana Balc (2012), kaynaklı ve bulonlu kiriş-kolon birleşimleri sonlu elemanlar yöntemiyle sayısallaştırmışlardır. Bu çalışmada, alın levhalı kaynaklı bir birleşim ve alın levhalı bulonlu bir birleşim modellenmiştir. Şekil 1.12'de modelin analiz ve deneylerden sonraki durumu gösterilmiştir. Analiz sonuçları Dubina va arkadaşlarının 2000 yılında yaptıkları deneylerle karşılaştırılmıştır. Her yükleme aşamasındaki gerilme durumunu Dubina ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptıkları deneylerle karşılaştırma, göçme modülü gözlemleme ve Dubina ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptığı deneylerle elde edilmiş moment-dönme eğrisi ile sonlu eleman yöntemi ile elde edilen moment-dönme eğrisinin karşılaştırılması bu çalışmanın en önemli üç amacı olarak sıralanabilir.

Bu araştırmanın sonucunda, deneysel olarak elde edilen moment-dönme eğrisinin, kaynaklı modelden elde edilen moment-dönme eğrisi ile farklılığı çok az iken, bulonlu modellerinki ile farkının fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 1.12 Roxana Balc (2012) sonlu elamanlar modeli ve Dubina va arkadaşlarının (2000) deney modeli

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Çelik Yapılar

Demir 5000 yıldır kullanılmakla beraber, yapıda kullanımı 18. yüzyılda İngiltere'de çeliğin yapı malzemesi olarak kullanılmasıyla başlamıştır. Ayrıca, kaynaklı birleşimlerin uygulaması 20. yüzyılda başlamıştır. Dünyada çeliğin inşaat sektöründe kullanılması Amerika ve Avrupa'dan başlamış, daha sora dünyanın birçok yerinde çelik yapılar inşa edilmiştir. Çelik kullanılarak inşa edilen ilk yapılar köprülerdir. Ayrıca, çelik günümüzde endüstri yapılarında ve büyük binalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çelik binalarda mimari özgürlük, depreme dayanıklılık, hızlı yapı üretimi, ekonomi, değişim ve geri dönüştürülebilirlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca çelik bir çerçeve, montajı tamamlandığında tam yükle çalışabilir. Çelik çerçeveli yapılar kullanmak, taşıyıcı sistem ve temel boyutların da küçülmesini sağladığından kullanımı avantajlıdır.

1994 Northridge depreminden sonra, çelik yapıların şiddetli depremlerde bile fazla zorlanmayacağı düşüncesi sorgulanmaya başlanmıştır. Çünkü bu depremden sonra çelik yapıların kolon–kiriş birleşim yerlerinde hasarlar gözlenmiştir. Böylece kiriş-kolon birleşim davranışının önemi anlaşılmıştır. Northridge depremine kadar çelik binalarda rijit olarak dizayn edilen kiriş-kolon birleşimleri, Northridge depreminde son derece kötü performans göstermeleri sebebiyle FEMA-SAC adında bir proje ile gerçekleştirilerek ele alınmıştır. Bu proje kapsamında sünek çelik yapı tasarımı konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve çelik yapılarda kolon-kiriş birleşimleri rijitlik yönünden incelenmiştir. Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında kolon-kiriş bağlantı noktaları için çeşitli birleşim tipleri önerilmiştir.

2.2. Çelik Yapılarda Kiriş-Kolon Birleşimleri

Çelik bir yapının gerçek davranışın incelenebilmesi için malzeme, geometri gibi temel özelliklerinin yanında kiriş-kolon birleşim davranışının da göz önüne alınması gerekmektedir. Kolon-kiriş birleşim davranışı oldukça komplekstir ve çoğu durumlarda basit formüllerle tanımlamak veya herhangi bir formüle dönüştürmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, analitik formüller çoğunlukla deney sonuçlarından yararlanılarak modifiye edilir (Gaylord *et al.* 1992).

Ayrıca, analizlerde, kiriş-kolon birleşimleri genellikle tam rijit kabul edilerek birleşim tipinin etkisi ihmal edilir. Ancak, çeşitli araştırmacıların yaptığı çalışmalar, yapı davranışının birleşim tipine bağlı olarak değiştiğini ve her bir birleşim tipinin moment-dönme eğrisinin farklı olduğunu göstermiştir (Chen 1993).

2.3. Yarı-Rijit Çelik Çerçeve Kiriş-Kolon Birleşimleri

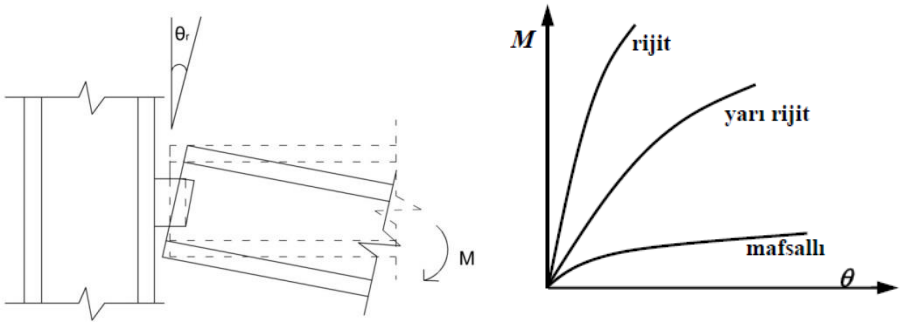
Çelik yapıların analizinde yapının malzeme, geometri gibi temel özelliklerinin yanında kiriş-kolon birleşim davranışı önemlidir ve dikkate alınması gereklidir. Çelik yapıların yaygın hesap metotlarında kiriş-kolon birleşimleri rijit ve mafsallı olmak üzere iki tip olarak kabul edilmektedir. Bu iki sınır durum arasındaki birleşim davranışı göz önüne alınmamaktadır. Bu teorik idealleştirmelere göre; rijit birleşimlerde, birleşen elemanlarda yerel dönme olmaz. Dıştan bir moment etkidiğinde bu moment birleşim elemanların rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır ve yine bu kabule göre mafsallı bir birleşimde yerel dönme oluşur (Yorgun vd 1995). Çelik bir yapıyı projelendirilirken düğüm noktalarını mafsallı veya rijit olarak tasarlamak ve hesap yapmak mutlak ki birçok hesap kolaylığını da beraberinde getirmektedir. Bu idealleştirme analiz ve hesap işlemini basitleştirmesine karşın, idealleştirilmiş davranış ile yapının gerçek davranışı arasında farklılıkların olması kaçınılmazdır. Ancak son 20 yılda yapılan deneysel ve teorik araştırmalarda, uygulamada çelik yapılarda kullanılan kiriş-kolon birleşimlerinin tam rijit veya mafsallı tanımına uymadığı ve bu iki durumun arasında olduğu gözlenmiştir. Bu konudaki eksiklik başta Amerika ve Avrupa ülkeleri olmak üzere

birçok ülkedeki yapı mühendislerini yeni araştırmalara yöneltmiştir. Özellikle, kiriş-kolon birleşimlerinin gerçek davranışının incelenmesi için, deneyler yapılmış ve deneylerin sonuçları "yarı-rijit" kavramını ortaya çıkarmıştır. Yeni şartnameler, yarı-rijit birleşimlerin hesap ve değerlendirilmesine ilişkin esasları önerileri arasına almaya başlamıştır. Ayrıca bazı araştırmalar, yarı-rijit birleşim performansının, birleşim elemanlarında boyut ve ağırlıklarında azalma gibi yararlar sağladığını vurgulamaktadır.

Son 20 yılda araştırmacılar yarı-rijit birleşimler hakkında birçok deneyler yapmışlar ve detaylı bilgiler sunmuşlardır. Aynı zamanda deney sonuçlarından faydalanarak hızla gelişen bilgisayar teknolojisiyle yapılarda daha gerçekçi modellemeler olanaklı hale gelmiştir.

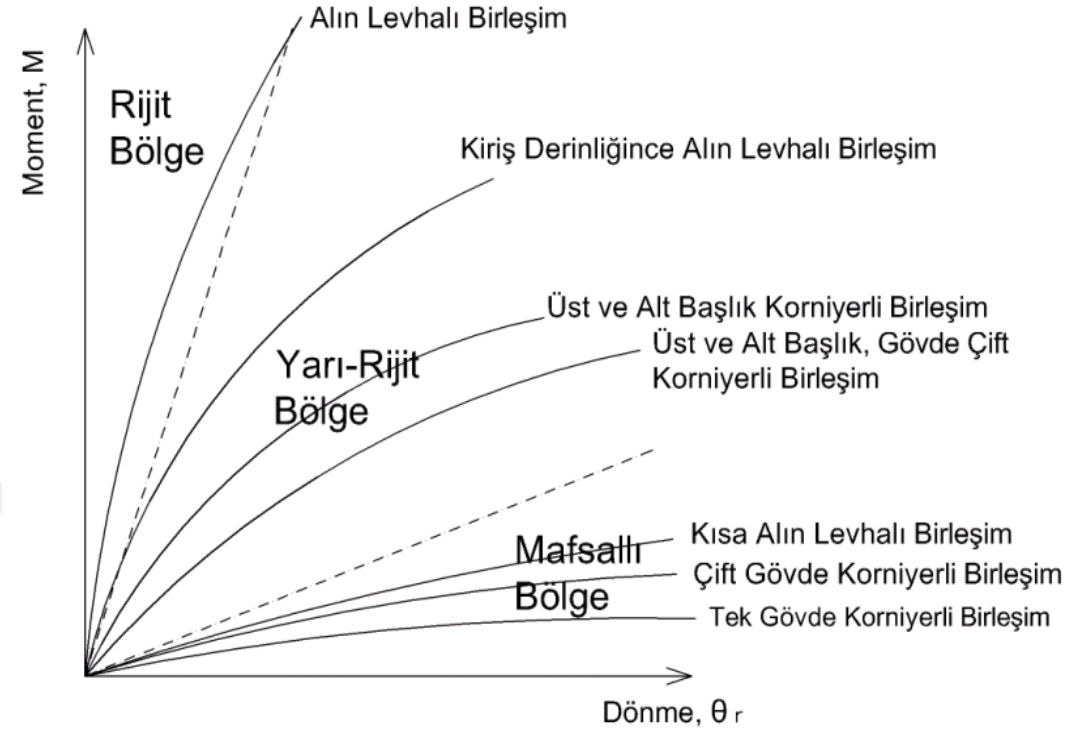
2.4. Yarı-Rijit Çelik Kiriş-Kolon Birleşimlerin Davranışı

Birleşim araçları kuvvetleri bir elemandan diğer elemana aktarırlar. Kiriş-kolon birleşimlerinde aktarılan kuvvetler, eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentidir. Burkulma etkileri plan düzleminde ihmal edilebilir. Ayrıca, birleşimler için eksenel ve kesme deformasyonları genellikle dönme deformasyonları ile karşılaştırıldığında küçük kalmaktadır (Chen and Lui 1991; Abdallah and Chen 1994). Yani, çelik yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet momenttir. Bu yüzden deneyler ve pratik amaçlar için sadece birleşimin deformasyonu göz önüne alınmalıdır. Eğer birleşimlere M momenti uygulanırsa θ_r kadar dönme oluşur. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi dönme, kiriş ve kolon arasındaki açının değişimidir (Chen and Lui 1991; Abdallah and Chen 1994).



Şekil 2.1. Birleşimin dönme deformasyonu

Kiriş-kolon birleşimlerinin taşıma gücü için yapılan deneylerin sonuçları yük-deplasman, moment-deplasman ve moment-dönme olmak üzere çeşitli biçimde verilmiştir (Yüksel 2001). Fakat moment-dönme eğrileri ile yapı elemanlarının birleşim davranışlarının daha iyi ifade edilebildiği gösterilmiştir. Moment-dönme eğrisi, moment ve ona bağlı olan dönme miktarının karşılıklı etkileşimini gösterir. Yarı-rijit birleşimlerin yaygın kullanılan çeşitlerinin moment-dönme (M-Ør) davranışı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Bu 7 tip birleşim, ideal mafsallı veya ideal rijit bağlantıların iki uç durumları arasına düşen doğrusal olmayan bir moment-dönme davranışı sergiler. Yani birleşen elemanlar arasında, eğilme momenti ile orantılı olan, rölatif bir dönme farkı vardır. Ayrıca, daha esnek birleşimin dönme kapasitesi daha fazla olacaktır. Örneğin, tek gövde korniyerli birleşim çok esnek bir birleşimdir, alın levhalı birleşim oldukça rijit bir birleşimi temsil etmektedir. Özellikle çelik yapılar, birleşimlerin yarı-rijit davranışından etkilenirler. Dolayısıyla, yarı-rijit birleşimlerin moment-dönme özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir ve bu deneylerle elde edilir.



Şekil 2.2. 7 tip birleşim için moment-dönme eğrileri

Yarı-rijit birleşimlerde birleşimlerin rijitlik veya esnekliği, levha ve korniyer kalınlığı, bulon çapı, birleşim boyu v.b. parametrelerden dolayı moment-dönme eğrileri farklılık gösterirler.

2.5. Literatürde Tasnif Edilmiş 7 Tip Kiriş-Kolon Birleşim Sınıfları

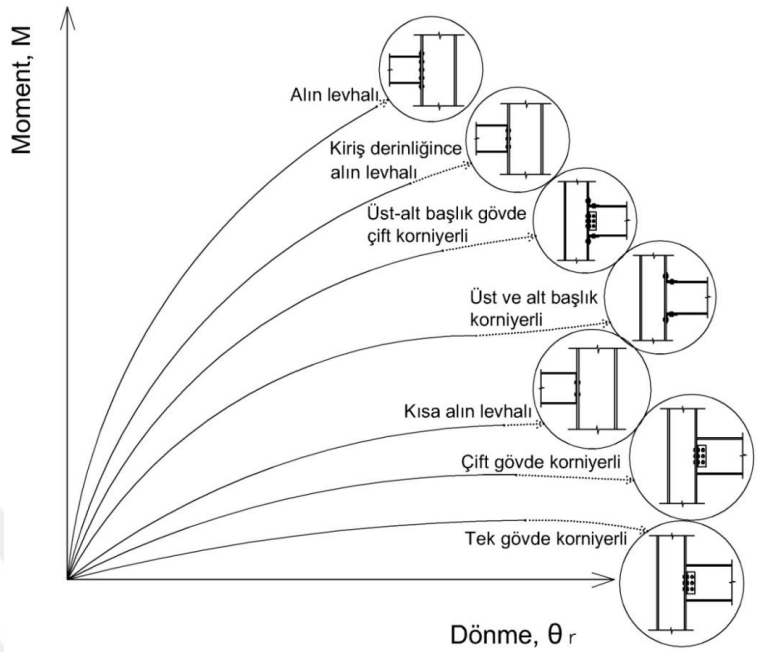
1917 yılından beri kiriş-kolon birleşimlerinin gerçek davranışlarını incelemek için birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Fakat 1950 yılından sonra deneysel çalışmalar yarı-rijit birleşimler üzerine yoğunlaşmışlardır. Son yıllarda araştırılan birleşim tipleri artmıştır ve birçok araştırmacı birleşimlerin gerçek davranışını elde etmeye çalışmaktadırlar. Ayrıca, birleşimler konusunda deney yapmanın maliyeti yüksek olduğundan bu konudaki deneysel araştırmalar sınırlıdır. Literatürde yapılan gerek sayısal gerekse deneysel çalışmalar irdelendiğinde bu konulardaki gerçek davranışını elde etme yönündeki çabanın sınırlı kaldığı görülmektedir.

Chen and Kishi (1989) ve Abdalla and Chen (1994), çelik yapılarda kullanılan 7 birleşim tipi için çalışmalar yapmışlardır ve bu araştırmalardan yola çıkarak çelik yapılarda kullanılan birleşim tiplerini sınıflandırmışlardır. Bu birleşim tipleri ve bunlara ait deneylerin sayı ve yılları Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Literatürde tanımlı 7 tip birleşim üzerinde yapılmış deneyler

Birleşim tipi	Yıl	Deney sayısı
Alın levhalı birleşim tipi	1961-1988	71
Kiriş derinliğince alın levhalı birleşim tipi	1970-1987	32
Üst ve alt başlık korniyerli birleşim tipi	1985-1987	24
Üst ve alt başlık korniyerli, gövde çift korniyerli birleşim tipi	1990	2
Kısa alın levhalı birleşim tipi	1969-1990	27
Çift korniyerli gövde birleşim tipi	1958-1987	65
Tek korniyerli gövde birleşim tipi	1990	9

Yapılan açıklamaları özetler nitelikte, 7 birleşim tipi ve bunların moment-dönme eğrileri Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Literatürde tasnif edilmiş 7 kiriş-kolon birleşim tipi ve bu birleşimlere ait Moment-dönme eğrileri (Chen and Kishi (1989) ve Abdalla and Chen (1994))

2.6. I Kesitlerde birleşimlerin sınıflandırılması

Birleşimlerin sınıflandırılması için literatürde iki önemli yönetmelik öne çıkmaktadır. Bunlar AISC (2010) ve Eurocode EN1993-1-8, (2005) yönetmelikleridir. Bu yönetmeliklerdeki sınıflandırmalar, birleşimin rijitliğine ve taşıma kapasitesine bağlı olarak yapılmıştır.

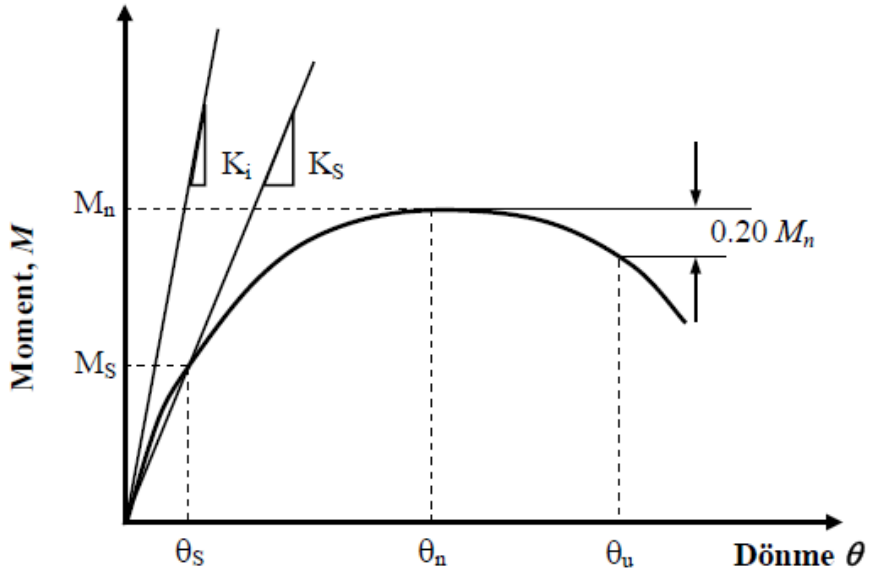
2.6.1. AISC yönetmeliği

AISC, (2010) yönetmeliği birleşimleri basit ve moment taşıyan birleşimler olarak ayrılmaktadır. Ayrıca, moment taşıyan birleşimler de kendi içinde ikiye ayrılmıştır;

1- Ötelemeleri tam engellenmiş (fully restrained)
2- Ötelemeleri kısmı engellenmiş (partially restrained)

2.6.1.a. AISC yönetmeliğine göre birleşim rijitliği

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi birleşimin başlangıç rijitliği K_i, doğrusal olmayan davranıştan dolayı moment dönme ilişkisinin küçük seviyelerinde dahi davranışı ifade etmekte yetersizdir. Bu nedenle AISC, (2010)'de birleşimin sekant rijitliği K_s, birleşim rijitliğinin göstergesi olarak ele alınmıştır. Buna göre; birleşimin sekant rijitliği $K_S \geq 20EI_b / L_b$ ise, birleşim rijit olarak kabul edilir. Eğer $K_s \leq 2EI_b / L$ ise, birleşim mafsallı olarak kabul edilir. Rijitlik bu iki değer arasında olursa birleşim yarı-rijit olarak kabul edilir.

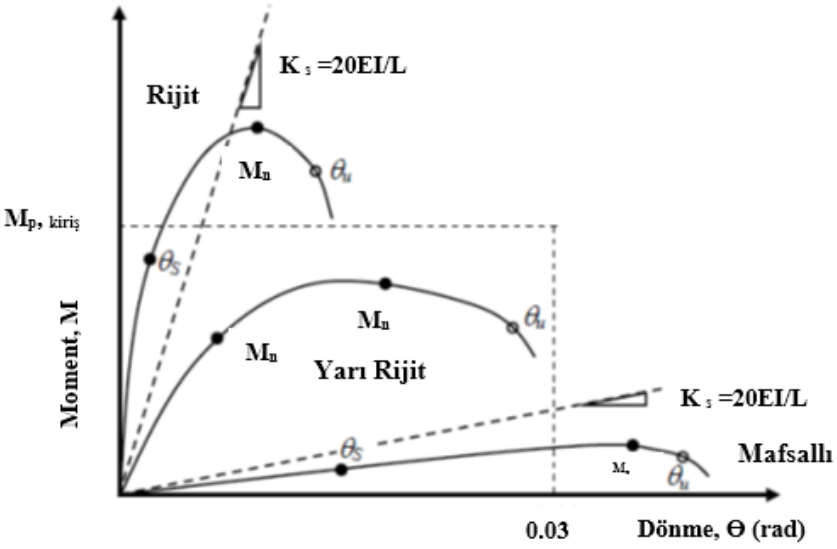


Şekil 2.4. Yarı rijit birleşimin rijitlik, dayanım ve süneklik karakteristikleri (AISC 2010)

2.6.1.b. AISC yönetmeliğine göre birleşim kapasitesi

Şekil 2.5'de görüldüğü gibi birleşimin kapasitesi, taşıyabileceği maksimum moment, M_n olarak ifade edilir ve taşıma gücü modeli esas alınarak veya fiziksel deneyler kullanılarak belirlenebilir. Eğer moment dönme ilişkisinde, herhangi bir lokal maksimum değeri bulunmazsa, 0.02 radyanlık dönmedeki moment değeri birleşim kapasitesi olarak alınabilir. Ayrıca, AISC (2010)'de birleşim kapasitesi için bir alt sınır

da tanımlanmıştır. Bu sınır değerden daha düşük kapasiteye sahip birleşimler mafsallı olarak ele alınabilir. 0.02 radyanlık dönmede kiriş plastik momentinin %20'sinden daha az moment aktaran birleşimlerin eğilme kapasitesi, tasarımda ele alınmayabilir. Şekil 2.5'de maksimum kapasite M_n ve bu noktadaki dönme değeri de θ_n ile gösterilmektedir. θ_u maksimum dönme kapasitesidir ve birleşim kapasitesinin %80 i M_n 'ye düştüğü noktadaki dönme değeri olarak tanımlanır. Kiriş kapasitesinden daha düşük moment kapasiteli rijit birleşim olabileceği gibi kiriş moment kapasitesinden daha yüksek kapasiteye sahip yarı-rijit birleşim de olabilir.



Şekil 2.5. Rijit, yarı rijit ve mafsallı birleşimlerin sınıflandırılması (AISC 2010)

2.6.2. Eurocode-3 yönetmeliği

Eurocode EN1993-1-8 (2005)'de birleşimler, kullanıldıkları çerçeve çaprazlı ya da çaprazsız taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak ve birleşimin taşıma kapasitesine ve rijitliğine göre sınıflandırılmıştır.

2.6.2.a. Eurocode-3 yönetmeliği birleşim kapasitesi

1- Rijit Birleşim (Full Strength): Birleşimin plastik moment taşıma kapasitesi, bağlı olduğu kiriş veya kolon plastik taşıma kapasitesinden büyükse, birleşim rijit birleşim olarak adlandırılır.

2- Mafsallı Birleşim (Nominally Pinned): Birleşimin plastik moment taşıma kapasitesi, rijit birleşim olması için gereken değerin %25'inden azise, birleşim mafsallı olarak adlandırılır.

3- Kısmi Dayanımlı (Partial Strength): Birleşimin plastik moment taşıma kapasitesi, yukarıda açıklanan iki değer arasında ise, birleşim kısmı dayanımlı olarak adlandırılır.

2.6.2.b. Eurocode-3 yönetmeliği birleşim rijitliği

Birleşimler Çizelge 2.2 ve Şekil 2.6'de verilen başlangıç rijitliklerine bağlı olarak rijit, yarı rijit ve mafsallı olarak sınıflandırılır.

1- Rijit Birleşim: Moment dayanımlı çerçevelerde bulunan birleşimin başlangıç rijitliği 25 EI_b/ L_b değerinden büyük ise birleşim rijit olarak sınıflandırılır.

2- Yarı rijit Birleşim: Moment dayanımlı çerçevelerde bulunan birleşimin başlangıç rijitliği, yukarıda verilen iki değerin arasında ise birleşim yarı rijit olarak kabul edilir.

3- Mafsallı Birleşim: Moment dayanımlı çerçevelerde bulunan birleşimin başlangıç rijitliği 0.5 EI_b/ L_b değerinden küçük ise birleşim mafsallı olarak sınıflandırılır. Ayrıca mafsallı birleşim, tüm sistemi veya elemanları olumsuz etkileyecek ölçüde moment değeri oluşturmadan iç kuvvetleri aktarabilmelidir. Tasarım yükleri tesiri altında dönme değerleri kabul edilebilir olmalıdır.

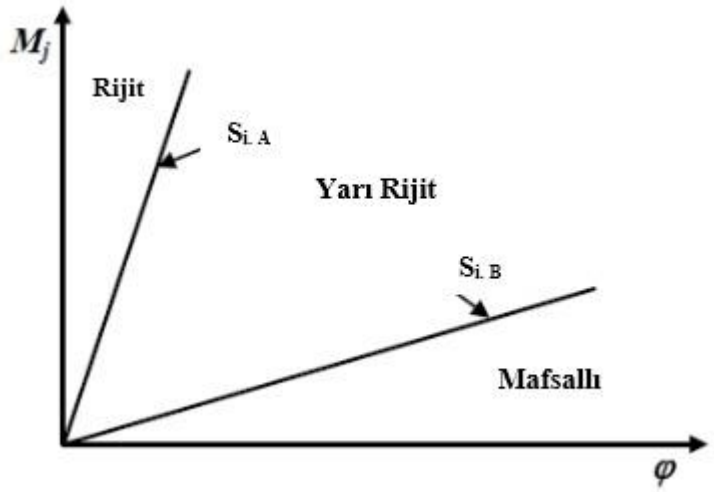
Çizelge 2.2. Birleşim rijitliğine bağlı sınıfladırrma

Birleşim Rijitliği	Çaprazlı Çerçeveler	Çaprazsız Çerçeveler
$S_{j,A}$	$8EI_b /L_b$	$25EI_b /L_b$
$S_{j,B}$	$0.5EI_b /L_b$	$0.5EI_b /L_b$

E: kiriş elastisite modülü

I_b: kiriş atalet momenti

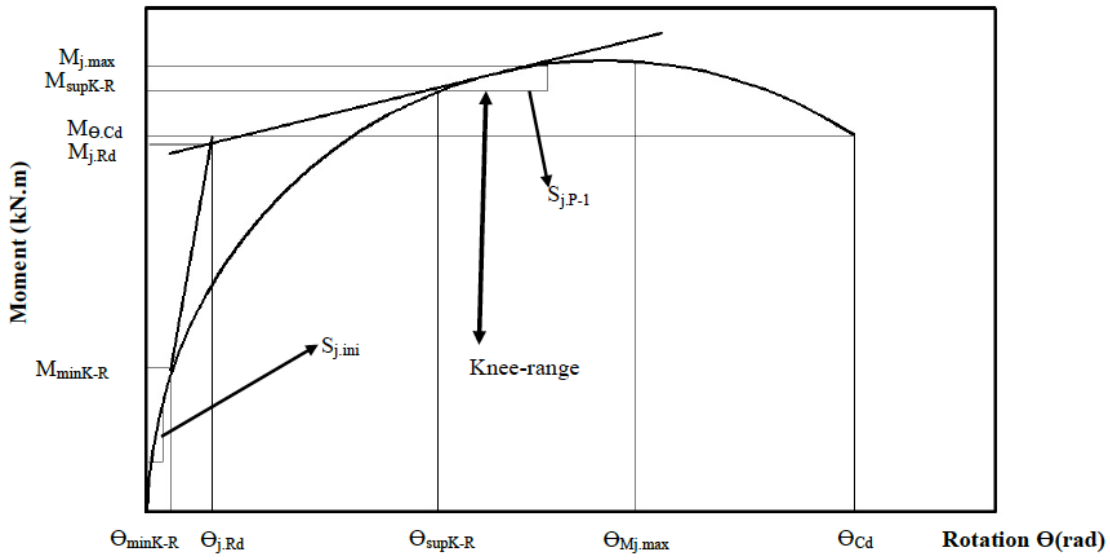
L_b: kolon aksları arasında kalan kiriş açıklığı



Şekil 2.6. Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması

2.6.2.c. Eurocode-3 yönetmeliği tasarımlarda moment-dönme özelikleri

Şekil 2.7'de görülen moment-dönme eğrisi, eğilme momenti ($M_{j.Rd}$) ile bu momente tekabul eden dönme ($\Theta_{j.Rd}$), maksimum moment ($M_{j.max}$) ile bu momente tekabul eden dönme ($\Theta_{Mj.max}$) ve eğilme moment kapasitesi ($M_{\Theta.Cd}$) ile bu momente tekabul eden dönme (Θ_{cd}) arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Knee bölgesi elastik bölge sınırına çizilen teğet ile plastik bölge sınırına çizilen teğet noktasının arasında kalan mesafeye denir. Ayrıca, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi genel olarak moment-dönme eğrisi doğrusal değildir.



Şekil 2.7. Moment-dönme eğrisi (2005)

Bir moment-dönme eğrisinden 5 temel özellik öne çıkar:

1- Moment dayanımı (moment resistance);
2- Dönme rijitliği (rotational stifness);
3- Dönme kapasitesi (rotation capacity);
4- Birleşim duktilitesi (joint ductility);
5- Birleşim maksimum yük duktilitesi (maximum load ductility of the joint).

Bu özelikler;

1- Moment dayanımı (moment resistance, $M_{j,Rd}$); moment-dönme eğrisindeki maksimum momente eşittir.
2- Dönme rijitliği (rotational stifness, Sij); sekant rijitliğidir. Başlangıç rijitliği $S_{j,ini}$ elastik bölgenin eğimine bolu Bitiş rijitliği S_{jp-1} plastik bölgenin eğimine eşittir.
3- Dönme kapasitesi (rotation capasity, Θ_{Cd}); moment-dönme eğrisindeki maksimum dönmeye eşittir.
4- Birleşim duktilitesi (joint ductility, $\Psi_j = \frac{\theta_{cd}}{\theta M_{Rd}}$); dönme kapasitesinin dönme moment dayanımına oranına eşittir.

5- Birleşim maksimum yük duktilitesi (the rotation values at the maximum load ve corresponding ductility levels $\varphi_{maxload} = \frac{\theta_{Mj.max}}{\theta_{MRd}}$); maksimum momentteki dönmenin moment dayanımındaki dönmeye oranına eşittir.

Bu yüzden, Bose ve arkadaşları 1996 yılında moment dayanımı, dönme rijitliği ve dönme kapasitesini elde etmek için 18 gruptan oluşan bir deneysel çalışma yapmışlardır. Ayrıca, aynı araştırmacılar, 1991 yılında sonlu elemanlar yoluyla birleşimlerin moment-dönme eğrisini elde etmişlerdir.

2.7. Dönmeyi Belirlemek için Diferansiyel Denklemlerin Oluşturulması ve Çözümü,

Elastik eğri probleminde önemli nokta, υ(z) çökmeleri ile bunu doğuran P(y) yükleri arasında bağlantı kurmaktır. Aranan bu ilişkinin, çubuğun sınır şartlarından bağımsız olması için bağıntının türevlerle ifade edilen bir diferansiyel denklem olması gerekir. Böyle bir denkleme ise en uygun biçimde ancak eğrilik-moment bağıntısından ulaşabiliriz (İnan, "Cisimlerin Mukavemeti", s: 319)

Yüke maruz bir kesitte kesmeli eğilmede iplikçiklerin uzunluk değişimine kayma gerilmesi etkimediğinden, eğilmeden doğan eğrilikte kesme kuvvetinin etkisi olmayacaktır. O halde eğrilik için tıpkı basit eğilmede olduğu gibi düşünülerek

$$\frac{1}{\mathrm{p}} = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{EI}} \quad \text{(Moment eğilme ilişkisi)} \qquad 2.1$$

olarak yazabiliriz (Müstafa İNAN, "Cisimlerin Mukavemeti", s: 223).

$$\rho = \pm \frac{\left(1+\left(\frac{dV}{dZ}\right)^2\right)^{3/2}}{\frac{dV^2}{dZ^2}} \qquad 2.2$$

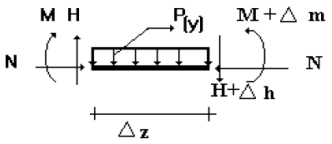
Burda (+) ve (-) işaretlerinden birine karar vermek, seçilen koordinat takımın yönlenmesine ve eğilme momenti için kabul edilen işaret prensibine bağlıdır. Bizim incelediğimiz durumda Mx > 0 ve υ″ < 0 olduğu için eşitlik ancak (-) işareti ile kurulabilir. 2.1 ve 2.2 denklemlerinin birlikte ele alınması ile

$$\frac{\frac{dV^2}{dZ^2}}{dV} = -\frac{M_x}{EI_x}\left(1+\left(\frac{dV}{dZ}\right)^2\right)^{3/2} \qquad 2.3$$

elde edilir ki bu da eğrinin diferansiyel denklemidir. Burada M_x sınır şartlarına bağlı ise, Eşitlik 2.3.'de verilmiş olan diferansiyel denklem tam olarak bir diferansiyel denklem sayılmaz. Üstelik bu denklem υ(z), çökme fonksiyonuna göre lineer değildir. dυ/dz eğimin yatık olduğu eğrilerde küçük olduğunu düşünürsek; bunun karesinin çok daha küçük olacağı açıktır. Bu durumda ifadenin bu kısmını ihmal edersek, denklem lineerleşmiş olur ve böylece

$$\frac{dV^2}{dZ^2} = -\frac{M_x}{EI_x} \qquad 2.4$$

ifadesi elde edilir.



Şekil 2.8. Yayılı yük kuvvetleri denklem hesabı

$$M + \Delta m - M - P\Delta v - H\Delta z = 0 \;\rightarrow\; \Delta m = P\Delta v + H\Delta z \qquad 2.5$$

$$\frac{dM}{dZ} = H + P\frac{dV}{dZ} \qquad 2.6$$

elde edilir. Daha önce elde ettiğimiz 2.4 bağıntısını 2.6 bağıntısında yerine konulursa;

$$H = -\left[d\left(EI\frac{dV^2}{dZ^2}\right) + P\ \frac{dV}{dZ}\right] \quad 2.7$$

ifadesi elde edilir. Eğer dυ/dz=υ′, d2υ/dz2= υ″ vb. şeklinde ifade edersek;

$$H = -[(EIv^{ıı})^ı + Pv^ı] \quad 2.8$$

elde edilir. Görüldüğü gibi bu denklemde H ifadesi vardır. Bunu ortadan kaldırmak için türev alındığında;

$$\frac{d^2}{dZ^2}\left(EI\frac{dV^2}{dZ^2}\right) + P\ \frac{dV}{dZ} = 0 \quad 2.9$$

ifadesi bulunur. Çubuğumuzun rijitliğini z ye bağlı bir fonksiyon olarak düşündüğümüzde,

$\left(d^2/dz^2\right)EI = \phi(z)$ olmak üzere yerine yazılarak;

$$\emptyset(z)vıv + Pv^{ıı} = 0 \quad 2.10$$

$$Vıv + \frac{P}{\Phi(z)}\ V^{ıı} = 0 \quad 2.11$$

ifadesi elde edilir.

Böyle bir diferansiyel denklem ise sabit katsayılı lineer diferansiyel denklemler grubuna girer. Böyle ikinci veya daha yüksek mertebeden denklemlerin çözümü aşağıdaki gibidir.

$$a_0(z)v^{ıı} + \ a_1(z)v^{n-1} + a_2(z)v^{n-2} + \cdots + a_{n-1}(z)v^ı + \ a_n(z) = 0 \quad 2.12$$

şeklinde bir n. mertebeden bir doğrusal diferansiyel denklemde, a1 (z)..vb. sadece z ye bağlı ifadeler olup υ ile ilgisi yoktur. d/dz=D, $d^2/dz^2 = D^2$ .. vb. şeklinde ifade edersek;

$$(a_0 D^n + a_1 D^{n-1} + \cdots + a_n)\upsilon = 0 \qquad 2.13$$

elde edilen bu denkleme de D ye göre n. dereceden bir diferansiyel denklemdir denir (Murray R. SPIEGEL, " Diferansiyel Denklemler, Uygulamaları ve Çözüm Tekniği ", s: 165). Böyle bir diferansiyel denklemleri çözmek için; $\upsilon = e^{kz}$,$\upsilon' = ke^{kz}$ .. vb. şeklinde ifade edip yerine koyarsak;

$$e^{kz}(k^n + a_n k^{n-1} + \cdots + a_n) = 0 \qquad 2.14$$

olur. Bu ifade içinde e^{kz} sıfır olmayacağına göre;

$$(k^n + a_n k^{n-1} + \cdots + a_n) = 0 \qquad 2.15$$

elde edilir. Buna da diferansiyel denklemin karekteristik denklemi denir. Bu karekteristik denklemin köklerinin olabileceğini düşünürsek; köklerin reel ve birbirinden farklı, reel ve katlı, kompleks ve farklı olabileceğini görürüz (İhsan DAĞ, " Bayağı Diferansiyel Denklemler ", s: 89). Bu diferansiyel denklemlerin çözümleri konumuzun dışında olduğu için sadece bizim elde ettiğimiz diferansiyel denklemin çözümü ile ilgileneceğiz.

Elde ettiğimiz diferansiyel denklemin karekteristik denkleminin kökleri bulunduğunda reel katlı ve kompleks dört kökü olduğunu görürüz. Dolayısı ile sadece bu iki durumu inceleyeceğiz.

Karakteristik denklemin kökleri reel katlı ise; $k_1 = k_2 = \ldots\ldots = k$ olmak üzere;

$$\upsilon(z) = e^{kz}(C_1 + C_2 z + \cdots + C_n z^n) \qquad 2.16$$

Karekteristik denklemin kökleri kompleks ise; k1=α+iβ, k2=α-iβ olmak üzere;

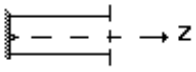
$$v(z)=e^{\alpha z}(C_1\cos(\beta z)+C_2\sin(\beta z)) \qquad 2.17$$

ifadeleri bulunur.

2.7.1. Sınır şartlarının yazılması

2.15 diferansiyel denklemi dördüncü mertebedendir. Dolayısıyla dört sabit gelecektir. Bu dört sabitin belirlenebilmesi için çubuk uçlarındaki şartların yani mesnetlenme şartları bilinmelidir. Bu şartların her uç için ikişer taneden dört tane olacağından gerekli şartlar sağlanmış olacaktır. Pratikteki mesnetlenme şekillerinin tıpatıp aynısı olmasa bile bu mesnetlenme şekillerine benzeyen sınır şartlarını ele alalım (İnan 2001).

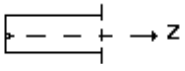
a) Ankastre Mesnet: Böyle bir mesnette Şekil 2.10'da da görülebileceği gibi moment kuvveti oluşturacak dönme ve ötelenme hareketi engellenmiştir.



Şekil 2.9. Ankastre mesnet

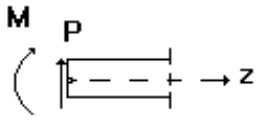
$$z=0 \implies v=0 \;\; ve \;\; v'=0 \quad \text{olur.} \qquad 2.18$$

b) Serbest Uç: Uç kesite etkiyen kuvvet ve kuvvet çiftinin verilen belli değerler eşit olmasından faydalanılarak yazılırlar (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Serbest uç

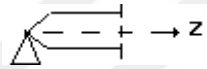
$$z=0 \implies v'''=0 \;\; ve \;\; v''=0 \text{ olur.} \qquad 2.19$$



Şekil 2.11. Ankastre mesnet kuvvetleri

$z = 0 \Longrightarrow -EI_x v''' = P \; ve - EI_x v''' = M$ olur 2.20

c) Mafsallı Mesnet: Burada çubuğun ucu ötelenmeye karşı tutulduğu gibi dönme serbestliği vardır. Dolayısı ile moment sıfır olacaktır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Sabit mesnet kuvvetleri

$z = 0 \Longrightarrow v = 0 \;\; ve \;\; v'' = 0$ olur. 2.21

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yarı-Rijit Birleşimlerin Modellenmesi

Sonlu elemanlar yöntemi, birleşimlerin modellenmesinde kullanılması en uygun yöntemlerden biridir. Yarı-rijit birleşimlerde yarım asırdır sonlu elemanlar yöntemi uygulanmaktadır. Geçmişte bilgisayarların ve programların verimli olmamasından dolayı seçilen modeller ve hesaplar basit seçilmek zorunda kalınmıştır. Ayrıca zor model seçilmek istenildiğinde çeşitli sorunlar çıkmakta ve sonuçlar alınamamaktaydı.

Moment-dönme eğrisi her durumdan ve olaydan etkilendiği için analiz esnasında aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir.

1- Birleşim elemanlarında geometrik ve malzemenin doğrusal olmayan özelikleri
2- Bulonun kalitesi ve genel gerilme dağılımı altındaki tepkisi
3- Bulon ve plaka bileşenleri arasındaki temasların etkisi. Örneğin; bulonun dişsiz kısmı, bulonun başı (kare, altı köşeli vs…).
4- Birleştirilen parçaların birbiri ile temas ettiği yüzeylerde sürtünme durumu
5- Kaynak kalitesi
6- Malzeme ve işçilik kusurları

Ayrıca, bu tip araştırmalarda bazı faktörler analiz sonuçlarını değiştirebilir. Bunlar;

1- Kullanılan sonlu eleman programı,
2- Eleman tipleri,
3- Ağ yapısı
4- Bulon deliklerinin programa tanımlanması,
5- Mesnetlerin sınır şartları,
6- Çevre etkileri (örnek: sıcaklık, yükleme hızı)

olarak sıralanabilir.

Bu 6 faktörden başka parametreler de olabilir, ancak temelde bu parametrelerin etkinliği öne çıkmaktadır. Dolayısıyla bazı noktalarda ağ yapısı sıklaştırılır. Ağların sıklaştırılması hassas sonuçlar almaya yönelik iyi bir çalışmadır. Örnek olarak; gerilme durumu birleşim yüzeyinde ve bulonun delik çevresinde daha hassas olarak elde edilmektedir.

Çalışmda kullanılan malzemelerin özellikleri oluşturulan sonlu elaman modeline tanımlarken kaynak kalınlıkları, bulon kalitesi ve çapı, plaka özellikleri, delikleri ve delik yerleri de işlenecektir. Böylece literatürde olmayan ve bu çalışmaya esas olan birleşimler için oluşturulan sayısal modelle deneysel sonuçlar karşılaştırılacak, uygun sayısal kalibrasyon süreci ile sayısal modelin bu birleşimler için bir genel model olabilmesi hedeflenmiştir.

3.1.1. Modelleme detayları ve simülasyon çalışmaları

3 boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile yarı-rijit birleşimlerin simülasyon çalışmaları şekil değiştirme kontrollü olarak yapılmaktadır. Bir modellemede birleşimin geometrisini anlamak ve bulonların deliklerinin birleşimin üzerindeki pozisyonlarını doğru modellemek çok önemlidir. Ayrıca, bir 3 boyutlu birleşimin ağ yapısı temas eden kısımlarına bağlı olarak seçilir. Bu amaçla, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak birleşimlerin ağ yapısı ve birbiriyle temas eden kısımları uygun şekilde modellenerek analizleri yapılacaktır.

Ayrıca her eleman için ağ yapısı farklı ayarlanarak bulon deliklerinin birleşimlerin üzerindeki etkisi irdelenecektir.

Çalışma kapsamında, 2 tip birleşim incelenmiş, bu deneylerde moment-dönme eğrisi, yük-gerilim ve yük-deformasyon eğrileri elde edilecektir. Dolayısıyla, deneylerde kullanılan tüm malzemelerin;

1-Plaka, kiriş ve kolon üzerinde bulunan bulonların delik çapları,
2- Bulonun çapı,
3- Kullandığımız kiriş ve kolonun malzemesi (INP, IPE, …)
4- Birleşim tipi ve berkitmelerin kalınlığı,
5- Birleşimlerin boyları,

parametreler dikkate alınacaktır.

3.1.2. Sonlu elemanlar modelleri için genel konfigürasyonlar

Bir analizde modelleme yapılırken ayrı ayrı parçalar halinde modelleme yapılır ve bu modellemeler sonradan birleştirilerek sonuca varılır. Kullanılacak bulonların baş kısımlarında yazılan kalite sınıfı dikkate alınmaktadır. Kullanılan bulonun altı köşe olan başlık kısmı önceki çalışmalarda yuvarlak olarak dikkate alınmıştır. Somunların özellikleri de bulonlarda olduğu gibi üzerine yazılmış olan kalite sınıfı dikkate alınarak yapılmaktadır. Delik çapları değerleri yazılırken şartnamelerde yer alan delik çapı büyütülmesi gibi etkenler ile beraber dikkate alınır (Azizinamini *et al.* 1985).

3.1.3. Sürtme ve malzemenin özellikleri

Sürtme değerleri mevcut şartnamelerde yer alan değerler dikkate alınarak hesaplara katılmıştır. Bu değerler 0.255 ve 0.5 aralığındadır. Her modellemeden önce malzemenin özelliği de deney yapılarak veya imalatçı firmanın kendi deney sonuçları ve resmi raporları dikkate alınarak hesaplara katılmıştır. Örnek olarak çekme dayanımı elastik ve plastik bölge için belirlenmiştir (Azizinamini *et al.* 1985).

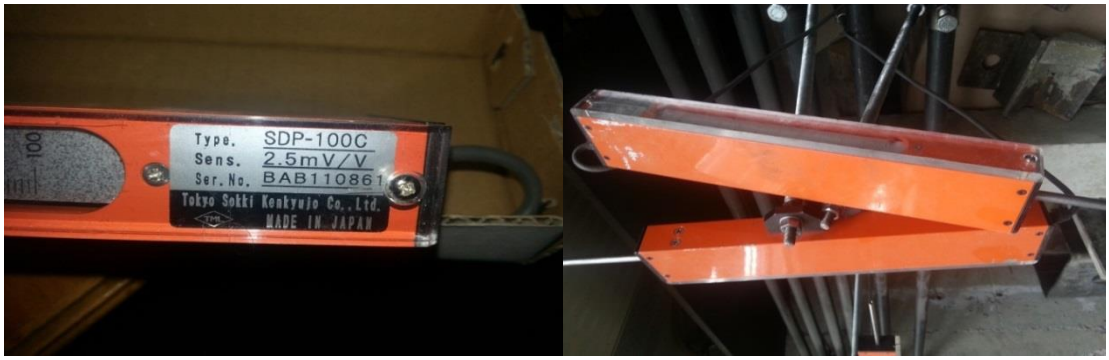
3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Deneysel aletler

Bu tezde kullanılan aletler benzer çalışmalarda kullanılan aletlerdir (Popov and Takhirov 2002; Limaa *et al.* 2002; Coelho *et al.* 2004a, 2004b; Coelho and Bijlaard 2007; Coelho *et al.* 2009; Cabrero and Bayo 2007; Shi *et al.* 2007; Piluso and Rizzano 2008; Abidelah *et al.* 2012). Bazı kaynaklarda (Goverdhan 1984; Nethercot 1985a,1985b; Jones *et al.* 1980; Kishi and Chen 1986a, 1986b; Kishi *et al.* 1994; Chen and Toma 1994; Abdalla and Chen 1995; Gerardy and Schleich 1991; Weynve 1992; Weynve *et al.* 1998; Cruz *et al.* 1998) çalışmalarında kullanılan deneysel aletler dijital değillerdir. LVDT'lerin eski ürünleri analog iken bugün bu ürünlerin hepsi dijitaldir. Bu tezde de hata oranını azaltmak için yeni model aletler kullanılmıştır.

3.2.1.a. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT);

Deformasyon ölçüm cihazları deneylerde yük altında eğilmeleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılmaktadır. Bu cihazlarda, en düşük ölçü gösteren deformasyon cihazı 100 mm ve en yüksek 250 mm'dir, cihazların hata oranı 0.001 mm'dir. Deney esnasında, düşmesini engellemek ve doğru ölçü vermesini sağlamak için LVDT' leri sabitlemek gerekmektedir. Dijital ve analog olmak üzere iki çeşit LVDT vardır. Yapılan deneylerde kullanılan LVDT (Linear Variable Differential Transformers:(doğrusal değişken fark transformotoru) 100 mm, SDP-100C modelli Japonya da üretilmiştir. Şekil 3.1'de kullanılan LVDT' ler gösterilmiştir. Deformasyon cihazları uygun bir şekilde dirençlere bağlandıktan sonra veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.1. Digital (LVDT) cihazı

3.2.1.b. Gerinim pulları (Straingauge)

Birim deformasyon ölçebilen bu küçük pullar, çeşitli konfigürasyonlarda özellikleri tanımlı çelikler üzerine yapıştırılır. Özel bir teknikle hazırlanan çok ince bir tel, ince plastik yaprakçık üzerine yerleştirilir. Gerekli yerlerdeki sağlamlaştırma bantları ve bağlantı kolları yapıştırılarak bir straingauge (gerinim ölçer) yapıştırılmış olur. Gerinme 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. Gerinim pullarının kullanılacağı yer eğer metalik bir yüzey ise, o yüzey önce taşlanır, zımparalanır sonra aseton, eter gibi eriticilerle yüzey yağından temizlenir. Gerinim pulları için genellikle iki bileşenli yapıştırıcılar kullanılır. Bu yapıştırıcılar ölçüm yapılacak yere sürülür. Gerilme pulları buraya istenen yönde konur. Özel plastik folyo ile örtülür. Başparmakla birkaç dakika hafifçe bastırılır. Şekil 3.2'de gerinim pulları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gerinim pulları

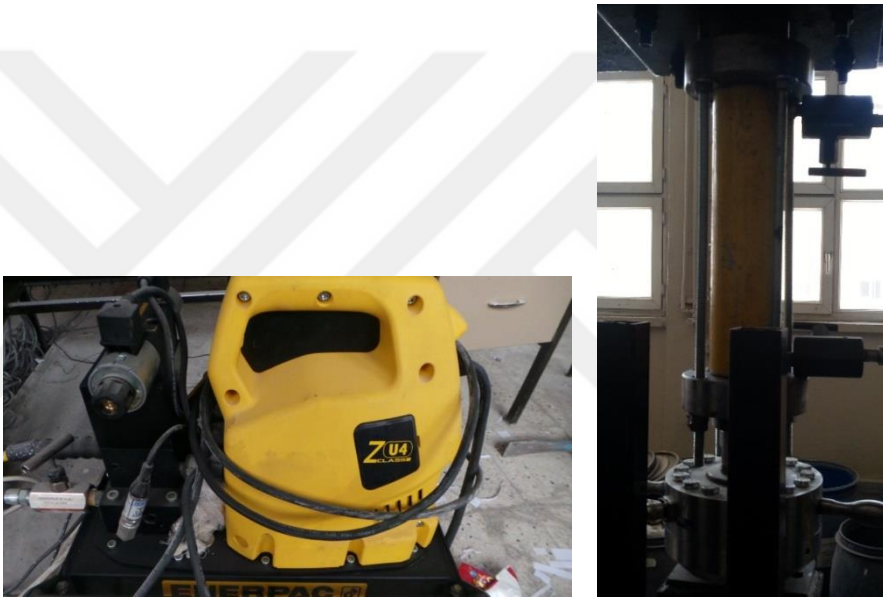
3.2.1.c. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell) ve bilgisayar

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 geometrilerde (eğilme, kesme vb.) çalışan modelleri vardır. İki yönde çalışanlarına kuvvet sensörü (force transducer) denilmektedir. Oluşacak diyafram etkisi ile hem basma hem de çekme yükleri okunabilmektedir. Bu alet hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Hidrolik pompa yükü yüklemek için kullanılır ve yükleme hücre aleti, hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Kullanılan yükleme hücresi TEDS markalı ve maksimum kapasitesi 250 kN' dur. Şekil 3.3'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 valfı bulunmaktadır. Yükleme manüel olarak kumanda yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 3.4'de pompa şekli görülmektedir. Pompanın kapasitesi 90 ton dur ancak kullanılan hidrolik pistonun (Şekil 3.4) kapasitesi 90 tondur.



Şekil 3.4. Hidrolik pompa ve piston

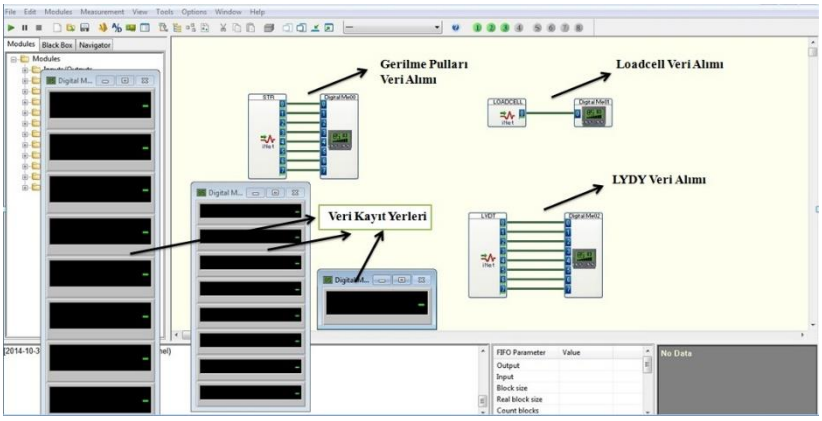
3.2.1.d. Veri toplama sistemi (Data Logger)

Veri toplama cihazı genel amaçlı dinamik ve statik veri toplama cihazlarını içermektedir. Bu cihazlar aynı zamvea 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, ivme ölçerler ile birim deformasyon ölçerleri de içeren geniş sensör uyumluluğudur. Mevcut projedeki deneylerde kullanılan veri toplama cihazının modeli Insturunet 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 veri toplama cihazının programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu program straingauge, loadcell ve LVDT lerin özelliklerine bağlı olarak hazırlanmıştır. İlgili programdan okunan veriler çeşitli programlar sayesinde sayısallaştırılmıştır. Şekil 3.5'de veri toplama cihazı, Şekil 3.6 Veri toplama cihazı ekranı görülmektedir.



Şekil 3.5. Veri toplama sistemi (datalogger)



Şekil 3.6. Veri toplama cihazı programı

3.2.2. Deneylerin yapılması ve doğru şekilde uygulanması

3.2.2.a. Deney sisteminin yapılması

Atatürk üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı, Malzeme ve Tatbiki Mekanik 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 kiriş seyyar hale getirildi. Deneylerde kirişin burkulmasını engellemek için sistem geliştirildi, bunun için iki adet seyyar kolon bağlandı ve daha sonra bu kolonlara mesafeleri ayarlanabilen kutu profiller monte edildi. Zemin 2x1.5x1.5m boyutlarında kazılarak ankraj elemanları yerleştirildi ve çelik bağlantılı kütle betonu döküldü. Şekil 3.7'de deney düzeneği ve temel beton ankrajı detayları görülmektedir.



Şekil 3.7. Deney düzeneği ve temel beton ankrajı detayları

Deformasyon cihazlarını sisteme bağlamak için çerçeveli sistem imal edildi. Bunun yapılmasında ki amaç; deney esnasında deformasyon cihazlarını sabitlemek ve ölçüm hassasiyetinin korumaktır. Şekil 3.8'de çerçeveli sistem görülmektedir.



Şekil 3.8. Çerçeve ve deney düzeneği

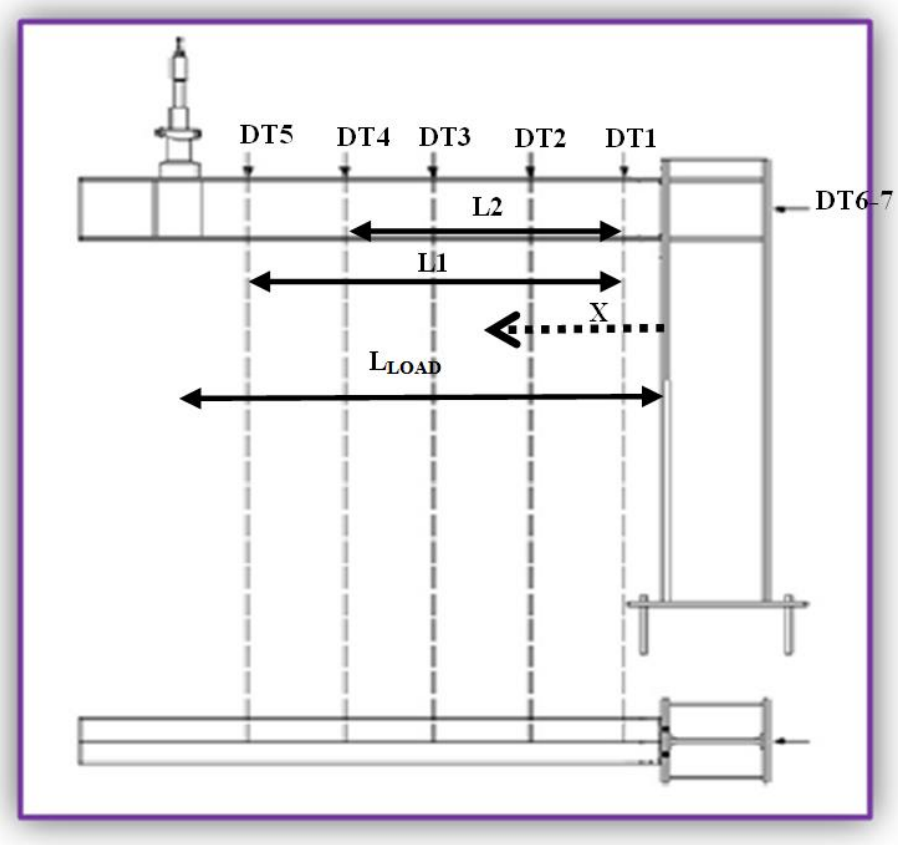
3.2.3 Deneysel verilerin formüllerle istenilen verilere çevrilmesi

Bu çalışmada amaç moment-dönme davranışını incelemektir. Bu nedenle kirişin mesnetleri ankastre olacak ve mesnetlerdeki moment aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$M=PL$$

Burada; P= Eksenel yük, L= Kiriş açıklığıdır.

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yatay ve dikey LVDT'lerle deplasmanlar ölçülerek aşağıdaki formüller ile kirişlerde ve birleşimlerdeki dönme hesaplanmıştır (Coelho and Bijlaard 2007).



Şekil 3.9. Deney sistemi

Diferansiyel yönteme göre sabit yük altında çeliğin dönme açısının bulunması için;

$$\iiint EIV = -P$$

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

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

Burada;

E= Kirişin elastisite modülü

I = Kirişin atalet momenti

X=0, Ɵ=0 için → C2=0

X=L, M=0 için → C1=PL

X=0, δ=0 için → C3=0

Burada;

Ɵ= Kirişin dönme değeri

δ= Kirişin deplasmanı

$$\delta b_{el}(DT_i) = -\frac{P}{E_b l_b}\left(x^3 \frac{DT_i}{6}\right) - L_{load}\left(x^2 \frac{DT_i}{2}\right)$$

$$\theta_B = \frac{\tan^{-1}\left(\delta_{DT1} - \delta_{DT4} - \delta_{bel(DT1)}\right)}{L_1} = \frac{\tan^{-1}\left(\delta_{DT2} - \delta_{DT4} - \delta_{bel(DT2)}\right)}{L_2}$$

ol etmek için;

$$\theta_B = \frac{\tan^{-1}\left(\delta_{DT1} - \delta_{DT3} - \delta_{bel(DT1)}\right)}{L_1} = \frac{\tan^{-1}\left(\delta_{DT2} - \delta_{DT3} - \delta_{bel(DT2)}\right)}{L_2}$$

$(DT = LVDT)$

$$\phi = \frac{\tanh^{-1}(\delta DT6 - \delta DT7)}{(hb - tfb)}$$

b= kiriş

f_b= kirişin başlığı

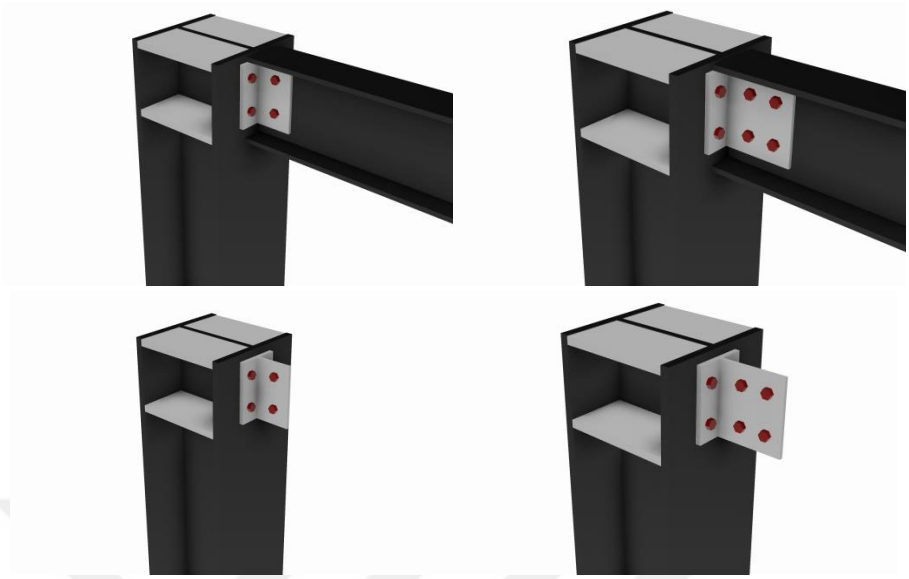
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu araştırma kapsamında ekonomiyi de göz önüne alarak, mevcut yükler altında önerilen 2 tip birleşimin davranışını belirlemek için çeşitli deneyler ve müteakibinde sayısal modellerin yapılması düşünülmüştür. Deneylerden elde edilen verilerle birleşimin moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Böylece moment-dönme eğrisinin temsil ettiği birleşimin rijitlik, moment dayanımı ve dönme kapasitesi ile ilgili davranış karakteristikleri ile ilgili bilgiler ve diğer birleşimlerle karşılaştırılarak değerlendirilen tüm sonuçlar literatüre sunulmuştur. Böylece tasarımcı, doğru birleşime karar verebilmesi için daha somut bilgilere ulaşabilecektir. Bu araştırmada önerilecek olan birleşim tiplerine en yakın birleşim tipleri bazı araştırmacılar tarafından (Xiao *et al.* 1994; Coelho *et al.* 2004a, 2004b; Coelho and Bijlaard 2007; Vellasco *et al.* 2007; Piluso and Rizzano 2008; Abidelah *et al.* 2012) 1994-2012 yılları arasında yapılmıştır. Çalışmalarımızın bu çalışmalardan farklılıkları birleşim tipleri anlatılırken vurgulanacaktır.

4.1. Kullanılan Birleşim Tipleri

4.1.1. Kaynaksız T birleşim tipi

Eurocode 3 şartnamesinde, uygulama rahatlığı dolayısıyla çokça kullanılan T birleşimlere özel bir yer ayrılmıştır (European Committee for Stveardization, PrEN 1993-1-8:2005, Eurocode 3) Uygulamada sıkça rastlanılmasından dolayı bu çalışmada da T birleşim tipi seçilmiştir (Şekil 4.1). Bu çalışmada literatürden farklı olarak T birleşim elemanı levhalardan kaynaklanarak değil IPE profilinden kesilerek elde edilmiştir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda (Coelho *et al.* 2004a, 2004b; Coelho and Bijlaard 2007; Abidelah and Kerdal 2012) görülmüştür ki T birleşimleri sadece şekil olarak düşünülmüş ve dönme davranışı incelenmiştir. T birleşimleri yapılırken levhalar kaynaklanmak suretiyle T birleşim elemanı elde edilmiş fakat T birleşim elemanı kaynaklarında çok fazla problem olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. T tipi birleşim: Kaynaksız T birleşim elemanlı birleşim tipi

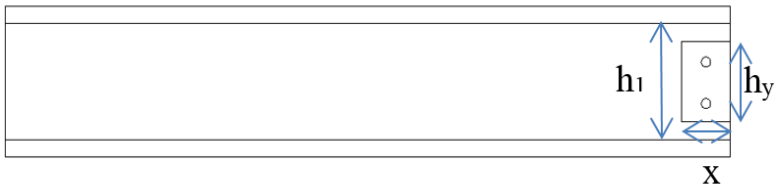
Ayrıca, bu birleşimler üzerinde yapılan çalışmalarda (Coelho *et al.* 2004; Zveonini and Zanon 1988; Zoetemeijer 1990) Kopma noktasının kaynak yerlerinden olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak kaynağın yanlış yapılması, kaynağın yerinde iyi performans göstermemesi (Coelho *et al.* 2004), birleşimlerde kullanılan kaynağın kalitesinin çok önemli olması gösterilmektedir (Coelho *et al.* 2004; Zveonini and Zanon 1988; Zoetemeijer 1990).

Coelho *et al.* (Coelho *et al.* 2004a, 2004b; Coelho and Bijlaard 2007) kaynaklı T birleşim elemanlı birleşimlerden 32 adet deney yaparak kaynak kalitesinin çok önemli olduğunu göstermişlerdir. Coelho *et al.* (2004a) yaptıkları 8 deneyden ikisinin kaynak yüzünden göçtüğünü göstermişlerdir. Bu sebeple kaynaksız birleşimlerin kullanılmasının önerilebilmesi için birleşim davranışının incelenmesi gerektiği düşünülerek bu birleşimlerin deneysel ve sayısal modellenmesi yolu seçilmiştir.

Çelik profiller imalat aşamasında fabrikadan 6 veya 12 m'lik uzunluklarda gelmektedir. Deneylerden sonra çelik malzemelerin atıl duruma geçmeden yine imalatta kullanılması, birleşimler için yeni levhaların sipariş verilmemesi önerileri için de bu birleşimin

davranışı incelenmiştir. Diğer bir ifadeyle, üretim sırasında elde kalan atıl durumdaki çelik malzemelerin kullanılması ile ekonomik bir katkı da sağlamak amaçlanmıştır.

Bu araştırma kapsamında deneyler; farklı tip ve boylarda IPE profilerinden oluşan T birleşimlerin gövdesine 1 veya 2 sıra bulon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde kullanılmasının sebebi, farklı tip ve boylarda T profil gövdesinde bulunan bulon sıra sayısının moment-dönme davranışına etkisinin araştırılmasıdır. Çünkü birleşim elemanlarının, yerleşim ve boyutlarının moment-dönme eğrisini değiştirdiği literatürdeki çalışmalarda görülmüştür (Sağıroğlu ve Aydın 2013a) Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2'de deneylerde kullanılacak olan birleşim elemanları ve deney adları verilmiştir.



Şekil 4.2. T tipi birleşim: birleşim deney detayları

Bazı araştırmalarda (Coelho *et al.* 2004a) bulon boyunun artırılmasının birleşim davranışına etkisi araştırılmıştır. Aynı kalite ve aynı çapta, farklı boylardaki bulonlar karşılaştırıldığında boyu uzun olanın dönme kapasitesinin daha iyi olduğu gözlenmiştir. Aynı araştırmada bulonun çapının değiştirilmesinin T birleşimin moment-dönme davranışına etkisi olabileceği görülmüştür. Bu araştırmada da 18'er adet 14 mm ve 10 mm çapında 2 farklı tip bulon çapı kullanılmıştır. Bu iki bulon çapı karşılaştırılarak T birleşimde bulon çapının etkisi araştırılmıştır.

Bu deneylerde, korniyer genişliği (Şekil 4.2) olan X değeri, 2 sıra bulon içeren X_{max} ve tek sıra bulon içeren X_{min} şeklinde gruplandırma yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu gruplandırma seçimi yapılırken Avrupa ve Amerika Standartları göz önüne alınmıştır. Bu iki grupta da değişken olarak Şekil 4.2 de gösterilmiş olan korniyer genişliği h_y'nin kiriş gövde uzunluğu h_1'e oranı olarak tanımladığımız H oranı

öngörülmüş ve deney sonuçlarında H oranına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. H değerleri H_{max}, H_{orta} ve H_{min} olarak üç gruba ayrılmıştır:

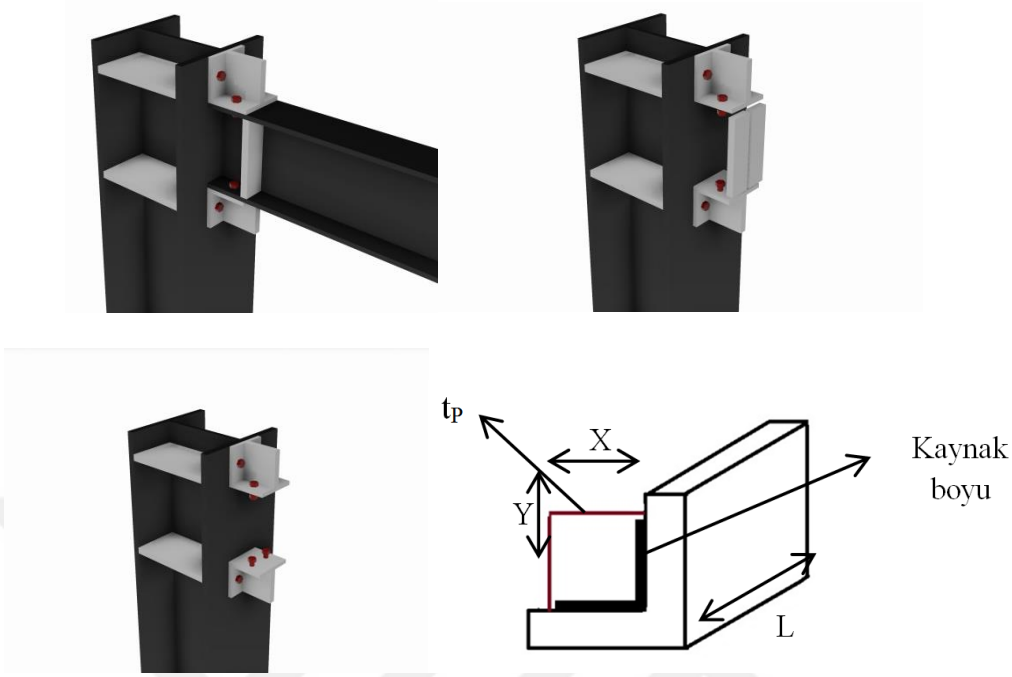
Çizelge 4.1. T tipi birleşim: Kaynaksız T birleşim elemanlı birleşim deney detayları

Deney Adı	**H_{max}= hy_{max}/h_1**	**H_{min}= hy_{min}/h_1**	**H_{orta}= hyorta/h_1**	**X_{max} (mm)**	**X_{min} (mm)**	**T birleşim elemanı için kullanılacak profil ve kalınlık**	**Kiriş profili**	**Kolon profili**	**Bulon sıra sayısı gövdede**	**Bulon Çapı (M8.8)**
B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 (1)	1			215		IPE 300	IPE240	HEB160	2	14
B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 (2)		0,63		215		IPE 300	IPE240	HEB160	2	14
B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 (3)			0,82	215		IPE 300	IPE240	HEB160	2	14
B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 (4)	1				89	IPE 300	IPE240	HEB160	1	14
B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 (5)		0,63			89	IPE 300	IPE240	HEB160	1	14
B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 (6)			0,82		89	IPE 300	IPE240	HEB160	1	14
B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 (7)	1			215		IPE 270	IPE240	HEB160	2	14
B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 (8)		0,63		215		IPE270	IPE240	HEB160	2	14
B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 (9)			0,82	215		IPE 270	IPE240	HEB160	2	14
B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 (10)	1				89	IPE 270	IPE240	HEB160	1	14
B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 (11)		0,63			89	IPE270	IPE240	HEB160	1	14
B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 (12)			0,82		89	IPE270	IPE240	HEB160	1	14
B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 (13)	1			215		IPE240	IPE240	HEB160	2	14
B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 (14)		0,63		215		IPE240	IPE240	HEB160	2	14
B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 (15)			0,82	215		IPE240	IPE240	HEB160	2	14
B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 (16)	1				89	IPE240	IPE240	HEB160	1	14
B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 (17)		0,63			89	IPE240	IPE240	HEB160	1	14
B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 (18)			0,82		89	IPE240	IPE240	HEB160	1	14
B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 (19)	1			126		IPE 140	IPE160	HEB160	2	10
B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 (20)		0,57		126		IPE 140	IPE160	HEB160	2	10
B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 (21)			0,79	126		IPE 140	IPE160	HEB160	2	10
B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 (22)	1				54	IPE 140	IPE160	HEB160	1	10
B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 (23)		0,63			54	IPE 140	IPE160	HEB160	1	10
B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 (24)			0,82		54	IPE 140	IPE160	HEB160	1	10
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (25)	1			126		IPE 160	IPE160	HEB160	2	10
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (26)		0,57		126		IPE 160	IPE160	HEB160	2	10
B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 (27)			0,79	126		IPE 160	IPE160	HEB160	2	10
B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 (28)	1				54	IPE 160	IPE160	HEB160	1	10
B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 (29)		0,63			54	IPE 160	IPE160	HEB160	1	10
B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 (30)			0,82		54	IPE 160	IPE160	HEB160	1	10
B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 (31)	1			126		IPE 200	IPE160	HEB160	2	10
B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 (32)		0,57		126		IPE 200	IPE160	HEB160	2	10
B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 (33)			0,79	126		IPE 200	IPE160	HEB160	2	10
B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 (34)	1				54	IPE 200	IPE160	HEB160	1	10
B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 (35)		0,63			54	IPE 200	IPE160	HEB160	1	10
B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 (36)			0,82		54	IPE 200	IPE160	HEB160	1	10

4.2. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim tipi;

Çeşitli araştırmacılar (Abidelah and Kerdal 2012; Limaa *et al.* 2002; Shi *et al.* 2007) kolon-kiriş birleşimlerinde dönme davranışını iyileştirmek için, berkitme kullanmışlardır. Limaa *et al.* (2002) de çalışmasında alın levhalı birleşimlerde berkitme kullanmış, deneysel sonuçlarla yük-deplasman eğrisini elde etmiştir. Shi *et al.* (2007) birleşimin kolon ve kiriş gövdesinde berkitme kullanmış, deneysel sonuçlarla moment-dönme eğrisini elde etmişlerdir. Abidellah and Kerdal (2012) kiriş başlıklarında üçgen kesilmiş berkitmeler kullanılmış alın levhalı plakalı birleşimlerin moment-dönme eğrilerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise kiriş başlıklarında ve gövdesinde berkitme kullanılan alt-üst başlık korniyerli birleşimler incelenmiştir. Moment-dönme davranışın iyileştirilmesi ve berkitmenin etkisinin bu birleşim tipinde gösterilmesi için Şekil 4.3'de 3 boyutlu görüntüleri ve detaylandırması görülen yeni birleşim tipi üst ve alt başlık korniyerleri berkitmeli, kiriş ise berkitmeli veya berkitmesiz olarak incelenmiştir.

Ayrıca, bazı araştırmacılar (Abidelah and Kerdal 2012; Limaa *et al.* 2002; Shi *et al.* 2007), berkitmenin moment-dönme davranışına etkisini incelemiş, berkitmelerin dönme kapasitesini iyileştirdiğini söylemişlerdir. Böylece, bu çalışmada da kirişin gövdesine konulan berkitmenin ve alt-üst gövde korniyerleri üzerindeki berkitmelerin birleşimin davranışına etkisini tespit etmek amaçlanmıştır. Böylece, korniyer boyunun ve berkitme kalınlığının optimum değerleri de saptanmaya çalışılmıştır. Çizelge 4.2'de deneylerde kullanılacak olan birleşim elemanlarının boyutları ve deney adlandırılması verilmiştir.



Şekil 4.3. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim tipinin deney detayları

Çizelge 4.2. Alt-üst başlık korniyerli ve berkitmeli birleşim deney detayları

Deney Adı	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 (mm)	Bulon çapı (M8.8)	X_{MAX} ve Y_{MAX}
L91-t_p6-BS5 (1)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	6	VAR	5	8	5.4
L91-t_p6-BS6 (2)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	6	VAR	6	8	5.4
L91-t_p6-BS10 (3)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	6	VAR	10	8	5.4
L91-t_p6 (4)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	6	YOK	------	8	5.4
L82-t_p6-BS5 (5)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	6	VAR	5	8	5.4
L82-t_p6-BS6 (6)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	6	VAR	6	8	5.4
L82-t_p6-BS10 (7)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	6	VAR	10	8	5.4
L82-t_p6 (8)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	6	YOK	------	8	5.4
L73-t_p6-BS5 (9)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	6	VAR	5	8	5.4
L73-t_p6-BS6 (10)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	6	VAR	6	8	5.4
L73-t_p6-BS10 (11)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	6	VAR	10	8	5.4
L73-t_p6 (12)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	6	YOK	------	8	5.4
L91-t_p8-BS6 (13)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	8	VAR	6	8	5.4
L91-t_p8-BS8 (14)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	8	VAR	8	8	5.4
L91-t_p8-BS10 (15)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	8	VAR	10	8	5.4
L91-t_p8 (16)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	8	YOK	------	8	5.4
L82-t_p8-BS6 (17)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	8	VAR	6	8	5.4
L82-t_p8-BS8 (18)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	8	VAR	8	8	5.4
L82-t_p8-BS10 (19)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	8	VAR	10	8	5.4
L82-t_p8 (20)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	8	YOK	------	8	5.4
L73-t_p8-BS6 (21)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	8	VAR	6	8	5.4
L73-t_p8-BS8 (22)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	8	VAR	8	8	5.4
L73-t_p8-BS10 (23)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	8	VAR	10	8	5.4
L73-t_p8 (24)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	8	YOK	------	8	5.4
L91-t_p10-BS6 (25)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	10	VAR	6	8	5.4
L91-t_p10-BS8 (26)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	10	VAR	8	8	5.4
L91-t_p10-BS10 (27)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	10	VAR	10	8	5.4
L91-t_p10-BS12 (28)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	10	VAR	12	8	5.4
L91-t_p10 (29)	HEB160	IPE160	L60*60*6	91	10	YOK	------	8	5.4
L82-t_p10-BS6 (30)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	10	VAR	6	8	5.4
L82-t_p10-BS8 (31)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	10	VAR	8	8	5.4
L82-t_p10-BS10 (32)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	10	VAR	10	8	5.4
L82-t_p10-BS12 (33)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	10	VAR	12	8	5.4
L82-t_p10 (34)	HEB160	IPE160	L60*60*6	82	10	YOK	------	8	5.4
L73-t_p10-BS6 (35)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	10	VAR	6	8	5.4
L73-t_p10-BS8 (36)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	10	VAR	8	8	5.4
L73-t_p10-BS10 (37)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	10	VAR	10	8	5.4
L73-t_p10-BS12 (38)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	10	VAR	12	8	5.4
L73-t_p10 (39)	HEB160	IPE160	L60*60*6	73	10	YOK	------	8	5.4

4.3. Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada, en çok kullanılan çelik sınıfı olması sebebiyle tüm çeliklerin sınıfı St37 olarak belirlenmiştir. Birleşimlerde meydana gelecek Kopma ilk önce bulonlarda oluşmasını önlemek için birleşimlerde kullanılan bulonların mukavemet sınıfı 8.8 seçilmiştir. Gerçek birleşim davranışını gözlemleyebilmek için çerçeve tam gerçek ölçekte seçilmişlerdir. Bu yüzden, kolon ve kirişlerin boyu 1500 mm seçilmiştir (Lima *at al.* 2002).

4.4. Deneylerin Yapılması ve Doğru Şekilde Uygulanması

Bu tezde 250 KN kapasiteli yükleme hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücresi 250 KN'luk bir hidrolik jacke bağlanmıştır (maksimum piston boyu 200 mm ve piston hızı 0,016 mm/s). Deneylerde eğimleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılacak olan LVDT'lerin sabitleneceği yer önemlidir. Çünkü deney sırasında yerinden düşmesi ve yeni bir çerçeve yapılması söz konusu olabilir. Ayrıca LVDT'lerin sayısı ve çerçevenin üzerine bağlayıcı ve kontrol edildiği noktalar hesapları etkilemektedir.

Bu tezde çerçeveler üzerinde YEFA-5 (15%-20%) tipi gerinim pulları kullanılmıştır.

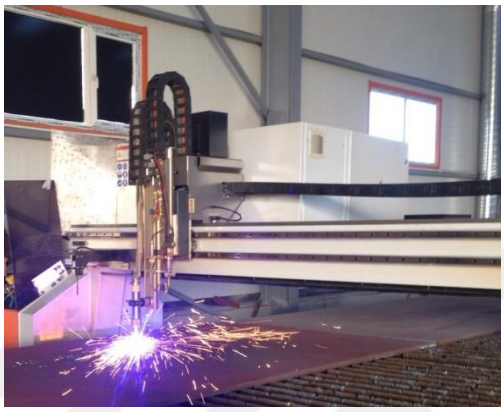
Kolonlar ve kirişler 1500 mm boyunda testere makinesiyle kesilip üzerinde manyetik matkapla delikler açılarak hazırlanmıştır. T elemanı, alt ve üst korniyerleri hazırlamak için aynı testere makinesi kullanılmış ve daha sonra manyetik matkapla bulon delikleri açılmıştır. Şekil 4.4'de testere ve manyetikli matkap gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Testere ve manyetikli matkap makineleri

Kolonları temele montajlamak için, plazma makinesinde (Şekil 4.5) hazırlanan 700*500*15 mm'lik ankraj plakası olarak kolonların başına ve 134*72*10 berkitmeler de kiriş, kolon ve birleşim elemanlarına kaynatılmıştır. Bu kaynatmada, gazaltı kaynağı kullanılmıştır. Çünkü gazaltı kaynağı örtülü elektrod ark kaynağına göre şu sebeplerden dolayı daha hızlı bir kaynak yöntemidir: Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine doğru sürekli beslendiği için kaynakçı, örtülü elektrod ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda kalmaz. 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 edilmektedir. Örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrodlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığma hızına sahiptir. Gazaltı kaynağı ile elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellik de sertleşme özelliğine sahip çeliklerde önemlidir. Gazaltı kaynağında derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar. İnce malzemeler çoğunlukla TIG(Tungsten-Inert Gaz) kaynak

yöntemi ile ilave metal kullanarak veya kullanmadan birleştirilse de, gazaltı kaynağı ince malzemelerin kaynağına örtülü elektrod ark kaynağından daha iyi sonuç verir. Hem yarı otomatik hem de tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur.

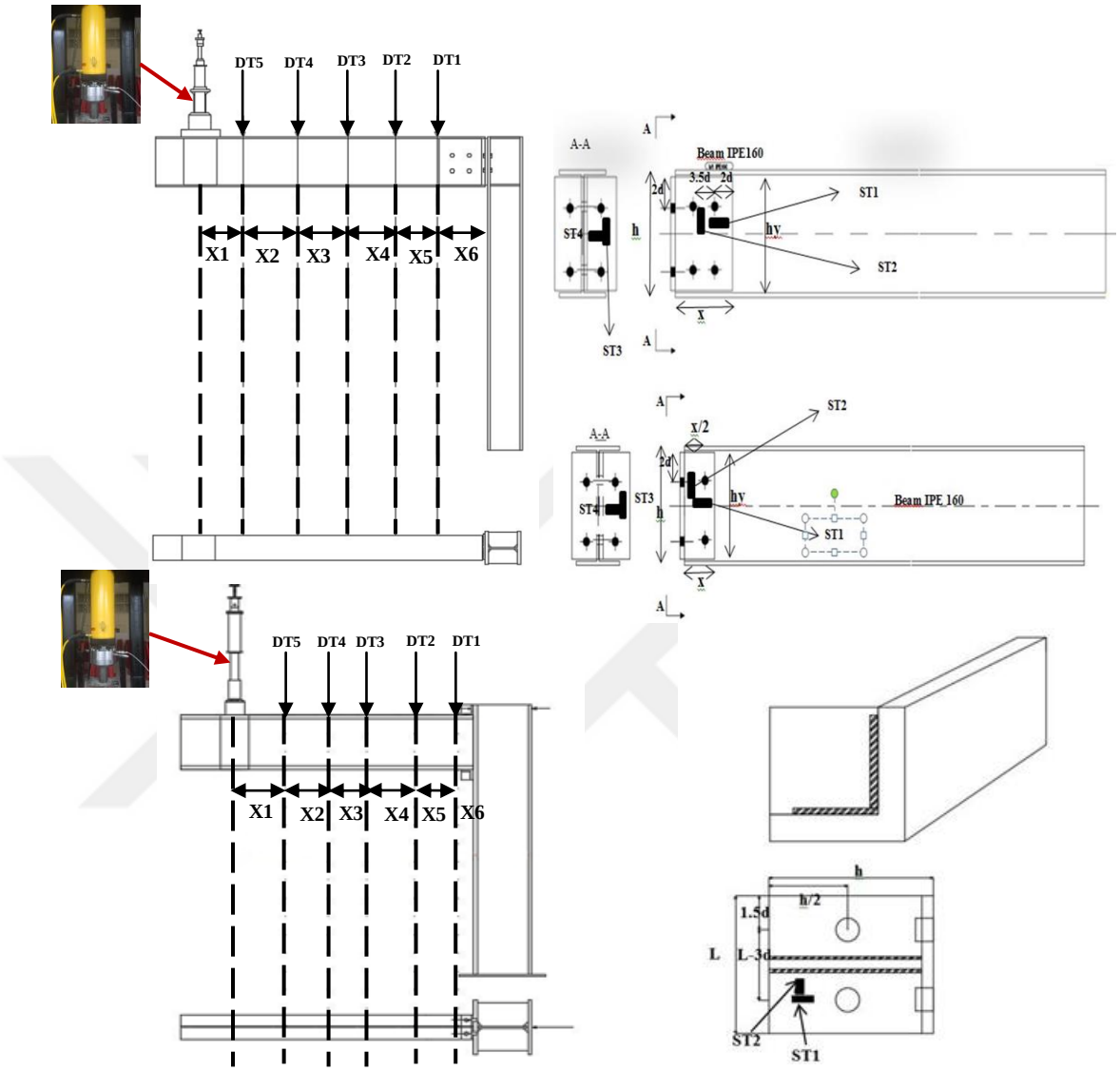


Şekil 4.5. Plazma makinesi

Bu işlemlerin ardından çerçeveler deneye hazırlanıp yerine şu şekilde montaj edilmiştir:

1- Laboratuvar zemininde 2x1.5x1.5m hazır betonarme sistemi mevcuttur. Şekil 3.7'de ankraj sistemi gösterilmiştir.
2- Kolon taban plakası betondaki ankrajlara monte edilmiştir.
3- Kirişler kolonlara birleşim elemanları ile birleştirilmiştir.
4- Sistemde kirişin yanal burkulma engellemek için kirişin sağına ve soluna birer tane IPE140 kolon konulmuştur. Şekil 3.7'de sistem görülmektedir.
5- Sistemin üzerine bir çerçeve yapılmış ve bu çerçevenin üzerine LVDT'ler bağlanmıştır. Çünkü; eğimleri ve deformasyonları ölçmek için kullanılacak olan LVDT'lerin sabitleneceği yer deney sırasında yerinden düşmesi ve yeni bir çerçeve yapılması söz konusu olabileceğinden önemlidir. Şekil 3.8'de çerçeve ve deney düzeneği gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de LVDT lerin deneylerde yerleştirilme mesafeleri ve Şekil 4.6'de LVDT lerin yerleştirme şekilleri görülmektedir



Şekil 4.6. LVDT lerin yerleştirmesi

Çizelge 4.3. T tip birleşimlerde LVDT lerin yerleştirmesi

Deney Adı	**X_1(mm)**	**X_2(mm)**	**X_3(mm)**	**X_4(mm)**	**X_5(mm)**	**X_6(mm)**
B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 (1)	530	175	215	130	245	90
B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 (2)	520	154	207	238	160	85
B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 (3)	555	155	244	200	154	90
B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 (4)	525	176	205	145	230	100
B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 (5)	520	245	205	193	105	100
B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 (6)	555	240	208	190	90	95
B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 (7)	535	290	205	140	105	100
B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 (8)	505	310	195	140	110	115
B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 (9)	510	310	195	135	100	75
B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 (10)	520	318	200	135	100	110
B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 (11)	520	310	195	150	110	90
B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 (12)	485	290	200	150	100	100
B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 (13)	530	300	195	140	110	100
B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 (14)	510	290	200	150	110	65
B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 (15)	530	300	210	130	120	110
B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 (16)	550	300	200	160	100	100
B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 (17)	530	280	200	130	130	98
B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 (18)	535	300	190	160	110	100
B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 (19)	530	305	230	130	100	80
B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 (20)	530	305	190	140	110	100
B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 (21)	590	300	210	130	110	100
B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 (22)	560	300	195	150	105	90
B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 (23)	555	297	200	140	120	100
B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 (24)	530	300	200	130	105	90
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (25)	540	300	120	180	180	60
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (26)	520	310	110	190	185	73
B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 (27)	525	300	115	185	180	80
B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 (28)	530	300	105	180	190	75
B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 (29)	510	290	110	180	180	90
B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 (30)	500	295	100	190	185	87
B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 (31)	555	295	110	200	175	65
B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 (32)	490	310	100	189	185	80
B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 (33)	490	290	110	190	160	97
B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 (34)	520	285	110	180	170	80
B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 (35)	530	300	100	200	165	96
B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 (36)	490	297	110	180	170	58

Çizelge 4.4. Alt-üst birleşim tiplerde LVDT lerin yerleştirmesi

Deney Adı	X_1(mm)	X_2(mm)	X_3(mm)	X_4(mm)	X_5(mm)	X_6(mm)
L91-t_p6-BS5 (1)	530	290	115	190	140	80
L91-t_p6-BS6 (2)	515	300	115	195	130	95
L91-t_p6-BS10 (3)	535	310	100	205	140	100
L91-t_p6 (4)	500	310	105	150	185	97
L82-t_p6-BS5 (5)	525	305	95	200	145	85
L82-t_p6-BS6 (6)	520	310	110	190	145	100
L82-t_p6-BS10 (7)	530	305	110	190	160	90
L82-t_p6 (8)	520	310	120	190	160	90
L73-t_p6-BS5 (9)	550	300	105	190	145	90
L73-t_p6-BS6 (10)	530	290	110	195	140	105
L73-t_p6-BS10 (11)	520	310	110	190	145	100
L73-t_p6 (12)	535	290	115	140	180	95
L91-t_p8-BS6 (13)	535	300	110	195	140	100
L91-t_p8-BS8 (14)	540	300	120	185	145	93
L91-t_p8-BS10 (15)	520	310	100	195	145	95
L91-t_p8 (16)	515	300	110	195	145	100
L82-t_p8-BS6 (17)	530	310	105	190	145	115
L82-t_p8-BS8 (18)	540	290	100	185	150	150
L82-t_p8-BS10 (19)	530	305	100	195	140	100
L82-t_p8 (20)	550	305	115	185	150	90
L73-t_p8-BS6 (21)	510	290	120	195	140	100
L73-t_p8-BS8 (22)	540	300	115	190	145	95
L73-t_p8-BS10 (23)	530	290	125	190	150	90
L73-t_p8 (24)	500	300	110	200	160	100
L91-t_p10-BS6 (25)	560	295	120	180	150	115
L91-t_p10-BS8 (26)	510	300	100	195	140	85
L91-t_p10-BS10 (27)	540	305	105	195	140	95
L91-t_p10 (29)	520	295	135	190	130	110
L82-t_p10-BS6 (30)	545	300	110	200	130	105
L82-t_p10-BS8 (31)	535	285	120	180	150	120
L82-t_p10-BS10 (32)	540	300	100	215	135	90
L82-t_p10-BS12 (33)	510	300	115	200	130	100
L82-t_p10 (34)	540	290	120	190	145	95
L73-t_p10-BS6 (35)	520	300	110	190	175	90
L73-t_p10-BS8 (36)	510	290	115	200	150	85
L73-t_p10-BS10 (37)	520	300	105	205	150	95
L73-t_p10-BS12 (38)	530	305	95	210	160	80
L73-t_p10 (39)	520	300	120	180	170	80

4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

i. Kaynaksız T tip birleşimi

1. T300 birleşim tipi (1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no'lu deneyler)

Çizelge 4.1.'de tanımlanan T300 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve bölüm 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de X_{max} ve X_{min} grupları için T300 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.11'de bu 6 adet deneyin

moment-dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.5 de ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %60,05 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %56,73'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %5,88, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %21,09 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %79,03 oranında, H_{orta} grubunda %61,71, H_{min} grubunda ise %50,53 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %32,78 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %31,15 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %1,94 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %62,59 oranında, H_{orta} grubunda %46,73, H_{min} grubunda ise %45,43 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %33,38 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %31,20 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %1,45 ve %3,20 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %59,91 oranında, H_{orta} grubunda %43,60, H_{min} grubunda ise %40,70 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında H ve X değerleri artış gösterdiğinde dayanımda artış göstermiştir.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %33,00 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %74,57 olduğu görülmüştür. X_{min} den X_{max} %16.00 oranında azaldığı, H_{orta} %51.34 artış, H_{min} de %55.97 oranında arttığı görülmüştür. Genel olarak bakıldığında H değerleri artış gösterdiğinde rijitlikte de artış görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %16,00 oranında azaldığı ve H_{orta} grubunda %51,34, H_{min} grubunda ise %55,97 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %29,41 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %32,35'tir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %226,32, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %78,95 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %72,06 oranında, H_{orta} grubunda %26,08 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %26,03 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %28,31 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %57,52'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %55,55, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %44,44 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %20,35 oranında, H_{orta} grubunda %26,96 oranında, H_{min} grubunda ise %3,45 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{cd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %20,49 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %46,76'dır. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %55,53, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %44,44 oranında

azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %26,22 oranında, H_{orta} grubunda %4,76 oranında, H_{min} grubunda ise %21,78 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerinin artması durumunda dönme değeri de artış göstermiştir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψ_j değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %21,33 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %116,11'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %45,07, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %15,24 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %116,11 oranında, H_{orta} grubunda %4,30 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %27,12 oranında arttığı görülmüştür.

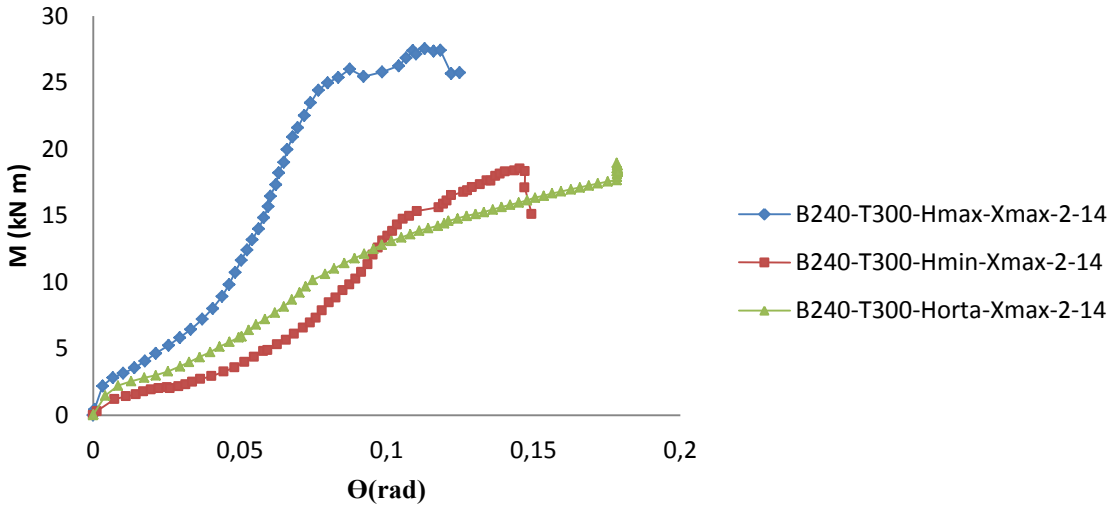
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %21,96 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %133,13 oranında azalış şeklindedir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %43,40, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %17,74 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %188,55 oranında, H_{orta} grubunda %1,80 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %26,16 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak değerlendirildiğinde X_{max} ve X_{min} gruplarında, Hmin oranı kullanlan birleşimler H_{orta} kullanılan modellerle karşılaştırıldığında maksimum yük sünekliği ve birleşim sünekliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca X arttıkça H_{min} modellerinde

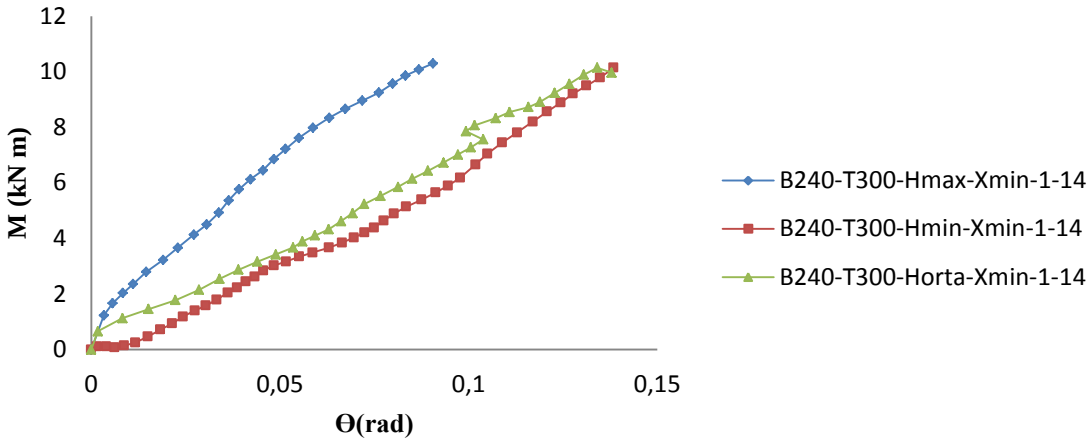
maksimum yük sünekliği ve birleşim sünekliliği artarken H_{max} ve H_{orta} modellerinde azaldığı görülmüştür.

H_{max} grubunda X_{min} den X_{max} %72,02 oranında, H_{orta} %58,82 oranında azalmış, H_{min} de %48,52 oranında artış olduğu görülmüştür. X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %19,04 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %48,93 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. X_{min} den X_{max} %16,00 oranında azaldığı, H_{orta} %51,34 artış, H_{min} de %55,97 oranında arttığı görülmüştür. Genel olarak bakıldığında H değerleri artış gösterdiğinde rijitlik artış görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %72,02 oranında, H_{orta} grubunda %58,82 oranında azaldığı, H_{min} grubunda ise %48,52 oranında arttığı görülmüştür.

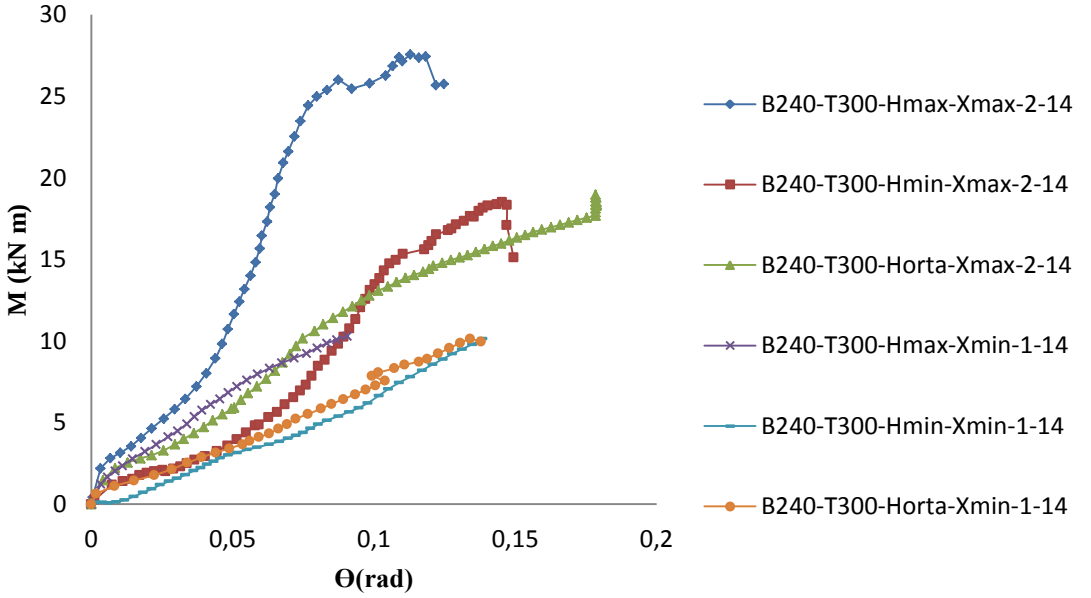
Genel olarak söylenebilir ki X arttıkça enerji yutma kapasitesi de artmıştır.



Şekil 4.7. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.8. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.9. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.5. T300 elemanı kullanılan birleşimlerin deneylerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj. max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 (1)	2,20-24,43	23,48	27,54	25,67	1,15	0,28	4,00	0,068	0,0067	0,077	0,113	0,122	1,80	1,66	1,68
B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 (2)	1,20-14,96	9,38	18,51	17,10	1,61	0,60	2,68	0,048	0,0073	0,11	0,145	0,147	3,06	3,02	1,36
B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 (3)	2,22-13,34	10,16	18,96	17,66	1,60	0,39	4,09	0,046	0,0085	0,105	0,178	0,179	3,89	3,87	1,70
B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 (4)	1,67-8,34	4,93	10,3	10,29	1,82	0,39	4,64	0,019	0,0057	0,063	0,09	0,09	4,79	4,79	0,47
B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 (5)	1,79-8,56	4,64	10,1	10,14	0,74	0,63	1,18	0,062	0,033	0,12	0,14	0,14	2,23	2,23	0,70
B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 (6)	1,13-7,85	3,89	10,1	9,96	1,03	0,52	1,99	0,034	0,0083	0,099	0,13	0,14	4,06	3,94	0,70

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma, birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.11'de görülen 2 no'lu deneyde birleşimin yüksekliği azaldığı için bulonlarda kesme meydana gelmezken birleşimde yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.11. B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.12'de görülen 3 no'lu deneyin bulonlarında zorlama meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.12. B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15 görülen 4, 5 ve 6 no'lu deneylerde birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.13. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



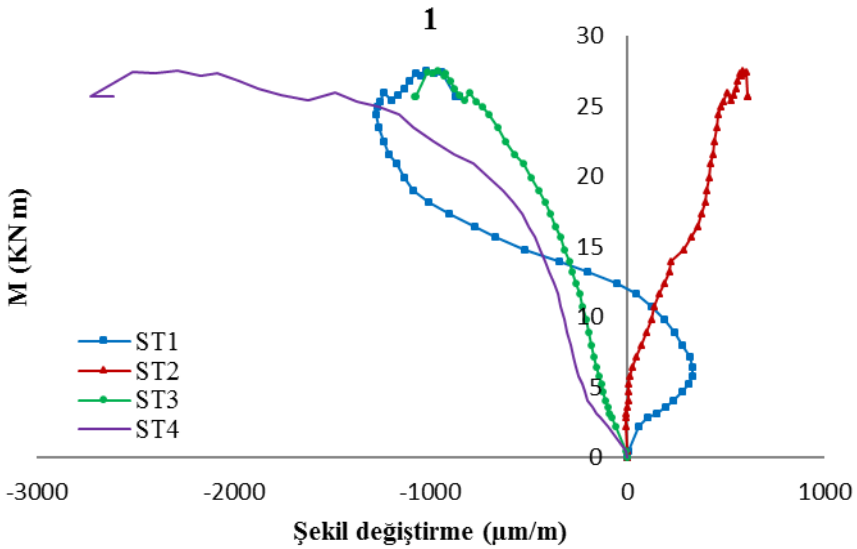
Şekil 4.14. B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



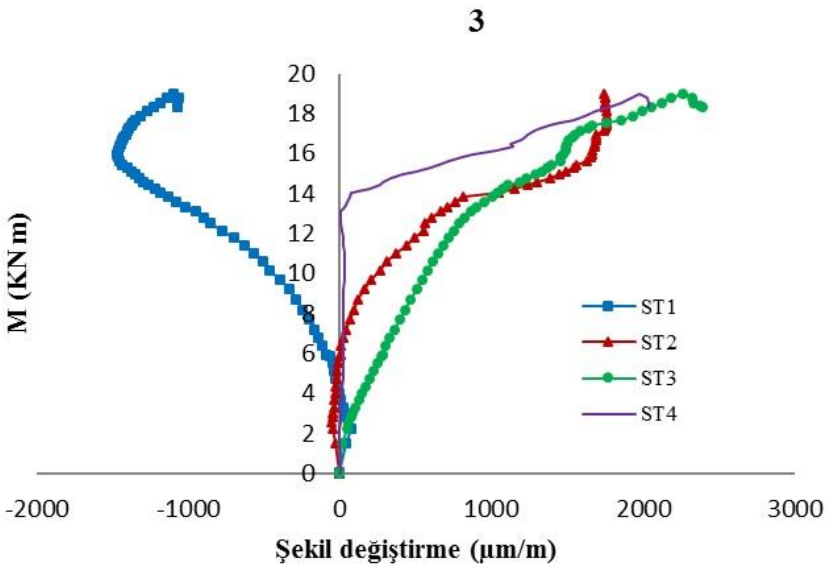
Şekil 4.15. B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Birleşimin kopmasının X ve H değerlerine bağlı olarak değiştiği şekillerden de görülmektedir.

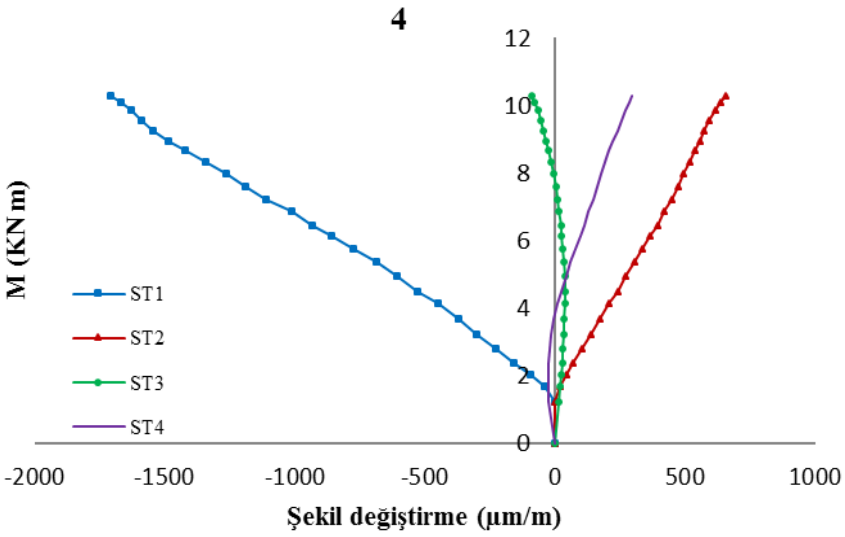
Şekil 4.16-4.22'de T300 deneylerine ait moment birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir. Strain gauge değerlerine bakıldığında deneyler esnasında ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalırken ST3 ve ST4 plastik bölgeye geçmiştir.



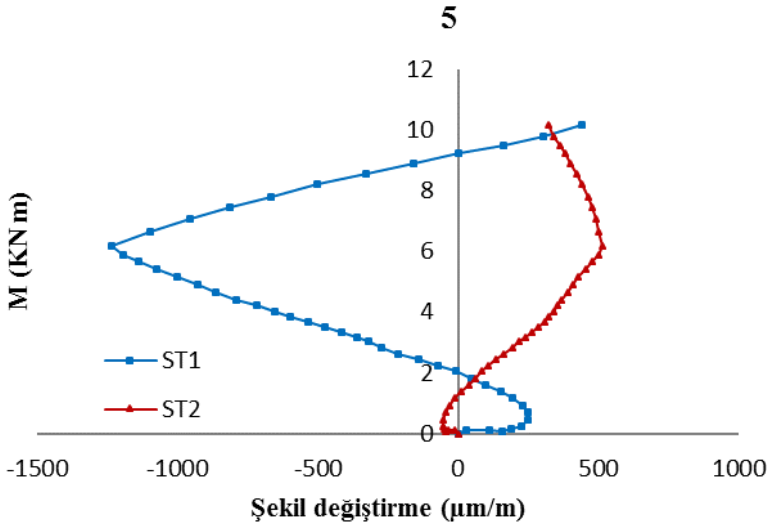
Şekil 4.16. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



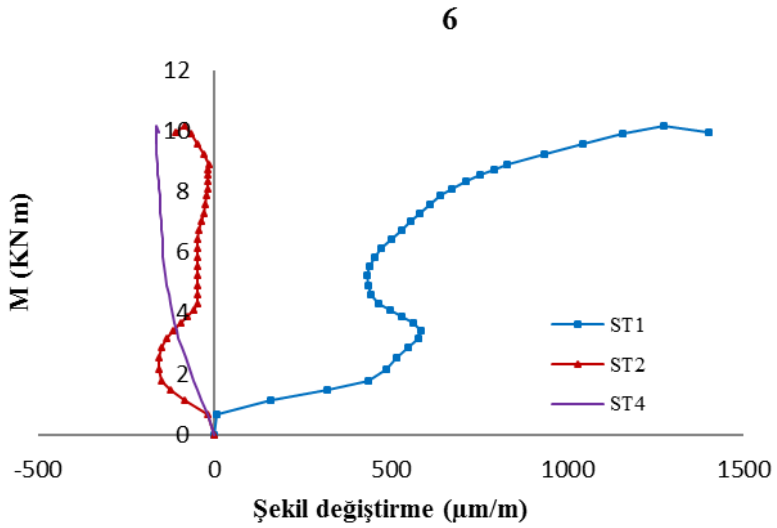
Şekil 4.17. B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.18. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.19. B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.20. B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

ii. T270 birleşim tipi

Çizelge 4.6'da tanımlanan T270 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve bölüm 4.1'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.23. ve Şekil 4.24'de X_{max} ve X_{min} grupları için T270 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.25'de bu 6 adet deneyin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.6 ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; Hmin oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %62,31 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %31,07'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %29,16, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %36,07 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %35,67 oranında, H_{orta} grubunda %40,34, H_{min} grubunda ise %50,53 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ değerleri Hmax oranı kullanılan birleşimdekine göre %25,78 oranında artış gösterirken; Horta kullanılan birleşimlerde bu değerin %2,45 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %0,88 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %41,02 oranında, H_{orta} grubunda %21,24, H_{min} grubunda ise %60,06 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %26,87 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %1,67 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %0,17 ve %30,17 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %41,70 oranında, H_{orta} grubunda %59,96, H_{min} grubunda ise %20,13 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanımda da artış görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %63,52 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %4,35 olduğu görülmüştür. X_{min} den X_{max} %85,98 oranında artığı, H_{orta} %63,25 artış, H_{min} de %764,67 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %20,00 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %36,84'tir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %25,64, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %84,62 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile

karşılaştırıldığında %160,00 oranında, Horta grubunda %308,33 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %68,42 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θj_{max}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %33,94 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %0,92 oranında artış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %85,71, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %42,86 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %35,78 oranında, H_{orta} grubunda %7,41 oranında, H_{min} grubunda ise %10,95 oranında arttığı görülmüştür.

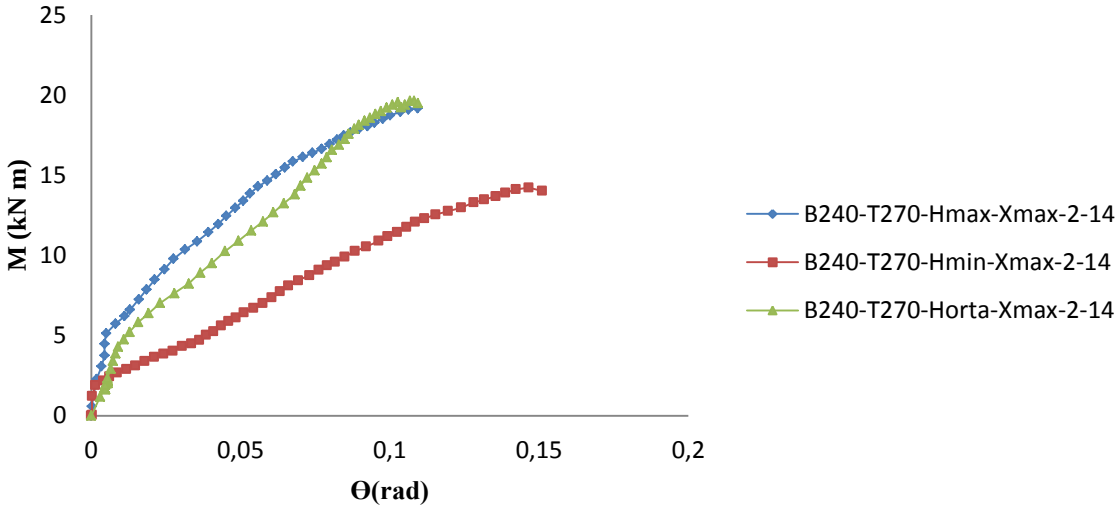
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θ_{cd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %36,04 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %1,80azalması görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %85,71, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %42,86 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %36,94 oranında ve H_{min} grubunda ise %13,91 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψ_j$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %119,16 oranında azaldığı görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %85,56, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %887,15 oranında azalmış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %75,81 oranında, H_{orta} grubunda %207,84 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %79,73 oranında arttığı görülmüştür.

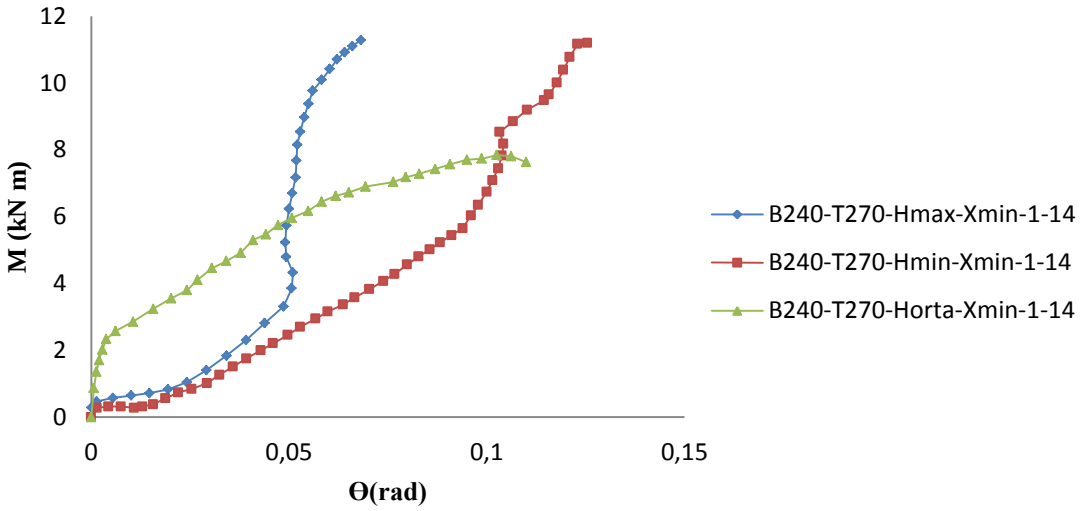
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %114,26 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %21,87 oranında artış şeklindedir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %85,00, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %877,01 oranında azalmış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %76,06 oranında, H_{orta} grubunda %79,04 oranında artığı ve H_{min} grubunda ise %199,29 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{min} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %79,48 oranında azalma olduğu. Ayrıca, X_{min} den X_{max} %63,21 oranında, H_{orta} %60,75 artış, H_{min} de %34,58 oranında arttığı görülmüştür.

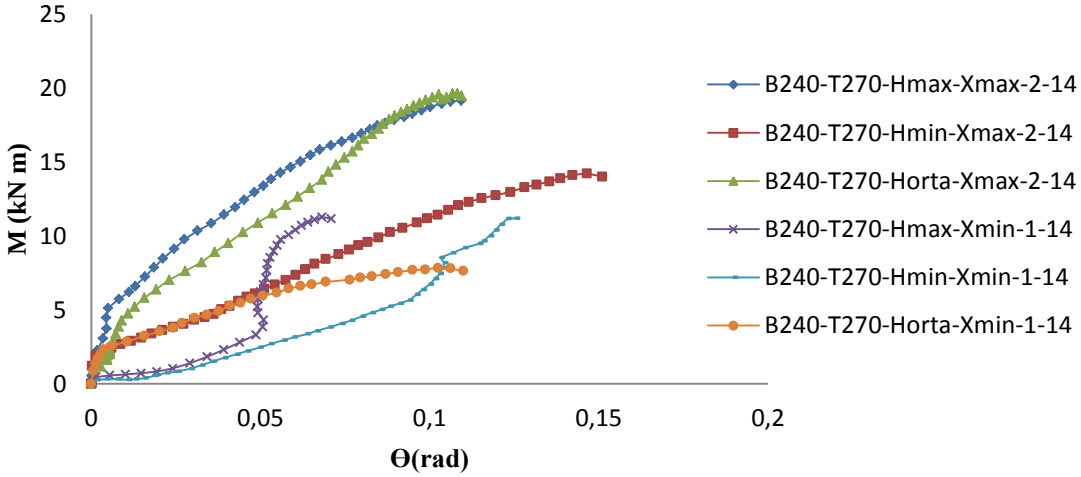
Genel olarak söylenebilir ki X değeri arttıkça enerji yutma kapasitesi de artmıştır.



Şekil 4.21. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.22. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.23. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.6. T270 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)				Dönme (rad)				Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 (7)	4.47-16.13	11.94	19.16	19.16	3.45	0.26	13.13	0.015	0.0049	0.071	0.109	0.111	7.4	7.27	1.06
B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 (8)	2.18-9.08	4.50	14.22	14.01	3.79	0.79	4.79	0.012	0.0040	0.076	0.146	0.151	12.58	12.17	1.07
B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 (9)	4.75-16.58	8.23	19.63	19.48	1.71	0.49	3.85	0.019	0.011	0.08	0.108	0.109	5.74	5.68	1.07
B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 (10)	0.28-9.76	7.68	11.3	11.17	0.95	0.52	1.84	0.039	0.0002	0.055	0.07	0.07	1.79	1.74	0.39
B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 (11)	0.28-10.77	5.44	11.2	11.19	1.04	0.59	1.76	0.049	0.0014	0.12	0.13	0.13	2.55	2.55	0.70
B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 (12)	2.02-6.62	4.91	7.84	7.8	9.3	0.28	33.29	0.006	0.0027	0.065	0.10	0.11	17.67	17	0.42

Şekil 4.24'de kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir.



Şekil 4.24. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.25'de birleşimin yüksekliği azaldıkça bulonlarda kesme meydana gelmezken birleşimde yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.25. B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.26'da bulonlarda zorlama meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim elamanının kolona bakan yüzü V şekline dönüşmüş ve bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.26. B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.27. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

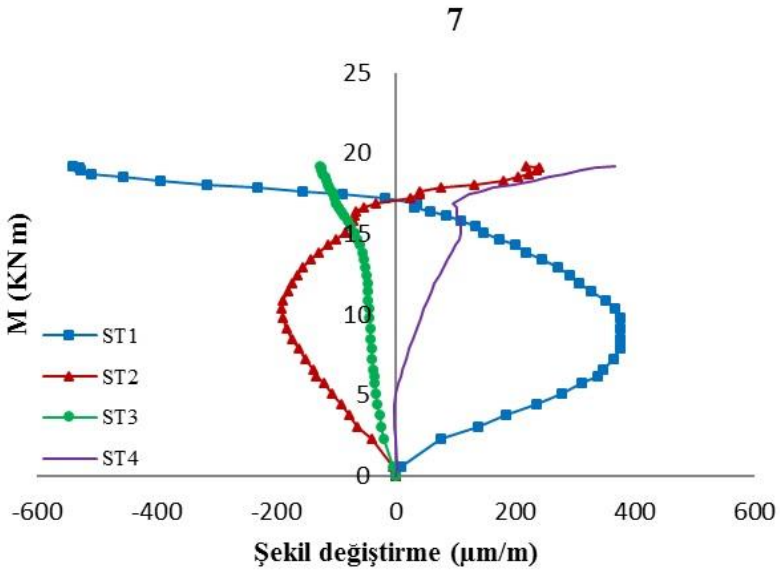


Şekil 4.28. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

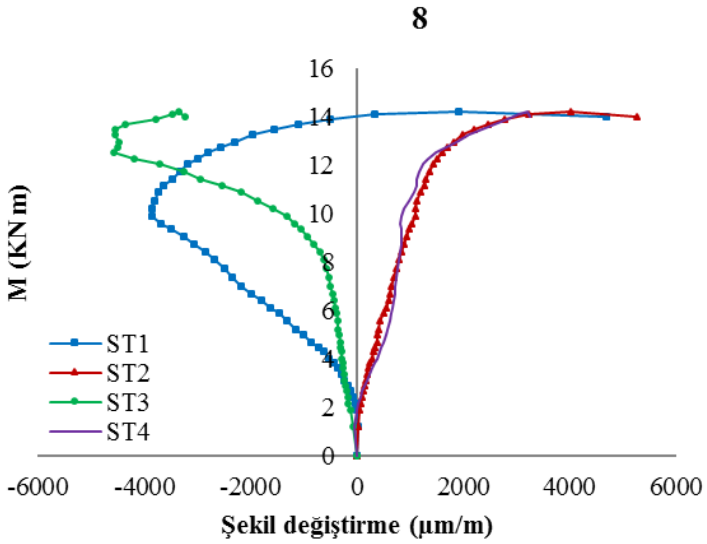


Şekil 4.29. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

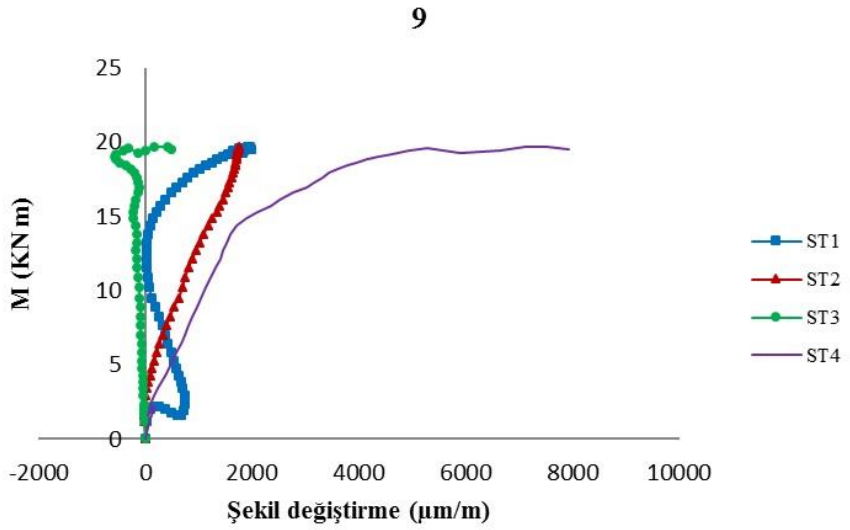
Strain gauge değerlerine bakıldığında deneylerde ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalırken ST3 ve ST4 plastik bölgeye geçmiştir. Deney sonunda dört Strain gauge de plastik bölgede kalmıştır. Şekil 4.30-4.35'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



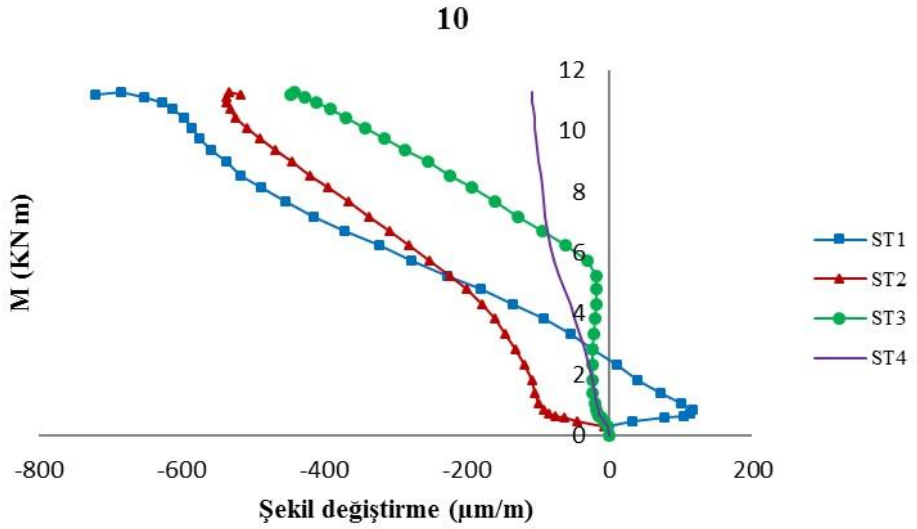
Şekil 4.30. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



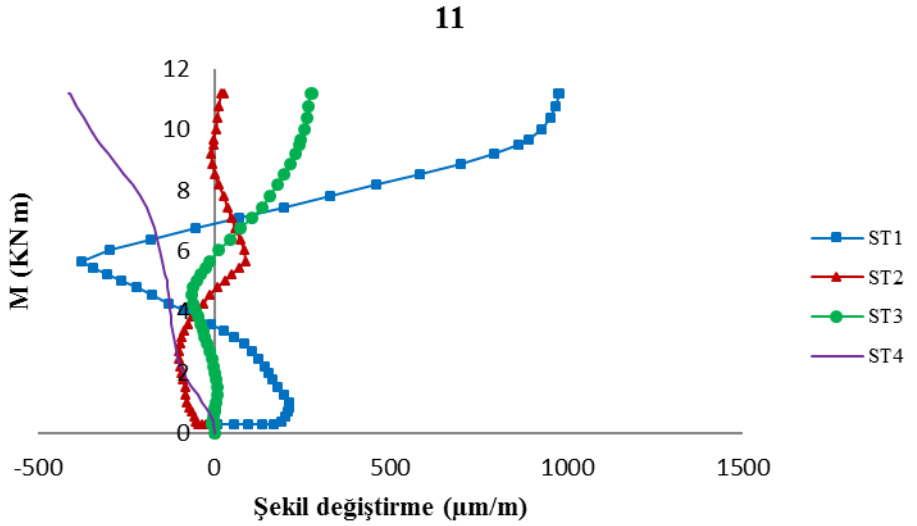
Şekil 4.31. B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



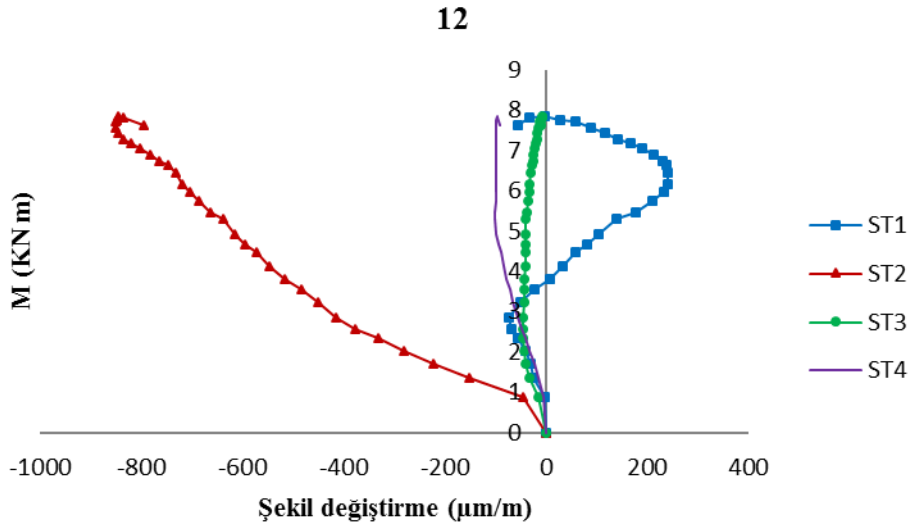
Şekil 4.32. B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.33. B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.34. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.35. B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

iii. T240 Birleşim Tipi

Çizelge 4.7'de tanımlanan T240 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve Bölüm 4.1'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.36 ve Şekil 4.37.'da X_{max} ve X_{min} grupları için T240 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.38'de bu 6 adet deneyin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.7 ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %27,46 oranında artış görümüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{orta} arasında bu ilişkinin %7,50 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %61,81 oranında, H_{orta} grubunda %65,16, H_{min} grubunda ise %28,34 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Mj._{max}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %43,82 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %1,01 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %5,94 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %51,26 oranında, H_{orta} grubunda %57,92, H_{min} grubunda ise %18,41 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %46,57 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %0,99 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %3,51 ve %22,69 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %52,56 oranında, H_{orta} grubunda %62,98, H_{min} grubunda ise %14,35 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında H ve X değerleri artış gösterdiğinde dayanım da artış göstermiştir.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %117,02 oranında azalma olduğu ve X_{min} de bu oranın %45,72 olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %6,47 oranında azaldığı ve H_{orta} grubunda %73,37, H_{min} grubunda ise %58,80 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %16,66 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %70,59'tir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %54,16, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %22,58 oranında artış

şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %38,88 oranında, H_{orta} grubunda %39,22 oranında artığı ve H_{min} grubunda ise %60,00 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θj_{max}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %10,07 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %42,79'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %9,09, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %10,00 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %20,86 oranında, H_{orta} grubunda %54,69 oranında, H_{min} grubunda ise %20,00 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θ_{cd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %7,04 oranında artma gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %39,61'dır. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %8,33, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %8,33 oranında artmış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %22,53 oranında, H_{orta} grubunda %49,67 oranında, H_{min} grubunda ise %16,67 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerinin artması durumunda maksimum dönme değeri de artış göstermiştir.

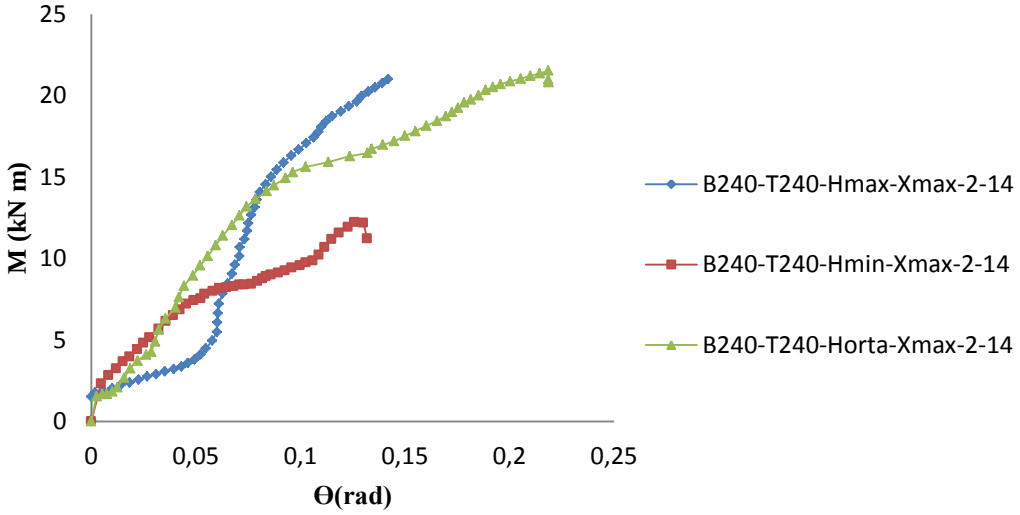
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψ_j$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %11,53 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %45,63'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %58,43, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %66,92 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X

değerlerine göre karşılaştırıldığında; Hmax grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %35,99 oranında, H_{orta} grubunda %17,25 oranında ve H_{min} grubunda ise %49,28 oranında arttığları görülmüştür.

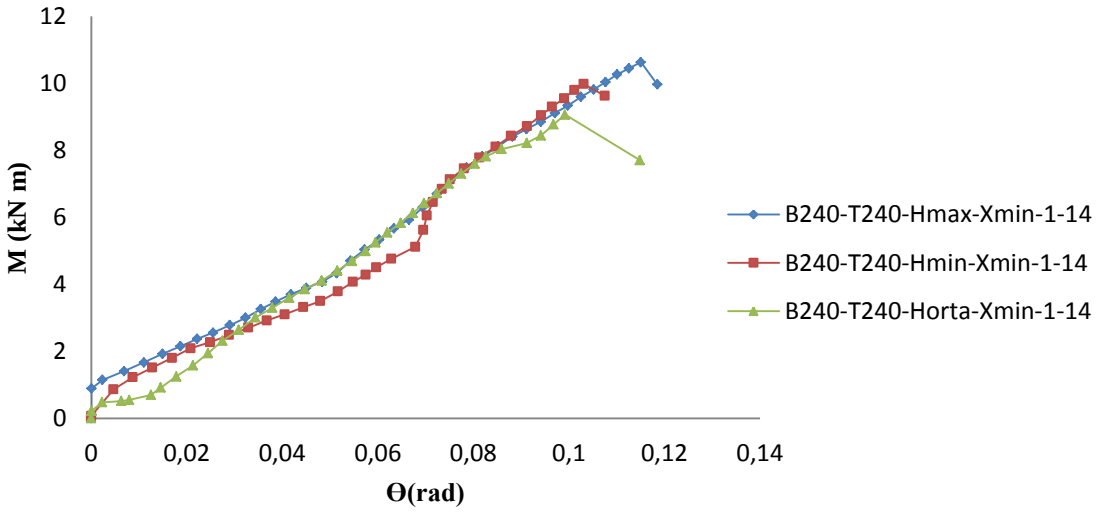
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $\Psi j_{maxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %94,62 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %44,56 oranında artış şeklindedir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %34,79, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %69,47 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %35,36 oranında azaldığı, H_{orta} grubunda %25,47 oranında ve H_{min} grubunda ise %48,38 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %47,40 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %15,87 oranında artığı şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; Hmax grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %59,09 oranında, H_{orta} grubunda %78,72 oranında ve H_{min} grubunda ise %34,56 oranında arttığı görülmüştür.

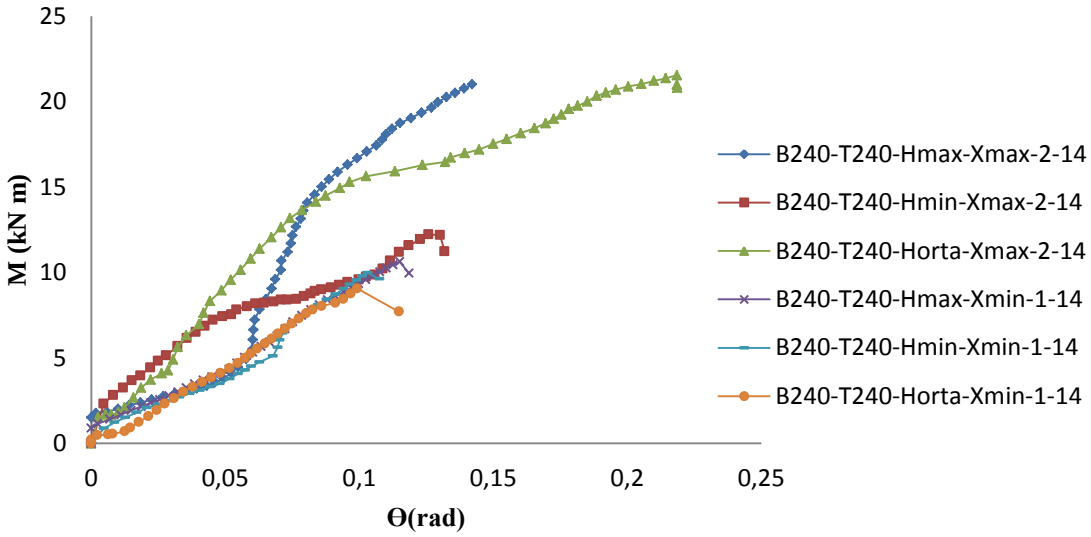
Genel olarak söylenebilir ki H ve X değerleri arttıkça enerji yutma kapasitesi artmıştır.



Şekil 4.36. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneylerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.37. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneylerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.38. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 tipi deneylerinin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.7. T240 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 (13)	1.76-15.02	7.83	21.75	21.01	2.32	0.55	4.17	0.018	0.0017	0.086	0.139	0.142	7.89	7.72	1.54
B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 (14)	2.32-11.58	5.68	12.22	11.22	3.53	0.39	9.05	0.015	0.0046	0.118	0.125	0.132	8.8	8.3 3.00	0.81
B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 (15)	1.53-19.29	12.63	21.53	20.80	1.95	0.33	5.85	0.051	0.0025	0.175	0.2185	0.2186	4.29	4.28	2.35
B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 (16)	0.88-9.33	2.99	10.6	9.96	2.87	0.64	4.44	0.011	0.0016	0.098	0.11	0.12	10.73	10.45	0.63
B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 (17)	1.23-9.04	4.07	9.97	9.61	1.39	0.58	2.41	0.024	0.0087	0.094	0.10	0.11	4.463	4.30	0.53
B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 (18)	0.47-7.59	4.4	9.06	7.7	1.52	0.63	2.41	0.031	0.0022	0.08	0.099	0.11	3.55	3.19	0.50

Şekil 4.39’da kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir.



Şekil 4.39. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.40’da birleşimin yüksekliği azaldıkça bolonlarda kesme meydana gelmezken birleşimde yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.40. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.41'de bulonlarda zorlama meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.41. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44 larda birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.42. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

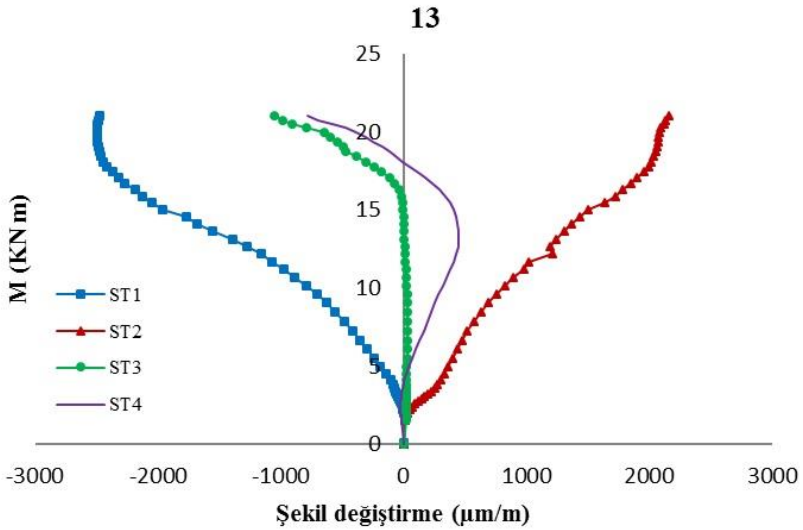


Şekil 4.43. B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

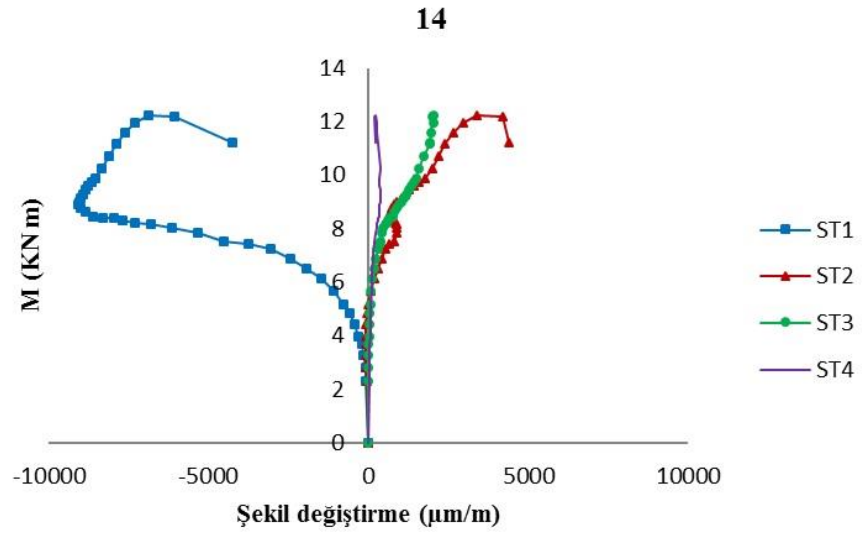


Şekil 4.44. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-1-14 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

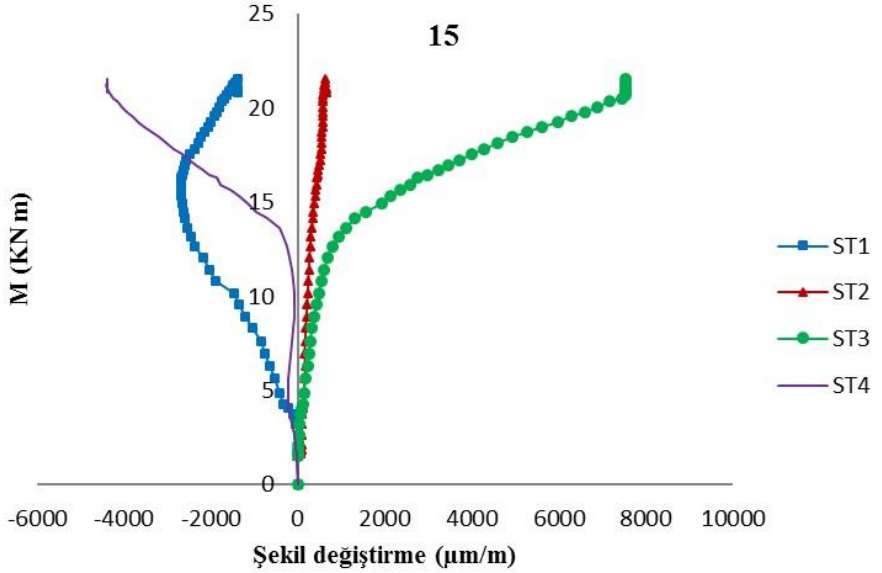
Strain gauge değerlerine bakıldığında deneylerde ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalırken ST3 ve ST4 plastik bölgeye geçmiştir. Deney sonunda dört Strain gauge de plastik bölgede kalmıştır. Şekil 4.45-4.50'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



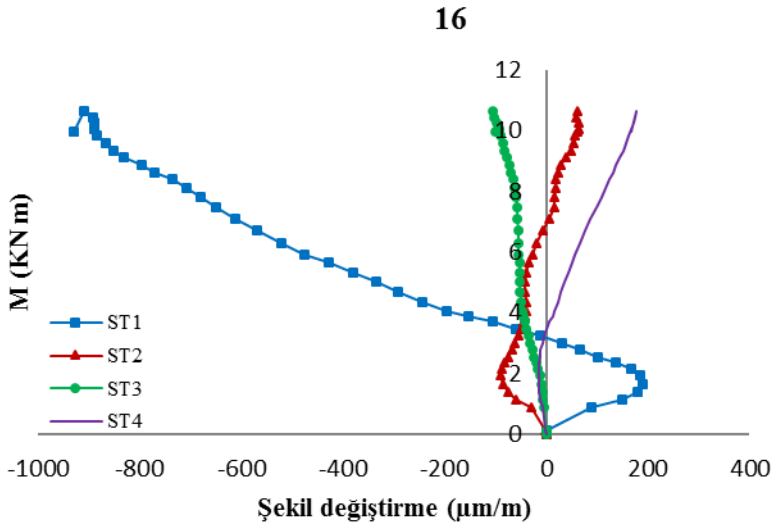
Şekil 4.45. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



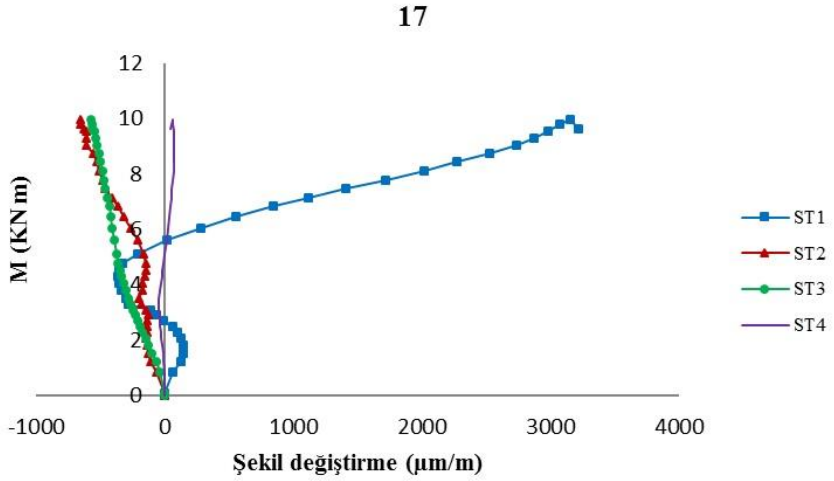
Şekil 4.46. B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



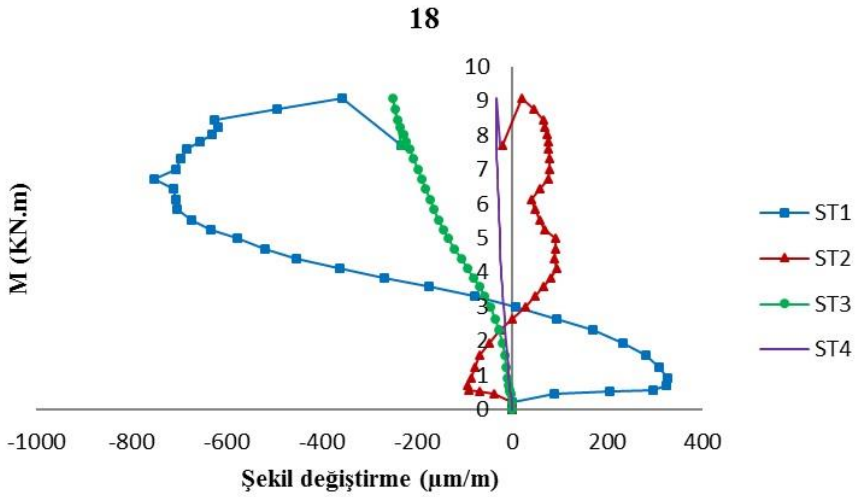
Şekil 4.47. B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.48. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.49. B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.50. B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

iv. T140 Birleşim Tipi

Çizelge 4.8'de tanımlanan T140 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve bölüm'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'de X_{max} ve X_{min} grupları için T140 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.53'de bu 6 adet deneyin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.8 ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %18,47 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimdebu değer %11,15'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %12,64, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %28,16 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %44,58 oranında, H_{orta} grubunda %55,20, Hmin grubunda ise %23,43 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde Mj. $_{max}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %18,71 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %4,43 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{orta} ve H_{max} değerleri H_{max}'a göre %29,88 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %56,01 oranında, H_{orta} grubunda %67,72, H_{min} grubunda ise %38,26 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %18,44 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %4,24 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %5,71 azaldığı ve %33,33 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %55,84 oranında, H_{orta} grubunda %69,25, H_{min} grubunda ise %42,76 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanımda artmıştır.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %75,58 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %41,68 olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda Xmin değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %51,48 oranında, H_{orta} grubunda %15,88, H_{min} grubunda ise %369,09 oranında zaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %133,33 oranında azaldığı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %16,66'tir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %45,16 azaldığı, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %59,68 oranında artışı şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max}

değeri ile karşılaştırıldığında %106,67 oranında, H_{orta} grubunda %58,33 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %28,57 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θj_{max}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %11,18 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %12,88 artışıgörülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %2,92, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %42,69 oranında artması şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %12,50 oranında azaldığı, H_{orta} grubunda %1,77 oranında, H_{min} grubunda ise %49,48 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θ_{cd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %11,11 oranında azalış gösterirken; Ho_{rta} kullanılan birleşimde bu değer %12,46'dır. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %0,93 azaldığı, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %35,82 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %12,03 oranında azaldığı, H_{orta} grubunda %43,36 oranında arttığı görülmüştür.

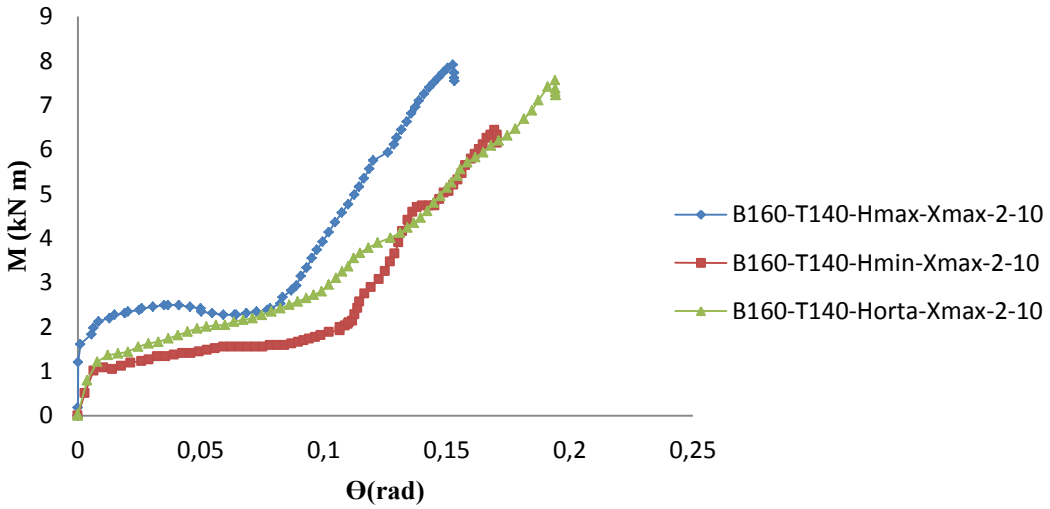
Genel olarak bakıldığında H değerinin artması durumunda dönme değeri de artış göstermiştir.

X_{max} grubunda H_{min} ve H_{max} değerlerine bakıldığında Birleşim sünekliği($Ψ_j$) değeri %52,39 oranında artma görülmüştür. H_{orta} ve H_{max} değerlerine baktığımız zamvea bu değerin %36,55 artış olduğu belirlenmiştir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %30,4 artış olduğu görülmüştür. Ayrıca X_{max} ve X_{min} içerisinde H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında H_{max} grubunda X_{min} den X_{max} %45,80 oranında artma, H_{orta} %35,97 oranında azalma ve H_{min} de %20,84 oranında artış olduğu görülmüştür.

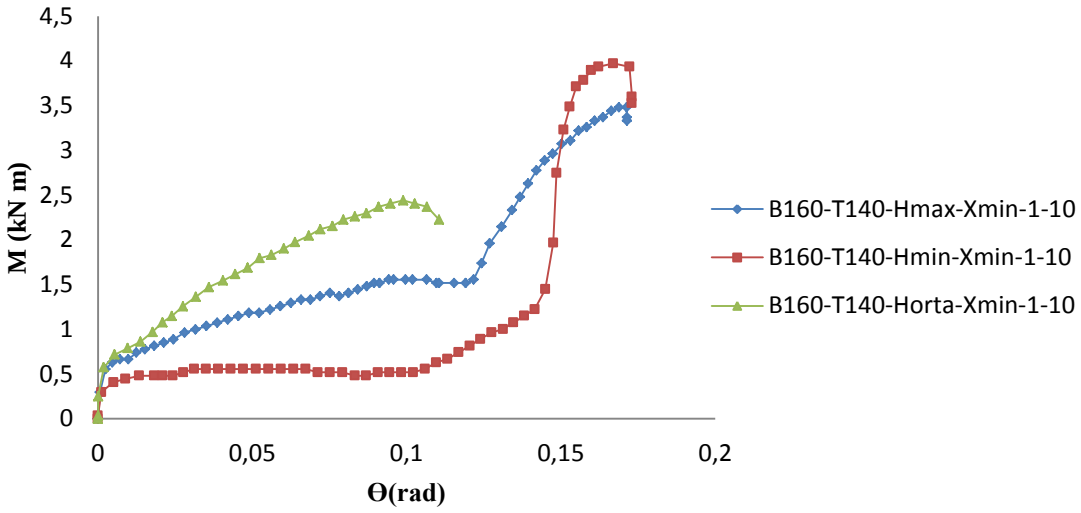
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $\Psi j_{maxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %52,35 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %36,16 oranında artış şeklindedir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %33,13, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %52,96 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %45,56 oranında artığı, H_{orta} grubunda %42,13 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %23,61 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} ve H_{max} değerlerine bakıldığında Enerji Yutma Kapasitesi değeri %9,84 oranında artma görülmüştür. X_{min} grubunda H_{min} ve H_{max} değerlerine bakıldığında Enerji Yutma Kapasitesi değeri %13,33 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca X_{max} ve X_{min} içerisinde H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında H_{max} grubunda X_{min} den X_{max} %50,81 oranında, H_{orta} %82,19 oranında, H_{min} de %38,18 oranında artış olduğu görülmüştür.

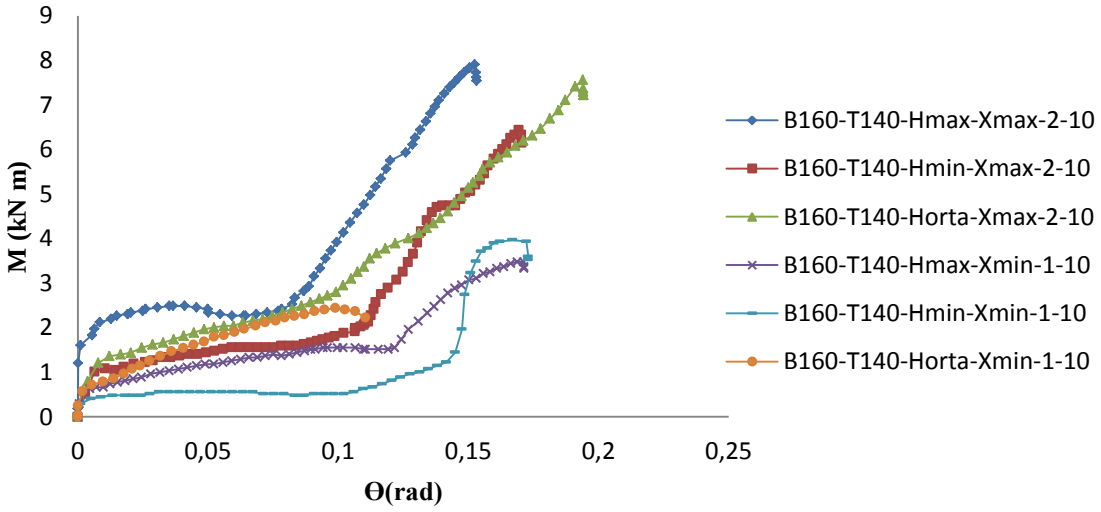
Genel olarak söylenebilir ki X değeri arttıkça enerji yutma kapasitesi artmıştır.



Şekil 4.51. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.52. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.53. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.8. T140 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 (19)	1.61-7.51	3.14	7.91	7.54	14.38	0.57	25.27	0.006	0.001	0.14	0.152	0.153	25.50	25.33	0.61
B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 (20)	1.01-6.11	2.56	6.43	6.15	2.97	0.48	6.17	0.014	0.006	0.16	0.169	0.17	12.14	12.07	0.55
B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 (21)	1.21-7.10	2.79	7.56	7.22	3.82	0.68	5.63	0.012	0.007	0.18	0.194	0.194	16.18	16.17	0.73
B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 (22)	0.55-3.37	1.74	3.48	3.33	5.63	0.46	12.26	0.0124	0.002	0.16	0.171	0.171	13.82	13.79	0.30
B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 (23)	0.29-3.71	1.96	3.97	3.52	3.45	0.48	7.15	0.018	0.001	0.15	0.166	0.173	9.61	9.22	0.34
B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 (24)	0.57-2.12	1.25	2.44	2.22	8.67	0.33	26.41	0.005	0.0018	0.072	0.098	0.11	22.00	19.60	0.13

Şekil 4.54 ve 4.55'da görüldüğü gibi kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.54. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



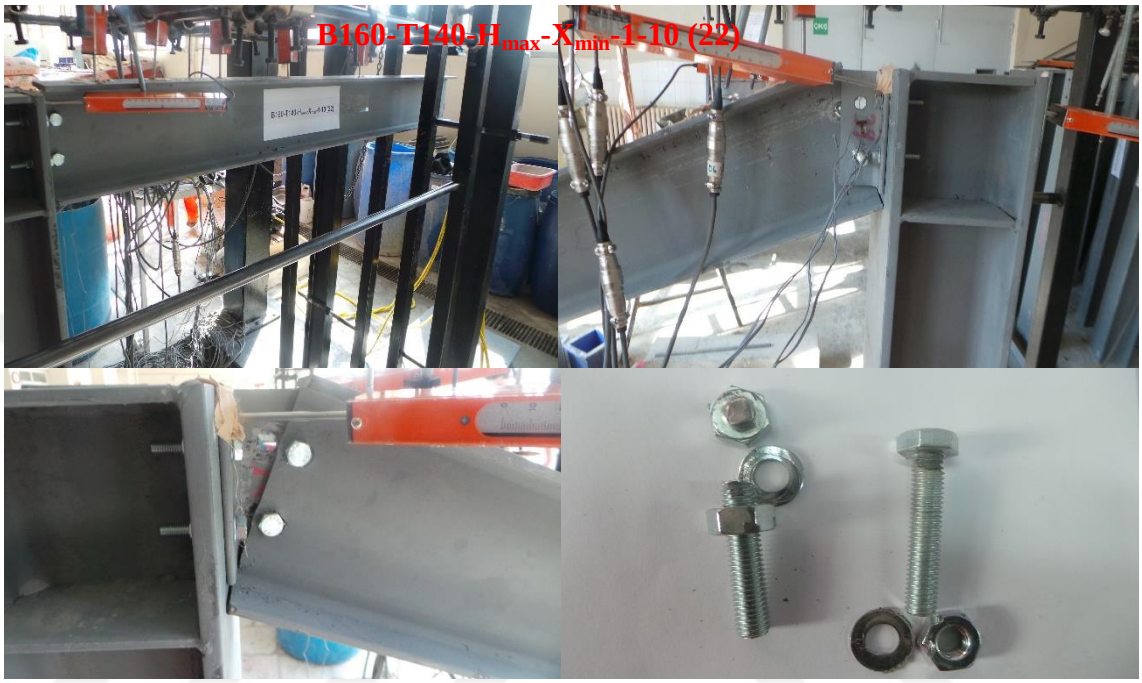
Şekil 4.55. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.56 da görüldüğü gibi deneylerde bulonlarda zorlama meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.56. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.57, 4.58 ve 4.59'de görüldüğü gibi birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.57. B160-T140-H_{max}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

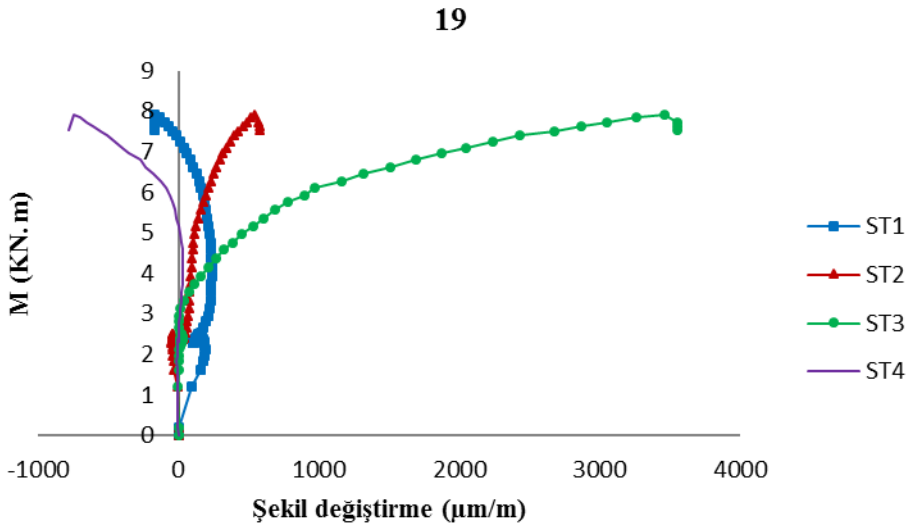


Şekil 4.58. B160-T140-H_{min}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

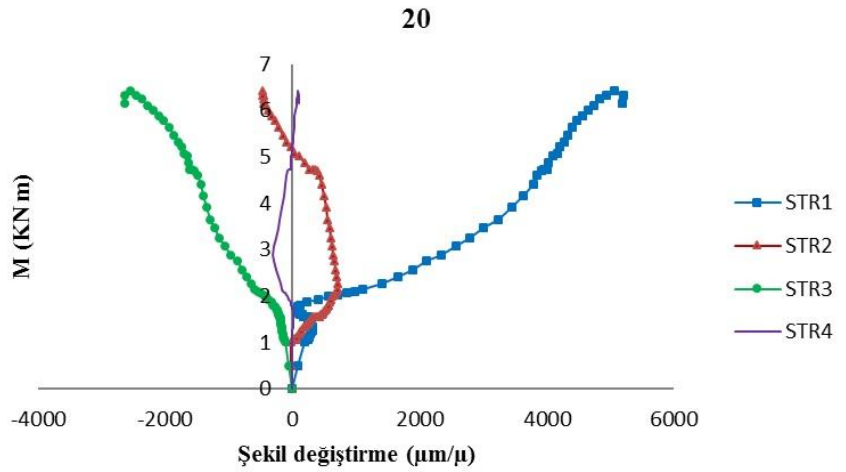


Şekil 4.59. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

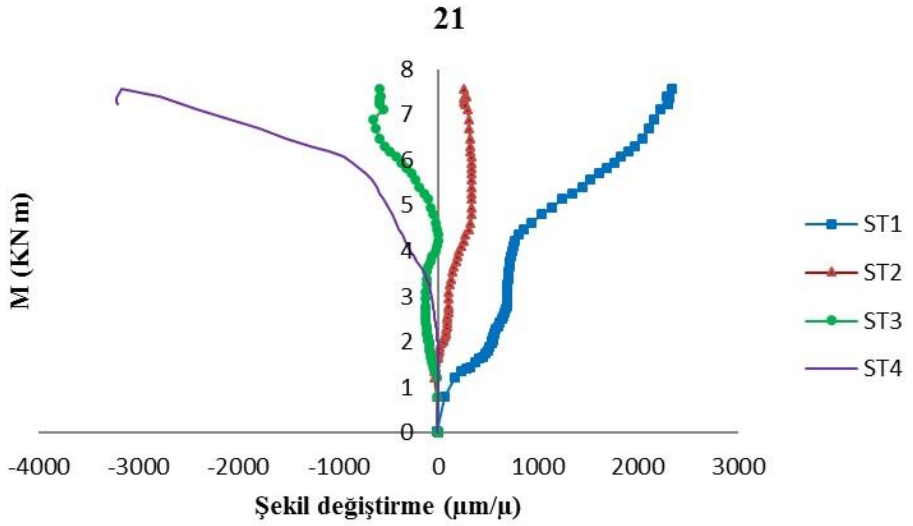
Şekil 4.60-4.65'de T300 deneylerine ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir. Strain gauge değerlerine bakıldığında deneyler esnasında ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalırken ST3 ve ST4 plastik bölgeye geçmiştir. Deney sonunda dört Strain gauge de plastik bölgede kalmıştır.



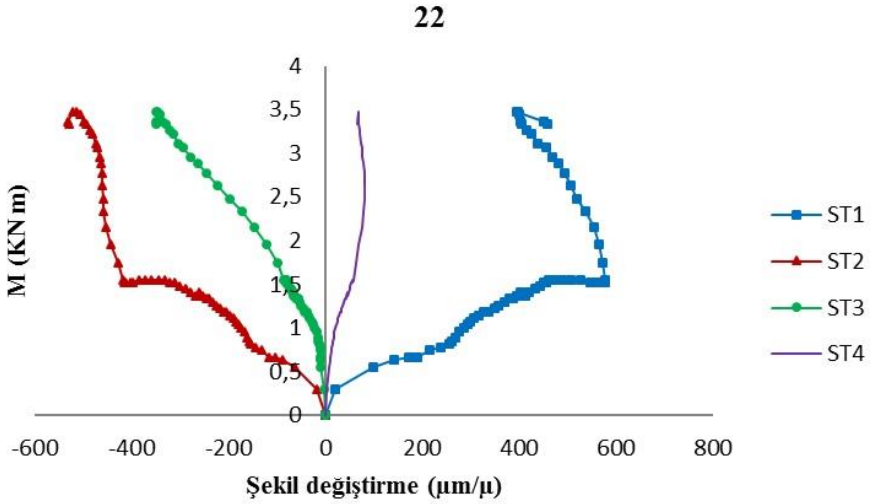
Şekil 4.60. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi



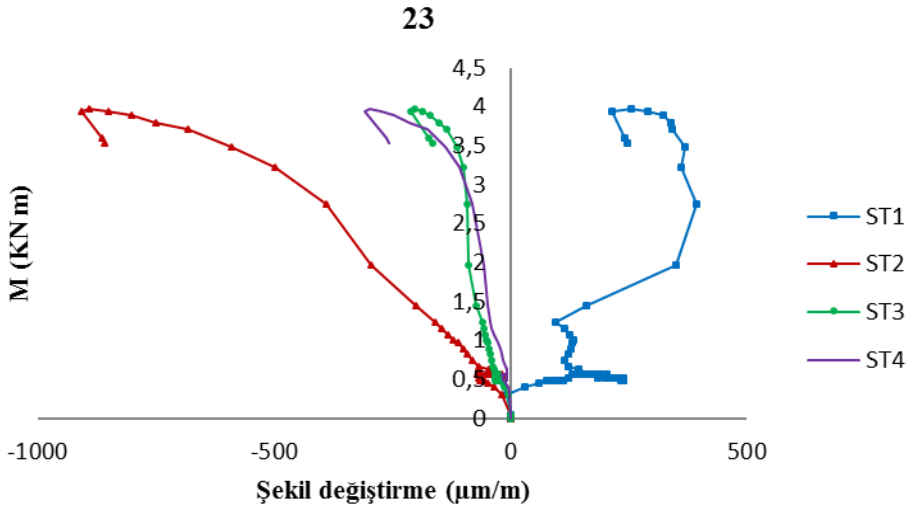
Şekil 4.61. B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi



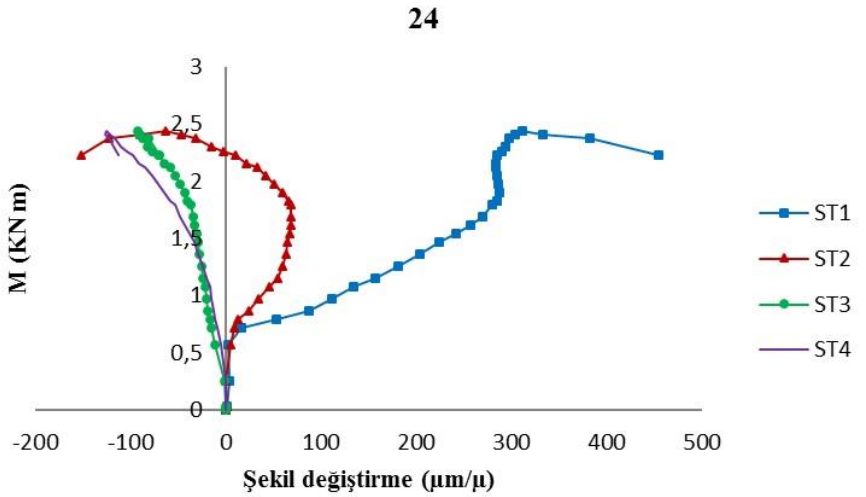
Şekil 4.62. B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.63. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment-birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.64. B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyin moment-birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.65. B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyin moment-birim şekil değiştirme eğrisi

v. T160 Birleşim Tipi

Çizelge 4.9'da tanımlanan T160 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve bölüm 4.1'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.66 ve Şekil 4.67'de X_{max} ve X_{min} grupları için T160 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.68'de bu 6 adet deneyin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.9 ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %5,04 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %38,08'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{orta} arasında bu ilişkinin %50,13, oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %83,40 oranında, H_{orta} grubunda %78,30, H_{min} grubunda ise %82,52 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Mj._{max}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %71,27 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan

birleşimlerde bu değerin %27,16 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %10,90 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %73,40 oranında, H_{orta} grubunda %59,01, H_{min} grubunda ise %7,42 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %74,21 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %16,49 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %11,17 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %70,35 oranında, H_{orta} grubunda %60,03 arrtığı ve H_{min} grubunda ise %14,97 oranında azaldığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X ve H değerleri artış gösterdiğinde dayanım da artmıştır.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %565,14 oranında azaldığı olduğu ve X_{min} de bu oranın %263,62 olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %52,99 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda %76,99, H_{orta} grubunda ise %58,99 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %123,08 oranında azaldığı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %123,08'tir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{orta} arasında bu ilişkinin %50,00 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %46,15 oranında, H_{min}

grubunda ise %75,86 oranında azaldığı görülmüştür, H_{orta} grubunda %26,08 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θj_{max}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %49,54 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %40,59'dir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %7,76 oranında, H_{orta} grubunda %9,67 oranında artığı, H_{min} grubunda ise %82,80 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θ_{cd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %42,92 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %32,79'dır. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %2,39, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %19,62 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %4,57 oranında, H_{orta} grubunda %9,68 oranında, arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψ_j$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %74,42 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %69,88 azaldığı görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %2,41 artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %77,21 oranında, H_{min} grubunda ise %576,10 oranında azaldığı ve H_{orta} grubunda %16,14 oranında arttığı görülmüştür.

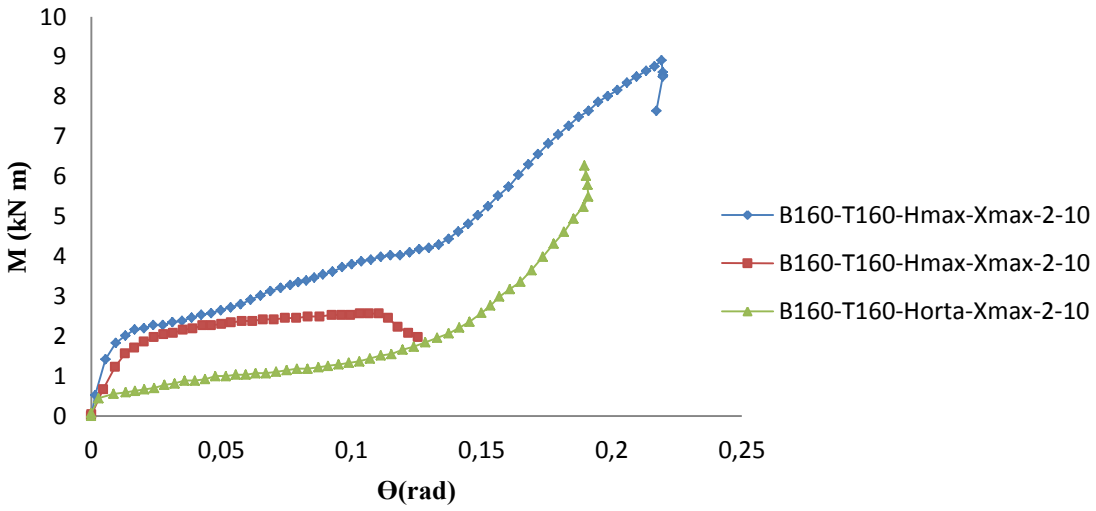
Genel olarak söylenebilir ki X arttıkça birleşimin sünekliğide azalmaktadır.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψ_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %77,39 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan

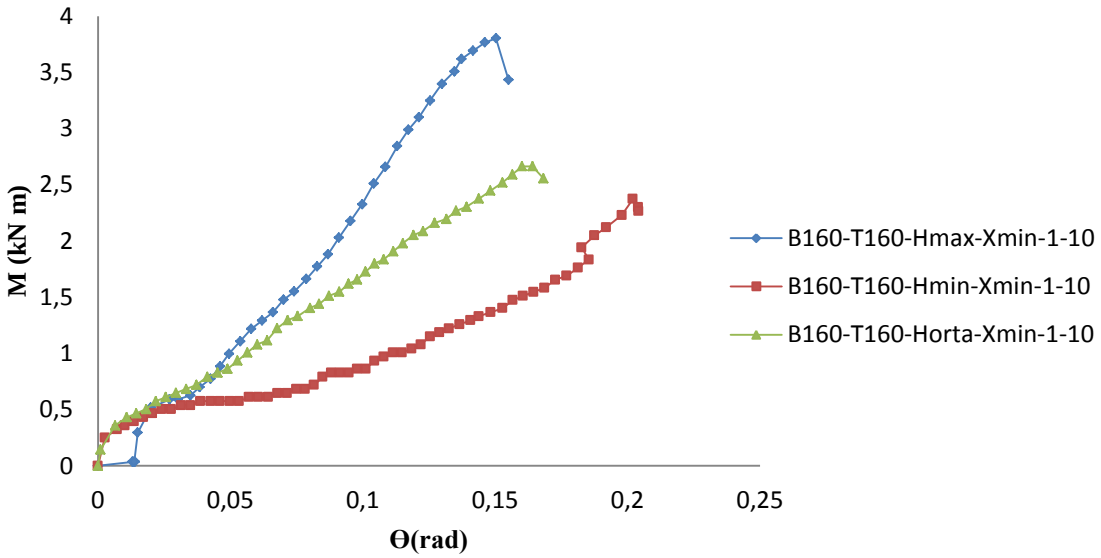
birleşimde bu değer %15,07 oranında artış şeklindedir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %71,27 oranında, H_{min} grubunda %657,48 oranında azaldığı ve H_{orta} grubunda ise %18,17 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini Hmax değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %83,67 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %4,00 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda H_{min} ve H_{max} değerlerine bakıldığında Enerji Yutma Kapasitesi değeri %4.00 oranında artma görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %74,49 oranında, H_{orta} grubunda %63,33 oranında artığı, H_{min} grubunda ise %50,00 oranında arttığı görülmüştür.

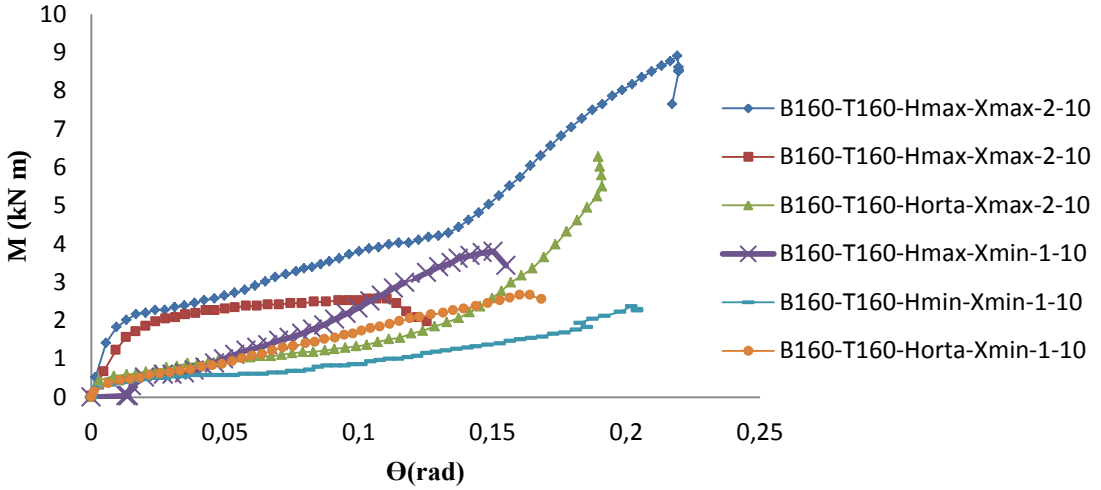
Genel olarak söylenebilir ki H değeri arttıkça enerji yutma kapasitesi de artmıştır.



Şekil 4.66. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.67. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.68. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.9. T160 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (25)	1.82-8.35	2.38	8.91	7.64	3.05	0.55	5.68	0.013	0.0094	0.206	0.219	0.219	16.85	16.85	0.98
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (26)	1.56-2.45	2.26	2.56	1.97	3.62	0.09	37.78	0.029	0.0129	0.074	0.110	0.125	4.31	3.81	0.16
B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 (27)	0.49-6.27	3.65	6.49	6.38	5.29	0.51	10.39	0.013	0.003	0.189	0.186	0.186	14.31	14.31	0.60
B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 (28)	0.52-2.23	0.39	2.37	2.26	5.91	0.68	8.69	0.007	0.003	0.197	0.202	0.209	29.86	28.86	0.25
B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 (29)	0.25-2.23	0.39	2.37	2.26	5.91	0.68	8.69	0.007	0.003	0.197	0.202	0.204	29.14	28.86	0.24
B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 (30)	0.35-2.16	0.79	2.66	2.55	2.97	0.58	4.26	0.014	0.006	0.127	0.164	0.168	12.00	11.71	0.22

Şekil 4.69'da kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.69. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesmesi ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.70 da birleşimin yüksekliği azaldıkça bolonlarda kesme meydana gelmezken birleşimde yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.70. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.71'de kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.71. B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.72, 4.73 ve 4.74 larda birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.72. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

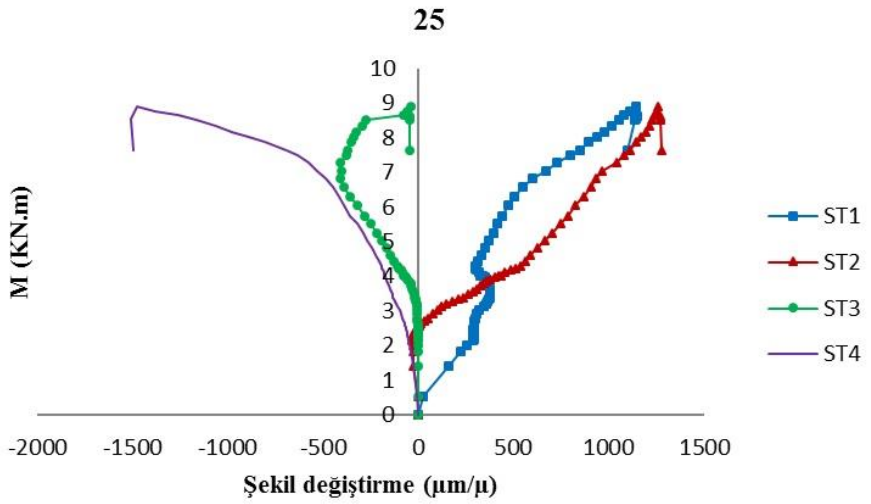


Şekil 4.73. B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

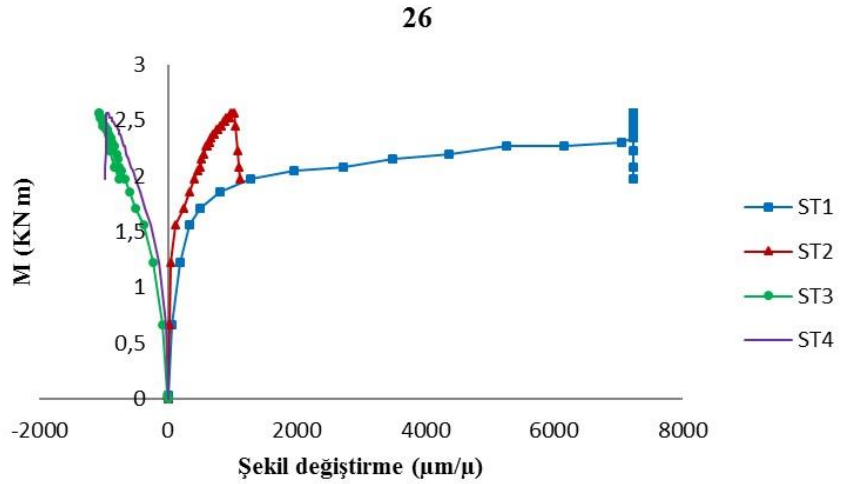


Şekil 4.74. B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

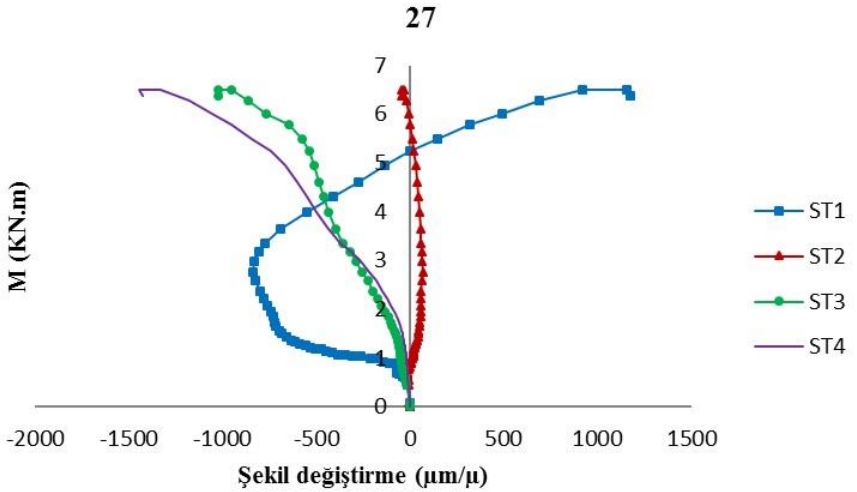
Strain gauge değerlerine bakıldığında deneylerde ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalmışken ST3 ve ST4 plastik bölgede geçmiştir. Deney sonunda dört gerilme ölcer de plastik bölgede kalmıştır. Şekil 4.75-4.80'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



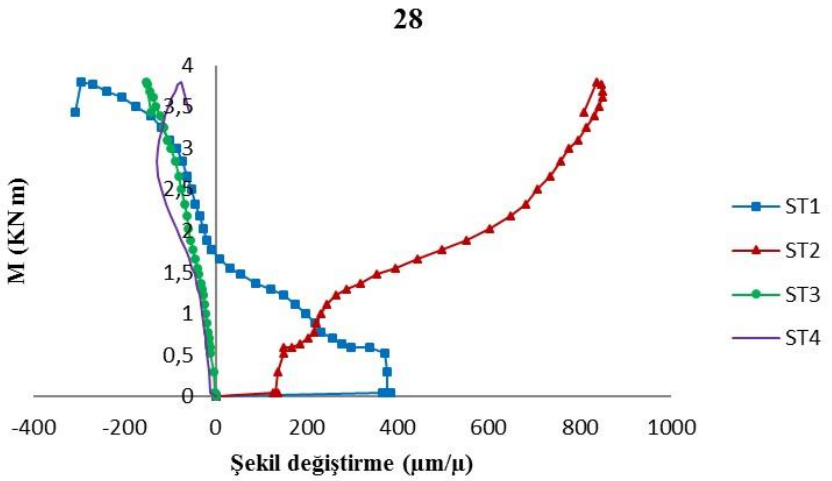
Şekil 4.75. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyin moment birim şekil değiştirme eğrisi



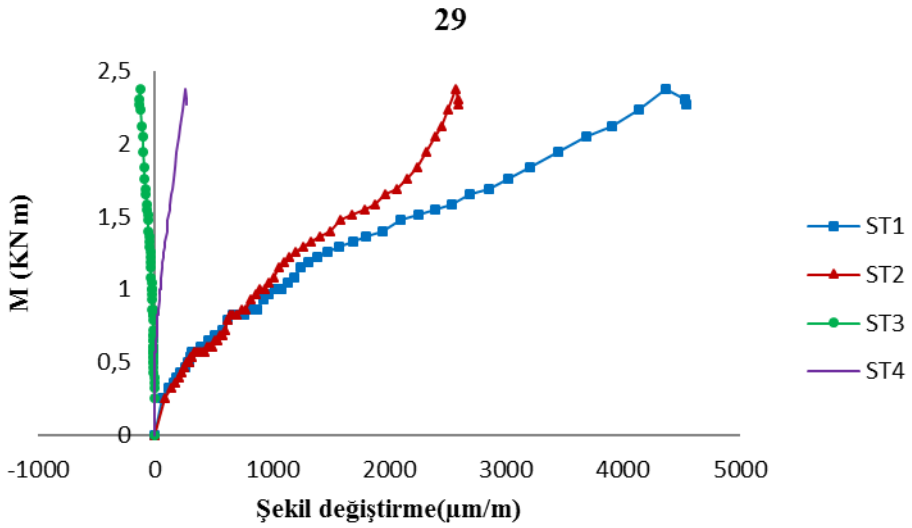
Şekil 4.76. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



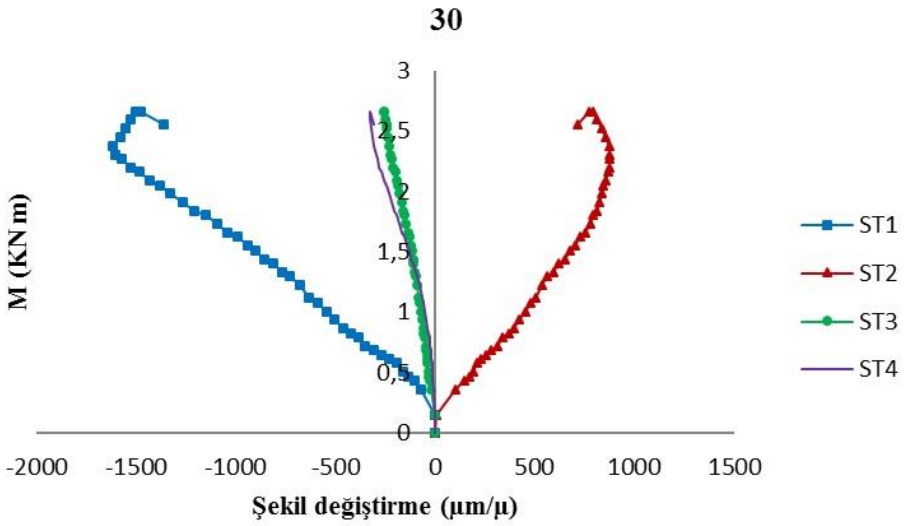
Şekil 4.77. B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.78. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.79. B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.80. B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

vi. T200 Birleşim Tipi

Çizelge 4.10'da tanımlanan T200 grubundaki 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve bölüm 4.1'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.81 ve Şekil 4.82'de X_{max} ve X_{min} grupları için T200 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.83'de bu 6 adet deneyin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.10 ise bu deneylere ait moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %60,04 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimdebu değer %40,50'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %69,43, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %47,06 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %43,74 oranında, H_{orta} grubunda %52,34, H_{min} grubunda ise %57,59 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Mj._{max}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %64,78 oranında artış gösterirken; Horta kullanılan birleşimlerde bu değerin %39,02 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %33,33 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %65,76 oranında, H_{orta} grubunda %68,56, H_{min} grubunda ise %35,18 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %69,88 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimlerde bu değerin %32,07 olduğu görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre sırasıyla %32,52 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %64,68 oranında, H_{orta} grubunda %67,30, H_{min} grubunda ise %20,86 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında H ve X değerleri artış gösterdiğinde dayanım değeride artmıştır.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %110,00 oranında azalmış olduğu ve X_{min} de bu oranın %18,88 olduğu görülmüştür. X_{min} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığımızda %0,88 oranında artığı görülmüştür ve H_{min} değerini H_{orta} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığımızda %16,10 oranında azaldığı görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri Xmax değeri ile karşılaştırıldığında %10,14 oranında, H_{orta} grubunda %63,68 azaldığı ve H_{min} grubunda ise %48,02 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %14,09 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan

birleşimde bu değer %54,55'tir. Ayrıca X_{max} ve X_{min} içerisinde H_{orta} değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında H_{orta} grubunda X_{min} den X_{max}, H_{min} %47,09 artığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θj_{max}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %13,85 oranında artığı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %4,55'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %13,85 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %64,62 oranında, H_{orta} grubunda %1,70 oranında artığı ve H_{min} grubunda ise %7,14 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Θ_{cd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %12,82 oranında azaldığı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %3,41 arttığı görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %133,76 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %60,51 oranında, H_{orta} grubunda %1,70 oranında, oranında arttığı görülmüştür.

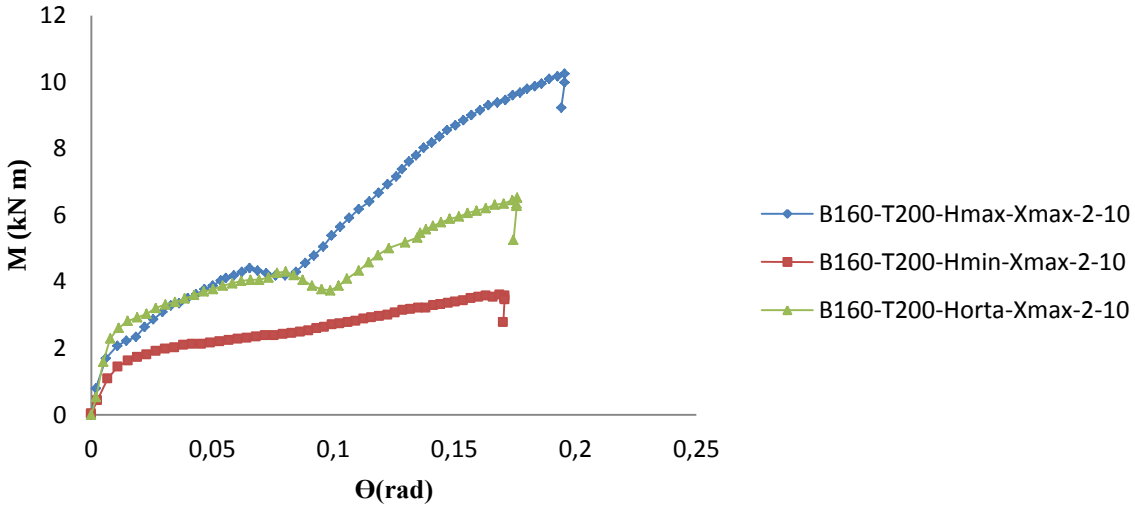
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψ_j$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %43,81 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %414,29 azaldığı görülmüştür. Ayrıca H_{max}, $H_{orta,}$ H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %60,50 oranında arttığı, H_{orta} grubunda %8,13 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %100,22 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $Ψj_{maxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %44,44 oranında artış gösteröiş. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{orta} arasında bu ilişkinin %4,05 oranında artış şeklinde

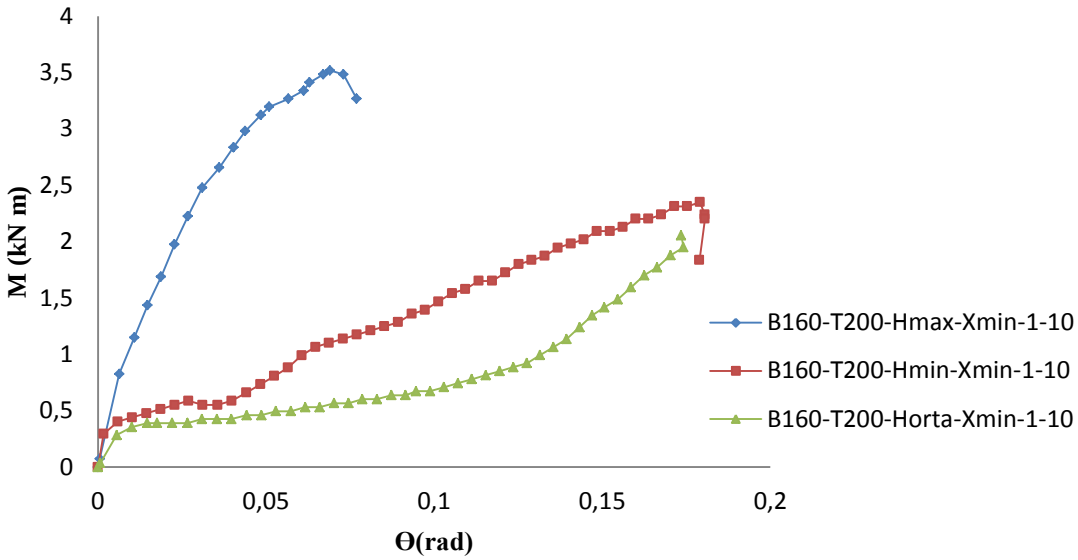
olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %64,56 oranında arttığı, H_{orta} grubunda %8,13 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %102,47 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %69,00 oranında artış olduğu ve X_{min} de bu oranın %50,00 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %86,00 oranında, H_{orta} grubunda %68,42 oranında, H_{min} grubunda ise %32,26 oranında arttığı görülmüştür.

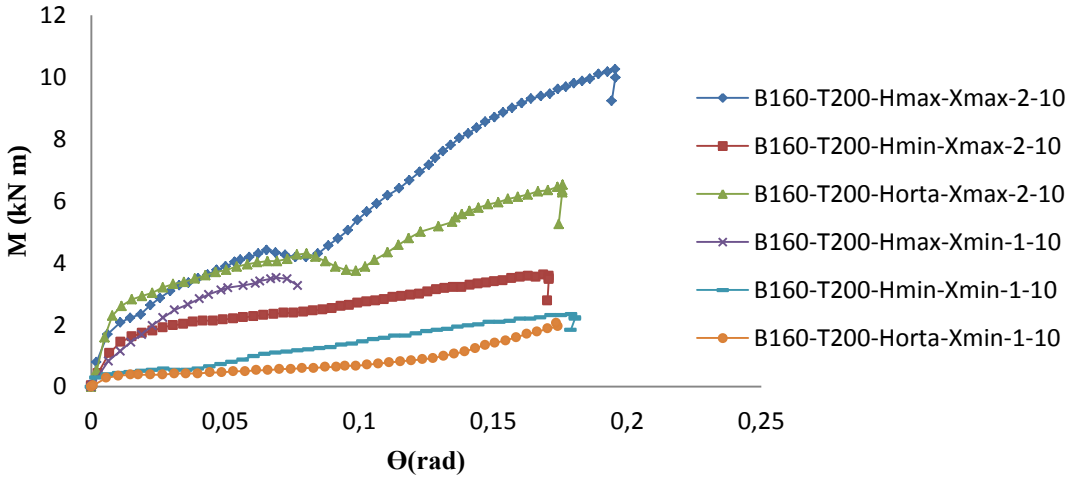
Genel olarak söylenebilir ki X arttıkça enerji yutma kapasitesi de artmıştır.



Şekil 4.81. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.82. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.83. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 tipi birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.10. T200 elamanı kullanılan deneylerin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 (31)	2.07-8.55	4.78	10.2	9.23	3.29	0.46	7.2	0.022	0.0108	0.147	0.195	0.195	8.86	8.86	1.00
B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 (32)	1.44-2.99	1.91	3.61	2.78	6.52	0.43	15.1	0.018	0.0109	0.122	0.168	0.17	8.99	8.89	0.31
B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 (33)	2.29-5.78	3.21	6.52	6.27	6.84	0.37	18.6	0.011	0.0078	0.144	0.176	0.176	16.0	16.00	0.57
B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 (34)	1.15-3.12	2.65	3.51	3.26	2.3	0.29	7.93	0.022	0.0188	0.048	0.069	0.077	3.50	3.14	0.14
B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 (35)	0.40-1.98	0.81	2.34	2.2	3.93	0.5	7.86	0.01	0.0059	0.140	0.18	0.18	18.0	18.00	0.21
B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 (36)	0.35-1.87	1.53	2.05	2.05	3.07	0.45	6.77	0.01	0.01	0.17	0.173	0.173	17.3	17.30	0.18

Şekil 4.84'de kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.84. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.85'de birleşimin yüksekliği azaldıkça bolonlarda kesme meydana gelmezken birleşimde yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.85. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.86 da kiriş ile birleşimin bağlantılarını sağlayan bulonlarda kesmeler meydana gelmiştir. Bunun sonucunda birleşim V şekline bürünmüş bulonlar sıyrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.86. B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.87, 4.88 ve 4.89'de birleşim ile kirişi birbirine bağlayan bulonlarda 45° lik açıyla kesme meydana gelmiştir.



Şekil 4.87. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



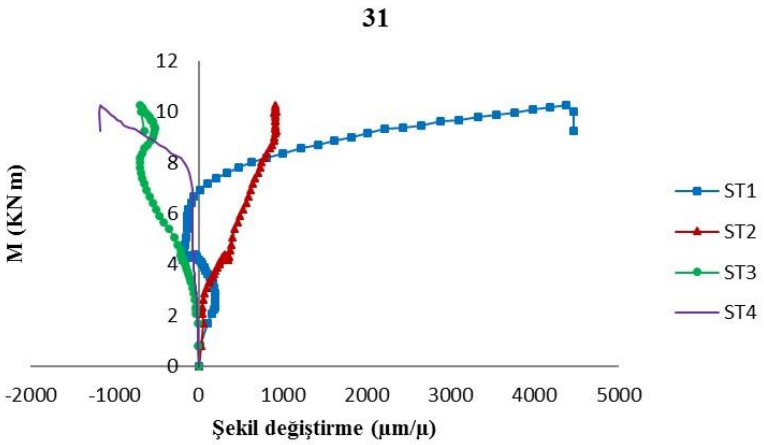
Şekil 4.88. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



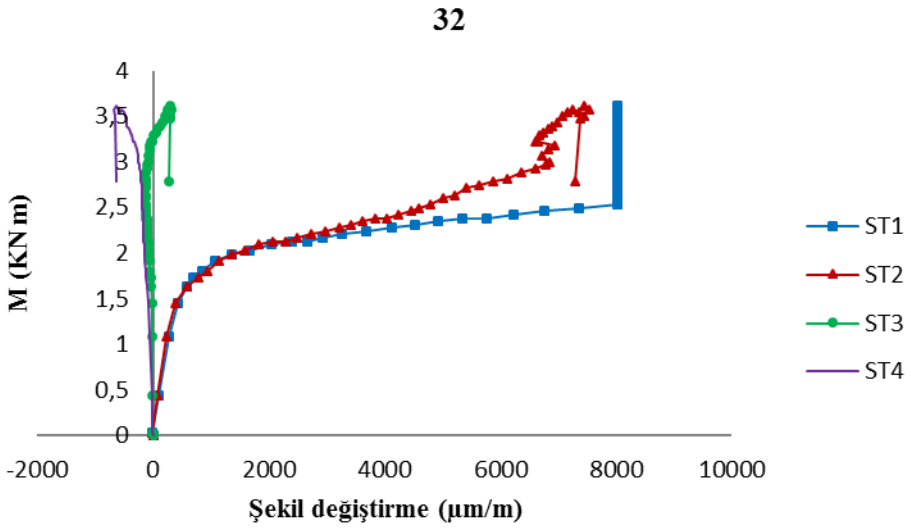
Şekil 4.89. B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Strain gauge değerlerine bakıldığında deneylerde ST1 ve ST2 değerleri elastik bölgede kalmışken ST3 ve ST4 plastik bölgede geçmiştir. Deney sonunda dört gerilme ölcer de

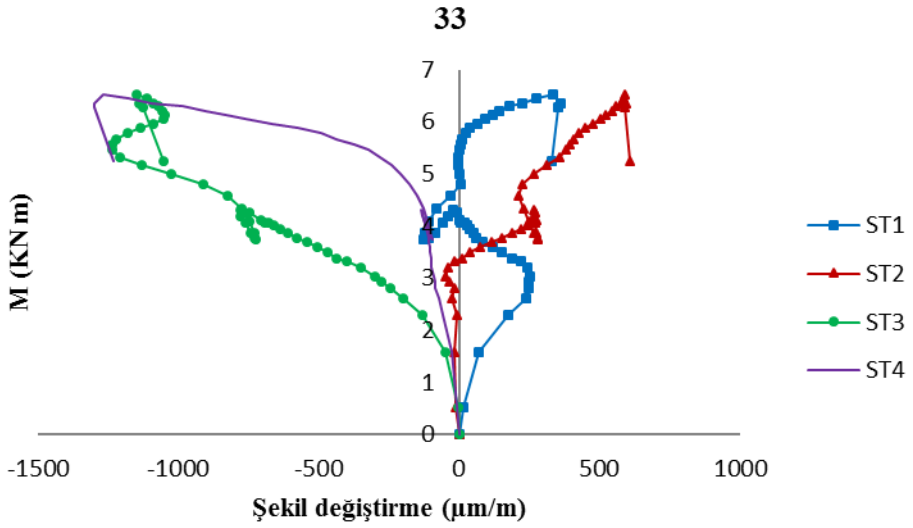
plastik bölgede kalmıştır. Şekil 4.92-4.97'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



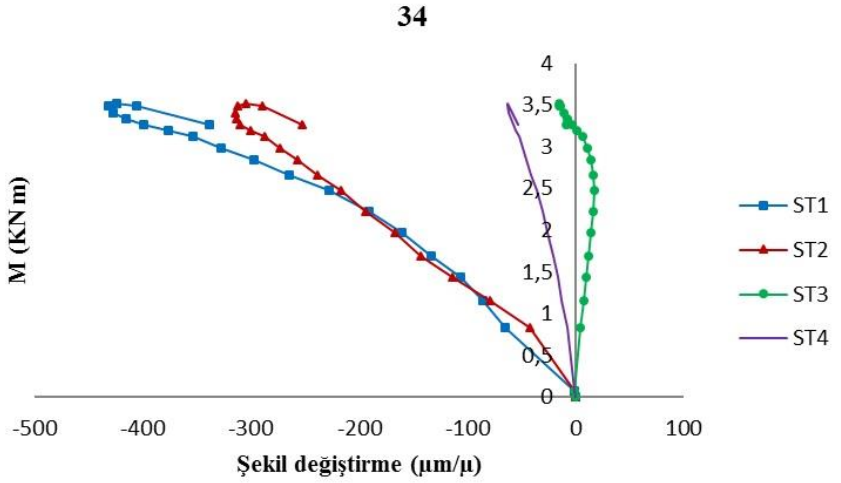
Şekil 4.90. B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



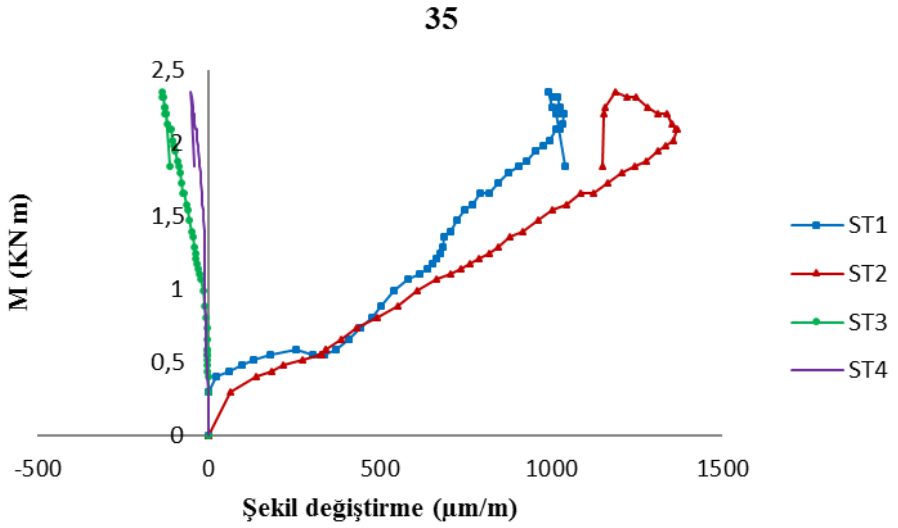
Şekil 4.91. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



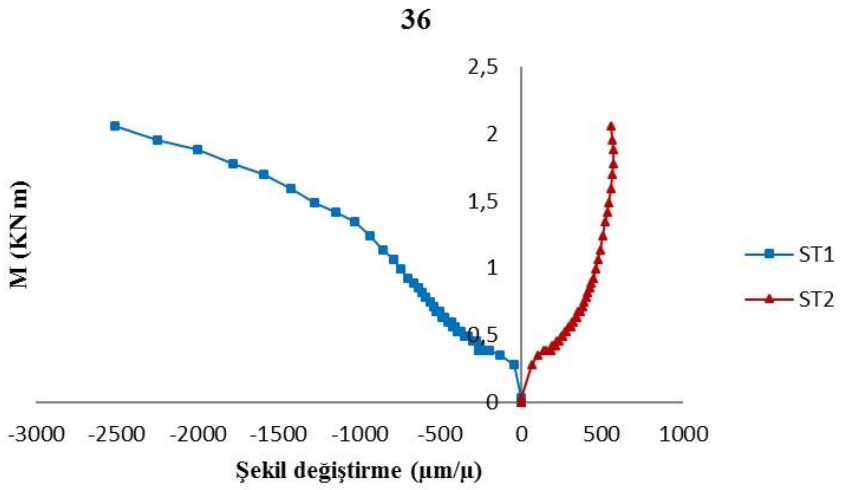
Şekil 4.92. B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.93. B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.94. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.95. B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

vii. T300, T270, T240 birleşimlerinin yükseklik nının karşılaştırılması (1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 14, 15 deneylerde iki sıra bulon için)

T300, T270 ve T240 birleşimlerinde H_{max}'ın knee aralığı H_{min}'e göre sırasıyla %61,55, %40,82 ve %30,16 oranlarında artış gösterdiği Şekil 4.83 ve Çizelge 4.12'den

görülmektedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun knee aralığının, T270 ve T240'a göre sırasıyla %40,35 ve %47,55 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} kullanıldığında %32,70 ve %49,85 artış olarak gözlenirken, H_{orta} kullanıldığında ise %33,20 ve %37,21 azalış olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak knee aralığının birleşimin başlık ve gövdesi arttığında arttığı, birleşimin H boyu arttığında azaldığı görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $M_{j.Rd}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %60,51 ve %56,72 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %31,07-%62,31 ve %27,46'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun $M_{j.Rd}$ değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %12,26 ve %39,44 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{orta} ve H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla %49,14-%66,65 ve %18,19-18,99'dır.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $Mj._{max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %31,15 ve %32,75 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %25,78 ve %1,05-43,84'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak Hmax kullanıldığında, T300 grubunun $Mj._{max}$ değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %20,98 ve %30,43 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %23,17-%33,98 ve %8,8-%11,93 azalış olarak gözlenmiştir.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın MCd değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %31,20 ve %33,38 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %26,88 ve %0,99-%46,56'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun MCd değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %18,15 ve %25,36 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} kullanıldığında ise %18,07 ve %34,38 artış olarak gözlenirken, H_{orta} kullanıldığında %6,34 ve %15,09 azalış olarak gözlenmiştir.

Rijitlik değerlerine bakıldığında; T300 ve T270 birleşimlerinde H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %33,00 ve %63,52-%70,67 oranında artış görülmüştür.

T240 birleşimlerin de ise H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %35,35 ve %53,92 oranlarında azalmıştır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun rijitlik değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %63,24 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %57,45-%70,38 ve %30,08-%34,18 azalış olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak, başlık ve gövde kalınlığı arttıkça rijitlikde azalma görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın Θ_{mRd} değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %29,41 ve %32,35 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %20,00-%36,84 ve %16,66-%70,58'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun ΘmRd değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %73,53 ve %77,94 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %68,75-%75,00 ve %58,69 artış şeklindedir.

T300 birleşimlerinde Hmax'ın $\Theta_{mj.max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %18,53 ve %36,52 oranında azalış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %25,34-%26,02 ve %36,38-%42,79 azalış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{min} kullanıldığında, T300 grubunun $\Theta_{mj.max}$ değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %13,79 ve %13,89 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{max} ve H_{orta} kullanıldığında ise sırasıyla %18,71- %21,58 ve %18,53-50,57 azalış şeklindedir. Genel olarak $\Theta_{mj.max}$ H değerimiz arttıkça artış görülmüştür.

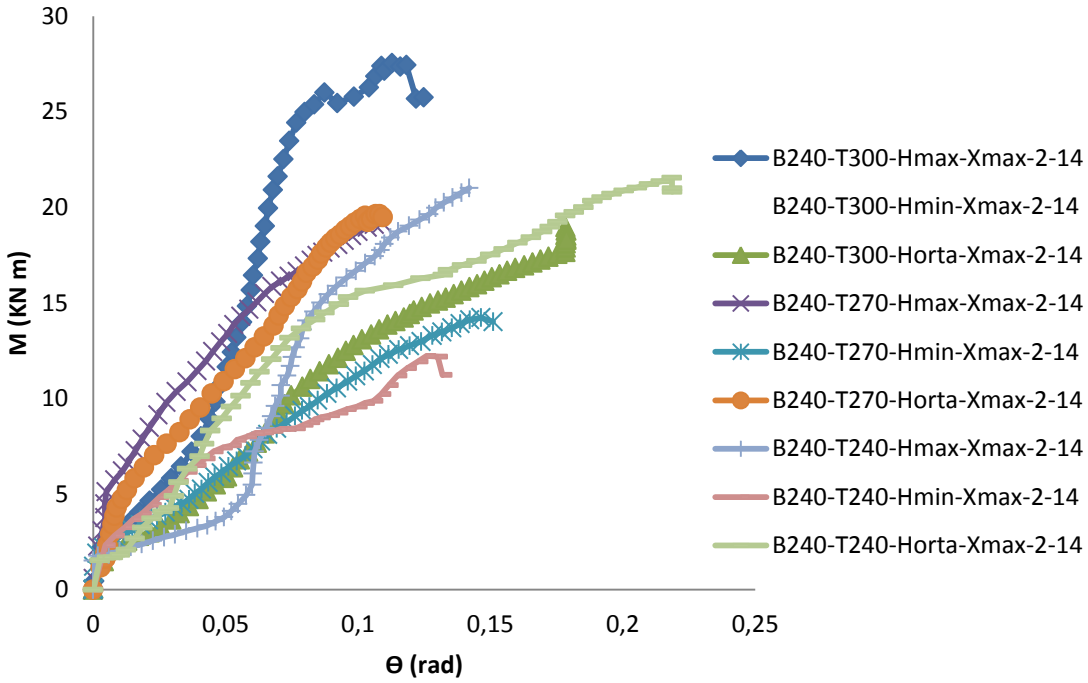
T270 birleşimlerinde H_{max}'ın Θcd değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre %26,46 oranında azalış görülmüştür. Bu oranlar T300 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %17,87, %7,04-%39,61 artış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{min} kullanıldığında, T300 grubunun Θcd değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %10,20 ve %12,58 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{max} ve H_{orta} kullanıldığında ise sırasıyla %14,08-%21,83 ve %18,11-%50,13azalış şeklindedir.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın Ψj değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre %41,50 oranında azalış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %41,17-%54,45 ve

%11,36-%51,36 azalış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun Θ_{cd} değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %5,13 ve %77,05 oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{orta} ve H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla %55,22 ve %9,11 azalış şeklindedir.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $\Psi j_{maxload}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre %45,03 oranında azalış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %40,78-%53,32 ve %7,30-%55,06 azalış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun $\Psi j_{maxload}$ değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %5,95 ve %78,49 oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{orta} ve H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla, %9,81 ve %63,61 azalış şeklindedir. Genel olarak H ve başlık gövde kalınlığı arttığı zaman $\Psi j_{maxload}$ değerinde azalma görülmüştür.

Enerji yutma kapasitesi değerlerine bakıldığında; T300 ve T240 birleşimlerinde H_{max}'ın enerji yutma kapasitesi H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %18,56-%20,00 ve %48,05-%65,96 oranında artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun rijitlik değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %8,33-%36,53 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %37,27 ve %21,32-%41,17 artış olarak gözlenmiştir. Genel olarak H ve başlık gövde kalınlığı arttığı zaman enerji yutma kapasitesi değerinde artış görülmüştür.



Şekil 4.96. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 T birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.11. Deneylerin moment dönme eğri değerlerinin karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 (1)	2.20-24.43	23.48	27.54	25.67	1.15	0.28	4.00	0.068	0.0067	0.077	0.113	0.122	1.80	1.66	1.68
B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 (2)	1.20-14.96	9.38	18.51	17.10	1.61	0.60	2.68	0.048	0.0073	0.11	0.145	0.147	3.06	3.02	1.36
B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 (3)	2.22-13.34	10.16	18.96	17.66	1.60	0.39	4.09	0.046	0.0085	0.105	0.178	0.179	3.89	3.87	1.70
B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 (7)	4.47-16.13	11.94	19.16	19.16	3.45	0.26	13.13	0.015	0.0049	0.071	0.109	0.111	7.4	7.27	1.06
B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 (8)	2.18-9.08	4.50	14.22	14.01	3.79	0.79	4.79	0.012	0.0040	0.076	0.146	0.151	12.58	12.17	1.07
B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 (9)	4.75-16.58	8.23	19.63	19.48	1.71	0.49	3.85	0.019	0.011	0.08	0.108	0.109	5.74	5.68	1.07
B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 (13)	1.76-15.02	7.83	21.75	21.01	2.32	0.55	4.17	0.018	0.0017	0.086	0.139	0.142	7.89	7.72	1.54
B240-T240-H_{min}-X_{max}-2-14 (14)	2.32-11.58	5.68	12.22	11.22	3.53	0.39	9.05	0.015	0.0046	0.118	0.125	0.132	8.8	8.33	0.81
B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 (15)	1.53-19.29	12.63	21.53	20.80	1.95	0.33	5.85	0.051	0.0025	0.175	0.2185	0.2186	4.29	4.28	2.35

viii. T300, T270, T240 1 sıra bulon karşılaştırması (4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, 17, 18)

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın Mj.Rd değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %5,8 ve %21,09 oranında artış gösterdiği şekil 4.84 ve Çizelge 4.13 'dan gözükmektedir. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %29,16-%36,07 ve %7,5'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun Mj.Rd değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %39,35 ve %61,07 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{orta} ve H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla %12,28-%25,18 ve %10,39'dır.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $Mj._{max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %1,45 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %0,79-%30,49 ve %6,12-14,69'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun $Mj._{max}$ değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %5,8 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %1,67-%10,90 ve %10,65-%22,68 artmıştır.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın M_{Cd} değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %1,46 ve %3,21 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %0,27-%30,17 ve %3,51-%22,69'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun MCd değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %3,21 ve %10,83 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} kullanıldığında ise %5,2 ve %14,12 artış olarak gözlenirken, H_{orta} kullanıldığında %1,28 ve %22,69 artma olarak elde edilmiştir.

Rijitlik değerlerine bakıldığında; T300, T270 ve T240 birleşimlerinde H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %40,70-%74,57 , %4,35-%94,71 ve %45,72 oranında artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} ve H_{orta} kullanıldığında, T300 grubunun rijitlik değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %4,31-%60,34 ve %92,76 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min}

kullanıldığında ise %23,65-%51,04 azalış olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak, Birleşimlerde yükseklik oranı arttıkça rijitlikde artma görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın ΘMRd değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %45,16 ve %69,35 oranında azalma görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %20,41-%87,75 ve %54,16'dır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun ΘmRd değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %42,11 ve %71,79 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %51,02-%61,29 ve %8,8 artış şeklindedir.

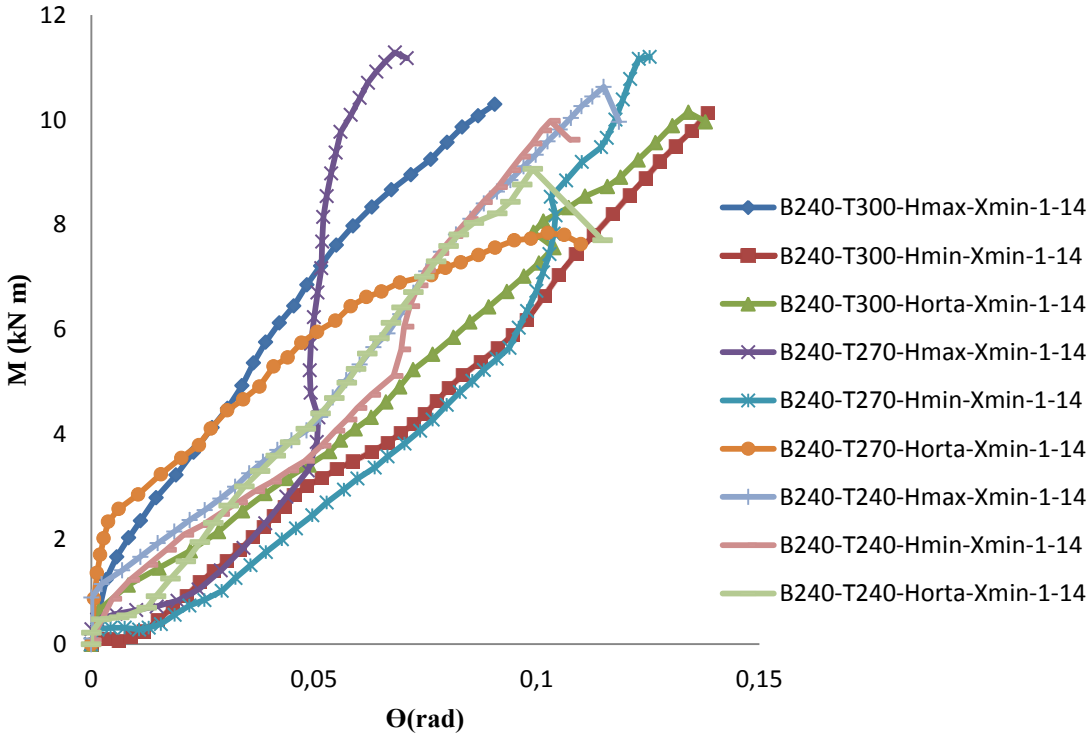
T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $\Theta_{mj.max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %2,89 oranında azalış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %18,4 ve %3,88 azalış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{min} kullanıldığında, T300 grubunun $\Theta_{mj.max}$ değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %17,6 ve %25,36 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{orta} kullanıldığında ise sırasıyla %26,12-%38,88 artış şeklindedir. Ayrıca, Bu oranlar H_{max} kullanıldığında ise sırasıyla %20,87-%40,86 azalma şeklindedir. Genel olarak $\Theta_{mj.max}$ H değerimiz arttıkça artış görülmüştür.

Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında, T300 grubunun Θ_{cd} değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %9,42-%22,46 ve %20,29-%23,19 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{max} kullanıldığında ise sırasıyla %22,88-%40,67 azalmıştır.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın Ψj değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre %15,06-%53,55 oranında artış görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %85,56 ve %58,53-%66,91 artmış şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun Θcd değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %55,45 ve %83,33 oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla %42,83 ve %49,88 azalış şeklindedir. Ayrıca, Bu oranlar H_{orta} kullanıldığında ise sırasıyla %12,59 ve %79,96 artmıştır.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $\Psi j_{maxload}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre %17,56- %53,55 oranında artma görülmüştür. Bu oranlar T270 ve T240 gruplarında ise sırasıyla %85,50 ve %58,95-%69,47 artma şeklindedir. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun $\Psi j_{maxload}$ değerinin T270 ve T240'a göre sırasıyla %54,26 ve %83,35 oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} kullanıldığında ise sırasıyla, %40,55 ve %48,25 azalış şeklindedir. Ayrıca, Bu oranlar H_{orta} kullanıldığında ise sırasıyla, %19,03 ve %81,23 artmıştır.

Enerji yutma kapasitesi değerlerine bakıldığında; T270 ve T240 birleşimlerinde H_{max}'ın enerji yutma kapasitesi H_{min} ve H_{orta} ya göre sırasıyla %40,00 ve %14,50-%20,96 oranında artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun rijitlik değeri, T270 ve T240'a göre sırasıyla %25,80-%37,09 oranında azalma gösterdiği görülmüştür. Bu oranlar H_{min} ve H_{orta} kullanıldığında ise %23,18 ve %28,98-%39,13 artışmıştır.



Şekil 4.97. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14, B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 T birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.12. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 (4)	1.67-8.34	4.93	10.3	10.29	1.82	0.39	4.64	0.019	0.0057	0.063	0.09	0.09	4.79	4.79	0.47
B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 (5)	1.79-8.56	4.64	10.1	10.14	0.74	0.63	1.18	0.062	0.033	0.12	0.14	0.14	2.23	2.23	0.70
B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 (6)	1.13-7.85	3.89	10.1	9.96	1.03	0.52	1.99	0.034	0.0083	0.099	0.13	0.14	4.06	3.94	0.70
B240-T270-H_{max}-X_{min}-1-14 (10)	0.28-9.76	7.68	11.3	11.17	0.95	0.52	1.84	0.039	0.00002	0.055	0.07	0.07	1.79	1.74	0.39
B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 (11)	0.28-10.77	5.44	11.2	11.19	1.04	0.59	1.76	0.049	0.0014	0.12	0.13	0.13	2.55	2.55	0.70
B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 (12)	2.02-6.62	4.91	7.84	7.8	9.3	0.28	33.29	0.006	0.0027	0.065	0.10	0.11	17.67	17	0.42
B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 (16)	0.88-9.33	2.99	10.6	9.96	2.87	0.64	4.44	0.011	0.000016	0.098	0.11	0.12	10.73	10.45	0.63
B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 (17)	1.23-9.04	4.07	9.97	9.61	1.39	0.58	2.41	0.024	0.0087	0.094	0.10	0.11	4.463	4.30	0.53
B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 (18)	0.47-7.59	4.4	9.06	7.7	1.52	0.63	2.41	0.031	0.0022	0.08	0.099	0.11	3.55	3.19	0.50

ix. T140, T160, T200 1.sıra ve 2. Sıra bulon karşılaştırma (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 deneyler)

Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 den başlangıç rijitliği ($S_{j.ini}$) ve limit sonrası rijitlik ($S_{j.ini}$) için elde edilen doğrusal eğrilerin kesişme noktasına karşılık gelen plastik mukavemet momenti $M_{j.Rd}$ için aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir: T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın plastik mukavemet momenti değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %11,15–%18.47, %5,04 ve %32,84–%60,04 oranında artış görülmüştür. T elemanı uzunluğu 56 mm olan T140-1-10 deney grubu için H_{max}'ın plastik mukavemet momenti değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %11,23-%36,22 oranında azalış görülmüştür. T elemanı uzunluğu 56 mm olan T160-1-10 ve T200-1-10 modellerinde ise bu değer, H değeri arttıkça artmaktadır. T140-1-10 modeli ise birleşimler için uygun değildir. Yükseklik oranı olarak H_{max} kullanılan T140, T160 ve T200 deney gruplarında T elemanı uzunluğunun 54 mm'den 126 mm'ye çıkarılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılmasıyla, plastik mukavemet momentinin sırasıyla %44,58, %23,44 ve %55,20 oranında arttığı görülmüştür. H_{min}, ve H_{orta} yüksekliklerinde ise bu artış oranlarının %83,70, %82,52, %78,30, %44,56, %57,59 ve %52,33 mertebesinde olduğu görülmüştür. Böylece, T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile plastik mukavemet momenti değerlerinde artış elde edilmiştir. T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları karşılaştırıldığında; H_{max} ve H_{orta} kullanılan modellerde T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile plastik mukavemet momenti değerinin arttığı; H_{min} kullanılan modellerde ise azaldığı gözlenmiştir. T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 deney gruplarının da T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 grupları ile aynı davranışı sergiledikleri görülmüştür. Bundan dolayı, H_{min} kullanılan modeller endüstriyel kullanım için uygun değildir. Genel olarak, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan gruplarda H değeri arttıkça plastik mukavemet momenti değeri de artmıştır. Ayrıca, plastik mukavemet momenti değeri X değeri arttıkça ve bulon sıra sayısı 1'den 2'ye çıkarıldığında da artmıştır. Böylece, T elemanının uzunluğu 126 mm olan ve T elemanının yüksekliği (H) H_{max} e eşit olan T140-2-10 modeller endüstriyel kullanım için en ideal modellerdir.

Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın maksimum eğilme momenti değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %4,4–%18,71, %27,16–%71,26 ve %36,39–%64,78 oranında artış olduğunu göstermektedir. T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T140-1-10 ve T200-1-10 deney grupları için H_{max}'ın maksimum eğilme momentinin değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %4,4–%18,71, %27,16–%71,26 ve %36,39–%64,78 oranında artmıştır. T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T140-1-10 ve T200-1-10 deney grupları için H değeri arttıkça maksimum eğilme momenti değeri artmıştır. Yükseklik oranı olarak H_{max} kullanılan T140, T160 ve T200 deney gruplarında T elemanı uzunluğunun 54 mm'den 126 mm'ye çıkarılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılmasıyla, maksimum eğilme momenti sırasıyla %56, %38,26, %67,72 oranında artış göstermiştir. H_{min}, ve H_{orta} yüksekliklerinde ise bu oranlardaki artış %73,40, %7,4, %59,01, %65,75, %35,18 ve % 68,56 seviyesinde kalmıştır. Böylece, T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile maksimum eğilme momenti değerlerinde artış elde edilmiştir. Ayrıca, H_{min} kullanılan modellerde maksimum eğilme momenti, H_{max} ve H_{ort} kullanılan modellerden daha düşüktür. T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları karşılaştırıldığında; H_{min} ve H_{ort} kullanılan modellerde T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile maksimum eğilme momentinin sırasıyla %43,86–% 60,18ve %13,75–%14,15 oranında arttığı gözlenmiştir. H_{max} kullanılan modellerde ise bu artış oranlar %13,07–%22,83 seviyesindedir. Yükseklik oranı olarak H_{max} ve H_{orta} kullanılan T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 deney gruplarında T elemanı uzunluğunun artması ile maksimum eğilme momenti değerleri artarken H_{min} kullanılan modellerde ise azalmıştır. Bu yüzden, H_{min} modelleri endüstride kullanım için uygun değillerdir. Genel olarak, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan gruplarda H değeri arttıkça maksimum eğilme momenti değeri de artmıştır. Ayrıca, maksimum eğilme momenti değeri X değeri arttıkça ve bulon sıra sayısı 1'den 2'ye çıkarıldığında da artmıştır. Böylece, T elemanının uzunluğu 126 mm olan ve T elemanının yüksekliği (H) H_{max} e eşit olan T140-2-10 modeller endüstriyel kullanım için en ideal modellerdir. Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 göstermektedir ki; T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın $M_{\Theta.Cd}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %18,43, %16,49–%74,21 ve %32,07–%69,88 oranında artış görülmüştür. T elemanının

uzunluğu (X) 54 mm olan T140-1-10 deney grubu için H_{max}'ın $M_{\Theta.Cd}$ değeri, H_{min} ve H_{orta}'ya göre yaklaşık %5,39–%36,93 oranında artmıştır. Böylece, T elemanının uzunluğu 54 mm olan T160 ve T200 modelleri için H değeri arttıkça the $M_{\Theta.Cd}$ değeri de artmıştır. Bundan dolayı, T elemanının uzunluğu 54 mm olan modeller birleşimler için en ideal modellerdir. H_{max}, H_{min} ve H_{orta} yükseklikleri kullanılan T140, T160 ve T200 deney gruplarında $M_{\Theta.Cd}$ değerleri X değeri arttıkça ve bulon sıra sayısı 1'den 2'ye çıkarıldığında da artmıştır. T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları karşılaştırıldığında; H_{max} kullanılan modellerde T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile plastik eğilme momenti kapasitesinin arttığı; H_{ort} ve H_{min} kullanıldığında ise azaldığı gözlenmiştir. Genel olarak, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan gruplarda H değeri arttıkça eğilme momenti kapasitesi de artmıştır. Ayrıca, eğilme momenti kapasitesi X değeri arttıkça ve bulon sıra sayısı 1'den 2'ye çıkarıldığında da artmıştır. Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın knee aralığı değerinin H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %13,56, %75,00–%86,37 ve %46,14–%76,08 oranındaarttığı görülmüştür. T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T140-1-10 ve T160-1-10 deney grupları için H_{max}'ın knee aralığı değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla %17,54–%54,67 ve %4,5–%13,64 oranında azalmıştır. Yükseklik oranı olarak H_{max} kullanılan T140 ve T200 deney gruplarında T elemanı uzunluğunun 54 mm'den 126 mm'ye çıkarılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile knee aralığı yaklaşık %52,20, %32,94, %73,68 artmıştır. H_{min}, ve H_{orta} yüksekliklerinde ise bu oralar %69,90 ve %56,44, artış şeklinde olmuştur. Böylece, T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile knee aralığı değerlerinde artış elde edilmiştir. T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları karşılaştırıldığında; H_{min} ve H_{ort} kullanılan modellerde T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile plastik knee aralığının yaklaşık%69,90–%82,54 ve %2,03–%40,8 oranlarında azaldığı; H_{max} kullanıldığında ise plastik knee arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, H_{max}, H_{min}, ve H_{orta} yükseklikleri kullanılan T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 deney grupları karşılaştırıldığında, T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlıklaır artırıldığında knee aralığı azalmaktadır. Genel olarak, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan gruplarda H değeri arttıkça knee değeri de artmıştır. Böylece, T elemanının uzunluğu 126 mm olan ve T elemanının yüksekliği (H) H_{max} e eşit olan T140-2-10 modeller

endüstriyel kullanım için en ideal modellerdir. Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 tüm deney gruplarının moment-dönme eğrilerini göstermektedir. Bu eğriler, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T200-H_{max} modelinin, T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 modelleri arasında en büyük $M_{j.Rd}$ sahip olduğunu göstermektedirler. Diğer bir ifade ile, T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının, T elemanının uzunluğunun ve H oranının artması ile $M_{j.Rd}$ değeri artmaktadır. T140-H_{max}-126 modelinin $M_{j.Rd}$ değerinin, T200-H_{av}-126 modelininkine eşit olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı, maksimum H yükseklikli ve düşük kalınlıklı bir kesit, ortalama H değerine sahip daha kalın bir kesit yerine kullanılabilir. T elemanının uzunluğu 126 mm olan T140-H_{max} tüm gruplar içinde en ideal modeldir. Gruplar karşılaştırıldığında, 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması yani T elemanı uzunluğunun (X) artırılması ile $M_{j.Rd}$ değerinin de arttığı görülmektedir. TA-2-10 modellerinin $M_{j.Rd}$ değeri TA-1-10 modellerininkinin iki katıdır. Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının ve T elemanının uzunluğunun artması ile $M_{j.max}$ değeri arttığını göstermektedir. Örneğin, maksimum H değerine sahip T200-2-10 deney grupları en yüksek $M_{j.max}$ değerine sahiptirler, maksimum H değerine sahip T160-2-10 ve T160-2-10 deney grupları ise peşine gelmektedir. Minimum H değerine sahip modeller en düşük $M_{j.max}$ değerine sahiptirler. Bundan dolayı, H_{max} ve X_{max} kullanılan düşük kesitli kirişler en ideal model olarak seçilmiştir. Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13, $M_{\Theta.Cd}$ değerinin de $M_{j.max}$ ve $M_{j.Rd}$ değerleri ile aynı durumda olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.13 göstermektedir ki:T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10 grupları için H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla yaklaşık %75,58–%77,21 oranında artmıştır. T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T160-2-10 grupları için H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre yaklaşık %565,14 oranında azalmıştır. Ayrıca, T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T160-2 deney gruplarında H_{max}'ın rijitlik değeri yaklaşık %41,68 oranında artmıştır. H_{max} kullanılan T140 grupları için rijitlik, T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile yaklaşık %51,48 oranında artmıştır. Aynı oran H_{min} ve H_{ort} kullanılması durumunda ise %15,88 ve %369,1 azalış şeklinde olmuştur. Ayrıca, H_{max} kullanılan T160 ve T200 gruplarında ise, T elemanı uzunluğunun artırılınca rijitlik değeri sırasıyla yaklaşık %52,99 ve %10,14, oranında azalmıştır. Aynı oran H_{min} ve H_{ort} kullanılması durumunda ise %76,99, %58,99, %369,1, ve %63,68 azalış şeklinde olmuştur. Genel olarak, T140-

2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 modellerinde, T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının ve bulon sıra sayısının artması ile rijitliğin arttığı görülmektedir. ile $M_{j.max}$ değeri arttığını göstermektedir Böylece, T elemanının uzunluğu 126 mm olan ve T elemanının yüksekliği (H) H_{max}'a eşit olan T140-2-10 modeller endüstriyel kullanım için en ideal modellerdir. T140-1-10, T160-1-10, ve T200-1-10 modellerinde durum, T140-2-10, T160-2-10, ve T200-2-10 modellerinin tersinedir.

Çizelge 4.13, T140-2-10, T140-1-10, ve T160-2-10 deney grupları için H_{max}'ın $\Theta_{j.Rd}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla yaklaşık %133,3, %45,16, ve %123,07 oranında azaldığını göstermektedir. T200-2-10 ve T200-1-10 deney grupları için H_{max}'ın $\Theta_{j.Rd}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla yaklaşık %14,89 ve %54,54 oranında artmaktadır. H_{max} ve H_{min} kullanılan T140 modellerinde T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının ve bulon sıra sayısının artması ile $\Theta_{j.Rd}$ değeri sırasıyla yaklaşık %106,66 ve %28,57 oranında azalmaktadır. Bu oran H_{ort} değerleri için yaklaşık %58,33 artma şeklindedir. H_{max} ve H_{min} kullanılan T160 ve T200 modellerinde T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının ve bulon sıra sayısının artması ile $\Theta_{j.Rd}$ değeri sırasıyla yaklaşık %46,15, %75,86, %1,00 ve %47,08 oranında artmaktadır. T140-2-10, T160-2-10, ve T200-2-10 modelleri karşılaştırıldığında; H_{max} ve H_{min} kullanılan grupların $\Theta_{j.Rd}$ değeri T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile sırasıyla yaklaşık %266,66 ve %35,00 arttığı görülmektedir. Ayrıca, T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 grupları karşılaştırıldığında görülmektedir ki; H_{max} ve H_{ort} kullanılan modeller için $\Theta_{j.Rd}$ değeri T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile sırasıyla yaklaşık %74,42 ve %100,00 oranında artmıştır. Genel olarak, H oranı arttıkça $\Theta_{j.Rd}$ değeri T140 ve T160 mdoelleri için azalırken T200 modelleri için artmıştır. Ayrıca, T birleşim elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması $\Theta_{j.Rd}$ değerini artırmaktadır.

Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 göstermektedir ki; T140-2-10, T140-1-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın $\Theta_{M\cdot j.max}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya göre sırasıyla yaklaşık %12,89, %2,92, %49,54 ve %13,85 oranında artmıştır. Aynı oran T200-1-10 için yaklaşık %160,86 oranında artış şeklindedir. H_{min} ve H_{ort} kullanılan T140 grupları için $\Theta_{M\cdot j.max}$ değerleri T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra

bulon kullanılması ile sırasıyla yaklaşık %1,77 ve %49,48 oranında artmıştır. Aynı oran, T160 ve T200 modellerinde H_{max} ve H_{ort} kullanılması durumunda ise %7,76, %11,83, %64,62 ve %1,7 artış şeklinde olmuştur. Ayrıca, H_{min} kullanılan T160 ve T200 gruplarında ise, T elemanı uzunluğunun artırılınca $\Theta_{M\cdot j.max}$ değerleri artmıştır. Bundan dolayı, H_{min} kesitlerinin kullanımı T-birleşim elemanlı birleşimlerde $\Theta_{M\cdot j.max}$ değerini artırmaz. T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları karşılaştırıldığında; H_{max} kullanılan modellerde T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile plastik $\Theta_{M\cdot j.max}$ 'ın azaldığı; H_{min} kullanıldığında ise azaldığı anlaşılmıştır. T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 modellerinde durum, T140-2-10, T160-2-10, ve T200-2-10 modellerinin tersine davranış sergilemektedirler.

Genel olarak, T elemanının uzunluğu 126 mm olan modellerde H değeri arttıkça $\Theta_{M\cdot j.max}$ değeri artmaktadır. Ayrıca, H_{ort} kesitli elamanların kullanımı $\Theta_{M\cdot j.max}$ değerini artırmaktadır.

Şekil 4.98, 4.99 ve Çizelge 4.13 H_{min} kullanılan tüm gruplar için Θ_{cd} değerinin T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile azaldığını göstermektedir. Aynı durumda, H_{ort} kullanılan tüm gruplar için Θ_{cd} değerinde artış görülmektedir.

Bundan dolayı dönme kapasitesi için ideal model H_{ort} model gruplarıdır.

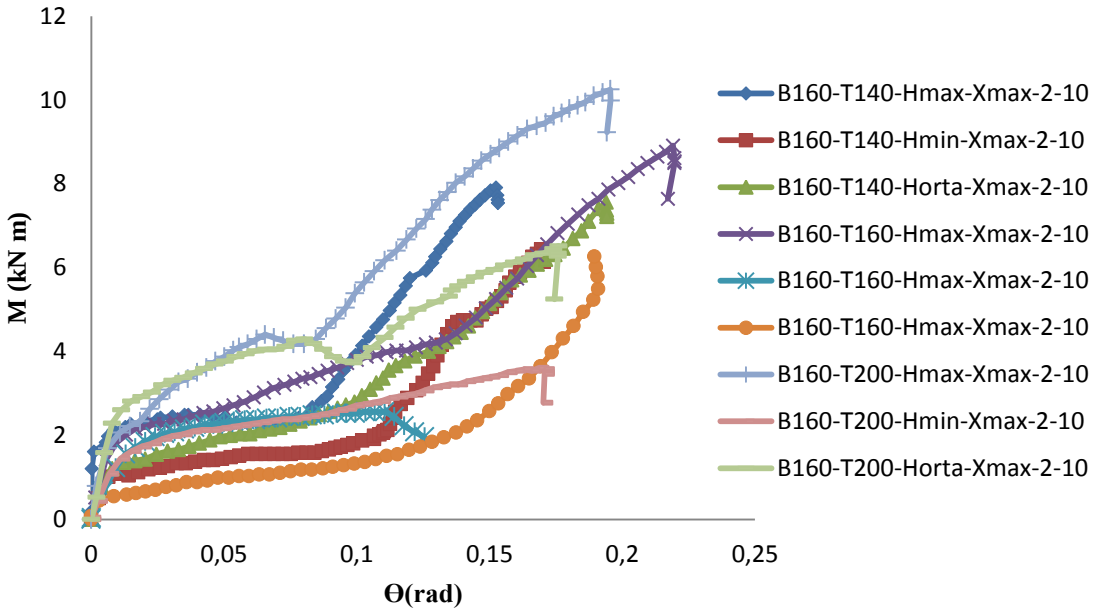
Çizelge 4.13 göstermektedir ki;T140-2-10, T160-2-10, T200-2-10, T140-1-10 ve T160-1-10 deney grupları için H_{max}'ın Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerleri H_{min} ve H_{orta} için artış göstermiştir. Aynı değer T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T200-1-10 grupları için azalıştır. H_{max} ve H_{min} kullanılan T140 deney grubu için T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerlerini artırmıştır. T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan H_{min} kullanılan T160 ve T200 grupları için Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerlerini azaltmıştır.

H_{min} kullanılan T160-1-10 deney gruplarında T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerlerinin arttığı, H_{max}, H_{orta} ve H_{min} kullanılan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney gruplarında azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, H_{max} ve H_{orta} kullanılan T140-1-10 ve T200-1-10 deney gruplarında da bu değerler azalmıştır.

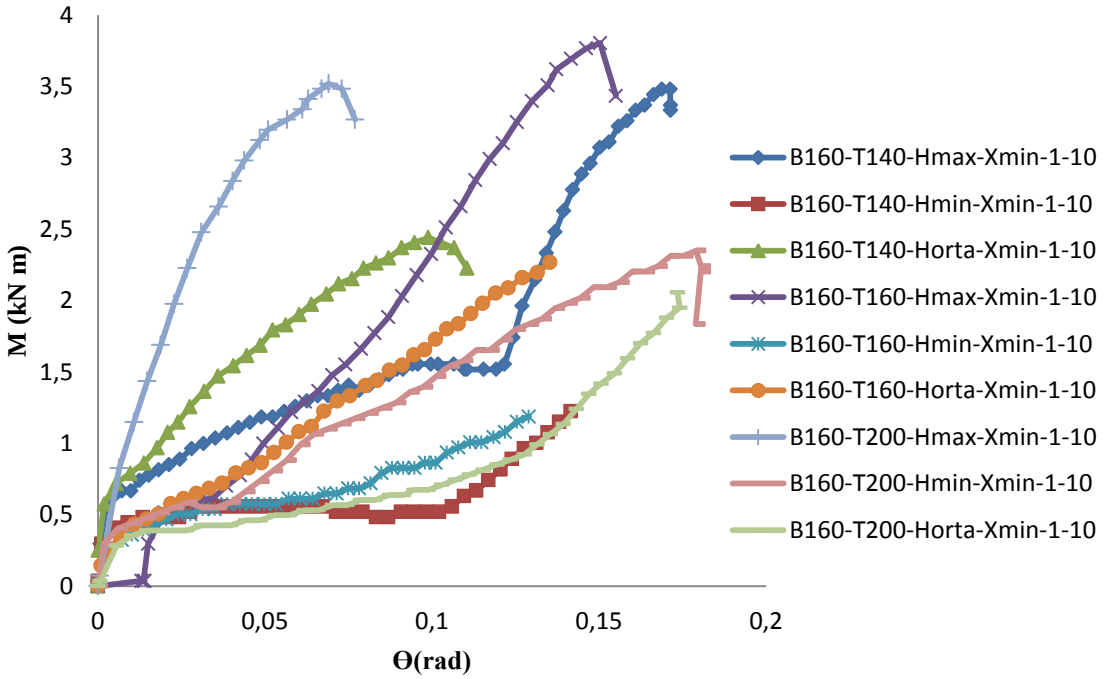
Genel olarak H değerinin artması ile Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerleri artmıştır. Ayrıca, Ψj ve $\Psi j._{maxload}$ değerleri T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile azalmıştır.

Çizelge 4.13, T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney grupları için H_{max}'ın enerji sönümleme kapasitesinin H_{orta} ve H_{min}'e göre yaklaşık %11,48, %83,51 ve % 69,69 oranlarında arttığını göstermektedir. T elemanının uzunluğu (X) 126 mm olan T140-2-10, T160-2-10, ve T200-2-10 deney grupları için enerji sönümleme kapasitesindeki değişim %17,24 ve %55,55 oranında azalma şeklindedir. Bundan dolayı, T elemanının uzunluğu (X) 54 mm olan T birleşimler uygun değildir. T elemanı uzunluğunun artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile H_{max}, H_{orta} ve H_{min} kullanılan T140 ve T200 deney grupları için enerji sönümleme değerleri artmıştır. H_{max} ve H_{orta} kullanılan T160 deney grubunda enerji sönümleme kapasiteleri göreceli olarak artmıştır. H_{min} kullanılan T160 deney grupları için enerji sönümleme kapasitesi X'in artması ile azalmıştır.

H_{min} kullanılan T140-2-10, T160-2-10 ve T200-2-10 deney gruplarında T elemanının gövde ve başlık kalınlığının artması ile enerji sönümleme değerlerinin azaldığı, H_{min} kullanılan T140-1-10, T160-1-10 ve T200-1-10 gruplar için bu değerin azaldığı gözlenmiştir. Bundan dolayı, H_{min} kullanılan bir model birleşimlerde kullanım için uygun değildir. Genel olarak, T elemanı uzunluğunun (X) artırılması yani 1 sıra bulon yerine 2 sıra bulon kullanılması ile ve H değerinin artması ile enerji sönümleme kapasitesi artmaktadır.



Şekil 4.98. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 , B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 deneylerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.99. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10, B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10, B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 deneylerinin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.13. Deneylerin moment ve dönme kapasitelerinin karşılaştırılması

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)							
	KR (knee-range)	Mj.Rd	Mj. max	MΘCd	Sj.ini	Sj.p−l	Sj.ini/Sj.p−l	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup. k.R	ΘMj. max	ΘCd	Ψj	$Ψj._{maxload}$	Enerji yutma (KN m. rad)
B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 (19)	1.61-7.51	3.14	7.91	7.54	14.38	0.57	25.27	0.006	0.001	0.14	0.152	0.153	25.50	25.33	0.61
B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 (20)	1.01-6.11	2.56	6.43	6.15	2.97	0.48	6.17	0.014	0.006	0.16	0.169	0.17	12.14	12.07	0.55
B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 (21)	1.21-7.10	2.79	7.56	7.22	3.82	0.68	5.63	0.012	0.007	0.18	0.194	0.1942	16.18	16.17	0.73
B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 (22)	0.55-3.37	1.74	3.48	3.33	5.63	0.46	12.26	0.0124	0.002	0.16	0.171	0.1714	13.82	13.79	0.30
B160-T140-H_{min}-X_{min}-1-10 (23)	0.29-3.71	1.96	3.97	3.52	3.45	0.48	7.15	0.018	0.001	0.15	0.166	0.173	9.61	9.22	0.34
B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 (24)	0.57-2.12	1.25	2.44	2.22	8.67	0.33	26.41	0.005	0.0018	0.072	0.098	0.11	22.00	19.60	0.13
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (25)	1.82-8.35	2.38	8.91	7.64	3.05	0.55	5.68	0.013	0.0094	0.206	0.219	0.219	16.85	16.85	0.98
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (26)	1.56-2.45	2.26	2.56	1.97	3.62	0.096	37.78	0.029	0.0129	0.074	0.1105	0.125	4.31	3.81	0.16
B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 (27)	0.49-6.27	3.65	6.49	6.38	5.29	0.51	10.39	0.013	0.003	0.189	0.186	0.186	14.31	14.31	0.60
B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 (28)	0.52-2.23	0.395	2.37	2.265	5.91	0.68	8.69	0.007	0.003	0.197	0.202	0.209	29.86	28.86	0.25
B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 (29)	0.25-2.23	0.395	2.37	2.265	5.91	0.68	8.69	0.007	0.003	0.197	0.202	0.204	29.14	28.86	0.24
B160-T160-H_{orta}-X_{min}-1-10 (30)	0.35-2.16	0.792	2.66	2.55	2.97	0.58	4.26	0.014	0.006	0.127	0.164	0.168	12.00	11.71	0.22
B160-T200-H_{max}-X_{max}-2-10 (31)	2.07-8.55	4.78	10.25	9.23	3.29	0.46	7.2	0.022	0.0108	0.147	0.195	0.195	8.86	8.86	1.00
B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 (32)	1.44-2.99	1.91	3.61	2.78	6.52	0.43	15.12	0.0189	0.0109	0.122	0.168	0.17	8.99	8.89	0.31
B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 (33)	2.29-5.78	3.21	6.52	6.27	6.84	0.37	18.64	0.011	0.0078	0.144	0.176	0.176	16.00	16.00	0.57
B160-T200-H_{max}-X_{min}-1-10 (34)	1.15-3.12	2.65	3.51	3.26	2.3	0.29	7.93	0.022	0.0188	0.048	0.069	0.077	3.50	3.14	0.14
B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 (35)	0.40-1.98	0.81	2.34	2.2	3.93	0.5	7.86	0.01	0.0059	0.1407	0.18	0.18	18.00	18.00	0.21
B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 (36)	0.35-1.87	1.53	2.05	2.05	3.07	0.45	6.77	0.01	0.01	0.17	0.173	0.173	17.30	17.30	0.18

4.6. Alt-üst korniyerli birleşimler

4.6.1. t_p6 tip deneyler

Bu grupta 12 çeşit deney yapılmıştır. Deneylerin hepsinde kirişlerde çeşitli ebatlarda berkitmeler kullanılmıştır. Alt-üst korniyerli birleşimlerde korniyer kalınlığı 6 mm olarak seçilmiştir. Köşebent boyları laboratuvar şartları göz önüne alınarak seçilmiştir. 12 deney aralarında üç gruba ayrılmıştır. Bunlar L91, L82 ve L73 olarak adlandırılmıştır. Kirişlerdeki berkitme kalınlıkları 5 mm, 6 mm ve 10 mm olarak seçilmiştir. Moment-dönme eğrileri Şekil 4.100, 4.101 ve 4.102 da ve Çizelge 4.14 görülmektedir.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Mj.Rd değerleri %65,09 ile %71,14 değerleri arasında artarak değişim olmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Mj.Rd değerleri %42,35 ile %71,57 değerleri arasında artarak değişmektedir. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Mj.Rd değerleri %4,63 ile %14,59 değerleri arasında azalarak değişmektedir. Sonuç olarak Mj.Rd değerini artırabilmek için birleşimin genişliği kiriş başlık genişliğinde ya da kiriş başlık genişliğinden büyük kullanılması önerilmektedir.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $M_{j.max}$ değerleri %32,70 ile %34,20 değerleri arasında artarak değişmektedir. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $M_{j.max}$ değerleri %13,34 ile %17,12 değerleri arasında artarak değişmektedir. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $M_{j.max}$ değerleri %1,05 ile %22,66 değerleri arasında artarak değişim olmaktadır. Sonuç olarak kirişlerde berkitme kullanıldığı zaman $M_{j.max}$ değeri artmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; MΘ.Cd değerleri %54,59 ile %55,54 değerleri arasında artarak değişmektedir. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; MΘ.Cd değerleri %21,88 ile %52,16 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; MΘ.Cd değerleri %13,44 ile %25,00 değerleri arasında artmaktadır. Sonuç olarak kirişlerde berkitme kullanıldığı zaman M_{Θ}.Cd değeri artmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; rijitlik değerleri %3,98 ile %57,86 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; rijitlik değerleri %5,98 ile %82,73 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; rijitlik değerleri %89,95 ile %94,33 değerleri arasında artmaktadır. Genel olarak beklenildiği gibi kirişte berkitme kullanıldığı zaman rijitlik artış göstermiştir.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; dönme ($\Theta_{M.Rd)}$ değerleri %59,49 ile %78,48 değerleri arasında azalmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $\Theta_{M.Rd}$ değerleri %33,33 ile %52,38 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $\Theta_{M.Rd}$ değerleri %38,71 ile %54,84 değerleri arasında azalmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; ΘMjmax değerleri %26,92 ile %38,04 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; ΘMjmax değerleri %6,89 ile %15,63 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları

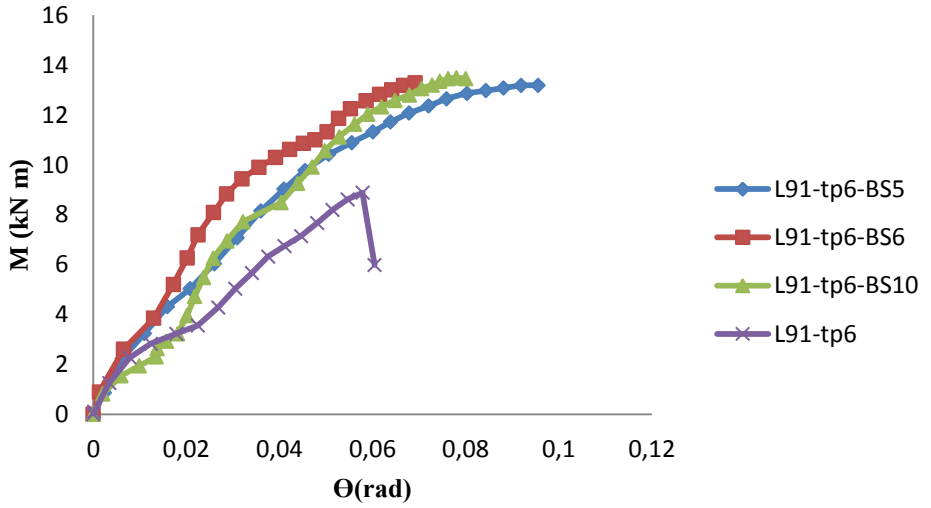
karşılaştırdığımızda; ΘMj_{max} değerleri %21,98 ile %52,75 değerleri arasında azalmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Θ_{Cd} değerleri %14,28 ile %36,84 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Θ_{Cd} değerleri %20,89 ile %22,06 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Θ_{Cd} değerleri %24,74 ile %49,48 değerleri arasında azalmaktadır. Genel olarak dönme değerlerine bakıldığında L82 modellerinde artış görülmüştür. Yani başlık genişliği kiriş genişliğine eşit olan birleşimlerde Θ_{Cd} değeri artmaktadır. Eğer dönmeyi iyileştirme düşüncesinde olursak birleşim genişliği başlık genişliğine eşit olmalıdır.

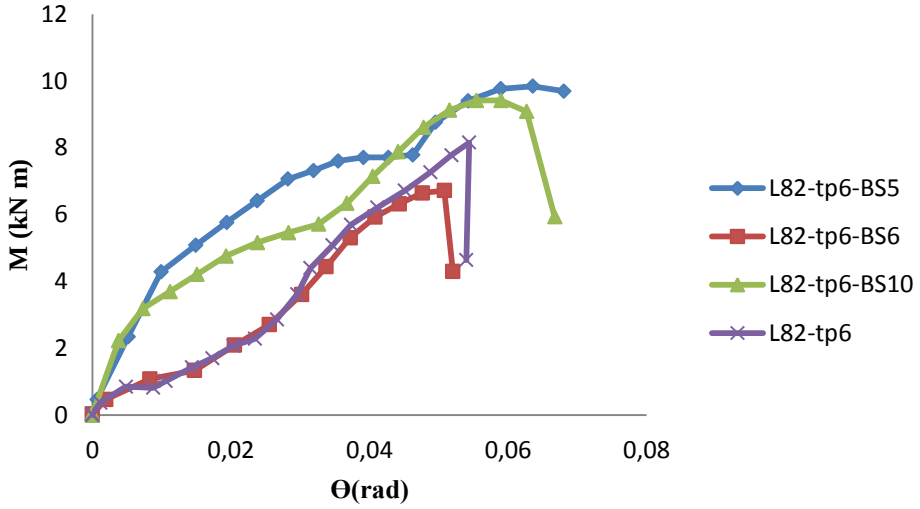
L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; süneklik (Ψj) değerleri %69,60 ile %81,55 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Ψj değerleri %15,09 ile %53,21 değerleri arasında azalmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Ψj değerleri %3,99 ile %27,09 değerleri arasında artmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; birleşim süneklik ($\Psi_{j.maxload}$) değerleri %70,49 ile %82,7 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $\Psi_{j.maxload}$ değerleri %20,93 ile %55,00 değerleri arasında azalmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $\Psi_{j.maxload}$ değerleri %5,50 ile %3,62 değerleri arasında artmaktadır. Sonuç olarak sünekliknin fazla olmasını istiyor isek birleşim genişliğini başlık genişliğinden fazla tutulması gerekmektedir.

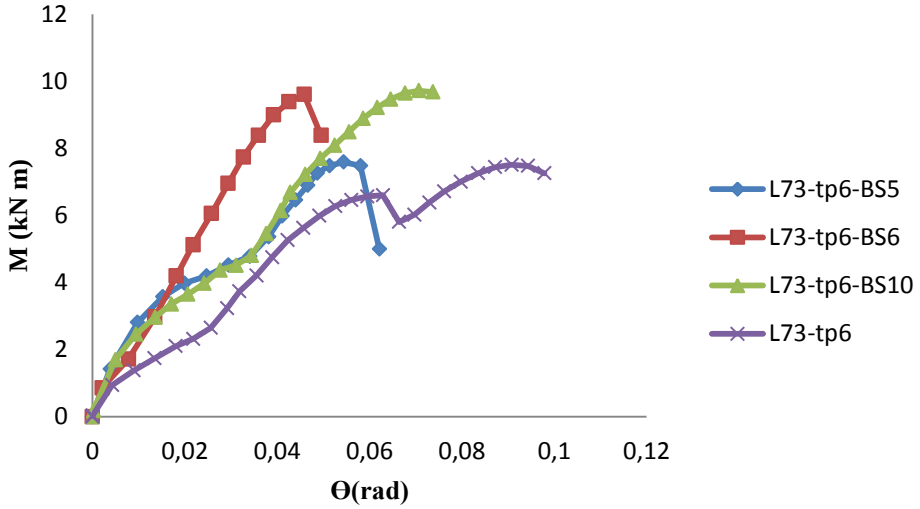
L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; enerji yutma kapasitesi değerleri %42,65 ile %57,49 değerleri arasında artmaktadır. L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; enerji yutma kapasitesi değerleri %31,46 ile %35,47 değerleri arasında artmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; enerji yutma kapasitesi değerleri %35,47 ile %36,90 değerleri arasında azalmaktadır. Sonuç olarak kirişte berkitme kullanıldığında ve birleşimin genişliği başlık genişliğine eşit ya da büyük olduğunda enerji yutma kapasitesi de artmaktadır.



Şekil 4.100. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10 ve L91-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.101. L82-t_p6-BS5, L82-t_p6-BS6, L82-t_p6-BS10 ve L82-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.102. L73-t_p6-BS5, L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10 ve L73-t_p6 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.14. Deneylerin moment ve dönme kapasitelerinin karşılaştırılması

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{\Theta Cd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
L91-t_p6-BS5 (1)	2.23-11.709	9.77	13.18	13.17	1.66	0.29	5.72	0.031	0.0061	0.064	0.092	0.095	3.06	2.97	0.626
L91-t_p6-BS6 (2)	2.60-9.43	8.08	13.27	13.26	1.54	0.37	4.11	0.017	0.0065	0.032	0.069	0.07	4.12	4.06	0.464
L91-t_p6-BS10 (3)	1.53-11.11	9.25	13.48	13.45	1.13	0.45	2.51	0.032	0.0059	0.053	0.078	0.08	2.5	2.44	0.538
L91-t_p6 (4)	2.27-6.31	2.82	8.87	5.98	1.40	0.56	2.41	0.079	0.0078	0.0375	0.057	0.060	0.76	0.72	0.2661
L82-t_p6-BS5 (5)	4.29-9.41	7.32	9.84	9.70	2.00	0.22	9.09	0.015	0.0099	0.054	0.064	0.068	4.5	4.27	0.3346
L82-t_p6-BS6 (6)	1.08-5.92	3.61	6.718	4.30	0.81	0.48	1.67	0.021	0.0083	0.041	0.051	0.052	2.48	2.43	0.1747
L82-t_p6-BS10 (7)	3.18-8.61	4.76	9.41	5.94	2.95	0.52	5.63	0.019	0.0073	0.047	0.058	0.067	3.53	3.05	0.315
L82-t_p6 (8)	0.853-5.70	2.081	8.155	4.64	0.76	0.48	1.57	0.01	0.0048	0.037	0.054	0.053	5.3	5.40	0.2159
L73-t_p6-BS5 (9)	2.81-6.90	5.36	7.59	4.99	1.44	0.34	4.23	0.019	0.0097	0.047	0.054	0.062	3.26	2.84	0.235
L73-t_p6-BS6 (10)	0.86-8.38	5.124	9.38	8.38	1.099	0.46	2.39	0.014	0.0021	0.036	0.043	0.049	3.5	3.07	0.2298
L73-t_p6-BS10 (11)	2.45-8.09	4.80	9.71	9.68	1.20	0.38	3.16	0.017	0.0093	0.052	0.071	0.073	4.29	4.18	0.3544
L73-t_p6 (12)	0.943-6.28	5.62	7.51	7.26	1.55	6.32	0.24	0.031	0.0043	0.053	0.091	0.097	3.13	2.9	0.3642

Şekil 4.103-4.114'de görüldüğü gibi kesme birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt civatalarda ise uzamalar meydana gelmiştir. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar olmuştur.



Şekil 4.103. L91-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.104. L91-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.105. L91-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.106. L91-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.107. L82-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



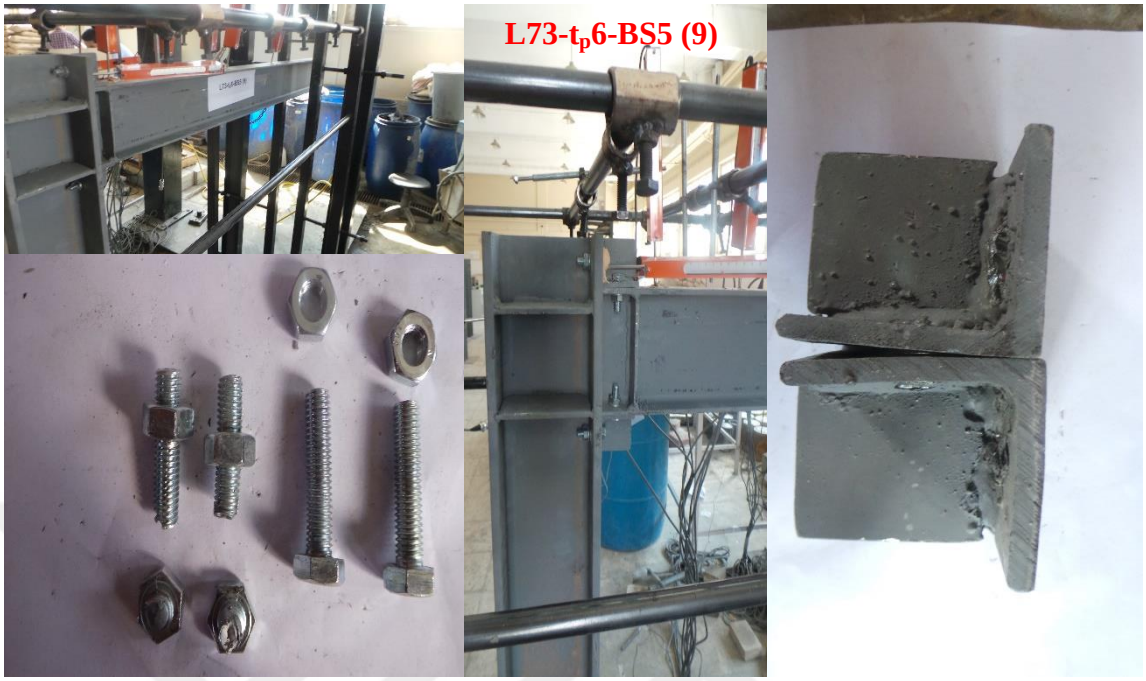
Şekil 4.108. L82-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.109. L82-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.110. L82-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



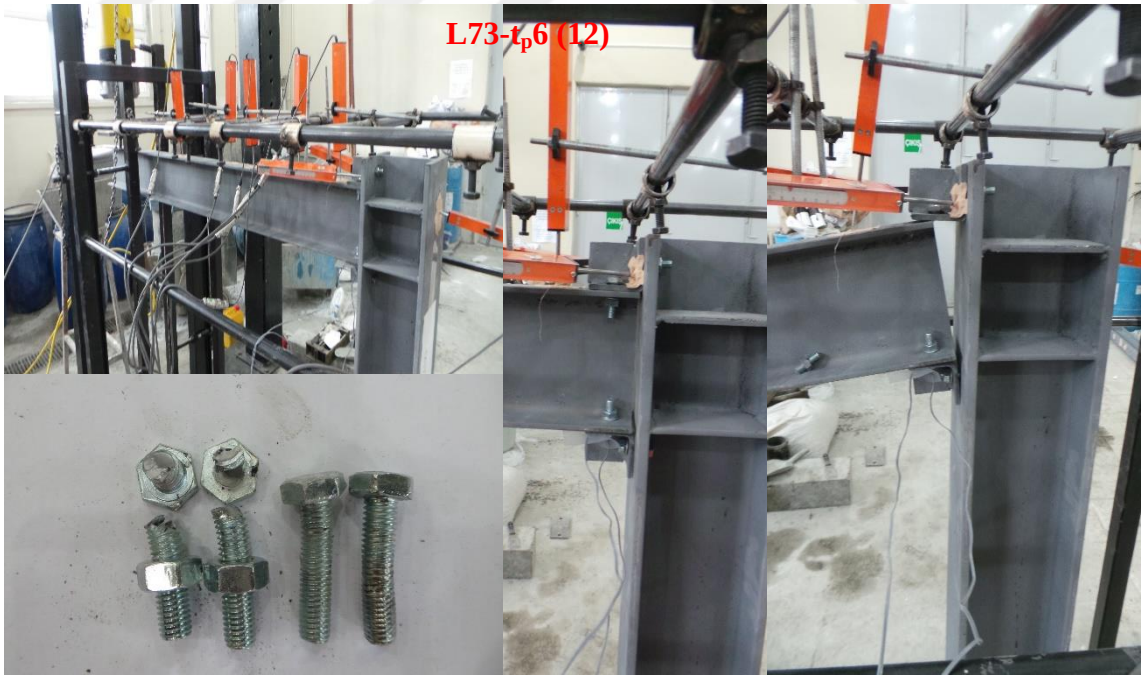
Şekil 4.111. L73-t_p6-BS5 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.112. L73-t_p6-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

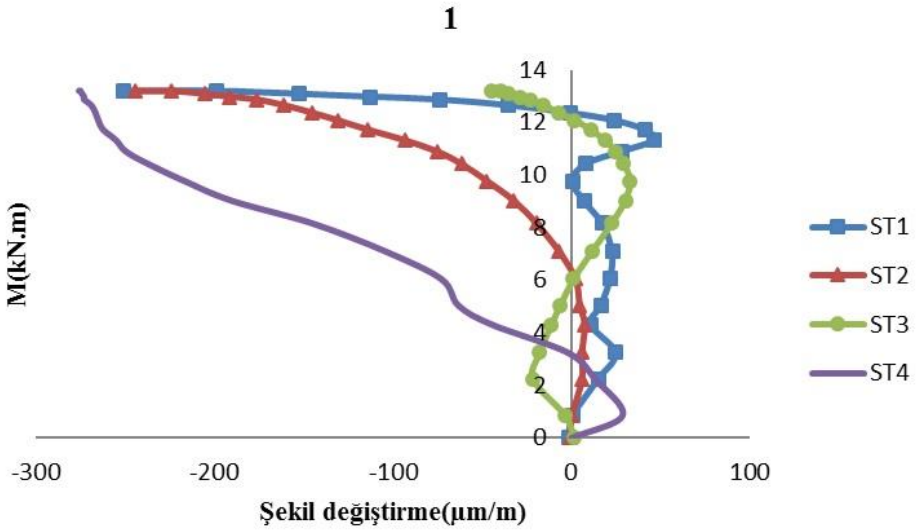


Şekil 4.113. L73-t_p6-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

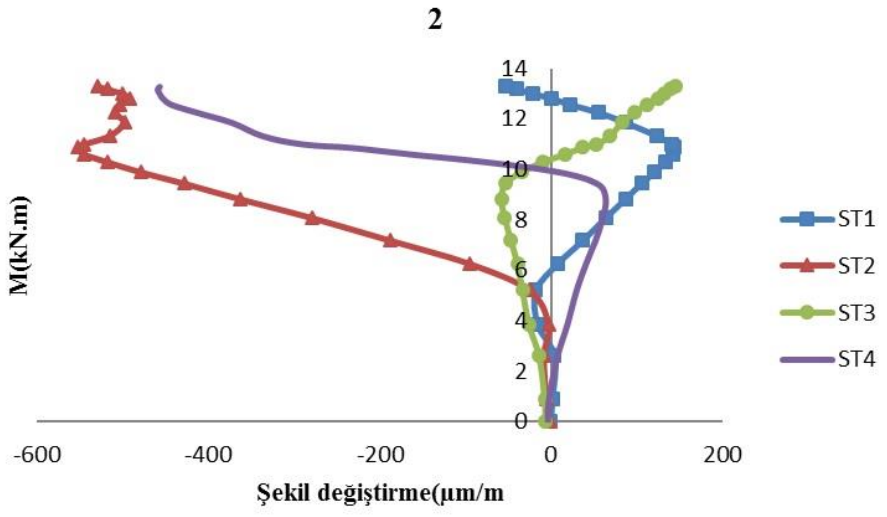


Şekil 4.114. L73-t_p6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

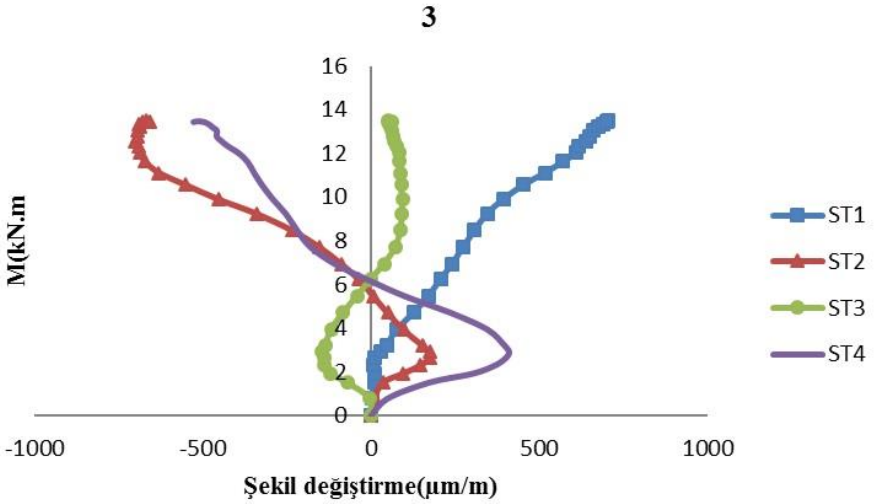
ST2 ve ST4 plastik bölgede kalırken (kirişe yatay olarak bağlanan şekil değiştirme ölçer(strain-gagueler)), ST1 ve ST3 (kirişe dikey olarak bağlanan gerilim-ölcerler) elastik bölgede kalmışlardır. Şekil 4.115-4.126'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



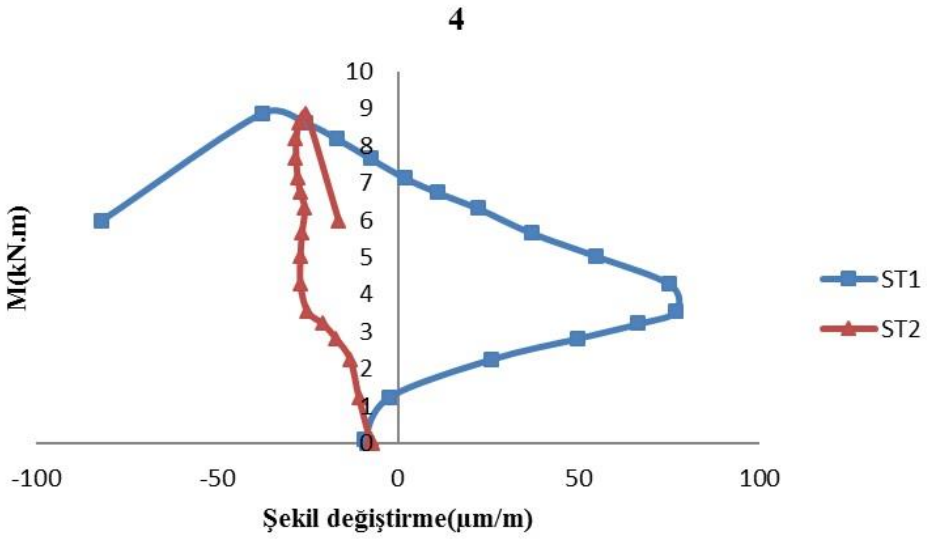
Şekil 4.115. L91-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



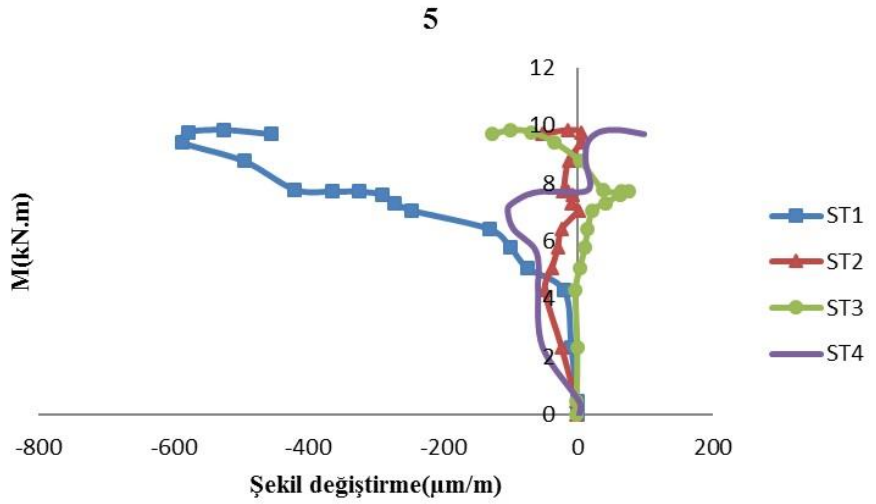
Şekil 4.116. L91-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



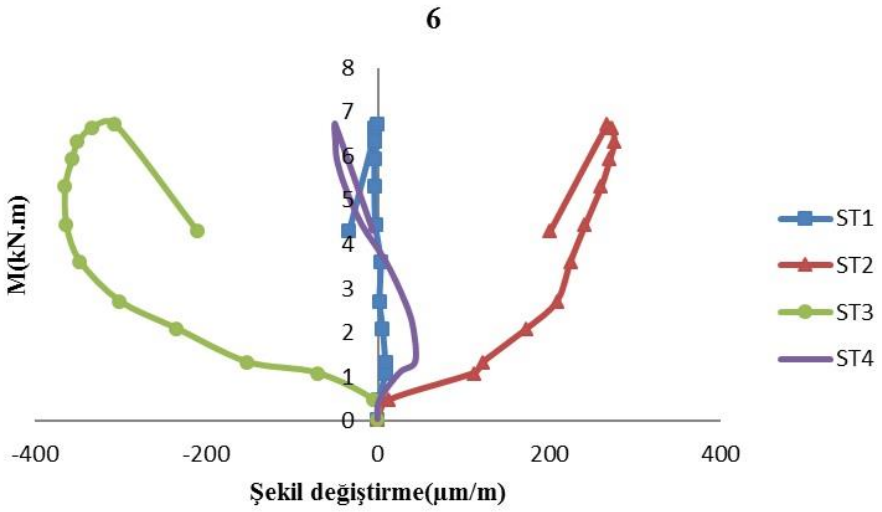
Şekil 4.117. L91-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



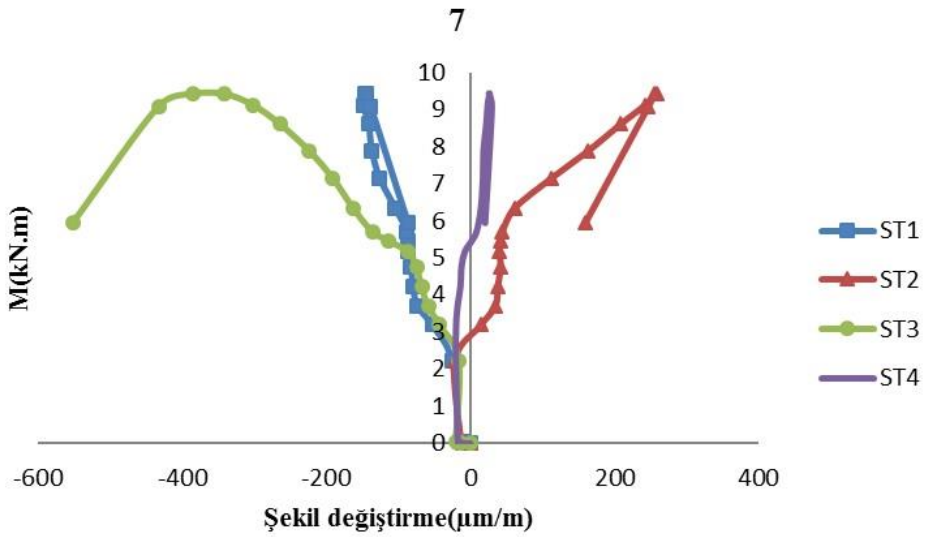
Şekil 4.118. L91-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



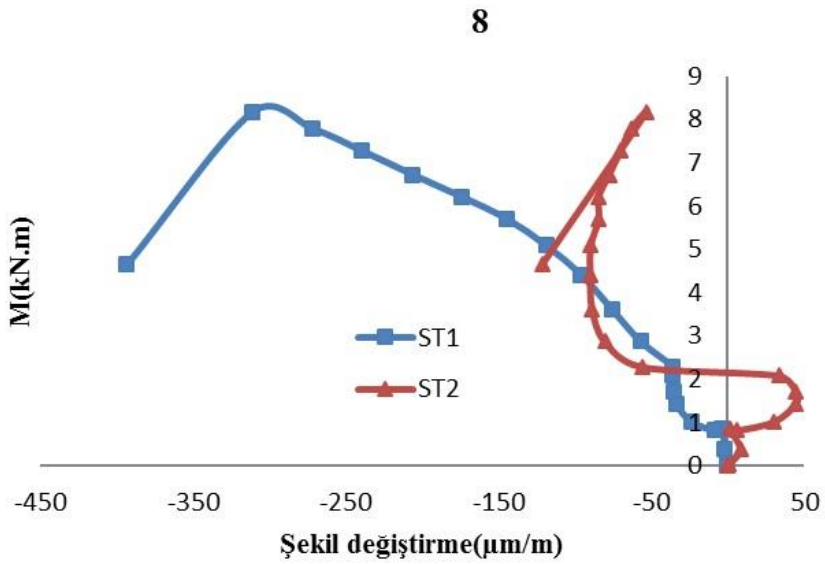
Şekil 4.119. L82-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



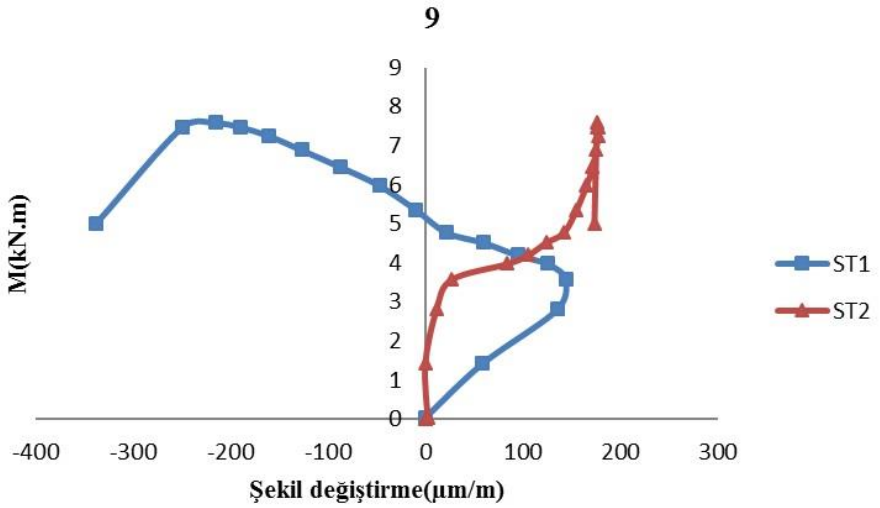
Şekil 4.120. L82-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



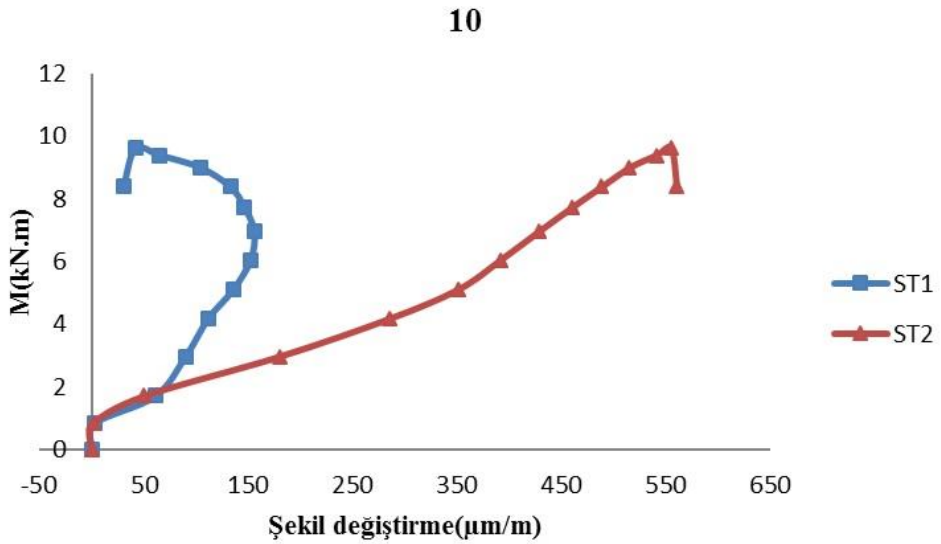
Şekil 4.121. L82-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



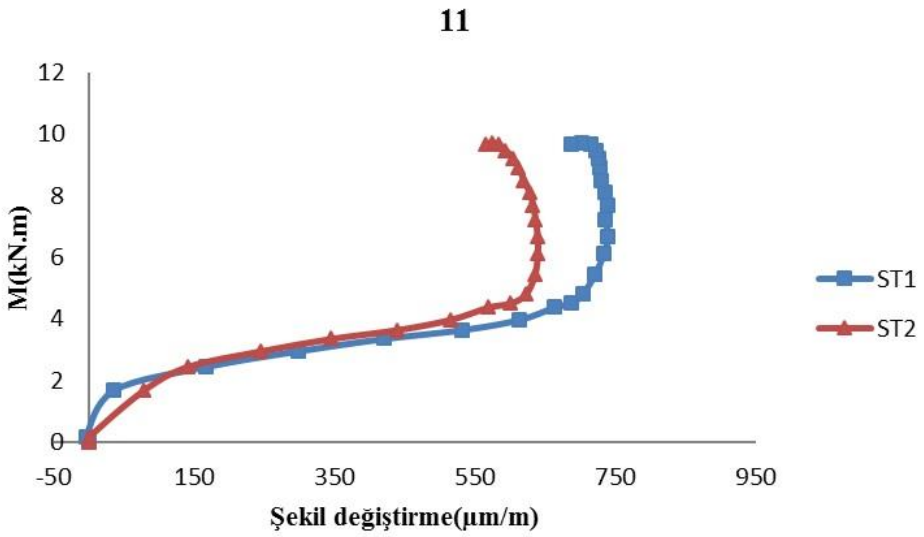
Şekil 4.122. L82-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



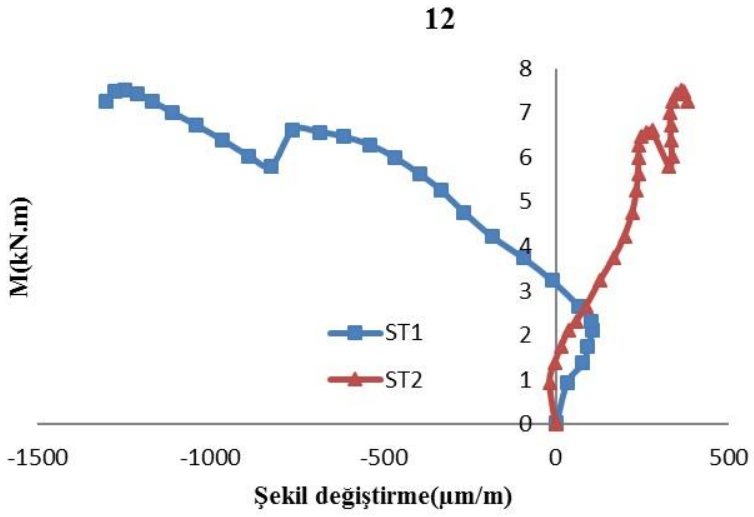
Şekil 4.123. L73-t_p6-BS5 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.124. L73-t_p6-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.125. L73-t_p6-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.126. L73-t_p6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

4.6.2. tp8 deneyler

Bu birleşimlere ait moment-dönme eğrileri Şekil 4.127, 4.128 ve 4.129 da ve Çizelge 4.15 görülmektedir. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde Mj.Rd değerlerini karşılaştırdığımızda; korniyer berkitmesinin

kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde Mj.Rd %5,56 oranında azalırken, 8 mm olduğu deneylerde Mj.Rd %59,93 oranında artmıştır.

Köşebent genişliği 82 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %39,82 oranında Mj.Rd değerinde azalma elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında Mj.Rd değerinde %22,02 oranında bir azalma görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %12,52 lik bir Mj.Rd değerinde artma ile sonuçlanmıştır.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda Mj.Rd değeri sırasıyla %10,25 ve %49,22 oranında azalırken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde rijitliğin %21,63 oranında arttığı görülmüştür.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %9,13 oranında bir $M_{j.max}$ değerinde artış elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $M_{j.max}$ değerinde %16,22 oranında bir artış görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %9,56 lik bir $M_{j.max}$ artışı ile sonuçlanmıştır.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $M_{j.max}$ %2,65 oranında azaltırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %9,67 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %7,20 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 10 mm olması durumunda $M_{j.max}$ değeri sırayla %4,56 ve %19,63 oranında artarken, 8 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $M_{j.max}$ %5,25 oranında azaldığı görülmüştür.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %150,76

oranında bir $M_{\Theta.Cd}$ artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 ve 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $M_{\Theta.Cd}$ değerinde sırasıyla %132,88 ve % 130,88 oranında bir artış görülmüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $M_{\Theta.Cd}$ %150,76 oranında artarken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %61,62 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %181,06 mertebesinde bir artış olduğu görülmektedir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olması durumunda $M_{\Theta.Cd}$ sırasıyla %24,75, %64,59 ve %107,44 oranında azalırken oranında arttığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, rijitlik kaybının en az ortaya çıktığı birleşimlerde berkitme kalınlığının 8 mm olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %66,13 oranında bir rijitlik artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında rijitlik değerinde %218,53 oranında bir artış görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %6,07 lik bir rijitlik azalması ile sonuçlanmıştır.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler rijitliği %40,98 oranında azaltırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %7,47 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %50 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda rijitlik sırasıyla %61,68 ve %70,56 oranında azalırken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde rijitliğin %81,47 oranında arttığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, rijitlik kaybının en az ortaya çıktığı birleşimlerde berkitme kalınlığının 8 mm olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %47,22 oranında $\Theta_{M.Rd}$ değerinde azalma elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $\Theta_{M.Rd}$ değerinde %38,38, 10 mm'lik numuneler için bu durum %5,50'lik bir $\Theta_{M.Rd}$ azalması olmuştur.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $\Theta_{M.Rd}$ %33,33 oranında azaltırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %42,86 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %61,90 mertebesinde bir a sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda $\Theta_{M.Rd}$ sırasıyla %158,33 ve %83,33 oranında artışa, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Theta_{M.Rd}$ %16,66 oranında arttığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, $\Theta_{M.Rd}$ kaybının en az ortaya çıktığı birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 mm olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %12,50 oranında $\Theta_{Mj.max}$ değerinde azalma elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $\Theta_{Mj.max}$ değerinde %17,86, 10 mm'lik numuneler için bu durum %3,57'lik bir $\Theta_{Mj.max}$ azalması olmuştur.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $\Theta_{Mj.max}$ %19,05 oranında azaltırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %1,58 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %1,58 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda $\Theta_{Mj.max}$ sırasıyla %38,33 ve %45,00 oranında azalırken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Theta_{Mj.max}$ %15,00 oranında azaldığı görülmüştür.

Köşebent genişliğinin 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %1,96 oranında Θ_{Cd} değerinde artış elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında Θ_{Cd} değerinde %3,92 oranında azalma, 10 mm'lik numuneler için bu durum %21,57'lik bir Θ_{Cd} artış olmuştur.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler Θ_{Cd} %18,18 oranında azaltırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %1,52 ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %3,03 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda Θ_{Cd} sırasıyla %20,00 ve %31,43 oranında artarken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde Θ_{Cd} %21,43 oranında azaldığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, en az dönmenin L91 serisinde en çok dönmenin ise L71 serisinde olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %93,29 oranında süneklik(Ψj) değerinde artış elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında süneklik(Ψj) değerinde %57,24 oranında artış, 10 mm'lik numuneler için bu durum %28,97'lik bir süneklik(Ψj) artış olmuştur.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler süneklik(Ψj) %22,93 oranında artış, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %77,71'lik artış ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %40,13 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olması durumunda süneklik(Ψj) sırasıyla %53,52, %28,30 ve %5,66 oranında azalma görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, birleşimin genişliği arttıkça süneklik değerinde artış olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %66,45 oranında bir $\Psi_{jmaxload}$ artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $\Psi_{jmaxload}$ değerinde %34,84 oranında bir artış görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %10,00 lik bir $\Psi_{jmaxload}$ artışı ile sonuçlanmıştır.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $\Psi_{jmaxload}$ %21,33 oranında artarken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %72,00 oranında artış ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %39,73 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda $\Psi_{jmaxload}$ sırasıyla %46,40 ve %21,00 oranında azalırken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Psi_{jmaxload}$ ın %2,00 oranında arttığı görülmüştür.

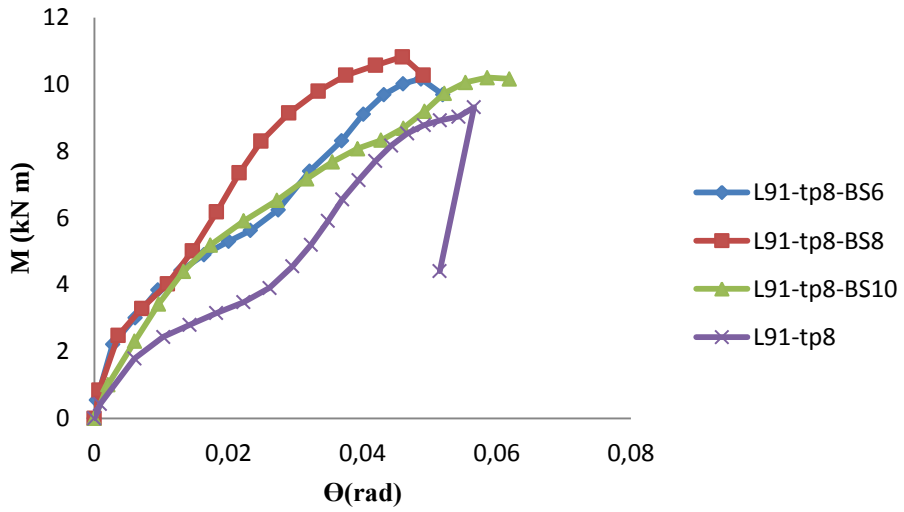
Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, berkitme kalınlığının artması ile $\Psi_{jmaxload}$ değerinde azalma olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %8,30 oranında enerji yutma kapasitesinde artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında enerji yutma kapasitesi değerinde %12,50 oranında bir artış görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %33,33'luk bir enerji yutma kapasitesinde artışı ile sonuçlanmıştır.

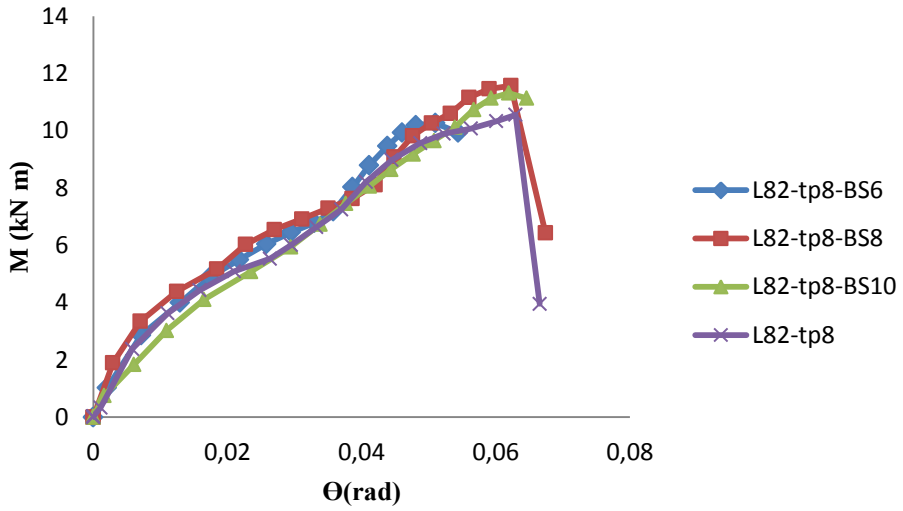
82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmelerde enerji yutma kapasitesinde %12,50 oranında azalırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %21,88 oranında artış ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %12,50 mertebesinde bir artışa sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6 ve 8 mm olması durumunda enerji yutma kapasitesinde sırasıyla %22,58 ve %22,58 oranında artarken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde enerji yutma kapasitesinde %6,45 oranında azalma olduğu görülmüştür.

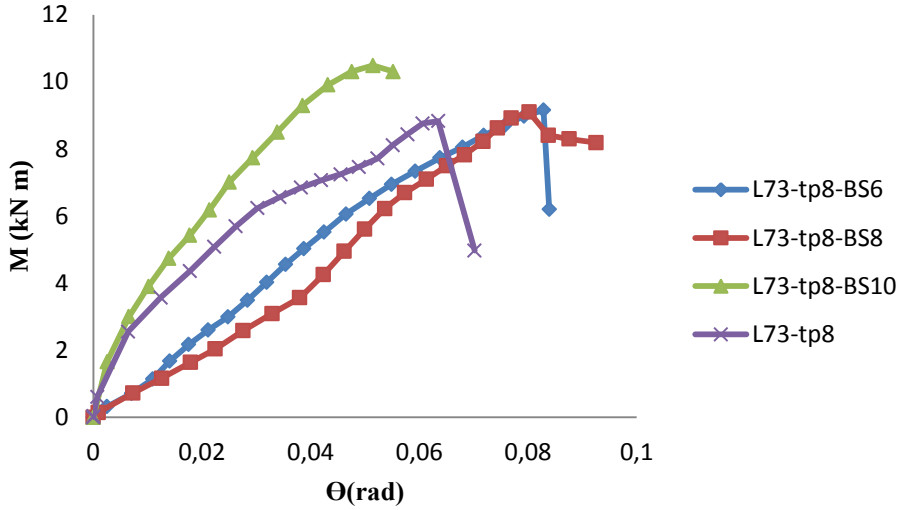
Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, genişlik ve kirişin berkitme kalınlığı arttıkça enerji yutma kapasitesinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.127. L91-t_p8-BS6, L91-t_p8-BS8, L91-t_p8-BS10 ve L91-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.128. L82-t_p8-BS6, L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10 ve L82-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

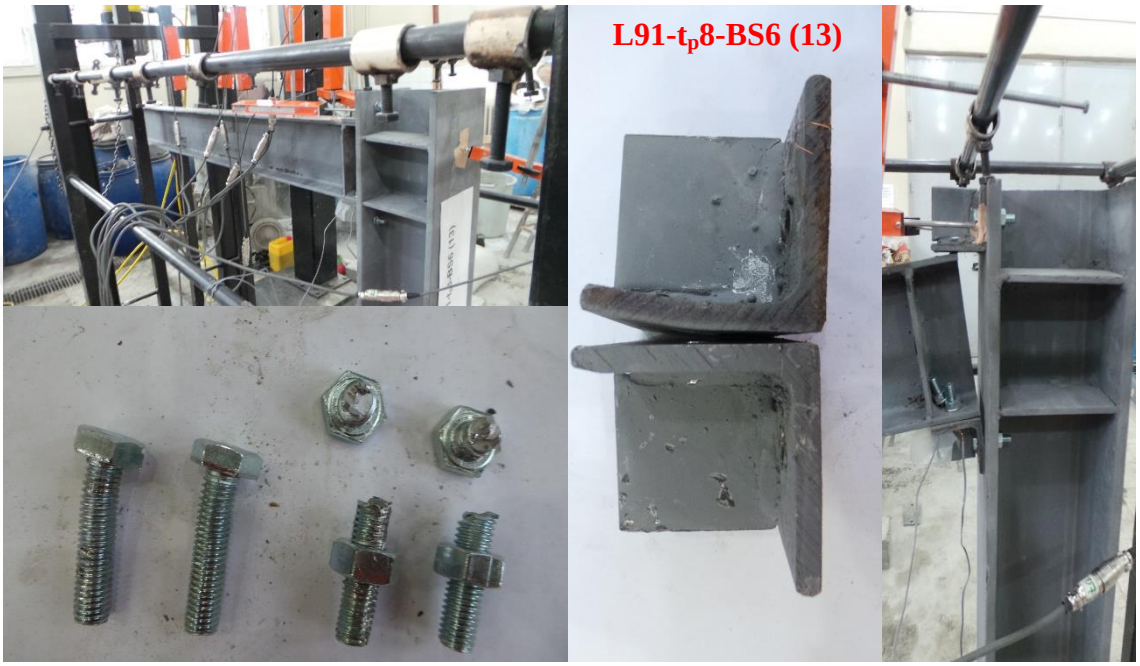


Şekil 4.129. L73-t_p8-BS6, L73-t_p8-BS8, L73-t_p8-BS10 ve L73-t_p8 korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.15. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ÖCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Ø_{M.Rd}$	$Ø_{Min.K.R}$	$Ø_{Msup.k.R}$	$Ø_{Mj.max}$	$Ø_{Cd}$			
L91-t_p8-BS6 (13)	2.21-9.11	4.90	10.16	9.69	2.080	0.40	5.2	0.0095	0.0027	0.040	0.049	0.052	5.47	5.16	0.26
L91-t_p8-BS8 (14)	2.49-9.80	8.30	10.82	10.27	2.4	0.24	9.97	0.011	0.0035	0.033	0.046	0.049	4.45	4.18	0.27
L91-t_p8-BS10 (15)	4.40-5.91	5.19	10.20	10.16	1.48	0.50	2.94	0.017	0.013	0.022	0.058	0.062	3.65	3.41	0.32
L91-t_p8 (16)	1.79-8.17	5.19	9.31	4.41	0.91	0.29	3.13	0.018	0.0059	0.044	0.056	0.051	2.83	3.10	0.2371
L82-t_p8-BS6 (17)	2.86-9.46	3.99	10.27	9.93	1.17	0.51	2.29	0.014	0.013	0.044	0.051	0.054	3.86	3.64	0.28
L82-t_p8-BS8 (18)	3.35-9.82	5.17	11.57	6.44	1.69	0.47	3.59	0.012	0.007	0.048	0.062	0.067	5.58	5.16	0.39
L82-t_p8-BS10 (19)	4.11-10.74	7.46	11.31	11.13	0.99	0.51	1.94	0.034	0.016	0.057	0.062	0.064	1.88	1.82	0.36
L82-t_p8 (20)	3.63-8.98	6.63	10.55	3.96	1.37	0.36	3.88	0.021	0.011	0.044	0.063	0.066	3.14	3.00	0.3165
L73-t_p8-BS6 (21)	0.71-5.52	4.56	9.16	6.20	0.89	0.59	1.51	0.031	0.0070	0.042	0.083	0.084	2.71	2.68	0.38
L73-t_p8-BS8 (22)	0.72-6.22	2.58	8.30	8.18	0.79	0.677	1.16	0.022	0.0072	0.054	0.087	0.092	4.18	3.95	0.38
L73-t_p8-BS10 (23)	3.001-9.29	6.18	10.48	10.31	2.23	0.31	7.15	0.010	0.0065	0.038	0.051	0.055	5.50	5.10	0.29
L73-t_p8 (24)	3.57-5.69	5.081	8.76	4.97	1.42	0.36	3.94	0.012	0.0065	0.026	0.060	0.070	5.83	5.00	0.306

Şekillerde görüldüğü gibi kesme birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt civatalarda ise uzamalar meydana gelmiştir. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar olmuştur.



Şekil 4.130. L91-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.131. L91-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.132. L91-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.133. L91-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



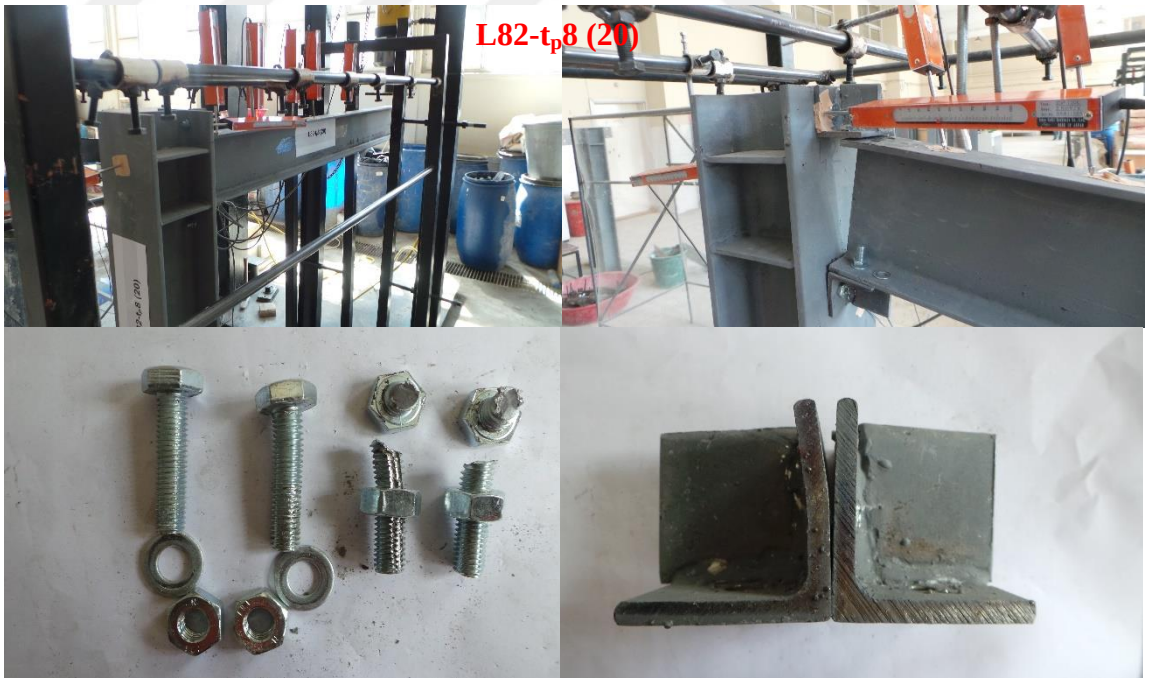
Şekil 4.134. L82-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.135. L82-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.136. L82-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.137. L82-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.138. L73-t_p8-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.139. L73-t_p8-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

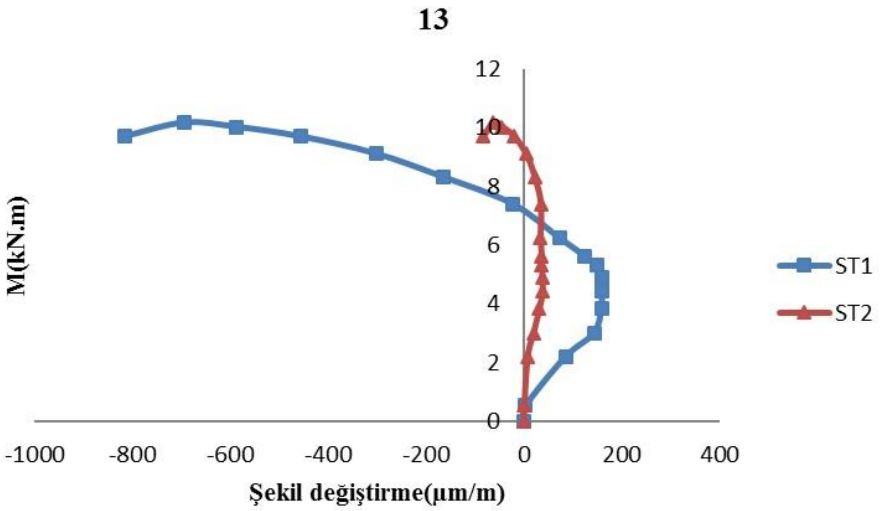


Şekil 4.140. L73-t_p8-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

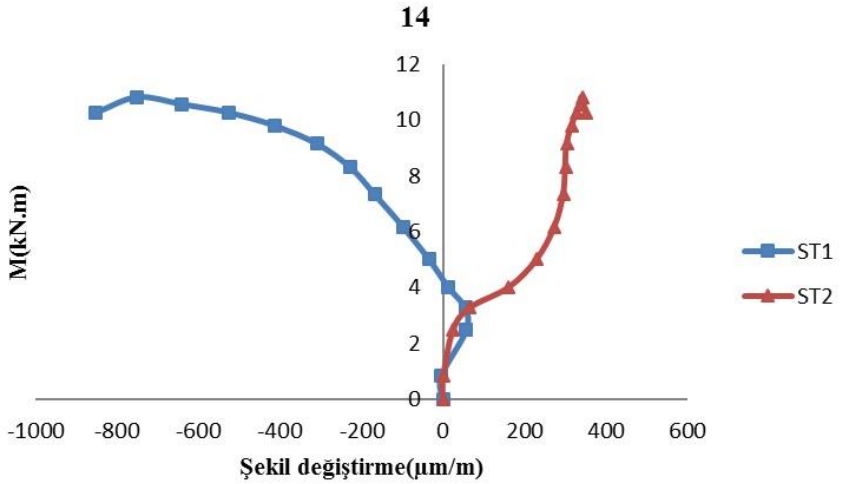


Şekil 4.141. L73-t_p8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

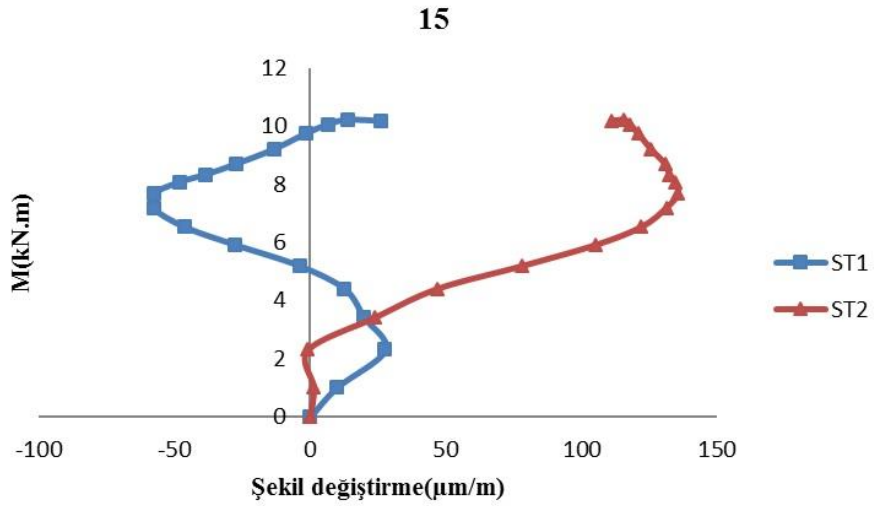
ST2 ve ST4 plastik bölgede kalırken (kirişe yatay olarak bağlanan gerilim ölçer(strain-gagueler)), ST1 ve ST3 (kirişe dikey olarak bağlanan gerilim ölçer) elastik bölgede olmuşlardır. Şekil 4.142-4.152'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



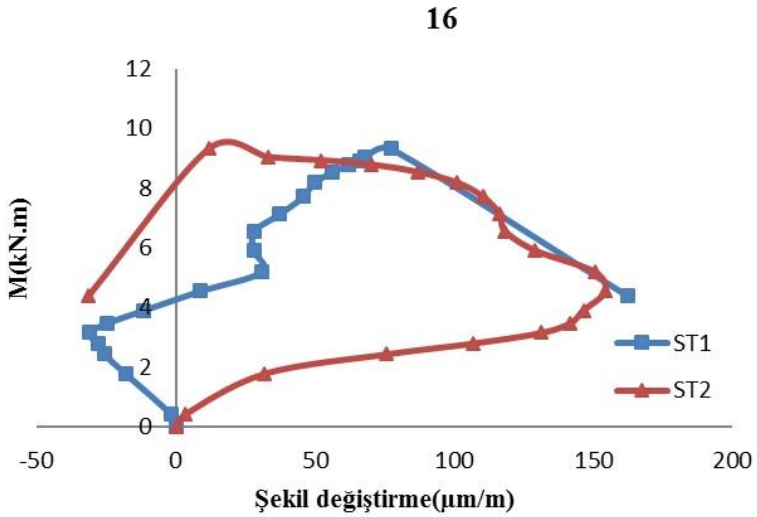
Şekil 4.142. L91-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



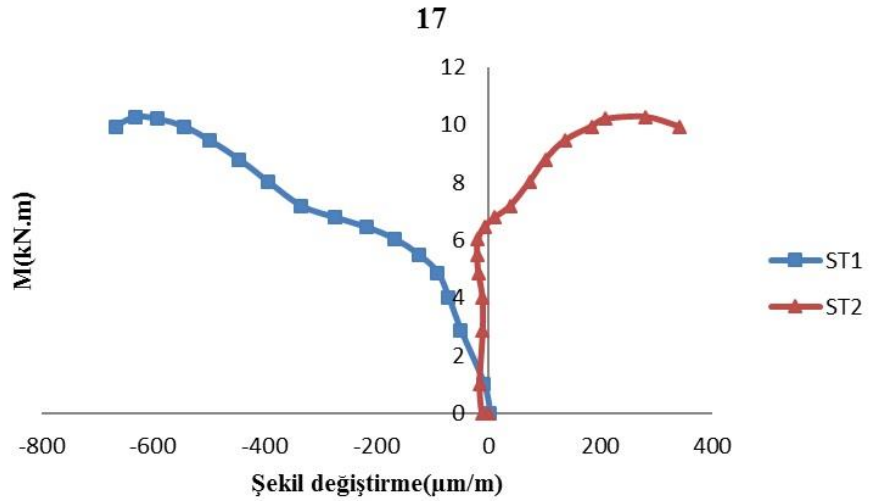
Şekil 4.143. L91-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



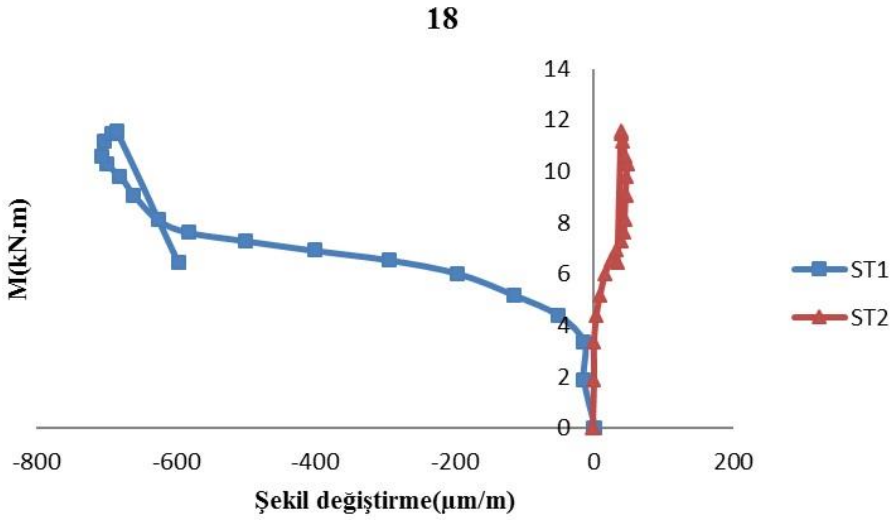
Şekil 4.144. L91-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



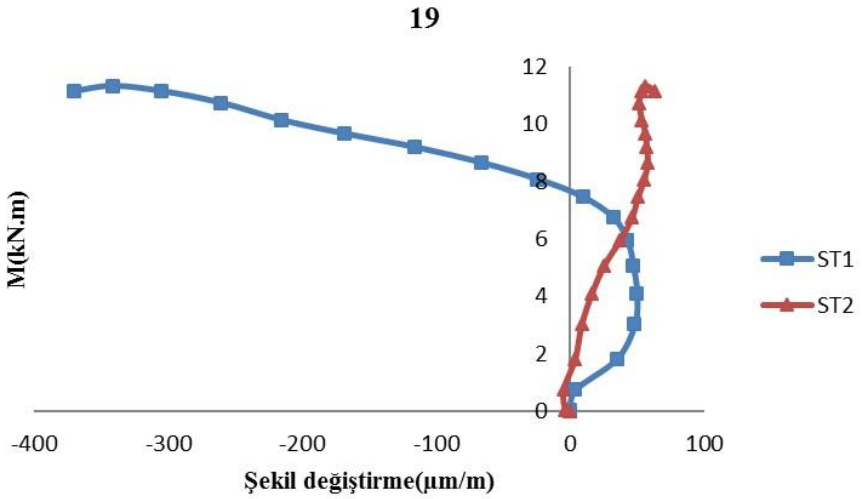
Şekil 4.145. L91-t_p8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



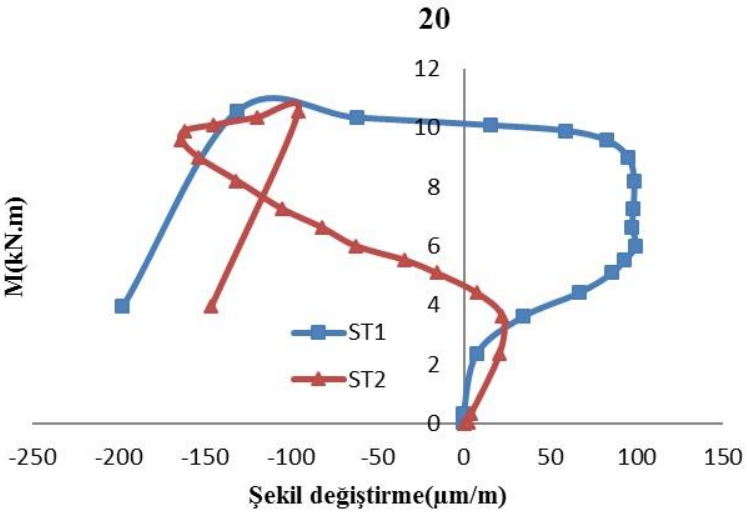
Şekil 4.146. L82-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



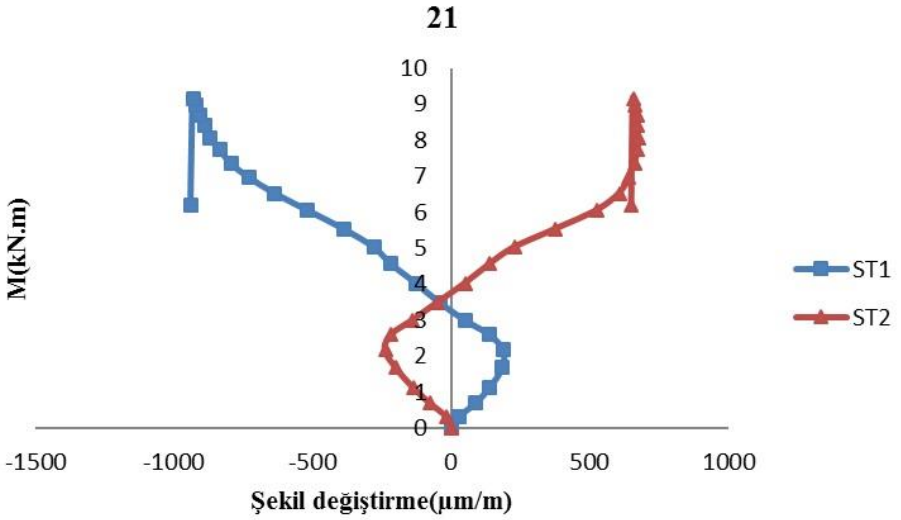
Şekil 4.147. L82-t_p8-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



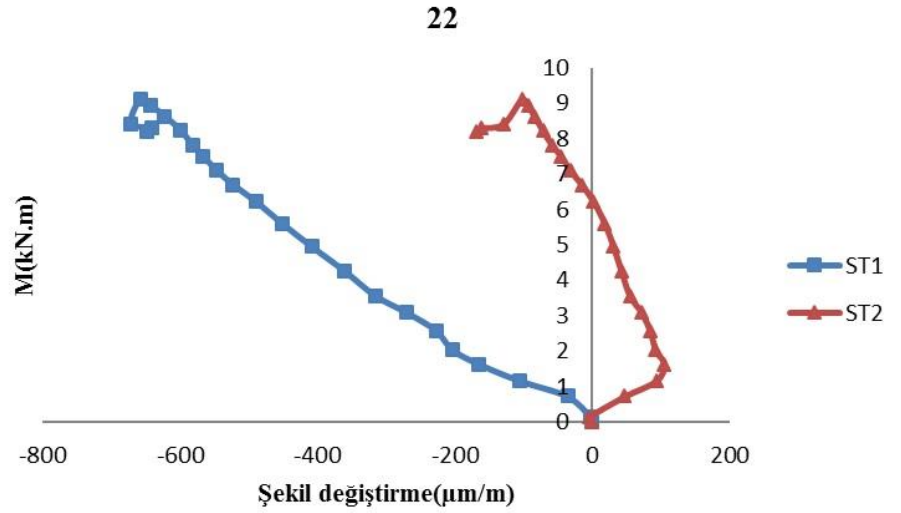
Şekil 4.148. L82-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



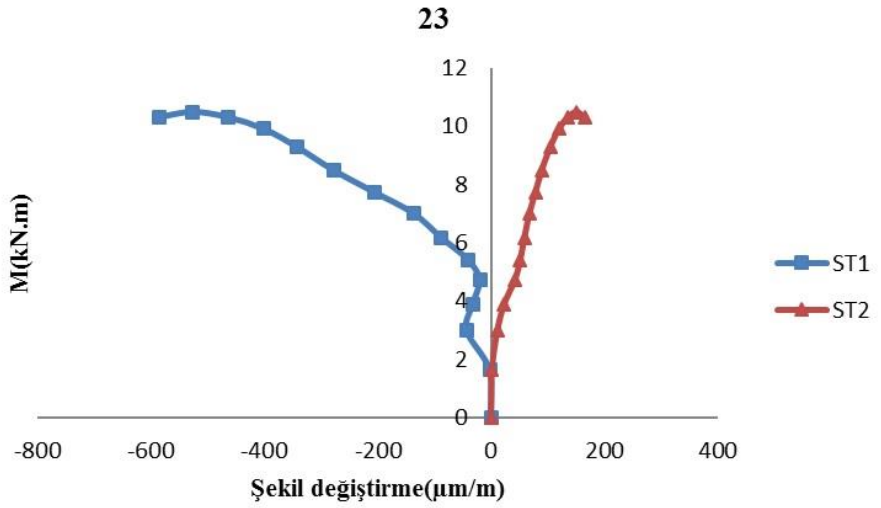
Şekil 4.149. L82-t_p8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.150. L73-t_p8-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.151. L73-t_p8-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.152. L73-t_p8-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

4.6.3. tp10 deneyler

Bu tip deneylere ait moment-dönme eğrileri Şekil 4.153, 4.154 ve 4.155 da ve Çizelge 4.16 görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %54,56 oranında Mj.Rd değerinde artış elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında Mj.Rd değerinde %20,54 oranında bir artış görülürken, 10 mm'lik numuneler için bu durum %59,54'lik bir Mj.Rd değerinde artma ile sonuçlanmıştır.

Köşebent genişliği 82 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %7,98 oranında bir Mj.Rd değerinde azalış elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında Mj.Rd değerinde %41,52 oranında bir artış görülürken, 10 ve 12 mm'lik numuneler için bu durum sırasıyla %10,00 ve %40,12'lik bir Mj.Rd artışı ile sonuçlanmıştır.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 12 mm olması durumunda Mj.Rd değeri sırayla %16,25 ve %18,02 ve %17,52 oranında artarken, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde Mj.Rd %47,60 oranında azaldığı görülmüştür.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 ve 10 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre sırasıyla %913,85 ve %18,92 oranında bir $M_{j.max}$ değerinde artış elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $M_{j.max}$ değerinde %34,46 oranında bir azalma görülmektedir.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 ve 10 mm'lik berkitmeler $M_{j.max}$ sırasıyla %2,05 ve %7,19 oranında azaltırken, 8 ve 12 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %2,05 ve %3,17 mertebesinde bir artış olmuştur.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8, 10 ve12 mm olması durumunda $M_{j.max}$ değeri sırayla %8,01, %4,06, %23,83 ve %6,29 oranında artarken, 8 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $M_{j.max}$ %5,25 oranında azaldığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak kirişin genişliği ve berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.max}$ değerinde artış olmuştur.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %40,41 oranında bir $M_{\Theta.Cd}$ artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 ve 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $M_{\Theta.Cd}$ değerinde sırasıyla %26,03 ve %73,29 oranında bir artış görülmüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler $M_{\Theta.Cd}$ %10,06 oranında azalırken, 8 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %68,11 artış ve 12 mm'lik deneylerde ise bu oran %17,80 mertebesinde bir azalma olduğu görülmektedir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8, 10 ve 12 mm olması durumunda $M_{\Theta.Cd}$ sırasıyla %49,74, %1,25, %51,72 ve %5,68 oranında azaldığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, kiriş berkitme kalınlığı ve birleşim genişliği arttıkça dayanım artış göstermiştir. En fazla ortaya çıktığı birleşim L91 grubunda 10 mm berkitme kalınlığında olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %81,40 oranında bir rijitlik azalması elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 ve 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında rijitlik değerinde sırasıyla %69,83 ve %24,34 oranında bir azalma görülümüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6, 8, 10 ve 12 mm'lik berkitmeler kullanılda rijitlik sırasıyla %46,84, %60,97, %38,82 ve %67,93 oranında azalma görülmüştür.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olması durumunda rijitlik sırasıyla %46,33, %50,57 ve %20,82 oranında azalma görülmüştür.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 8 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %425,00 oranında $\Theta_{M.Rd}$ değerinde artış elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $\Theta_{M.Rd}$ değerinde %175,00 oranında artış olduğu görülmüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6, 8, 10 ve 12 mm'lik berkitmeler $\Theta_{M.Rd}$ değeri sırasıyla %30,00, %110,00, %80,00 ve %170,00 oranında artış olduğu görülmüştür.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 12 mm olması durumunda $\Theta_{M.Rd}$ sırasıyla %138,80, %16,66 ve %144,44 oranında artışa, 10 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Theta_{M.Rd}$ %38,88 oranında azaldığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, $\Theta_{M.Rd}$ değeri kirişin berkitme kalınlığı ve birleşim genişliği arttıkça artış göstermektedir.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre sırasıyla %84,78, %41,30 ve %10,87 oranında $\Theta_{Mj.max}$ değerinde artış elde edilmiştir.

82 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 8, 10 ve 12 mm olması durumunda $\Theta_{Mj.max}$ sırasıyla %26,92, %5,77 ve %1,92 oranında artarken, 6 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Theta_{Mj.max}$ %13,46 oranında azaldığı görülmüştür.

73 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 8 ve 12 mm'lik berkitmeler $\Theta_{Mj.max}$ sırasıyla %129,33 ve %16,00 oranında artarken, 6 ve 10 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %5,33 ve %38,66 mertebesinde bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, $\Theta_{M.Rd}$ değeri kirişin berkitme kalınlığı artıkça azalmış, ancak birleşim genişliği arttıkça artış göstermektedir.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre sırasıyla %79,16, %41,66 ve %12,50 oranında Θ_{Cd} değerinde artış elde edilmiştir.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmeler Θ_{Cd} %9,26 oranında azaltırken, 8 ve 10 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %31,48 ve %11,11 oranında artış göstermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olması durumunda Θ_{Cd} sırasıyla %13,09, %38,09 ve %41,66 oranında azalırken, 12 mm'lik berkitmeli birleşimlerde Θ_{Cd} %8,33 oranında arttığı görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak berkitme kalınlığı arttıkça Θ_{Cd} değerinde artış olduğu görülmüştür.

Köşebent genişliğinin 91 mm olrak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %83,75 oranında süneklik(Ψj) değerinde artış elde edilmiştir. Aynı karşılaştırma 8 ve 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında süneklik(Ψj) değerinde sırasıyla %73,00 ve %59,08 oranında azalma görülmüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6, 8 ve 10 mm'lik berkitmeler süneklik(Ψj) değeri sırasıyla %30,19, %37,41 ve %38,33 oranında artış, 12 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %62,69'lik bir azalmaya sebebiyet vermiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8, 10 ve 12 mm olması durumunda süneklik(Ψj) sırasıyla %63,59, %46,89, %4,71 ve %55,67 oranında azalma görülmüştür.

Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak berkitme kalınlığında artış olduğu zaman süneklik değerinde azalma görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre %89,48 oranında bir $\Psi_{jmaxload}$ artışı elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 ve 10 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında $\Psi_{jmaxload}$ değerinde %73,13 ve %59,65 oranında bir azalma görülmüştür.

82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6, 8,10 ve 12 mm'lik berkitmeler $\Psi_{jmaxload}$ değeri sırasıyla %33,46, %39,61, %41,35 ve %62,31 oranında azalma görülmektedir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 8 ve 10 mm olması durumunda $\Psi_{jmaxload}$ sırasıyla %10,79 ve %0,23 oranında artarken, 6 ve 12 mm'lik berkitmeli birleşimlerde $\Psi_{jmaxload}$ sırasıyla %60,43 ve %52,52 oranında azaldığı görülmüştür.

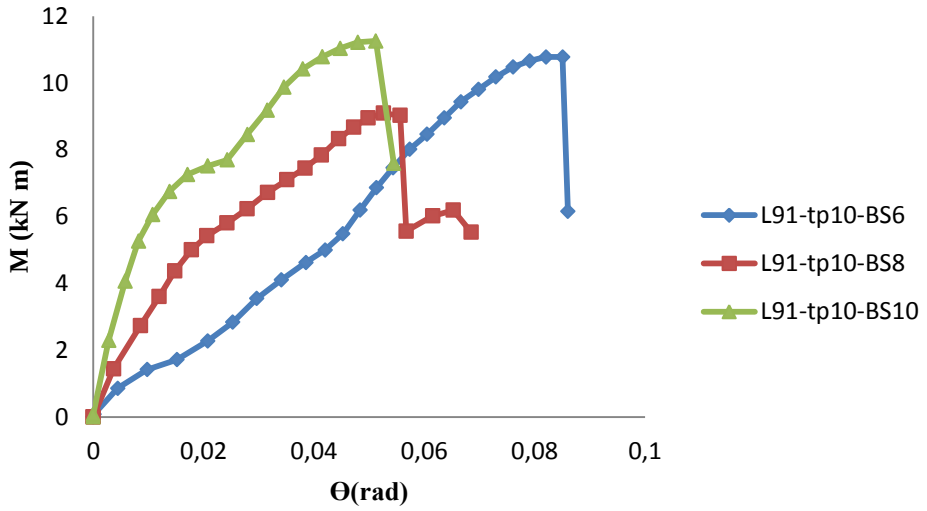
Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, berkitme kalınlığı arttıkça $\Psi_{jmaxload}$ değerinde artma olduğu görülmektedir.

Köşebent genişliği 91 mm olarak belirlendiği berkitmeli ve berkitmesiz birleşimlerde, berkitme kalınlığının 6 ve 10 mm olduğu deneylerde berkitmesiz birleşimlere göre sırasıyla %100,00 ve %30,43 oranında enerji yutma kapasitesinde azalma elde edilmektedir. Aynı karşılaştırma 8 mm berkitmeli numuneler için yapıldığında enerji yutma kapasitesi değerinde %8,69 oranında bir artış görülmüştür.

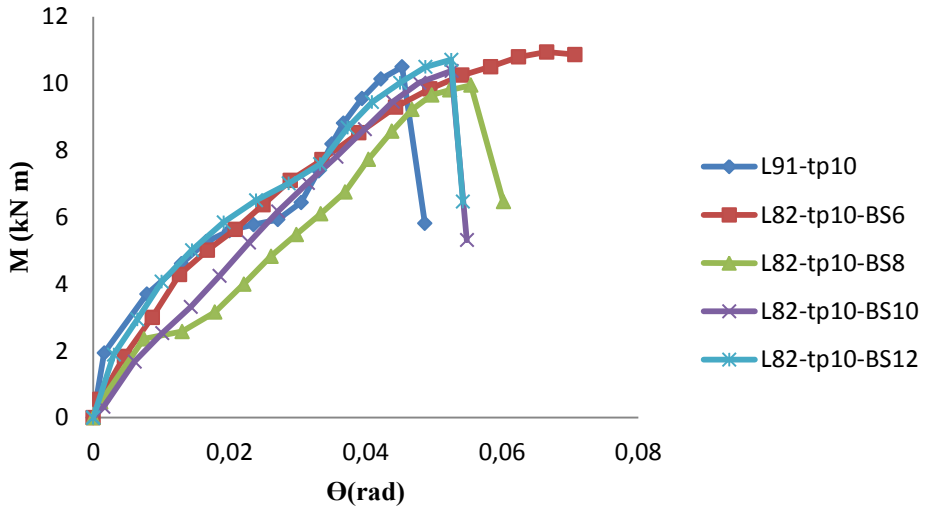
82 mm'lik köşebent kullanılan birleşimlerde, 6 mm'lik berkitmelerde enerji yutma kapasitesinde %10,34 oranında azalırken, 8 ve 10 mm'lik berkitmeli deneylerde bu oran %34,48 oranında artış ve 10 mm'lik deneylerde ise bu oran %3,44 mertebesinde bir artışa meydana gelmiştir.

73 mm'lik birleşimlerde berkitme kalınlığının 6, 8 ve 10 mm olması durumunda enerji yutma kapasitesinde sırasıyla %21,43, %40,48 ve %57,14 oranında azalma olduğu görülmüştür.

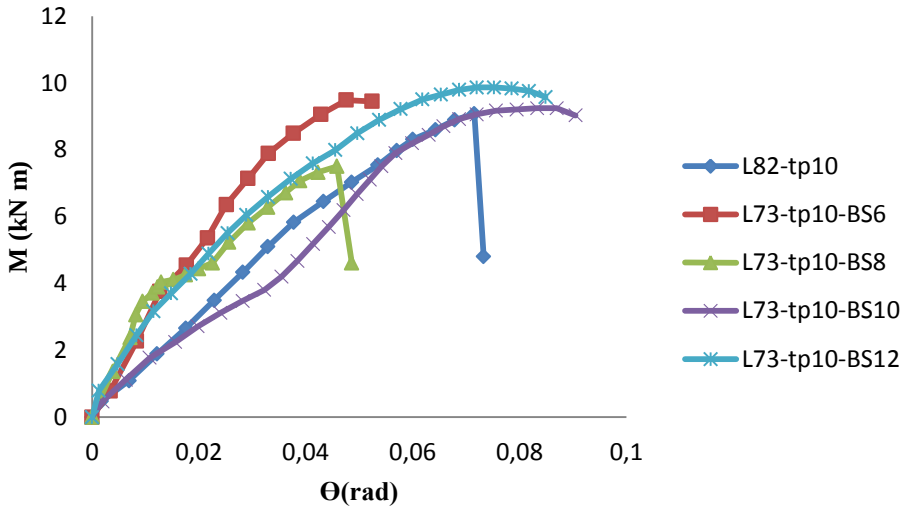
Genel anlamda 91, 82 ve 73 mm'lik köşebentli birleşimleri ele alacak olursak, genişlik ve kirişin berkitme kalınlığı arttıkça enerji yutma kapasitesinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.153. L91-t_p10-BS6, L91-t_p10-BS8, L91-t_p10-BS10 no'lu korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.154. L91-t_p10, L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

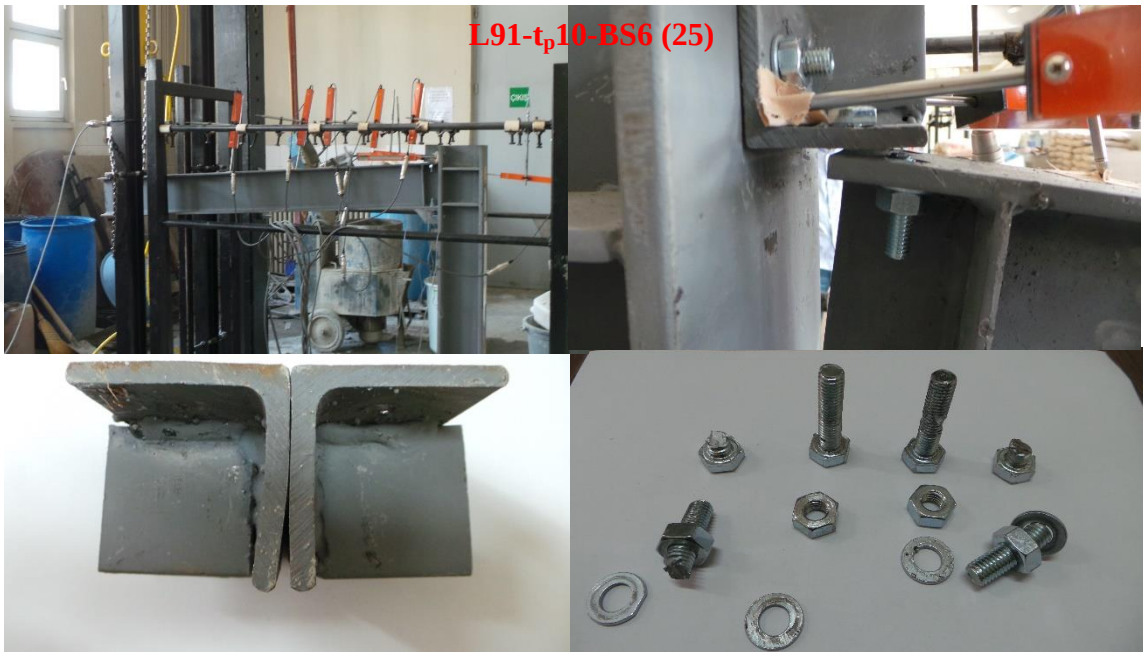


Şekil 4.155. L82-t_p10, L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS8, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.16. Deneylerin moment dönme değerleri ve karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
L91-t_p10-BS6 (25)	1.42-9.43	7.45	10.77	6.15	0.94	0.46	2.04	0.0039	0.0097	0.066	0.085	0.086	22.05	21.79	0.46
L91-t_p10-BS8 (26)	4.37-8.33	5.81	6.19	5.52	1.59	0.48	3.31	0.021	0.015	0.044	0.065	0.068	3.24	3.09	0.21
L91-t_p10-BS10 (27)	5.26-9.87	7.69	11.25	7.59	2.05	0.24	8.33	0.011	0.008	0.034	0.051	0.054	4.91	4.64	0.30
L91-t_p10 (29)	3.65-7.77	4.82	9.46	4.38	3.95	0.36	10.97	0.004	0.0039	0.029	0.046	0.048	12	11.5	0.23
L82-t_p10-BS6 (30)	3.69-9.54	4.61	10.49	5.81	1.26	0.50	2.52	0.013	0.0078	0.039	0.045	0.049	3.77	3.46	0.26
L82-t_p10-BS8 (31)	4.28-9.26	7.09	10.93	10.86	0.65	0.35	1.85	0.021	0.012	0.044	0.066	0.071	3.38	3.14	0.39
L82-t_p10-BS10 (32)	2.36-9.22	5.48	9.94	6.46	1.51	0.52	2.90	0.018	0.0074	0.047	0.055	0.060	3.33	3.05	0.30
L82-t_p10-BS12 (33)	2.53-7.81	7.02	10.37	5.31	0.78	0.51	1.52	0.027	0.010	0.035	0.053	0.054	2.0	1.96	0.28
L82-t_p10 (34)	2.94-9.44	5.01	10.71	6.46	2.04	0.43	4.74	0.01	0.0065	0.040	0.052	0.054	5.4	5. 2	0.2891
L73-t_p10-BS6 (35)	5.83-7.98	7.033	9.07	4.81	0.77	0.42	1.83	0.043	0.038	0.057	0.071	0.073	1.70	1.65	0.33
L73-t_p10-BS8 (36)	3.76-7.88	7.14	9.49	9.45	1.23	0.36	3.42	0.021	0.012	0.033	0.097	0.052	2.48	4.62	0.25
L73-t_p10-BS10 (37)	3.46-6.28	3.17	7.51	4.62	1.49	0.46	3.22	0.011	0.0094	0.033	0.046	0.049	4.45	4.18	0.18
L73-t_p10-BS12 (38)	1.77-8.45	7.11	9.24	9.026	1.05	0.39	2.70	0.044	0.011	0.063	0.087	0.091	2.07	1.98	0.42
L73-t_p10 (39)	2.44-8.49	6.05	9.86	9.57	1.48	0.43	3.41	0.018	0.0083	0.049	0.075	0.084	4.67	4.17	0.414

Şekil 4.156 den 4.169 görüldüğü gibi kesme birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt civatalarda ise uzamalar meydana gelmiştir. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar olmuştur.



Şekil 4.156. L91-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.157. L91-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.158. L91-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.159. L91-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



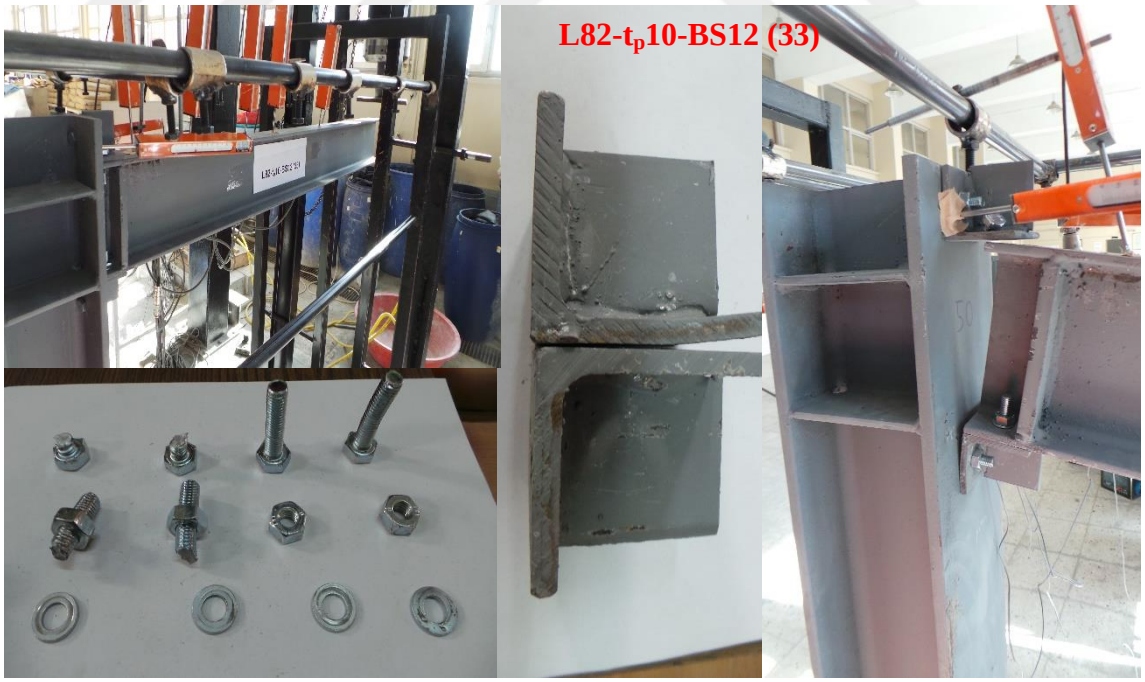
Şekil 4.160. L82-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.161. L82-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.162. L82-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.163. L82-t_p10-BS12 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.164. L82-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.165. L73-t_p10-BS6 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



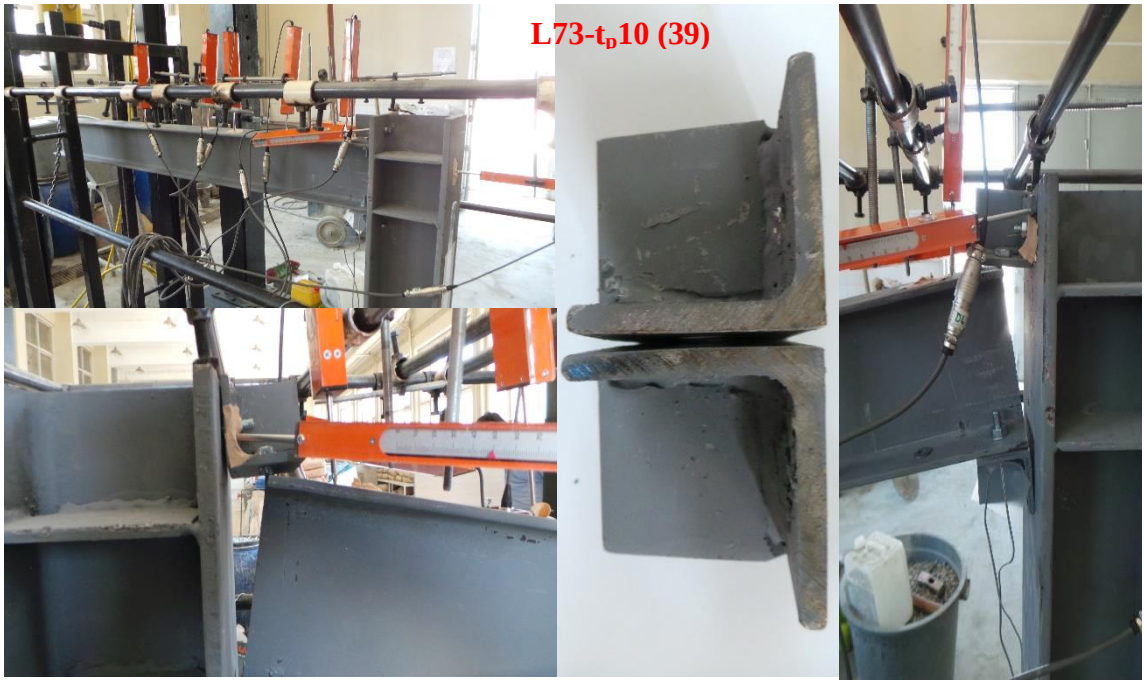
Şekil 4.166. L73-t_p10-BS8 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.167. L73-t_p10-BS10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

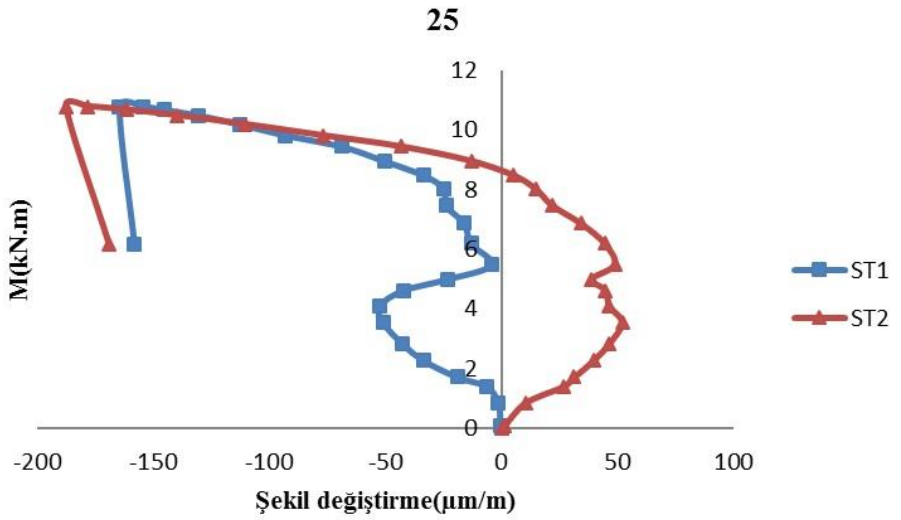


Şekil 4.168. L73-t_p10-BS12 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

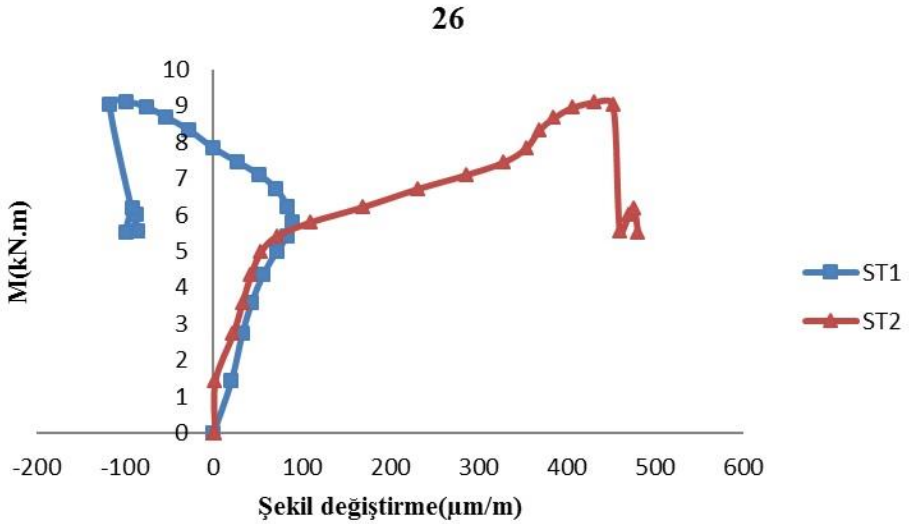


Şekil 4.169. L73-t_p10 deneyinin bulon kesme ve Kopma görüntüleri

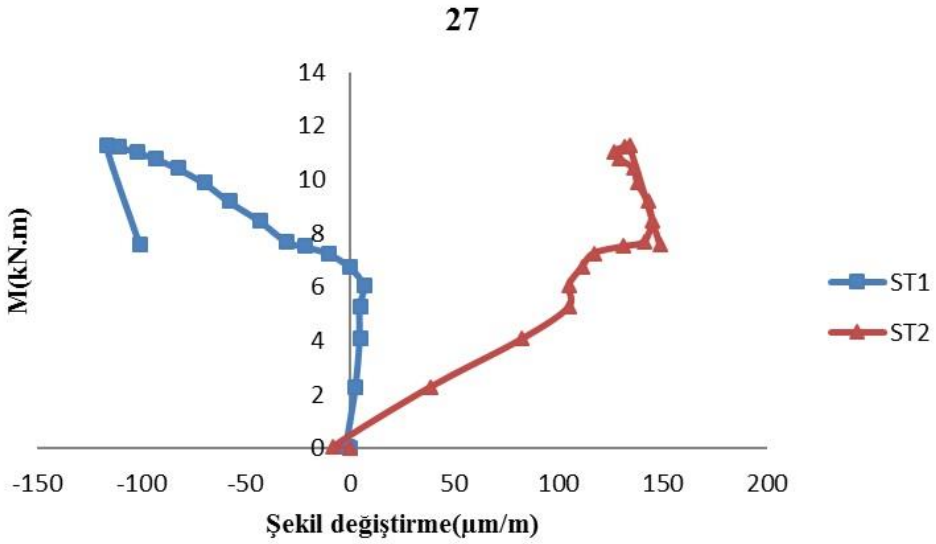
ST2 ve ST4 plastik bölgede kalırken (kirişe yatay olarak bağlanan şekil değiştirme ölçer(strain-gagueler)), ST1 ve ST3 (kirişe dikey olarak bağlanan strain-gaugeler) elastik bölgede olmuşlardır. Şekil 4.170-4.180'de bu birleşimlere ait moment-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



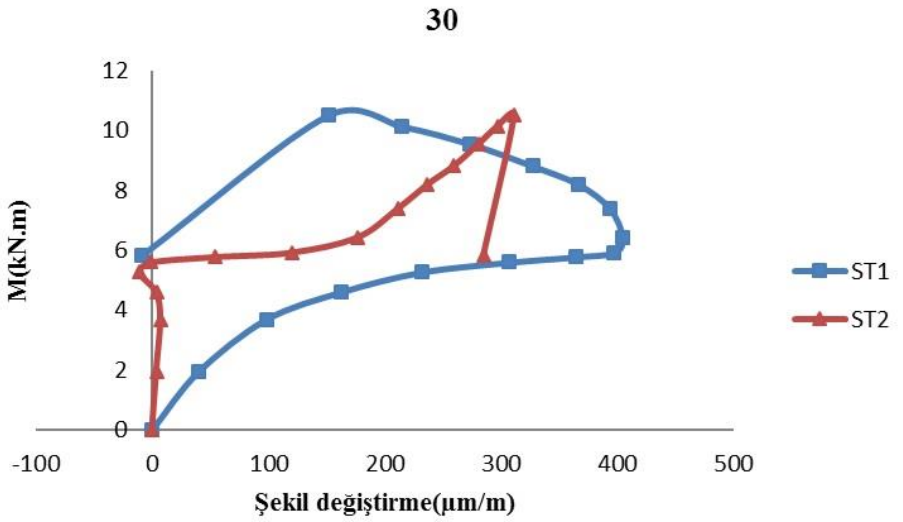
Şekil 4.170. L91-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



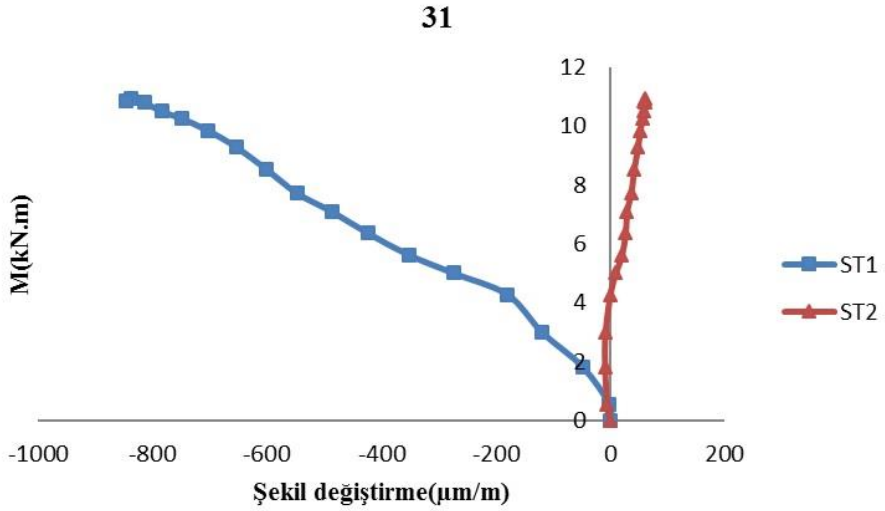
Şekil 4.171. L91-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



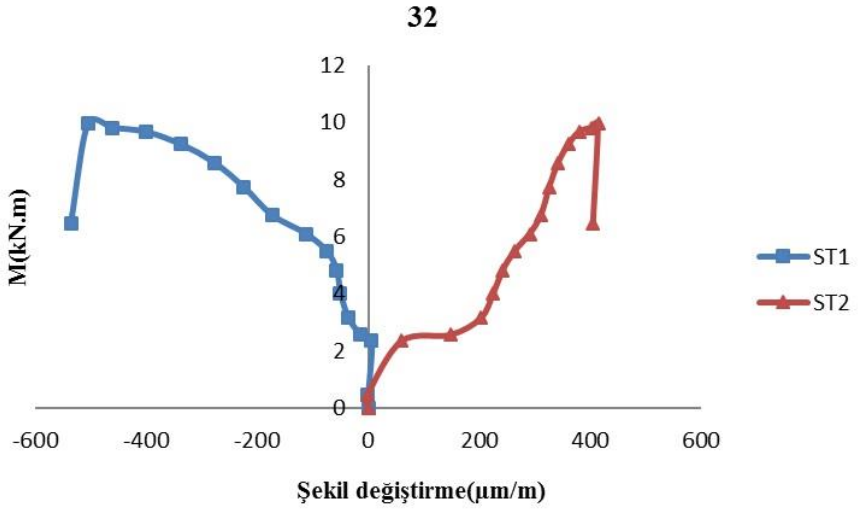
Şekil 4.172. L91-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



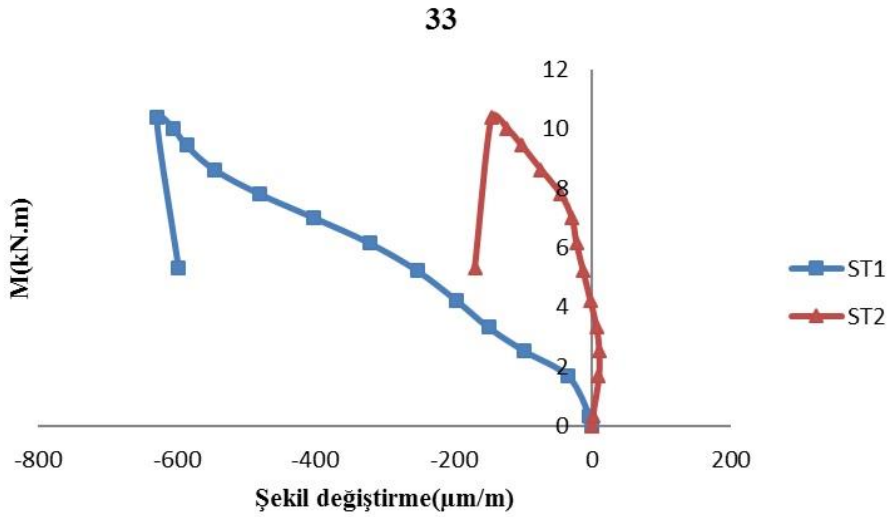
Şekil 4.173. L82-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



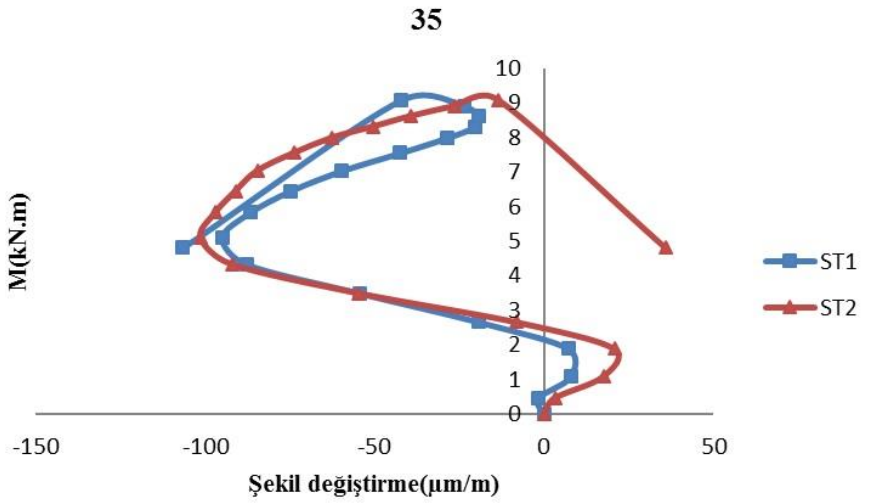
Şekil 4.174. L82-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



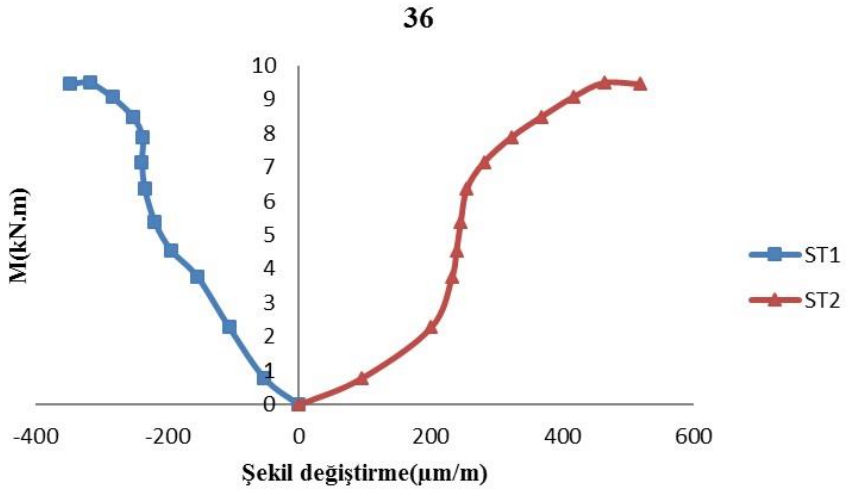
Şekil 4.175. L82-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



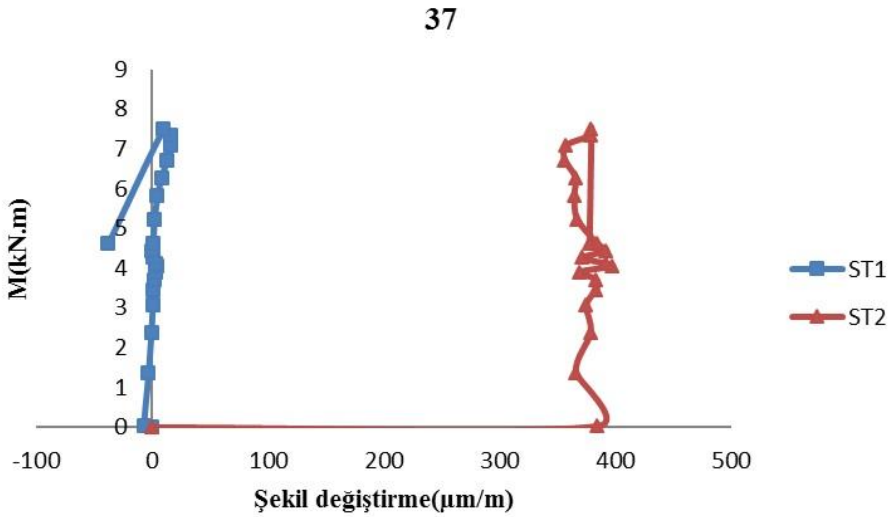
Şekil 4.176. L82-t_p10-BS12 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



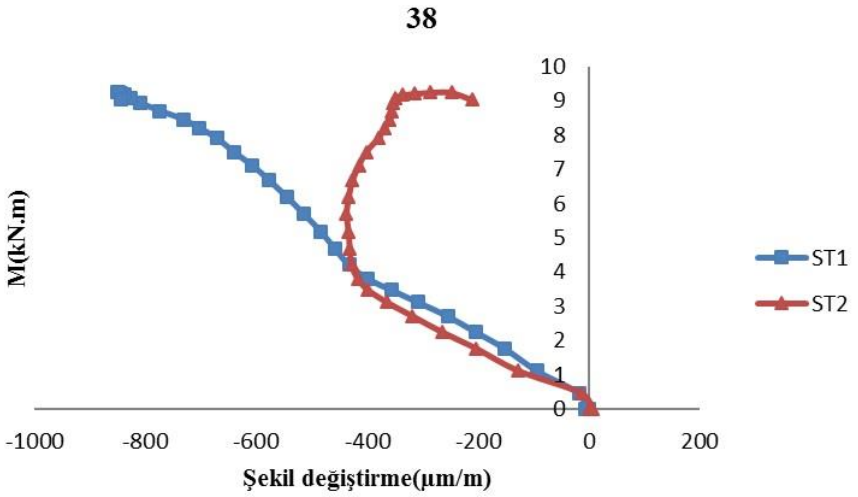
Şekil 4.177. L73-t_p10-BS6 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.178. L73-t_p10-BS8 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.179. L73-t_p10-BS10 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi



Şekil 4.180. L73-t_p10-BS12 deneyinin moment birim şekil değiştirme eğrisi

4.6.4. Berkitmeli köşebentlerle tanzim edilmiş berkitmesiz kirişli birleşimlerin davranışı

Berkitmeli köşebentlerle tanzim edilmiş berkitmesiz kirişli birleşimlerde, köşebent berkitmesinin kalınlığı 6 ve 10 mm olarak seçildiği durumlarda diz bölgesinin(knee range) genişliğinin %24.30 ve %31.90 oranında arttığı görülmüştür. Ancak, berkitme kalınlığının 8 mm olarak seçildiği deneylerde diz bölgesi(knee range) genişliğinin %20.94 azaldığı görülmüştür. 91 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6 ve 10 mm olan birleşimlerde diz bölgesi genişliğinin(knee range) sırasıyla %1.90 ve %36.68 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

L82 tipi birleşimlerde ise 6 ve 10 mm kalınlığındaki berkitmeler için elde edilen diz bölgesi artış oranı ise %9.90 ve %25.43 mertebesinde kalmıştır. Ancak L73 tipi birleşimlerde bu oran %11.78 dir. Genel anlamda köşebent boyunun artması, diz bölgesi genişliğini azaltırken, berkitme kalınlığındaki artışın diz bölgesi genişliğini artırtığı anlaşılmıştır.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde $M_{j.Rd}$ değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sırasıyla %49,82, %21,72 ve %36,61 artış görülmüştür. 91,

82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken $M_{j.Rd}$ sırasıyla %41,49-%45,66, %58,46-%68,61 ve %7,1 oranında artış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda $M_{j.Rd}$ değeri alt ve üst başlığın genişlik azaldıkça artma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.Rd}$ değeri artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde $M_{j.max}$ değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sırasıyla %7,9-%15,33, %5,9-%16,99 ve %7,9 artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken $M_{j.max}$ sırasıyla %4,72-%6,20, %22,70-%23,85 ve %14,3-%23,8 oranında artış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda $M_{j.max}$ değeri alt ve üst başlığın geneşliği azaldıkça artma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.max}$ değeri artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde MΘ.Cd değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sırasıyla %17,63-%36,06, %11,27-%20,32 ve %32,49-%54,23 artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6 ve 10 mm grup deneylerde rijitlik değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sırasıyla %84,71-%90,04 ve %59,25-%68,91 artış görülmüştür. Bu oranlar köşebent berkitmesinin kalınlığı 8mm grup deneylerde rijitlik değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça azalmıştır. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken rijitlik sırasıyla %23,00-%78,03, %59,53-%70,91 ve %92,96-%93,90 oranında artış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda rijitlik değeri alt ve üst başlığın geneşliği azaldıkça artma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça rijitlik değeri artış görülmüştür.

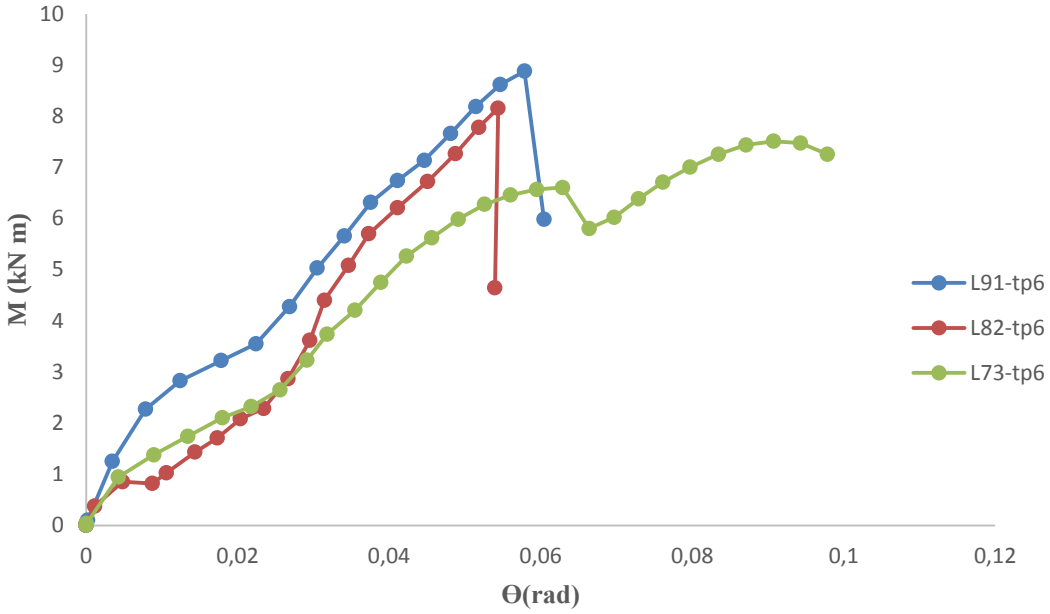
köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde $Θ_{Mj.max}$ değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sırasıyla %68,85-%70,17, %7,14-%12,50 ve %13,04-%63,04 azalma görülmüştür. 91 ve 82 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş

berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken $\Theta_{Mj.max}$ sırasıyla %1,70-%23,91ve %3,84-%16,66 oranında azalma görülmüştür.

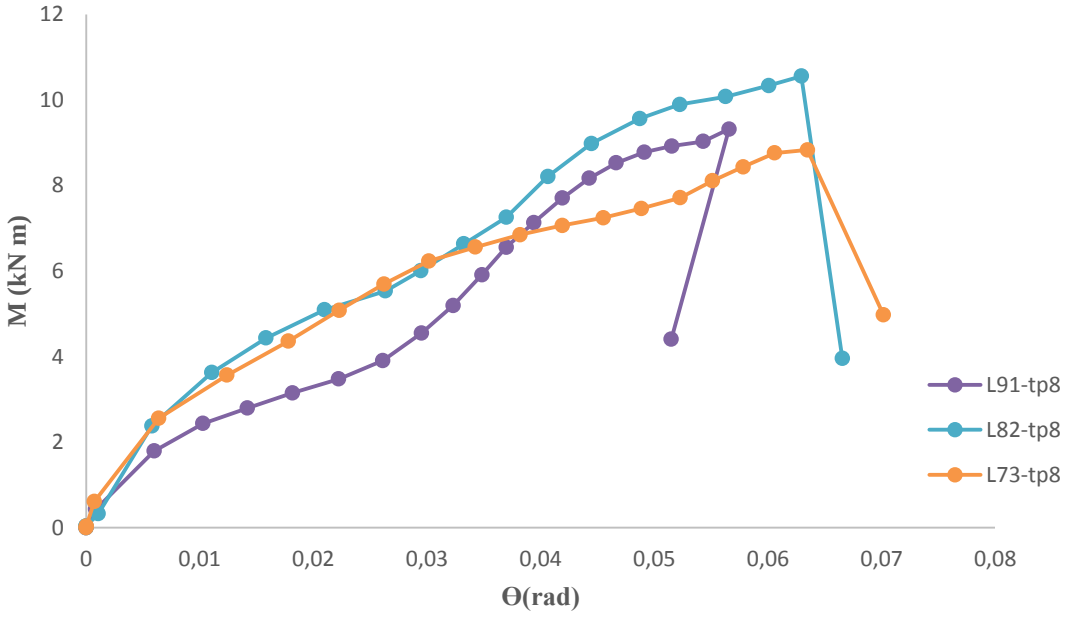
köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde Θ_{Cd} değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça sırasıyla %61,66, %37,25 ve %75,00 azalmış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken Θ_{Cd} sırasıyla %17,64-%25,00, %24,52 ve %15,47-%38,57 oranında azaldığı görülmüştür. Genel olarak baktığımızda Θ_{Cd} değeri alt ve üst başlığın geneşliği artıkça azalma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça Θ_{Cd} değeri azalma görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde Ψj ve Ψjmaxload değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça azalma görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken Ψj ve Ψjmaxload değerler artığı görülmüştür.

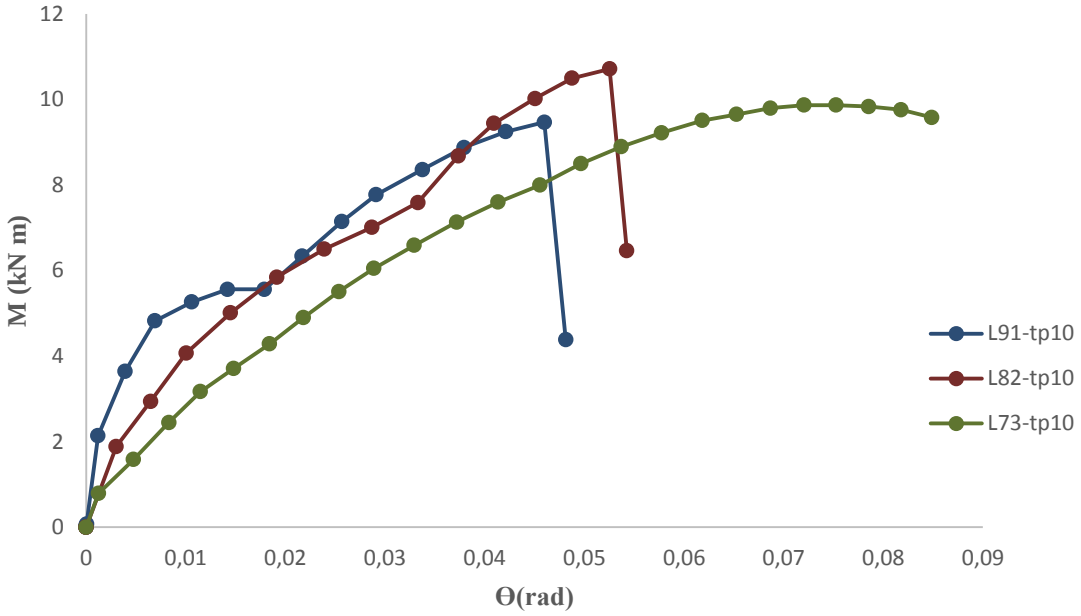
köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde enerji yutma kapasitesi değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça sırasıyla %26,94-%40,72, %22,52-%25,08 ve %44,44-%20,44 azalmış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda enerji yutma kapasitesi değeri alt ve üst başlığın geneşliği bağlı değişmiştir.



Şekil 4.181. L91-t_p6, L82-t_p6 ve L73-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.182. L91-t_p8, L82-t_p8 ve L73-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.183. L91-t_p10, L82-t_p10 ve L73-t_p10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.17. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)							
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.\ max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.\ max}$	$Θ_{Cd}$	Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
L91-t_p6 (4)	2.27-6.31	2.82	8.87	5.98	1.40	0.56	2.41	0.079	0.0078	0.0375	0.057	0.060	0.76	0.72	0.2661
L82-t_p6 (8)	0.853-5.70	2.081	8.155	4.64	0.76	0.48	1.57	0.01	0.0048	0.037	0.054	0.053	5.3	5.40	0.2159
L73-t_p6 (12)	0.943-6.28	5.62	7.51	7.26	1.55	6.32	0.24	0.031	0.0043	0.053	0.091	0.097	3.13	2.90	0.3642
L91-t_p8 (16)	1.79-8.17	5.19	9.31	4.41	0.91	0.29	3.13	0.018	0.0059	0.044	0.056	0.051	2.83	3.10	0.2371
L82-t_p8 (20)	3.63-8.98	6.63	10.55	3.96	1.37	0.36	3.88	0.021	0.011	0.044	0.063	0.066	3.14	3.00	0.3165
L73-t_p8 (24)	3.57-5.69	5.081	8.76	4.97	1.42	0.36	3.94	0.012	0.0065	0.026	0.060	0.070	5.83	5.00	0.306
L91-t_p10 (29)	3.65-7.77	4.82	9.46	4.38	3.95	0.36	10.97	0.004	0.0039	0.029	0.046	0.048	12	11.5	0.23
L82-t_p10 (34)	2.94-9.44	5.01	10.71	6.46	2.04	0.43	4.74	0.01	0.0065	0.040	0.052	0.054	5.4	5. 20	0.2891
L73-t_p10 (39)	2.44-8.49	6.05	9.86	9.57	1.48	0.43	3.41	0.018	0.0083	0.049	0.075	0.084	4.67	4.17	0.414

4.6.5. Köşebentlerin ve kirişlerin berkitmeli olarak tanzim edildiği birleşimlerin davranışı

Bu tip deneylere ait moment-dönme eğrileri Şekil 4.184, 4.185, 4.186 ve Çizelge 4.18 görülmektedir. Kiriş gövdesinde ve alt-üst korniyer başlıklarında berkitme kullanılan deneylerin karşılaştırması yapılırsa;

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca Mj.Rd değerinde sırasıyla %5,32-%17,29, %34,97-%50,68 ve %4,40-%10,45 oranlarında azalma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken Mj.Rd değeri de sırasıyla %25,07-%45,14, %36,58-%55,32 ve %48,11-%48,55 oranında artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L73-tp8, L91-tp10, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca Mj.Rd değerlerinde sırasıyla %40,96, %46,51, %26,21, %3,10, %34,97 ve %1,14 oranında artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca Mj.Rd değerinde de sırasıyla %32,50-%34,23, %13,45 ve %13,08-%35,16 oranlarında artma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8 mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın geneşlik artarken Mj.Rd değeri sırasıyla %18,57-%68,91 ve %38,12-%58,77 oranında artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca $M_{j.max}$ değerinde sırasıyla %1,56-%2,22 ve %3,4-%21,83 oranlarında artma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken $M_{j.max}$ değeri de sırasıyla %25,34-%42,41, %29,31-%49,37 ve %27,96-%30,19 oranında artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L73-tp8, L91-tp10, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca $M_{j.max}$ değerlerinde sırasıyla %6,09, %11,23, %12,59, %4,26, %4,02 ve %1,49 oranında artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme

kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca $M_{j.max}$ değerinde de sırasıyla %5,66-%9,33, %2,09 ve %0,98-%28,33 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8 mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın geneşlik artarken $M_{j.max}$ değeri sırasıyla %9,84-%28,26 ve %13,17-%33,24 oranında artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca MΘ.Cd değerinde sırasıyla %0,67-%2,08 ve %40,45-%48,45 oranlarında artma görülmüştür. 82 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca MΘ.Cd değerinde sırasıyla %38,76-%55,67 oranlarında azalma görülmüştür. Kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken MΘ.Cd değeri de sırasıyla %62,11, %36,80 ve %27,96 oranında artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L73-tp8, L91-tp10, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca MΘ.Cd değerlerinde sırasıyla %5,60, %10,78, %39,86, %18,97, %46,50 ve %46,67oranında artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca MΘ.Cd değerinde de sırasıyla %25,29-%46,25, %41,49-%41,95 ve %22,42-%55,18 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8 mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın geneşlik artarken MΘ.Cd değeri sırasıyla %20,35-%36,01 ve %21,78-%39,13oranında artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 mm, 82 mmve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca rijitlik değerinde sırasıyla %28,15-%56,12, %38,06-%81,63 ve %31,65-%43,49 oranlarında azalma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişliki artarken rijitlik değeri de sırasıyla %26,05-%53,46, %41,85-%59,37 ve %43,87 oranında artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca rijitlik değerinde de sırasıyla %60,77-%66,80, %19,22 ve %54,96 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8 mm ve 10 mm grup

deneylerde alt ve üst başlığın geneşlik artarken rijitlik değeri sırasıyla %70,96-%88,36 ve %27,38-%31,34 oranında artış görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 ve 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{MR.d}$ değerinde sırasıyla %3,1 ve %21,05 oranlarında artma görülmüştür. 73 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{MR.d}$ değerinde sırasıyla %10,53 oranlarında azalma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken $\Theta_{MR.d}$ değeri de sırasıyla %38,71-%51,16, %17,65 ve %40,63-%46,87oranında artış görülmüştür. L73-tp8 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{MR.d}$ değerlerinde sırasıyla %54,54 ve %290,90 oranında azalma görülmüştür. 91 ve 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{MR.d}$ değerinde de sırasıyla %35,29-%58,94 ve %7,14-%47,05 oranlarında azalma görülmüştür. 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{MR.d}$ değerinde de sırasıyla %35,29-%58,94 ve %7,14-%47,05 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8 mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın geneşlik artarken $\Theta_{MR.d}$ değeri sırasıyla %4,5-%38,71 oranında azalma görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 ve 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{Mj.max}$ değerinde sırasıyla %15,22-%25,00 ve %9,30-%20,31 oranlarında azalma görülmüştür. 73 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{Mj.max}$ değerinde sırasıyla %23,94 oranlarında artma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişlik artarken $\Theta_{Mj.max}$ değeri de sırasıyla %30,43-%41,30, %26,08-%37,68 ve %8,97 oranında artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{Mj.max}$ değerlerinde sırasıyla %18,36, %21,57, %22,22 ve %22,53 oranında artma görülmüştür. L91-tp10 ve L73-tp8 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca

$\Theta_{Mj.max}$ değerlerinde sırasıyla %40,00 ve %38,55 oranında azalma görülmüştür. 91, 82 ve 73 mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Theta_{Mj.max}$ değerinde de sırasıyla %29,23-%42,35, %6,06 ve %10,31-%70,58 oranlarında azalma görülmüştür.

köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca Θ_{Cd} değerinde sırasıyla %15,78-%26,31, %1,47-%23,53 ve %20,96 oranlarında azalma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm, 6mm ve 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken Θ_{Cd} değeri de sırasıyla sırasıyla %28,42-%37,74, %25,71-%30,00 ve %8,75-%16,25 oranında artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca Θ_{Cd} değerlerinde sırasıyla %16,13, %15,63, %9,25 ve %24,66 oranında artma görülmüştür. L91-tp10 ve L73-tp8 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca Θ_{Cd} değerlerinde sırasıyla %37,21 ve %34,52 oranında azalma görülmüştür. 91 ve 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca Θ_{Cd} değerinde de sırasıyla %27,94-%39,53 ve %5,6 oranlarında artma görülmüştür. 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca Θ_{Cd} değerinde de sırasıyla %12,24-%79,92 oranlarında artma görülmüştür.

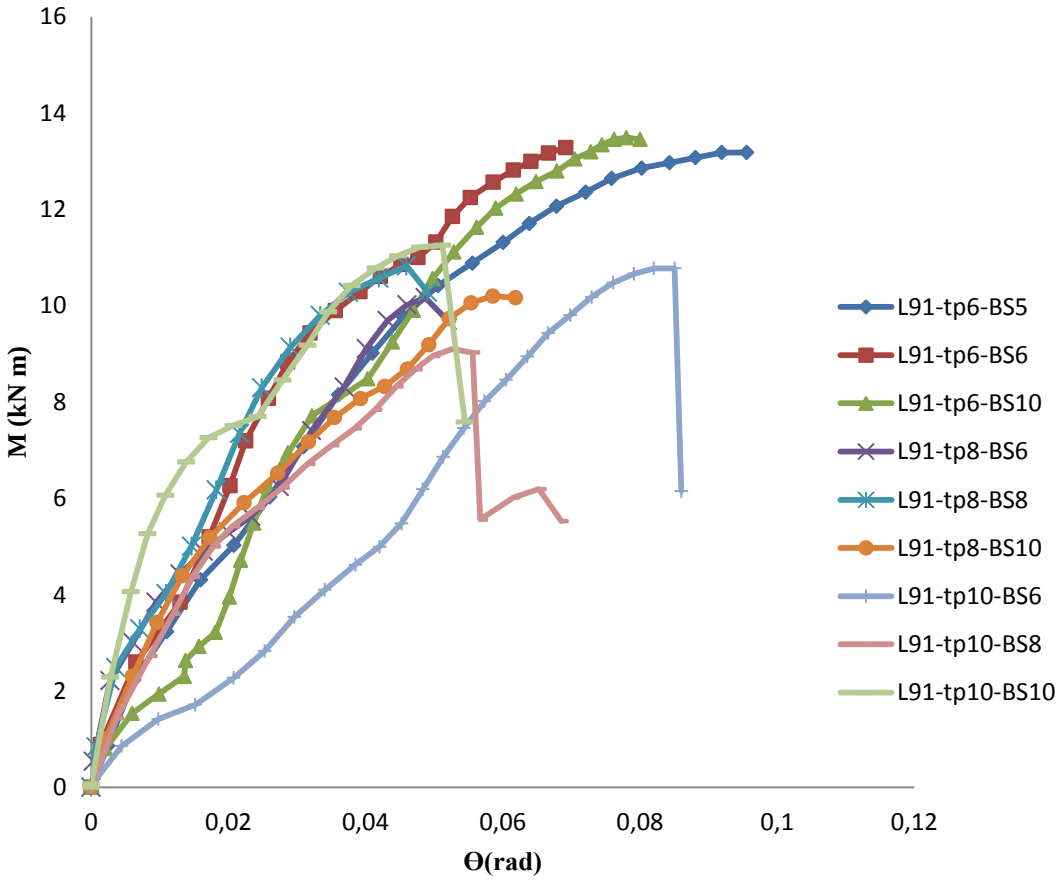
köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 91 ve 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca Ψj, Ψjmaxload ve enerji yutma kapasitesi değerinde sırasıyla %29,85, %17,84 ve %15,65 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 6mm grup deneylerde 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 5 mm den 10 mm'ye çıkarılınca Ψj, Ψjmaxload ve enerji yutma kapasitesi değerinde sırasıyla %24, %32,05 ve %33,66 oranlarında artma görülmüştür. kirişin berkitmesinin kalınlığı 5mm ve 6mm grup deneylerde alt ve üst başlığın boyu artarken Ψj, Ψjmaxload ve enerji yutma kapasitesi değeri artış görülmüştür. L91-tp8, L82-tp8, L91-tp10, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca Ψj

değerlerinde sırasıyla %33,47, %44,37, %77,73, %46,81 ve %16,99 oranında azalma görülmüştür. L73-tp8 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca Ψj değerlerinde sırasıyla %103,70 oranında artma görülmüştür. 91, 82mm ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca Ψj değerinde de sırasıyla %75,19, %43,54 ve %19,09 oranlarında artma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişlik artarken Ψj değeri sırasıyla %6,45-%102,25 ve %10,11-%92,33 oranlarında artma görülmüştür.

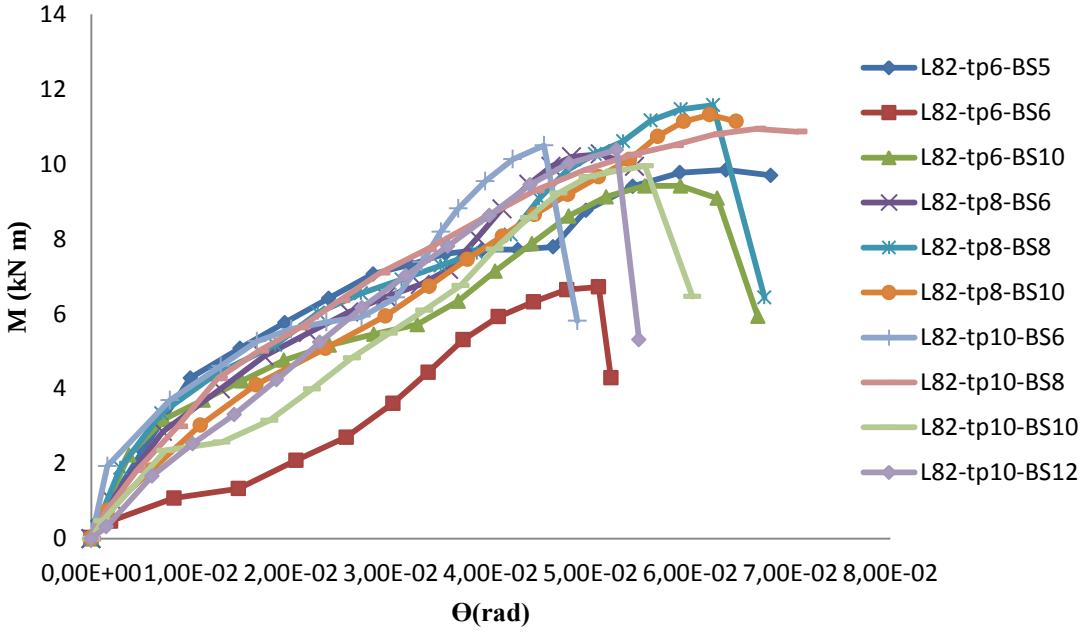
L91-tp8, L82-tp8, L91-tp10, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca $\Psi_{jmaxload}$ değerlerinde sırasıyla %33,78, %50,00, %78,75, %11,18 ve %57,26 oranında azalma görülmüştür. L73-tp8 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca $\Psi_{jmaxload}$ değerlerinde sırasıyla %47,64 oranında artma görülmüştür. 91, 82mm ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca $\Psi_{jmaxload}$ değerinde de sırasıyla %26,34-%76,36, %40,42 ve %14,50 oranlarında artma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8mm ve 10 mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişlik artarken $\Psi_{jmaxload}$ değeri sırasıyla %5,82-%48,15 ve %9,71-%92,42oranlarında artma görülmüştür.

L91-tp8, L82-tp8, L82-tp10 ve L73-tp10 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca enerji yutma kapasitesi değerlerinde sırasıyla %16,13, %25,00, %7,14 ve %21,43 oranında artma görülmüştür. L91-tp10 ve L73-tp8 deneylerinde kirişteki berkitme kalınlığı 6 mm den 12 mm'ye çıkarılınca enerji yutma kapasitesi değerlerinde sırasıyla %34,78 ve %26,31 oranında azalma görülmüştür. 91 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca enerji yutma kapasitesi değerinde de sırasıyla %43,47 ve %30,95 oranlarında artma görülmüştür. 82mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 8mm den 10 mm'ye çıkarılınca enerji yutma kapasitesi değerinde de sırasıyla %7,1-%28,57 oranlarında azalma görülmüştür. köşebent berkitmesinin kalınlığı 8mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişlik artarken enerji yutma

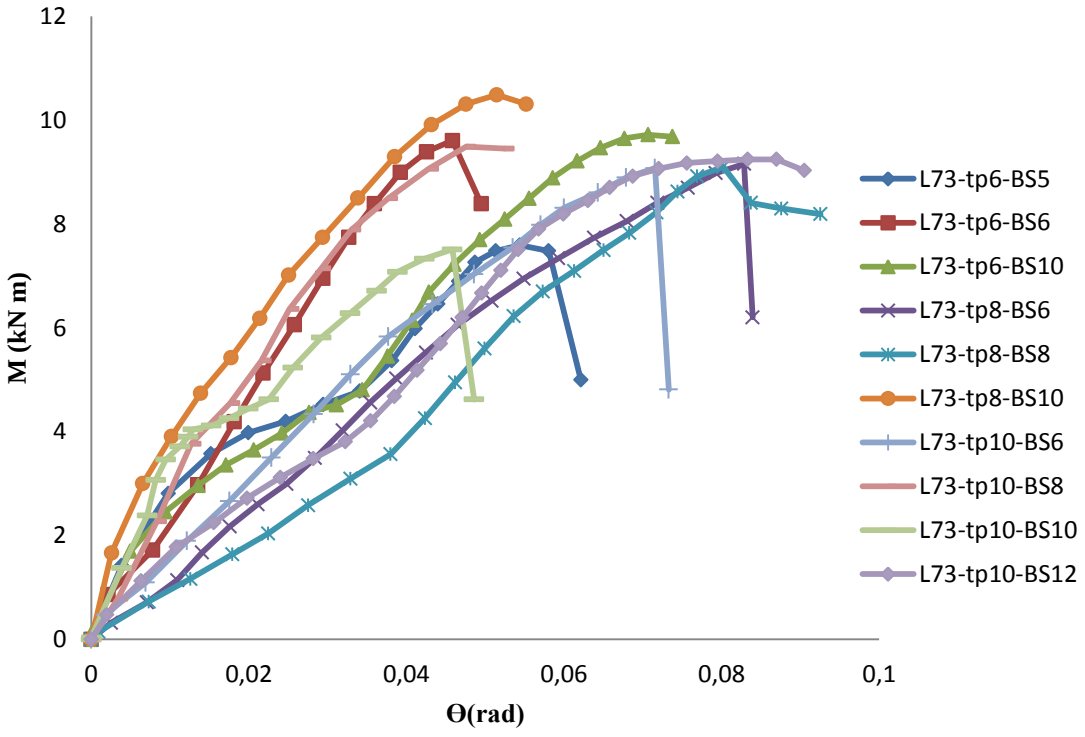
kapasitesi değeri %31,57 oranlarında artma görülmüştür ve köşebent berkitmesinin kalınlığı 10mm grup deneylerde alt ve üst başlığın genişlik artarken enerji yutma kapasitesi değeri %39,99-%40,59 oranlarında artma görülmüştür.



Şekil 4.184. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10, L91-t_p8-BS6, L91-t_p8-BS8, L91-t_p8-BS10, L91-t_p10 BS6, L91-t_p10-BS8 ve L91-tp10-BS10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.185. L82-t_p6-BS5, L82-t_p6-BS6, L82-t_p6-BS10, L82-t_p8-BS6, L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10, L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipli korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.186. L73-t_p6-BS5, L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10, L73-t_p8-BS6, L73-t_p8-BS8, L73-t_p8-BS10, L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS8, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.18. Deneylerin moment dönme değerleri karşılaştırmaları

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.\ max}$	$M_{\Theta Cd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.\ max}$	Θ_{Cd}			
L91-t_p6-BS5 (1)	2.23-11.709	9.77	13.18	13.17	1.66	0.29	5.72	0.031	0.0061	0.064	0.092	0.095	3.065	2.97	0.626
L91-t_p6-BS6 (2)	2.60-9.43	8.08	13.27	13.26	1.54	0.37	4.11	0.017	0.0065	0.032	0.069	0.07	4.12	4.06	0.464
L91-t_p6-BS10 (3)	1.53-11.11	9.25	13.48	13.45	1.13	0.45	2.51	0.032	0.0059	0.053	0.078	0.08	2.5	2.44	0.538
L82-t_p6-BS5 (5)	4.29-9.41	7.32	9.84	9.70	2.00	0.22	9.09	0.015	0.0099	0.054	0.064	0.068	4.5	4.27	0.3346
L82-t_p6-BS6 (6)	1.08-5.92	3.61	6.718	4.30	0.81	0.48	1.67	0.021	0.0083	0.041	0.051	0.052	2.48	2.43	0.1747
L82-t_p6-BS10 (7)	3.18-8.61	4.76	9.41	5.94	2.95	0.52	5.63	0.019	0.0073	0.047	0.058	0.067	3.53	3.05	0.315
L73-t_p6-BS5 (9)	2.81-6.90	5.36	7.59	4.99	1.44	0.34	4.23	0.019	0.0097	0.047	0.054	0.062	3.26	2.84	0.235
L73-t_p6-BS6 (10)	0.86-8.38	5.124	9.38	8.38	1.099	0.46	2.39	0.014	0.0021	0.036	0.043	0.049	3.5	3.07	0.2298
L73-t_p6-BS10 (11)	2.45-8.09	4.80	9.71	9.68	1.20	0.38	3.16	0.017	0.0093	0.052	0.071	0.073	4.29	4.18	0.3544
L91-t_p8-BS6 (13)	2.21-9.11	4.90	10.16	9.69	2.080	0.40	5.2	0.0095	0.0027	0.040	0.049	0.052	5.47	5.16	0.26
L91-t_p8-BS8 (14)	2.49-9.80	8.30	10.82	10.27	2.4	0.24	9.97	0.011	0.0035	0.033	0.046	0.049	4.45	4.18	0.27
L91-t_p8-BS10 (15)	4.40-5.91	5.19	10.20	10.16	1.48	0.50	2.94	0.017	0.013	0.022	0.058	0.062	3.65	3.41	0.32
L82-t_p8-BS6 (17)	2.86-9.46	3.99	10.27	9.93	1.17	0.51	2.29	0.014	0.013	0.044	0.051	0.054	3.86	3.64	0.28
L82-t_p8-BS8 (18)	3.35-9.82	5.17	11.57	6.44	1.69	0.47	3.59	0.012	0.007	0.048	0.062	0.067	5.58	5.16	0.39
L82-t_p8-BS10 (19)	4.11-10.74	7.46	11.31	11.13	0.99	0.51	1.94	0.034	0.016	0.057	0.062	0.064	1.88	1.82	0.36
L73-t_p8-BS6 (21)	0.71-5.52	4.56	9.16	6.20	0.89	0.59	1.51	0.031	0.0070	0.042	0.083	0.084	2.71	2.68	0.38
L73-t_p8-BS8 (22)	0.72-6.22	2.58	8.30	8.18	0.79	0.677	1.16	0.022	0.0072	0.054	0.087	0.092	4.18	3.95	0.38
L73-t_p8-BS10 (23)	3.001-9.29	6.18	10.48	10.31	2.23	0.31	7.15	0.010	0.0065	0.038	0.051	0.055	5.5	5.1	0.29
L91-t_p10-BS6 (25)	1.42-9.43	7.45	10.77	6.15	0.94	0.46	2.04	0.0039	0.0097	0.066	0.085	0.086	22.05	21.79	0.46
L91-t_p10-BS8 (26)	4.37-8.33	5.81	6.19	5.52	1.59	0.48	3.31	0.021	0.015	0.044	0.065	0.068	3.24	3.09	0.21
L91-t_p10-BS10 (27)	5.26-9.87	7.69	11.25	7.59	2.05	0.24	8.33	0.011	0.008	0.034	0.051	0.054	4.91	4.64	0.30
L82-t_p10-BS6 (30)	3.69-9.54	4.61	10.49	5.81	1.26	0.50	2.52	0.013	0.0078	0.039	0.045	0.049	3.77	3.46	0.26
L82-t_p10-BS8 (31)	4.28-9.26	7.09	10.93	10.86	0.65	0.35	1.85	0.021	0.012	0.044	0.066	0.071	3.38	3.14	0.39
L82-t_p10-BS10 (32)	2.36-9.22	5.48	9.94	6.46	1.51	0.52	2.90	0.018	0.0074	0.047	0.055	0.060	3.33	3.05	0.30
L82-t_p10-BS12 (33)	2.53-7.81	7.02	10.37	5.31	0.78	0.51	1.52	0.027	0.010	0.035	0.053	0.054	2	1.96	0.28
L73-t_p10-BS6 (35)	5.83-7.98	7.033	9.07	4.81	0.77	0.42	1.83	0.043	0.038	0.057	0.071	0.073	1.70	1.65	0.33
L73-t_p10-BS8 (36)	3.76-7.88	7.14	9.49	9.45	1.23	0.36	3.42	0.021	0.012	0.033	0.097	0.052	2.48	4.62	0.25
L73-t_p10-BS10 (37)	3.46-6.28	3.17	7.51	4.62	1.49	0.46	3.22	0.011	0.0094	0.033	0.046	0.049	4.45	4.18	0.18
L73-t_p10-BS12 (38)	1.77-8.45	7.11	9.24	9.026	1.05	0.39	2.70	0.044	0.011	0.063	0.087	0.091	2.07	1.98	0.42

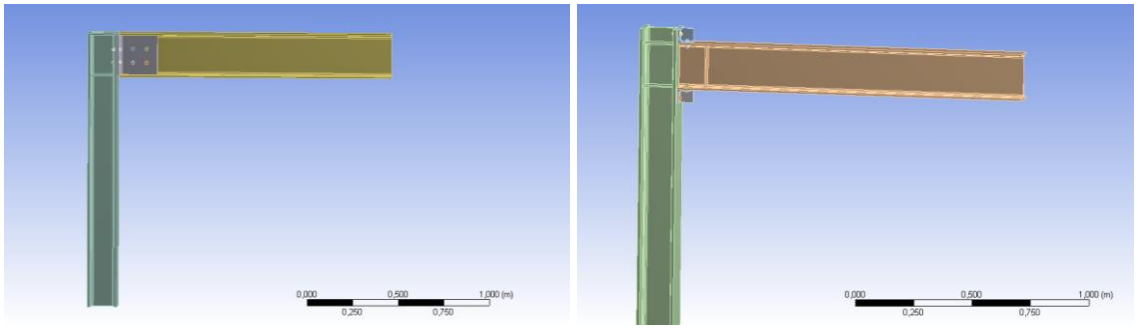
4.7. Sayısal Modelleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.7.1. Ansys workbench ile sonlu elemanlar analizi

Bu bölümde bu çalışmaya esas olan yarı-rijit birleşimli ANSYS Workbench v16 kullanılarak doğrusal olmayan sonlu eleman modellemesi ve sonuçları sunulmuştur. ANSYS de özellikle "contact" algoritmalarının çeşitliliği, doğrusal olmayan malzeme modelleri ve doğrusal olmayan geometrik özelliklerinin etkileşimiyle çelik kiriş kolon birleşim bölgesini modellemek zordur. Günümüzün ticari programları, yapısal mekanikteki doğrusal olmayan malzeme ve geometrik problemlerin çözümü için çok büyük eleman ve malzeme kütüphanesine sahiptir. Bu konuda, ANSYS bu modelleme ve çözüm stratejilerinin hemen hemen tamamını sağlar ve mühendislik analiz ve dizaynı ile alakalı en popüler ve gelişmiş sonlu eleman programlarından birisidir. ANSYS Workbench, kullanıcı dostu arayüzü ile mühendislik problemlerini tanımlarken avantajlar sağlamaktadır. Bu bölümde, geometrik şekilleri tanımlama ve ağ yapısı oluşturma, yüzeyler arasında "contact(temas)" sağlama, bulonlardaki öngerme, malzeme doğrusal olmayan davranışın tanımı ve çözüm stratejileri sunulmuştur.

4.7.1.a. Modelin oluşturulması

ANSYS Workbench programı doğrusal olmayan analizi hem geometrik doğrusal olmayan davranışı hem de malzeme doğrusal olmayan davranışı olarak yapabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, deneysel numuneyi meydana getiren tüm elemanlar (profil, mesnet levhaları, kaynak) doğrusal olmayan malzeme özellikleri kullanarak programa tanıtılmıştır. Sistemin modellenmesi yapılırken kolon, kiriş, yükleme kolu elemanları ve mesnet levhaları kabuk (Shell) eleman olarak, başlık levhası ve kaynaklar ise katı(solid) eleman olarak modellenmiştir. Şekil 4.187'de modellerden birinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.187. ANSYS Workbench'te hazırlanan örnek sayısal modeller

4.7.1.b. Eleman tiplerinin belirlenmesi

Bu programda modellenecek bir birleşimde kullanılacak eleman tiplerinin önceden tanımlanmalıdır. Bu aynı eleman tipinin farklı eleman tipi seçenekleri ile modelin farklı bölgelerinde kullanılabilmesi için gereklidir. Elemanlar genel olarak; yapısal analiz için beam, plane, shell, solid ve link(kiriş, düzlem, kabuk, katı ve bağlantı) elemanlar olarak bilinmektedir. Bu çalışmadan modeller solid eleman kullanılarak tanımlanmıştır.

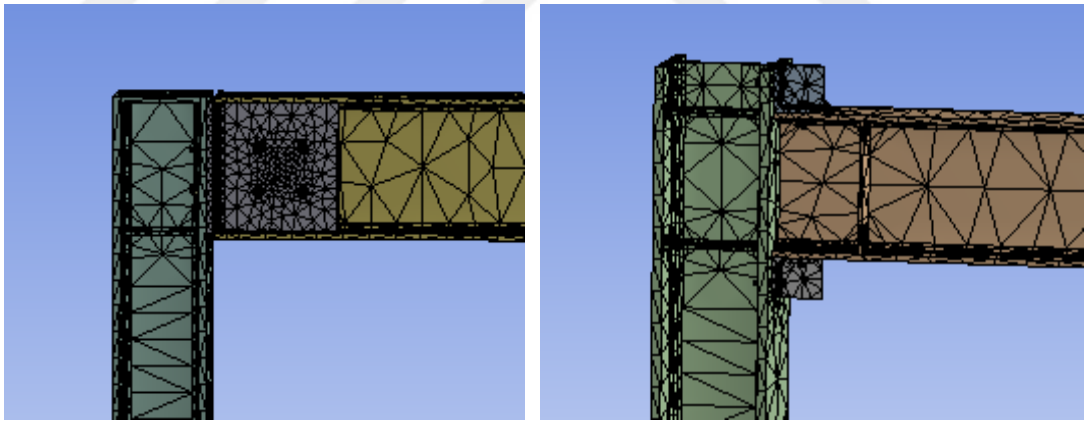
4.7.1.c. Malzeme özellikleri ve modeller

Analiz sırasında kullanılacak malzeme türü için gerekli bir malzeme modeli oluşturulmuştur. ANSYS Workbench de çelik malzemenin 3D gerilme-şekil değiştirme analizinin tanımı için verilen davranış modelleri şunlardır: BISO (Bilinear Isotropic Hardening), MISO (Multilinear Isotropic Hardening), BKIN (Bilinear Kinematic Hardening), MKIN (Multilinear Kinematic Hardening). Bu tezde, iki parçalı künematik pekleşme modeli(bilinear kinematic hardening model) kullanılmıştır. Bu modellerde pekleşme sırasında elastik aralığın değişmediği varsayılır.

4.7.1.d. Sınır Koşullarının tanımlanması

4.7.1.e. Sonlu elamanlar ağ yapısının oluşturulması

Elemanlara bölme işlemi, sonlu elemanlar analizinde fiziksel çalışma alanının modellemesinin en önemli bölümlerinden biridir. Bu işlem yapılmadığı takdirde yük aktarımı süreksiz olur ve kesin sonuçtan uzaklaşılır. ANSYS Workbench Static Structural Modülünde kullanıcı için sunulmuş çeşitli mesh seçenekleri vardır. Elemanlara bölme (Mesh işlemini) yapmadan önce, ilgili hacimlere doğru elemanların ve malzemelerin atanması gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan mesh işleminde çözüm süresini kısaltmak ve istenen analizlerin birleşim bölgesi üzerinde yoğunlaşmasından dolayı ağ(mesh) sönümleyiciler ve birleşim bölgesi üzerinde daha küçük tutulmuştur. Kolon ve kiriş üzerinde yapılan ağ daha büyük seçilmiştir (Şekil 4.188).



Şekil 4.188. Örnek bir modelle sonlu elamanlar ağ yapısının görünümü

Bulonlu yarı-rijit bir birleşimin farklı türleri için farklı ağ oluşturma metodları uygulanabilir. Bulon, somunlar ve bulonlar arasındaki yüzeylerin teması ve çelik kiriş ve kolonlar ağ yapısındaki en önemli bölgelerdir. Daha öncede belirtildiği gibi birleşim yakınındaki kolon, kiriş bölgelerinde, bulonlarda, somunlarda, temas yüzeylerinde daha küçük boyut kullanılırken, diğer bölgelerde nispeten daha büyük ağ yapısı kullanılmıştır. Çünkü gereksiz çok sayıda elemana bölünmesi analiz süresini uzatması

ve ıraksama gibi nedenlerle istenmemektedir. Dolayısıyla özellikle gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler gibi kısımlarda ağyapısı hassaslaştırılmıştır.

4.7.2. ANSYS Workbench ile bazı deney numunelerin çözümü

Çalışmanın bu bölümünde tez kapsamında çalışılmış olan 2 tip birleşimin sonlu eleman modelleme sonuçları sunulmuştur.

4.7.2.a. T tip birleşimi

i. T300 tipli birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.19'da tanımlanan T300 grubundaki 6 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bu bölüm 4.1 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.189 ve Şekil 4.190'da X_{max} ve X_{min} grupları için T300 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.191'de bu modellerin moment dönme eğrileri aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.19 ise bu modelerin moment dönme eğrilerinden elde edilen değerler verilmiştir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %24,05 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %16,22'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %19,43 oranında artış gösterirken, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %25,17 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %65,58 oranında, H_{orta} grubunda %66,08, H_{min} grubunda ise %66,89 oranında arttığı görülmüştür.

Xmax deney grubunda Hmin oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %24,89 oranında artış gösterirken; aynı grupta H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri Horta oranı kullanılan birleşimdekine göre %50,00 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %6,45 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %57,08 oranında, H_{orta} grubunda %42,86, H_{min} grubunda ise %73,27 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında H ve X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %27,23 oranında artış olduğu, ayrıca H_{orta} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %81,35 oranında artış görülmüştür. Bu değerler X_{min} gurubunda bu orantılar H_{min} dan H_{max} %88,60 ve H_{orta} dan H_{max} %70,98 oranında artdığı görülmüştür. Genel olarak bakıldığında H değerleri artış gösterdiğinde rijitlik artış görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %83,57 oranında azalmış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %30 azalmıştır. X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde ΘMrd değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %115,79 oranında azalmış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimdebu değer %55,26 azalmıştır. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %45,71 oranında, H_{orta} grubunda %35,16, H_{min} grubunda ise %36,19 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %24,89 oranında artış gösterirken; aynı grupta Hmin oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine

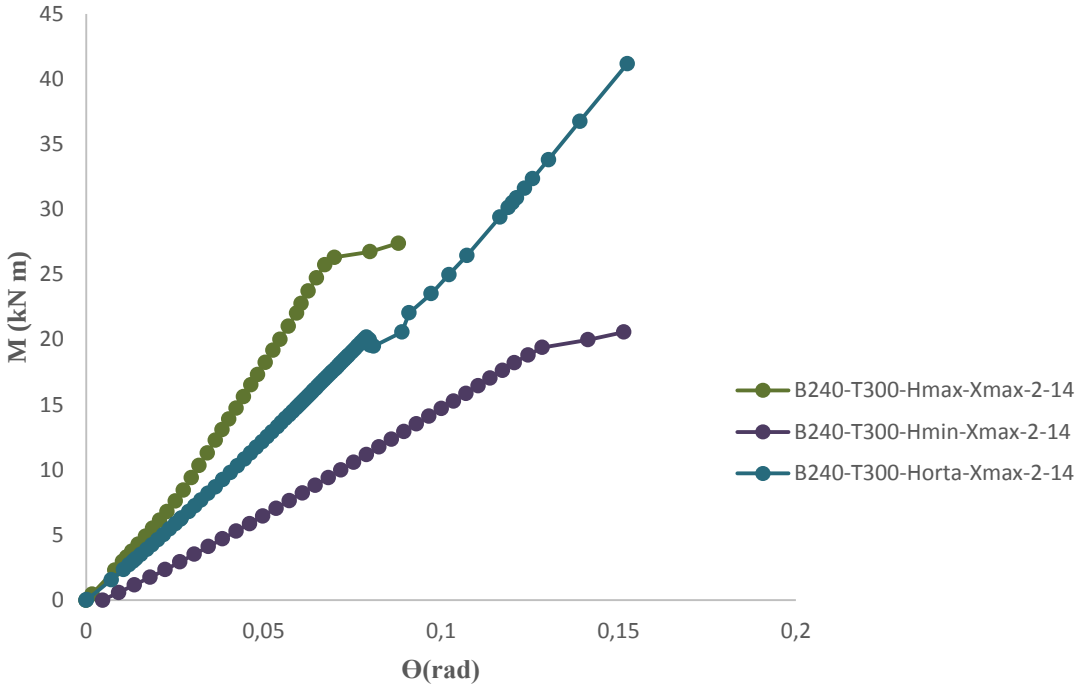
göre %50,00 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %6,45 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %57,08 oranında, H_{orta} grubunda %42,86, H_{min} grubunda ise %73,27 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{cd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %60,22 oranında azalış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %72,73'dır. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %98,48, H_{orta} ve H_{max} karşılaştırıldığında ise %66,66 oranında azalış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %25,00 oranında, H_{orta} grubunda %27,63 oranında, H_{min} grubunda ise %7,09 oranında arttığı görülmüştür.

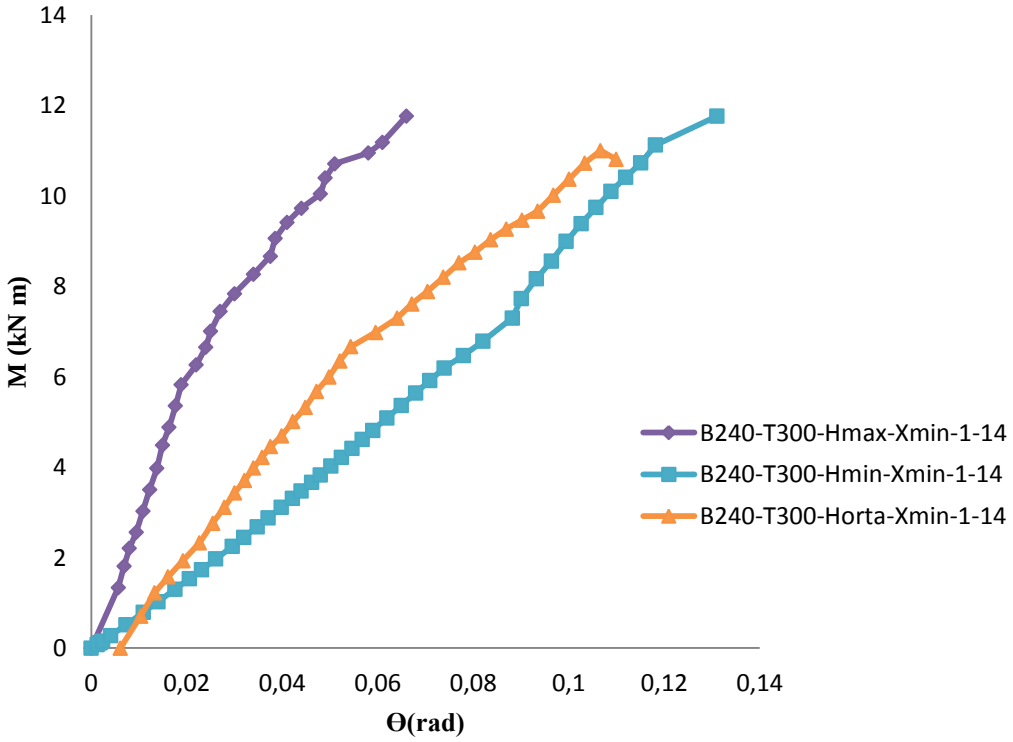
Genel olarak bakıldığında X değerinin artması durumunda dönme değeri de artış görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %91,33 oranında artışı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %86,71'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{max} arasında bu ilişkinin %8,09 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde X_{max} ve X_{min} gruplarında, H_{min} oranı kullanlan birleşimler H_{max} kullanılan modellerle karşılaştırıldığında maksimum yük sünekliği ve birleşim sünekliliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

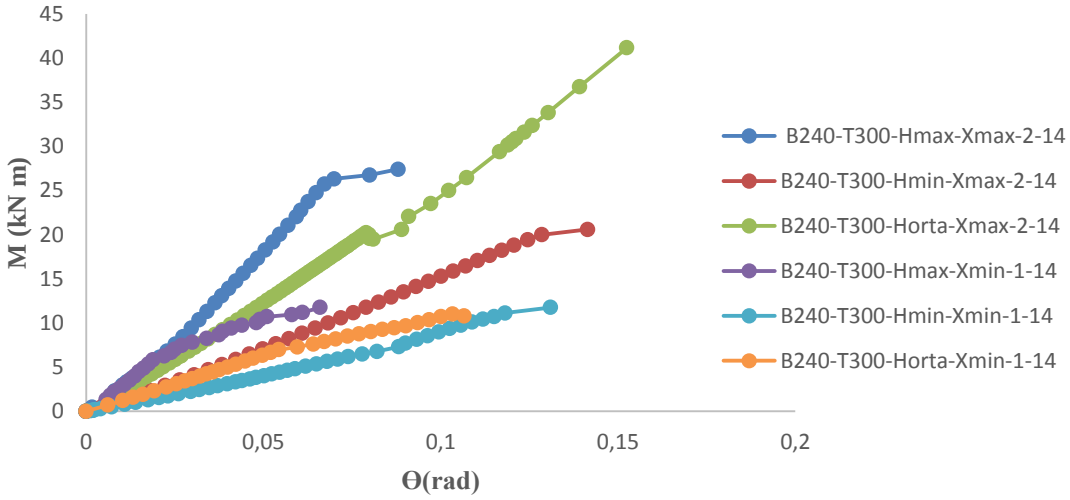
X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında %158,51 oranında azaldığı ve X_{min} grubunda bu oranın %80,15 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. X_{min} den X_{max}, H_{max} %220,66 oranında azaldığı, H_{orta} %81,01 artış, H_{min} de %45,90 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 4.189. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



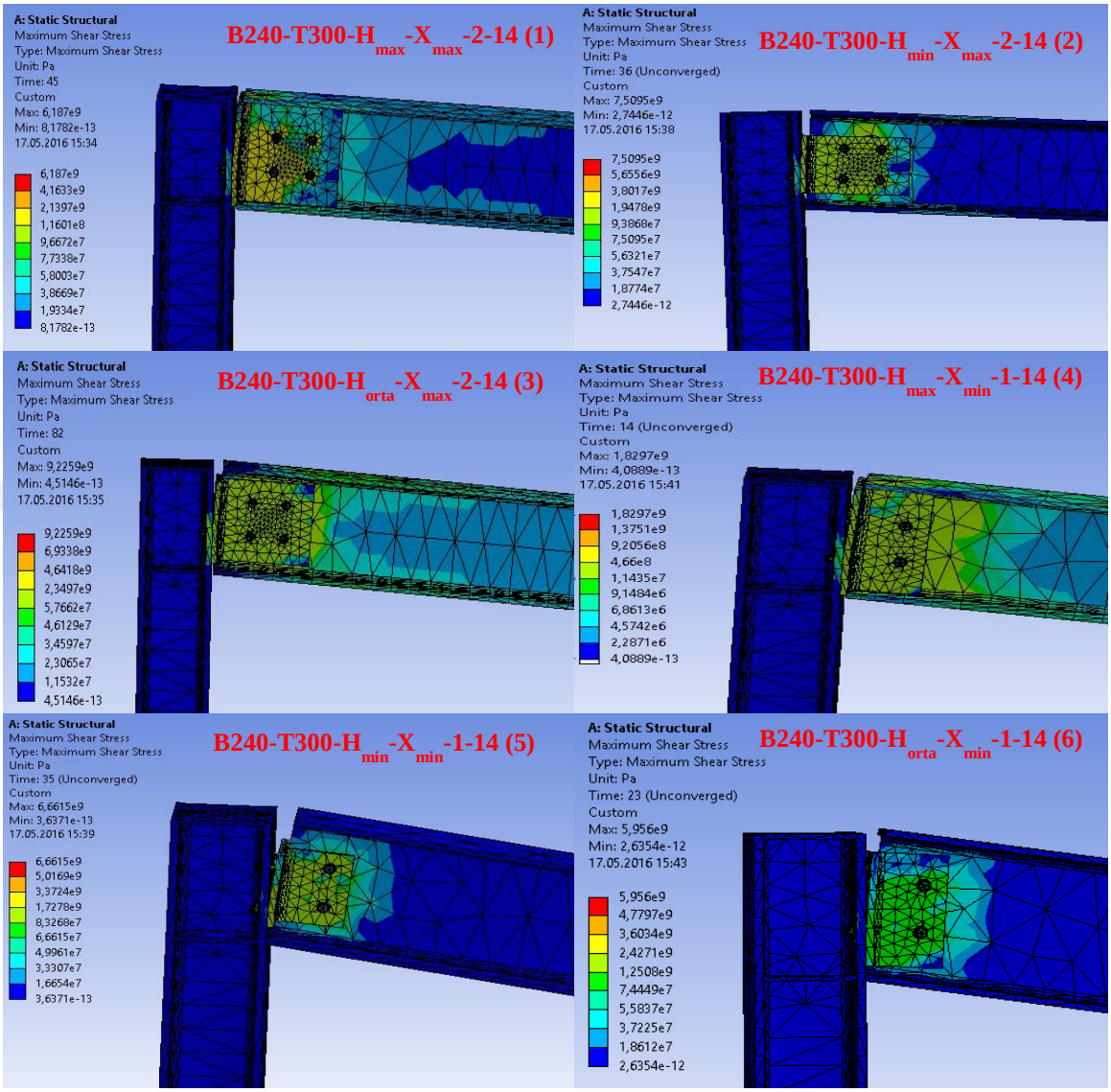
Şekil 4.190. B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.191. B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.19. T300 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrisi özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψ_j	$\Psi_{j.max}$ load	Enerji Yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B240-T300-H_{max}-X_{max}-2-14 (1)	3.74-26.32	26.32	27.401	27.401	0.696	0.139	4.988	0.07	0.128	0.07	0.088	0.088	12.57	12.57	1.21
B240-T300-H_{min}-X_{max}-2-14 (2)	2.94-19.99	19.99	20.58	20.58	0.53	0.146	3.63	0.1285	0.022	0.128	0.141	0.141	1.09	1.09	1.45
B240-T300-H_{orta}-X_{max}-2-14 (3)	20.009-22.05	22.05	41.16	41.16	0.59	0.64	0.93	0.091	0.079	0.091	0.152	0.152	1.67	1.67	3.128
B240-T300-H_{max}-X_{min}-1-14 (4)	5.83-10.71	9.06	11.76	11.76	0.88	0.15	5.79	0.038	0.019	0.05	0.066	0.06	1.73	1.73	3.88
B240-T300-H_{min}-X_{min}-1-14 (5)	6.78-7.,30	6.78	11.76	11.76	6.44	066	0.66	0.082	0.082	0.08	0.131	0.13	1.59	1.59	0.77
B240-T300-H_{orta}-X_{min}-1-14 (6)	6.98-8.20	7.30	11.002	10.80	0.68	0.40	1.68	0.059	0.059	0.07	0.103	0.11	1.864	1.745	0.594



Şekil 4.192. T300 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri

Şekil 4.192'de görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerlerine incelendiğinde kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

ii. T270 tipli birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.20'de tanımlanan T270 grubundaki 5 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bölüm 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.193 ve Şekil 4.194'da X_{max} ve X_{min} grupları için T270 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.195'de bu 5 adet modelin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.20 ise bu modelerin moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %13,02 oranında artış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimdebu değer %11,07'dür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %34,44 oranında azalmış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %4,81 oranında arttığı, H_{min} grubunda ise %31,39 oranında azaldığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri Hmax oranı kullanılan birleşimdekine göre %26,39 oranında artış gösterirken; aynı grupta Hmin oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %28,06 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{orta}'a göre %39,62 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %58,69 oranında ve H_{min} grubunda ise %19,82 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür.

X_{max} grubunda H_{min} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %83,87 oranında artış olduğu, ayrıca H_{orta} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden

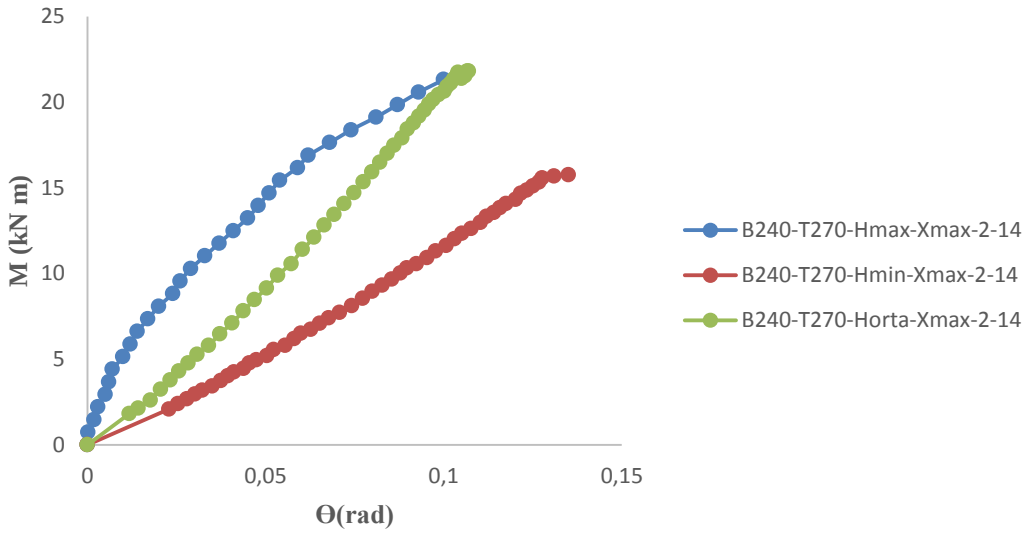
karşılaştırıldığında %81,14 oranında artığı görülmüştür. Bu değerler Xmin gurubunda bu orantılar H_{min} dan H_{orta} %115,73 oranında azaldığı görülmüştür. Ayrıca X artığca rijitlik azaldığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %300,00 oranında azalmış gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimdebu değer %150,00 azalmıştır. X_{min} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %10,00 oranında artış görülmüştür. Ayrıca H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %100,00 oranında, H_{min} grubunda ise %12,5 oranında azaldığı görülmüştür. Genel olarak X değeri artarken Θ_{Mrd} azalmıştır.

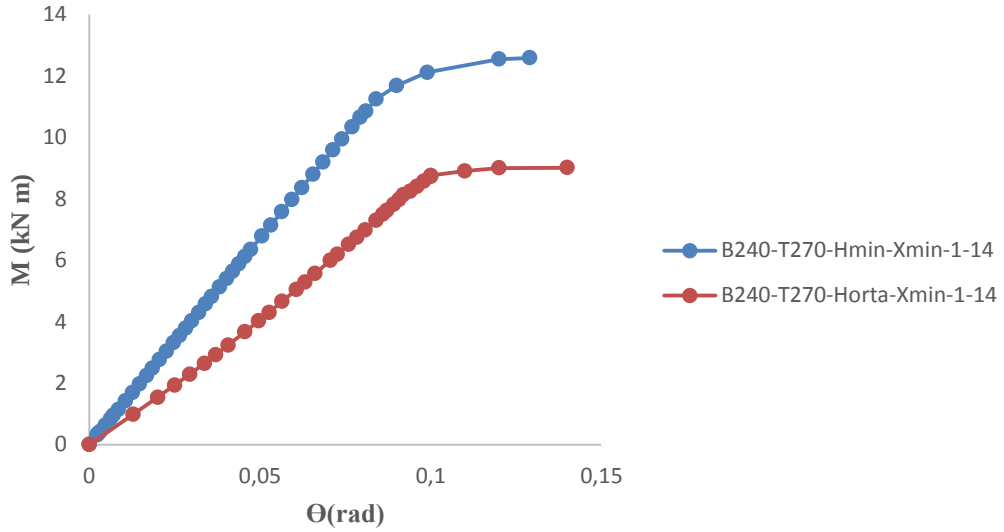
X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %31,00 oranında azalma gösterirken; aynı grupta Hmin oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %22,43 oranında azalmış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} ve H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %8,53 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{orta}, H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %30,84 oranında azaldığı ve H_{min} grubunda ise %4,44 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψ_j ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %66,40 oranında artışı gösterirken; H_{orta} kullanılan birleşimde bu değer %21,49'dir. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} ve H_{orta} arasında bu ilişkinin 0 yakın bir değermiş. Genel olarak değerlendirildiğinde X_{max} ve X_{min} gruplarında, H_{min} oranı kullanlan birleşimler H_{orta} kullanılan modellerle karşılaştırıldığındamaksimum yük sünekliği ve birleşim sünekliliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

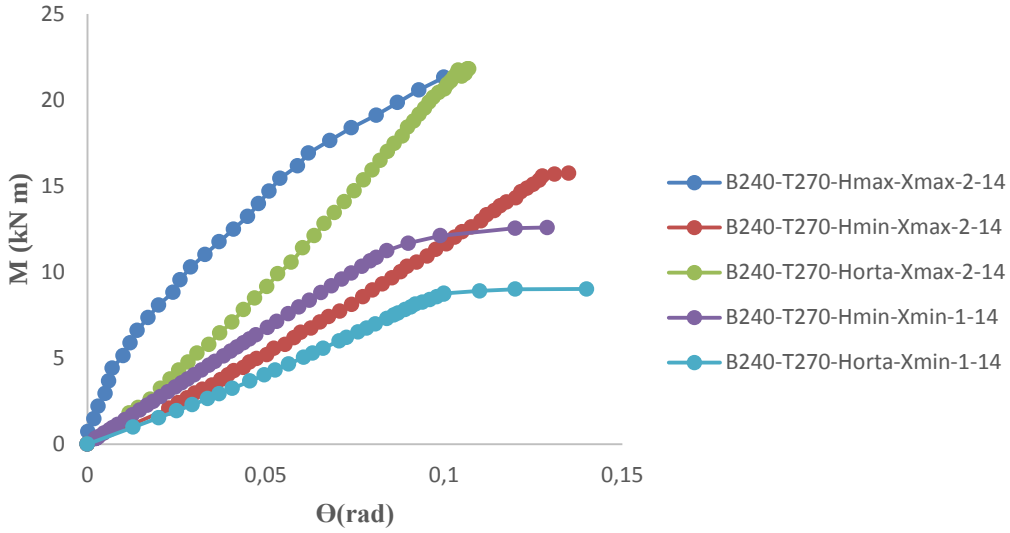
X_{min} den X_{max}, enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında H_{orta} %23,80 artış, H_{min} de %45,69 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 4.193. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



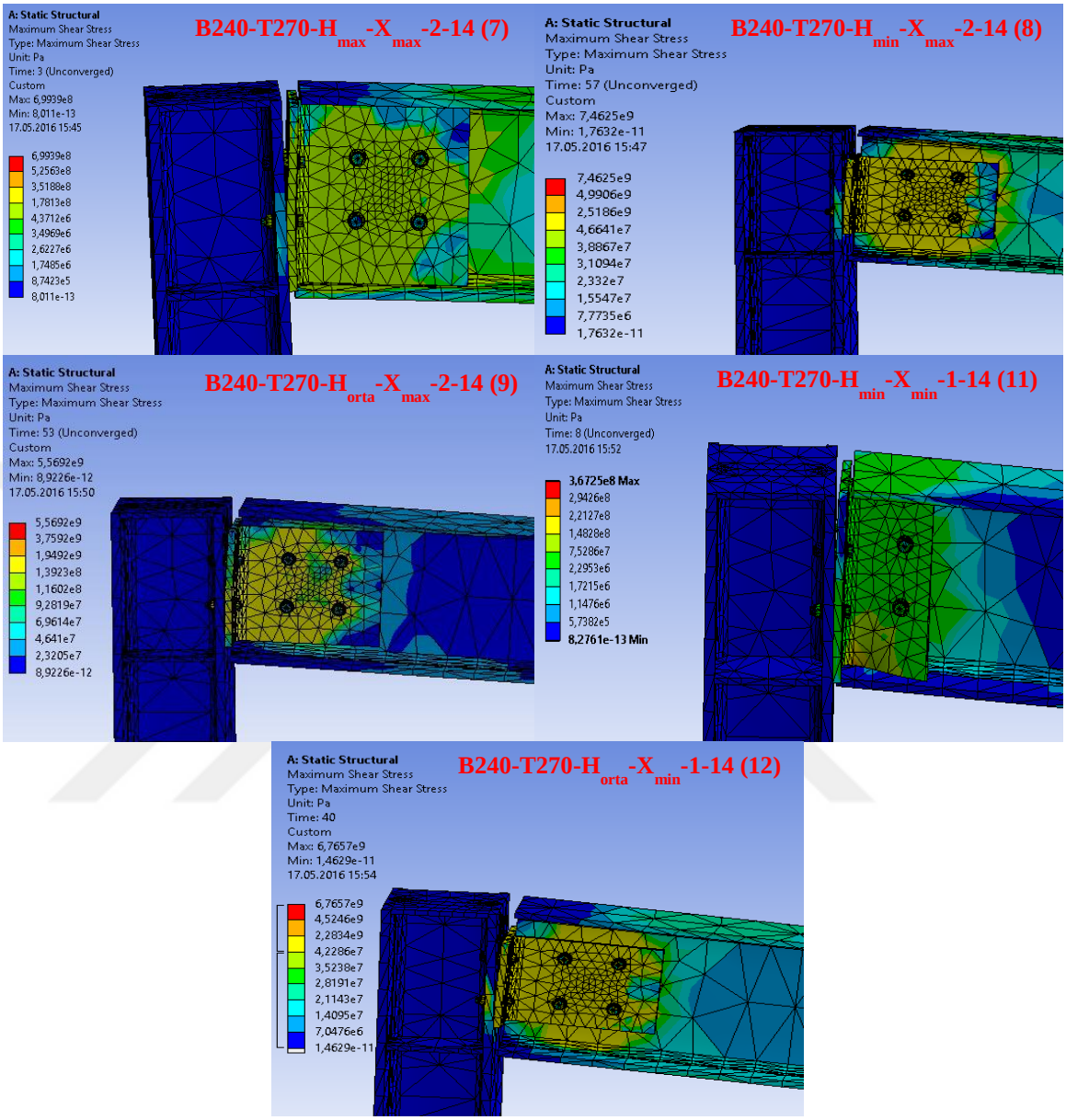
Şekil 4.194. B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.195. B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.20. T270 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrileri özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{\Theta Cd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
B240-T270-H_{max}-X_{max}-2-14 (7)	5.145-16.17	10.29	21.315	21.315	1.35	0.33	4.03	0.02	0.01	0.059	0.1	0.1	5.00	5.00	1.06
B240-T270-H_{min}-X_{max}-2-14 (8)	6.50-11.63	8.95	15.69	15.75	0.98	0.79	0.65	0.080	0.060	0.101	0.131	0.135	1.68	1.637	1.063
B240-T270-H_{orta}-X_{max}-2-14 (9)	8.47-10.57	9.15	21.81	21.81	0.45	0.59	0.76	0.050	0.047	0.097	0.107	0.107	2.14	2.14	1.16
B240-T270-H_{min}-X_{min}-1-14 (11)	10.84-12.10	11.76	12.5	12.5	0.76	0.13	5.85	0.09	0.081	0.099	0.129	0.129	1.43	1.43	0.81
B240-T270-H_{orta}-X_{min}-1-14 (12)	1.54-8.71	8.71	9.01	9.01	0.76	0.06	12.62	0.1	0.02	0.1	0.14	0.14	1.4	1.4	0.63



Şekil 4.196. T270 elemanı kullanılan T birleşimlerinin sayısal modelleri

Şekil 4.196'da görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerleri incelendiğinde kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

iii. T240 tipli birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.21'de tanımlanan T240 grubundaki 5 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bu bölüm 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.197 ve Şekil 4.198'da X_{max} ve X_{min} grupları için T240 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.199'de bu 5 adet modelin moment dönme eğrileri aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.21. de ise bu modellerin moment dönme eğrilerinden elde edilen değerler verilmiştir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{orta} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %2,38 oranında azalmış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{orta} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %79,07 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %93,62 oranında arttığı, H_{max} grubunda ise %68,78 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{orta} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri Hmax oranı kullanılan birleşimdekine göre %1,19 oranında artış gösterirken. Xmin grubunda da Hmin değerleri Hmax'a göre %25,70 oranında artığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{orta}, H_{max} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %37,50 oranında ve H_{min} grubunda ise %59,46 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür.

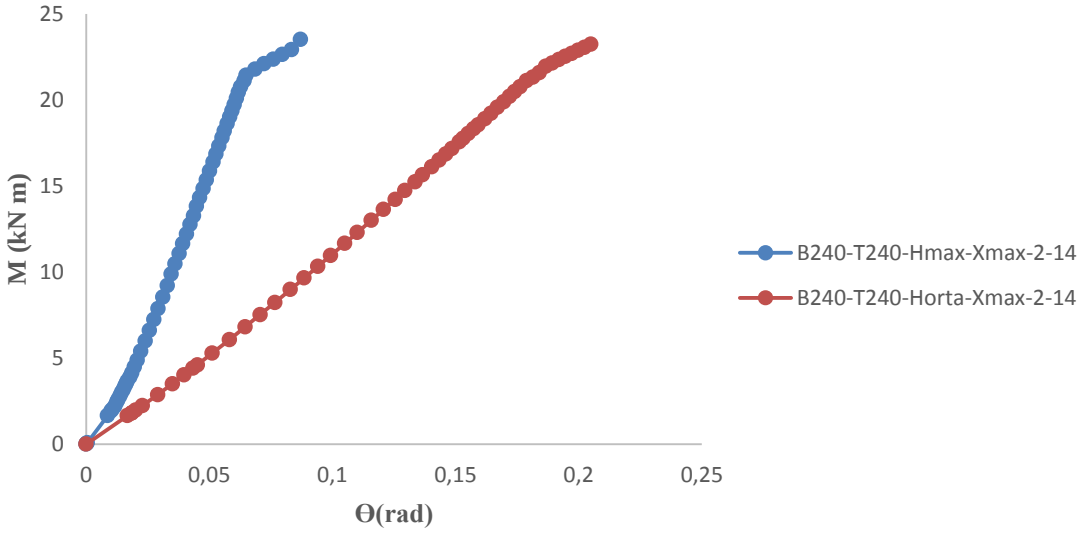
X_{max} grubunda H_{orta} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %38,24 oranında artış olduğu ve bu değerler X_{min} gurubunda bu orantılar H_{min} dan H_{max} %227,58 oranında azaldığı görülmüştür. Ayrıca X artığca rijitlik artığı tespit edilmiştir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %190,63 oranında azalmış gözükmüştür. X_{min} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %32,46 oranında artış görülmüştür ve Horta dan Hmax %64,93 orvea artış görülmüştür. Ayrıca H_{orta}, H_{max} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %85,48 oranında artığı, H_{max} grubunda ise %20,31oranında azaldığı görülmüştür.

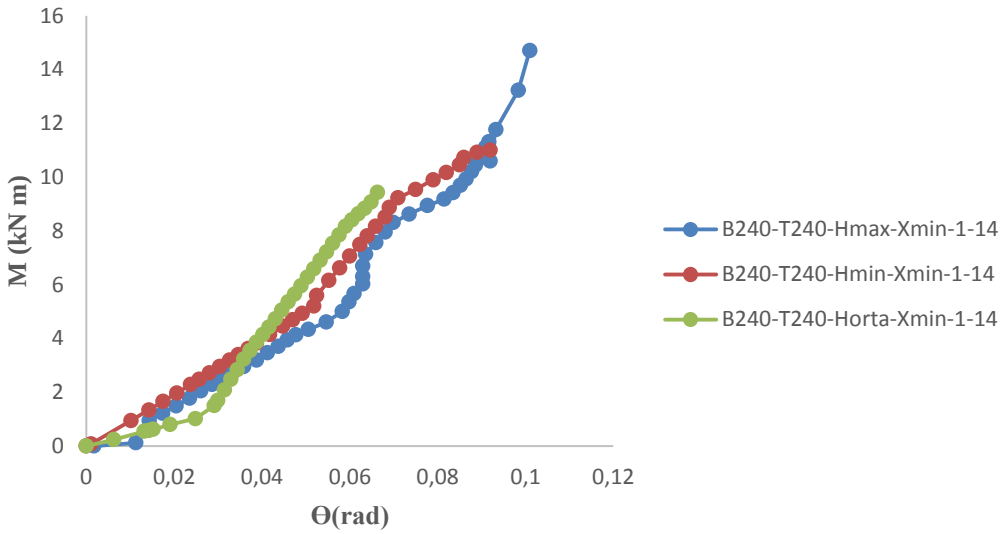
X_{max} deney grubunda H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %129,88 oranında azalma görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{max}'a göre %8 oranında azaldıkken H_{orta} %34,00 artiş görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Ψ_j ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %20,37 oranında artışı görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %27,87 oranında artışı görülmüştür.

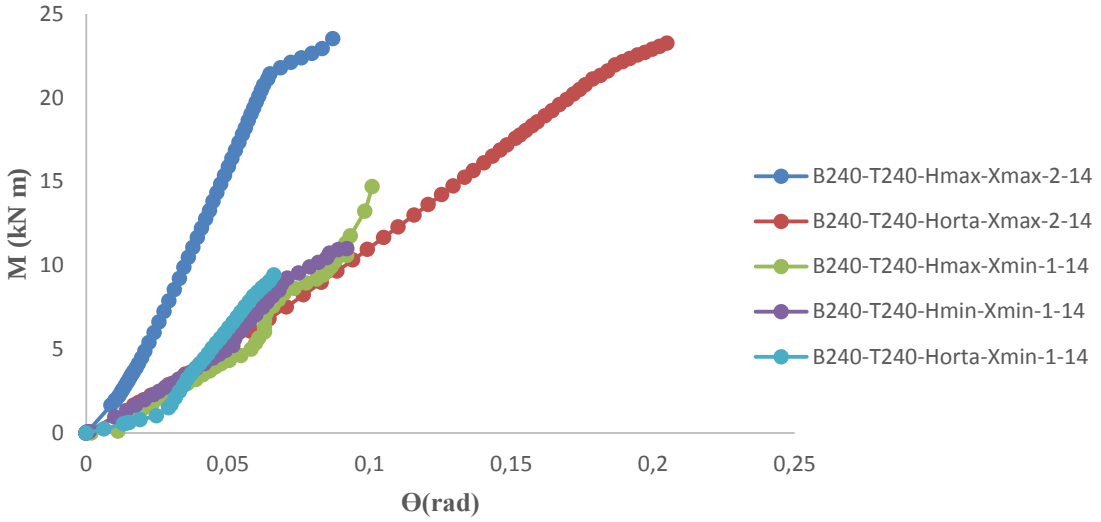
X_{min} den X_{max}, enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında H_{orta} %86,64 artış, H_{max} de %28,15 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 4.197. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



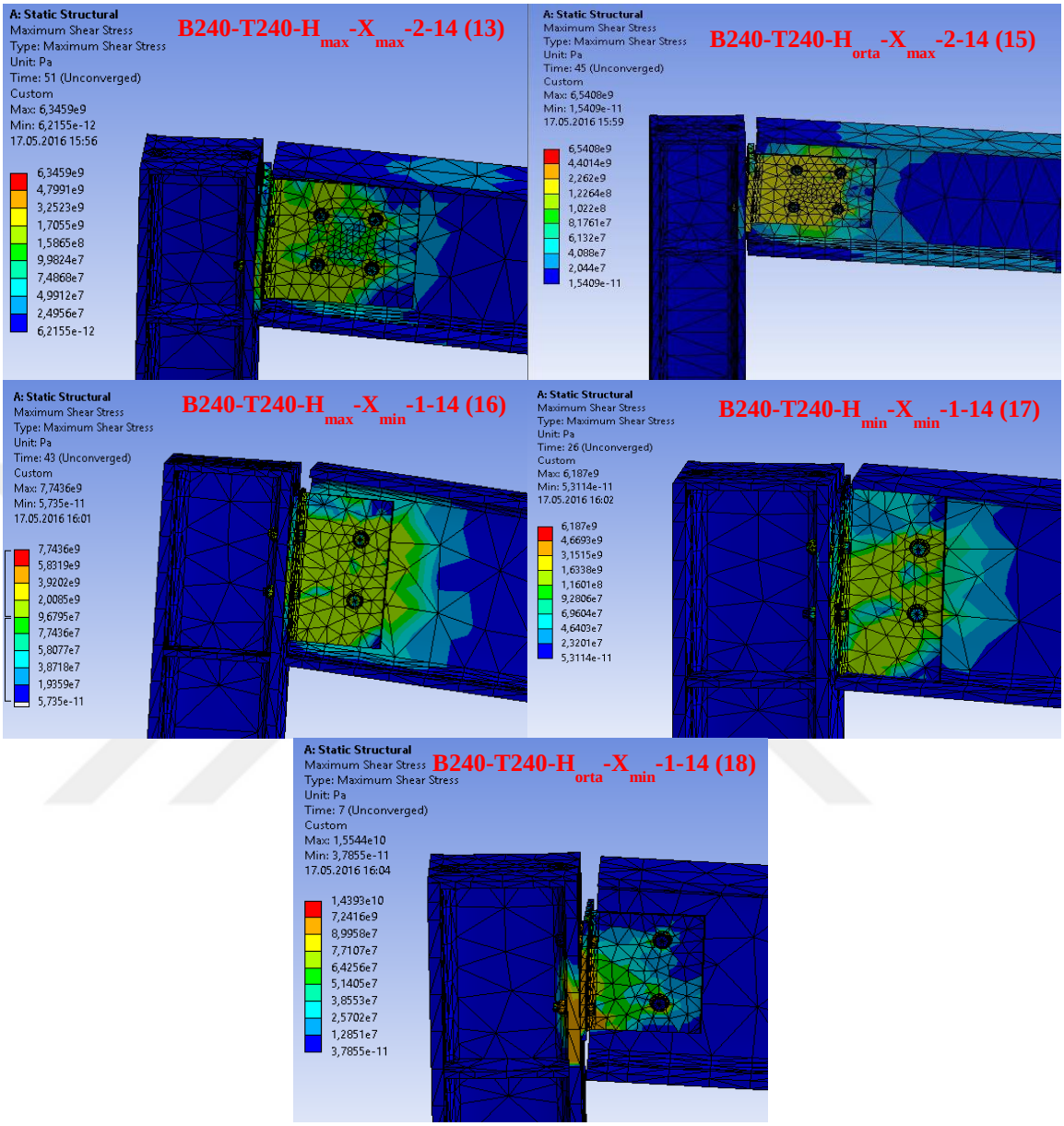
Şekil 4.198. B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.199. B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14, B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14, B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 ve B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.21. T240 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B240-T240-H_{max}-X_{max}-2-14 (13)	17.32-21.43	21.43	23.52	23.52	0.70	0.22	3.19	0.064	0.054	0.064	0.087	0.087	1.35	1.35	1.023
B240-T240-H_{orta}-X_{max}-2-14 (15)	2.87-21.94	21.94	23.24	23.24	0.65	0.33	1.97	0.186	0.029	0.186	0.20	0.20	1.075	1.075	2.324
B240-T240-H_{max}-X_{min}-1-14 (16)	5.003-9.69	6.69	14.70	14.70	0.35	1.22	0.29	0.077	0.058	0.085	0.1	0.1	1.29	1.29	0.735
B240-T240-H_{min}-X_{min}-1-14 (17)	5.20-9.22	7.05	11.0	11.0	0.45	0.47	0,95	0.052	0.071	0.057	0.092	0.092	1.76	1.76	0.506
B240-T240-H_{orta}-X_{min}-1-14 (18)	1.02-1.50	1.40	9.42	9.42	0.15	0.79	0.19	0.027	0.024	0.029	0.066	0.066	2.44	2.44	0.31



Şekil 4.200. T240 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri

Şekil 4.200'de görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerleri incelendiğinde kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

iv. T140 birleşim tipli birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.22'de tanımlanan T140 grubundaki 5 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bu bölüm'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.201 ve Şekil 4.202'da Xmax ve Xmin grupları için T140 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.203'de bu 5 adet modelin moment dönme eğrisi aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.22 ise bu modelerin moment dönme eğrisi karakteristik değerlerini vermektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %21,05 oranında artış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{orta} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %1,52 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{max}, H_{orta}, değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %45,83 oranında arttığı, H_{max} grubunda ise %66,11 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %13,53 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %23,04 oranında artığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{orta}, H_{max} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{max} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %55,06 oranında ve H_{orta} grubunda ise %66,59 oranında arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür.

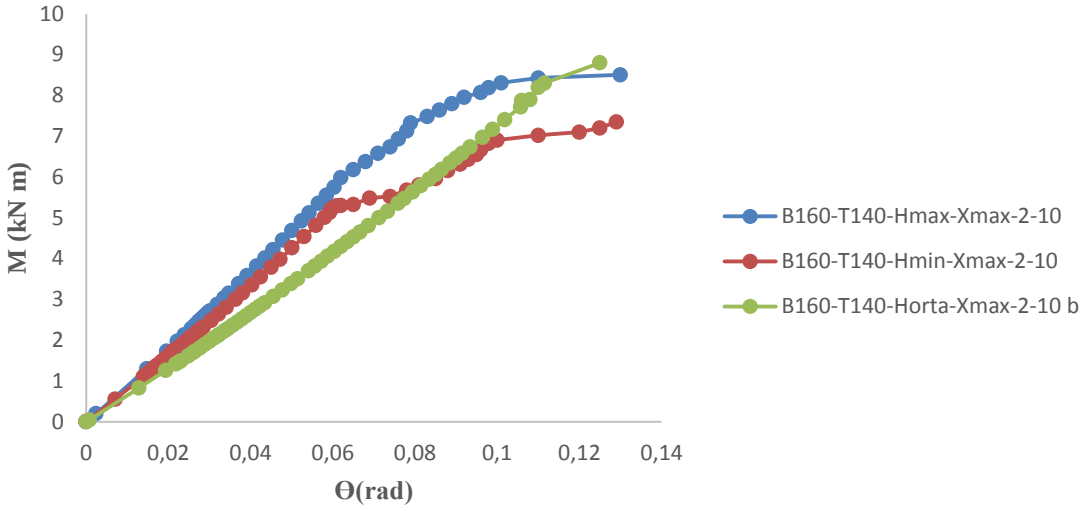
X_{max} grubunda H_{orta} değerini H_{max} değeri ile rijitlikler yönünden karşılaştırıldığında %91,66 oranında artış olduğu ve bu değerler X_{min} gurubunda bu orantılar H_{orta} dan H_{max} %22,58 oranında azaldığı görülmüştür. Ayrıca X artığca rijitlik artığı tespit edilmiştir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %20,93 oranında artış gözükmüştür. X_{min} kullanılan deney grubunda; H_{orta}oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %28,39 oranında azalmış görülmüştür. Ayrıca H_{orta}, H_{max} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %52,94 oranında azaldığı, H_{max} grubunda ise %5,81oranında arttığı görülmüştür.

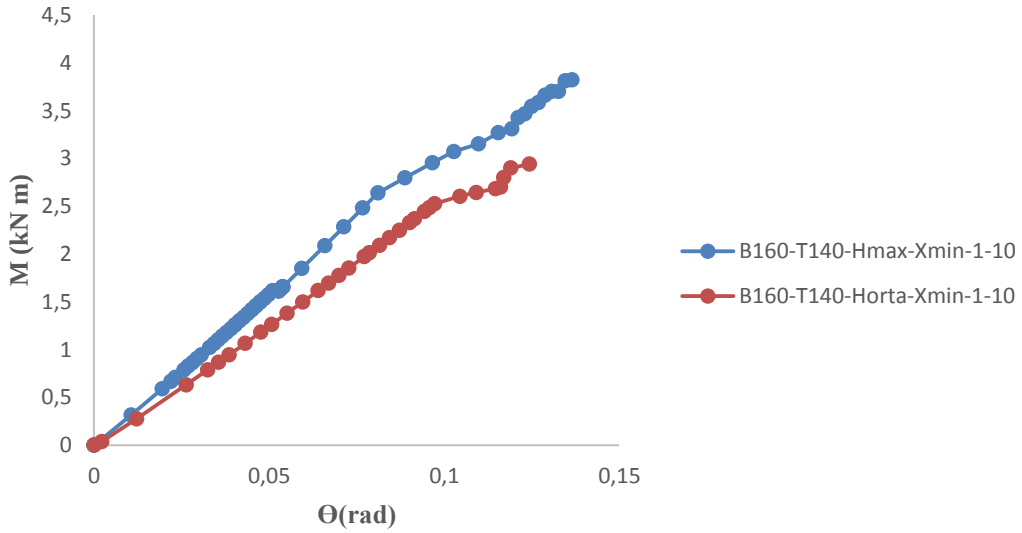
X_{max} deney grubunda H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %3,85 oranında artması görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{orta} değerleri H_{max}'a göre %8 oranında azaldıkken H_{orta} %4,62 artiş görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %21,19 oranında azalma görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{orta} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %25,63 oranında artışı görülmüştür.

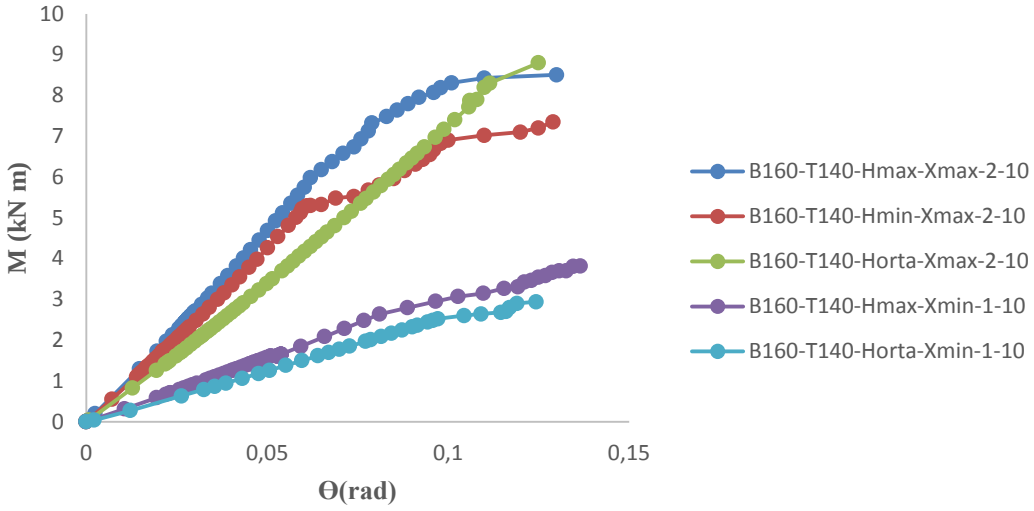
X_{min} den X_{max}, enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında H_{orta} %86,64 artış, H_{max} de %54,55 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 4.201. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



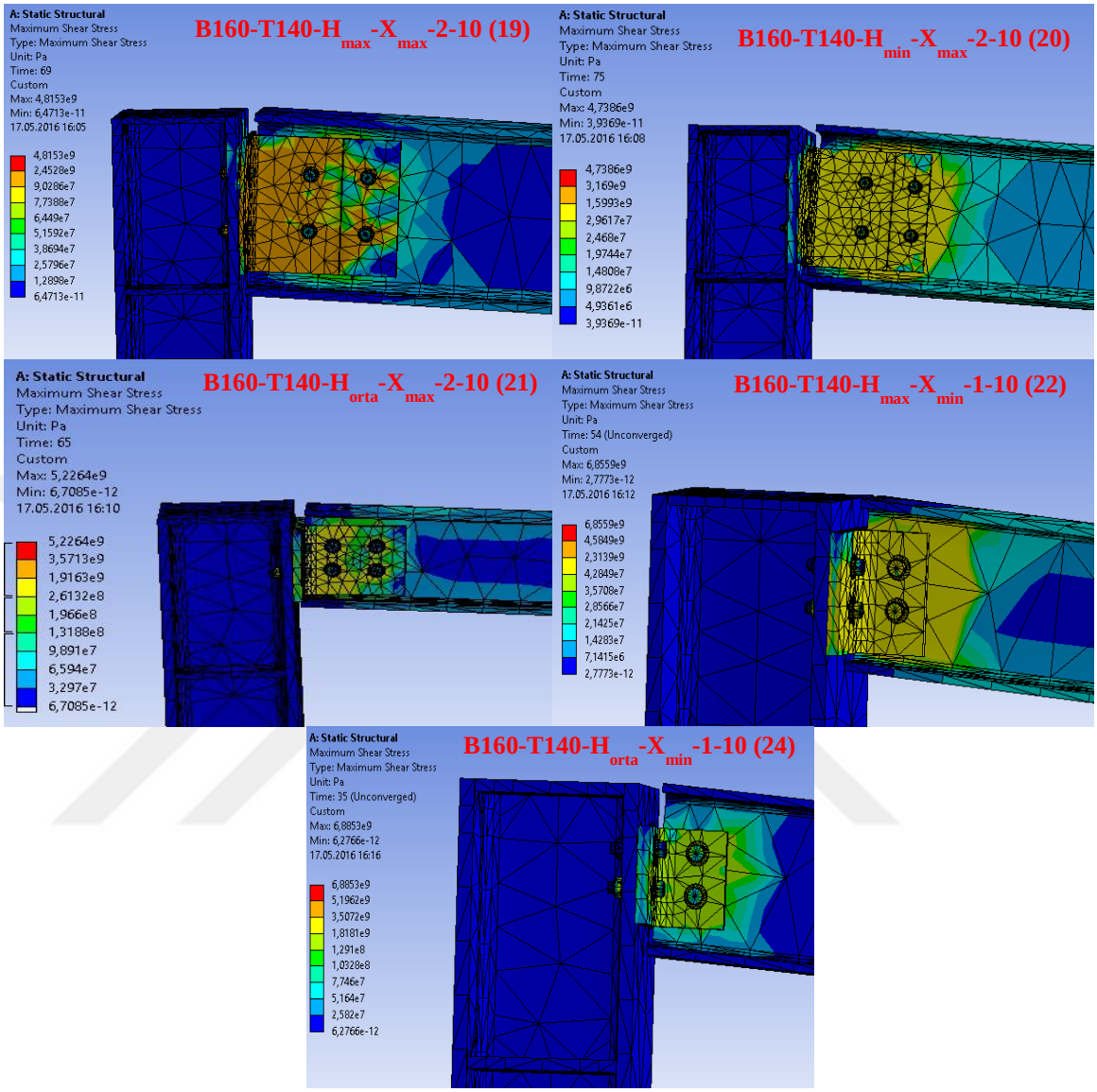
Şekil 4.202. B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.203. B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.22. T140 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
B160-T140-H_{max}-X_{max}-2-10 (19)	6.38-8.19	7.79	8.5	8.5	0.81	0.077	10.44	0.086	0.068	0.098	0.13	0.13	1.51	1.51	0.55
B160-T140-H_{min}-X_{max}-2-10 (20)	5.35-6.83	6.15	7.35	7.35	0.76	0.15	5.076	0.078	0.062	0.098	0.13	0.13	1.66	1.66	0.25
B160-T140-H_{orta}-X_{max}-2-10 (21)	1.26-5.35	4.8	8.8	8.8	0.505	0.58	0.87	0.068	0.019	0.076	0.125	0.125	1.83	1.83	0.55
B160-T140-H_{max}-X_{min}-1-10 (22)	1.65-3.07	2.64	3.82	3.82	0.64	0.41	1.55	0.081	0.054	0.103	0.13	0.13	1.60	1.60	0.25
B160-T140-H_{orta}-X_{min}-1-10 (24)	2.52-2.90	2.60	2.94	2.94	0.57	0.3	1.9	0.104	0.097	0.119	0.124	0.124	1.19	1.19	0.182



Şekil 4.204. T140 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modelleri

Şekil 4.204 de görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerlerine bakıldığında kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

v. T160 tipi birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.23'de tanımlanan T160 grubundaki 4 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bu bölüm 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.205 ve Şekil 4.206'da X_{max} ve X_{min} grupları için T160 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.207'de bu 4 adet modelin moment dönme eğrileri aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.23 ise bu sayısal modelerin moment dönme eğrilerinden elde edilen değerler verilmektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %80,08 oranında artış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %1,29 oranında artış şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca Hmin değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{min} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %4,58 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri Horta oranı kullanılan birleşimdekine göre %78,30 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{orta}'a göre %39,90 oranında artığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{min} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %9,90 arttığı görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür.

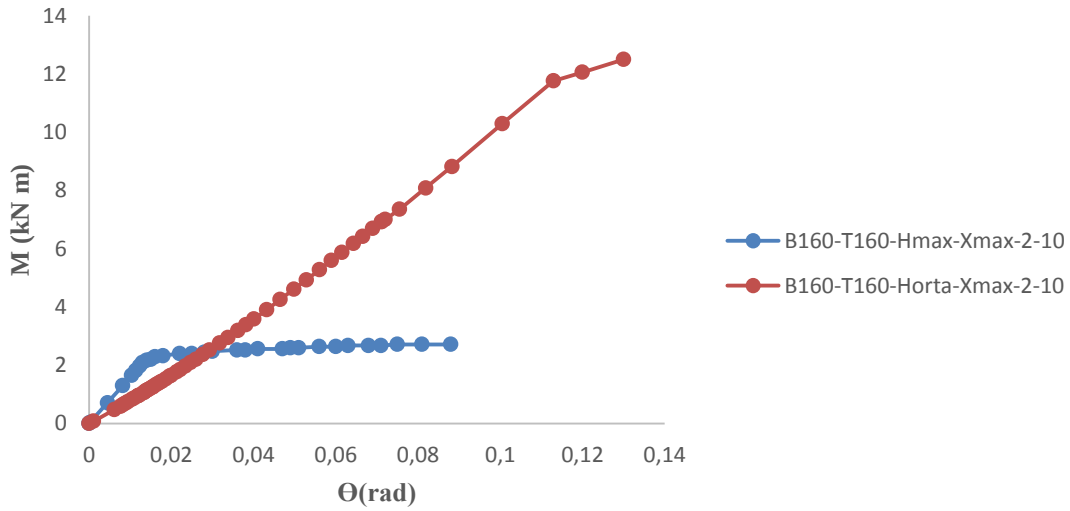
X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %38,46 oranında azaldığı gözükmüştür. X_{min} kullanılan deney grubunda; H_{min}oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %114,28 oranında azalmış görülmüştür. Ayrıca H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği

durumda; H_{min} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %33,33 oranında artığı görülmüştür.

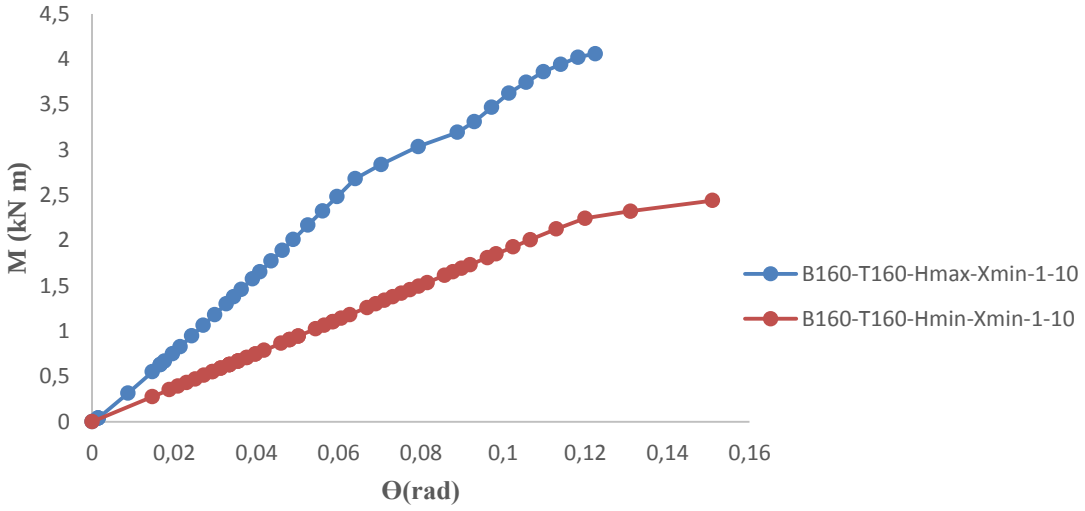
X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %32,30 oranında artması görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{max}'a göre %25,83 oranında azalma görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %52,00 oranında artış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{max} oranı kullanılan birleşimdekine göre %41,58 oranında artışı görülmüştür. Ayrıca X değeri arttıkça Ψj ve $\Psi_{jmaxload}$ değerleri azalmıştır.

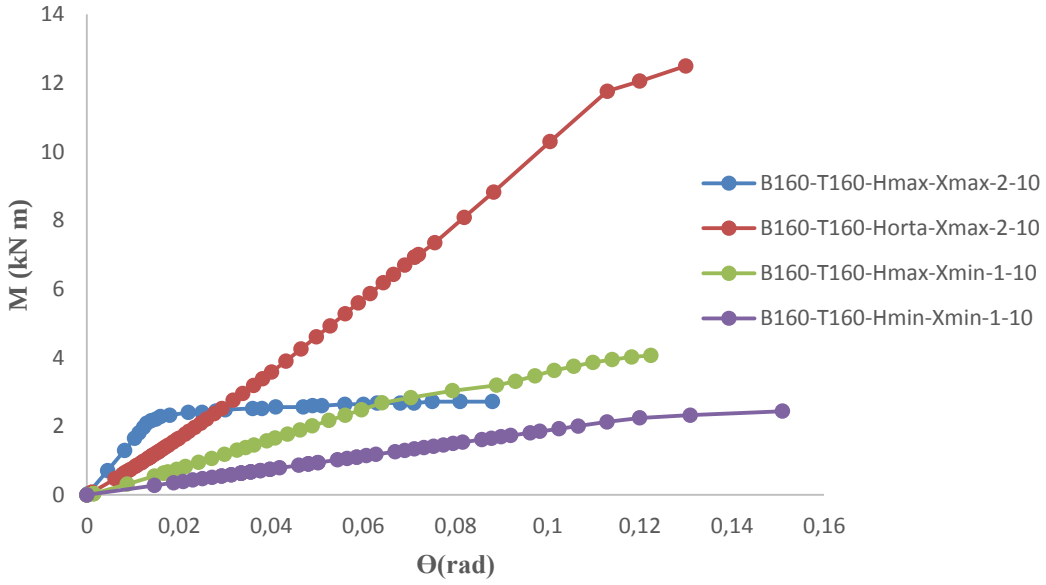
X_{min} den X_{max}, enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında H_{min} de %53,3 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.205. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 ve B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



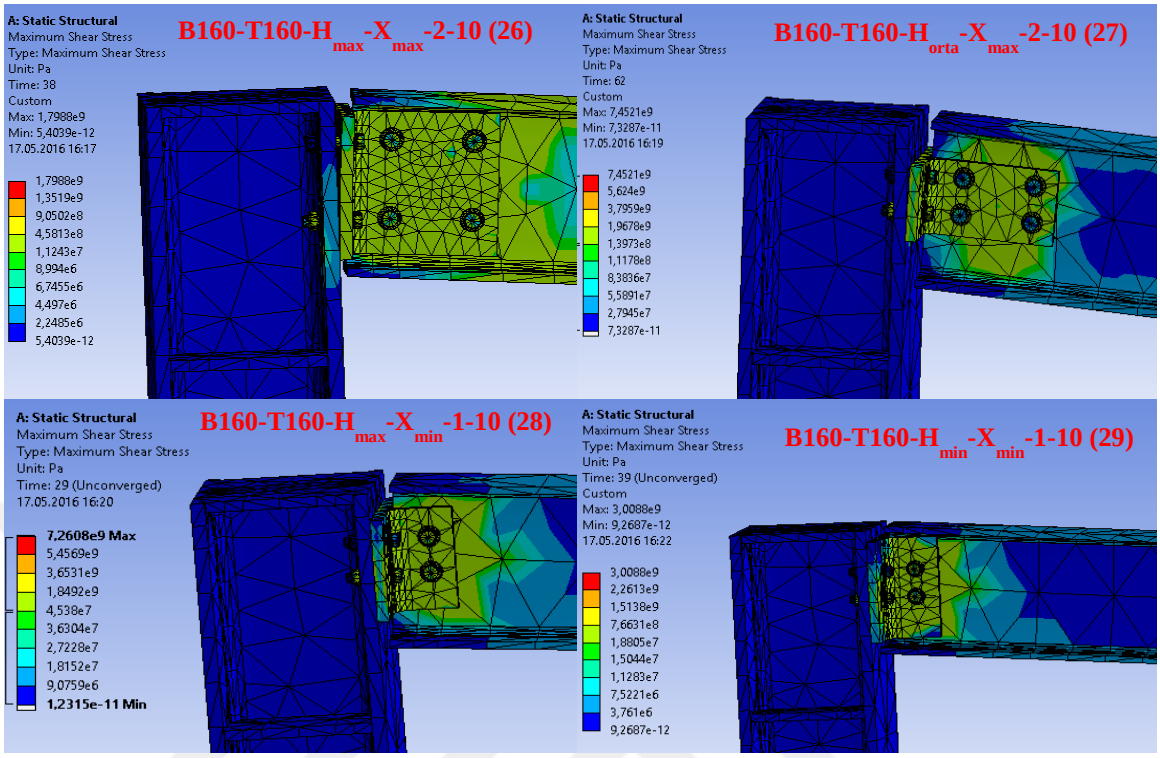
Şekil 4.206. B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 ve B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.207. B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10ve B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.23. T160 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme değrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji Yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ÖCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B160-T160-H_{max}-X_{max}-2-10 (26)	2.17-2.52	2.40	2.71	2.71	2.73	0.068	40.14	0.18	0.014	0.038	0.088	0.088	0.48	0.48	0.12
B160-T160-H_{orta}-X_{max}-2-10 (27)	8.82-11.76	12.05	12.49	12.49	0.53	0.25	2.14	0.13	0.088	0.11	0.13	0.13	1.00	1.00	0.81
B160-T160-H_{max}-X_{min}-1-10 (28)	2.16-3.19	2.32	4.06	4.06	0.46	0.66	0.69	0.056	0.053	0.088	0.12	0.12	2.14	2.14	0.24
B160-T160-H_{min}-X_{min}-1-10 (29)	2.24-2.29	2.29	2.44	02.44	0.56	0.19	2.94	0.12	0.12	0.12	0.151	0.151	1.25	1.25	0.184



Şekil 4.208. T160 elemanı kullanılan T birleşimlerin sayısal modelleri

Şekil 4.208'de görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerlerine bakıldığında kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

vi. T200 tipi birleşimlerin sayısal modelleri

Çizelge 4.24'de tanımlanan T200 grubundaki 4 adet sayısal modelleme gerçekleştirilmiş ve bu bölüm 'de açıklanan H ve X değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.209. ve Şekil 4.210.'da X_{max} ve X_{min} grupları için T200 birleşim elemanı kullanılan birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.211'de bu 4 adet modelin moment dönme eğrileri aynı grafik üzerinde görülmektedir. Çizelge 4.24 ise bu sayısal modellerin moment dönme eğrilerinden elde edilen değerler verilmektedir.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %46,03 oranında artış görülmüştür. X_{min} grubu değerlendirildiğinde ise, H_{min} oranı kullanılan birleşimde $M_{j.Rd}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %9,80 oranında azaldığı şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca H_{min}, H_{orta} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{min} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %28,93 oranında arttığı görülmüştür, H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %65,07 oranında arttığı görülmüştür.

X_{max} deney grubunda Hmin oranı kullanılan birleşimde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri Horta oranı kullanılan birleşimdekine göre %21,60 oranında artış gösterirken. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{orta}'a göre %16,98 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca H_{min} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında; H_{min} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %47,28 arttığı görülmüştür ve H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %64,66 arttığı görülmüştür.

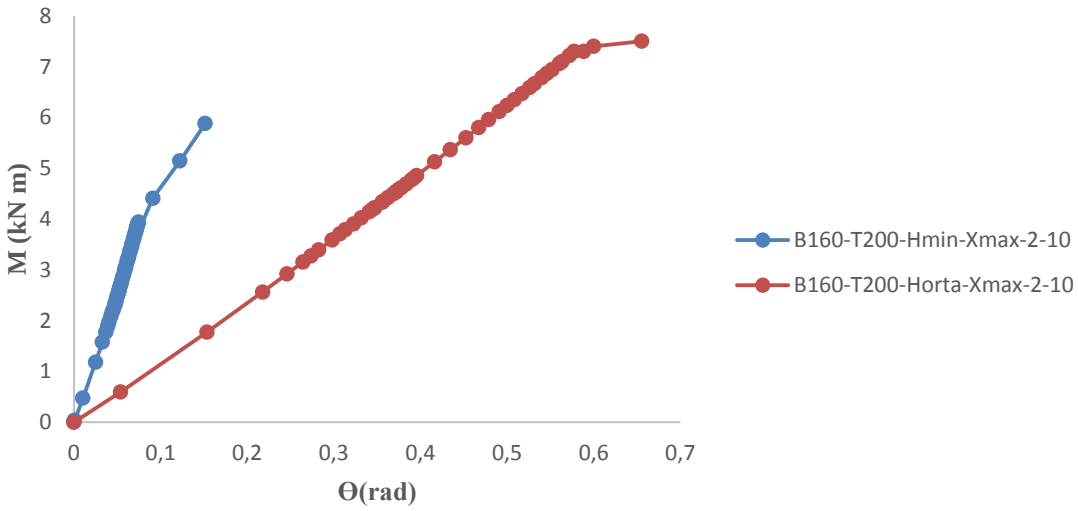
Genel olarak bakıldığında X değerleri artış gösterdiğinde dayanım artış görülmüştür. ayrıca H arttıkça rijitlik artış görülmüştür.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %87,93 oranında artığı gözükmüştür. X_{min} kullanılan deney grubunda; H_{min}oranı kullanılan birleşimde Θ_{Mrd} değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %7,69 oranında artığı görülmüştür. Ayrıca H_{orta} değerleri kendi aralarında X değerlerine göre karşılaştırıldığında yani X değeri artiş gösterdiği durumda; H_{orta} grubunda X_{min} değeri X_{max} değeri ile karşılaştırıldığında %77,59 oranında artığı görülmüştür.

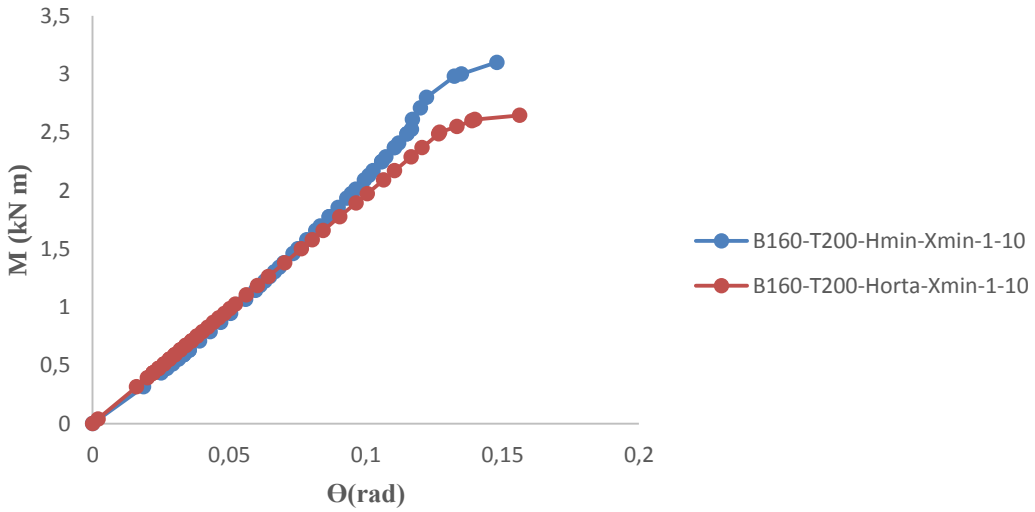
X_{max} deney grubunda H_{min} oranı kullanılan birleşimde Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %76,92 oranında artması görülmüştür. X_{min} grubunda da H_{min} değerleri H_{max}'a göre %7,50 oranında artma görülmüştür. Ayrıca X değeri arttıkça Θ_{jmax} ve Θ_{cd} değerleri artiş göstermişler.

X_{max} kullanılan deney grubunda; H_{min} oranı kullanılan birleşimde Ψ_j ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri H_{orta} oranı kullanılan birleşimdekine göre %91,07 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca X değeri arttıkça Ψ_j ve $\Psi_{jmaxload}$ değerler artmiştir.

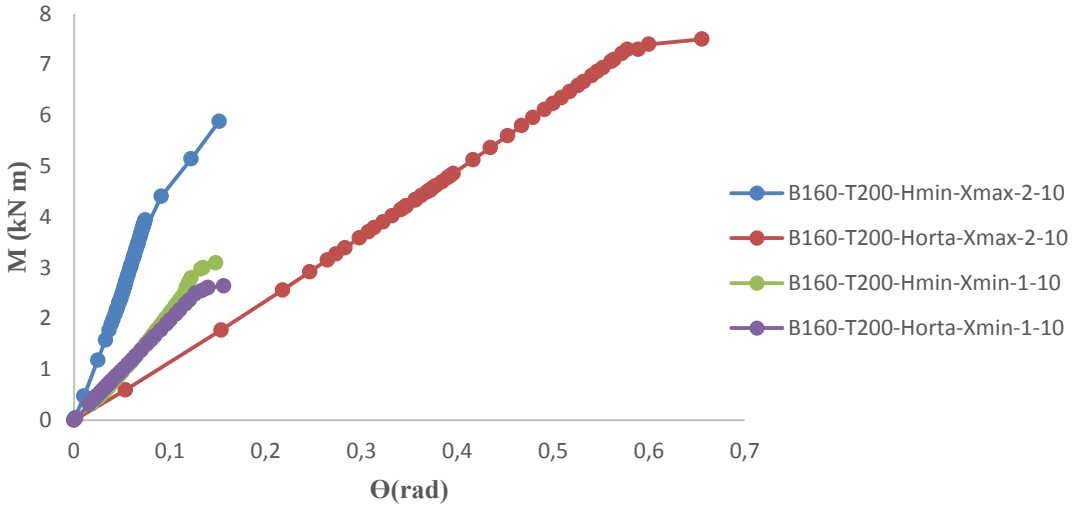
X_{min} den X_{max}, enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırıldığında X değeri arttıkça, artış görülmüştür.



Şekil 4.209. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



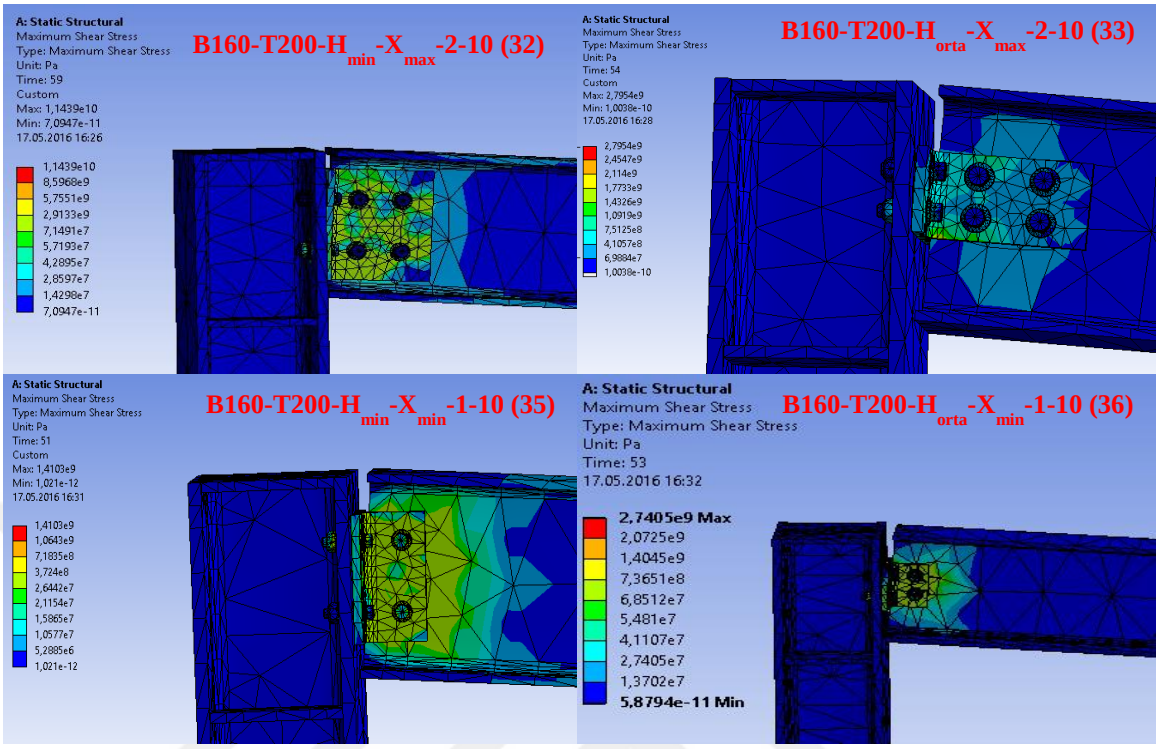
Şekil 4.210. B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.211. B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10, B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 ve B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 birleşimlerin moment dönme eğrileri

Çizelge 4.24. T200 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerinin özellikleri

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	$M_{ΘCd}$	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-}$	$Θ_{M.Rd}$	$Θ_{Min.K.R}$	$Θ_{Msup.k.R}$	$Θ_{Mj.max}$	$Θ_{Cd}$			
B160-T200-H_{min}-X_{max}-2-10 (32)	3.94-4.41	3.94	5.88	5.88	0.61	0.28	2.13	0.07	0.074	0.091	0.15	0.15	2.14	2.14	2.44
B160-T200-H_{orta}-X_{max}-2-10 (33)	7.3-7.34	7.3	7.5	7.5	0.56	0.14	4.009	0.58	0.58	0.58	0.65	0.65	1.12	1.12	2.44
B160-T200-H_{min}-X_{min}-1-10 (35)	2.8-2.85	2.8	3.1	3.1	0.51	0.43	1.20	0.12	0.12	0.13	0.148	0.148	1.23	1.23	0.23
B160-T200-H_{orta}-X_{min}-1-10 (36)	2.5-2.61	2.55	2.65	2.65	0.701	0.109	6.74	0.13	0.127	0.14	0.16	0.16	1.23	1.23	0.212



Şekil 4.212. T200 elemanı kullanılan birleşimlerin sayısal modelleri

Şekil 4.212'de görüldüğü gibi deneylerde bulon Kopması ve bulonların sıyrılması olmuştur. Bulonlorda kopma birleşim ile kolon arasındaki bulonlorda meydana gelmiştir. Gerilme değerlerine bakıldığında kolon ve kiriş elastik bölgede kalırken birleşim bölgesi ve bulonlar plastik bölgeye geçmiştir.

4.7.3. Alt-üst korniyerli birleşimler

4.7.3.a. t_p6 tip birleşimlerin sayısal modelleri

Bu grupta 9 çeşit sayısal model yapılmıştır. Modellerin hepsinde kirişlerde çeşitli ebatlarda berkitmeler kullanılmıştır. Alt-üst korniyerli birleşimlerde et kalınlığı 6 mm olarak seçilmiştir. Köşebent boyları laboratuvar şartları göz önüne alınarak seçilmiştir. 9 çeşit sayısal model aralarında üç gruba ayrılmıştır. Bunlar L91, L82 ve L73 olarak adlandırılmıştır. Kirişlerdeki berkitme kalınlıkları 5 mm, 6 mm ve 10 mm olarak

seçilmiştir. Moment-dönme eğrileri Şekil 4.213, 4.214 ve 4.215 da ve Çizelge 4.25 görülmektedir.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $M_{j.Rd}$ değerleri %8,01 ile %79,00 değerleri arasında azalarak değişim olmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; $M_{j.Rd}$ değerleri %55,78 ile %117,29 değerleri arasında artma değişim olmaktadır.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Mj.max ve $M_{\Theta.Cd}$ değerlerinde %0,28 ile %16,90 değerleri arasında azalım değişim olmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Mj.max ve $M_{\Theta.Cd}$ değerleri %11,17 ile %75,45 değerleri arasında artarak değişim olmaktadır.Sonuç olarak kirişlerde berkitme kullanıldığı zaman $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerini L73 grubunda artmaktadır.

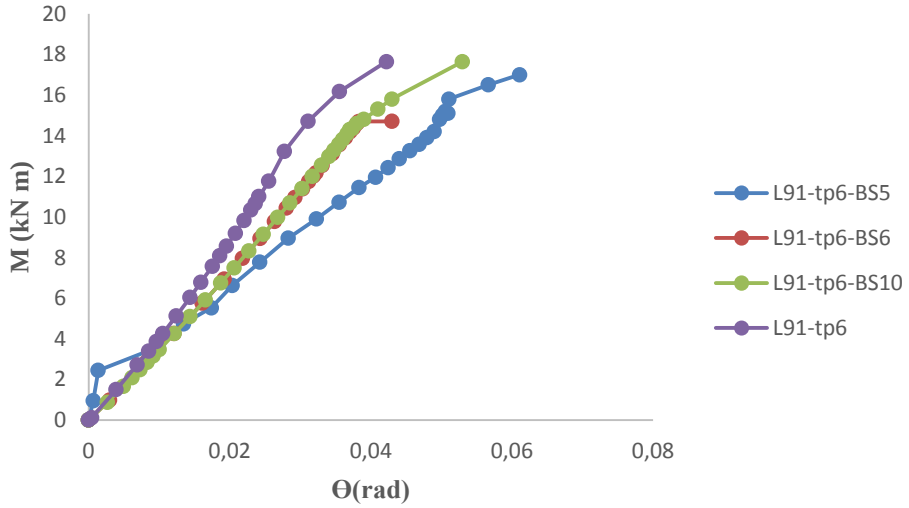
L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; rijitlik değerleri %178,08 ile %379,45 değerleri arasında artarak değişim olmaktadır. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; rijitlik değerleri %90,65 ile %406,92 değerleri arasında artarak değişim olmaktadır.Genel olarak kirişte berkitme kullanıldığı zaman rijitlik artış görülmüştür.

L91 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Θ_{Mjmax} ve Θ_{Cd} değerleri %2,38 ile %85,47 değerleri arasında artarak değişim görülmüştür. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Θ_{Mjmax} ve Θ_{Cd} değerleri %51,00 ile %21,00 değerleri arasında azalarak değişim görülmüştür.

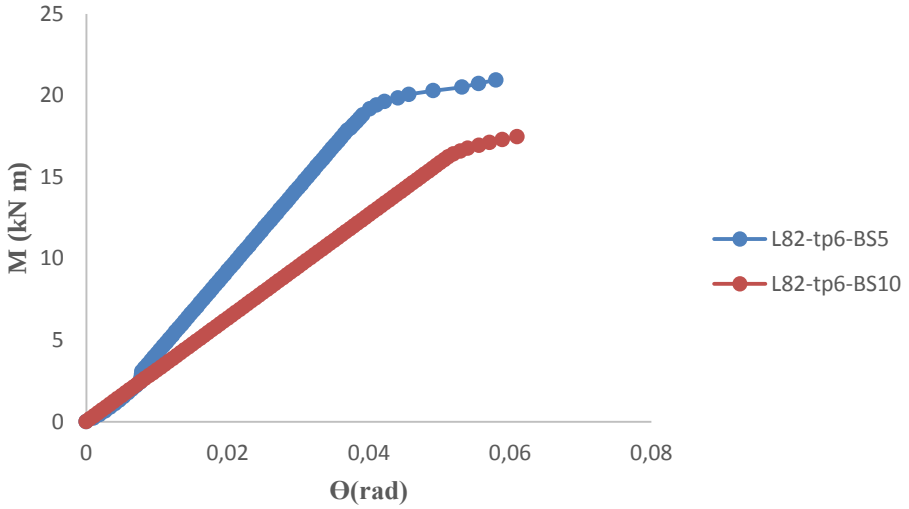
L91 ve L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; süneklik (Ψj) ve ($\Psi_{j.maxload}$) değerleri kirişin berkitme et kalınlığı

artarak azalma görülmüştür. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; Ψj ve ($\Psi_{j.maxload}$) değerleri %34,59 ile %17,30 değerleri arasında azalarak değişim görülmüştür.

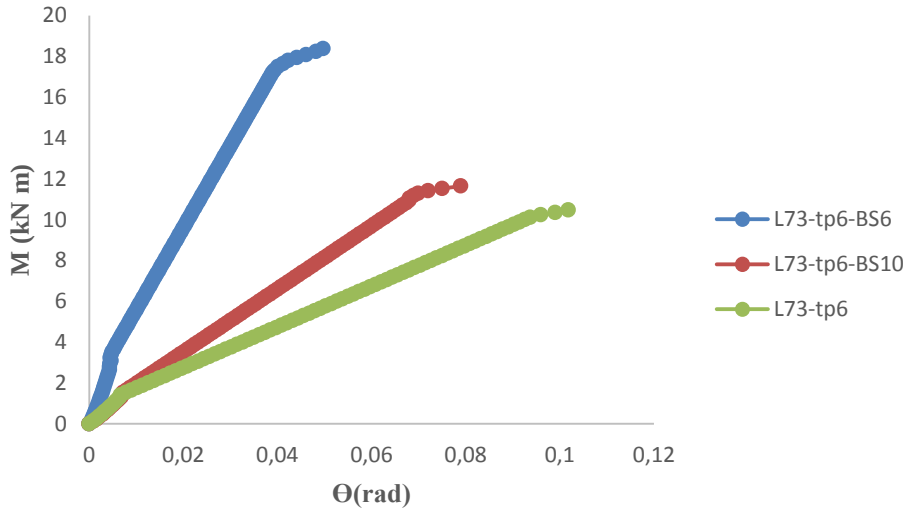
L91 ve L82 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; enerji yutma kapasitesi değerleri kirişin berkitme et kalınlığı artarak azalma görülmüştür. L73 grubunda kirişte berkitme kullanılmayanlarla berkitme kullanılanları karşılaştırdığımızda; enerji yutma kapasitesi değerleri %11,54 ile %13,46 değerleri arasında azalarak değişim görülmüştür. Sonuç olarak birleşimin genişliği başlık genişliğine eşit ya da büyük olduğunda enerji yutma kapasitesi de artmaktadır.



Şekil 4.213. L91-t_p6-BS5, L91-t_p6-BS6, L91-t_p6-BS10 ve L91-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi



Şekil 4.214. L82-t_p6-BS5 ve L82-t_p6-BS10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi

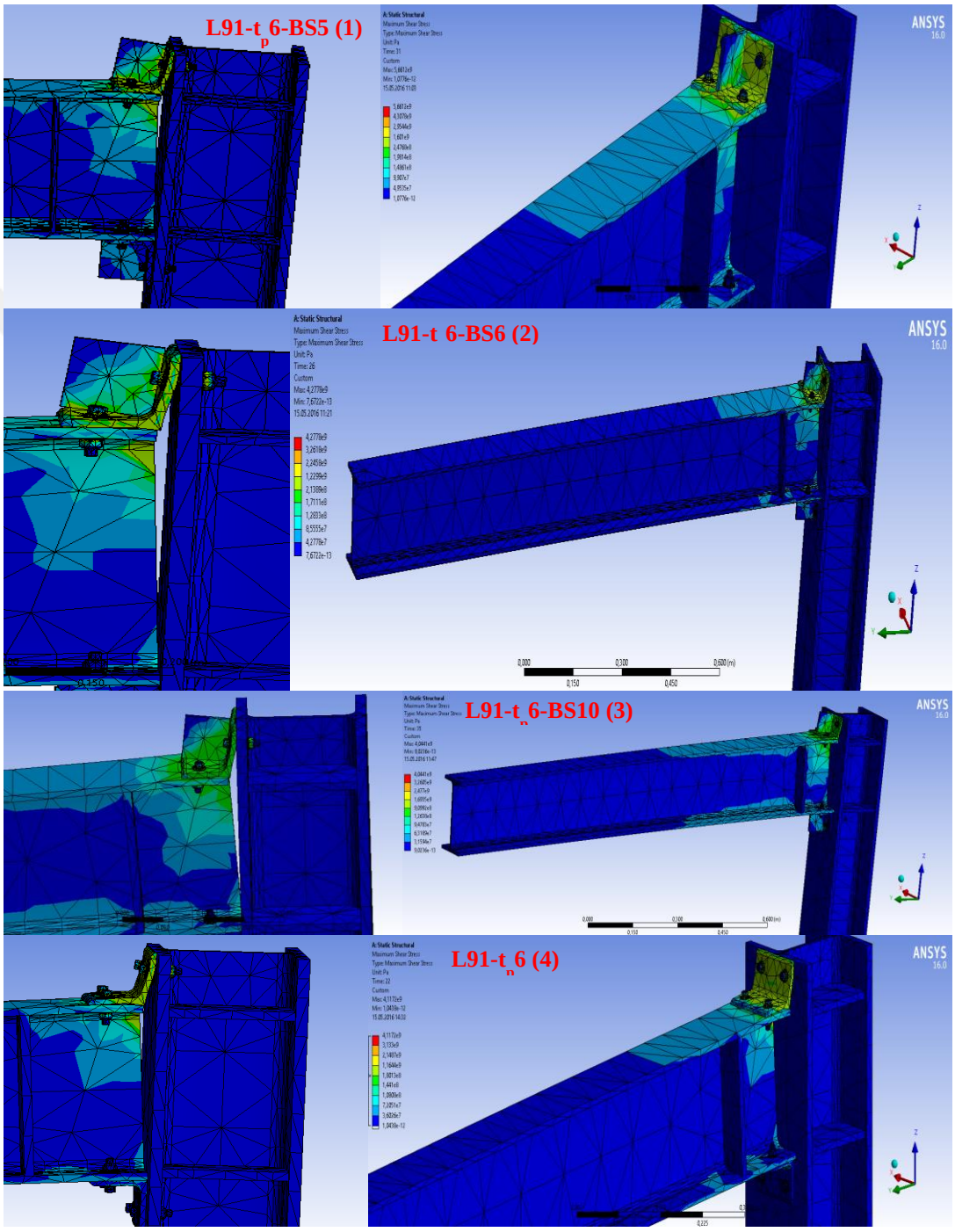


Şekil 4.215. L73-t_p6-BS6, L73-t_p6-BS10 ve L73-t_p6 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi

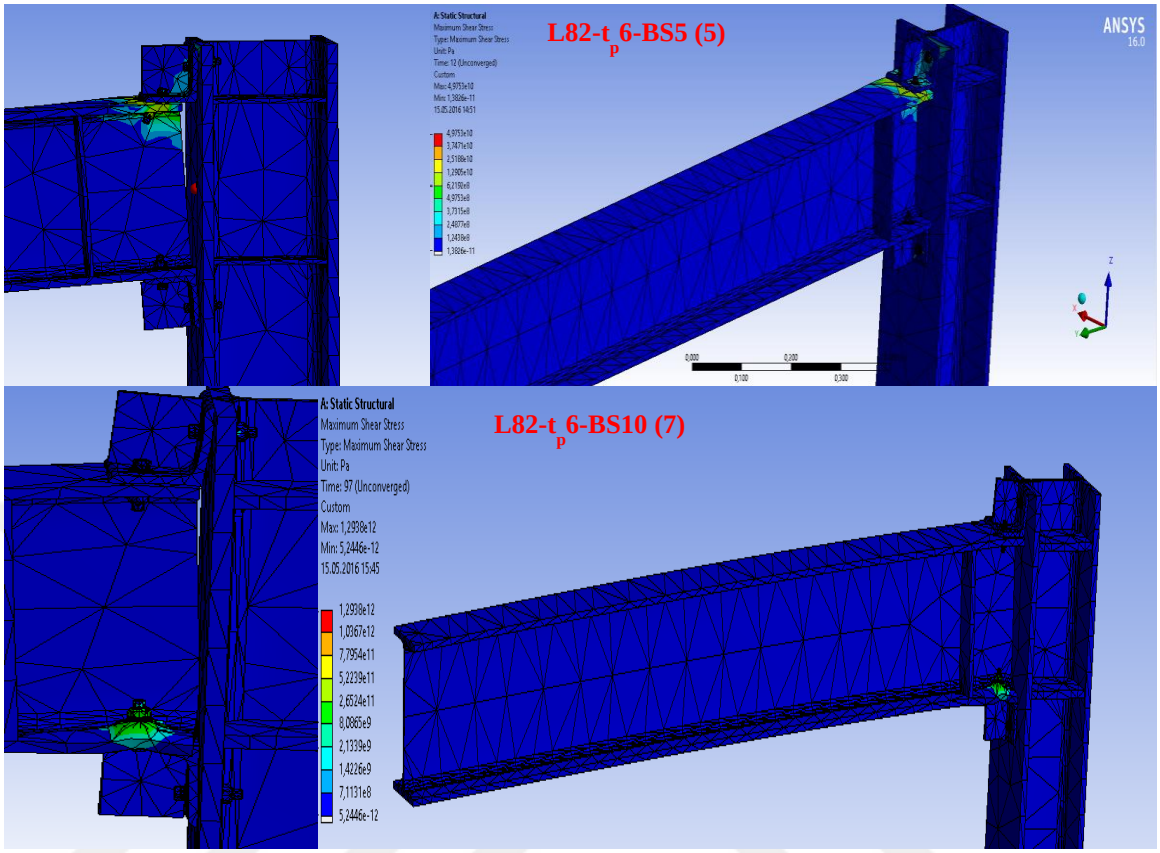
Çizelge 4.25. tp 6 tipli birleşimlerin sayısal modellerinin moment dönme eğrilerine ilişkin değerler

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			Dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
L91-t_p6-BS5 (1)	2.44-15.8	8.93	17.00	17.00	2.89	0.27	10.58	0.009	0.0013	0.0051	0.061	0.061	6.77	6.77	0.52
L91-t_p6-BS6 (2)	9.77-14.69	14.2	14.7	14.7	0.59	0.097	6.09	0.091	0.026	0.038	0.043	0.043	0.47	0.47	0.32
L91-t_p6-BS10 (3)	4.26-14.8	14.8	17.64	17.64	0.63	0.29	2.11	0.039	0.012	0.039	0.053	0.053	1.35	1.35	0.47
L91-t_p6 (4)	2.72-16.17	16.00	17.69	17.69	0.64	0.29	2.19	0.03	0.006	0.035	0.042	0.042	1.40	1.40	0.37
L82-t_p6-BS5 (5)	2.42-19.63	19.63	20.95	20.95	0.72	0.12	6.09	0.042	0.007	0.092	0.058	0.058	1.38	1.38	0.61
L82-t_p6-BS10 (7)	11.99-15.88	15.17	17.46	17.46	0.63	0.23	2.74	0.047	0.037	0.050	0.061	0.061	1.29	1.29	0.53
L73-t_p6-BS6 (10)	2.65-17.13	15.58	18.37	18.37	0.88	0.16	5.51	0.032	0.004	0.039	0.049	0.049	1.53	1.53	0.45
L73-t_p6-BS10 (11)	5.17-11.41	11.17	11.64	11.64	0.66	0.045	14.6	0.065	0.030	0.072	0.079	0.079	1.21	1.21	0.46
L73-t_p6 (12)	2.46-10.11	7.17	10.47	10.47	0.83	0.29	2.89	0.054	0.017	0.093	0.10	0.10	1.85	1.85	0.52

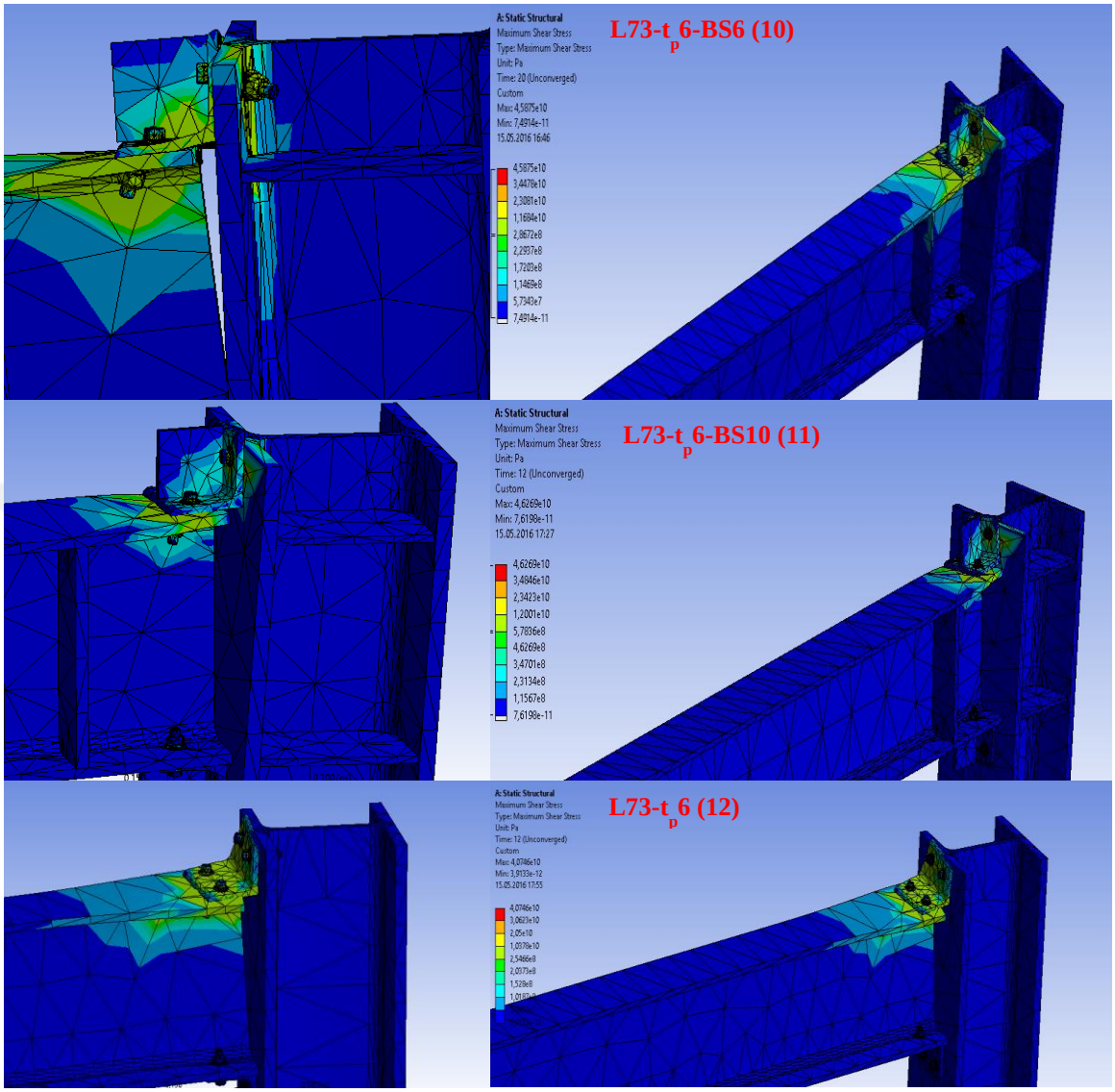
Şekil 4.216-4.218 incelendiğinde gibi kesme birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar görülmüştür.



Şekil 4.216. tp6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.217. tp 6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.218. tp 6 tipi birleşimlerin sayısal modeldeki bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.218 göründügü gibi üst başlıkdaki gerilmeler alt başlıktaki gerilmelerden fazla çıkmıştır.

4.7.3.b. tp8 tipi modellerin sayısal modelleri

Moment-dönme eğrileri Şekil 4.219, 4.220 ve 4.221 da ve ilgili değerler Çizelge 4.26 verilmiştir.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değeri %55,52 oranında azalmış olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değeri %26,83 oranında artış olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ %26,84 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L73 olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.Rd}$ değeri azalmış olduğu görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $M_{j.max}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değeri %2,62 oranında artış olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değeri %21,22 oranında artış olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ %17,18 oranında artış olduğu görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde rijitlik değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde rijitlik değeri %11,86 oranında artış olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde rijitlik değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde rijitlik değeri %33,27 oranında artma olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde rijitlik %18,73 oranında artma olduğu görülmüştür. Ayrıca, L73 olduğu deneylerde rijitlik değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça rijitlik değeri azalmış olduğu görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değeri %84,62 oranında azalma olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değerlerini

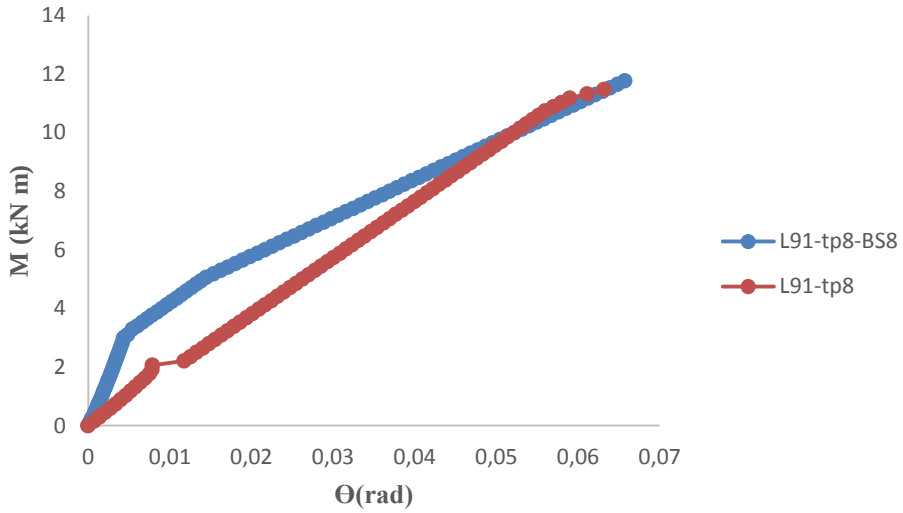
karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değeri %20,00 oranında artma olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ %22,50 oranında artma olduğu görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değeri %3,17 oranında artma olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değeri %3,03 oranında artma olduğu görülmüştür. Ayrıca, L73 olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değeri azalmış olduğu görülmüştür.

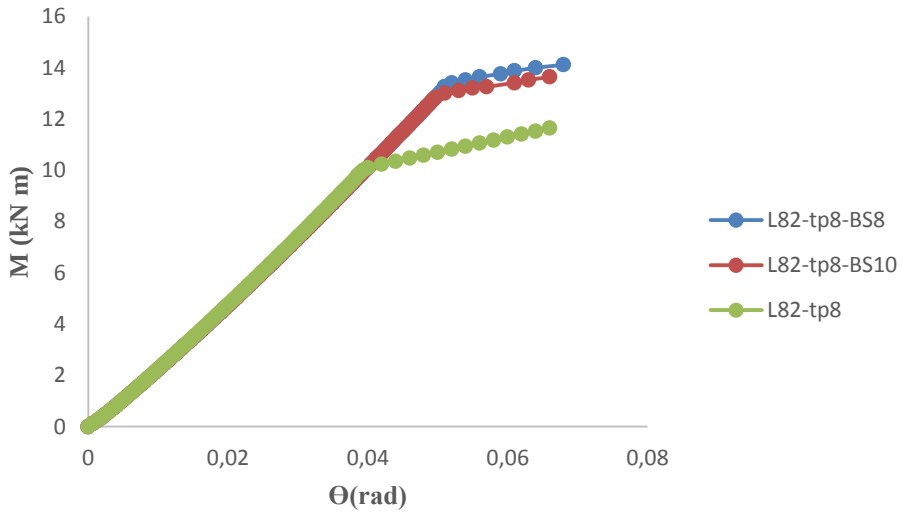
Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri %572,67 oranında artış olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri %12,73 oranında azalma olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ %18,79 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L73 olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça Ψ_j ve $\Psi_{jmaxload}$ değerinde artma olduğu görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde enerji yutma kapasitesi değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde enerji yutma kapasitesi değeri %5,55 oranında artış olduğu görülmüştür. Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L82 olduğu deneylerde enerji yutma kapasitesi değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde enerji yutma kapasitesi değeri %26,32 oranında artma olduğu,

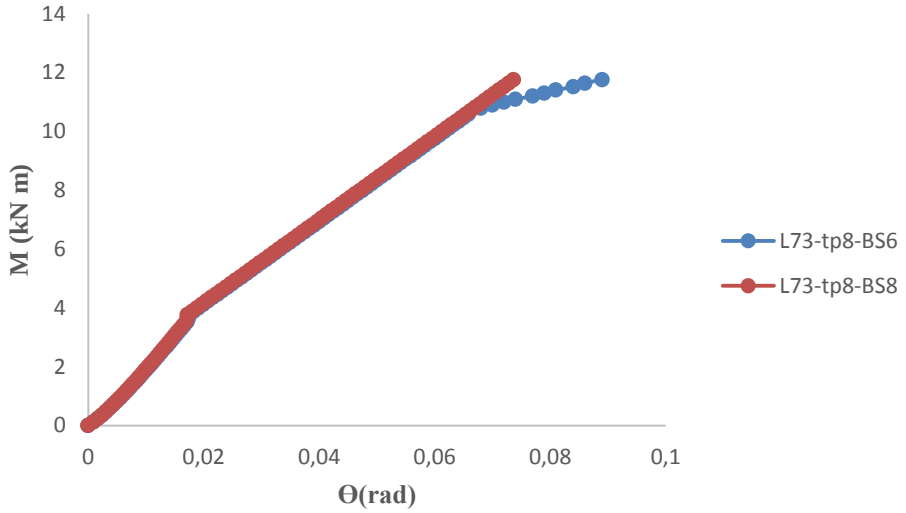
birleşimin 10 mm olduğu deneylerde enerji yutma kapasitesi %18,42 oranında artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.219. L91-t_p8-BS8 ve L91-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi



Şekil 4.220. L82-t_p8-BS8, L82-t_p8-BS10 ve L82-t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi

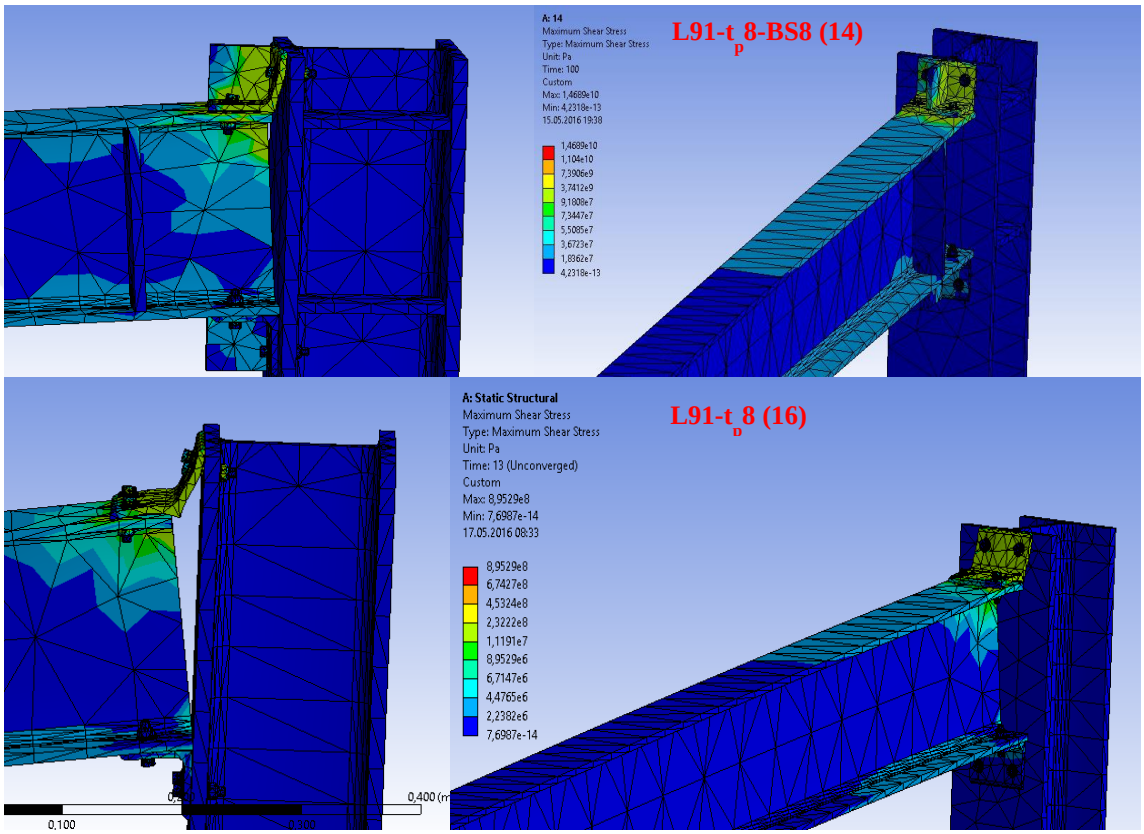


Şekil 4.221. L73-t_p8-BS6 ve L73-t_p8-BS8 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrisi

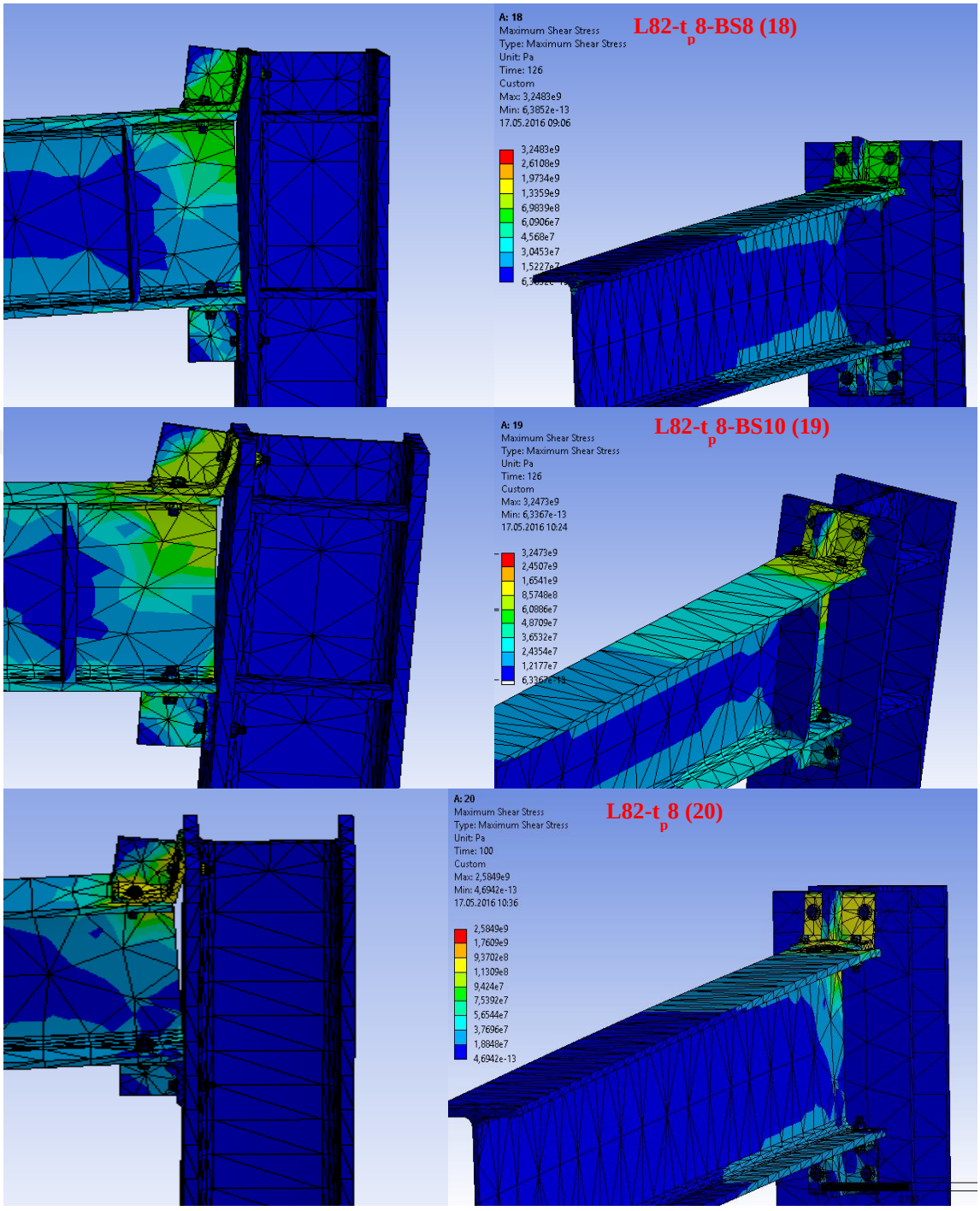
Çizelge 4.26. tp 8 tipli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen moment dönme eğrilerine ilişkin veriler

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
L91-t_p8-BS8 (14)	3.01-4.82	3.99	11.76	11.76	2.29	0.34	6.79	0.006	0.004	0.013	0.065	0.065	10.83	10.83	0.38
L91-t_p8 (16)	1.91-11.025	8.97	11.46	11.46	0.75	0.12	6.07	0.039	0.007	0.058	0.063	0.063	1.61	1.61	0.36
L82-t_p8-BS8 (18)	3.17-13.05	12.81	14.11	14.11	0.77	0.12	6.69	0.047	0.014	0.05	0.068	0.068	1.44	1.44	0.48
L82-t_p8-BS10 (19)	1.99-12.82	12.82	13.64	13.64	0.61	0.102	5.96	0.049	0.0085	0.049	0.066	0.066	1.34	1.34	0.45
L82-t_p8 (20)	3.88-10.1	10.1	11.64	11.64	0.73	0.145	5.02	0.04	0.016	0.04	0.066	0.066	1.65	1.65	0.38
L73-t_p8-BS6 (21)	4.93-10.79	9.64	11.76	11.76	0.85	0.124	6.82	0.050	0.025	0.068	0.086	0.086	1.72	1.72	0.51
L73-t_p8-BS8 (22)	3.88-8.12	4.94	11.76	11.76	0.79	0.39	2.04	0.023	0.018	0.048	0.073	0.073	3.17	3.17	0.43

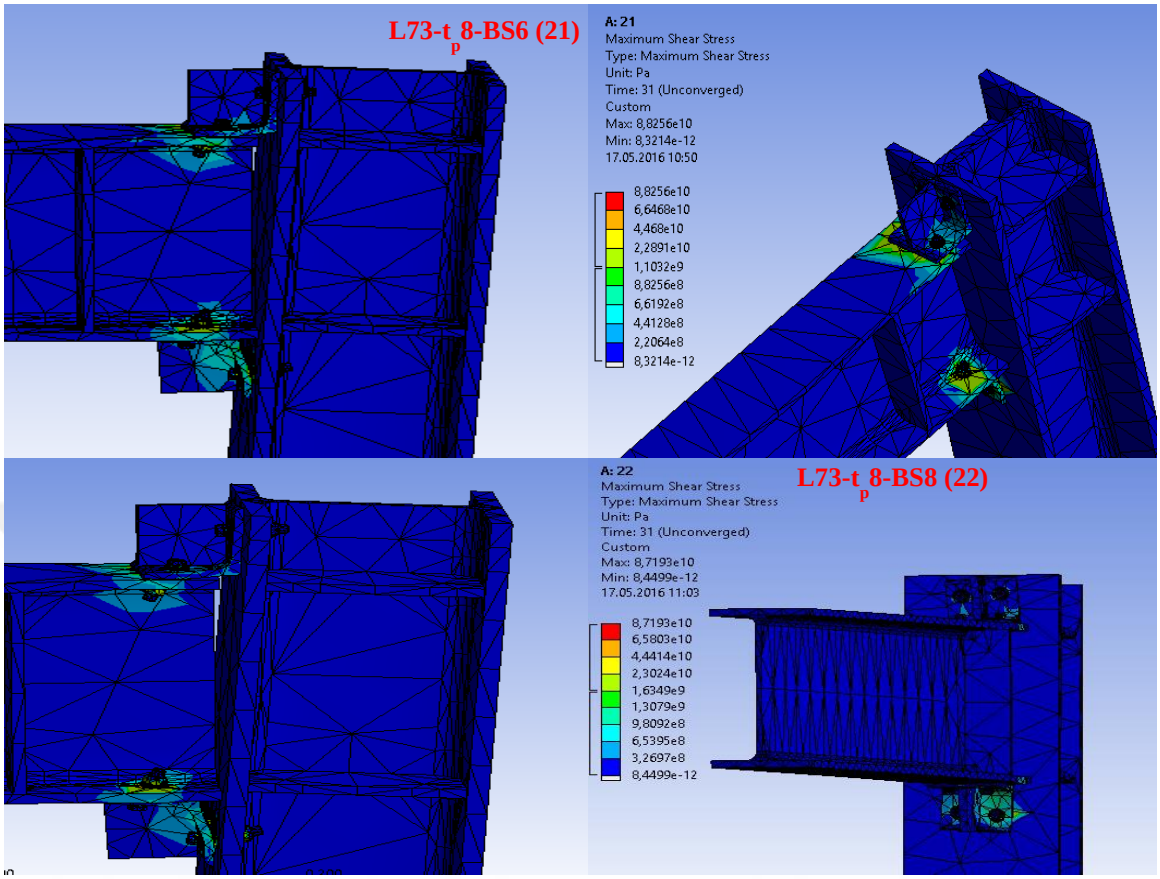
Şekil 4.222'den 4.224'e kadar görüldüğü gibi, kesme; birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar görülmüştür.



Şekil 4.222. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.223. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.224. t_p8 tipi korniyerli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.224 de görüldügü gibi üst başlıktaki gerilmeler alt başlıktaki gerilmelerden daha fazla çıkmıştır.

4.7.3.c. tp10 tipli birleşimlerin sayısal modelleri

Moment-dönme eğrileri Şekil 4.225, 4.226 ve 4.227 da ve elde edilen ilgili değerler Çizelge 4.27 verilmiştir.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ değeri %5,04 oranında artış olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $M_{j.Rd}$ %2,98 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, birleşimin L82 olduğu deneylerde

$M_{j.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.Rd}$ değerinde artış olduğu görülmüştür ancak L73grubunda azalma görülmüştür.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değeri %10,21 oranında azalmış olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ %1,01 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L82 olduğu deneylerde $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.max}$ ve $M_{\Theta.Cd}$ değeri azaldığı olduğu görülmüştür ve L73 artışı görülmüştür.

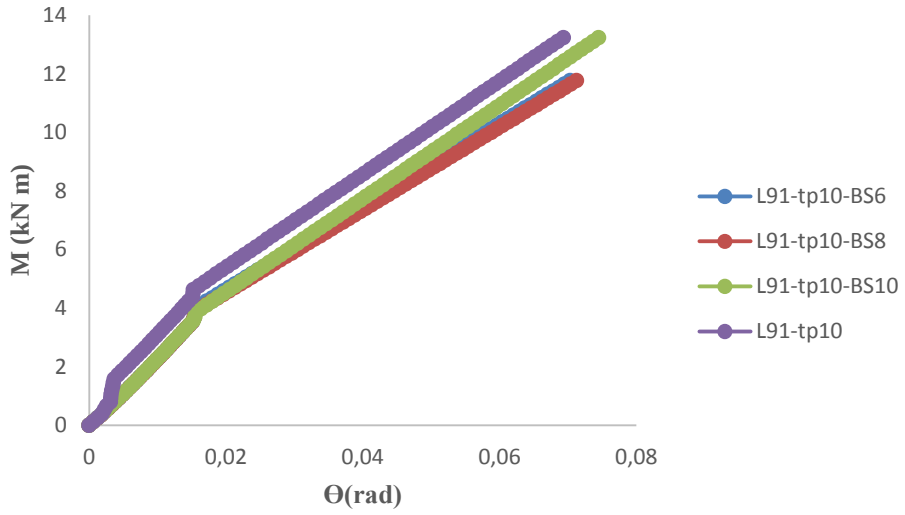
Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde rijitlik değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 6 mm olduğu deneylerde rijitlik değeri %14,81 oranında azalma olduğu, birleşimin 8 mm olduğu deneylerde rijitlik %9,46 oranında azalma, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde rijitlik %24,28 oranında azalmış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L82 olduğu deneylerde rijitlik değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça rijitlik değeri azaldığı olduğu görülmüştür ve L73 azaldığı görülmüştür. Sonuc olalark L91 grup en ideal modeldir.

Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 6 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değeri %50,00 oranında artış olduğu, birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değeri %14,66 oranında artış olduğu, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ %58,33 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L82 olduğu deneylerde $\Theta_{M.Rd}$ değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $\Theta_{M.Rd}$ değeri artığı olduğu görülmüştür ve L73 azaldığı görülmüştür.

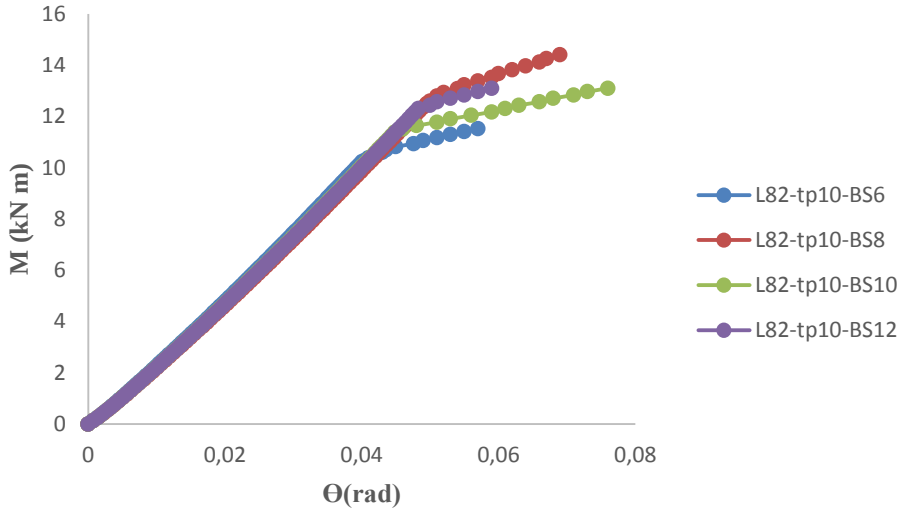
Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 6 mm olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değeri %1,45 oranında artış olduğu, birleşimin 8 mm olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} %2,89 oranında artış, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde

$\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} %7,25 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, L82 olduğu deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değerlerini karılaştırdığımızda; kirişde berkitme kalınlığı arttıkça $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} değeri artığı olduğu görülmüştür ve L73 azaldığı görülmüştür. sonuc olalark L91 grup $\Theta_{Mj.max}$ ve Θ_{Cd} deyerlerde en ideal modeldir.

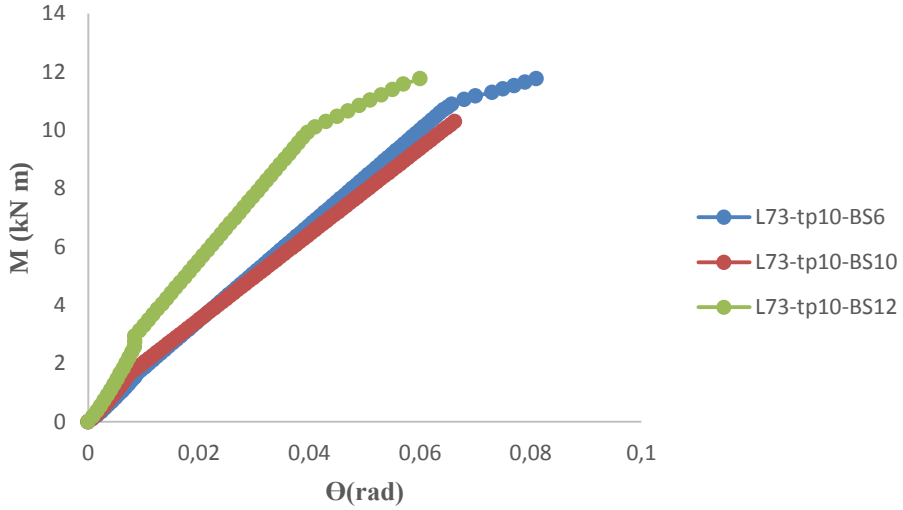
Kirişte berkitme kullanılan ve berkitme kullanılmayan, birleşimin L91 olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değerlerini karılaştırdığımızda; birleşimin 6 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ değeri %32,52 oranında azalmış olduğu, birleşimin 8 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ %27,48 oranında azalmış, birleşimin 10 mm olduğu deneylerde süneklik (Ψj) ve $\Psi_{jmaxload}$ %32,35 oranında azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.225. L91-t_p10-BS6, L91-t_p10-BS8, L91-t_p10-BS10 ve L91-t_p10 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri



Şekil 4.226. L82-t_p10-BS6, L82-t_p10-BS8, L82-t_p10-BS10 ve L82-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

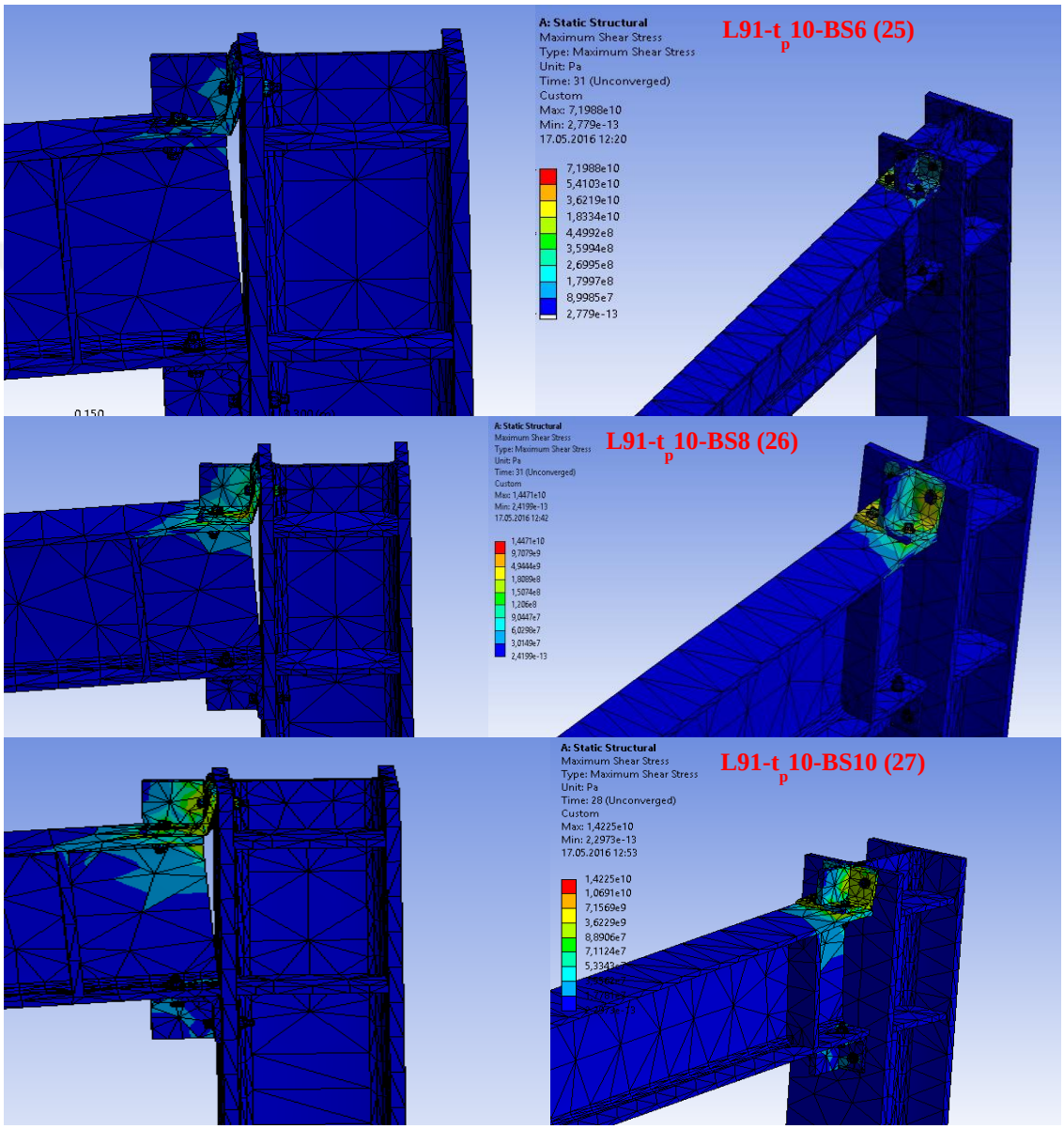


Şekil 4.227. L73-t_p10-BS6, L73-t_p10-BS10 ve L73-t_p10-BS12 tipi korniyerli birleşimlerin moment dönme eğrileri

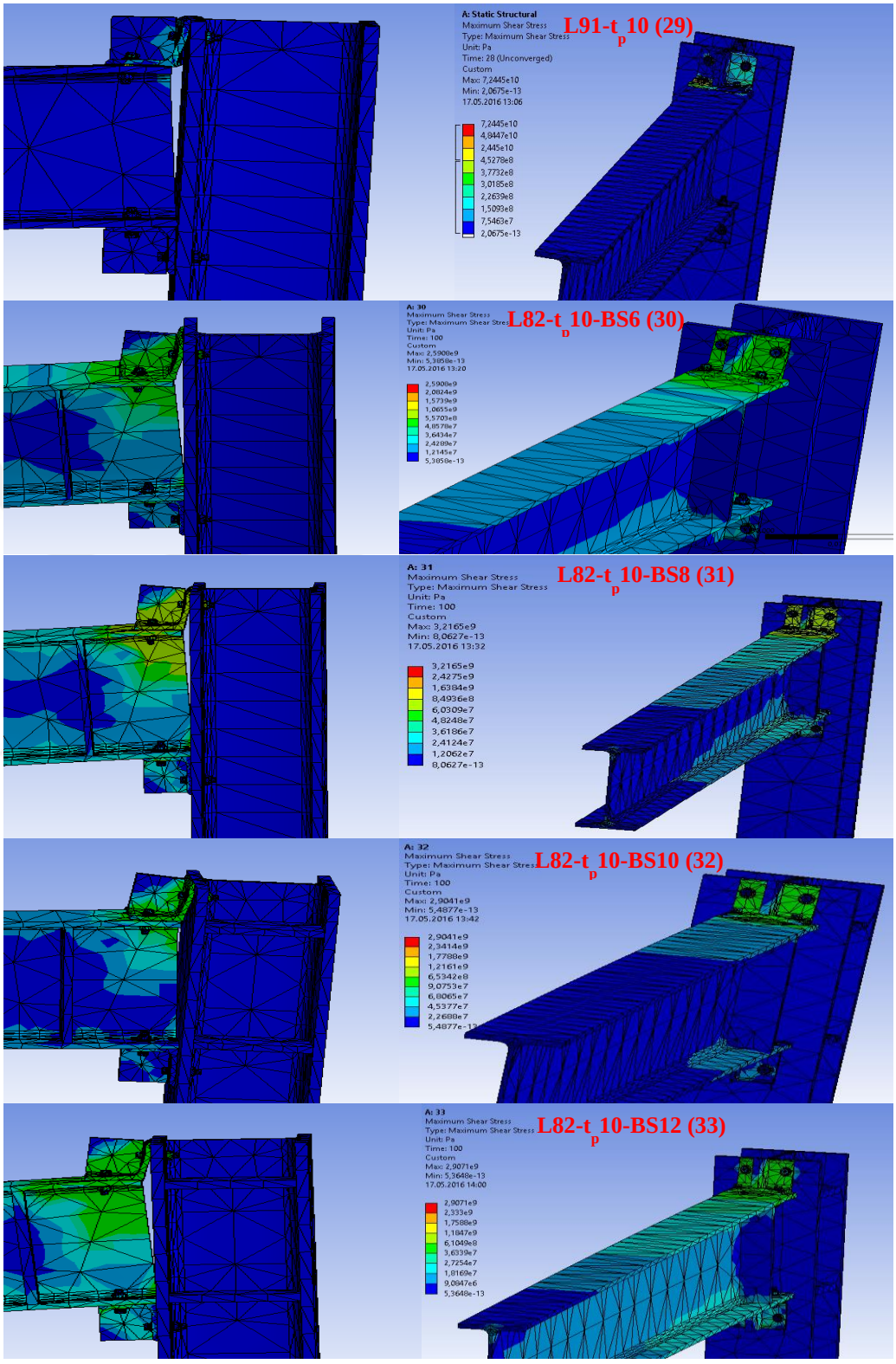
Çizelge 4.27. tp 10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinden elde edilen moment dönme eğrilerine ilişkin veriler

Deney	Moment (KN.m)				Rijitlik (KN m/rad)			dönme (rad)					Ψj	Ψj.max load	Enerji yutma (kN.m.rad)
	KR (knee-range)	$M_{j.Rd}$	$M_{j.max}$	M_{OCd}	$S_{j.ini}$	$S_{j.p-l}$	$S_{j.ini}/S_{j.p-l}$	$\Theta_{M.Rd}$	$\Theta_{Min.K.R}$	$\Theta_{Msup.k.R}$	$\Theta_{Mj.max}$	Θ_{Cd}			
L91-t_p10-BS6 (25)	3.05-6.70	4.35	11.76	11.76	0.88	0.42	2.07	0.018	0.013	0.039	0.070	0.070	3.88	3.88	0.41
L91-t_p10-BS8 (26)	2.12-7.17	4.58	11.76	11.76	0.88	0.40	2.20	0.017	0.009	0.038	0.071	0.071	4.17	4.17	0.42
L91-t_p10-BS10 (27)	3.70-5.69	4.49	13.23	13.23	0.87	0.47	1.84	0.019	0.015	0.027	0.074	0.074	3.89	3.89	0.49
L91-t_p10 (29)	3.04-9.92	4.36	13.097	13.097	1.15	0.47	2.43	0.012	0.009	0.098	0.069	0.069	5.75	5.75	0.45
L82-t_p10-BS6 (30)	3.88-10.38	9.99	11.52	11.52	0.64	0.14	4.47	0.039	0.016	0.041	0.057	0.057	1.46	1.46	0.33
L82-t_p10-BS8 (31)	6.17-12.93	12.93	14.41	14.41	0.72	0.17	4.22	0.052	0.026	0.052	0.069	0.069	1.32	1.32	0.49
L82-t_p10-BS10 (32)	11.51-12.17	11.51	13.09	13.09	0.79	0.16	5.05	0.046	0.046	0.059	0.076	0.076	1.65	1.65	0.50
L82-t_p10-BS12 (33)	1.72-12.31	12.31	13.10	13.10	0.70	0.17	4.15	0.048	0.0079	0.048	0.059	0.059	1.22	1.22	0.39
L73-t_p10-BS6 (35)	5.41-11.05	10.70	11.76	11.76	0.71	0.12	5.85	0.061	0.032	0.068	0.081	0.081	1.32	1.32	0.95
L73-t_p10-BS10 (37)	1.34-2.16	1.75	10.29	10.29	0.71	0.46	1.55	0.008	0.006	0.011	0.066	0.066	8.25	8.25	0.34
L73-t_p10-BS12 (38)	5.32-10.84	9.74	11.76	11.76	0.79	0.18	4.41	0.039	0.019	0.049	0.06	0.06	1.53	1.53	0.35

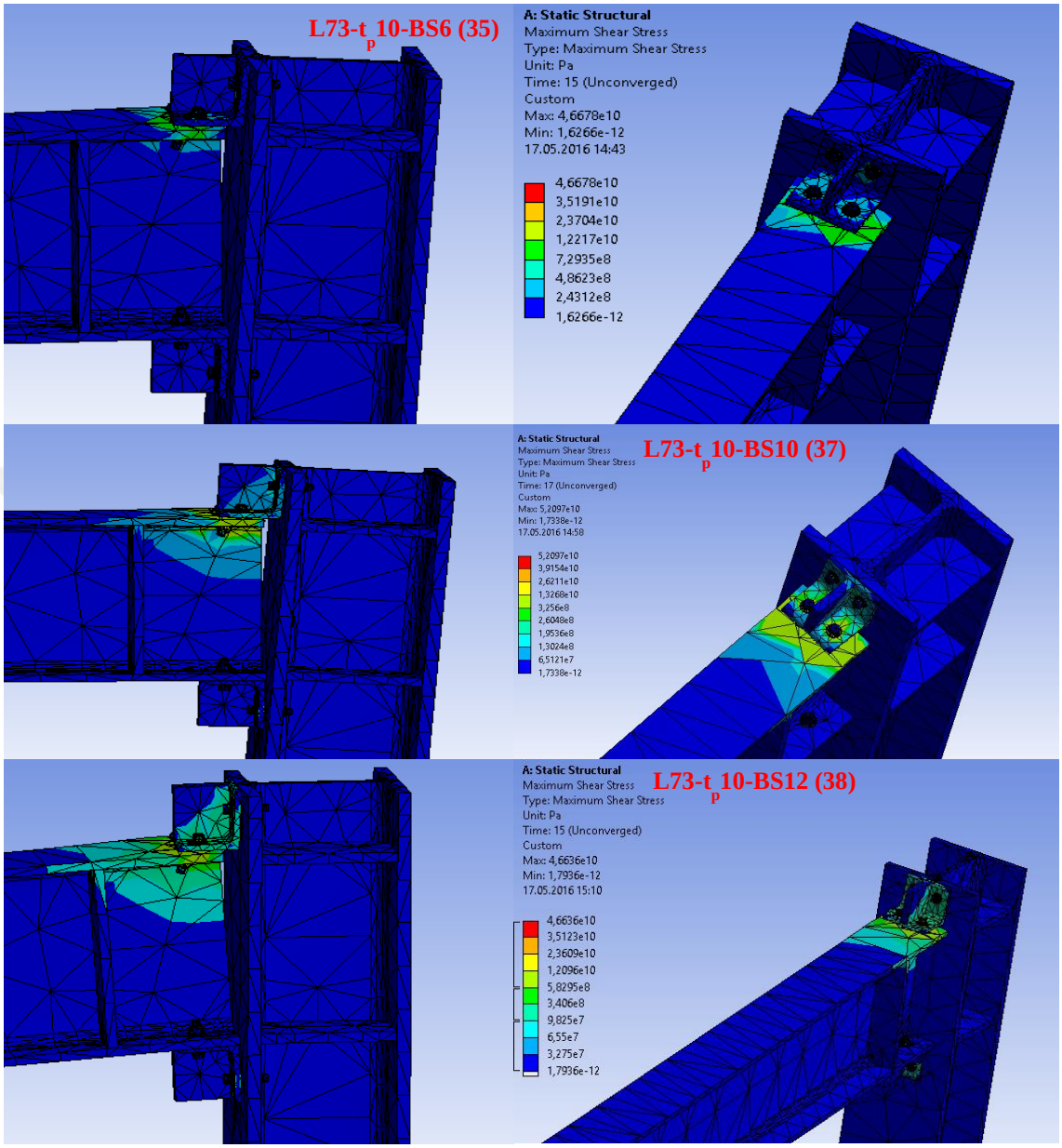
Şekil 4.228 dan 4.230'a kadar görüldüğü gibi kesme birleşimin üst kısmındaki kirişe bağlanan bulonlarda olmuştur. Alt-üst korniyerlerde V şeklinde deformasyonlar oluşmuştur.



Şekil 4.228. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri



Şekil 4.229. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri



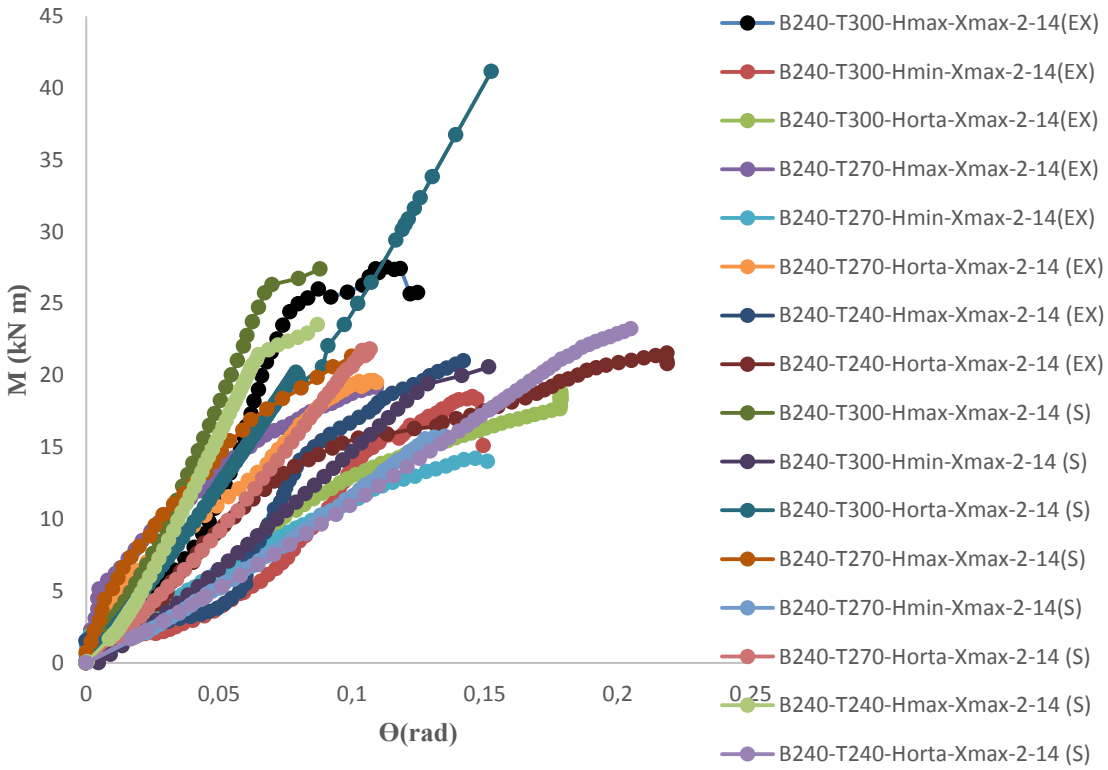
Şekil 4.230. t_p10 tipli birleşimlerin sayısal modellerinde bulon kesme ve Kopma görüntüleri

Şekil 4.230 da görüldüğü gibi üst başlıktaki gerilmeler alt başlıktaki gerilmelerden daha fazla çıkmıştır.

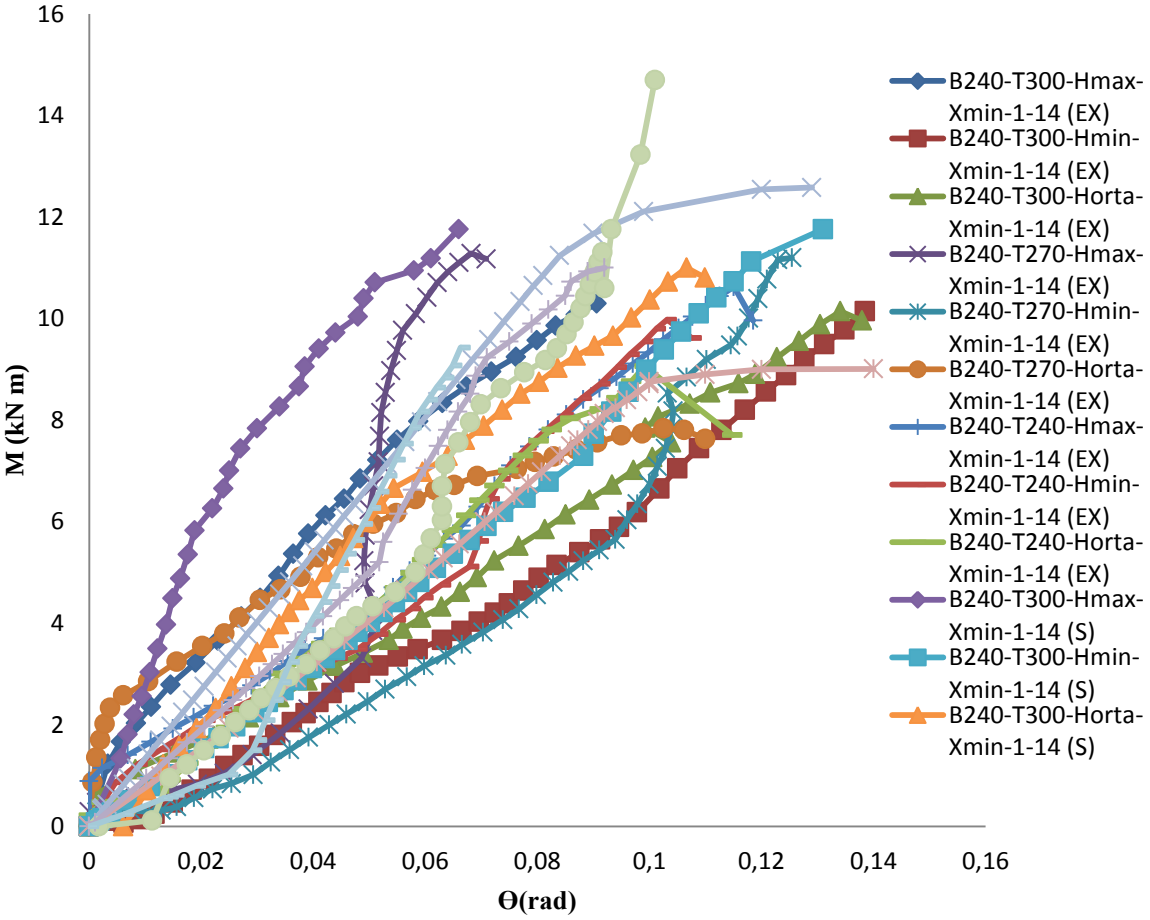
4.7.4. Sayısal ve deneysel modellerin karşılaştırması

4.7.4.a. T tip birleşimler

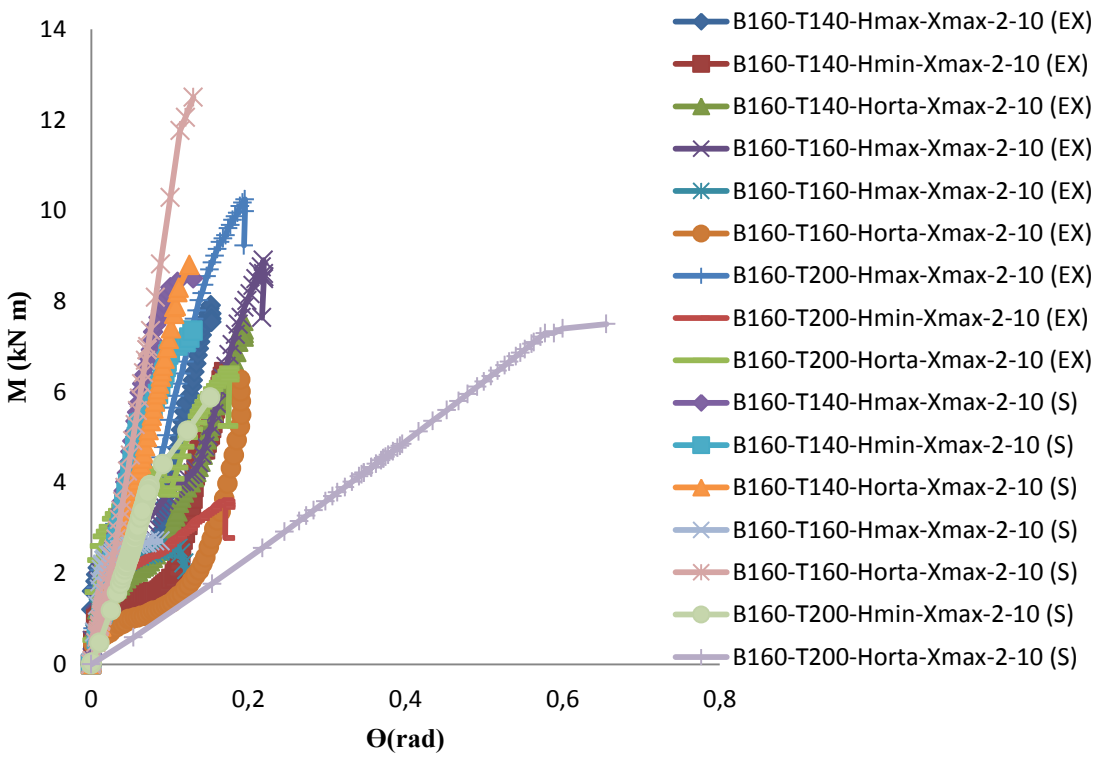
Moment-dönme eğrileri sayısal modellerle ve deneysel modellerin karşılaştırmaları Şekil 4.231, 4.232, 4.233 ve 4.234'de görülmektedir. Deneysel ve sayısal modellere baktığımızda iyi bir uyuşma görülmektedir. Ayrıca, sayısal modeller ile deneysel modeller arasında M_{jRd} değerinde % -16,03 ile %82,97, M_{jmax} % -0,50 ile %48,04, M_{ocd} değerinde % 6,31 ile %52,72, Θ_{MRd} değerinde % -14,81 ile %97,10, Θ_{Mjmax} değerinde % -68,33 ile %28,57, Θ_{cd} değerinde % -74,16 ile %72,92, Ψ_j değerinde % -2231,2 ile %85,00, $\Psi_{j.max.load}$ değerinde % 86,00 ile %1577,4 ve enerji yutma kapasitesi değerinde ise % -61,29 ile %87,88 oranında fark görülmüştür.



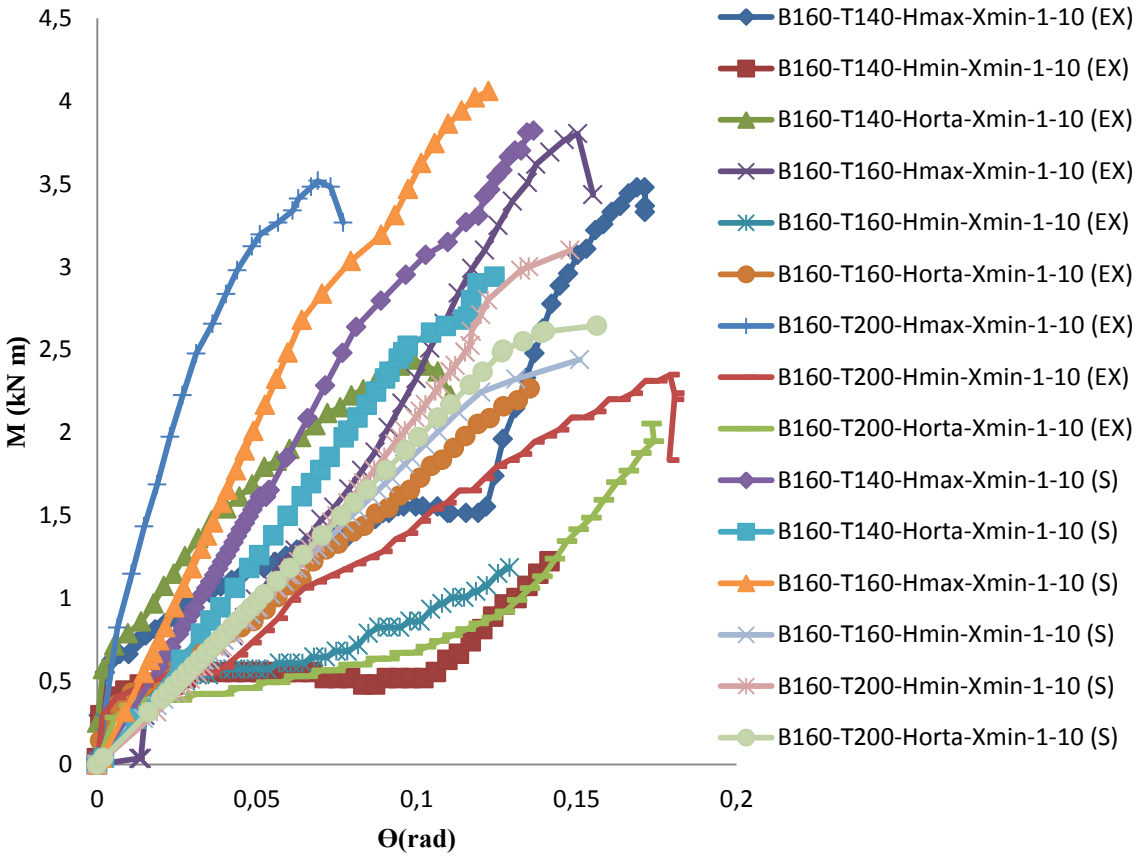
Şekil 4.231. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.232. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri



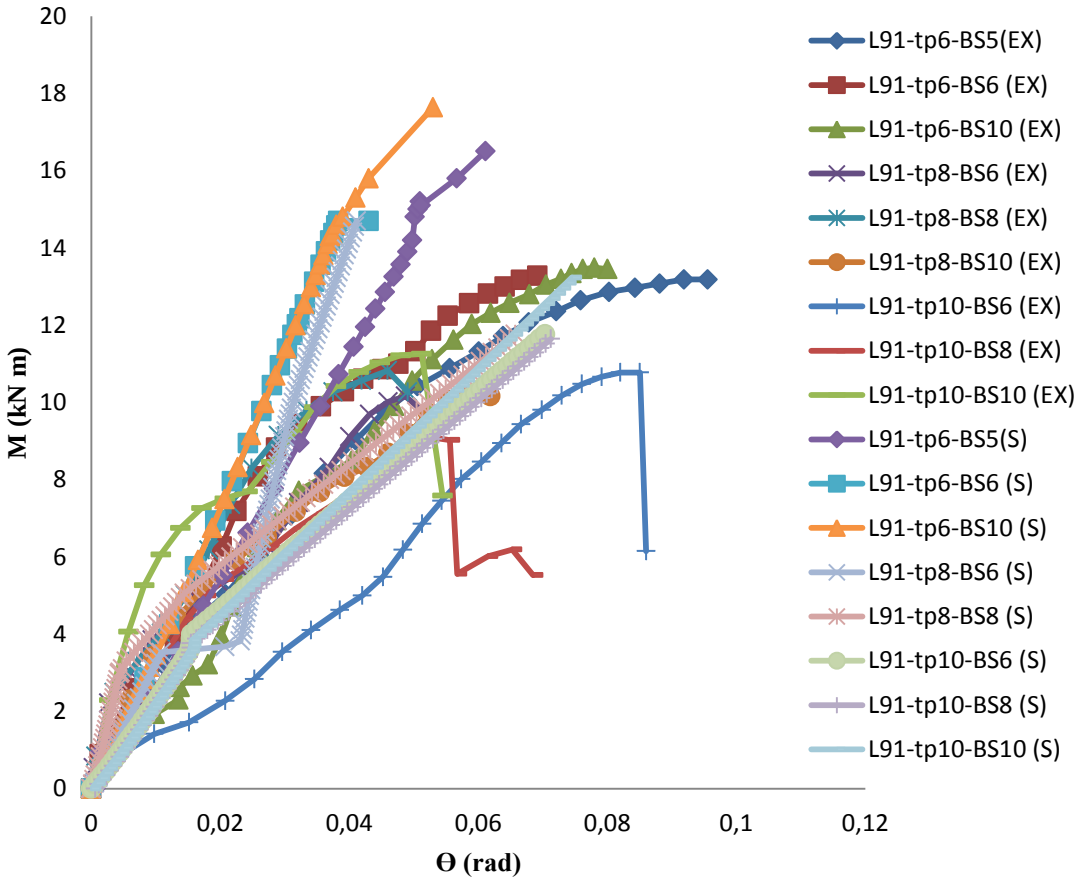
Şekil 4.233. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri



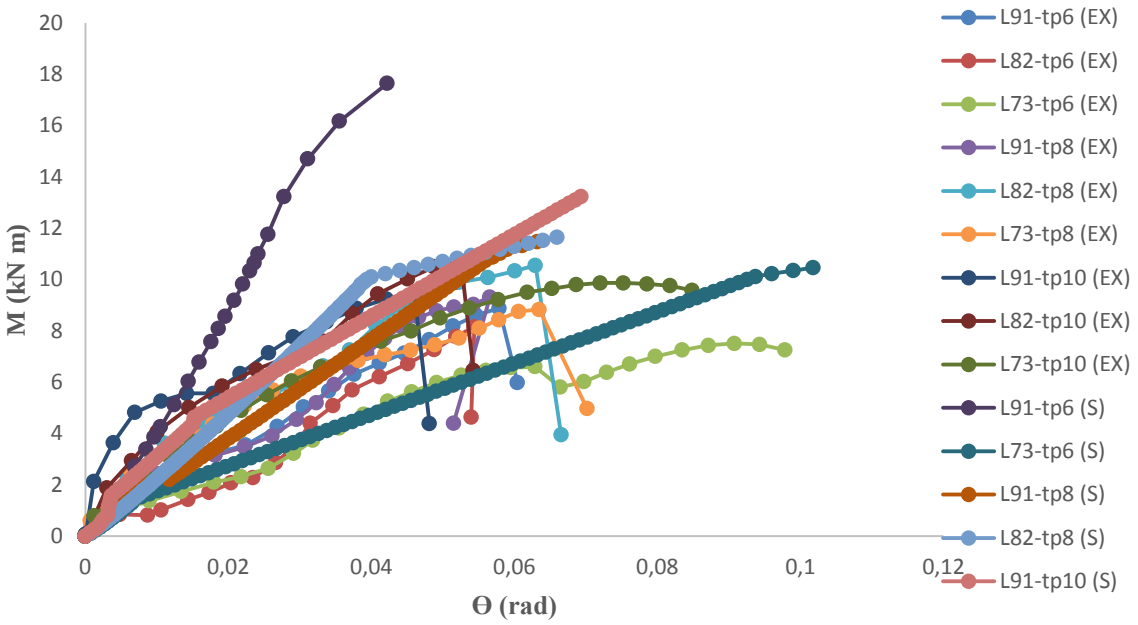
Şekil 4.234. T tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment-dönme eğrileri

4.7.4.c. tp tip birleşimler

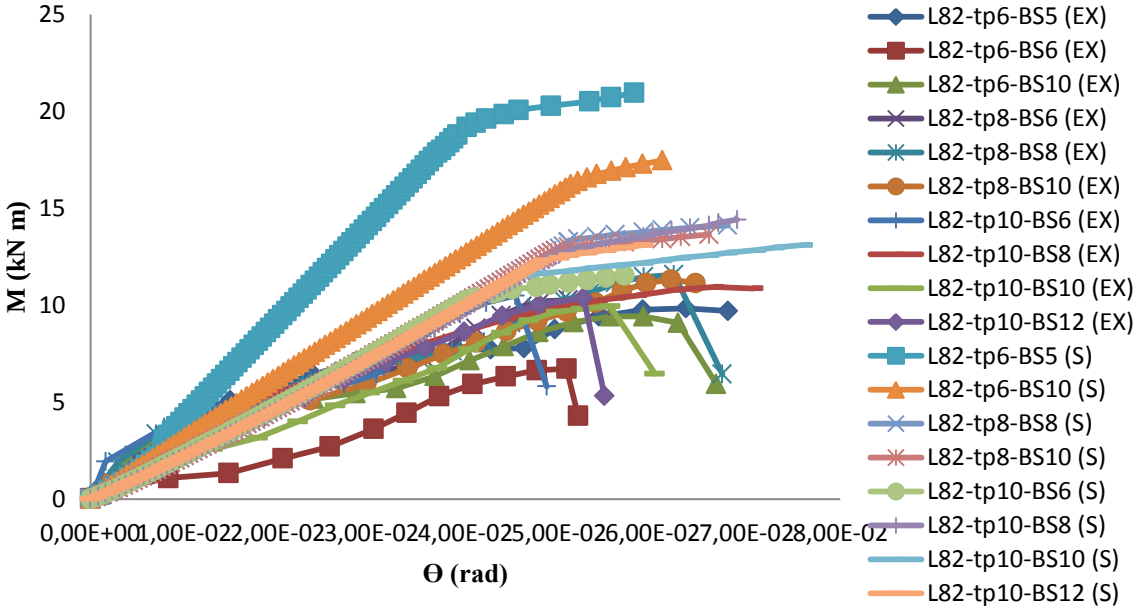
Moment-dönme eğrileri sayısal modellerle ve deneysel modellerin karşılaştırmaları Şekil 4.235, 4.236, 4.237 ve 4.238 de görülmektedir. Deneysel ve sayısal modellere baktığımızda iyi bir uyuşma görülmüştür. Ayrıca, sayısal modelle deneysel model arasında M_{jRd} değerlerinde % -306,28 ile %82,37, M_{jmax} değerinde % 7,99 ile %53,03, $M_{\o cd}$ değerinde % 5,73 ile %66,19, Θ_{MRd} değerinde % -244,44 ile %81,32, Θ_{Mjmax} değerinde % -60,46 ile %-34,78, Θ_{cd} değerinde % -62,99 ile %35,80, Ψ_j değerinde % -776,59 ile %74,91, $\Psi_{j.max.load}$ değerinde % -763,83 ile %61,40 ve enerji yutma kapasitesi değerinde ise % -45,00 ile %73,68 fark görülmüştür.



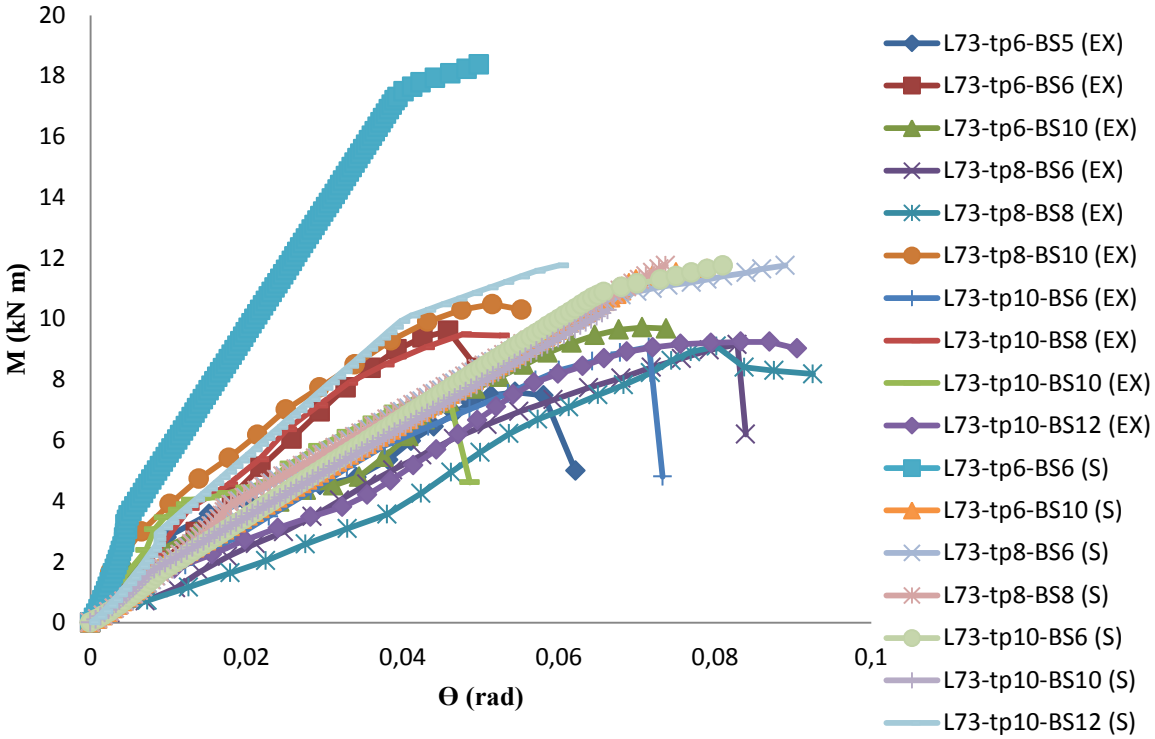
Şekil 4.235. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.236. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.237. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri



Şekil 4.238. t_p tipi birleşimlerin deneysel ve sayısal modellerinin moment dönme eğrileri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırma kapsamında literatürde mevcut olanlardan farklı olarak genel anlamda 2 tip birleşimin davranışının belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmış ve sayısal modeller kullanılmıştır. Bu birleşimlerden birinde T birleşimler çalışılmıştır, fakat literatürden farklı olarak T birleşim elemanı, levhalardan kaynaklanarak değil; 1/2 IPE profilinden elde edilmiştir. Böylece, T birleşimlerin kaynaklarında meydana gelen işçilik hataları, Kopma noktası oluşumu, yerinde kaynağın iyi performans gösterememesi gibi problemlerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür. ½ IPE profilinden imal edilen T birleşimin davranışı hakkında yeterli bilgiye sahip olabilmek ve böylece kullanım imkânı sağlayabilmek için gerekli çalışmalar yapılmıştır. İkinci birleşim tipinde ise birleşimin davranışını iyileştirmek için alt-üst başlık korniyerli birleşimlerin başlık ve gövdesinde berkitmelerin kullanımını sağlamaktır. Literatürde de berkitmelerin kullanımının birleşimin dönme kapasitesini iyileştirdiği bilinmektedir.

Bu tez kapsamında bu iki birleşim tipi için laboratuvarda 1/1ölçekli deneyler yapılmış. Deneylerden elde edilen veriler yardımıyla moment-dönme eğrileri oluşturulmuştur. Böylece, birleşimlerin davranışı ve moment-dönme eğrisinin temsil etttiği rijitlik, dönme kapasitesi ve moment kapasitesi ile ilgili veriler ve grafikler sunulmuştur. Ayrıca, bu iki tip birleşim için birleşim boyutlarındaki değişimin birleşim davranışına etkileri gözlemlenmiş, böylece birleşim elemanlarının optimum boyutları hakkında bilgi verilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sayısal modelleme yapılmış yarı rijit birleşimlerin genel olarak moment-dönme ilişkisi ve davranışı simüle edilmiştir. Böylece deneylerle kalibre edilmiş model sayesinde deneyi yapılmamış birleşimler için de gerçek davranışa en yakın sonuçlar elde edilmiştir.

T300, T270 ve T240 birleşimlerinde H_{max}'ın knee aralığı H_{min}'e göre artış. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun knee aralığının, T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak knee aralığının birleşimin başlık ve gövdesi arttığında arttığı, birleşimin H boyu arttığında azaldığı görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $M_{j.Rd}$ değeri H_{min} ve H_{orta}'ya artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun $M_{j.Rd}$ değerinin T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın $Mj._{max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak Hmax kullanıldığında, T300 grubunun $Mj._{max}$ değeri, T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın MCd değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun MCd değeri, T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

Rijitlik değerlerine bakıldığında; T300 ve T270 birleşimlerinde H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre artış görülmüştür. T240 birleşimlerin de ise H_{max}'ın rijitlik değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre azalmıştır. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun rijitlik değeri, T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

T300 birleşimlerinde H_{max}'ın Θ_{mRd} değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre artış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{max} kullanıldığında, T300 grubunun ΘmRd değeri, T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

T300 birleşimlerinde Hmax'ın $\Theta_{mj.max}$ değeri H_{min} ve H_{orta} ya göre azalış görülmüştür. Birleşimlerde yükseklik oranı olarak H_{min} kullanıldığında, T300 grubunun $\Theta_{mj.max}$ değerinin T270 ve T240'a göre artış gösterdiği görülmüştür.

Genel olarak, T grup birleşimlerde H değeri Hmin den Hmax 'a artarken MjRd değerinde artış görülmüştür. Ayrıca, X değeri Xmin den Xmax 'a artarken MjRd değerinde artış görülmüştür. T grup birleşimlerde, birleşimin gövde ve başlık kalınlığı artarken MjRd değerinde artış görülmüştür. Sonuç olarak T birleşimlerde, birleşimin gövde ve başlık kalınlığı düşürülerek ve Hmax kullanılarak ideal model elde edilebilir.

T grup birleşimlerde hy/h1 değeri ve birleşimin gövde ve başlık kalınlığı artırmak suretiyle Mj.max değerinde artış görülmüştür. H değeri Hmin den Hmax ‘a artarken Θj.Rd değerinde azalma görülmüştür. Birleşimin gövde ve başlık kalınlığı artarken Θj.Rd değerinde artış görülmüştür. H değeri Hmin den Hmax ‘a artarken ΘM.j.max değerinde artış görülmüştür. Bulon sayısı 1 sıradan 2 sıraya çıkarılınca Θcd değerinde artış görülmüştür. T grup birleşimlerde H değeri Hmin den Hmax ‘a artarken Ψj ve Ψj.maxload değerlerinde artış görülmüştür. Ayrıca, birleşimin gövde ve başlık kalınlığı artarken Ψj ve Ψj.maxload değerlerinin azaldığı görülmüştür. T grup birleşimlerde H değeri Hmin den Hmax ‘a artarken enerji yutma kapasitesinde değeri artış görülmüştür. Ayrıca, X değeri Xmin den Xmax ‘a artarken enerji yutma kapasitesi değerinde artış görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde $M_{j.Rd}$ ve $M_{j.max}$ değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken $M_{j.Rd}$ ve $M_{j.max}$ artış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda $M_{j.Rd}$ ve $M_{j.max}$ değeri alt ve üst başlığın genişlik azaldıkça artma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça $M_{j.Rd}$ ve $M_{j.max}$ değeri artış görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde MΘ.Cd değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça artış görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6 ve 10 mm grup deneylerde rijitlik değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça artış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken rijitlik artış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda rijitlik değeri alt ve üst başlığın geneşliği azaldıkça artma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça rijitlik değeri artış görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde $\Theta_{Mj.max}$ değeri alt ve üst başlığın genişliği azaldıkça sazalma görülmüştür. 91 ve 82 mm genişliğindeki

Köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken $\Theta_{Mj.max}$ azalma görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde Θ_{Cd} değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça azalmış görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken Θ_{Cd} azaldığı görülmüştür. Genel olarak baktığımızda Θ_{Cd} değeri alt ve üst başlığın geneşliği artıkça azalma görülmüştür ve berkitme kalınlığı arttıkça Θ_{Cd} değeri azalma görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde Ψj ve Ψjmaxload değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça azalma görülmüştür. 91, 82 ve 73mm genişliğindeki köşebentlerle tanzim edilmiş berkitme kalınlığı 6mm den 10 mm kalınlığı artarken Ψj ve Ψjmaxload değerler artığı görülmüştür.

Köşebent berkitmesinin kalınlığı 6, 8 ve 10 mm grup deneylerde enerji yutma kapasitesi değeri alt ve üst başlığın genişliği artıkça azalmış görülmüştür. Genel olarak baktığımızda enerji yutma kapasitesi değeri alt ve üst başlığın geneşliği bağlı değişmiştir.

Genel olarak, Alt-üst korniyerli birleşimlerde, kirişin berkitme kalınlığı, birleşimin berkitme kalınlığı ve birleşimin genişliği arttığında M_{jRd} değerinde artış görülmüştür. Ayrıca, kirişin berkitme kalınlığı, birleşimin berkitme kalınlığı ve birleşimin genişliği arttığında $M_{j.max}$ değerinde artış görülmüştür. Alt-üst korniyerli birleşimlerde, kirişin berkitme kalınlığı ve birleşimin genişliği artarken $M_{\theta cd}$ değeri artış göstermiştir ve birleşimin berkitme kalınlığı artarken $M_{\theta cd}$ değerinde azalma görülmüştür. Sonuç olarak kirişin berkitme kalınlığı ve birleşimin genişligi moment kapasitesini artırmıştır.

Alt-üst korniyerli birleşimlerde, birleşimin genişliği arttığında $\Theta_{j.Rd}$ ve $\Theta_{M.j.max}$ değerlerinde artış görülürken Θ_{cd} değerinde azalma görülmüştür. Alt-üst korniyerli birleşimlerde H değeri H_{min} den H_{max} ‘a artarken Ψ_j ve $\Psi_{j.maxload}$ değerinde artış

görülmüştür. Ayrıca, birleşimin gövde ve başlık kalınlığı artarken Ψ_j ve $\Psi_{j.maxload}$ değerinde azalma görülmüştür.

Alt-üst korniyerli birleşimlerde, kirişin berkitme kalınlığı artarken Ψ_j ve $\Psi_{j.max.load}$ değerinde azalma görülürken enerji yutma kapasitesi artış göstermiştir. Alt-üst korniyerli birleşimlerde, birleşimin berkitme kalınlığı ve birleşimin genişligi arttığında Ψ_j, $\Psi_{j.max.load}$ ve enerji yutma kapasitesi değerleri artış göstermiştir.

T group deneyler ve sayısal modellere baktığımızda iyi bir uyuşma görülmektedir. Ayrıca, sayısal modeller ile deneysel modeller arasında M_{jRd} değerinde % -16,03 ile %82,97, M_{jmax} % -0,50 ile %48,04, $M_{\theta cd}$ değerinde % 6,31 ile %52,72, Θ_{MRd} değerinde % -14,81 ile %97,10, Θ_{Mjmax} değerinde % -68,33 ile %28,57, Θ_{cd} değerinde % -74,16 ile %72,92, Ψ_j değerinde % -2231,2 ile %85,00, $\Psi_{j.max.load}$ değerinde % 86,00 ile %1577,4 ve enerji yutma kapasitesi değerinde ise % -61,29 ile %87,88 oranında fark görülmüştür.

Alt üst köşebent Deneylere ve sayısal modellere baktığımızda iyi bir uyuşma görülmüştür. Ayrıca, sayısal modelle deneysel model arasında M_{jRd} değerlerinde % -306,28 ile %82,37, M_{jmax} değerinde % 7,99 ile %53,03, $M_{\theta cd}$ değerinde % 5,73 ile %66,19, Θ_{MRd} değerinde % -244,44 ile %81,32, Θ_{Mjmax} değerinde % -60,46 ile %-34,78, Θ_{cd} değerinde % -62,99 ile %35,80, Ψ_j değerinde % -776,59 ile %74,91, $\Psi_{j.max.load}$ değerinde % -763,83 ile %61,40 ve enerji yutma kapasitesi değerinde ise % -45,00 ile %73,68 fark görülmüştür.

KAYNAKLAR

Abdalla, K.M., Chen, W.F.,1995. Expveed database of semi-rigid steel connections. Computers & Structures, 56(4), 553–64.

Abidelah, A., Bouchaï, A., Kerdal, D.E., 2012. Experimental ve analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. Journal of Constructional Steel Research, 76, 13–27.

Aggarwal, A.K., 1990, Behavior of flexible end plate beamto-column joints. J. Construer. Steel Res. 16, 111-134.

Aggarwal, A.K., 1990. Behaviour of flexible beam-to-column connections. The Institution of Engineers Aüstralia Structural Engineering Conf, 462-b67.

Ali, N.B.H., Sellami, M., Cutting-Decelle, A.F., Mangin, J.C., 2009. Multi-stage production cost optimization of semi-rigid steel frames using genetic algorithms. Engineering Structures, 31, 2766-2778.

American Institute of Steel Construction, Inc., 2010, "Specification for Structural Steel Buildings", AISC 360-05.

Aribert JM, Lachal A, Dinga O., 1999, "Modelisation du comportement d'assemblage metalliques semi-rigides de type poutre-poteau boulonnée par platine d'extrémité", Construction Metallique nr.1, pp. 26-41.

Aydın AC, Kılıç M, Maali M, Sağıroğlu M., 2015, "Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles ve stiffeners", Journal of Constructional Steel Research, 114, 338–348.

Aydın AC, Maali M, Kılıç M, Sağıroğlu M., 2015, "Experimental investigation of sinus beams with end-plate connections", Journal of thin walled structures, 97, 35-43.

Azizinamini, A., Bradbum, J.H., Radziminski, J.B. 1985. Static ve cyclic behavior of semi-rigid steel beam-column connections. Dept. of Civ. Engrg., Univ. of South Carolina, Columbia, S.C.

Azizinamini, A., Radziminski, J.B., 1989. Static ve cyclic performance of semi-rigid steel beam-to-column connection. Journal of Structural Engineering-Asce, 115, 2979–99.

Bahaari MR, Sherbourne AN.,2000.,"Behaviour of eight-bolt large capacity endplate connections". Computers & Structures;77:315–25.

Bailey, J. R., 1970. Strength ve rigidity of bolted beam-to-column connections. Conf. on Joints in Structures, Univ. of Sheffield, Sheffield, Englve,1, 4.

Batho, C., 1931. Investigations on Beam ve Stanchion Connections. Department of Scientific ve Indüstrial Research, 61-137.

Bell, W.G., Chesson, E., Munse, W.H., 1958. Static tests of stveard riveted ve bolted beam-to-column connections. Univ. of Illinois Engrg. Experiment Station, Urbana, 111.

Bose, B., 1981. Moment-rotation characteristic of semi-rigid joints in steel structures. J. Inst. Engrs. (India), Part CI, Civ. Engrg., Div, 62(2), 128-132.

Bose B, Youngson G K, ve 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 ve Buildings.

Bose B, Sarkar S, ve Bahrami M, , 1991." Finite Element Analysis of unstiffened extended end plate connections." Structural Engineering Review, 3, 211-224.

Bursi OS, Jaspart JP., 1997. "Benchmarks for finite element modeling of bolted steel connections." Journal of Constructional Steel Research;43:17–42.

Bursi OS, Jaspart JP., 1997. "Calibration of a finite element model for isolated bolted end plate steel connections." Journal of Constructional Steel Research;44(3):225–62.

Bursi OS, Jaspart JP., 1998. "Basic issues in the finite element simulation of extended end plate connections". Computer & Structures;69:361–82.

Cabrero Ballarín JM., 2006. "Nuevas propuestas para el diseño de pórticos y uniones semirrígidas de acero." Ph.D. thesis. Universidad de Navarra; [in Spanish].

Cabrero, J.M. Bayo, E., 2005. Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections. Engineering Structures, 27, 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.

Chasten CP, Lu LW, Driscoll GC., 1992. "Prying ve shear in end-plate connection design". Journal of Structural Engineering;118(5):1295–311.

Chen, W.F., Lui , E.M., 1991. Stability Design of Steel Frames. London, CRC Press.

Chen, W.F., Toma, S., 1994. Advanced analysis of steel frames. Boca Raton (FL): CRCPress.

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.

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., Kolstein, H., 2009. Experimental behaviour of high-strength steel web shear panels. Engineering Structures, 31(7), 1543–55.

Cruz, P.J.S., Simões, d.S., Rodrigues, D.S., Simões, R.A.D., 1998. SERICON II — database for the semi-rigid behaviour of beam-to-column connections in seismic regions. Journal of Constructional Steel Research, 46(1–3), 233–4.

Davison, J., Kirby, B.P., Nethercot, A., 1987. Rotational stiffness characteristics of steel beam-to column connections. J. construct. Steel Res, 8, 17-54.

Değertekin, S.O., Hayalioğlu, M.S., 2010. Harmony search algorithm for minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections ve column bases. Struct. Multidisc. Optim, 42, 755-768.

Dews, R.J., 1979. Experimental test results on experimental end-plate moment connections. Thesis presented to Vveerbilt University, at Nashville, Tenn., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Dhillon, B.S., Malley J.W., 1999. Interactive design of semi-rigid steel frames. Journal of Structural Engineering, 125(5), 556-564.

Díaz Gómez C., 2010. “Optimum design of semi-rigid joint by numeric simulation ve Kriging models”. Ph.D. thesis. Spain: Technical University of Cartagena; [in Spanish].

Dubina D. Grecea D., Ciutina A., Stratan A. 2000, : Moment Resistant Connections of Steel Frames in Seismic Areas. Design ve Reliability (Editor F.M. Mazzolani) , E&FN SPON, London , ISBN 0-415-23577-4 Chapter 3. Cyclic behaviour of beam-to column bare steel connections 3.2 Influence of connections typology ve loading asymmetry, p 217-244.

Erdem, H., 1999. Yarı rijit bağlı düzlemsel çerçevelerin doğrusal olmayan analizi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 1(3), 1-12.

Erdem, H., 2001. Yarı rijit bağlantılı ve rijit uç bölgeli düzlemsel çerçevelerin doğrusal olmayan analizi. Turkish J. Eng. Env. Sci, 26, 209-218.

European Committee for Stveardization (CEN)., 2005. Design of steel structures. Part 1.8: Design of joints"., Stage 49 draft, Brussels.

Jim Butterworth,.1996,”Finite element analysis of structural steelwork beam to column bolted connection.”constructional Research Unit.School of scinece ve Technology,University of Teesside,UK.

Gantes CJ, Lemonis ME. 2003, “Influence of equivalent bolt length in finite element modeling of T-stub steel connections.” Computers & Structures;81:595–604.

Gerardy, J.C., Schleich, J.B., 1991. Semi-rigid action in steel frame structures. Report no.7210-SAl507, Arbed Recherches, Luxembourg.

George B. Thomas JR.,1914. “Thomas Üniversite Matematiği”

Goverdhan, A.V., 1984. A collection of experimental moment–rotation curves ve valuation of prediction equations for semi-rigid connections. Master thesis. Nashville (TN), Vveerbilt University.

Grundy, P., Thomas, I.R., Bennetts, I.D. 1980. Beam-to-column moment connections. J. Struct. Div., ASCE, 106(ST1), 313-330.

Hadianfard, M.A. Razani, R., 2003. Effects of semi-rigid behavior of connections in the reliability of steel frames. Structural Safety, 25, 123-138.

Howlett, J.H., Jenkins, W.M., Stainsby, R., 1981. Steel. Pentech Press, 677-692.

Ioannides, S.A., 1978. Flange behavior in bolted end-plate moment connections. Thesis presented to Vveerbilt University, at Nashville, Tenn., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

İhsan DAĞ,.1983 “ Bayağı Diferansiyel Denklemler ”

Jones, S.W., Kirby, P.A., Nethercot, D.A., 1980. Effect of semi-rigid connections on steel column strength. Journal of Construtional Steel Research, 1, 38–46.

Kameshki, E.S. Saka, M.P., 2001. Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algortihm. Computers ve Structures, 79, 1593-1604.

Krishnamurthy N, Graddy DE., 1976. “Correlation between 2- ve 3-dimensional finite element analysis of steel bolted end-plate connections.” Computers & Structures;6(4–5):381–9.

Krishnamurthy N., 1979 “Modeling ve prediction of steel bolted connection behavior.” Computers & Structures;11:75–82.

Kim, S.E., Choi, S.H., 2001. Practical advanced analysis for semi-rigid space frames. International Journal of Solids ve Structures, 38, 9111-9131.

Kishi, N., Chen, W.F., 1986. 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., 1986. 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.

Kishi, N., 1994. In: Chen WP, Toma S, editors. Semi-rigid connections. Advanced analysis of steel frames. Boca Raton (FL): CRC Press.

Kukreti AR, Murray TM, Abolmaali A., 1987. "End-plate connection moment–rotation relationship." Journal of Constructional Steel Research;8:137–57.

Le, S.S., Moon, T.S., 2002. Moment-Rotation Model of Semi-Rigid Connections with Angles. Engineering Structures, 24, 227-237.

Lewitt, C.W., Chesson, E., Munse, W.H., 1966. Restraint characteristics of flexible riveted ve bolted beam-to-column connections. Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Illinois, Urbana, 111.

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., Veradea, S.A.L., Vellascob, P.C.G., Silvac, L.S., 2002. Experimental ve mechanical model for predicting the behaviour of minor axis beam-to-column semi-rigid joints. International Journal of Mechanical Sciences, 44, 1047–1065.

Mohamadi-shooreh MR, Mofid M., 2008. "Parametric analyses on the initial stiffness of flush end-plate splice connections using FEM." Journal of Constructional Steel Research;65(3):749.

Moore, D.B., Sims, P.A.C., 1986. The influence of backing plates on the behaviour of Extended end plate connections. Construct steel, 6, 95-122.

MYSTRO/LUSAS is producted by FEA Ltd, Kingston-upon-Thames,KT1 1HN.

Müstafa İNAN.,2001 "Cisimlerin Mukavemeti".

Murray R. SPIEGEL,.1975. " Diferansiyel Denklemler, Uygulamaları ve Çözüm Tekniği ".

Nethercot, D.A., 1985. Steel beam-to-column connections: a review of test data ve its applicability to the evaluation of joint behaviour in the performance of steel frames. CIRIA report, 338.

Nethercot, D.A., 1985. Utilization of experimentally obtained connection data in assessing the performance of steel frames. Chen WF, editor. Connection flexibility ve steel frames. Detroit: Proc. of a Session Sponsored by the ASCE Structural Division.

Ostrveer, J.R., 197. An experimental investigation of end-plate connections. Thesis presented to the University of Saskatchewan, at Saskatoon, Saskatchewan, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Packer, J.A., Morris, L.J., 1977. A limit state design method for the tension region of bolted beam-column connections. The Struct. Eng., 55(10), 446-458.

Philips, J., Packet, J.A., 1986. The effect of plate thickness plate connections. J. construct. Steel Res. 6, 95-122.

Piluso, V., Rizzano, G., 2008. Experimental analysis ve 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-ve-seat ve web angle connections: prediction via mechanical model. Journal of Constructions Steel Research, 57, 661-694.

Rathbun, J.C., 1936. Elastic properties of riveted connections. Transactions of American Society of Civil Engineers,101, 524–63.

Roxana Balc , Alexveru Chira, Nicolae Chira;2012, "Finite element analysis of beam to column end plate bolted connection", Civil Engineering & Architecture. 55 . 1.

Roxana Balc, 2012, "Numerical models of welded ve bolted beam to column connections," Civil Engineering & Architecture. 55.1.

Sağiroglu, 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.

Sağıroğlu, 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.

Sağiroglu, M., Aydin, A.C., 2013b. Design ve Analysis of Steel Space Frame with Semi-Rigid Beam-to-Column Connections Using Stiffness, 10th Psf. Strc. S.Conf. Singapore,69-70.

Sekulovic, M., Salatic R., 2001. Nonlinear analysis of frames with flexible connections. Computers ve Structures, 79, 1097-1107.

Sherbourne, A.N., 1961. Bolted beam-to-column connections. The Struct. Engr., 39, Jun., 203-210.

Shi, Y., Shi, G., Wang, Y., 2007. Experimental ve theoretical analysis of themoment–rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. Journal of Constructional Steel Research, 63(9), 1279–93.

Sherbourne AN, Bahaari MR., 1996. "3D simulation of end-plate bolted connections."Journal of Structural Engineering;120(11):3122–36.

Sherbourne AN, Bahaari MR., 1997 "Finite element prediction of end-plate bolted connection behavior. I: parametric study." Journal of Structural Engineering;123(2):157–64.

Simoes, L.M.C., 1995. Optimization of frames with semi-rigid connections. Computer ve Structures, 60(4), 531-539.

Sommer, W.H., 1969. Behavior of welded-header-plate connections. Thesis presented to University of Toronto, at Toronto, Canada, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Applied Science.

Steel Structures Research Committee., 1931. First report. London: Department of Scientific ve Indüstrial Research, HMSO.

Steel Structures Research Committee., 1934. Second report. London: Department of Scientific ve Indüstrial Research, HMSO.

Steel Structures Research Committee., 1936. Final report. London: Department of Scientific ve Indüstrial Research, HMSO.

Surtees, J.O., Mann, A.P., 1970. End plate connection in plastically designed structures. Conf. on Joints in Structures, 1(5), Univ. of Sheffield, Sheffield, Englve.

Thompson, L.E., McKee, R.J., Visintainer, D.A., 1970. An investigation of rotation characteristic of web shear framed connections using A-36 ve A-441 steels. Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Missouri-Rolla, Rolla, Mo.

Vellasco, P.C.G., Verade, S.A.L., Ferreira, L.T.S., Lima, L.R.O., 2007. Semi-rigid composite frames with perfobond ve T-rib connectors Part 1: Full scale tests. Journal of Constructional Steel Research, 63, 263–279.

Weynve, K., 1992. SERICON I — databank on joints building frames. In: Proc. COSTC1 first state of the art workshop on semi-rigid behaviour of civil engineering structures. 463–74.

Weynve, K., Huter, M., Kirby, P.A.,1998. Simões da Silva LAP, Cruz PJS. SERICON—data bank on joint in building frames. In: Proceedings of the COST C1 workshop.

Wilson, W.M., Moore, H.F., 1917. Tests to determine the rigidity of riveted joints in steel structures. Bulletin no.104, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana.

Xiao, Y., Choo, B.S., Nethercot, D.A., 1994. Composite connections in steel ve concrete, I. Experimental behaviour of composite beam-column connections. Journal of Constructional Steel Research, 31, 3–30.

Yang JG, Murray TM, Plaut RH., 2000 "Three-dimensional finite element analysis of double angle connections under tension ve shear." Journal of Constructional Steel Research;54:227–44.

Yee, K.L., Melchers, R.E., 1986. Moment–rotation curves for bolted connections. Journal of Structural Engineering, 112, 615–35.

Young, C.R., 1917. Bulletin no. 4, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana.

Young, C.R., Jackson, K.B., 1934. The relative rigidity of welded ve riveted connections. Canadian Journal of Research, 11(1–2), 62–100, 101–134.

Zveonini, R., Zanon, P., 1988. Experimental analysis of end plate connections. In Connections in Steel Structures, Behaaior, Strength ve Design (Edited by R. Biorhovde, J. Brozzetti ve A. Colson), 41-51. Eisevier Applied Science, London.

ÖZGEÇMİŞ

Mahyar MAALİ 1985 yılında İran'ın Maragheh şehrinde doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2008 yılında Maragheh Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi İnşaat bölümünden lisans ve 2011 yılında Maragheh Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Mühendisliği bölümünden yüksek lisans mezunu oldu. 2005-2008 yılları arasında kendi kurmuş olduğu inşaat şirketi ile birçok projenin gerçekleşmesinde yer aldı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Yapı Anabilim dalında doktoraya başladı. 2014 yılında TÜBİTAK 2215 Uluslararası öğrenciler için doktora bursu almaya hak kazandı. Doktora sürecinde çeşitli bap projelerinde doktora öğrencisi olarak yer aldı. Halen Gençler Metal Ltd. Şti 'de alanında proje danışmanı olarak devam etmektedir. Maali' nin çeşitli dergilerde ve uluslararası konferanslarda yayınlanmış makale ve bildirileri bulunmaktadır.