

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİLME ETKİSİ ALTINDA ÇELİK BORU KİRİŞ VE
KOLONUN KAYNAKLI KURTAĞZI BİRLEŞİMİNDE DÖNME
KAPASİTESİNİN İNCELENMESİ**

Deniz BAYRAKTAR

**Danışman
Doç. Dr. Zeki AY**

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015**

© 2015 [Deniz BAYRAKTAR]

TEZ ONAYI

Deniz BAYRAKTAR tarafından hazırlanan "Eğilme Etkisi Altında Çelik Boru Kiriş ve Kolonun Kaynaklı Kurtağzı Birleşiminde Dönme Kapasitesinin İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Zeki AY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Hasan KAPLAN
Pamukkale Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.


Deniz BAYRAKTAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Deneysel ve sayısal modeller	24
3.1.2. Deneysel modellerin mesnet ve yükleme sistemi.....	28
3.1.3. Deneysel modellerde veri toplama sistemleri.....	29
3.2. Sayısal Modeller.....	32
3.3. Çelik Malzeme Özellikleri	36
3.4. Yöntem	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	42
4.1. Deneysel ve Sayısal Modellerin Değerlendirilmesi	42
4.1.1. D-M0, A-M0, S-M0 (Şahit Numune) Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	42
4.1.2. D-M1, A-M1 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	48
4.1.3. D-M2, A-M2 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	54
4.1.4. D-M3, A-M3 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	59
4.1.5. D-M4, D-M4 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	65
4.1.6. D-M5, A-M5 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	72
4.1.7. D-M6, A-M6 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi	78
4.2. Deneysel ve Sayısal Model Rijitlik Değerlerinin Karşılaştırılması	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

Doktora Tezi

EĞİLME ETKİSİ ALTINDA ÇELİK BORU KİRİŞ VE KOLONUN KAYNAKLI KURTAĞZI BİRLEŞİMİNDE DÖNME KAPASİTESİNİN İNCELENMESİ

Deniz BAYRAKTAR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeki AY

Çelik yapıların sünek davranışı, çelik malzemenin süneklik özelliği yanısıra tersinir tekrarlı yükler altında özellikle birleşim bölgelerinde plastik deformasyonların kırışlerde oluşacak şekilde birleşimlerin detaylandırılması ile gerçekleşmektedir. Sünek sistemler gösterdikleri elastoplastik davranış sayesinde, göçme anında büyük enerji yutar. Bu sayede, yapıda büyük hasarlara neden olabilecek ani göçme ve gevrek kırılma gibi etkenlerin önüne geçilmiş olur. Çelik yapı tasarımı halen yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY 2007) göre, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal yapılar olarak sınıflandırılmakta olup, yapılan bu sınıflandırmaya göre yapı davranış katsayısı belirlenmekte ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri hesaplanmaktadır. Çelik bir çerçeve sistemin süneklik düzeyi yüksek olarak tanımlanabilmesi ile ilgili bazı koşullara ilave olarak moment aktaran kırış kolon birleşimi ile ilgili detaylar sadece I profiller için verilmiş olup, kutu ya da dairesel kesitli elemanlardan oluşan kırış kolon birleşim detayları hakkında herhangi bir birleşim detayı verilmemektedir. Bu nedenle, kutu ve dairesel kesitli elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi tanımlamasında bir belirsizlik mevcuttur.

Bu çalışmada, **dairesel kesitli birleşimlere rijitleştirme levhası olarak eklenen başlık levhasının moment kapasitesine etkisi** incelenmektedir. Bu kapsamda, kaynaklı olarak birleşimi sağlanan dairesel kesitli birleşimlerde eğilme etkisi altında oluşacak lokal burkulma etkilerinin önlenmesi amacıyla düğüm noktasına eklenen farklı boyutlardaki başlık rijitleştirme levhasının davranışa katkısı ve levha boyutlarının birleşim kapasitesine etkisi sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel analizlerden elde edilen sonuçlar, ANSYS sonlu elemanlar programı ile desteklenerek karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Türk Deprem Yönetmeliği 2007, dairesel kesitli kırış-kolonlar, başlık levhalı kaynaklı moment aktaran birleşim, moment aktaran çelik çerçeve sistemler, moment dönme ilişkisi, süneklik detayı.

2015, 96 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF THE ROTATION CAPACITY ON WELDED PLUNGE CUTTING CONNECTION OF STEEL CIRCULAR HOLLOW SECTION (CHS) BEAM AND COLUMN UNDER BENDING

Deniz BAYRAKTAR

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki AY

The ductility behaviour of steel structures takes place under the reversible iterative loads, besides the ductility feature of steel structure, with the elaboration of connections when plastic deformation taking place in beams especially in connection parts. Thanks to their elasto-plastic behaviour, ductility systems absorb a large amount of energy during the failure. Thus, sudden failure and brittle fractures, which might cause huge damages in the structure, can be avoided. According to the Turkish Earthquake code, which is still in use, the steel structure system is classified as systems that of ductility levels are high and normal, with regards to this classification, the coefficient of the structure behaviour is determined and the earthquake force effecting the structure is calculated. Besides some conditions related to describing the steel frame system as frame system that of high ductility level, the details about beam/column connections transferring moment are given just for I profiles, while there are no connection details about the beam/column connection details that are consisted of box or circular hollow section elements. That is why, there is an uncertainty in the definition of the ductility level of the structure system consisting of box and circular hollow section elements.

In this study, **the effect of the end plate, which is added as rigid plate to the circular hollow section conditions, to the moment capacity** has been examined. In this context, in order to prevent the effects of local buckling occurring under the effect of circular hollow section connections by welding, the contribution of the end rigid plate added to the nodal point with different sizes to the behaviour and the effect of the plate sizes to the connection capacity has been examined numerally and experimentally. The results obtained from the experimental analyses have been given comparatively being supported by the finite element program ANSYS.

Keywords: Turkish Earthquake Code 2007, circular hollow section beam-columns, end-plate welded moment resisting connection, moment resisting steel frames, moment-rotation relations, ductility detail.

2015, 96 pages

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi, birikim ve yardımlarını esirgemeyen, hayatımın her aşamasında tecrübesi ve bilgisi ile bana yol gösteren değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Zeki AY'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında en büyük rolü üstlenen, her durumda ilgi ve anlayış gösteren, yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini sınırsızca paylaşan değerli arkadaşım Dr. İlyas Devran ÇELİK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve sayısal çalışmaların yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa SİVRİ ve Dr. Nurettin Alpay KIMILLI'ya, yardımlarından dolayı iş arkadaşım Ülkü AVCI'ya çok teşekkür ederim.

3672-D1-13 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda emekleri olan, desteklerini sürekli hissettiğim anne ve babama sevgi ve saygılarımı sunarım.

Doktora sürecinde bana olan sevgi, anlayış, ilgi ve özeni hep canlı olan, her koşulda sınırsız destek sağlayan sevgili eşim Emre Artun BAYRAKTAR'a, varlığıyla yaşamıma en güzel anlamı katan canım kızım Deniz İlke'ye sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Deniz BAYRAKTAR
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dairesel kesitli profillerin birleşim tipleri	6
Şekil 2.2. Euro Code 3’de tanımlanan deformasyon durumları.....	7
Şekil 2.3. Kiriş plastikleşmesi ve kirişte zımbalama göçme modları	9
Şekil 2.4. $2\gamma = 25$ için T, X ve K tipi birleşimlerin Q_u fonksiyonu karşılaştırması	10
Şekil 2.5. T ve X tipi birleşimler için kiriş aksel gerilme fonksiyonu, Q_f ve T tipi birleşimler için kiriş moment eğilme gerilmesi fonksiyonu	10
Şekil 2.6. Dairesel kesitli T tipi birleşimler için verimlilik tablosu.....	11
Şekil 2.7. Tek eksenli vierendeel birleşimleri.....	12
Şekil 2.8. Düzlemde eğilme momentine maruz birleşimler için verimlilik tasarım tablosu.....	12
Şekil 2.9. Düzlem dışı eğilme momentine maruz birleşimler için verimlilik tasarım tablosu.....	13
Şekil 2.10. T tipi birleşimlerde düzlem ve düzlem dışı moment etkisi altındaki birleşim rijitlikleri	13
Şekil 2.11. Deney düzeneği ve gerinim ölçerlerin yerleşim planı	15
Şekil 2.12. İç ekseninde ring eleman kullanılarak rijitleştirilen düğüm noktası detayları.....	17
Şekil 2.13. Rijitleştirilmiş bölgede plastik şekil değiştirme	17
Şekil 2.14. Deneysel ve analitik çalışma sonucu oluşan göçme modları ve deformasyon halleri	19
Şekil 2.15. Deneysel numune ve yükleme sistemi genel görünümü.....	20
Şekil 2.16. Aksel kuvvet altında T tipi birleşimin göçme modları	21
Şekil 2.17. Düzlemde eğilme etkisi altında T tipi birleşimin göçme modları	21
Şekil 2.18. Deney düzeneği genel görünümü ve numune boyutları	23
Şekil 3.1. Deney düzeneği genel görünümü	24
Şekil 3.2. Deney düzeneği boyutları	25
Şekil 3.3. Şahit numune kiriş-kolon birleşim detayı genel görünümü.....	25
Şekil 3.4. Dairesel kesitli kiriş-kolon birleşimi başlık levhası.....	27
Şekil 3.5. Mesnet parçaları genel görünüşü	28
Şekil 3.6. Yükleme düzeneği ve piston genel görünümü.....	29
Şekil 3.7. Deplasman ölçer yerleşim planı.....	30
Şekil 3.8. Gerinim pulu yerleşim planı	31
Şekil 3.9. Deneysel model genel görünümü	32
Şekil 3.10. ANSYS programı sayısal model görüntüleri.....	33
Şekil 3.11. ANSYS programı sayısal model meshleme görüntüleri.....	34
Şekil 3.12. Mesnet tanımlaması	35
Şekil 3.13. Yükleme kolu ve yük etkime şeklinin sayısal modeli	36
Şekil 3.14. Çelik malzeme deney numunesi	37
Şekil 3.15. Deney öncesi ve sonrası malzeme numuneleri ve çekme anı görünümü.....	37
Şekil 3.16. Çekme deneyi gerilme şekil değiştirme diyagramı	38
Şekil 3.17. Birleşim şekli ve birleşimde kullanılan boyutsal parametreler.....	39
Şekil 4.1. D-M0 nolu numunenin (şahit numune) deney öncesi genel görünümü.....	43
Şekil 4.2. Kolon üst başlığında deforme olmuş görünüm.....	44
Şekil 4.3. D-M0 nolu modelin deneysel analiz yük-deplasman eğrisi	45

Şekil 4.4. D-M0 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	46
Şekil 4.5. D-M0 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	46
Şekil 4.6. A-M0 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları ve görünüşleri	47
Şekil 4.7. D-M1 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	48
Şekil 4.8. Kirişte plastik mafsall oluşumuna bağlı şekil değiştirme durumu.....	49
Şekil 4.9. D-M1 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	50
Şekil 4.10. D-M1 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	51
Şekil 4.11. D-M1 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.12. D-M1 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.13. A-M1 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	54
Şekil 4.14. D-M2 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	55
Şekil 4.15. D-M2 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	55
Şekil 4.16. D-M2 nolu numunede kirişte plastik mafsall oluşumu.....	56
Şekil 4.17. D-M2 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	57
Şekil 4.18. D-M2 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	57
Şekil 4.19. D-M2 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	58
Şekil 4.20. A-M2 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	59
Şekil 4.21. D-M3 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	60
Şekil 4.22. D-M3 nolu numunenin deney sonrasında ait genel görünüşler	61
Şekil 4.23. D-M3 deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	61
Şekil 4.24. D-M3 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	62
Şekil 4.25. D-M3 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	63
Şekil 4.26. D-M3 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	64
Şekil 4.27. A-M3 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	65
Şekil 4.28. D-M4 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	66
Şekil 4.29. D-M4 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali).....	67
Şekil 4.30. D-M4 deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	67
Şekil 4.31. D-M4 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	68
Şekil 4.32. D-M4 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	69
Şekil 4.33. D-M4 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	70
Şekil 4.34. A-M4 ve A-M1 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	71
Şekil 4.35. D-M5 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	72
Şekil 4.36. D-M5 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali).....	73
Şekil 4.37. D-M5 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	74
Şekil 4.38. D-M5 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	75
Şekil 4.39. D-M5 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	76

Şekil 4.40. D-M5 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	77
Şekil 4.41. A-M5 ve A-M2 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	78
Şekil 4.42. D-M6 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü.....	79
Şekil 4.43. D-M6 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali).....	79
Şekil 4.44. D-M6 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi	80
Şekil 4.45. D-M6 nolu numunenin gerilim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri..	81
Şekil 4.46. D-M6 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	82
Şekil 4.47. D-M6 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması	83
Şekil 4.48. A-M6 ve A-M3 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları	84
Şekil 4.49. Şahit numune ve 6 mm cidar kalınlığında başlık levhali numunelerin rijitlik değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.50. Şahit numune ve 8 mm cidar kalınlığında başlık levhali numunelerin rijitlik değerlerinin karşılaştırılması	86
Şekil 4.51. 6-8 mm cidar kalınlığında başlık levhali numunelerin ANSYS sayısal analiz sonucuna göre rijitlik değerlerinin karşılaştırılması...	87
Şekil 4.52. 6-8 mm cidar kalınlığında başlık levhali numunelerin deneysel analiz sonucuna göre rijitlik değerlerinin karşılaştırılması	87
Şekil 5.1. Şahit numune ve 6 mm kalınlığında başlık levhali numunelerin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	90
Şekil 5.2. Şahit numune ve 8 mm kalınlığında başlık levhali numunelerin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	91
Şekil 5.3. Şahit numune ve başlık levhali numunelere ait yük-deplasman eğrilerinin farklı cidar kalınlığı altındaki kapasite değişimlerinin karşılaştırılması	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Düzlem ve düzlem dışı eğilme momenti altında kaynaklı birleşimi sağlanmış dairesel kesitli profillerin tasarım kriterleri	8
Çizelge 2.2. Dairesel kesitli profillerin T ve Y tipi birleşimleri için tasarım tablosu	11
Çizelge 2.3. Eğilme momenti altında dairesel kesitli birleşimlerin tasarım esasları	14
Çizelge 3.1. Dairesel kesitli kolon ve kiriş birleşimi numune isimleri	27
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri	41
Çizelge 4.1. Deneysel ve sayısal modellerin birleşim türlerine göre isimleri	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

b_0, d_0	Kolon genişliği
b_1, d_1	Dikme/çapraz/kiriş genişliği
C	Birleşimin dönme rijitliği (moment/radyan)
C_1	Gerilmeye bağlı fonksiyon
CHS	Dairesel kesitli (boru) profil
C_T	T tipi birleşimlerde verimlilik değeri
C_{ip}	Düzlemde eğilme altında dikme/çapraz/kiriş verimlilik değeri
C_{op}	Düzlem dışı eğilmede dikme/çapraz/kiriş verimlilik değeri
d, Δ	Deplasman
E	Elastisite modülü
F_{y0}	Akma dayanımı
h	Sistem yüksekliği
H	Yatay yük
h_0	Kolon yüksekliği
h_1	Dikme/çapraz/kiriş yüksekliği
H_a	Alın levhasının kiriş yüzeyinden itibaren uzunluğu
H_b	Alın levhası toplam uzunluğu
k_a	Birleşim bölgesini kirişe bağlayan θ 'ye bağlı bir parametre
M_{ip}	Düzlemde eğilme momenti
M_{op}	Düzlem dışı eğilme momenti
n	Gerilme oranı
N	Eksenel yük
N_{pl}	Eksenel yük akma kapasitesi
P	Yük
P_{ult}	Yük durumu
Q_u	Birleşim geometrisine bağlı bir fonksiyon
Q_f	Değeri düğüm noktasında kolon başlığında oluşan gerilmelere bağlı moment dayanımı için bir azaltma fonksiyonu
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	Deprem yükü azaltma katsayısı
RHS	Dikdörtgen kutu kesit
SHS	Kare kesitli kutu profil
SCF	Gerilme yoğunluk katsayısı
t	Kaynak kalınlığı
t_a	Başlık levhası kalınlığı
t_0	Kolon cidar kalınlığı
t_1	Dikme/çapraz/kiriş cidar kalınlığı
TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
V_a	Alın levhasının kiriş yüzeyinden itibaren genişliği
V_b	Alın levhası toplam genişliği
V_t	Eşdeğer deprem yükü yani taban kesme kuvveti
β	Dikme/çapraz/kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı
β_a	Alın levhası genişliğinin kolon genişliğine oranı
γ	Kolon genişliğinin kolon cidar kalınlığına oranı
γ_a	Kolon genişliğinin kolon ve alın levhası cidar kalınlığının toplamına oranı
θ	Dikme/çapraz/kiriş-kolon birleşim açısı
τ	Kiriş cidar kalınlığının kolon cidar kalınlığına oranı

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımında bir yapının yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli sünekliğe sahip olması istenir. Çelik konstrüksiyon kullanılarak dizayn edilen bir yapıda, çeliğin en önemli iki özelliği, sünekliği ve tekrarlı inelastik yükleme altında enerji yutma kapasitesidir. Süneklik, yapı elemanlarının kırılma konumuna ulaşmadan önce büyük deformasyonlar gösterebilme özelliğidir. Sünek yapılar, deprem esnasında deprem enerjisini yıkılmadan kalıcı deformasyonlar yaparak tüketmeye çalışırlar. Yapıya gelecek deprem kuvvetlerini minimuma indirmek, büyük deprem kuvvetleri meydana gelmeden gerekirse plastik mafsallar ile alternatif yönlü yatay deprem deplasmanlarının yer alabilmesini sağlamaktır. Sünek yapılarda, deprem enerjisi bu kesitlerde göçme durumu oluşmadan plastik mafsallar tarafından yutulur. Çeliğin kopmadan büyük deformasyon yapabilme özelliği yani büyük şekildeğiştirme sığası olması ve yüksek dayanımı, malzemeyi deprem bölgelerinde inşa edilecek olan yapılar için ideal bir malzeme durumuna getirmektedir. Ancak, 1994'te meydana gelen Northridge (Los Angeles, A.B.D.) ve 1995'te meydana gelen Hyogo-ken (Kobe, Japonya) depremleri, çelik çerçeve sistemlerin deprem etkisi altında sergilemiş oldukları yapısal performansa bakışı değiştirmiştir. Her iki depremde de hiçbir çelik binada tümünden yıkılma olmamasına rağmen kiriş-kolon birleşimlerinde gevrek kırılma ve çatlaklar gözlenmiştir. Yüksek süneklik kapasitelerine rağmen gözlemlenen bu performans düşüklüğü, bu çerçeve sistemler hakkında bilinenlerin yeterli olmadığını göstermiştir. Northridge (1994) öncesi, birleşimin tüm sismik ihtiyacı karşılayabildiği düşünüldüğünden birleşimin dayanımı, rijitliği ve sünekliği tasarımda hesaba katılmamaktaydı. Birleşimin rijitliğinin, kolon panel bölgesinin rijitliğinden veya kirişin plastik dönme kapasitesinden büyük olduğu kabul edilmekteydi. Birleşim rijit kabul edildiği için, eleman rijitliği ve deprem etkisinin yapı üzerindeki elastik sismik ihtiyacı kontrol edebileceği düşünülüyordu. Ancak, Northridge (1994) depreminde birleşimlerin yeterince sünek olmadığı ve beklenen plastik dönmeyi yapamadığı görülmüştür. Karşılaşılan bu durumdan sonra moment çerçeve birleşimlerin ayrıntılı incelemelerinin yapılması ihtiyacı doğdu ve pek çok birleşim tipi rijitlik, dayanım ve süneklik açısından incelendi. Bu araştırmalar, FEMA raporlarında yer almış ve pek çok ülkeyi depreme dayanıklı yapı tasarım kriterlerini kendi koşullarına göre tekrar

gözden geçirmesi ve yönetmeliklerini bu doğrultuda yenilemesi ihtiyacını doğurmuştur.

Tasarım depremi etkisi altında, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı öngörülerek hesaplanan elastik deprem etkisi, deprem yükü azaltma katsayısı olarak açıklanan belirli bir katsayı ile azaltılır. Böylece binanın yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışı sayısal olarak basit bir şekilde hesaba dahil edilmiş olur. Deprem yükü azaltma katsayısı R_a ; yapı davranış katsayısı R , yapı periyodu T ve yerel zemin spektrum karakteristik periyodu T_A 'nın bir fonksiyonu olarak deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY-2007) R 'nin değeri yapı türü ve süneklik düzeyine göre belirlenmektedir. Bu nedenle yapı davranış katsayısı belirlenirken, süneklik düzeyinin doğru bir şekilde tespit edilmesi önemlidir.

Ülkemizde yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliği'nin (TDY-2007) çelik yapılar ile ilgili 4. Bölümünde çelik taşıyıcı sistemler süneklik düzeyi normal ve yüksek olarak tanımlanmaktadır. Çelik bir çerçeve sistemin süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem olarak tanımlanabilmesi için, Yönetmeliğin 4. Bölümünde belirtilen koşullara ilave olarak TDY-2007 Bilgilendirme Eki 4A'da verilen moment aktaran çerçevelerde kiriş-kolon birleşim detaylarının kullanılması zorunludur. Ancak, Bilgilendirme Eki 4A'da verilen birleşim detayları sadece I profillerini kapsamakta olup, kutu ve dairesel kesitli profillerden oluşan kiriş-kolon birleşimleri ile ilgili herhangi bir birleşim detayı verilmemektedir. Türkiye'de I ve diğer hadde ürünleri kadar kutu ve dairesel kesitli profiller de çelik inşaatlarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, TDY-2007'de kutu ve dairesel kesitli elemanlardan oluşan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin deprem hesabında birleşim detayı ile ilgili olarak herhangi bir detay mevcut olmadığından taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi tanımlanmasında bir belirsizlik mevcuttur. Deprem yönetmeliğimizdeki bu eksikliğin giderilmesi için, kutu ve dairesel kesitli profillerden yapılan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin süneklik düzeyi tanımlanmasının yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, dairesel kesitli profillerden yapılan çelik çerçeve sistemlerin başlık levhalı kaynaklı moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinin süneklik detaylarının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için, TDY-2007'de süneklik

düzeyi yüksek sistem tanımlaması için öngörülen 0,04 radyan görelî kat öteleme açısını sağlayacak şekilde kiriş-kolon boyutlarına göre başlık levhası boyutlarının alması gereken değerler hem deneysel hem de sayısal olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bir sonlu eleman analiz programı olan ANSYS yardımıyla çok sayıda model için sayısal analiz gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Analiz ve deneylerde eleman boyutları, malzeme özellikleri, moment değişimleri, burkulma tipi ve tekrarlı yükleme sayısı gibi dönme kapasitesini etkileyen ana faktörler dikkate alınmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürdeki birçok örnek bize boru profillerin basınç, çekme, eğilme ve burulma etkileri altında üstün davranış özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak boru profillerin özellikle kıyı yapılarında rüzgar, su ve dalga yüklerine karşı koyan en iyi kesit tipi olduğu da kanıtlanmıştır. Boru profiller, bütün bu özelliklerini mimari çekicilikleriyle de birleştirirler. Genel olarak, kutu ve boru profillerle yapılan konstrüksiyonlar, açık en kesitlilere kıyasla daha az yüzey alanına ve daha az köşeye sahip olması nedeniyle korozyona karşı daha dayanıklıdır. Bu noktada birleşimin önemi ortaya çıkmaktadır. Bütün bu üstün özellikler göz önünde bulundurulduğunda, boru profillerle teşkil edilecek konstrüksiyonlarda guse ve berkitme levhalarından arındırılmış olması beklenmektedir. Bu durumda birleşimin taşıma gücü doğrudan birleşime giren elemanların en kesit özelliklerine bağlı olduğundan, eleman en kesitleri ön tasarım aşamasında belirlenirken tasarımcı tarafından birleşimde dikkate alınması gerekmektedir.

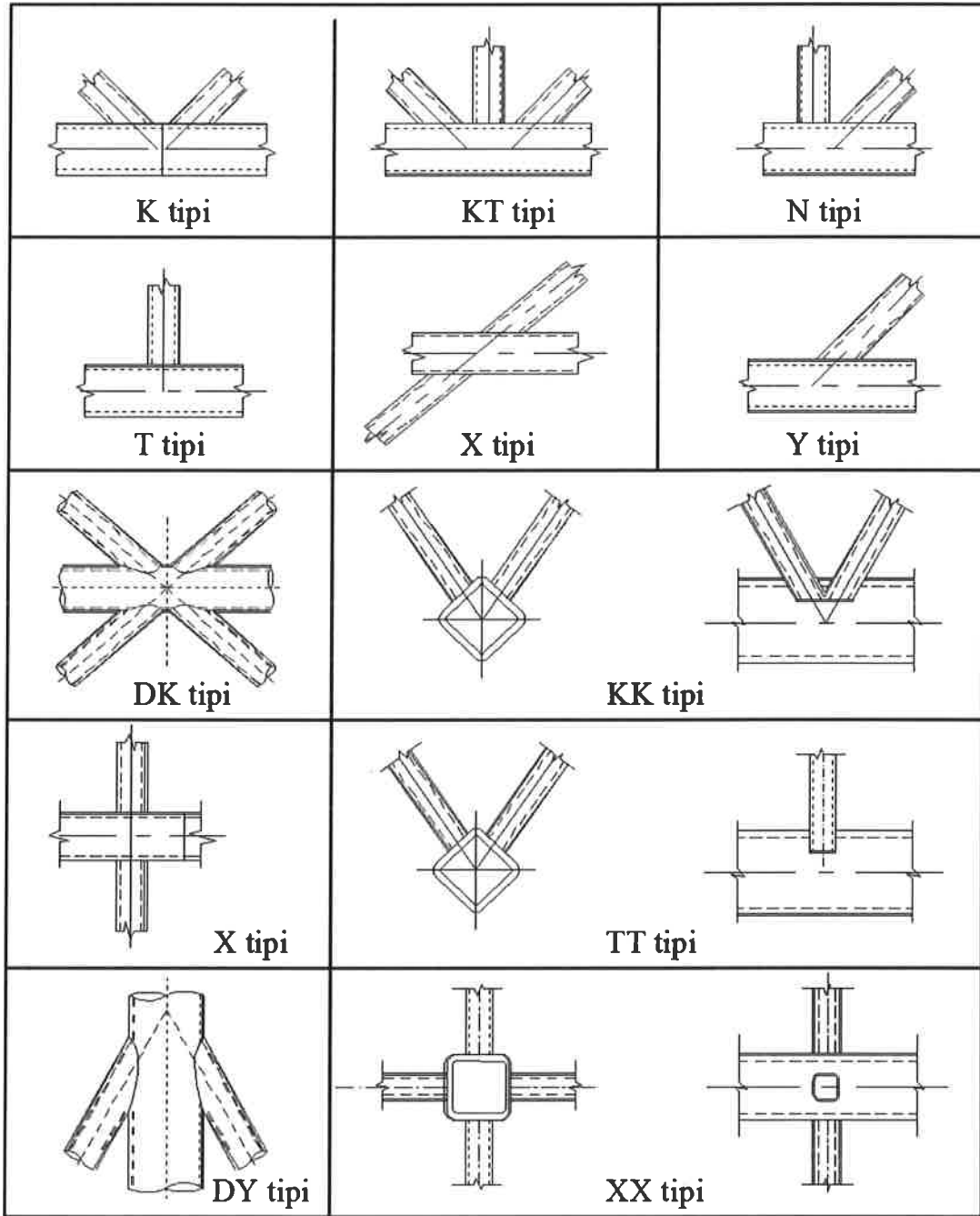
Uluslararası Borusal Yapıları Araştırma ve Geliştirme Komitesi (CIDECT), son 35 yıl içerisinde boru profillerin dayanımı, yangına karşı korunması ile rüzgar yüklemesi, birleşimlerin statik ve yorulma yükleri altındaki davranışları ve kompozit elemanlar hakkında birçok çalışma yapmıştır. Bu araştırmaların sonuçları birçok ulusal ve uluslararası şartnameye kaynak teşkil etmiş olup, CIDECT monografileri adı altında yayınlanmıştır. Tasarımcının, birleşimlerin davranış esaslarının bilincinde olması ve belli parametrelerin birleşimler üzerinde etkisini bilmesi, boru profillerle iyi bir tasarım yapılabilmesi açısından önemlidir. Bu kapsamda; Design Guide 1'in (Wardenier vd.) 1991 yılında yayımlanan ilk baskısının ardından çeşitli araştırmalar yapılmış olup, bu araştırma sonuçlarına ve ilave analizlere dayanarak IIW (2008) tavsiyelerindeki tasarım formülleri düzenlenmiştir. Ancak bu düzenlemeler henüz Euro Code 3 gibi çeşitli uluslararası standartlara dahil edilmemiştir. Uluslararası standartlardaki tasarım formülleri halen bir önceki 1989 baskısı IIW kurallarını temel almaktadır. Tek eksenli T, X ve K birleşimleri için tasarım dayanım formülleri ilk olarak Kurobane'nin (1981) formüllerine dayandırılmış, tasarım kurallarında yapılan basitleştirmeler ve değerlendirmelerden (Wardenier, 1982) sonra ise IIW (1989) önerilerine dahil edilmiştir.

Design Guide 1 (2008) ve Euro Code 3 arasındaki önemli bir fark, Design Guide 1 (1991) ve Euro Code 3'de verilen birleşim dayanım formüllerinde kiriş gerilim fonksiyonunun $f(n')$ kiriş öngerilmesine dayanmakta iken, Design Guide 1'de (2008) kiriş gerilim fonksiyonunun Q_f maksimum kiriş gerilimine bağlı olması ve bundan dolayı yatay kiriş yükü bileşenlerinden doğan gerilimin tasarıma dahil edilmemesidir. Design Guide 1'de (1991), birleşim tasarım denklemlerinin geçerliliği akma gerilmesi 355 N/mm^2 olan çelikler ile sınırlanmakta iken, Euro Code 3'de akma gerilmesi 460 N/mm^2 olan çeliklere kadar genişletilmiştir.

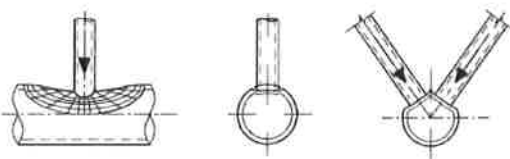
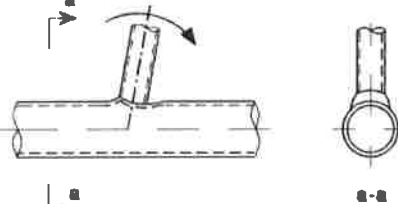
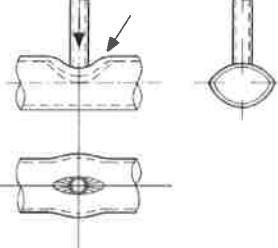
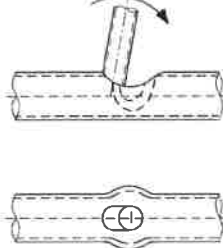
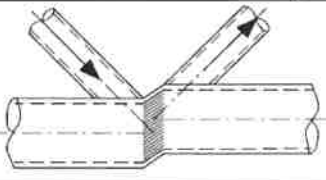
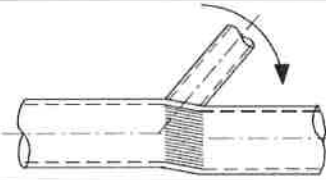
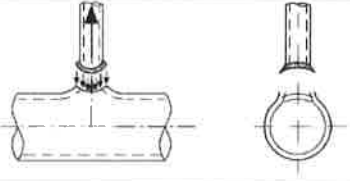
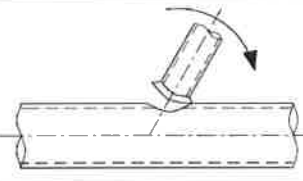
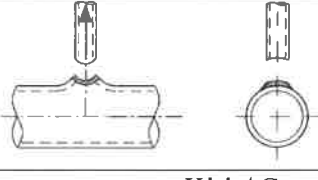
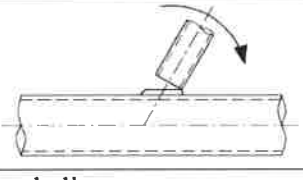
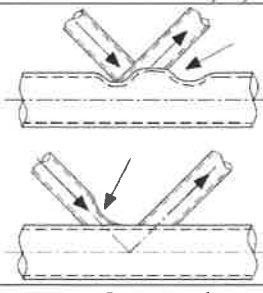
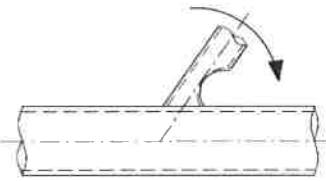
Euro Code 3 2003 7. Bölümde, dairesel kesitli profillerin tasarım prosedürleri hakkında genel bilgiler verilerek birleşim tipleri tanımlanmıştır. Bu genel bilgilerden bazıları şunlardır:

- Sıcak veya soğuk işlenmiş dairesel kesitli elemanların akma gerilmesi 460 N/mm^2 'yi geçmemeli, 355 N/mm^2 'den yüksek olmalı ve statik tasarım dayanımı $0,9$ katsayısı ile azaltılmalıdır,
- Dairesel kesitli elemanların kalınlığı $2,5 \text{ mm}$ 'den az olmamalıdır,
- Malzemelerin kalınlıkları için özel önlemler alınmadıkça, dairesel kesitli birleşimlerin kalınlıkları 25 mm 'den büyük olmamalıdır,
- Kiriş ve çapraz elemanlar ve birbirine yakın çapraz kirişler arasındaki açı $\theta_i \geq 30^\circ$ şartını sağlamalıdır.

Şekil 2.1.'de dairesel kesitli profillerin birleşim tipleri, Şekil 2.2'de ise Euro Code 3'de tanımlanan deformasyon durumları gösterilmiştir. Şekilde oluşan deformasyonlar, dairesel kesitli profil için aksiyel yük ve eğilme etkisi altında olmak üzere iki kısımda ele alınmış ve karşılaştırmalı olarak şekil üzerinde sunulmuştur.



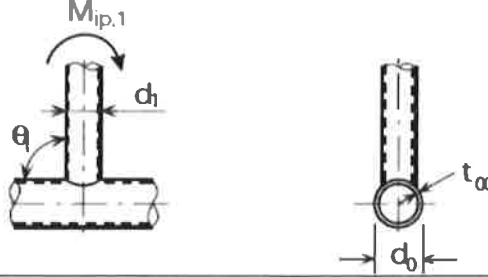
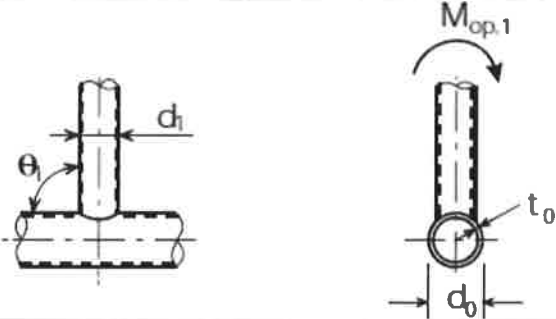
Şekil 2.1. Dairesel kesitli profillerin birleşim tipleri

Mod	Eksenel Kuvvet Altında	Moment Etkisi Altında
a		
	Kolon üst başlığında burkulma hali	Kolon gövdesinde lokal burkulma hali
b		
	Kolon bölgesinde lokal burkulma hali	
c		
	Kolon panel bölgesi deformasyon hali	
d		
	Kolon üst başlığında yırtılmaya bağlı kopma hali	
e		
	Kiriş/ Çapraz elemanda kopma hali	
f		
	Çapraz elemanda/ Kirişte lokal burkulma hali	

Şekil 2.2. Euro Code 3’de tanımlanan deformasyon durumları

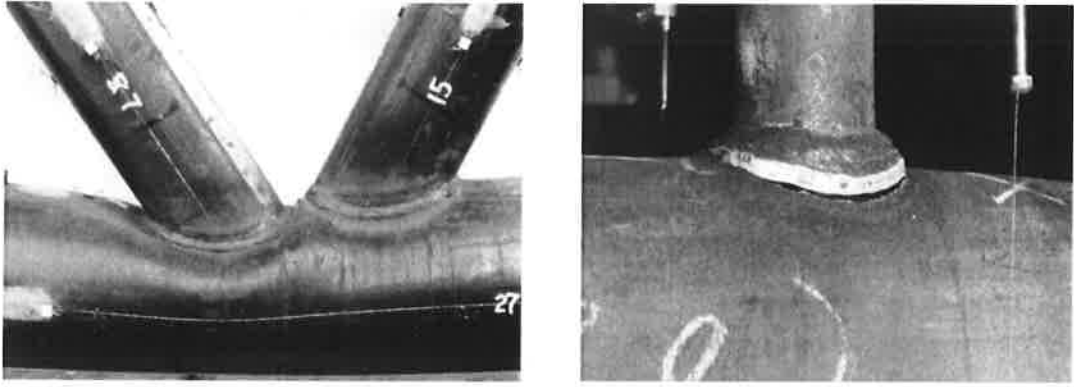
Euro Code 3 (2003) 7. Bölüm’de T, X, ve Y tipi birleşimler için hesap esasları verilmiş olup, Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Düzlem ve düzlem dışı eğilme momenti altında kaynaklı birleşimi sağlanmış dairesel kesitli profillerin tasarım kriterleri

Şekil değiştirmenin kolon üst başlığında olduğu durum- T, X ve Y tipi birleşimler	
	$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma \beta} k_p / \gamma_{M5}$
Şekil değiştirmenin kolon üst başlığında olduğu durum- K, N, T, X ve Y tipi birleşimler	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Zımbalamaya bağlı göçme K ve N tipi birleşimler ve tüm T, X ve Y tipi birleşimler	
$d_i \leq d_0 - 2t_0$	$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3\sin \theta_1}{4\sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$ $M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4\sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$
k _p faktörü	
$n_p > 0$ (basınç): $k_p = 1 - 0,3n_p(1 + n_p)$ fakat $k_p \leq 1,0$	
$n_p \leq 0$ çekme): $k_p = 1,0$	

Düzlemde eğilme momenti etkisi altındaki birleşimlerin tasarım önerileri Gibstein (1976) fonksiyonunun düzenlenmiş haline, düzlem dışı eğilme momenti için ise aksenal yüklü X birleşimleriyle bir ilişkilendirmeye (Wardenier, 1982) dayandırılmıştır. Düzlem dışı yükleme formülündeki sabite, Eurocode 3’ün yeniden analizine (Sedlacek vd. 1991) dayandırılan bir düzeltme uygulanmıştır.

Design Guide 1 (2008) 4. Bölümde kaynaklı birleşimi sağlamış boru profillerinin tasarım formülleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. T, Y ve X tipi birleşimler için geliştirilen formüller basınç yüküne göre hazırlandıysa da, çekme yükü altındaki birleşimlerde de kullanılabilir. Genelde birleşimin çekme yükü altındaki taşıma gücü, basınç altındakine göre daha fazladır. Ancak, çekme yükü altında oluşacak büyük deformasyonlar ve çatlaklar sebebiyle bu taşıma gücünden tamamen faydalanılamaz. Birleşimin taşıma gücü, genelde iki faktöre bağlıdır. Bunlar başlık elemanının plastikleşmesi ve başlık elemanında oluşacak zımbalamadır (Şekil 2.3). Bir birleşimin hesabında her iki durum da göz önüne alınmalıdır.



a) Başlık eleman (kiriş) plastikleşmesi

b) Başlık elemanda (kiriş) zımbalama

Şekil 2.3. Kiriş plastikleşmesi ve kirişte zımbalama göçme modları

Kiriş plastikleşmesi için yeni birleşim dayanım denklemleri, kural olarak ring modeli yaklaşımına (Togo, 1967) dayanmaktadır. Fakat Q_u ile ifade edilen β , γ 'nın tesir fonksiyonları ve Q_f ile ifade edilen "n" sonlu sonuçlarının çoklu regresyon analizi ile saptanmıştır. Basitleştirmelerden sonra formüller, Makino vd. (1966) tarafından derlenmiş deneysel veritabanı ve Qian vd. (2008)'nin sonlu elemanlar veritabanı ile karşılaştırılmıştır. Son olarak tasarım formülleri geliştirilmiştir (van der Vegte vd., 2008a, 2008b).

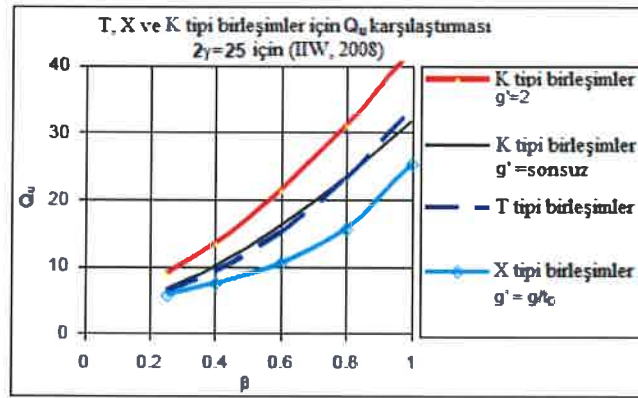
$$N_i^* = Q_u Q_f \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_j} \quad (2.1)$$

Q_u ; β ve γ parametrelerinin tesir fonksiyonunu, Q_f ise kiriş geriliminin birleşim kapasitesine olan tesirini vermektedir. Aynı zamanda kiriş zımbalaması için formül

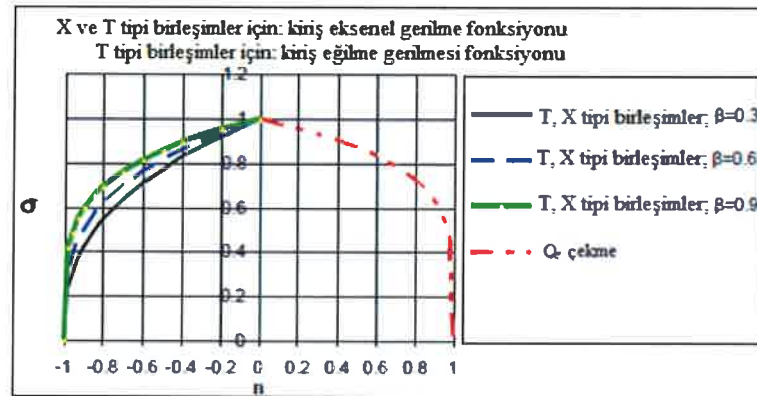
Eurocode 3 ve Design Guide 1'e (1991) göre benzerlik göstermekle birlikte sunum biraz değiştirilmiştir. k_a , birleşim bölgesini kirişe bağlayan θ_i 'ye bağlı bir parametredir.

$$N_i^* = 0.58f_{y0}\pi d_i t_0 \frac{k_a}{\sin\theta_i} \quad (2.2)$$

$2\gamma = 25$ olan T, X ve K tipi birleşimler için Q_u fonksiyonu Şekil 2.4'de gösterim amaçlı resmedilmiştir. Üç birleşim çeşidi için de kapasite β oranı ile düz orantılı olarak artmaktadır. Kiriş bağlantı yüzündeki aksenal yüke ilaveten eğilme momentinden kaynaklanan toplam (normal) gerilim oranı, "n" Şekil 2.5'de hesaplanmakta ve birleşim direnci üzerindeki etkisi saptanmaktadır. Q_f fonksiyonunun T ve X tipi birleşimler için, kirişe gelen aksenal yük ve kiriş moment eğilme gerilmesi değerleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



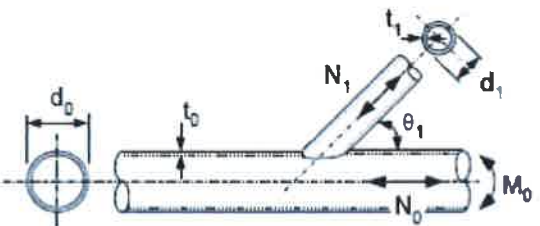
Şekil 2.4. $2\gamma = 25$ için (IIW, 2008) T, X ve K tipi birleşimlerin Q_u fonksiyonu karşılaştırması (Design Guide, 2008)

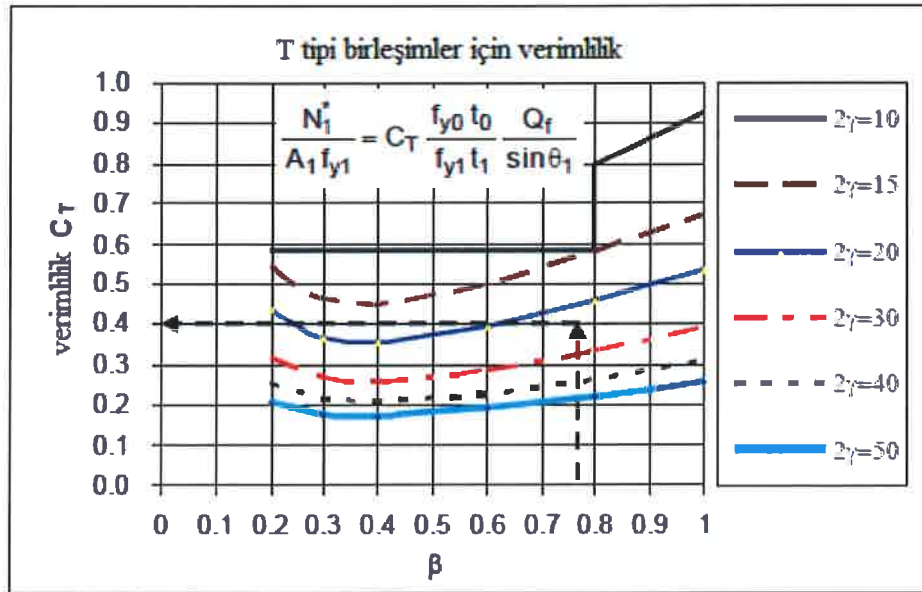


Şekil 2.5. T ve X tipi birleşimler için kiriş aksenal gerilme fonksiyonu, Q_f ve T tipi birleşimler için kiriş moment eğilme gerilmesi fonksiyonu

Design Guide 1’de (2008) yer alan ve Çizelge 2.2’de verilen formüllerin geçerlilik aralıkları, Eurocode 3 ve Design Guide 1 (1991) ile hemen hemen aynıdır. Şekil 2.6’da dairesel kesitli profillerin T tipi birleşimler için taşıma gücü başlık/dikme elemanların verimi açısından grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, zımbalama etkisinin yalnızca d_0/t_0 oranı ve oranları düşük olan başlık elemanlarında kritik olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2. Dairesel kesitli profillerin T ve Y tipi birleşimleri için tasarım tablosu (Design Guide, 2008)

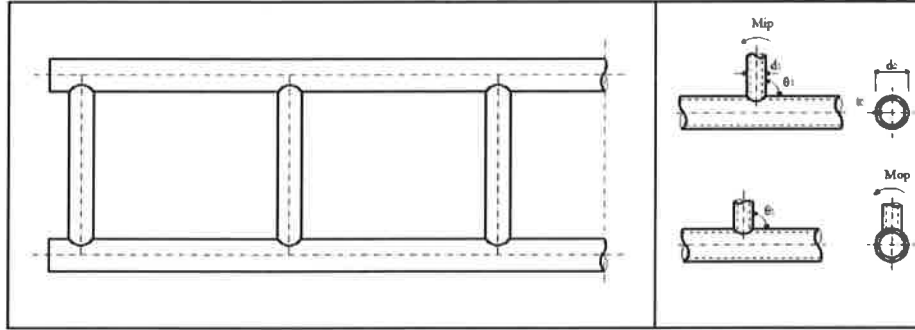
Dairesel kesitli profillerin T ve Y tipi birleşimleri	
Semboller	Geçerlilik aralığı
$\beta = \frac{d_1}{d_0} \quad 2\gamma = \frac{d_0}{t_0}$ 	$0.2 \leq \beta \leq 1.0$ kiriş elemanda basınç: $2\gamma \leq 50$ kiriş elemanda çekme: $2\gamma \leq 50$ çapraz eleman basınç: $d_1/t_1 \leq 50$ çapraz eleman çekme: $d_1/t_1 \leq 50$ $t_1 \leq t_0$ $\theta_1 \geq 30$



Şekil 2.6. Dairesel kesitli T tipi birleşimler için verimlilik tablosu

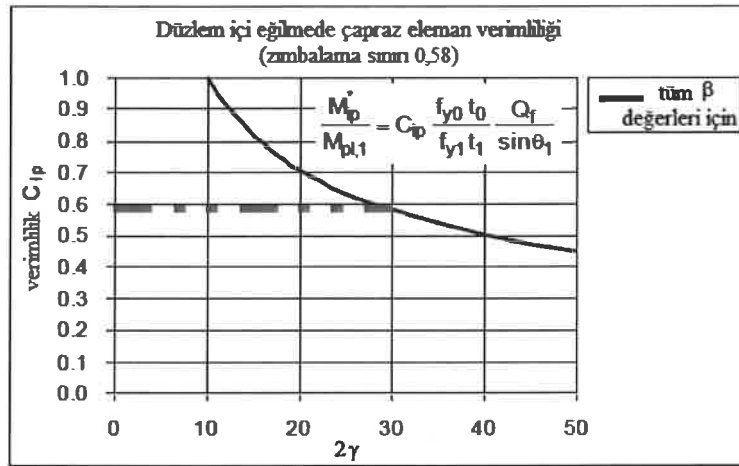
Elemanların birleşim ekseninden kaçıklığı sonucunda oluşacak birincil momentlerle, eleman uçlarının ankastreliğe yakın bağlanması sonucunda oluşacak ikincil

momentleri birbirinden ayırt etmek gerekmektedir. İkincil momentler, esas olarak dış yüklerin dengesi açısından gerekli değildir. Düğüm noktalarının yeteri kadar dönme kapasitesine sahip olmaları durumunda ikincil momentler birleşimin taşıma gücünü etkilemezler. Kafes kirişlerde oluşacak birincil momentlerin ise, başlık elemanları tarafından alınacağı kabul edilir. Momente maruz birleşimler, genelde T tipi olup vierendeel birleşimleri olarak da adlandırılır (Şekil 2.7).

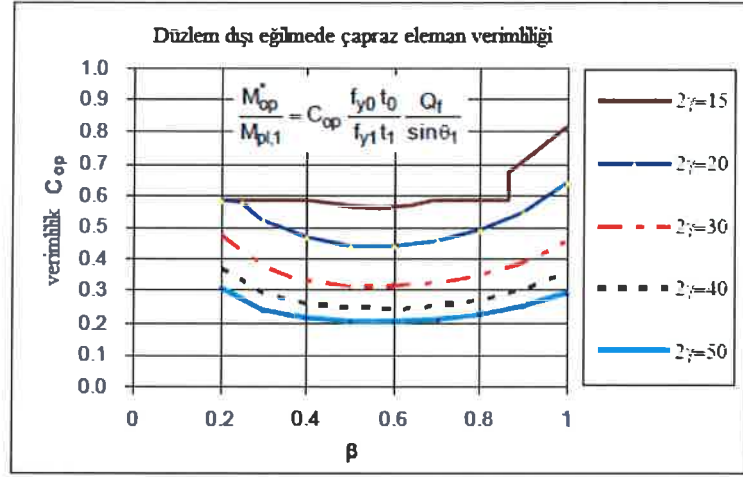


Şekil 2.7. Tek eksenli vierendeel birleşimleri

Eksenel yüke maruz birleşimlerde olduğu gibi, birleşim moment kapasitesi formülleri de verimlilik grafikleri ile Şekil 2.8 ve 2.9'da verilmektedir. Birleşim verimlilikleri C_{ip} ve C_{op} birleşimin taşıma gücünün, birleşime giren başlık elemanın plastik moment kapasitesi $W_{pl,1} f_{y1}$ 'in oranına eşittir. Verimlilik, $\theta_1=90^\circ$ iken 0,58 verimlilik faktörü ile sonuçlanan, zımbalama moment kapasitesi ile sınırlanmaktadır.



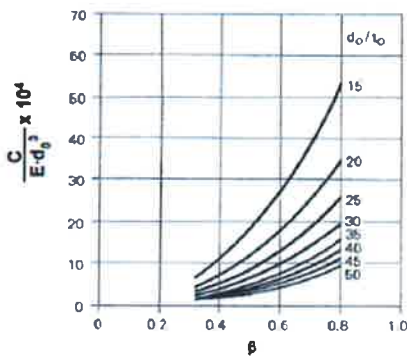
Şekil 2.8. Düzlemde eğilme momentine maruz birleşimler için verimlilik tasarım tablosu



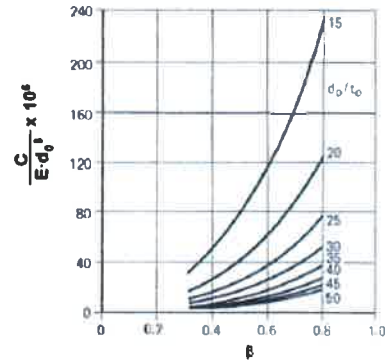
Şekil 2.9. Düzlem dışı eğilme momentine maruz birleşimler için verimlilik tasarım tablosu

Bu diyagramlardan da görüleceği gibi, birçok durumda, birleşimin düzlemdeki eğilme momenti taşıma kapasitesi, düzlem dışındakine oranla çok daha iyidir. Dikkat edilmelidir ki, birleşimin dönme rijitliği C 'nin (moment/radyan), özellikle hiperstatik sistemlerde (örneğin çerçeveler, virendeel kirişleri), taşıyıcı sistemin moment dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Rijit birleşimler istendiği takdirde 1'e yakın bir β oranı seçilmeli veya d_0/t_0 ile birlikte yüksek t_0/t_1 oranları seçilmelidir.

Efthymiou'nun (1985) çalışmasına dayanan Şekil 2.10.'da T tipi birleşimlerin düzlemde ve düzlem dışı eğilme momentleri için, birleşim dönme rijitliği (C) grafiksel olarak sunulmaktadır.



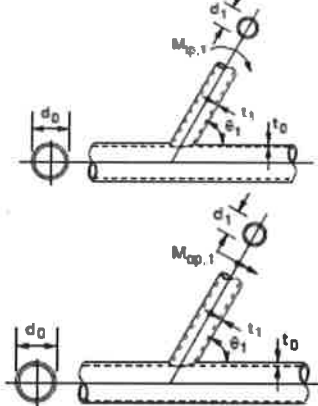
a) Düzlemde moment etkisi altında birleşim rijitliği



b) Düzlem dışı moment etkisi altında birleşim rijitliği

Şekil 2.10. T tipi birleşimlerde düzlem ve düzlem dışı moment etkisi altındaki birleşim rijitlikleri

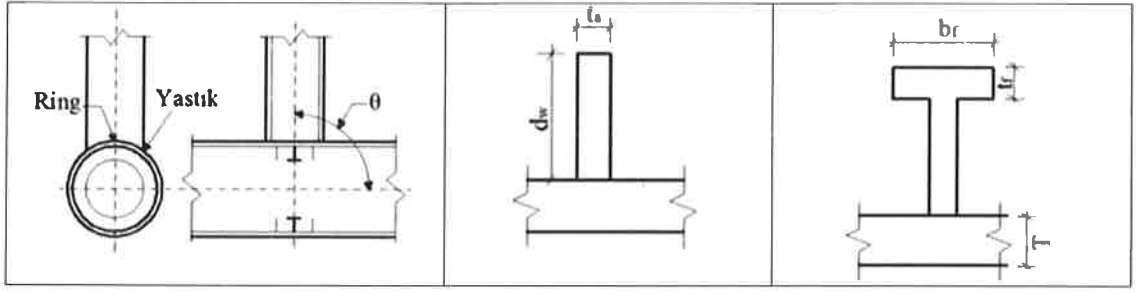
Çizelge 2.3. Eğilme momenti altında dairesel kesitli birleşimlerin tasarım esasları

Kontrol Kriteri	Eğilme momenti altında dairesel kesitli kiriş ve çapraz eleman birleşimi	
Tasarım gerilmesi Kiriş plastikleşmesi	$M_1 = Q_u Q_f \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} d_1$	
Tasarım gerilmesi zımbalama (sadece $d_1 \leq d_0 - 2t_0$)	Düzlemde eğilme durumunda $k_b = \frac{1 + 3\sin \theta_1}{4\sin \theta_1}$	Düzlem dışı eğilme durumunda $k_b = \frac{3 + \sin \theta_1}{4\sin \theta_1}$
	$M_1 = 0.58 f_{y0} d_1^2 t_0 \frac{k_b}{\sin \theta_1}$	
Q_u'nun fonksiyonu		
	Düzlemde eğilme durumunda	Düzlem dışı eğilme durumunda
T,Y,X tipi birleşimler 	$Q_u = 4.3\beta\gamma^{0.5}$	$Q_u = 1.3 \left(\frac{1 + \beta}{1 - 0.7\beta} \right) \gamma^{0.15}$
Q_f'nin fonksiyonu		
	$Q_f = (1 - n)^{C_1}$ ile $n = \frac{N_0}{N_{pl,0}} + \frac{M_0}{M_{pl,0}}$ birleşim yüzü	
	Kiriş basınç gerilmesi ($n < 0$)	Kiriş çekme gerilmesi ($n \geq 0$)
T,Y,X tipi birleşimler	$C_1 = 0.45 - 0.25\beta$	$C_1 = 0.20$

Mashiri, Zhao, Grundy (2004), çalışmalarında kare kesitli kutu profil (SHS) kolonlar üzerine kaynaklanmış dairesel kesitli (CHS) kirişlerden oluşan kaynaklı ince cidarlı ($t < 4$ mm) T tipi birleşimleri üzerinde “kirişte düzlemsel eğilme” yük durumunda yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Yorulmaya bağlı göçmelerin başlamasına ve ilerlemesine neden olan kırılmaların gözlemlendiği kolon-kiriş birleşim noktaları etrafında değişik ısıl işlem alanlarında gerilme dağılımları ölçülmüştür. CHS-SHS T tipi birleşimler için CIDECT Tasarım Kılavuzu No-8 gibi

yoğunluğundan dolayı ince-cidarlı CHS-SHS T-birleşimlerinin deneysel SCFleri, varolan parametrik denklemlerden gelen SCF'lerle ve Mashiri vd. (2002, 2004) tarafından kirişte düzlemsel eğilme için bulunan kaynaklı ince-cidarlı SHS-SHS ve CHS-CHS T-birleşimlerinin deneysel SCF'leri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda; ısıtma işlem alanlarındaki gerilmelerin, yerel gerilme/şekil değiştirmeler üzerinde ikinci dereceden dışa değer bulma metodu uygulanarak belirlenmesinin önerildiği, SCF'lerin çökmenin başlamasına ve yayılmasına neden olan yorulma çatlaklarının kirişteki kaynak topuğu etrafında belirlendiği, β değerinin (kiriş çapının kolon genişliğine oranı) yükseldikçe kiriş kaynak topuğundaki gerilim dağılımının doğrusalsızlık derecesinin de yükseldiği, özellikle β değerinin 0,5'den büyük olduğu durumlarda doğrusalsızlık derecesinde etkileyici bir artış olduğu fark edilmiştir. Ayrıca bu araştırmanın gözlemleri ve geçmiş araştırmalar sonucunda, düzlemsel eğilme altındaki CHS-SHS T tipi birleşimlerin ısıtma işlem alanlarının β değerine bağlı olduğunun anlaşılması nedeniyle 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° hatları kaynaklı CHS-SHS T tipi birleşimlerin kaynak topuklarındaki ısıtma işlem alanlarındaki gerilmelerin belirlenmesinde kullanılacak hatlar olarak önerilmiştir. Yüzeysel bir çatlakın kolondaki kaynak topuğunun çevresinin %40 uzunluğuna ulaştığı zaman kalınlık boyunca bir çatlakın oluştuğu görülmüştür.

M.M.K. Lee, A. Llewellyn- Parry (1999), deniz yapılarında sıklıkla kullanılan dairesel kesitli profillerde eğilme ve aksenal etkiyen yükler altında kolon ve kirişlerde meydana gelen deformasyonların önüne geçmek amacıyla bir güçlendirme yöntemi üzerine çalışma yapmışlardır. Dairesel kesitli elemanı içten saran bir ring eleman ile takviye edilmeye çalışılan birleşimler aksenal yükleme altında analiz edilmiştir. Şekil 2.12'de kullanılan ring elemanın yerleşim şekli gösterilmiştir. Daire kesit içeriden iki sıra düz levha, ortadaki sırada ise T tipi ring eleman kullanılmak üzere üç sıra olarak çevrilmiştir.



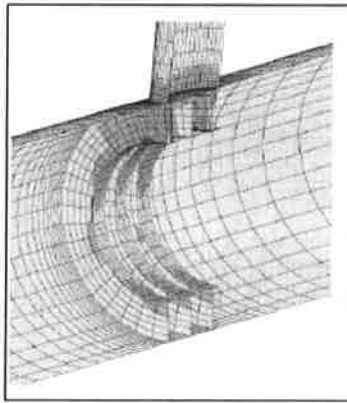
a) Güçlendirilmiş birleşim kesit görünümü

b) Düzlem tipi rijitleştirme elemanı

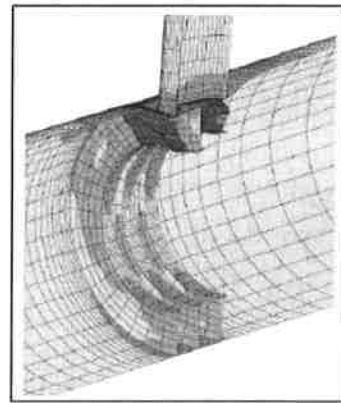
c) T tipi rijitleştirme levhası

Şekil 2.12. İç ekseninde ring eleman kullanılarak rijitleştirilen düğüm noktası detayları

Analize tabi tutulan modeller sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Analizlerde yükleme deplasman kontrollü olarak yapılmış olup, farklı β değerleri için kullanılan ring elemanın performansı üzerine yoğunlaşmıştır. Analizler sonucunda, düğüm noktasına iç ekseninde eklenen rijitleştirme levhalarının birleşimde lokal burkulmaya sebep olacak olan gerilme yığılmalarını kendi üzerinde topladığı ve birleşimin rijitliğini belirgin oranda arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, kolon üzerine birleşimi sağlanan kiriş/çapraz elemana etki alanı içerisinde yerleştirilecek rijitleştirme levhalarının, düğüm noktası sismik performansını olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Şekil 2.13).



a) Maksimum yük altında

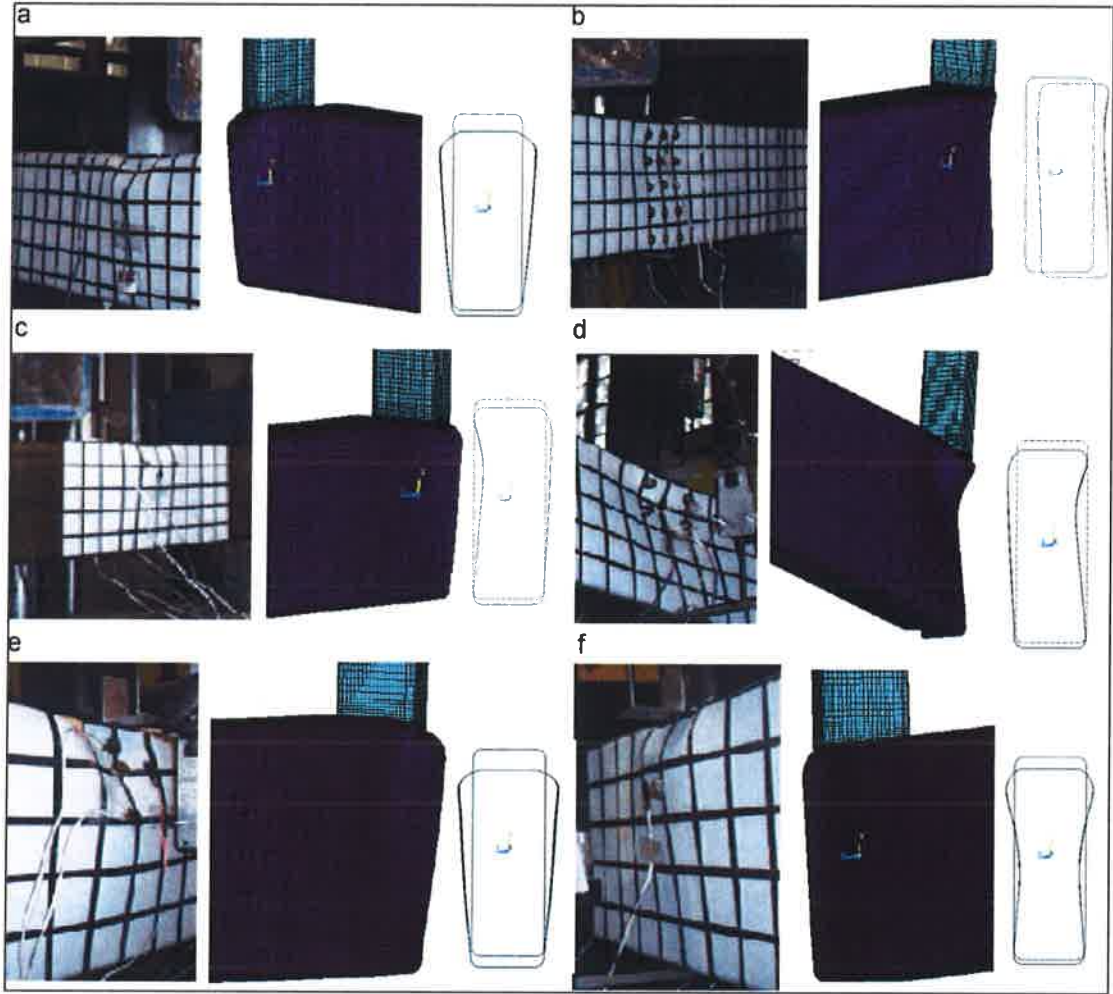


b) 300 mm deplasman için gerekli yük

Şekil 2.13. Rijitleştirilmiş bölgede plastik şekil değiştirme

Sharaf, Fam (2013) çalışmasında, içinden gövde bulonları ile güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli kutu profil kiriş-kolonun (RHS-RHS) T birleşimlerini analiz etmek için lineer olmayan sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. 400 mm. uzunluğunda RHS

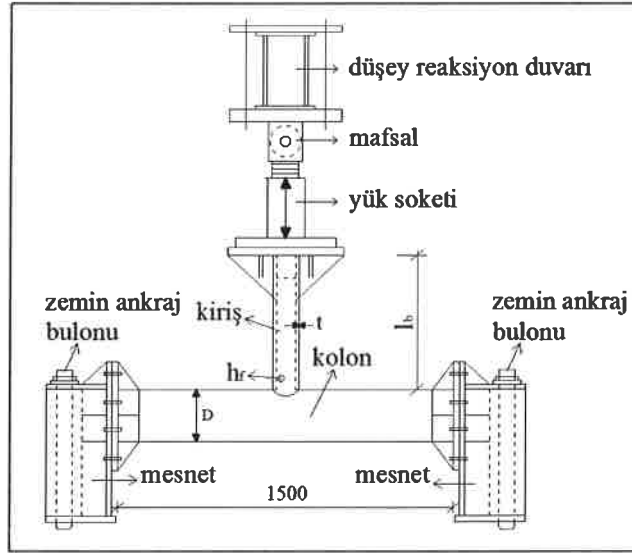
kolona kaynaklanmış 1200 mm. uzunluğunda RHS kiriş elemanlarından oluşan on dört adet T-birleşimi kolon aksenal yük altında test edilmiştir. Kiriş cidar kalınlığı ve kiriş gövdesi boyunca bulon düzenleri olmak üzere iki adet anahtar parametre araştırılmıştır. Kiriş elemanı 204x76xt (cidar kalınlığı), T1–T6 numunelerinde 3,09 mm, T7–T12 numunelerinde 4,5 mm. ve T13–T14 numunelerinde 5,92 olmak üzere değişkenlik göstermektedir. Kontrol numuneleri, belirli bir cidar kalınlığına göre -ilk grupta T1 numunesi, ikinci grupta T7–T9 üçleme, ve üçüncü grupta T13 dahil olmak üzere- her grupta test edilmiştir (Şekil 2.14). Güçlendirilmiş numunelerde kiriş elemanının iki yan gövdesine kolon yakınında çeşitli simetrik bulon düzenleri kullanılarak bağlanmıştır. Ayrıca, kiriş derinlik-flanş genişlik oranı (h/b), kirişin uzunluk-derinlik oranı (L/h), kolon genişliği-kiriş derinliği oranı (B/h), RHS kiriş gövdesi boyunca bulonları kaynaklamanın etkisi ve sınır koşulları gibi değişik parametrelerin aksenal kuvvet altındaki RHS–T birleşimlerinin davranışına etkisini incelemek için bir sonlu eleman modeli (FE) olan ANSYS programı kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmıştır. Model değişik kiriş derinlik - cidar kalınlığı oranı (h/t) ve değişik bulon düzenleri kullanılarak elde edilen sonuçlarla doğrulanmış, kolon yakınındaki kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen şekil değiştirme ve gövde burkulması oldukça iyi bir şekilde tahmin edilmiştir. Analizler sonucunda, (L/h) 4,9'dan 7,9'a yükseldikçe (M/M_p) kontrol birleşimlerinde 0,57'den 0,77'ye, güçlendirilmiş birleşimlerde ise 0,71'den 1,0'e yükseldiği görülmüştür. Benzer bir şekilde güçlendirmenin RHS kirişlerini tam plastik momentlerine ulaşmasını sağlayacak (h/b) ve (B/h) limitleri tesis edilmiştir. Bulonların kiriş gövdesine kaynak yapılmasının sünekliği önemli oranda artırırken dayanaklılığa az derecede etki ettiği görülmüştür.



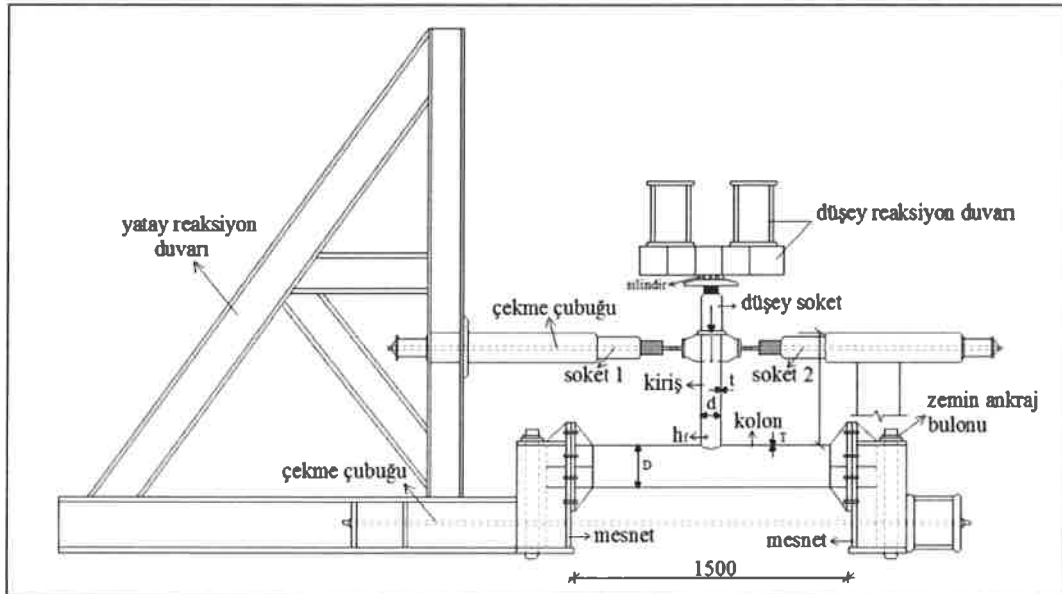
Şekil 2.14. Deneysel ve analitik çalışma sonucu oluşan göçme modları ve deformasyon halleri (a) T1, (b) T2, (c) T3, (d) T4, (e) T5 ve (f) T6

Wang, Chen (2007), çalışmalarında çelik dairesel kesitli kolon ve kiriş elemanın kaynaklı T tipi birleşiminin çevrimsel yükler altındaki davranışını incelemiştir. Bu kapsamda şekil 2.15’de görüldüğü üzere 8 adet deney yapılmış olup bu deneylerden 4 tanesi çevrimsel eksenel yüke, diğer 4 tanesi de çevrimsel düzlemde eğilme yüküne maruz kalan dairesel kesitli profillerin yarı-statik deneysel çalışması yapılmıştır. Çalışma deneysel ve sayısal olmak üzere iki aşamalı olarak yapılmıştır. Deneysel modellerin hazırlanışında kiriş elemanın genişliğinin kolon genişliğine oranı β ; 0,49 ve 0,79, kiriş elemanın cidar kalınlığının kolon cidar kalınlığına oranı τ ; 0,75, kolon genişliğinin kolon cidar kalınlığına oranı 2γ ; 10,2 ve 15,3 aralığında profiller seçilerek model sayısı artırılmıştır. Mesnetler arasındaki kolon uzunluğu $l_c=1500$ mm ($\alpha=2$ $l_c/D=12,2$) kiriş elemanın uzunluğu l_b ise yaklaşık olarak kiriş eleman çapının (d) 5 katıdır. Kolon ve kirişin bileşenleri dolgu ve köşe kaynağı kombinasyonları ile birleştirilmiştir. Alın kaynaklarının 120° ’den az açı yaptıkları

yerlerde parçaları birleştirmek için dolgu kaynakları, 120° den fazla açılar için yivli köşe kaynakları uygulanmıştır. Kolonun iki sınırı ankastre davranacak şekilde mesnetlenmiştir. Eksenel yüklenmiş birleşimlere güç uygulamak için 1000 kN'lik yük hücresi kullanılmıştır. Düzlemsel eğilme ile yüklenmiş birleşimler için, düşey soket önce mesnete baskılı güç uygulamak için kullanılmıştır. Mesnet sınırına çevrimsel yanal güç uygulamak için düzlemsel eğilme momenti, yükü sabit tutarak, iki yatay soket tarafından sağlanmıştır.



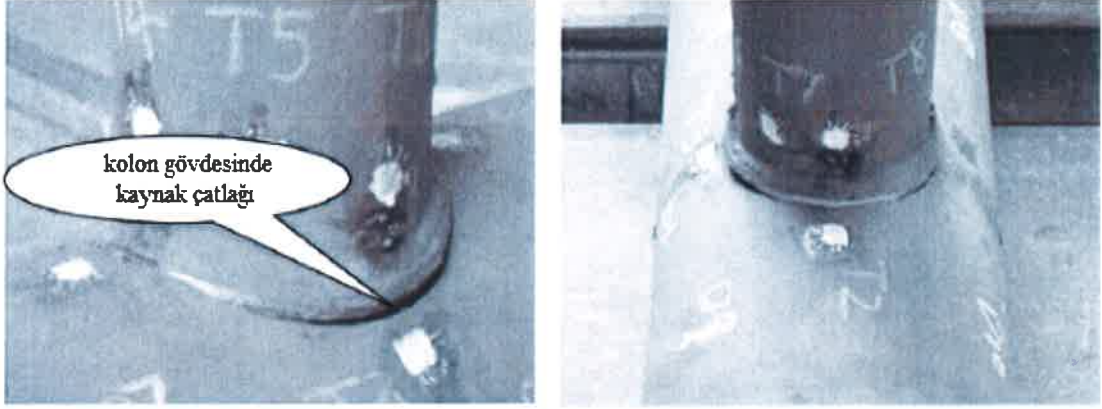
a) Eksenel kuvvet altındaki numune



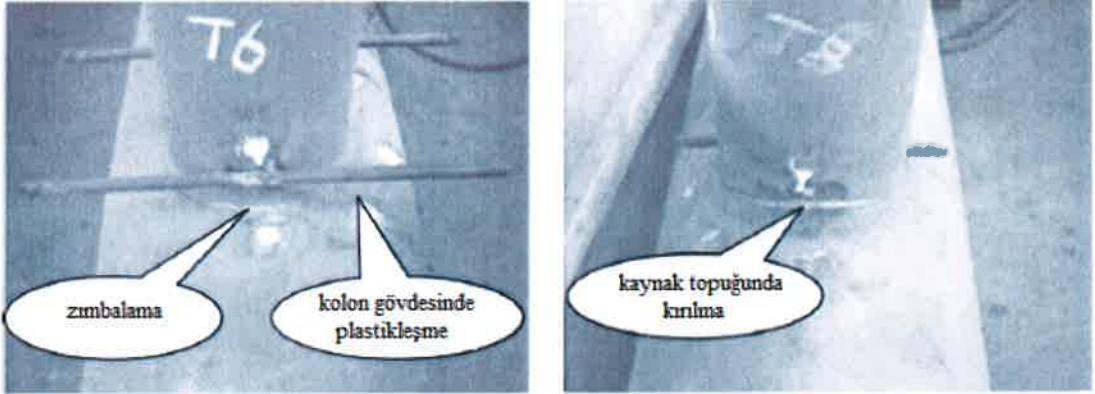
b) Düzlemde eğilme momenti altındaki numune

Şekil 2.15. Deneysel numune ve yükleme sistemi genel görünümü

Deney sonucunda, aksenal yüklü birleşimlerin göçme modlarının esas olarak çekme bölgesindeki kaynak çatlağı ve basınç bölgesindeki kiriş plastikleşmesi ihtiva ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 2.16). Düzlemde eğilmeye çevrimsel olarak maruz kalan birleşimlerde ise, olağan göçme modu zımbalama durumu ve kolon plastikleşmesi ile beraber kaynaklarda kırılma olduğu görülmüştür (Şekil 2.17).



Şekil 2.16. Aksenal kuvvet altında T tipi birleşimin göçme modları



Şekil 2.17. Düzlemde eğilme etkisi altında T tipi birleşimin göçme modları

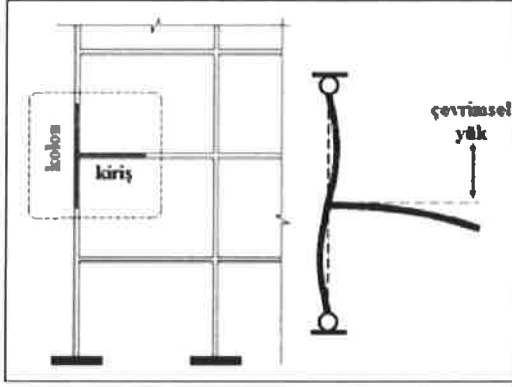
Deneyssel analize tabi tutulan numuneler aynı geometri ve yükleme koşullarında bir sonlu eleman metodu olan ANSYS programı yardımıyla da modellenmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen moment-dönme ilişkisi ile sayısal analizden elde edilen sonuçlar grafiklerle karşılaştırılmıştır. Birleşimlerin maksimum gerilmeleri ayrıca değişik tasarım standartlarından gelen statik yük denklem değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar belirli deformasyon limitindeki (%3D) güçlerin çevrimsel yük altındaki T-birleşimlerin maksimum gerilmeleri gibi kabul edilebileceğini ve Eurocode 3 ve GB50017'inde bulunduğu halihazırdaki

standartların teyit amaçlı kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca değişik yük durumları altındaki dairesel kesitli birleşimlerin enerji dağılım mekanizmalarının önemli farklar gösterdiği görülmüştür. Eksenel olarak yüklenmiş birleşimler enerjiyi esas olarak kirişin verimliliği birin altında olan kolon başlığının plastik deformasyonundan dolayı, düzlemsel eğilme yükü altındaki birleşimler ise enerjiyi kolonun verimliliği birden büyük olan kolonlardaki plastik şekil değiştirme yüzünden dağıtırlar. Çevrimsel yük koşullarındaki kaynak çatlağının standartlarda belirtilen tasarım direncinden daha düşük seviyede meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeninin ise, tekrarlayan soğuk çalışma koşulları ve kesişme hatlarındaki gerilimin üç eksenliliğinden dolayı malzemenin bozulması olabileceği bulgusuna varılmıştır.

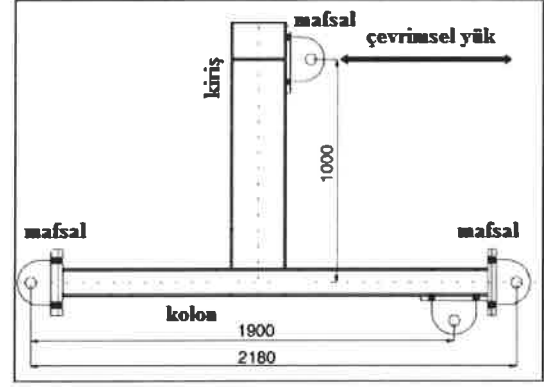
D'Aniello, Landolfo vd. (2012) çalışmalarında, çelik kirişlerin çerçeve sistemlerin genel performansı üzerindeki etkisini incelemiştirlerdir. Bu kapsamda, kirişlerin yapısal davranışlarında etkin parametrelerin dönme kapasitesi ve maksimum dayanımlarının incelenmesi amacıyla testler yapılmıştır. Bu testlerde kiriş elemanlarda çok çeşitli kesit tipleri (I ve H kesitleri, Kare ve Dikdörtgen kesitli elemanlar) kullanılmıştır. Bu çalışma dahilinde değişik narinlik oranlarındaki numuneler teknik literatürde halihazır bulunan verilere entegre edilebilecek bir şekilde seçilerek test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, yük şartının dönme kapasitesine önemli derecede etki ettiği ve başlık burkulması ve düşük çevrimli yorulmadan sonra oluşan gövde burkulması nedeniyle bu etkinin statik yük ile karşılaştırıldığında çevrimsel yük altında daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, gövde ve başlık eleman süneklikleri, çapraz eleman uzunluğu, kayma etkisi ve malzeme karakteristikleri bakımından (akma-çekme dayanımı, tekrarlı şekil değiştirme, nihai gerilme gerinimi, sertleşme başlangıcındaki gerinim, akma dayanımı) yapı elemanlarının (hem kiriş hem de kiriş-kolonlar) dönme kapasitelerinin sismik ve sismik olmayan durumlar altında hem analitik hem de deneysel olarak daha fazla incelenmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Yang, Kim (2007) çalışmasında, yüksek mukavemetli bulonlu ve kaynaklı birleşim davranışlarını kıyaslayan az sayıda deneysel birleşim çalışması yapılması nedeniyle tam kaynaklı (FW) ve yüksek mukavemetli bulonlu (TSD ve DWA) birleşimleri ihtiva eden çelik birleşimlerin çevrimsel davranışlarının deneysel bir incelemesini sunmaktadır. Şekil 2.18.(a)'da gösterildiği gibi numuneler moment aktaran çerçeveler

arasından seçilmiştir. Jaspert (1992) tarafından tanımlandığı gibi bu numuneler kiriş-kolon birleşimlerinin dışını temsil eden tek taraflı kiriş-kolon tertibatlar olup, bu testlerde kullanılan numuneler için kolon aksel yükünün ve kiriş kaymasının birleşim davranışına etkileri yok sayılmıştır. Numunelerin genel boyutları ve geometrileri Şekil 2.18.(b)'de gösterilmiştir.



a) Deney numunesi



b) Deney düzeneği kiriş-kolon boyutları

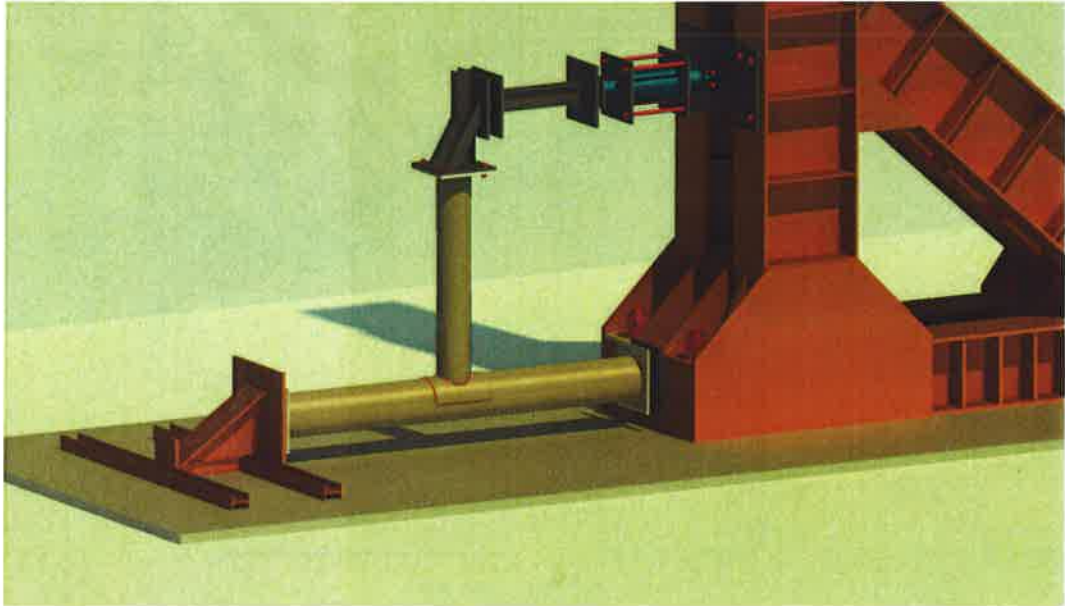
Şekil 2.18. Deney düzeneği genel görünümü ve numune boyutları

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

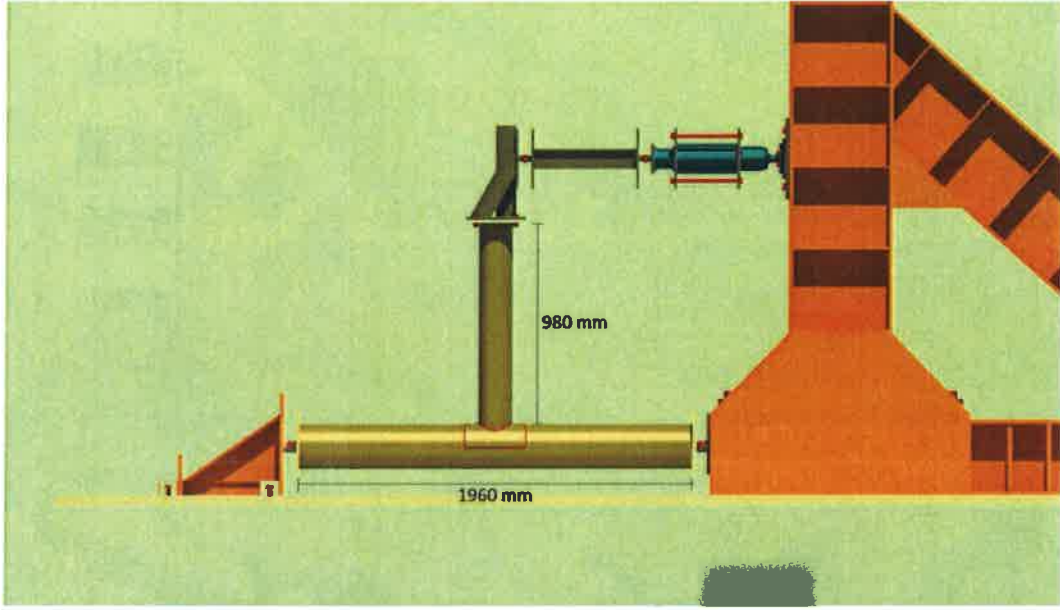
3.1.1. Deneysel ve sayısal modeller

Çalışmada analiz edilen deneysel modeller Şekil 3.1’de gösterildiği gibi düzenlenmiştir. Burada düşey eleman kiriş, yatay eleman kolon olarak tasarlanmış ve tam ölçekli olarak modellenmiştir. Kolon ve kirişlerin seçiminde, güçlü kolon ve zayıf kiriş şartı gözetilmiştir. Bütün numunelerde kolon ve kiriş boyutları sabit tutulmuş olup, kolonlarda $\text{Ø}219,1$ mm ve cidar kalınlığı 5 mm, kirişlerde $\text{Ø}168,3$ mm ve cidar kalınlığı 4 mm boyutlarında olan dairesel kesitli profillerden yararlanılarak oluşturulmuştur.



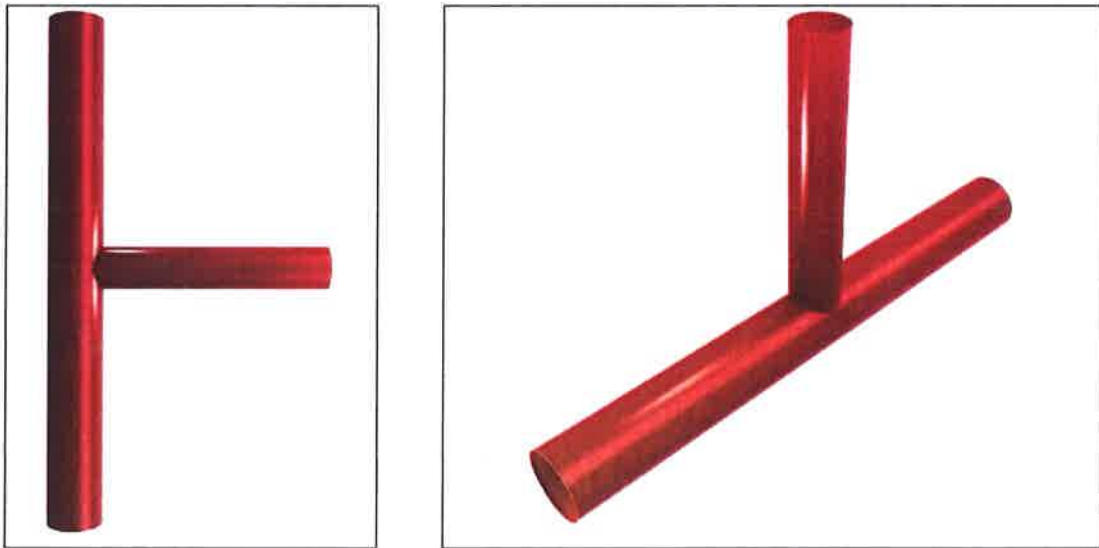
Şekil 3.1. Deney düzeneği genel görünümü

Deneysel ve sayısal modellerde kullanılan deney numunesinde (yatayda) kolon uzunluğu 1960 mm, kiriş uzunluğu (düşeyde) 980 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.2).



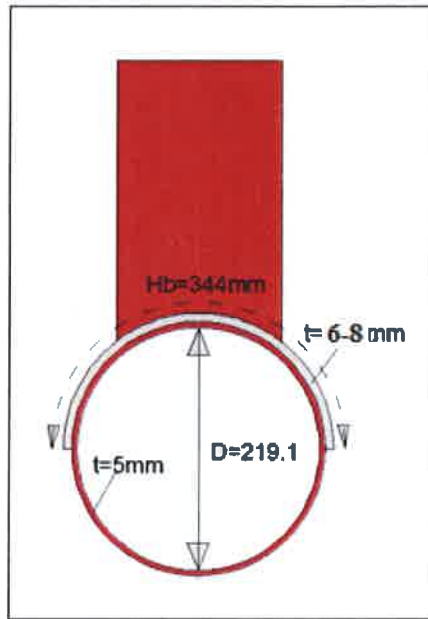
Şekil 3.2. Deney düzeneği boyutları

Çalışmada, kiriş-kolon birleşim bölgesinde eğilme etkisi altında kolon üzerinde oluşması muhtemel lokal deformasyonların önlenmesi ve düğüm noktası rijitliğinin artırılması amacıyla kiriş-kolon birleşimlerinde farklı boyutlarda başlık levhası (rijitleştirme levhası) kullanılmıştır. Deneysel numunelere eklenen bu rijitleştirme levhalarının eğilme etkisi altında davranışa sağladığı katkıyı görebilmek için öncelikle herhangi bir rijitleştirme levhası kullanılmadan kiriş kolon bağlantısı direkt gerçekleştirilmiş olup, bu şekilde oluşturulan model şahit numune olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.3).

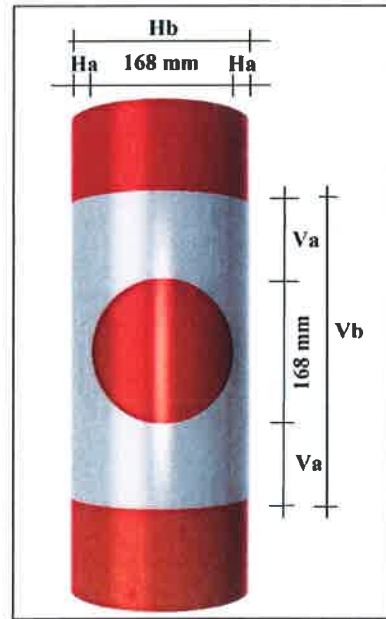


Şekil 3.3. Şahit numune kiriş-kolon birleşim detayı genel görünümü

Çalışmada birleşime eklenecek olan başlık levhası (rijitleştirme levhası) ile, eğilme etkisi altında kolon üzerinde oluşması muhtemel lokal deformasyonların önlenmesi başta olmak üzere, düğüm noktası rijitliğinin ve kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada 6 ve 8 mm. olmak üzere 2 farklı başlık levhası kalınlığı kullanılmıştır. Ayrıca, düğüm noktası rijitliği ve kapasitesi üzerinde başlık levhasının etkisini görebilmek için Şekil 3.4'de gösterilen boyutsal parametreler üzerinde değişiklik yapılmıştır. Buna göre V_a boyu 66 mm den başlayarak 25 mm artışlar ile 91 mm ve 116 mm olarak üç değer kullanıldığında, V_b boyu 300 mm, 350 mm ve 400 mm olarak üç noktada sabitlenmiştir. Ancak dairesel kesitli kolonlarda kullanılacak olan rijitleştirme levhaları için CIDECT'de yer alan hüküm gereği H_b boyu dairesel kolonun çevresinin $\frac{1}{2}$ sini sağlayacak şekilde ölçeklendirilmiş (344 mm) olup buna göre şekil alan H_a boyu 88 mm değerinde sabitlenmiştir. Buna göre 6 ve 8 mm. kalınlığında olmak üzere 2 farklı başlık levhası için V_b boyu 300, 350 ve 400 mm olarak değişkenlik göstermek üzere; başlık levhasız bir numune (şahit numune), başlık levhalı olarak da 6 numune oluşturulmuş olup, toplamda 7 farklı model üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Şekil 3.4'de başlık levhalı birleşimde kullanılan başlık levhasına ait detay görünümü ve boyutsal parametreler verilmiştir.



a) Kesit görünüm



b) Plan görünüm



c) Başlık levhalı kiriş-kolon birleşim detayı genel görünümü

Şekil 3.4. Dairesel kesitli kiriş-kolon birleşimi başlık levhası

Yukarıda açıklanan tanımlamalara göre oluşturulan 7 numuneye ait isimlendirmeler ve boyutsal değişkenler Çizelge 3.1’de ifade edilmiştir. Çalışmada, kiriş-kolon ve başlık levhalı birleşimler gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Dairesel kesitli kolon ve kiriş birleşimi numune isimleri

Sıra	Model Adı	Kolon (mm)	Kiriş (mm)	Başlık Levhası Boyutları				
				H _a (mm)	V _a (mm)	H _b (mm)	V _b (mm)	t _a (mm)
1	M0	Ø219,1	Ø168,3	Başlık Levhası Yok				
2	M1	Ø219,1	Ø168,3	88	66	344	300	6
3	M2	Ø219,1	Ø168,3	88	91	344	350	6
4	M3	Ø219,1	Ø168,3	88	116	344	400	6
5	M4	Ø219,1	Ø168,3	88	66	344	300	8
6	M5	Ø219,1	Ø168,3	88	91	344	350	8
7	M6	Ø219,1	Ø168,3	88	116	344	400	8

Kaynak ve profil emniyet gerilmesi değerlerine göre oluşturulan (3.1) denklemi kapsamında, birleşimlerde uygulanacak olan kaynak kalınlığı için üst sınır 7 mm olarak hesaplanmıştır.

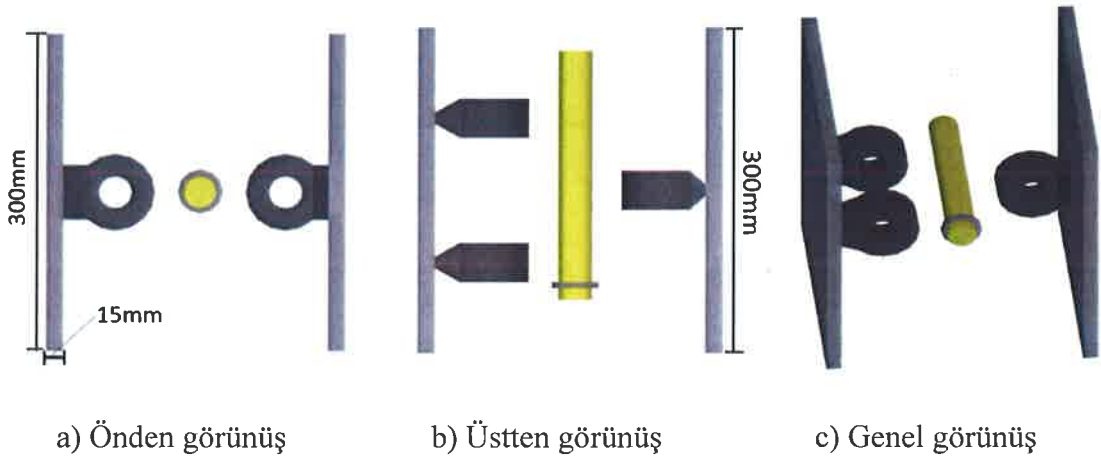
$$A_{\text{kiriş}} \times 1400 = 0,7 \times l_{\text{kaynak}} \times a_{\text{kaynak}} \times 1100 \quad (3.1)$$

Üst sınır için yapılan hesaplama göre kaynak dikiş kalınlığı 6 mm olarak kabul edilmiş olup, deneysel ve sayısal analiz uygulamalarında bu kaynak kalınlığı kullanılmıştır.

Not: (3.1) denkleminde kullanılan $\sigma_{\text{kiriş}} = 140 \text{ N/mm}^2$ (St37) ve $\sigma_{\text{kaynak}} = 110 \text{ N/mm}^2$ gerilme değerleri TS648'den alınmıştır.

3.1.2. Deneysel modellerin mesnet ve yükleme sistemi

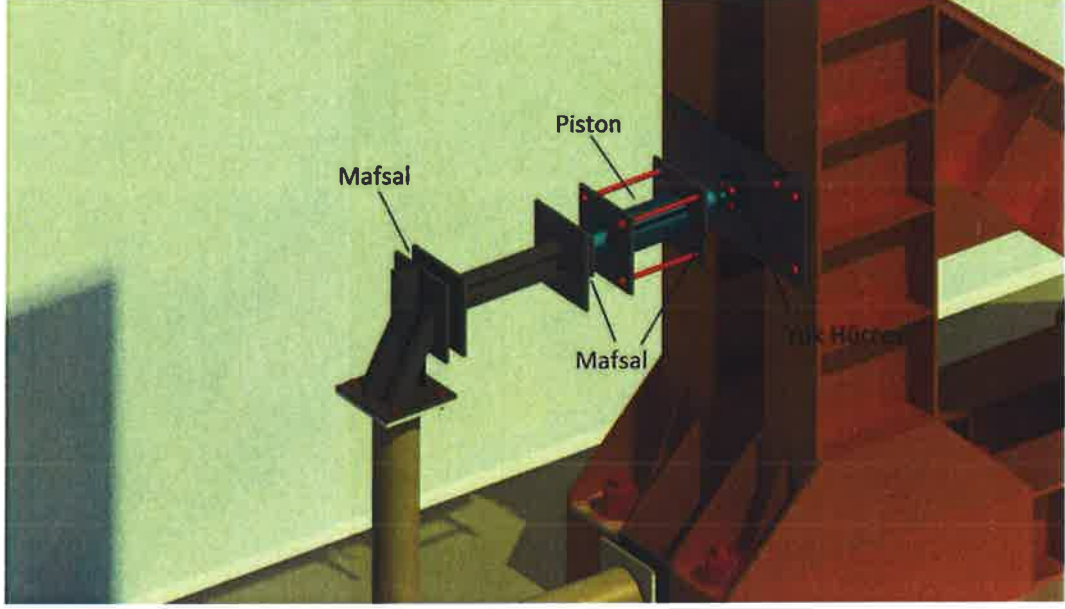
Bu tez çalışmasında kullanılan modeller, moment aktaran çerçeve sistem birleşimini temsil etmektedir. Kolon ve kirişler uç noktalarında kullanılan mesnet levhaları aracılığı ile üç yönde deplasman yapamayacak ancak tek yönde dönebilecek şekilde sabitlenmiştir. Mesnet levhaları 300*300 mm boyutlarında ve 15 mm kalınlığında olup kolon-mesnet birleşimleri sürekli bir kaynakla yapılmıştır. Reaksiyon duvarı kolon birleşimi ise Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi moment kuvveti taşımayacak şekilde mafsallı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Mesnet parçaları genel görünüşü

Reaksiyon duvarı ile numune arasındaki bağlantılar mafsallı olarak tasarlanmıştır. Bu sayede kiriş üst başlığında ve piston ucunda tasarlanan ve moment kuvveti almayan

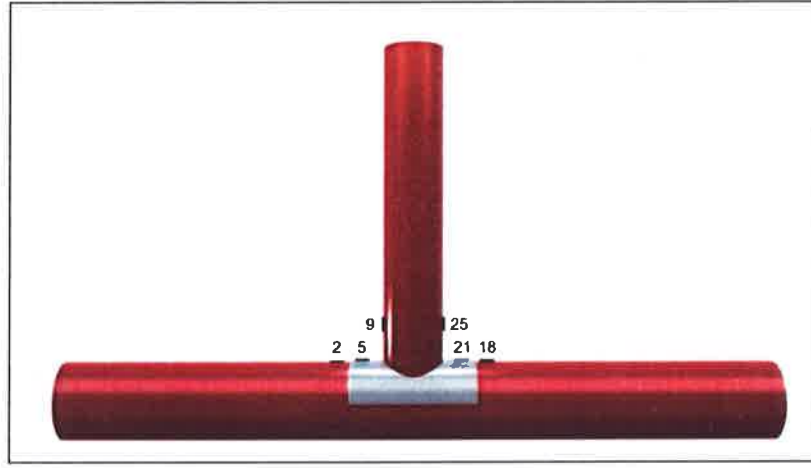
mesnetler pistonun itmesiyle oluşan kuvvetin, numuneye dik yük olarak aktarılmasını sağlamaktadır. Deneysel numunelere yük manuel pompa ile statik artımsal ve çevrimsel olarak uygulanmıştır. Hidrolik piston, yük hücresi bağlantısı ve sistem bağlantısı her iki noktada mafsallı olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Yükleme düzeneği ve piston genel görünümü

3.1.3. Deneysel modellerde veri toplama sistemleri

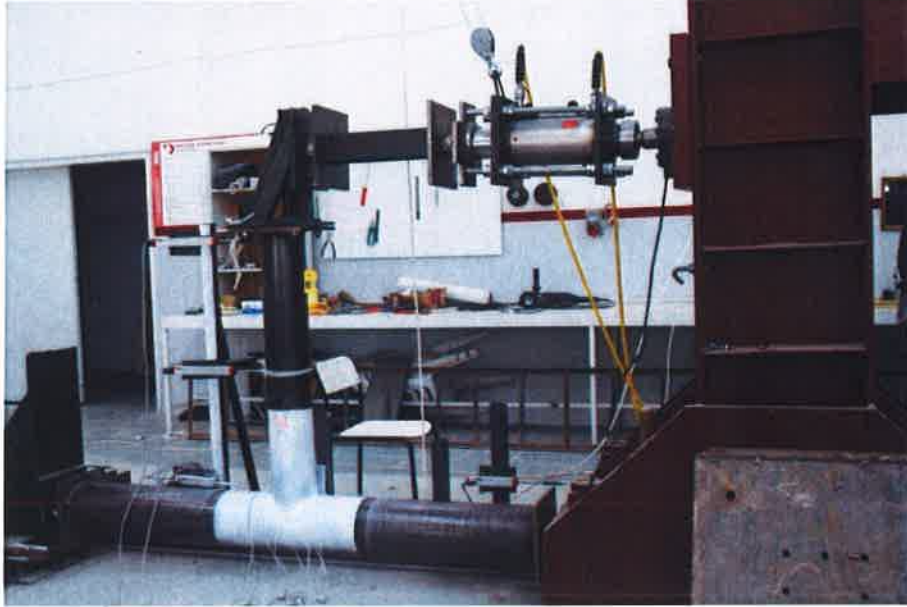
Çalışmaya esas numunelerin deneysel analizlerinde veri toplama aşaması yük, deplasman ve gerinim pulu okuması yoluyla yapılmıştır. Reaksiyon duvarı ve hidrolik sistem arasında yerleştirilen yük hücresi aracılığıyla yük okuması sağlanmıştır. Sistemin birleşim bölgesi moment dönme ilişkisinin değerlendirilebilmesi ve yük-deplasman eğrisinin çizilebilmesi için deney numunesinin çeşitli yerlerine deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Sistemin tepe noktasındaki deplasmanı tespit etmek için D4, kirişte olası plastik mafsallı durumlarını tespit edebilmek için kiriş boyunun 1/2 'sinde D3, kolon-kiriş düğüm noktasındaki çökmeyi tespit edebilmek için ise D5, panel bölgesi deformasyonunu tespit edebilmek için D2-D6 ve mesnet plakalalarındaki dönmeyi saptayabilmek için D1-D7 nolu deplasman ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).



c) Yan Görünüş

Şekil 3.8. Gerinim pulu yerleşim planı

Şekil 3.9'da deneysel çalışmalara ait fotoğraflar yer almaktadır. Numunenin yükleme anına ait, deplasman ölçerler ve gerinim pullarının yerleşimini gösteren genel görüşler verilmektedir.



a) Deneysel model genel görünüm

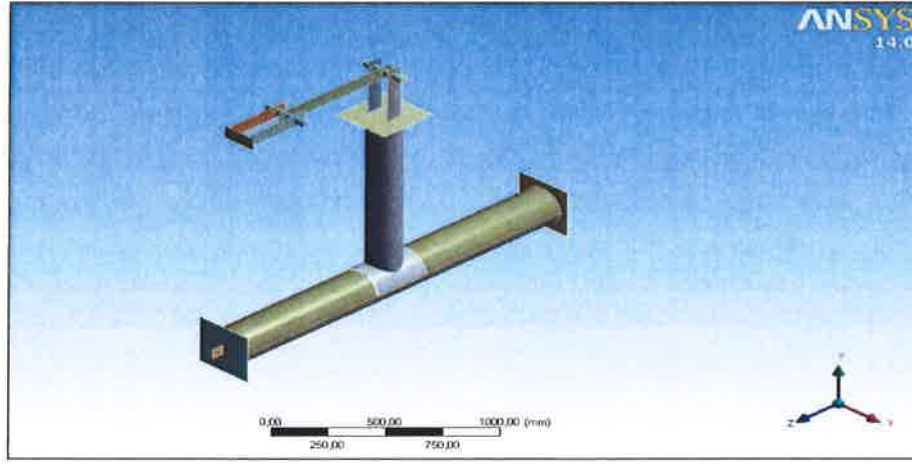


b) Piston genel görünüm

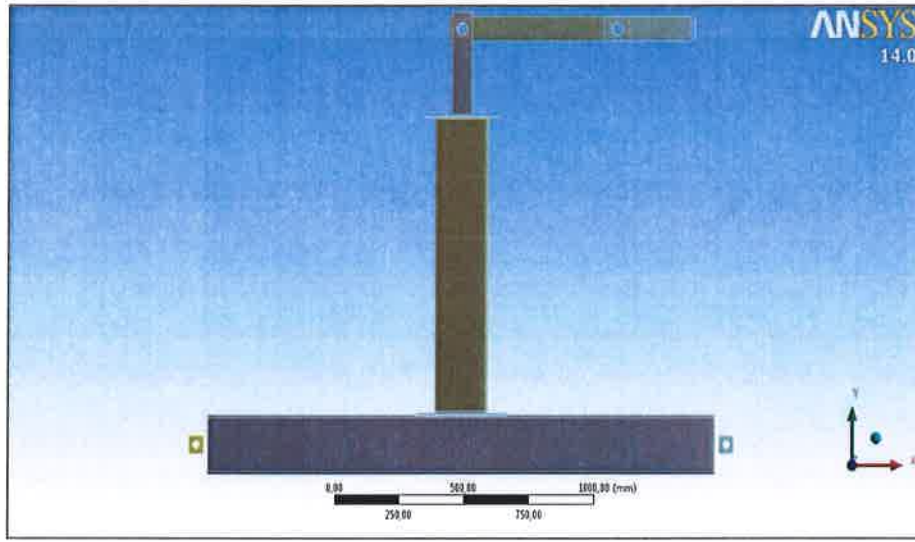
Şekil 3.9. Deneysel model genel görünümü

3.2. Sayısal Modeller

Deneysel modeller bir sonlu eleman analiz programı olan ANSYS Workbench v14 Programı yardımıyla da modellenmiştir. ANSYS Workbench Programı nonlinear analizi hem geometrik nonlinearite hem de malzeme nonlinearitesi olarak yapabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, deneysel numuneyi meydana getiren tüm elemanlar (profil, mesnet levhaları, kaynak) nonlinear malzeme özellikleri olarak programa tanımlanmıştır. Sistemin sayısal modellenmesi yapılırken kolon, kiriş, yükleme kolu elemanları ve mesnet levhaları shell eleman olarak, başlık levhası ve kaynaklar ise solid eleman olarak modellenmiştir. Şekil 3.10'da sayısal modelden genel görünüm verilmektedir.



a) Sayısal model genel görünüm

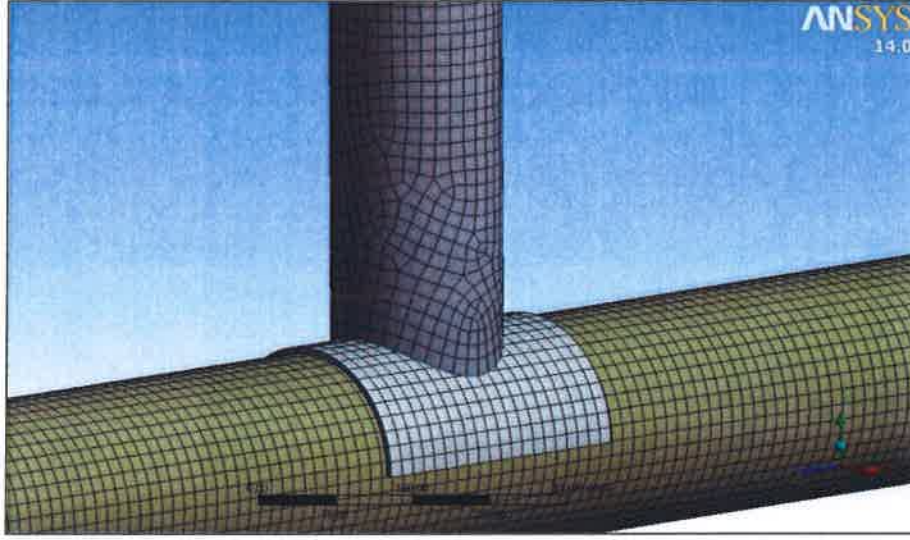


b) Sayısal model önden görünüm

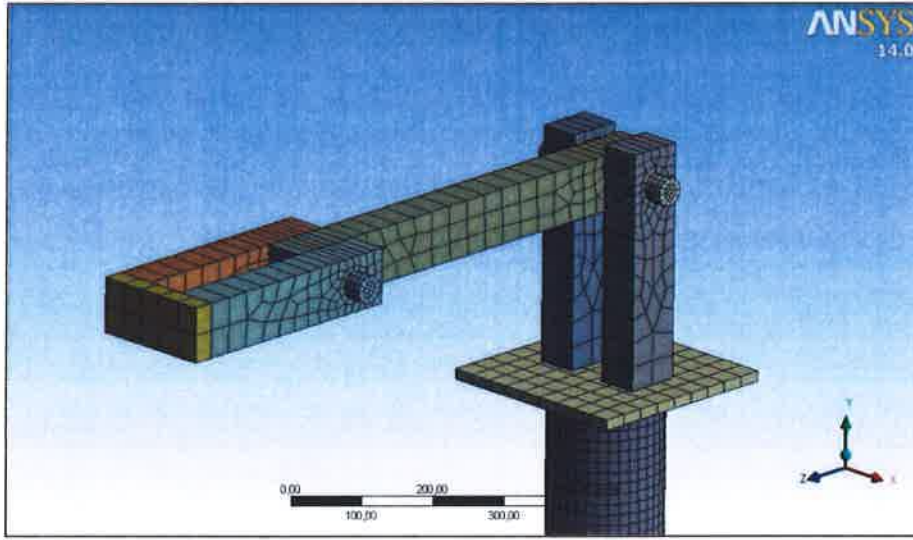
Şekil 3.10. ANSYS programı sayısal model görüntüleri

Sonlu elemanlarda gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun element tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Kullanılan elementlerin büyüklüğünün hesaplama alanı içindeki değişimleri yansıtmaya kadar küçük olması istenir. Gereksiz çok sayıda elemana bölünmesi de analiz süresini uzatması sebebiyle istenilmemektedir. Bunun için özellikle gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler gibi sonucu daha fazla etkileyen kısımlarda element boyutları düşürülerek uygun aralıkta bir bölme (mesh) işlemi yapılmalıdır. Yapılan bu çalışmada ANSYS programı için uygun mesh aralığı 20000-22000 arasında yakalanmış ve analizler bu aralıkta yapılmıştır. Birleşim bölgesi ve bu alana yaklaşan

kısımlarda sonlu eleman boyutları küçültülerek analiz derinliği artırılmıştır. Şekil 3.11’de bu meshleme işlemine ait oluşturulan modellere ait detaylar verilmektedir.



a) Düğüm noktası sonlu eleman modeli

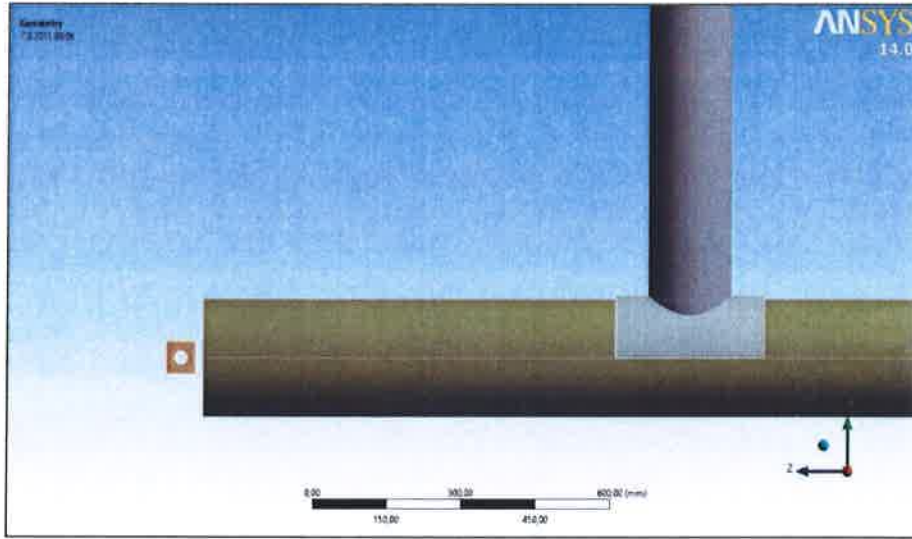


b) Yükleme kolu sonlu eleman modeli

Şekil 3.11. ANSYS programı sayısal model meshleme görüntüleri

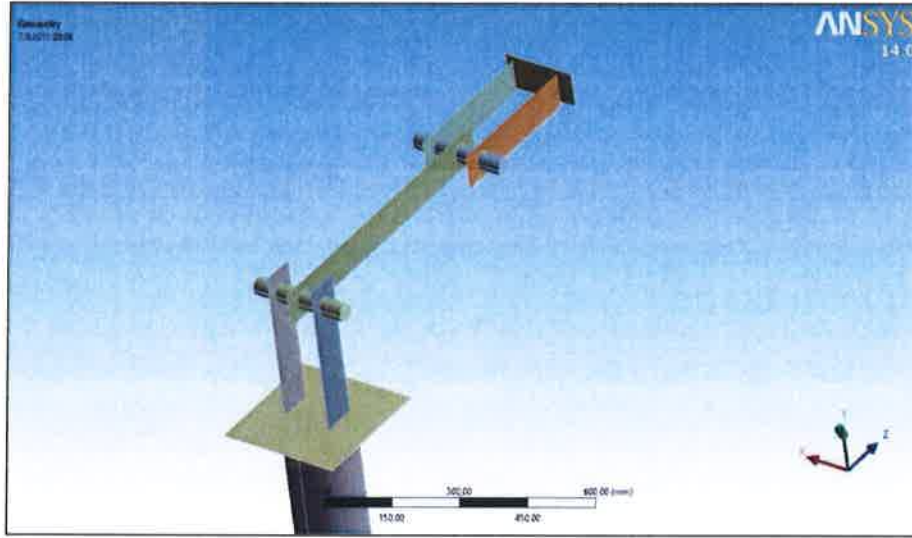
Modelde kullanılan elemanların geometrik kesitlerinin uygunluğu ve sayısal model karşılığı bakımından shell eleman modellemede geniş yer bulurken, kaynak dikişleri sahip olduğu geometrisi sebebi ile solid olarak modellenmiştir. Numunelerde mesnet-reaksiyon duvarı bağlantılarında Z eksenini etrafında dönme serbestliği bulunan fakat diğer yönlerde sınırlandırılmış olan sabit mesnet tanımlanmıştır. Bu

durum ANSYS programında “remote displacement” komutu kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.12).

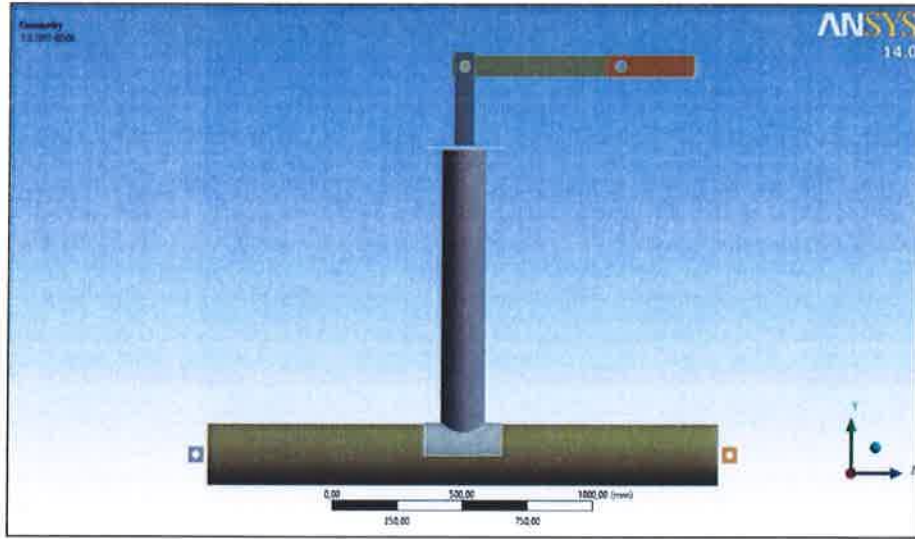


Şekil 3.12. Mesnet tanımlaması

Kolon-kaynak-başlık levhası birleşimlerinde iki yüzeyi birbirine yapıştırarak, o birleşim bölgesinin rijit davranmasını sağlayan “bonded” komutu ile birleşimlerin birbirine bağlantısı sağlanmıştır. Sayısal olarak tanımlanan modelin nonlinear burkulma analizini yapabilmek için numunede algoritma öncelikle “lineer buckling” (lineer burkulma) üzerinden başlanmış en uygun burkulma modu tanımlanmıştır. Tanımlanan burkulma modu başlangıç şartı kabul edilerek şekil değiştirmiş hal üzerinde modelin büyük deplasman sınır şartları ve nonlinear malzeme etkileri göz önüne alınarak “nonlinear buckling” (lineer olmayan burkulma durumu) sayısal analizi yapılmıştır. Deneysel analizde kullanılan yükleme kolu, sayısal analizdeki gerçek yükleme değerlerini yansıtabilmesi amacıyla Şekil 3.13’de gösterildiği gibi aynen modellenmiştir.



a) Yükleme kolu numune bağlantı noktası tanımlaması

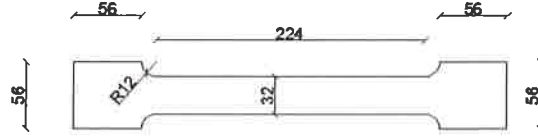


b) Yükleme kolu deplasman tanımlaması

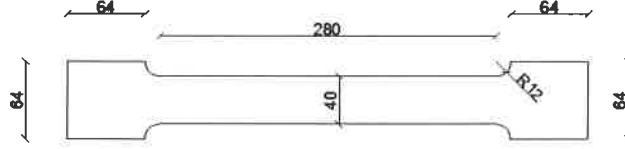
Şekil 3.13. Yükleme kolu ve yük etkime şeklinin sayısal modeli

3.3. Çelik Malzeme Özellikleri

Bu çalışma kapsamında kullanılan çelik malzemenin özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla profillerden standartlara uygun ölçülerde alınan numuneler laboratuvar ortamında malzeme çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney numune ölçülerinin çıkartılmasında TS EN ISO-6892-1 “Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi” standardındaki esaslar kullanılmıştır (Şekil 3.14).



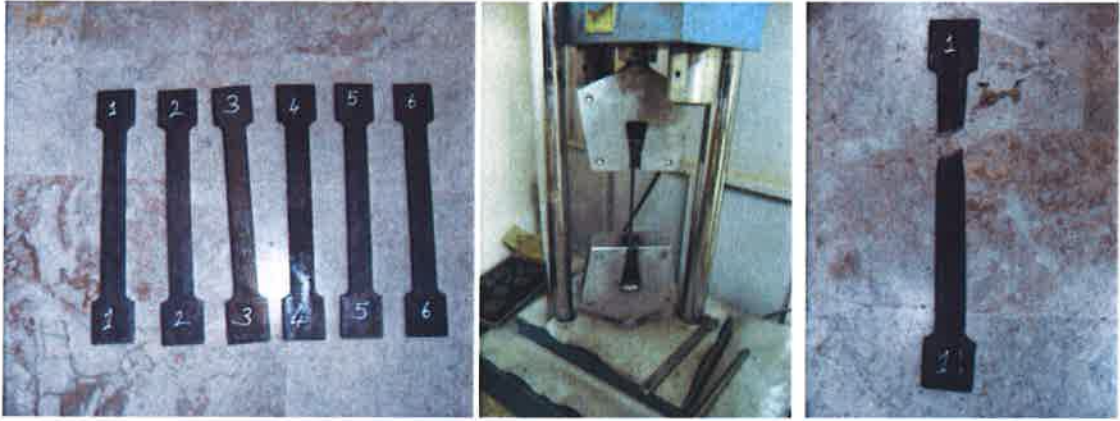
a) 4 mm kalınlığında kiriş numunesi



b) 5 mm kalınlığında kolon numunesi

Şekil 3.14. Çelik malzeme deney numunesi

Şekil 3.15.'de kolon ve kirişlerden standartlara uygun şekilde çıkartılan numunelerin çekme deneyi öncesi ve sonrasına ait görünüm vermiştir.



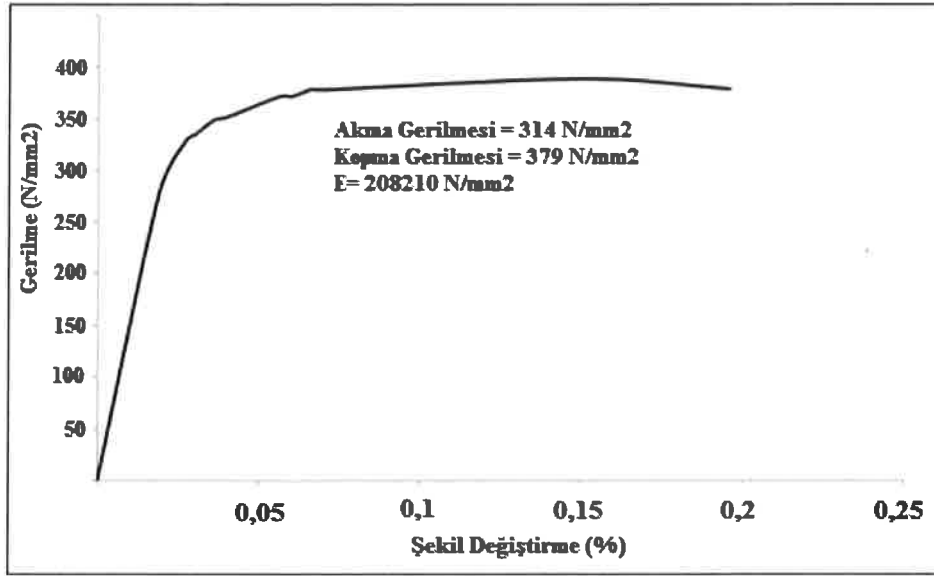
a) Deney öncesi

b) Deney anı

c) Deney sonrası

Şekil 3.15. Deney öncesi ve sonrası malzeme numuneleri ve çekme anı görünümü

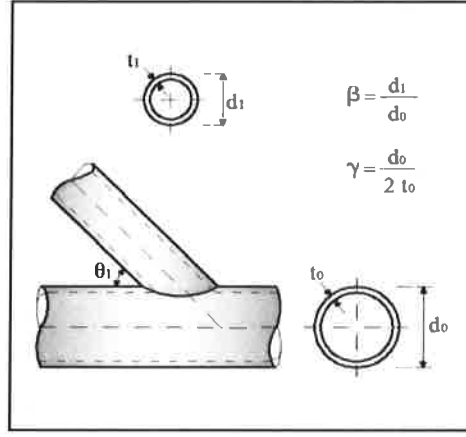
Şekil 3.16.'da çekme deneyi sonrası elde edilen idealleştirilmiş gerilme şekil değiştirme grafiği gösterilmiş olup, sayısal analizlerde çekme deneyi sonrası elde edilen akma ve kopma değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Çekme deneyi gerilme şekil değiştirme diyagramı

3.4. Yöntem

Dairesel kesitli profiller kullanılarak dizayn edilen eğilme etkisine maruz bir düğüm noktasında kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda lokal şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yapı elemanları üzerinde meydana gelen bu şekil değiştirmeler birleşimin rijit ya da yarı rijit davranış sergilemesinde önemli rol oynamaktadır. Araştırmacılar moment etkisine maruz dairesel kesitli profillerin kaynaklı birleşimleri ve birleşimi meydana getiren profiller arasındaki boyutlara göre belirlenen β (b_1/b_0) katsayısının durumuna göre düğüm noktası rijitliğini belirlemeye çalışmışlardır. Literatürde özellikle kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulma etkilerinin birleşim davranışı üzerinde etkin rol oynadığı vurgulanmış olup, bu tanımlamaya CIDECT (Design Guide 1) ve Euro Code 3 Bölüm 8'de kapsamlı olarak yer verilmiştir. Bu yönetmeliklerde, bu tip birleşimler için deformasyon durumları birleşimlerdeki yapı elemanlarının boyutları ile ilgili geçerlilik aralıkları ve kiriş-kolon boyutları kullanılarak hesaplanan bazı katsayılara göre amprik formüller geliştirilmiştir. Bu formüller kullanılarak birleşimin nihai taşıma kapasiteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.17'de bu çalışmada kullanılan düğüm noktasının, CIDECT (Design Guide 1) ve Euro Code 3'de temsil eden birleşim durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Birleşim şekli ve birleşimde kullanılan boyutsal parametreler

Kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı olan β , kolon genişliğinin kolon cidar kalınlığına oranı olan γ orantısall katsayılarıdır. Rijitlik durumlarının belirlenmesinde başlıca rol oynayan etken β katsayısının bulunduğu aralıktır. Rijit birleşimler istendiği takdirde 1'e yakın bir β oranı seçilmelidir. d_0/t_0 oranı azaldıkça, kolon cidar kalınlığının kiriş cidar kalınlığına oranı t_0/t_1 oranı arttıkça birleşimin mukavemeti artmaktadır. d_0/t_0 oranı seçimi, birleşimin taşıma gücü ve elemanın burkulma yükü arasında yapılacak bir optimizasyona göre belirlenir. Basınç altındaki kolon elemanları genelde tıknaz olarak, çekmeye çalışan kolon elemanlarında ise d_0/t_0 oranı mümkün olduğunca küçük seçilmelidir. CIDECT' de β (d_1/d_0) oranının $0,2 \leq \beta \leq 1,0$, $2\gamma \leq 50$, $d_1/t_1 \leq 50$, $t_1 \leq t_0$ ve $\theta_1 \geq 30^\circ$ geçerlilik aralığında olması önerilmektedir. Ayrıca, dairesel kesitli birleşimlerin nihai taşıma kapasitelerinin hesaplanması için ampirik formüller verilmiş olup, aşağıda şekil değiştirme durumları için kullanılması önerilen formülasyonlar verilmiştir.

a) Şekil değiştirmenin kiriş plastikleşmesi şeklinde olduğu durum;

$$M_1^* = Q_u Q_f \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} d_1 \quad (3.2)$$

$$Q_u = 4.3 \beta \gamma^{0.5} \quad (3.2a)$$

$$Q_f = (1 - |n|)^{c_1} \quad (3.2b)$$

$$n = \frac{N_0}{N_{pl,0}} + \frac{M_0}{M_{pl,0}} \quad (3.2c)$$

$$\text{Kiriş basınç gerilmesi (n < 0) } C_1 = 0,45 - 0,2\beta \quad (3.2d)$$

$$\text{Kiriş çekme gerilmesi (n ≥ 0) } C_1 = 0,20 \quad (3.2e)$$

b) Şekil değiştirmenin kiriş (çapraz) elemanda zımbalama şeklinde olduğu durum;

$$M_1^* = 0.58f_{y0}d_1^2t_0 \frac{k_b}{\sin\theta_1} \quad (3.3)$$

$$\text{Düzlem içi eğilme durumunda; } k_b = \frac{1 + 3\sin\theta_1}{4\sin\theta_1} \quad (3.3a)$$

$$\text{Düzlem dışı eğilme durumunda; } k_b = \frac{3 + \sin\theta_1}{4\sin\theta_1} \quad (3.3b)$$

Bu çalışmada, CIDECT’de ifade edilen β değerine göre 0,76 olarak hesaplanan kolon ve kiriş birleşiminin, düğüm noktasına eklenecek olan rijitleştirme levhaları ile rijit bir davranış sergilemesi hedeflenmiştir. Bu amaçla birleşime başlık levhası eklenmiştir. Farklı boyut ve et kalınlığına sahip başlık levhaları ile desteklenen düğüm noktasında β katsayısı hesabında kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı yerine başlık levhası genişliğinin (H_b) kolon genişliğine oranı dikkate alınmış ve β_a olarak isimlendirilmiştir. γ katsayısının hesabında ise, başlık levhası cidar kalınlığı ile kolon cidar kalınlığının toplamının kolon çapına oranı alınmış olup, γ_a olarak isimlendirilmiştir. CIDECT’te tanımlanan amprik formüllerden elde edilen sonuçlar ile deneysel ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve rijitleştirme levhaları ile desteklenen düğüm noktalarında rijitlik tanımlaması yapılmaya çalışılmıştır. Çizelge 3.2’de çalışmada kullanılan modeller için β ve γ katsayıları gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen tüm deneysel ve sayısal sonuçlar çizelgede tanımlanan katsayılara göre değerlendirilmiş olup şekil değiştirme durumları dikkate alınarak CIDECT’e göre hesaplanan eşik değerler için rijitlik tanımlaması yapılmaya çalışılmıştır. Bu sayede düğüm noktasına eklenen başlık levhasının davranışa etkisi değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri

Sıra	Deney No	ORANTISAL KATSAYI			
		Başlık Levhasız		Başlık Levhalı	
		β (b_1/b_0)	γ ($b_0/2t_0$)	β_a (H_b/b_0)	γ_a [$b_0/2(t_0 + t_a)$]
1	M0	0,7681424	21,91	-	-
2	M1	0,7681424	21,91	1,5700593	9,96
3	M2	0,7681424	21,91	1,5700593	9,96
4	M3	0,7681424	21,91	1,5700593	9,96
5	M4	0,7681424	21,91	1,5700593	8,43
6	M5	0,7681424	21,91	1,5700593	8,43
7	M6	0,7681424	21,91	1,5700593	8,43

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında yapılan her deneysel numunenin aynı zamanda sayısal analizleri de gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler kendi içlerinde ve birbirleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Grafiklerde ve tablolarda kullanılan modellerin birleşim detayları ve isimleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel ve sayısal modellerin birleşim türlerine göre isimleri

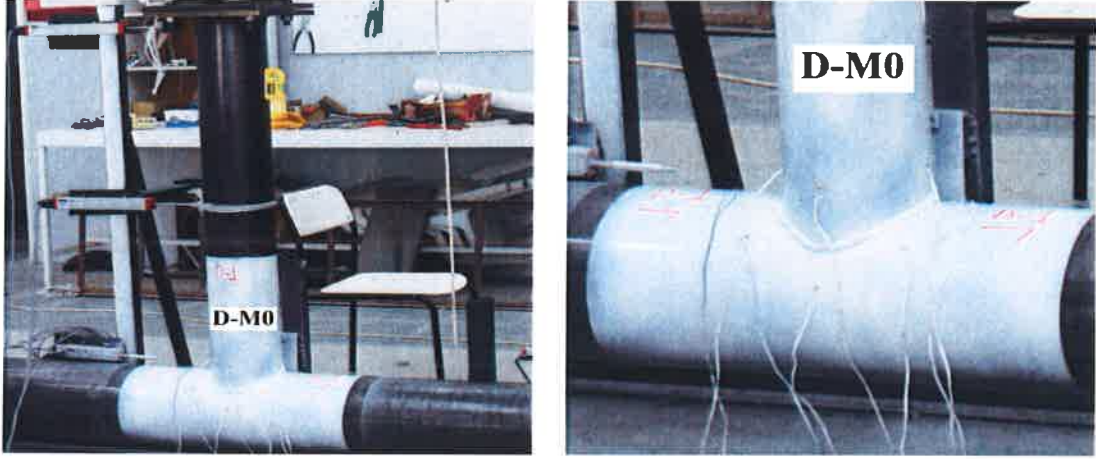
Sıra	Deneysel No	Kolon Boyutları (mm)	Kiriş Boyutları (mm)	Başlık Levhası Boyutları	ANSYS No
1	D-M0	219,1-5	168,3-4	YOK	A-M0
2	D-M1	219,1-5	168,3-4	300*344*6	A-M1
3	D-M2	219,1-5	168,3-4	350*344*6	A-M2
4	D-M3	219,1-5	168,3-4	400*344*6	A-M3
5	D-M4	219,1-5	168,3-4	300*344*8	A-M4
6	D-M5	219,1-5	168,3-4	350*344*8	A-M5
7	D-M6	219,1-5	168,3-4	400*344*8	A-M6

4.1. Deneysel ve Sayısal Modellerin Değerlendirilmesi

4.1.1. D-M0, A-M0, S-M0 (Şahit Numune) Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M0 isimli model başlık levhasız birleşim olarak ifade edilmekte olup şahit numune niteliğindedir. Birleşim D219,1 mm çapında 5 mm cidar kalınlığına sahip dairesel kesitli kolon ile D168,3 mm çapında 4 mm cidar kalınlığında dairesel kesitli kiriş birleşimi kullanılarak imal edilmiştir. Profiller gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiş olup kaynak kalınlığı 6 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Deneysel numunesi kaynaklı birleşim olması sebebiyle moment aktaran birleşim özelliğine sahiptir. Moment aktaran bir birleşimde, sisteme dışarıdan etkiyen kuvvetler herhangi bir kayba uğramadan yapı elemanları arasında dağıtılır. Çevrimsel olarak etkiyen statik artımsal yükleme altında deneysel analizi yapılan şahit numunede,

birleşime eklenen herhangi bir başlık levhası olmaması nedeniyle kirişe gelen yük aracısız olarak kolona aktarılmaktadır. Şekil 4.1’de numunenin deney öncesi durumu fotoğraflanmıştır.

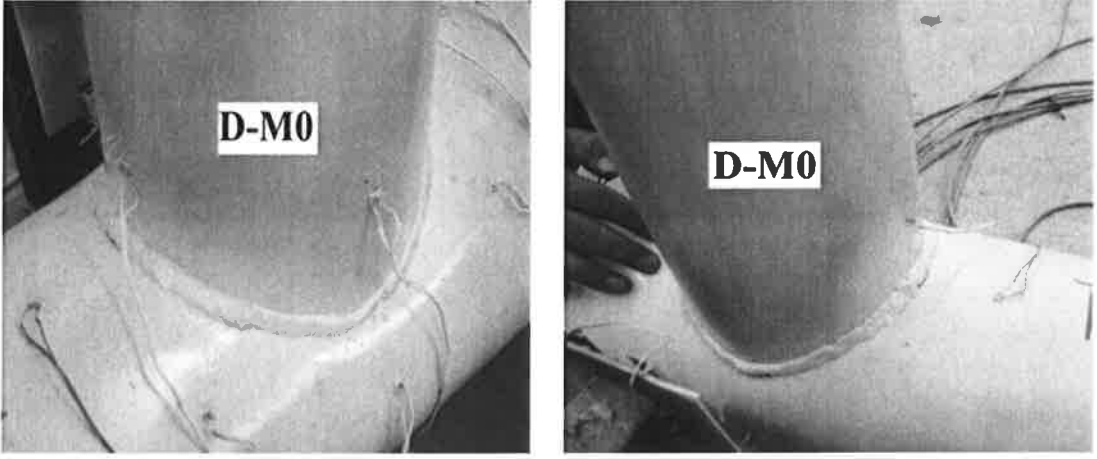


a) Yükleme öncesi genel görünüm

b) Düğüm noktası görünümü

Şekil 4.1. D-M0 nolu numunenin (şahit numune) deney öncesi genel görünümü

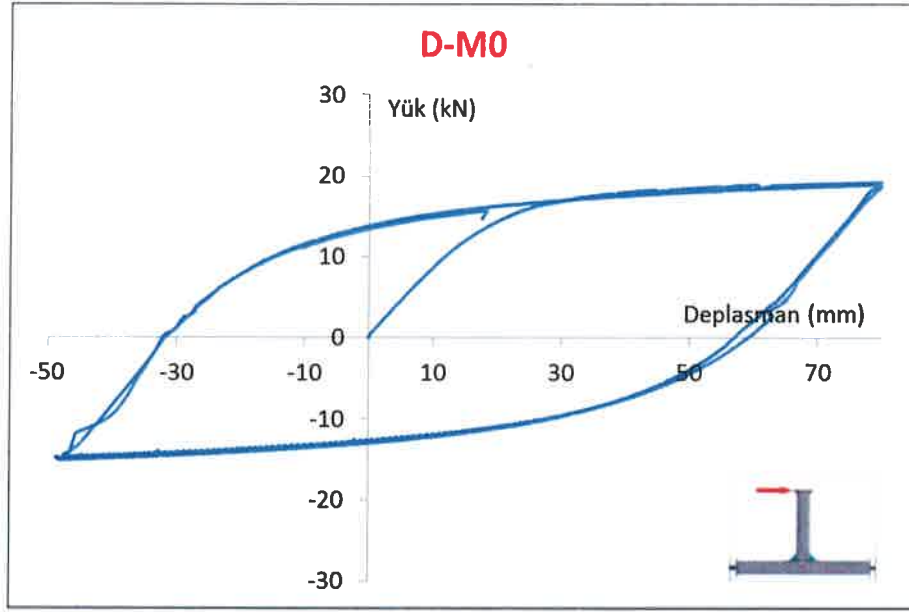
Tersinir etkiyen statik artımsal yük altında, başlık levhası kullanılmadan direkt olarak kolon yüzüne bağlantısı sağlanan D-M0 nolu numunedeki kiriş üzerinde herhangi bir deformasyon meydana gelmezken, kolon üzerinde lokal deformasyonların oluştuğu görülmüştür. Bu durum kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirmelerin tersinir etkilerde birbirini sönmülmesine yani kolon yüzünde oluşan plastik şekil değiştirmelerin her döngü sonunda kolonun ilk konumuna yakın bir forma gelmesini sağlamıştır. Bu durum kolon üst başlığında meydana gelen şekil değiştirmelerin düğüm noktası kapasite kaybına etkisini düşük düzeyde tutmasını sağlamış olmasına rağmen güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin sağlanması ve rijitliğin korunmasına katkı sağlamamıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kolon üst başlığında deforme olmuş görünüm

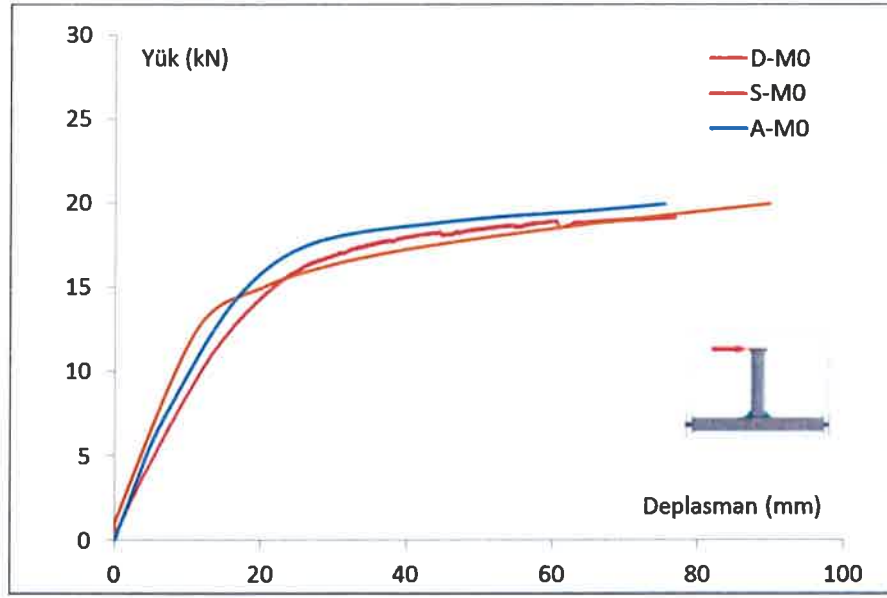
Çalışma kapsamında deneysel analizi yapılan modeller, deneysel veriler kullanılarak sayısal ortamda modellenmiş ve kalibrasyonu sağlanmıştır. Deneysel analizde tüm modeller, en az üç döngü halinde statik artımsal yük altında analiz edilmiştir. Bu şekilde her çevrimsel döngüde kapasitedeki kayıplar yüzdesel olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, düğüm noktasındaki kapasite kaybına etken olan etmenlerin kesit, birleşim ya da profil kaynaklı olup olmadığının tespitine çalışılmıştır. Yapılan analizlerde birleşimi sağlayan kaynak dikişleri ve birleşim bölgesine yakın kısımlarda profillerde meydana gelen yırtılmaya bağlı kapasite değişimleri elde edilmiş olup, bu değişimler yük deplasman eğrilerinde eğim değişimi olarak yansımıştır. Kolon üzerinde meydana gelen lokal şekil değişikliğine bağlı kapasite kayıpları yük deplasman eğrisinde eğim değişimi olarak sergilenirken, kirişlerde meydana gelen plastik mafsallı durumları ise ani yük kaybı olarak oluşmuştur.

Şahit numune için yapılan deneysel analizde kirişin kolon üzerine aracısız olarak bağlanması sebebi ile kolon üzerinde lokal burkulmalar meydana gelmiş, bu durum yük deplasman eğrisine rijitlik ve kapasite kaybı olarak yansımıştır. Şekil 4.3’de bu deneysel analiz için elde edilen yük deplasman eğrisi incelendiğinde, birleşim kapasitesinin istenilenin altında kalması ve kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirmelerin lineer sınırı aşmasına rağmen her döngü sonunda, grafiğin başlangıç noktasına geri döndüğü görülmektedir. Bu durum, şekil değişimine maruz kalan kolonun, dairesel kesitli olması yani her yönde etkiyen yüklere eşit şekilde reaksiyon verebilecek atalet değerlerine sahip olması olarak açıklanabilmektedir.



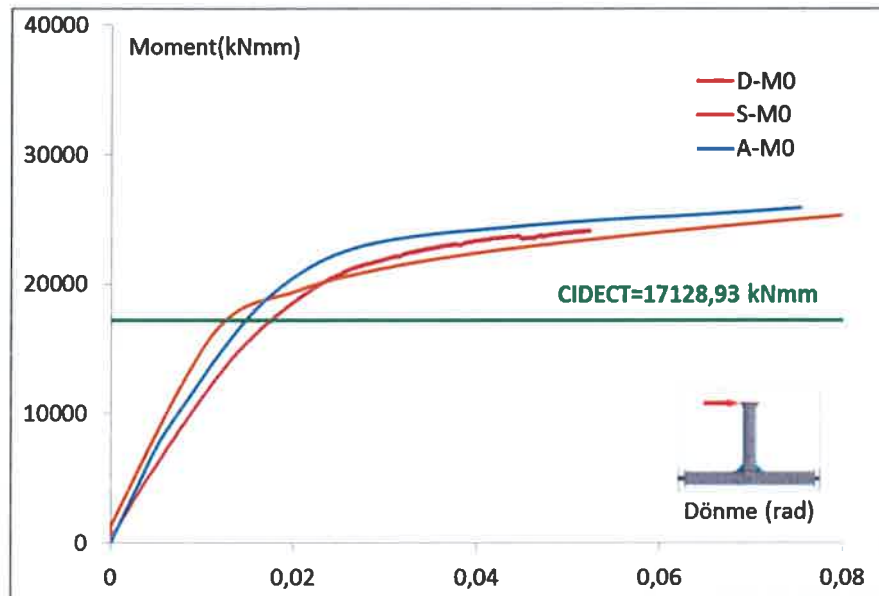
Şekil 4.3. D-M0 nolu modelin deneysel analiz yük-deplasman eğrisi

Yapılan çalışmada deneysel analizi yapılan tüm numuneler, ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak sayısal olarak da değerlendirilmiştir. Ancak, diğer numunelerden farklı olarak şahit numune ayrıca SAP 2000 sonlu elemanlar programı ile de analiz edilmiştir. Deneysel analizlerin kontrolü niteliğinde olan ANSYS ile yapılan sayısal analizler bu numunede SAP 2000'den elde edilen değerler ile karşılaştırılarak, ANSYS programından elde edilen sayısal verilerin kontrolü ve teyiti sağlanmıştır. Şekil 4.4'de şahit numune için elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Söz konusu şekil incelendiğinde, sayısal veriler olan S-M0 ve A-MO ile deneysel veri D-M0 eğrilerinin birbirini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür. Lineer kısımda rijitlik değişimlerinde küçük farklılıklar olsa da aynı paralellikte gitmiş olup, bu farklılık deneysel numunedeki yükleme düzeneğinin bir sonucu olarak kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalmıştır.



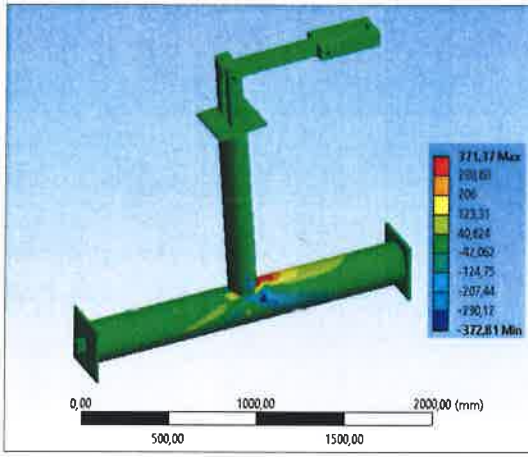
Şekil 4.4. D-M0 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak moment-eğrilik değişimleri elde edilmiştir. Şekil 4.5'de şahit numune için elde edilen moment-eğrilik grafiği sunulmuştur. CIDECT'de verilen amprik formül kullanılarak bu numune için hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiştir. Bu açıdan veriler incelendiğinde, deneysel ve sayısal verilerin sınır değeri sağladığı görülmektedir.

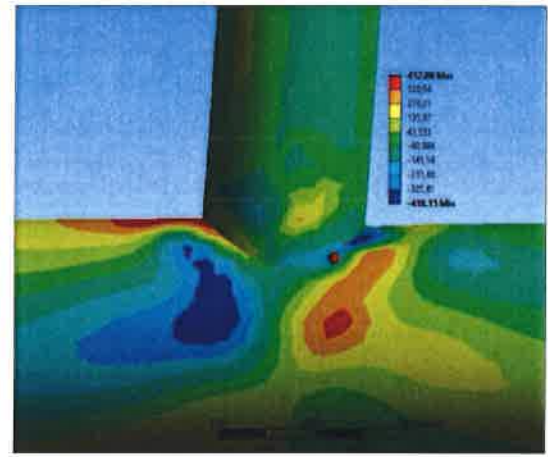


Şekil 4.5. D-M0 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

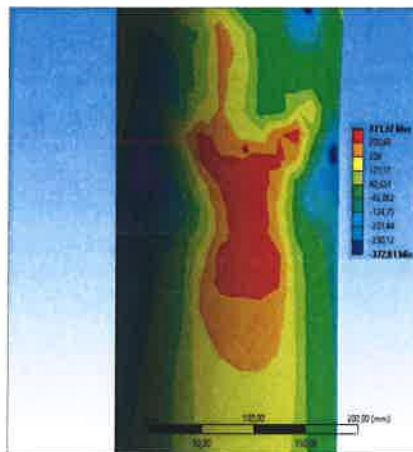
Şahit numune için ANSYS programı kullanılarak yapılan sayısal analizden elde edilen gerilme dağılımlarını ifade eden görseller Şekil 4.6’da sunulmuştur. Gerilme dağılımları incelendiğinde, deneysel analizden elde edilen durum ile birebir benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kiriş-kolon birleşim bölgesi ve kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirme durumları, gerilme yığılmaları olarak sergilenmiş ve yığılmalar kiriş birleşim noktasından başlayarak kolon üzerinde dağılırarak sönümlenmiştir. Gerilme yığılmalarının olduğu bölgede lineer sınır aşılmış ve kolon üzerinde meydana gelen lokal şekil değiştirmeler plastik sınırlar dahilinde kalmıştır. Sayısal analizde gerilme yığılmaları için elde edilen lineer ötesi gerilme değerleri, deneysel analizdeki gerinim pulları üzerinden elde edilen değerler ile de örtüşmüştür.



a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



b) Kiriş-kolon birleşim bölgesi gerilme dağılımı

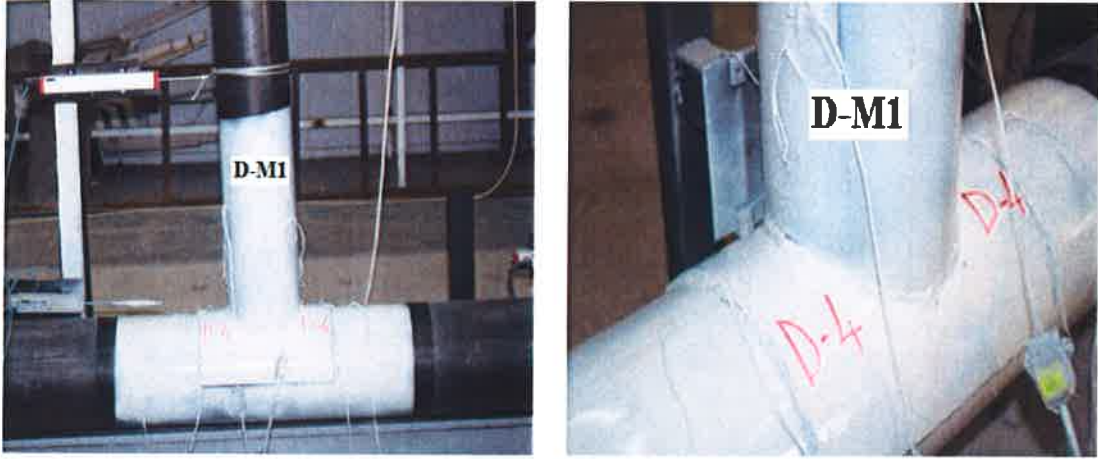


c) Kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.6. A-M0 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları ve görünümüleri

4.1.2. D-M1, A-M1 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M1 nolu numune, D219,1 mm çapında 5 mm cidar kalınlığına sahip dairesel kesitli kolon ile D168,3 mm çapında 4 mm cidar kalınlığında dairesel kesitli kiriş birleşimi kullanılarak imal edilmiştir. Kiriş başlığının kolon başlığında meydana getirdiği lokal deformasyon etkilerini yok etmek amacıyla kiriş-kolon birleşim bölgesine 300*344*6 mm ebatlarında başlık levhası eklenmiştir. CIDECT’de yer alan “rijitleştirme levhası genişliği için belirtilen levha, kolon çevresinin yarısını sağlayabilecek genişlikte olacaktır” hükmü uygulanmıştır. V boyu için kullanılan parametreler ise 50 mm’lik artışlar olacak şekilde 3 tip başlık levhası şeklinde tasarlanmıştır. D-M1 isimli bu deney numunesinde en kısa V boyu (300 mm) kullanılmıştır. Bu deney numunesi, başlık levhali birleşimin çevrimsel olarak etkileyen statik artımsal yükleme koşulları altında davranışını incelemek için tasarlanmış olup profiller 6 mm kaynak kalınlığı kullanılarak birleştirilmiştir. Şekil 4.7’de numunenin deney öncesi durumuna ait fotoğraflar görülmektedir.



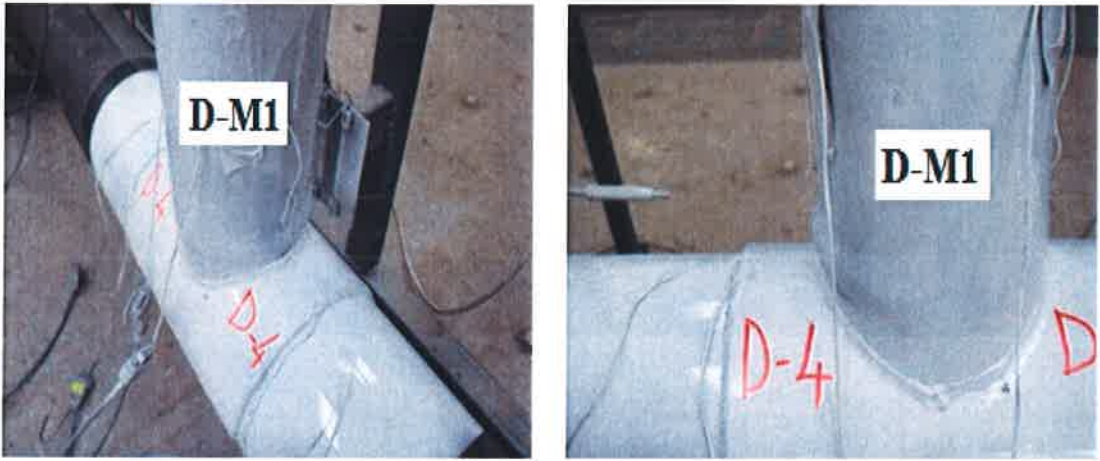
a) Yükleme öncesi genel görünüm

b) Düğüm noktası görünümü

Şekil 4.7. D-M1 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

Bu deneyde birleşime eklenen başlık levhası ile birlikte şahit numunede kolon üzerinde meydana gelen deformasyonların önüne geçilmiş ve birleşim kirişte plastik mafsallı oluşturulabilecek yeterlilikte rijitlik düzeyine ulaşmıştır. Bu sayede kolon rijit bir birleşim için gerekli dayanımı sergilemiş, güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun şekilde kirişte plastik mafsallı oluşumuna bağlı şekil değiştirme oluşmuştur. Birleşimdeki profiller, başlık levhası ve kaynak üzerinde herhangi bir yırtılma

oluşmamasına rağmen düğüm noktası plastik mafsala oluşumuna bağlı kapasite kaybına uğramıştır. Düğüm noktası kapasitesini, kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirme değil, kiriş plastikleşme momenti belirlemiştir. Şekil 4.8'de kirişte meydana gelen deformasyon durumları fotoğraflanmıştır. Plastik mafsala oluşumuna uğrayan kiriş elemanın dairesel kesitli olması ve buna bağlı olarak üzerine etkiyen kuvvetlere verdiği reaksiyonun eşit olma özelliği kiriş üzerinde meydana gelen şekil değiştirmeyi de etkilemiştir. Dairesel kesit üzerindeki atalet ve tepki değerlerinin eşit olması nedeniyle şekil değiştirme etkileri de eşitlenmiş, bu sayede kiriş üzerinde meydana gelen burkulma ring halkası şeklinde oluşmuştur.

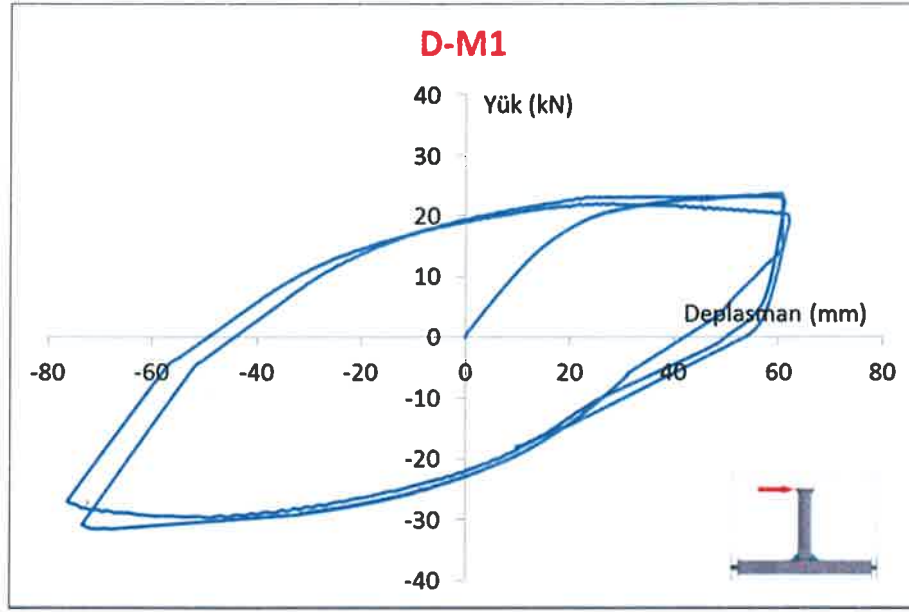


a) Kirişte plastik mafsala oluşumu

b) Kiriş gövdesi plastik şekil değiştirme

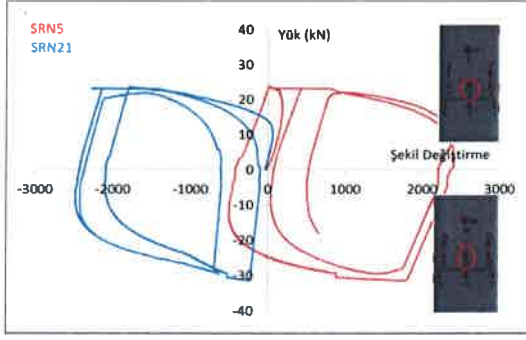
Şekil 4.8. Kirişte plastik mafsala oluşumuna bağlı şekil değiştirme durumu

D-M1 nolu numuneye eklenen başlık levhası sayesinde kolon üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar davranışı etkilemeyecek düzeyde tutmuş ve birleşim rijit bir davranış sergilemiştir. Şekil 4.9'da numuneye ait yük-deplasman eğrisinden de anlaşılacağı üzere kaynaklarda yırtılma meydana gelmemesi sebebiyle kapasite kaybı yok kabul edilebilecek düzeyde bir değişim göstermiştir.

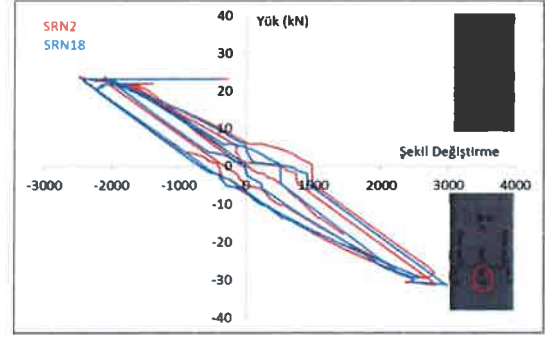


Şekil 4.9. D-M1 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

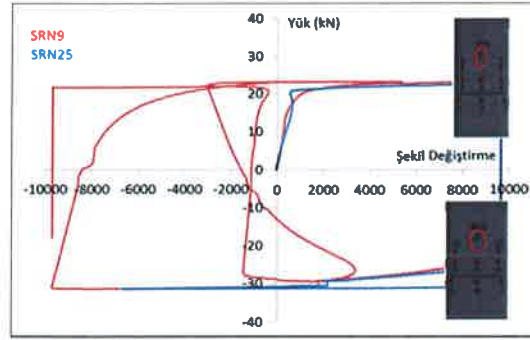
D-M1 numunesinde kolon üzerinde gözle görülür bir deformasyon tespit edilmemesine rağmen, başlık levhası üzerine ve başlık levhası sınırına yerleştirilen gerinim pullarında şekil değiştirmeler tespit edilmiştir. Kolon üzerine yerleştirilen gerinim pullarında (Şekil 4.10.b) şekil değiştirmelerin tamamıyla elastik sınır içerisinde kaldığı, başlık levhası üzerine yerleştirilen gerinim pullarında ise elastik ötesi deformasyon değerlerinin tespit edildiği görülmüştür (Şekil 4.10.a). Bu durum başlık levhalarının kolon yüzeyine sadece kenarlarından kaynaklı olarak birleştirilmesi neticesinde meydana gelmiştir. Bu sayede eğilme etkisi altında basınç bölgesinde levha ve kolon birlikte çalışmakta iken çekme bölgesinde birbirinden bağımsız davranmaktadır. Bu davranış, levhanın kolon yüzeyine göre deformasyon kabiliyetini arttırmakta ve levhanın plastik şekil değiştirerek gerilme yığılmalarının üzerinde toplanmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.10.c'de kiriş üzerinde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin gerinim pulları aracılığı ile tespit edildiği görülmektedir. Düğüm noktasına yerleştirilen başlık levhası sayesinde gerilme yığılmaları kiriş üzerinde yoğunlaşmış olup, bu sayede kiriş kolondan daha önce deforme olmuş ve birleşim rijitliği korunmuştur.



a) Srm 5-21 yük şekil değiştirme eğrisi



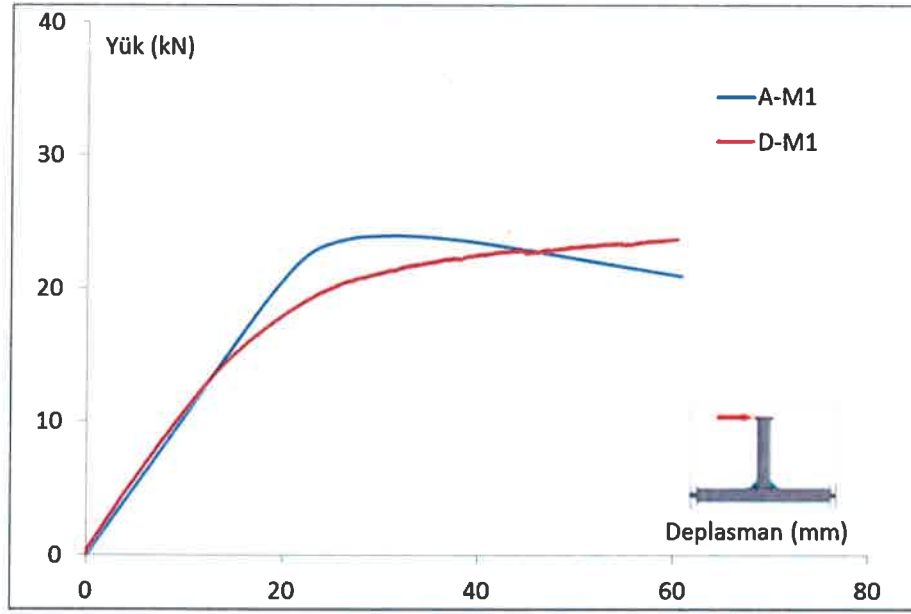
b) Srm 2-18 yük şekil değiştirme eğrisi



c) Srm 9-25 yük şekil değiştirme eğrisi

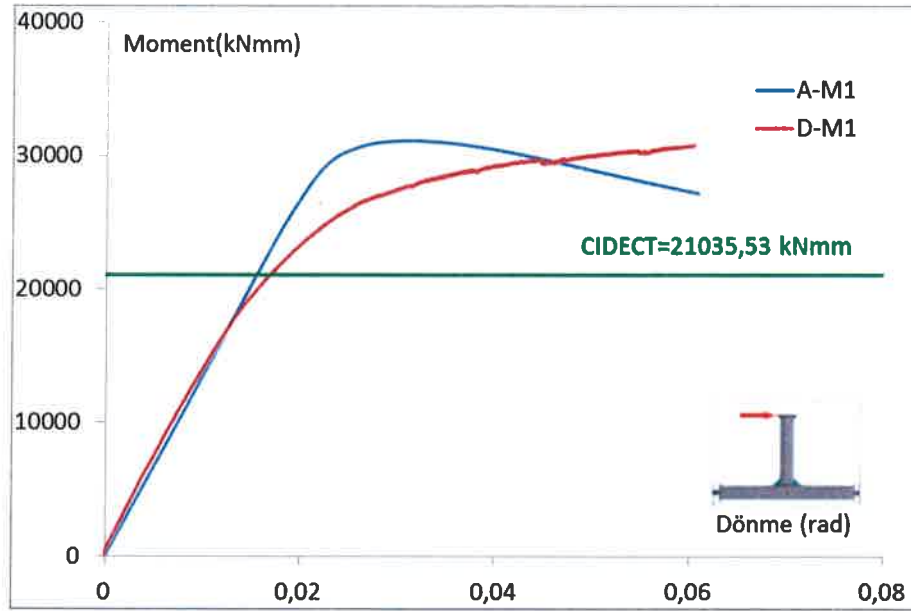
Şekil 4.10. D-M1 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

D-M1 numunesi sayısal analizleri ANSYS Programı ile yapılmış olup, deneysel analizle örtüşür nitelikte olduğu görülmüştür. Şekil 4.11’de analiz sonucu elde edilen ANSYS sonuçları ile deneysel analiz sonucu elde edilen yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır. Söz konusu şekil incelendiğinde, lineer sınırdaki sayısal veri A-M1 ve deneysel veri D-M1 eğrilerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmekte ancak, nonlineer kısımda kapasite değeri olarak birbiri ile uyuşmalarına karşın bu değere ulaşma zamanları farklılık göstermektedir. Bu durum deneysel düzeneğin sahip olduğu yükleme kolunun etkisinden kaynaklanmaktadır. Başlık levhası kullanılarak oluşturulan bu modelin şahit numuneye kıyasla kapasitede artış meydana getirdiği görülmektedir.



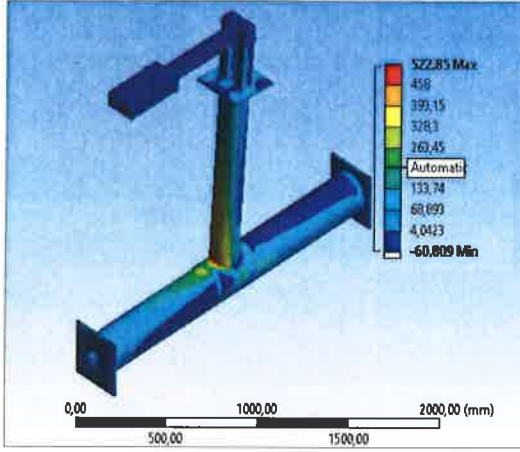
Şekil 4.11. D-M1 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment-dönme grafiği Şekil 4.12’de sunulmuştur. 300*344*6 mm ehatlarında haşlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M1 numunesi için, CIDECT’de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiş olup, ANSYS sayısal analizi ve deneysel analiz sonucu elde edilen moment-eğrilik değişimlerinin bu sınır değeri sağladığı görülmüştür. CIDECT’de ifade edilen bu sınır değeri, birleşime giren yapı elemanlarının boyutsal parametrelerinden elde edilen β ve γ değerleri için hesaplanmıştır. Bu çalışmanın CIDECT’den ayrılan tarafı β ve γ değerleri için birleşime giren yapı elemanlarının boyutlarını ve cidar kalınlığını arttırmak yerine, birleşime eklenen rijitleştirme levhası ile kapasite artışı sağlamaktır. Bu kapasite artışı sağlanırken aynı zamanda birleşimde kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların önüne de geçilmiştir. Bu amaçla birleşimdeki kolon ve kiriş boyutları aynı kalmak şartı ile birleşime eklenen rijitleştirme levhasının boyutları ve cidar kalınlığı kullanılarak, kiriş boyutundaki artışın önüne geçilerek ekonomi sağlanmış, kolondaki lokal şekil değiştirmeler önlenmiş ve sonuç olarak kirişte plastik mafsall oluşumu sağlanarak rijit bir düğüm noktası elde edilmiştir.

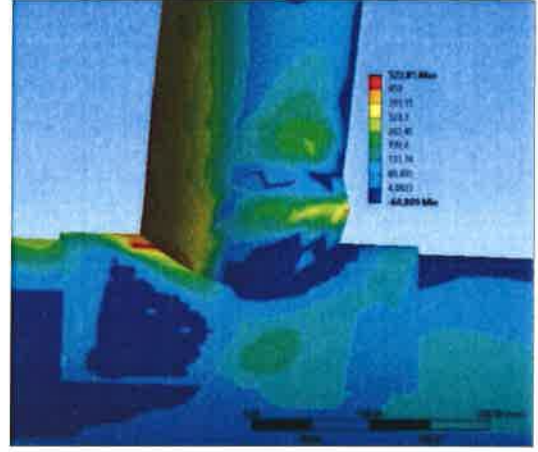


Şekil 4.12. D-M1 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

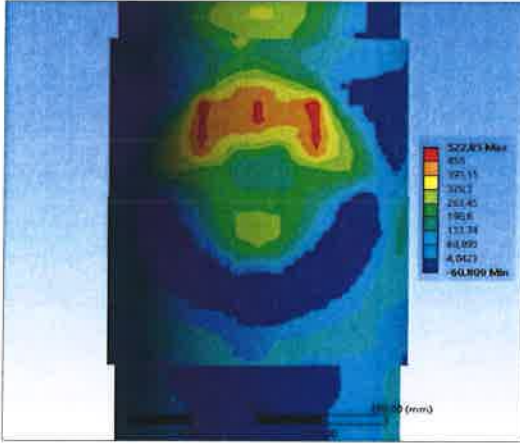
Şekil 4.13'de D-M1 numunesi sayısal analizinden elde edilen gerilme dağılımları ve deforme olmuş görünüm gösterilmiştir. Sayısal analizden elde edilen şekil değiştirmiş durumlar için verilen görseller incelendiğinde, kiriş üzerinde meydana gelen plastik mafsall oluşumunun, durumu ve konumu itibari ile deneysel analiz sonucu oluşan deforme olmuş görünüm ile birebir örtüşmektedir. Şekil 4.13.c'de birleşime eklenen başlık levhasının gerilme yığılmalarını kiriş-kolon birleşim bölgesinden başlık levhası sınırına taşıdığı görülmektedir. Başlık levhası sayesinde kiriş üzerinden kolona aktarılması gereken iç kuvvetler, levha üzerinde sönümlenerek, kolon üzerindeki gerilmeler azaltılarak gerilmeler daha geniş bir alanda karşılanmıştır. Başlık levhası sayesinde kolon üzerindeki plastik şekil değiştirmelerin önüne geçilerek plastik mafsall oluşumu kiriş üzerinde meydana gelmiş ve güçlü kolon zayıf kiriş prensibi sağlanmıştır. Sayısal analizde gerilme yığılmaları için elde edilen lineer ötesi gerilme değerlerinin bu çalışma için yapılan deneysel analizdeki gerinim pulları üzerinden elde edilen değerlerle de örtüştüğü görülmüştür.



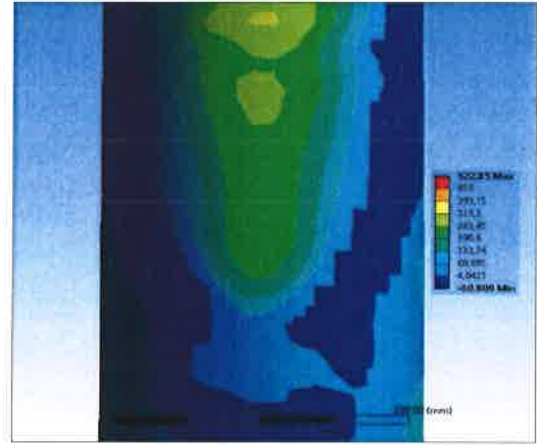
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



b) Kolon – kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



c) Başlık levhası gerilme dağılımı

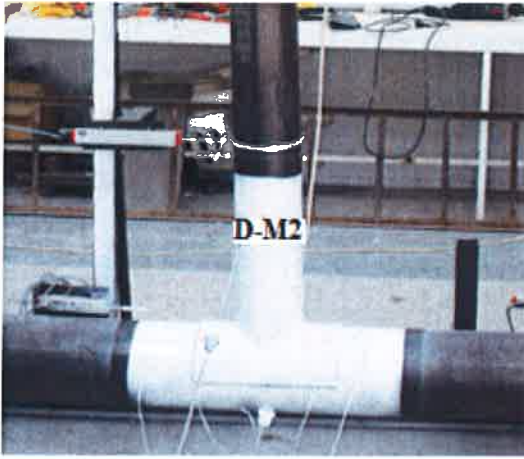


d) Kolon üstü gerilme dağılımı

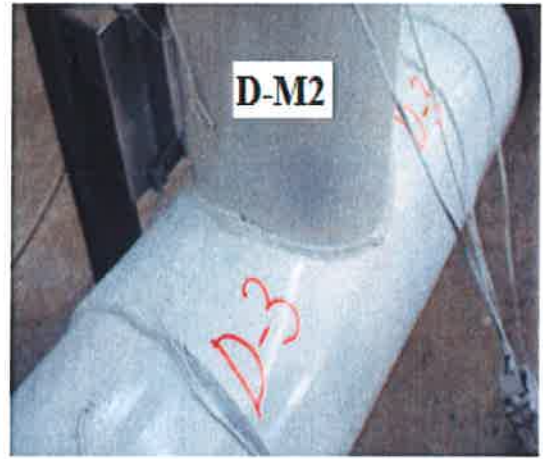
Şekil 4.13. A-M1 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.1.3. D-M2, A-M2 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M2 numunesi, eğilme etkisi altında kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulmaları ve buna bağlı oluşan kapasite kaybını önlemek için hazırlanmıştır. Birleşim D219,1 mm çapında 5 mm cidar kalınlığına sahip dairesel kesitli kolon ile D168,3 mm çapında 4 mm cidar kalınlığında dairesel kesitli kiriş birleşimi kullanılarak imal edilmiştir. Birleşimin düğüm noktasına eklenen başlık levhası boyutu bir önceki D-M1 numunesine kıyasla 50 mm daha büyütülerek 350*344*6 mm ebatlarında kullanılmıştır. Birleşimlerde 6 mm kaynak kalınlığı kullanılmıştır. Şekil 4.14'de numunenin deney öncesi fotoğrafları yer almaktadır.



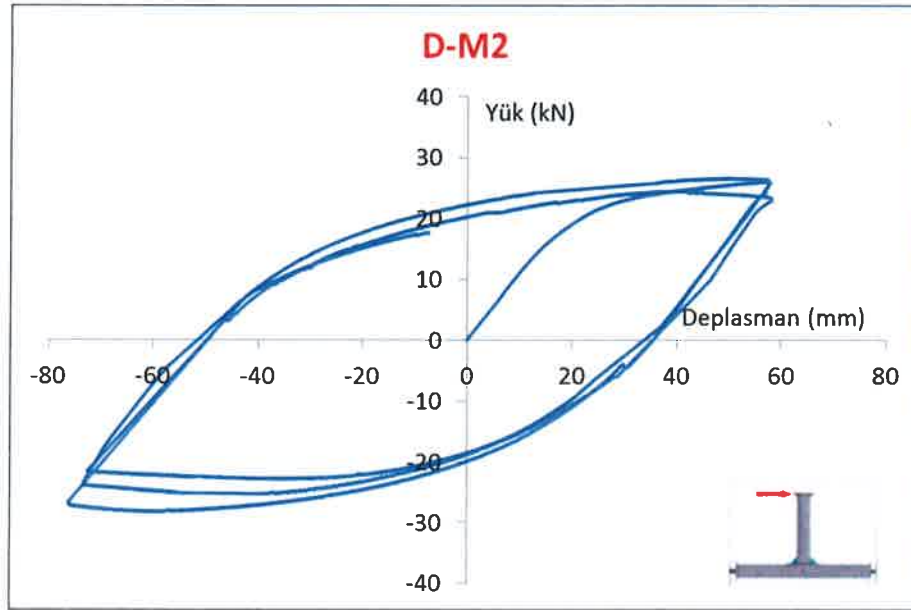
a) Yükleme öncesi genel görünüm



b) Başlık levhası yerleşimi genel görünüm

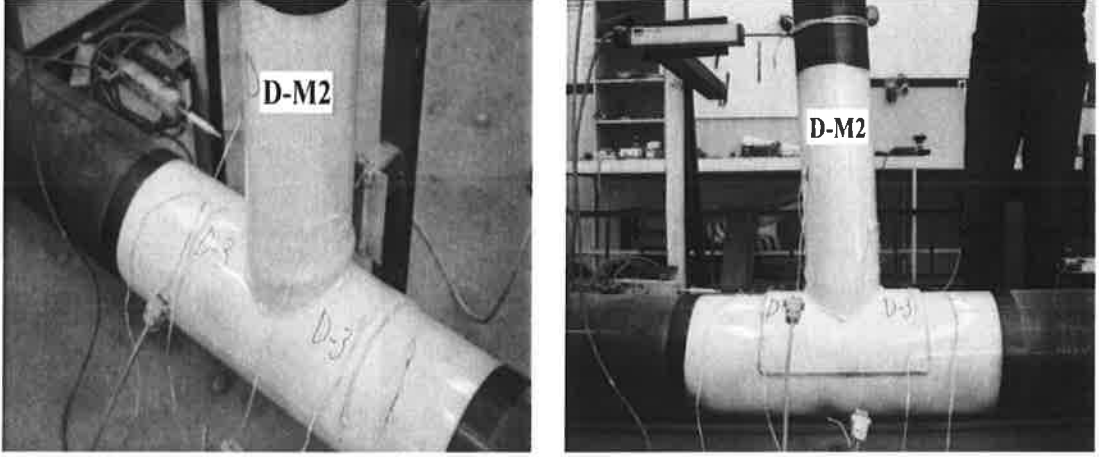
Şekil 4.14. D-M2 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

Düğüm noktasına eklenen başlık levhası ile birleşim kapasitesinin ve rijitliğin artmasına katkı sağlanmıştır. Bununla birlikte davranış bir önceki numuneye benzer nitelikler göstermiş deplasman ölçer ve gerinim pullarından elde edilen sayısal verilerde bu paralellikte değişmiştir. Güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun olarak kirişte plastik mafsall oluşumu gerçekleşmiştir. Şekil 4.15'de numuneye ait kapasite eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.15. D-M2 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

Şekil 4.16’da kirişte meydana gelen deformasyon durumları fotoğraflanmıştır. Dairesel kesit üzerindeki atalet ve buna bağlı tepki değerlerinin eşit olması nedeniyle şekil değiştirme etkileri de eşitlenmiş, bu sayede kiriş üzerinde meydana gelen burkulma ring halkası şeklinde oluşmuştur.

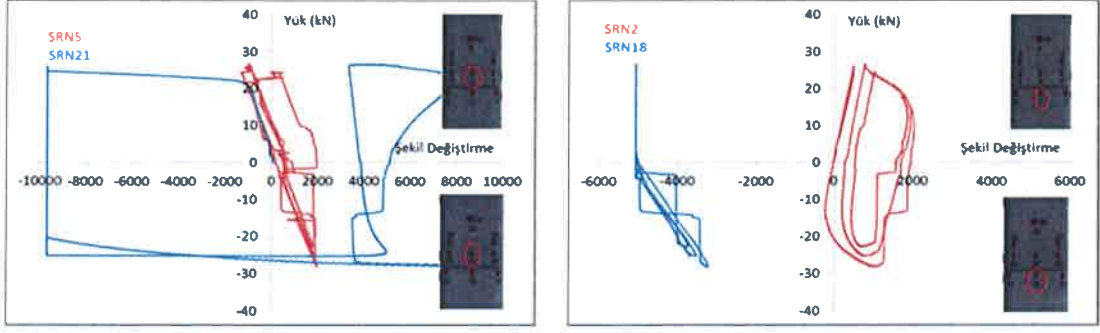


a) Kirişte plastik mafsals oluşumu

b) Kirişte plastik mafsals oluşumu

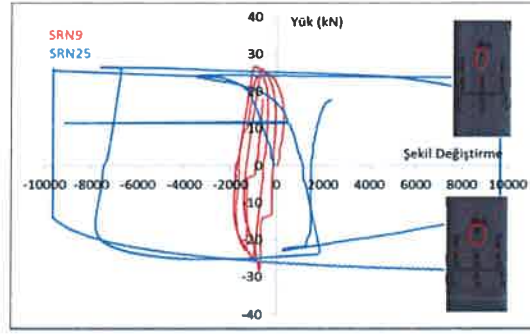
Şekil 4.16. D-M2 nolu numunede kirişte plastik mafsals oluşumu

Kolon üzerinde görsel bir deformasyon tespit edilmemesine rağmen, numuneye yerleştirilen gerinim pulları sayesinde yapılan okumalardan başlık levhası ve kolon üzerinde elastik olmayan şekil değiştirmeler görülmüştür. Şekil 4.17’de burkulma durumunu gösteren gerinim pulları grafikleri gösterilmiştir. Srn 9 ve Srn 25 nolu gerinim pulları kiriş başlığında şekil değiştirmenin gerçekleştiği noktada yer almaktadır. Srn 25 nolu gerinim pulundan alınan verilere göre plastik mafsals oluşumu anında yük artımı meydana gelmeden şekil değiştirme -10000 değerinden +10000 değerine ulaşmış ve şekil değiştirme burkulma durumuna bağlı olarak ilerlemiştir. Srn 9 nolu gerinim pulu ise aynı yatay düzlemde diğer yöndeki başlıkta yer almaktadır. Srn 5 ve Srn 21 başlık levhası üzerindeki, Srn 2 ve Srn 18 başlık levhası kolon birleşim sınırı üzerindeki gerinim pullarındaki okuma değerlerini ifade etmektedir. Srn 21’den elde edilen sayısal veriler, eğilme etkisi altında meydana gelen gerilme yığılmalarının levha üzerinde sönmüldüğünü bu nedenle, kolon üzerinde yığılmaya bağlı oluşan deformasyonun önüne geçildiğini göstermektedir. Kolon üzerine yerleştirilen Srn 18’deki sayısal veriler ise bu durumu doğrular niteliktedir.



a) Srn 5-21 yük şekil eğrisi

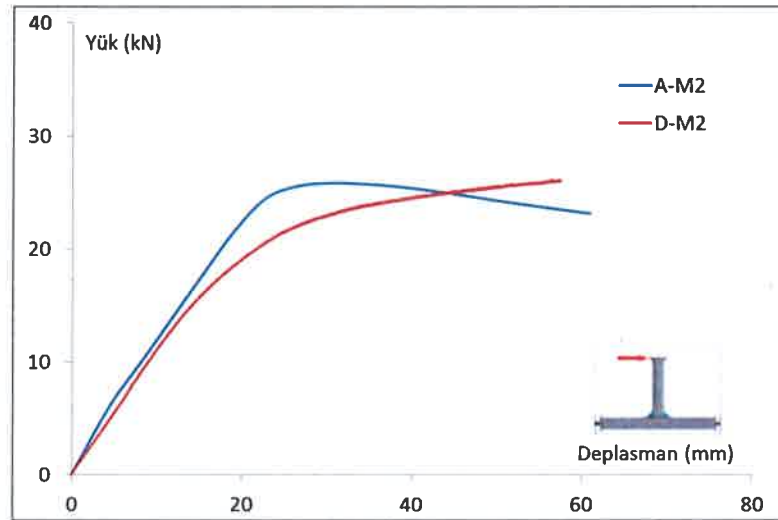
b) Srn 2-18 yük şekil eğrisi



c) Srn 9-25 yük şekil eğrisi

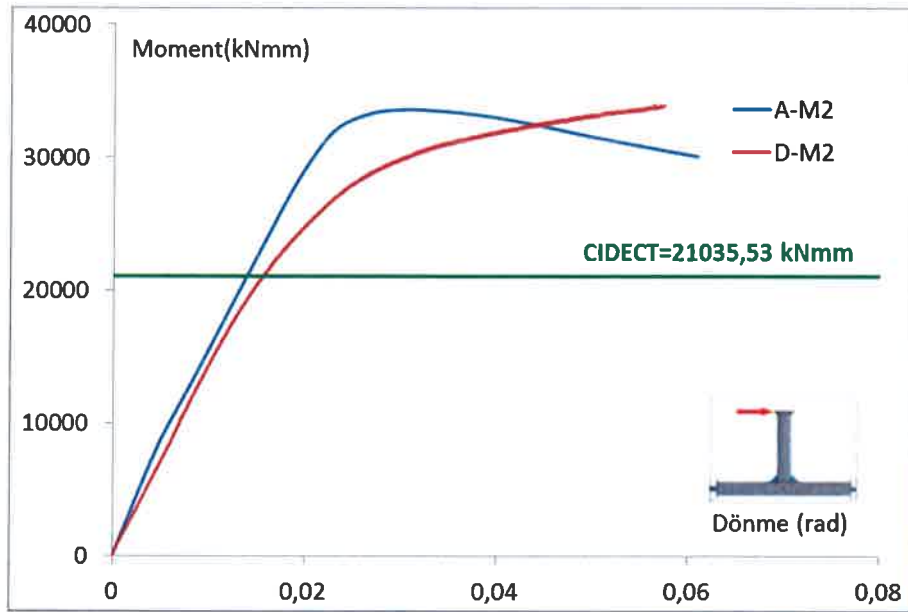
Şekil 4.17. D-M2 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 4.18’de D-M2 modeli için yapılan sayısal analizden elde edilen yük-deplasman eğrisinin deneysel analiz ile örtüştüğü görülmektedir. Kapasite eğrileri nihai değer bakımından eşit olmakla birlikte bu değere ulaşma süreleri bakımından farklılık göstermektedir.



Şekil 4.18. D-M2 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

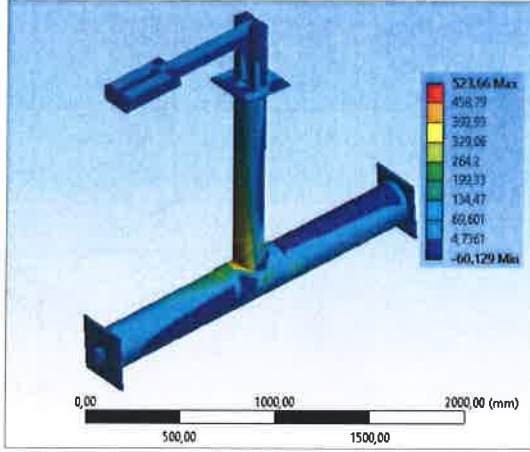
Şekil 4.19’da deneysel ve sayısal analizden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik değişimleri sunulmuştur. ANSYS sayısal analizi ve deneysel analiz sonucu elde edilen moment-eğrilik değişimlerinin, 350*344*6 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M2 numunesi için CIDECT’de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değerini sağladığı görülmektedir. Başlık levhası boyutunun artırılmasıyla oluşturulan DM2 numunesi için, deneysel ve sayısal analiz sonucuna göre hesaplanan moment değerleri, D-M1 numunesine kıyasla kapasitede az miktarda artış meydana getirmiş bu sayede, kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların önüne geçilerek kirişte plastik mafsal oluşumu sağlanarak rijit bir düğüm noktası elde edilmiştir.



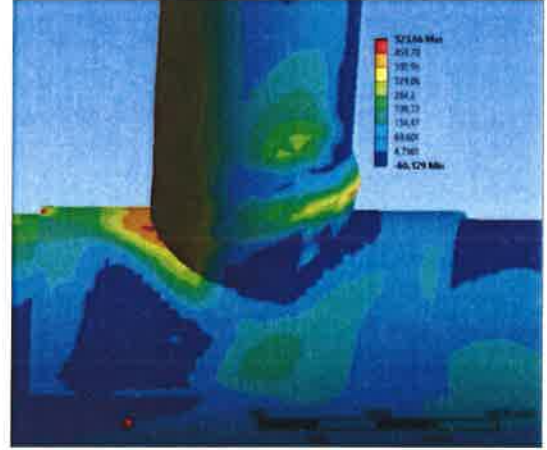
Şekil 4.19. D-M2 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.20’de D-M2 numunesi sayısal analizinden elde edilen gerilme dağılımları ve deforme olmuş duruma ait görünüşler verilmiştir. Sayısal analizden elde edilen ve şekil değiştirmiş durum için verilen resimlerden de görüldüğü üzere, kiriş üzerinde meydana gelen plastik mafsal, oluşum şekli ve konumu itibariyle deneysel analiz ile benzer sonuçlar göstermektedir. Kullanılan başlık levhası boyutunun bir önceki numuneye göre 50 mm daha büyütülmesi kolon üzerinde oluşan gerilme dağılımında önemli bir fark yaratmamış olup, sonuçlar D-M1 numunesiyle benzerlik göstermiştir. Şekil 4.20.c ve d’de başlık levhası ve kolon üzerindeki dağılımlar incelendiğinde, başlık levhasının kolon üzerindeki dağılıma sağladığı katkı belirgin bir şekilde ortaya

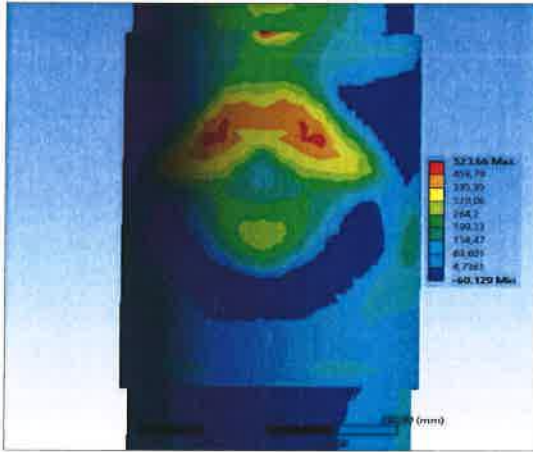
çıkmaktadır. Başlık levhası sayesinde kolon üzerinde gerilmeler azaltılmış, oluşan gerilmeler daha geniş bir yüzeyde karşılanmıştır. Bu sayede kolon üzerindeki şekil değiştirmeler, düğüm noktası rijitliğini etkilemeyecek sınırlar dâhilinde kalmıştır.



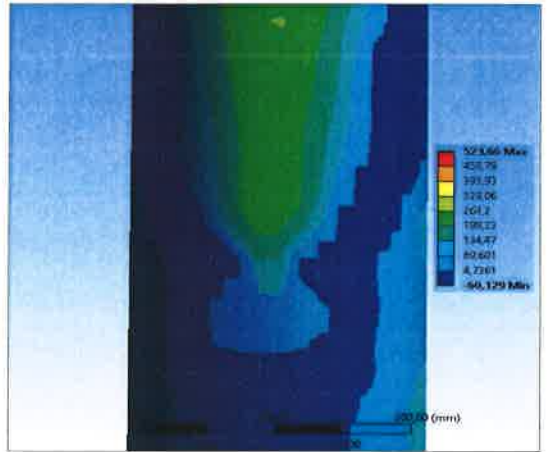
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



b) Kolon – kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



c) Başlık levhası gerilme dağılımı



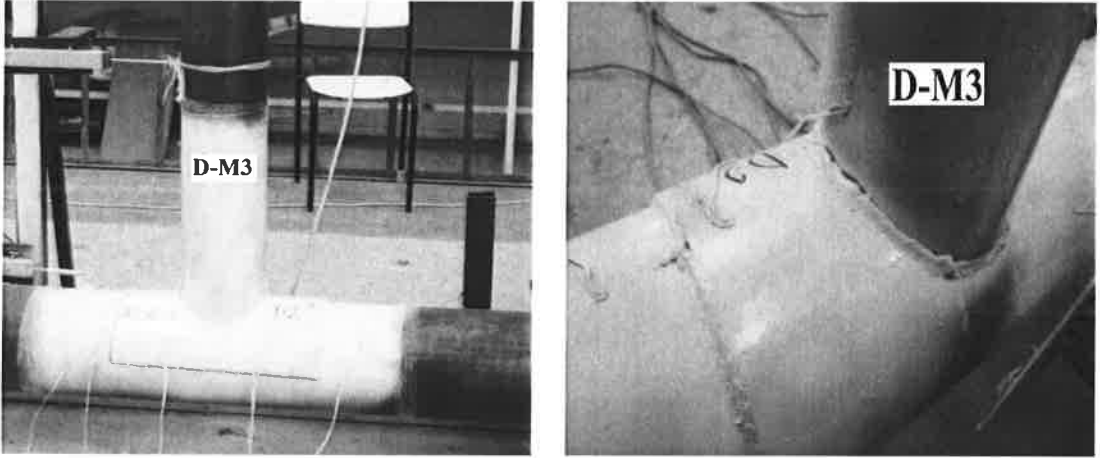
d) Kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.20. A-M2 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.1.4. D-M3, A-M3 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M3 numunesi başlık levhalı birleşimin çevrimsel olarak etkiyen statik artımsal yükleme koşulları altındaki davranışını incelemek için tasarlanmıştır. Birleşim D219,1-5 mm dairesel kesitli kolon ve D168,3-4 mm dairesel kesitli kiriş kullanılarak imal edilmiştir. Birleşimin düğüm noktasına eklenen başlık levhası boyutu bir önceki D-M2 numunesine kıyasla 50 mm daha büyütülerek 400*344*6

mm ebatlarında kullanılmıştır. Birleşimlerde 6 mm kaynak kalınlığı kullanılmıştır. D-M3 numunesinde düğüm noktasına eklenen başlık levhası ile kiriş başlığının kolon başlığında meydana getirdiği lokal deformasyon etkilerinin önlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.21’de numunenin deney öncesi fotoğrafları yer almaktadır.



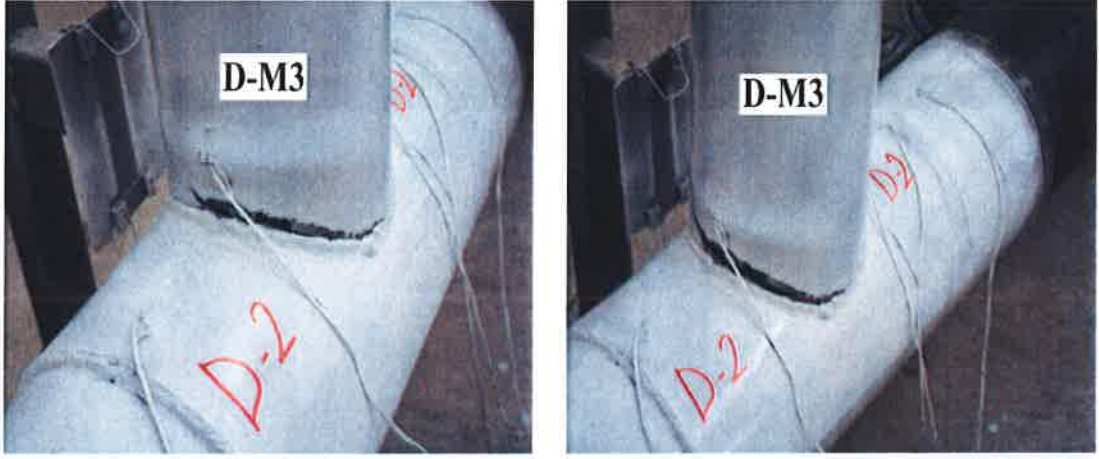
a) Yükleme öncesi genel görünüm

b) Başlık levhası yerleşimi genel görünümü

Şekil 4.21. D-M3 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

D-M3 numunesinde tersinir etkiyen yatay yük altında kiriş-levha birleşim sınırında kiriş üzerinde yırtılma meydana gelmiştir. Meydana gelen bu durum 1. çevrimsel döngünün (itme ve çekme) tamamlanması ile kaynak dikişlerinde bir yırtılma oluşmamasına karşın, kaynak dikişinin kirişe bağlandığı noktada profilde başlayarak döngü sayısı artışına paralel olarak artmıştır. İtme yönüne göre basınç bölgesinde meydana gelen gerilme yığılmaları çekme yönüne göre yine çekme bölgesinde meydana gelen kirişteki yırtılmayı tetiklemiştir. Numune üzerine uygulanan yük kaldırıldığı ve numune başlangıç noktasına getirildiğinde kolon, başlık levhası ve kaynaklarda herhangi bir kalıcı şekil değiştirme gözlenmemiştir. D-M3 birden fazla döngüye maruz bırakılmasına rağmen enerji sönmeme kabiliyeti değişmemiş, birleşim bütünlüğünü koruyarak yük aktarmaya devam etmiştir. Bu durum Şekil 4.22’de açıkça görülmektedir. Kurtağzı kesimlerde yırtılmanın meydana gelme nedenlerinden biri kesim hatasına bağlı olarak gerilme etkisi altında yırtılmanın kolaylaşması diğeri ise, kaynak işleminin uygulanışına bağlı olarak oluşan ısıl etkilerin malzeme mekanik özelliklerini değiştirerek gevrekleşmesine neden olması

ve malzemenin sünek bir davranış gösteremeyerek yırtılması nedeniyle kapasite kaybına sebep olmaktadır.

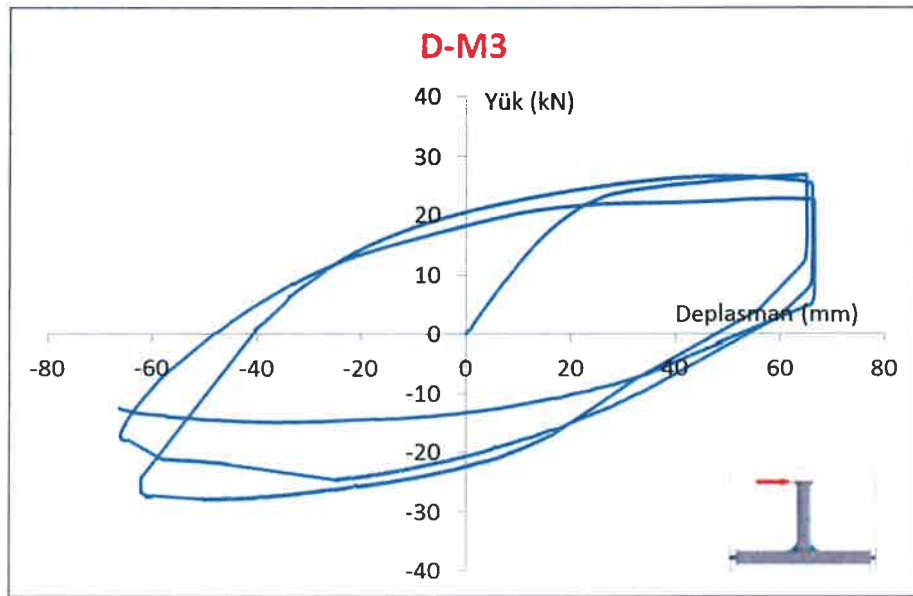


a) İkinci döngü çekme yönü çekme bölgesi kiriş yırtılması

b) Çekme bölgesi kiriş yırtılması

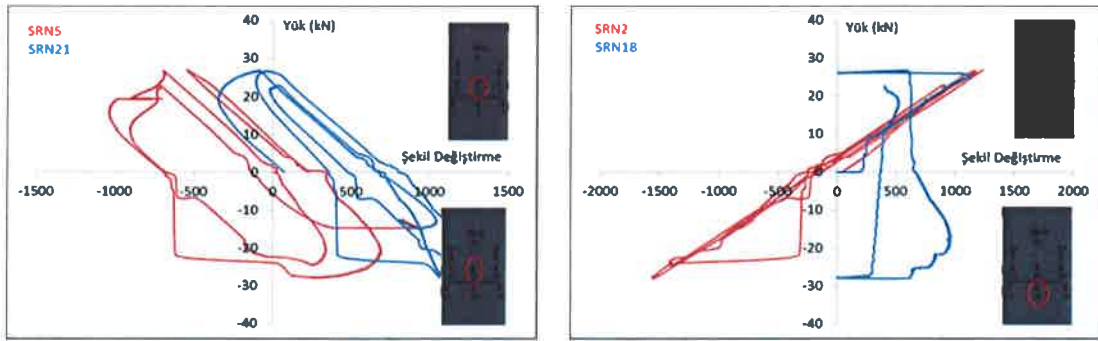
Şekil 4.22. D-M3 nolu numunenin deney sonrasına ait genel görünüşler

Şekil 4.23’de düğüm noktasına eklenen başlık levhasının birleşimin kapasitesi ve rijitliğin artmasına katkı sağladığı görülmüş olup, bununla birlikte davranış daha önceki numunelere benzer nitelikler göstermiş deplasman ölçer ve gerinim pullarından elde edilen sayısal verilerde bu paralellikte değişmiştir. Güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun olarak kirişte plastik mafsall oluşumu gerçekleşmiştir.



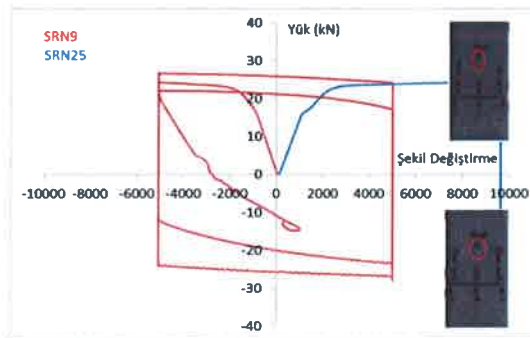
Şekil 4.23. D-M3 deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

D-M3 numunesinde de kolon üzerinde gözle görülür bir deformasyon tespit edilmemesine rağmen, başlık levhası üzeri ve başlık levhası sınırına yerleştirilen gerinim pullarında şekil değiştirmeler tespit edilmiştir (Şekil 4.24). Düğüm noktasına yerleştirilen başlık levhası sayesinde gerilme yığılmaları kiriş üzerinde yoğunlaşmış olup, kiriş kolondan daha önce deforme olmuştur. Srn 9 ve Srn 25 nolu gerinim pulları kiriş başlığında şekil değiştirmenin gerçekleştiği noktada yer almaktadır. Srn 25 nolu gerinim pulundan alınan verilere göre numuneye uygulanan yük azalmasına karşın kirişteki yırtılmaya bağlı olarak şekil değiştirme değerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Srn 9 nolu gerinim pulundan alınan verilere göre plastik mafsall oluşumu anında yük artımı meydana gelmeden şekil değiştirme -5000 değerinden +5000 değerine ulaşmış ve şekil değiştirme burkulma durumuna bağlı olarak ilerlemiştir. (Şekil 4.24.c). Kullanılan başlık levhası boyutunun artması ile başlık levhası sınırında oluşan gerilme değerleri düşmüş, bu sebeple kolon üst başlığında tespit edilen şekil değiştirmeler azalmıştır.



a) Srn 5-21 yük şekil değiştirme eğrisi

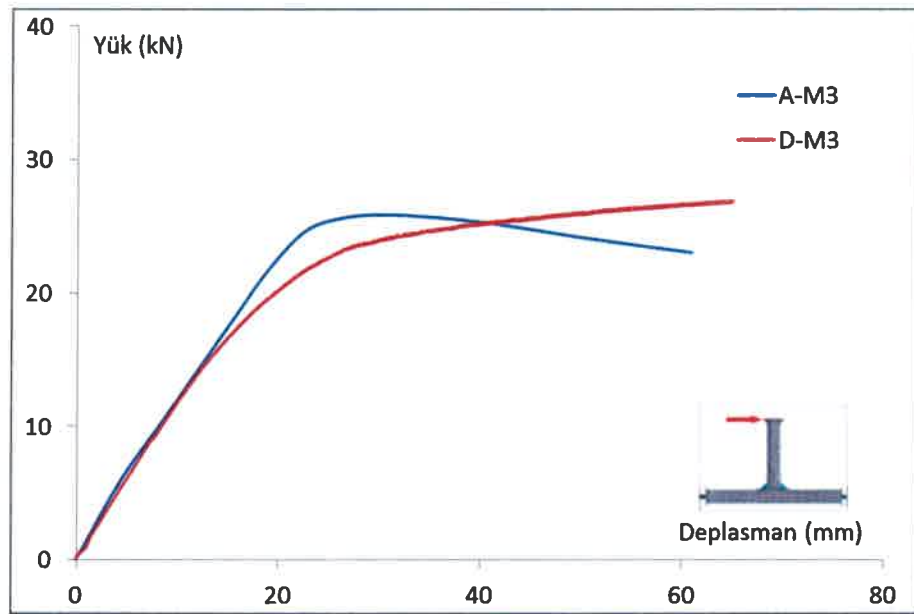
b) Srn 2-18 yük şekil değiştirme eğrisi



c) Srn 9-25 yük şekil değiştirme eğrisi

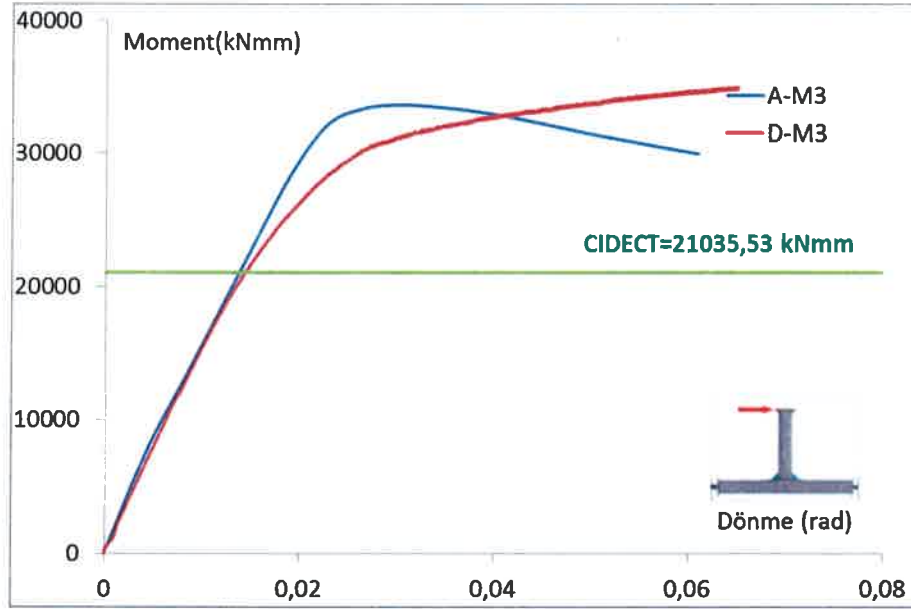
Şekil 4.24. D-M3 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

D-M3 sayısal analizleri ANSYS programı ile yapılmış olup deneysel analizle örtüşür durumdadır. Şekil 4.25’de sayısal analiz sonucu elde edilen yük-deplasman eğrisi deneysel analiz sonucu ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu numunede sayısal ve deneysel analiz lineer bölgede üst üste otururken, nonlineer kısımda kapasite değeri olarak birbiriyle uyumlu olmalarına rağmen, bu değere ulaşma zamanları bakımından farklılık göstermektedir. Başlık levhası boyutunun D-M2 numunesine kıyasla arttırılması birleşimin yük taşıma kapasitesinde belirgin bir artış sağlamamıştır. Ancak, gerinim pullarından elde edilen değerler nispetinde gerilme ve şekil değiştirme değerlerinde D-M2 numunesine nazaran azalma olduğu gözlenmiştir.



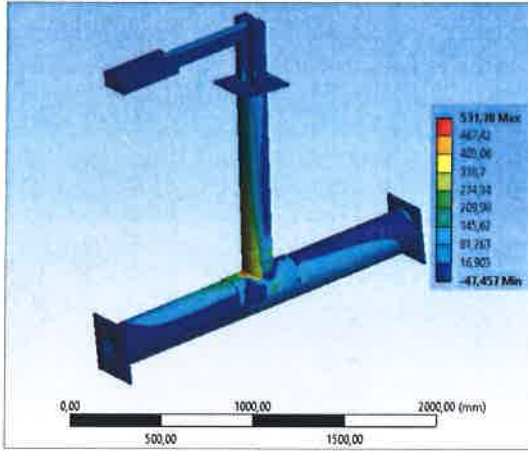
Şekil 4.25. D-M3 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.26’da deneysel ve sayısal analizden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment eğrilik değişimleri sunulmuştur. 400*344*6 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M3 numunesi için, CIDECT’de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiştir. Moment-dönme ilişkisi bakımından karşılaştırıldığında sayısal ve deneysel modeller, CIDECT’e göre hesaplanan moment değerini sağlamıştır. Kirişte meydana gelen yırtılma kapasitede önemli bir değişikliğe neden olmamıştır.

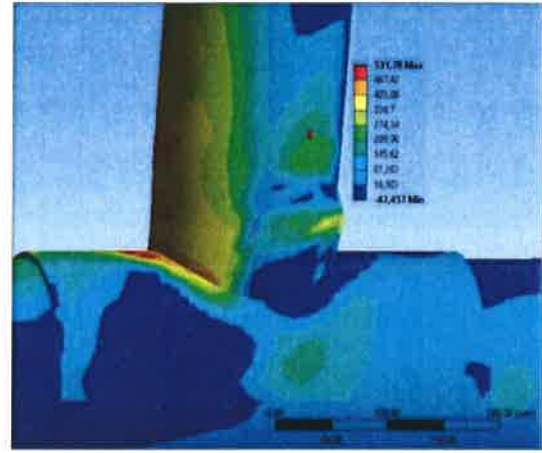


Şekil 4.26. D-M3 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

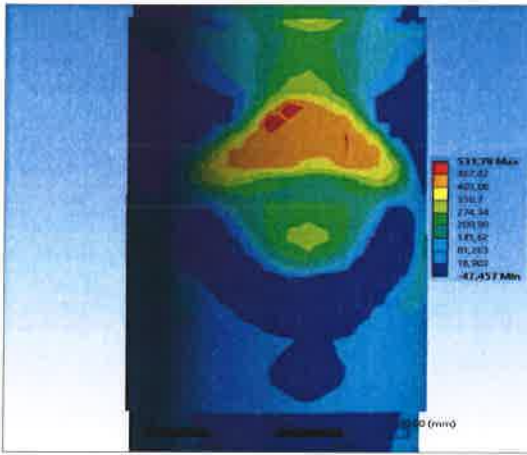
Şekil 4.27'de D-M3 numunesi sayısal analizinden elde edilen gerilme dağılımları ve deforme olmuş duruma ait görünüşler verilmiştir. Gerilme dağılımları incelendiğinde kiriş köşe noktalarında meydana gelen yığılmalar açıkça görülmektedir. Sayısal analizde profillerde meydana gelen yırtılmaların analiz algoritmasına dahil edilmemesi sebebiyle nonlineer bölgedeki davranış kapasite eğrisine yansımamıştır. Sayısal analiz sonucu D-M3 numunesinde meydana gelen şekil değiştirme durumuna ait resimlerden (Şekil 4.27.a-b), kiriş basınç bölgesindeki şekil değiştirmiş durumun kirişte oluşacak plastik mafsallara elverişli olduğu görülmektedir. Şekil 4.27.c ve d'de başlık levhası ve kolon üzerindeki gerilme dağılımları incelendiğinde ise, başlık levhasının kolon üzerindeki dağılıma sağladığı katkı belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Başlık levhası sayesinde kolon üzerindeki gerilmeler azaltılmış, oluşan gerilmeler daha geniş bir yüzeyde karşılanarak güçlü kolon zayıf kiriş prensibi sağlanmıştır.



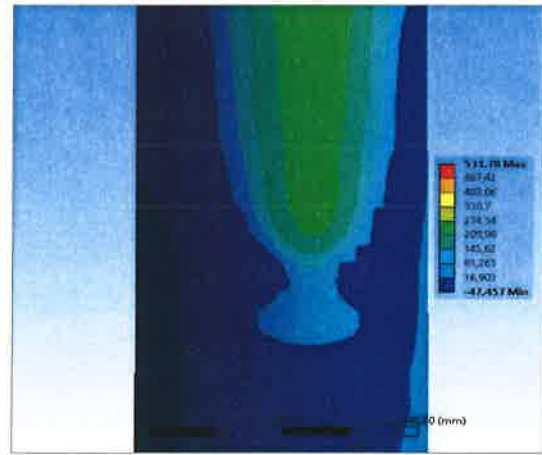
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



b) Kolon – kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



c) Başlık levhası gerilme dağılımı



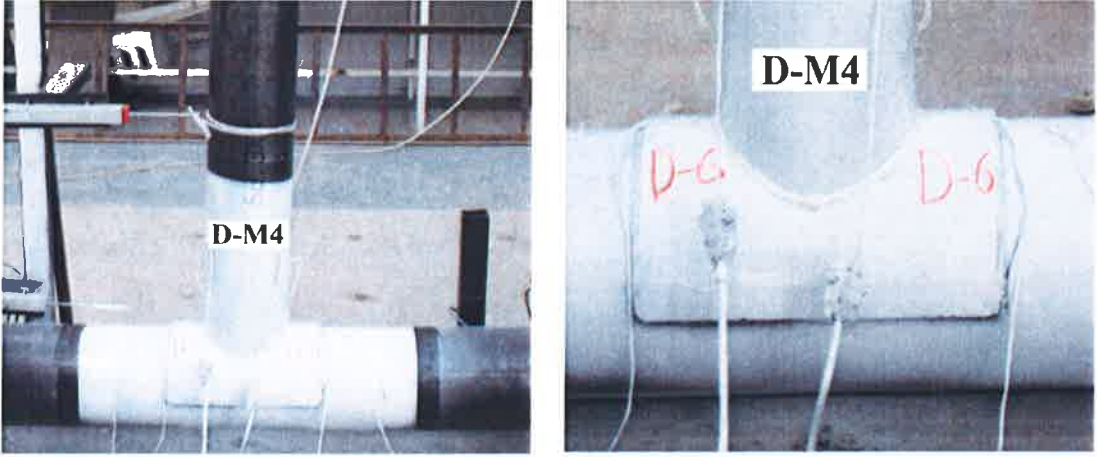
d) Kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.27. A-M3 sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.1.5. D-M4, D-M4 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M4 numunesi başlık levhalı birleşimin çevrimsel olarak etkiyen statik artımsal yükleme koşulları altındaki davranışını incelemek için tasarlanmıştır. Birleşim D219,1-5 mm dairesel kesitli kolon ve D168,3-4 mm dairesel kesitli kiriş kullanılarak imal edilmiştir. 300*344*6 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M4 numunesi, D-M1 numunesinden başlık levhasının cidar kalınlığı bakımından ayrılmaktadır. Bu birleşim tipinde 300*344*8 mm ebatında başlık levhası kullanılmıştır. Birleşimlerde kullanılan kaynak kalınlığı 6 mm'dir. D-M4 numunesinde düğüm noktasına eklenen başlık levhası ile kiriş başlığının kolon

başlığında meydana getirdiği lokal deformasyon etkilerinin önlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.28’de numunenin deney öncesi hali görülmektedir.

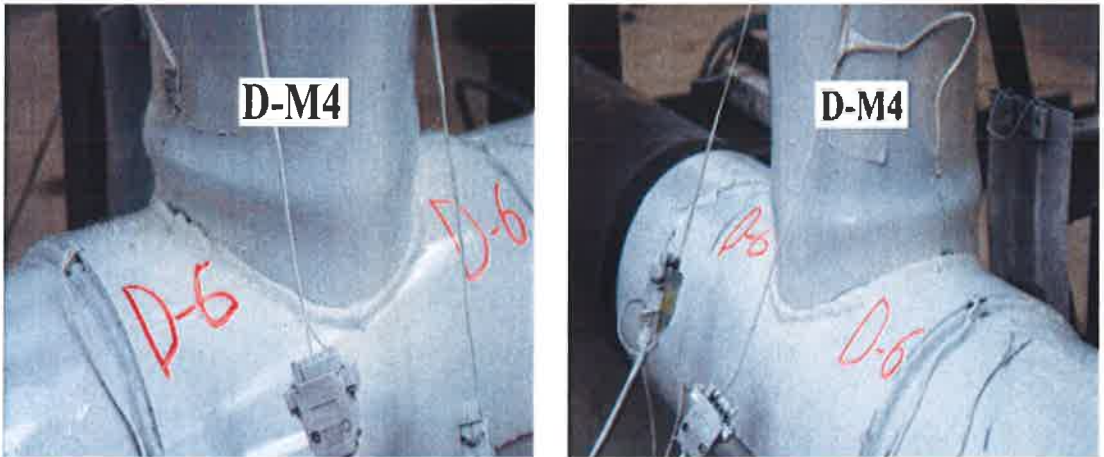


a) D-M4 numunesi deney öncesi durum

b) Başlık levhası yerleşimi genel görünüm

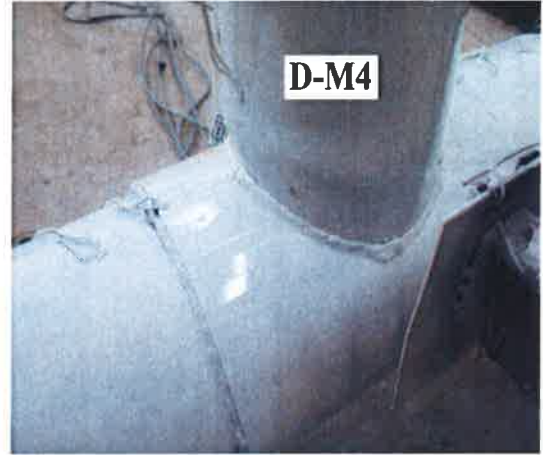
Şekil 4.28. D-M4 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

Bu deneyde kolon üzerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamış olup, güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun olarak kirişte plastik mafsal durumu gerçekleşmiştir. Kiriş elemanın dairesel kesitli olması sebebiyle üzerine etkiyen kuvvetlere verdiği reaksiyonun eşit olma özelliği, kiriş üzerindeki şekil değiştirme etkilerini de eşitlemiş dolayısıyla kiriş üzerinde meydana gelen burkulma durumu önceki numunelere benzer şekilde Şekil 4.29’da görüldüğü üzere ring halkası şeklinde oluşmuştur.



a) 1. döngü basınç bölgesi burkulması

b) 2.döngü basınç bölgesi burkulması

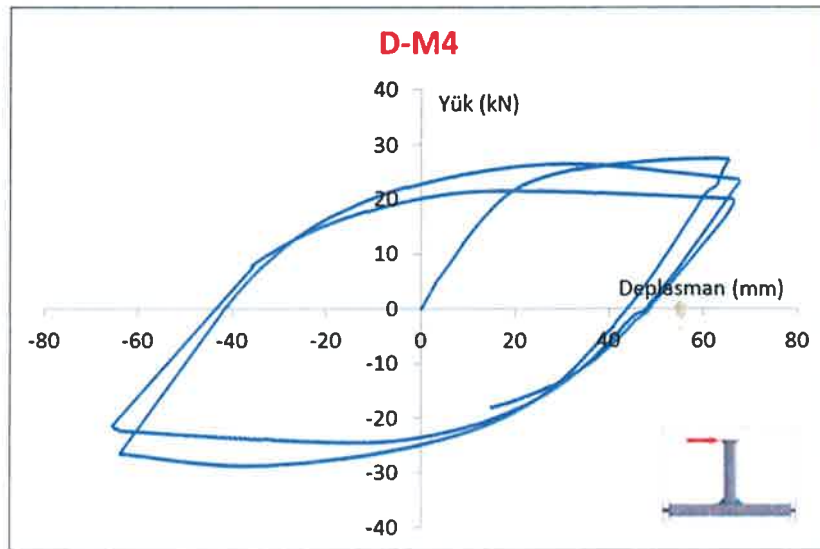


c) Kiriş deforme olmuş hal genel görünüm

d) Deforme olmuş hal genel görünüm

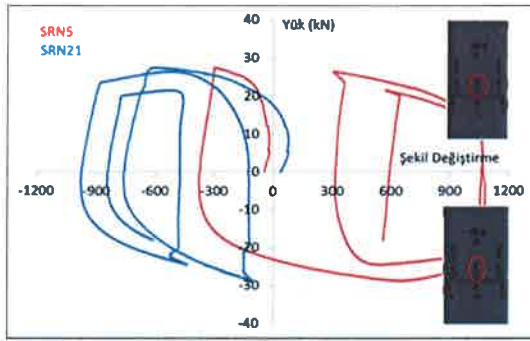
Şekil 4.29. D-M4 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali)

D-M4 nolu numuneye eklenen başlık levhası sayesinde diğer numunelerde olduğu gibi, kolon üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar önlenmiş ve birleşim rijit bir davranış sergilemiştir. Şekil 4.30'da D-M4 nolu numuneye ait kapasite eğrisi gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşumunu takip eden döngülerde birleşim yük almaya devam etmesine rağmen kapasitede bir miktar azalma olmuştur. Kullanılan başlık levhası cidar kalınlığı bakımından D-M1 numunesinden ayrılan bu deneyde başlık levhası cidar kalınlığındaki büyüme kapasitede az miktarda artış sağlamakta olup, davranış diğer başlık levhali numuneler ile benzer davranış sergilemiştir. Deplasman ölçer ve gerinim pullarından elde edilen sayısal verilerde bu paralellikte değişmiştir.

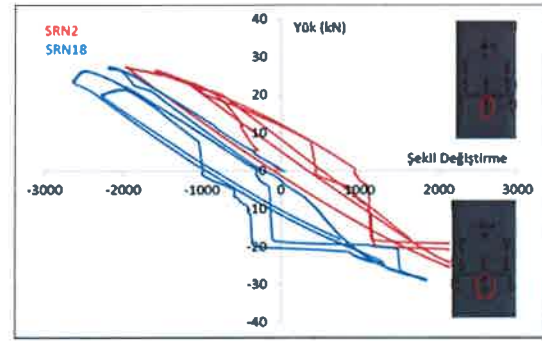


Şekil 4.30. D-M4 deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

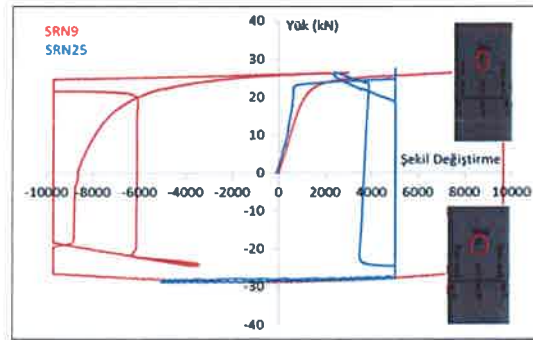
D-M4 numunesinde sadece kiriş üzerinde gözle görülür bir deformasyon tespit edilmesine rağmen, başlık levhası ve kolon üzerine yerleştirilen gerinim pullarında yapılan okumalarda şekil değiştirmeler tespit edilmiştir. Kolona eklenen başlık levhası boyutları aynı olup sadece levhanın cidar kalınlığı bakımından D-M1 numunesinden ayrılan bu numune üzerindeki gerinim pullarından elde edilen şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde, D-M1 numunesiyle benzer olarak kolon üzerindeki şekil değiştirmelerin tamamıyla elastik sınır içerisinde kaldığı (Şekil 4.31.b), başlık levhası üzerine yerleştirilen gerinim pullarında ise elastik ötesi deformasyon değerlerinin tespit edildiği görülmüştür (Şekil 4.31.a). Başlık levhası cidar kalınlığının artmasıyla levhada kaydedilen şekil değiştirme değerlerinin D-M1 numunesine göre bir miktar azaldığı, buna bağlı olarak kolon üzerindeki şekil değiştirmelerin ise bir miktar azaldığı ancak, bu durumun kirişte meydana gelen elastik ötesi şekil değiştirme değerlerinde herhangi bir değişiklik meydana getirmediği görülmektedir (4.31.c).



a) Srm 5-21 yük şekil değiştirme eğrisi



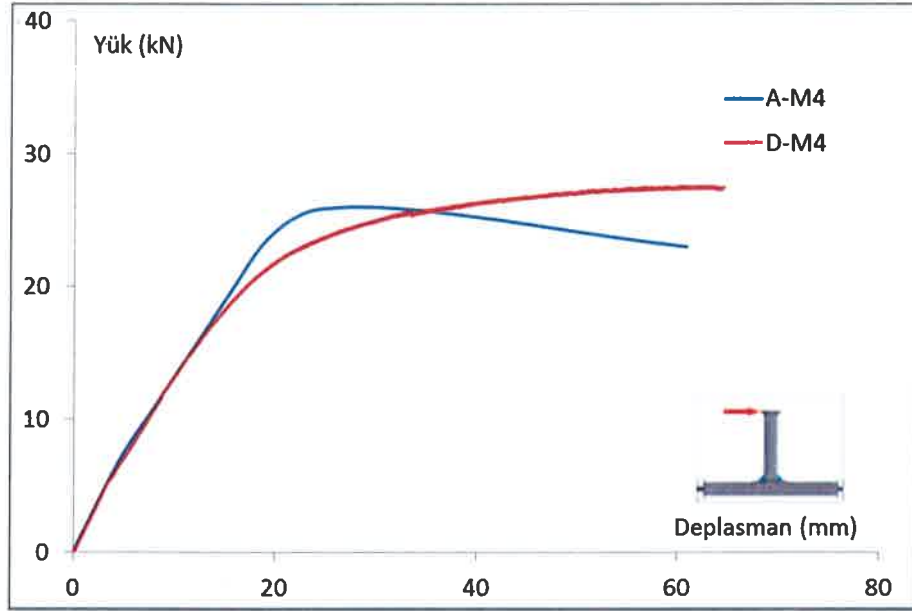
b) Srm 2-18 yük şekil değiştirme eğrisi



c) Srm 9-25 yük şekil değiştirme eğrisi

Şekil 4.31. D-M4 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

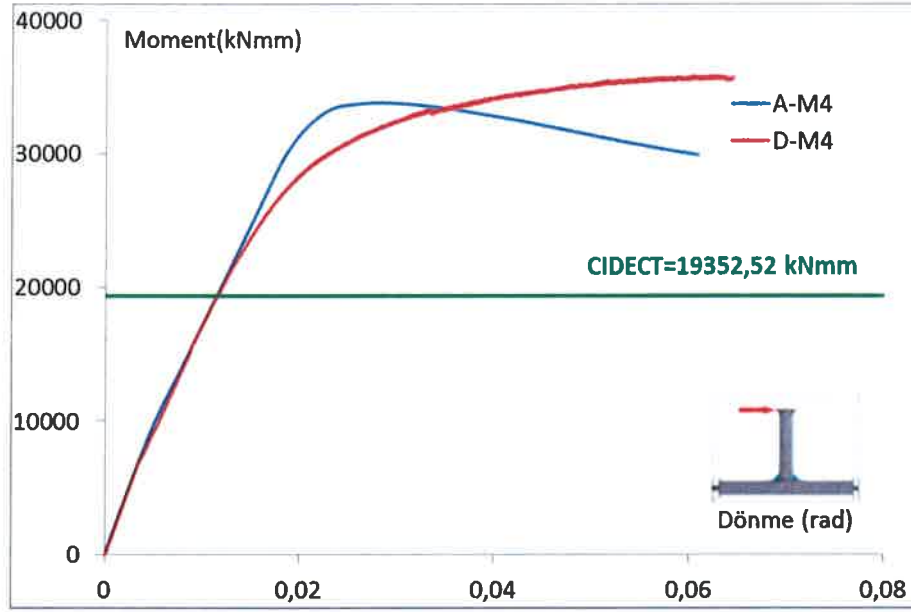
Şekil 4.32’de D-M4 modeli için yapılan sayısal analizden elde edilen yük-deplasman eğrisinin deneysel analiz ile örtüştüğü görülmektedir. Kapasite eğrileri nihai değer bakımından eşit olmakla birlikte diğer analizlerde olduğu gibi bu değere ulaşma zamanları deneysel düzeneğin sahip olduğu yükleme kolunun etkisiyle farklılık göstermektedir. Başlık levhası cidar kalınlığının artırılması, birleşimin yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir.



Şekil 4.32. D-M4 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

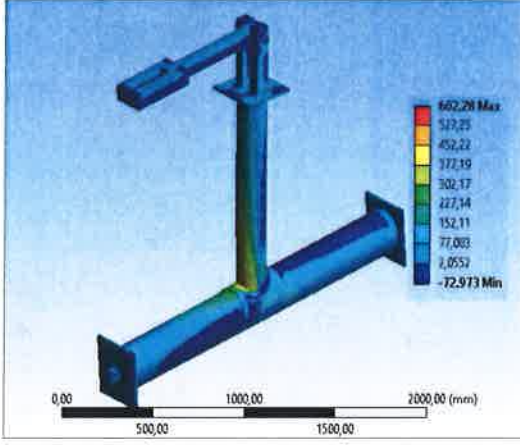
Şekil 4.33’de deneysel ve sayısal analizden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik değişimleri sunulmuştur. 300*344*8 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M4 numunesi için, CIDECT’de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiş olup, ANSYS sayısal analizi ve deneysel analiz sonucu elde edilen moment-eğrilik değişimlerinin bu sınır değeri sağladığı görülmüştür. D-M1 numunesi için CIDECT’de verilen amprik formüller kullanılarak hesaplanan moment değeri 21035,53 kNmm iken, başlık levhası boyutu aynı kalmak üzere cidar kalınlığı miktarının artması ile değişen γ değeri için yeniden hesaplanan moment değeri 19352,52 kNmm olarak hesaplanmıştır. Buradan cidar kalınlığı miktarındaki artışın kapasitede kısmen de olsa azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bu durum, kolon boyutunun cidar kalınlığına oranı olarak değişen γ değerinin azalması ile

oluşmaktadır. Bu azalma birleşimde yapı elemanları arasındaki rijitlik farkını açmakta, bu fark da birleşimde kapasite değerine olumsuz olarak yansımaktadır.

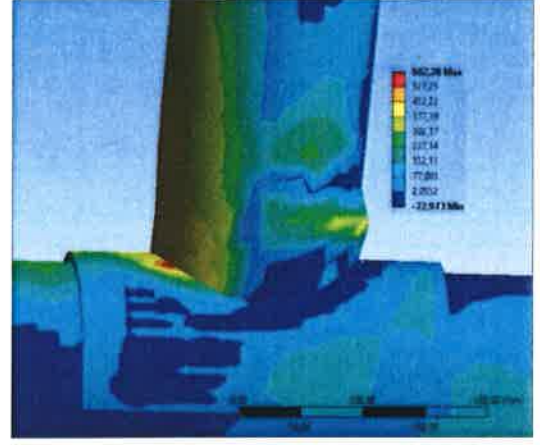


Şekil 4.33. D-M4 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

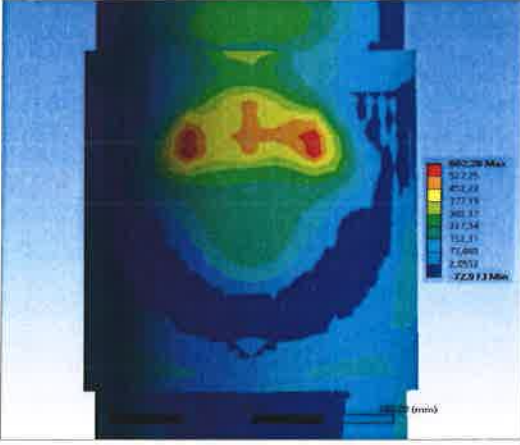
Şekil 4.34'de D-M4 numunesi sayısal analizinden elde edilen gerilme dağılımları ve deforme olmuş duruma ait görünüşler D-M1 numunesi ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 4.34.c ve d'de başlık levhası ve kolon üzerindeki gerilme dağılımları incelendiğinde, kolon, kiriş ve başlık levhasındaki gerilme dağılımı ve deforme olmuş durumlar önceki numunelerle benzerlik göstermiştir. Başlık levhası sayesinde kolon üzerindeki plastik şekil değiştirmelerin önüne geçilerek, kiriş üzerinde plastik mafsallık durumu meydana gelmiş ve güçlü kolon zayıf kiriş prensibi sağlanmıştır. Şekil 4.34.d ve f incelendiğinde, cidar kalınlığındaki değişimin kolon üzerindeki gerilme dağılımı üzerine etkisi açıkça görülmektedir. Cidar kalınlığındaki artışın kolon üzerindeki gerilme dağılımını grafikçe bir alt sınır durumunu temsil eden renk değerine taşıdığı görülmektedir. Sayısal analizde gerilme yığılmaları için elde edilen lineer ötesi gerilme değerlerinin bu çalışma için yapılan deneysel analizdeki gerilme pulları üzerinden elde edilen değerlerle de örtüştüğü görülmüştür.



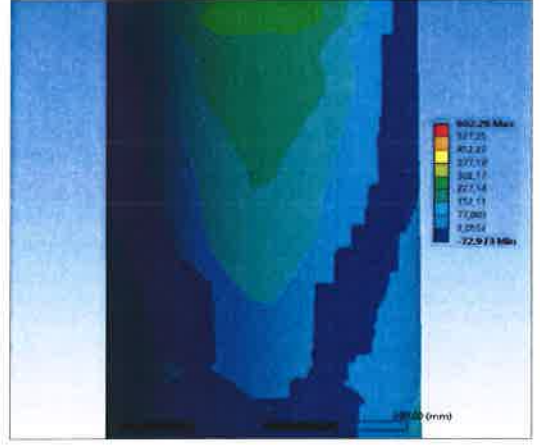
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



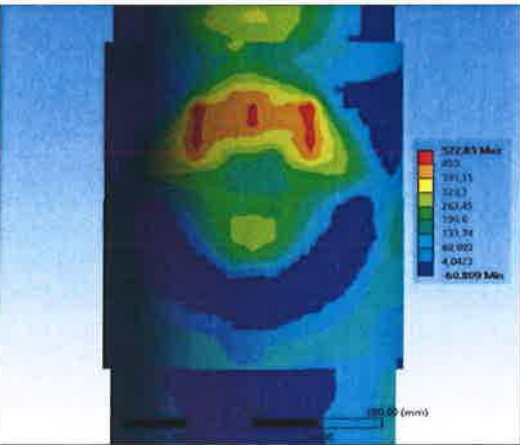
b) Kolon – kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



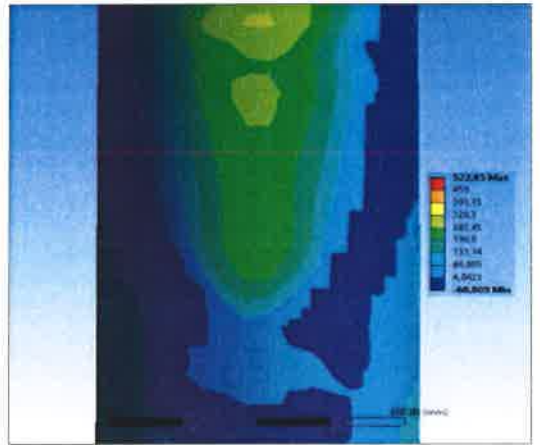
c) A-M4 nolu numuneye ait başlık levhası gerilme dağılımı



d) A-M4 nolu numuneye ait kolon üstü gerilme dağılımı



e) A-M1 nolu numuneye ait başlık levhası gerilme dağılımı

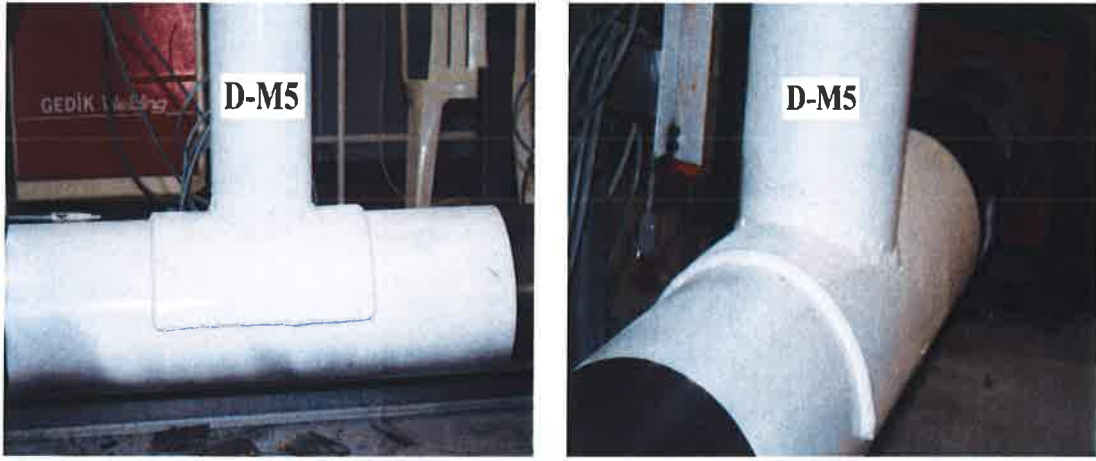


f) A-M1 nolu numuneye ait kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.34. A-M4 ve A-M1 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.1.6. D-M5, A-M5 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M5 numunesi başlık levhali birleşimin çevrimsel olarak etkiyen statik artımsal yükleme koşulları altındaki davranışını incelemek için tasarlanmıştır. Birleşim D219,1-5 mm dairesel kesitli kolon ve D168,3-4 mm dairesel kesitli kiriş kullanılarak imal edilmiştir. 350*344*6 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M2 numunesinden başlık levhasının cidar kalınlığı bakımından ayrılmaktadır. Bu birleşim tipinde 350*344*8 mm ebatında başlık levhası kullanılmış olup, birleşimlerde 6 mm kalınlığında kaynak dikişi kullanılmıştır. Şekil 4.35’de numunenin deney öncesi hali görülmektedir.

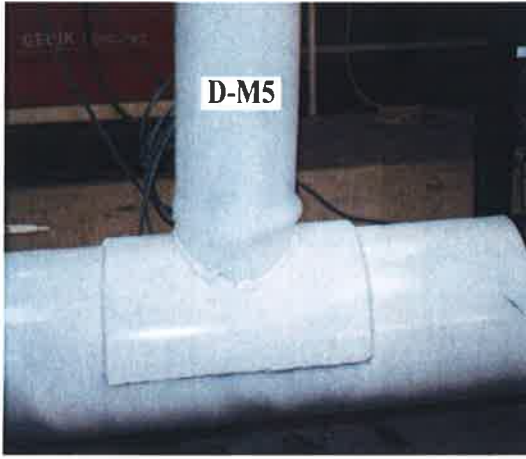


a) Yükleme öncesi genel görünüm

b) Başlık levhası yerleşimi genel görünüm

Şekil 4.35. D-M5 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

Bu deneyde de kolon üzerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamış olup, güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun olarak kirişte plastik mafsallık durumu gerçekleşmiştir. Kiriş elemanın dairesel kesitli olması sebebiyle üzerine etkiyen kuvvetlere verdiği reaksiyonun eşit olma özelliği, kiriş üzerindeki şekil değiştirme etkilerini de eşitlemiş dolayısıyla kiriş üzerinde meydana gelen burkulma durumu önceki numunelere benzer şekilde Şekil 4.36’da görüldüğü üzere ring halkası şeklinde oluşmuştur.



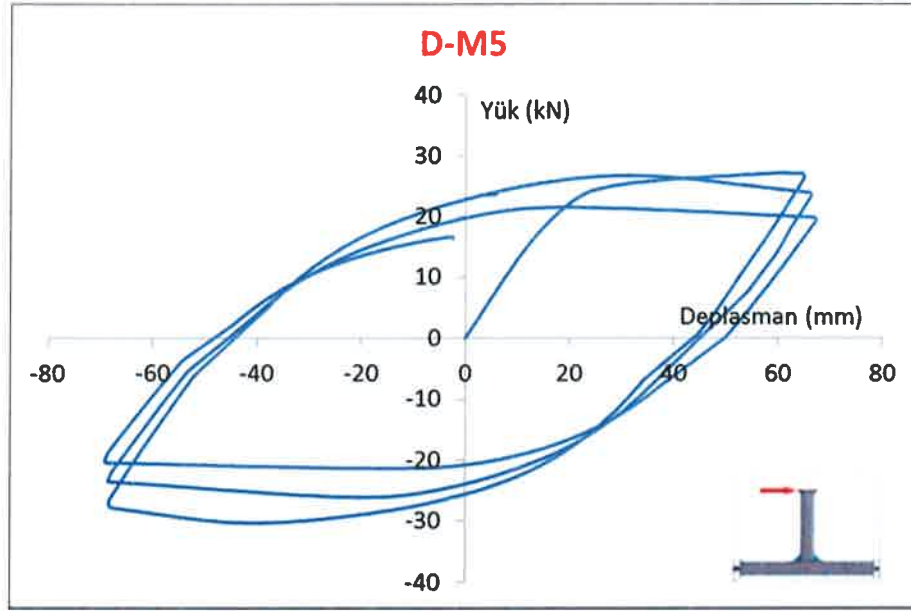
a) Kirişte plastik mafsal hali önden görünüm



b) Kirişte plastik mafsal hali yandan görünüm

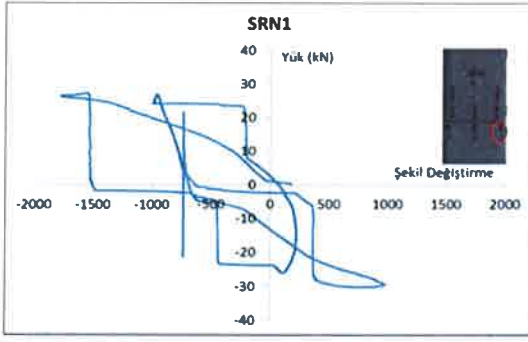
Şekil 4.36. D-M5 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali)

Birleşime eklenen 350*344*8 mm boyutlarındaki başlık levhası sayesinde, kolon üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar davranışı etkilemeyecek düzeyde tutulmuş ve birleşim rijit bir davranış sergilemiştir. Şekil 4.37’de D-M5 nolu numuneye ait kapasite eğrisi gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşumunu takip eden döngülerde birleşim yük almaya devam etmesine rağmen kapasitede bir miktar azalma olmuştur. Kullanılan başlık levhası cidar kalınlığının D-M2 numunesine göre büyümesi kapasitede az miktarda artış sağlamakta olup, davranış önceki başlık levhali numunelerle benzer nitelik göstermiştir. Deplasman ölçer ve gerinim pullarından elde edilen sayısal veriler de bu paralellikte değişmiştir.

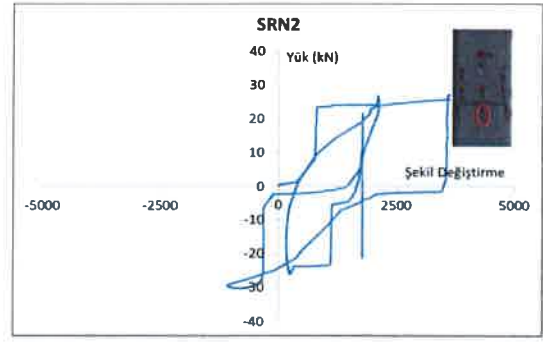


Şekil 4.37. D-M5 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

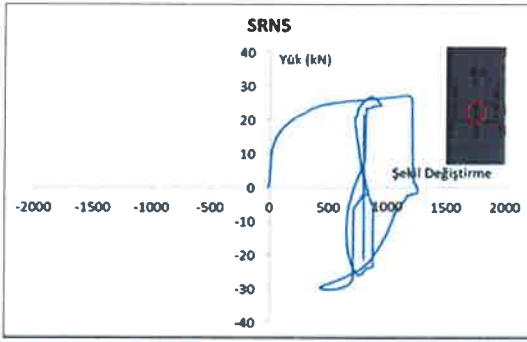
Deney numunelerinin her iki yüzüne simetrik olarak yerleştirilen gerinim pullarından elde edilen şekil değiştirme değerlerinin birbiriyle paralellik göstermesi nedeniyle, bu deney numunesinde gerinim pulları numunenin bir yüzüne yerleştirilmiş olup öncekilerden farklı olarak kolona Srn 1 nolu ikinci bir gerinim pulu yerleştirilmiştir. D-M5 nolu bu numunede kolon üzerinde gözle görülür bir deformasyon tespit edilmemesine rağmen kolon üzerine yerleştirilen gerinim pullarında şekil değiştirmeler tespit edilmiştir (Şekil 4.38.a.b). 8 mm. cidar kalınlığındaki başlık levhasının rijit kaldığı, kolonda meydana gelen şekil değiştirmelerin ise lineer sınırlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın, kolon yüzeyindeki gerinim pullarından elde edilen veriler, bu numunede sönümlemenin kolon yüzeyinde karşılandığını göstermiştir. Srn 9 nolu gerinim pulu kiriş başlığında şekil değiştirmenin gerçekleştiği noktada yer almakta olup bu gerinim pulundan alınan verilere göre plastik mafsal oluşum anında yük artımı meydana gelmeden şekil değiştirmenin -1000 değerinden -4000 değerine ulaştığı ve şekil değiştirmenin burkulma durumuna bağlı olarak ilerlediği görülmüştür. Şekil 4.38.d'de kiriş üzerinde plastik mafsal oluşumu görülmektedir.



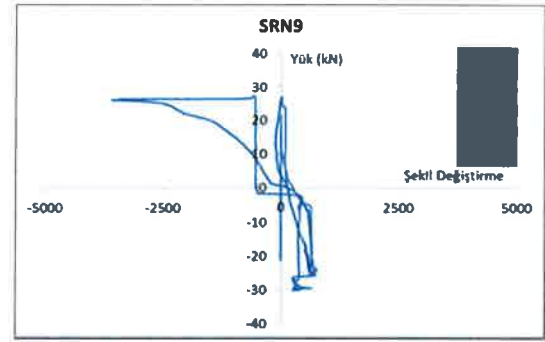
a) Srn 1 yük-şekil değiştirme eğrisi



b) Srn 2 yük-şekil değiştirme eğrisi



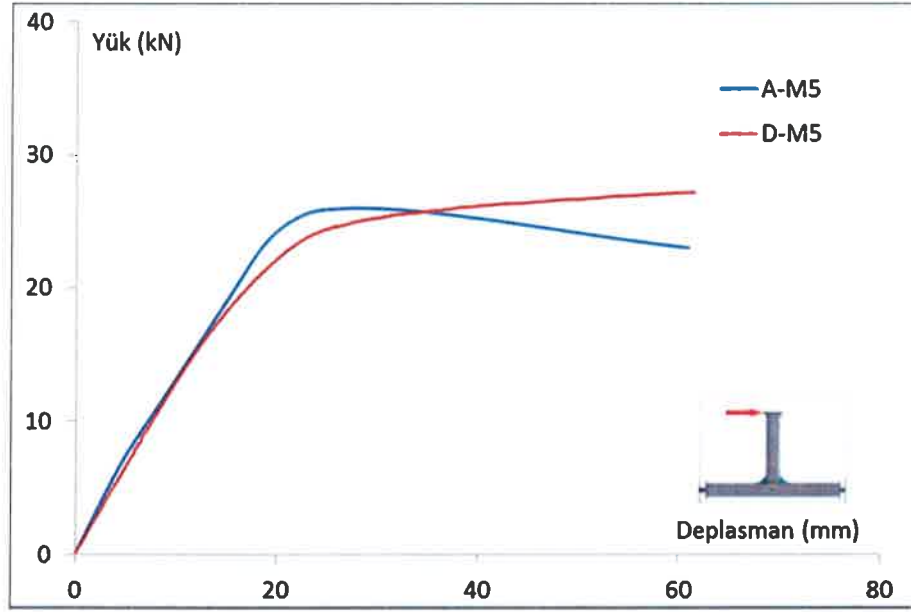
c) Srn 5 yük-şekil değiştirme eğrisi



d) Srn 9 yük-şekil değiştirme eğrisi

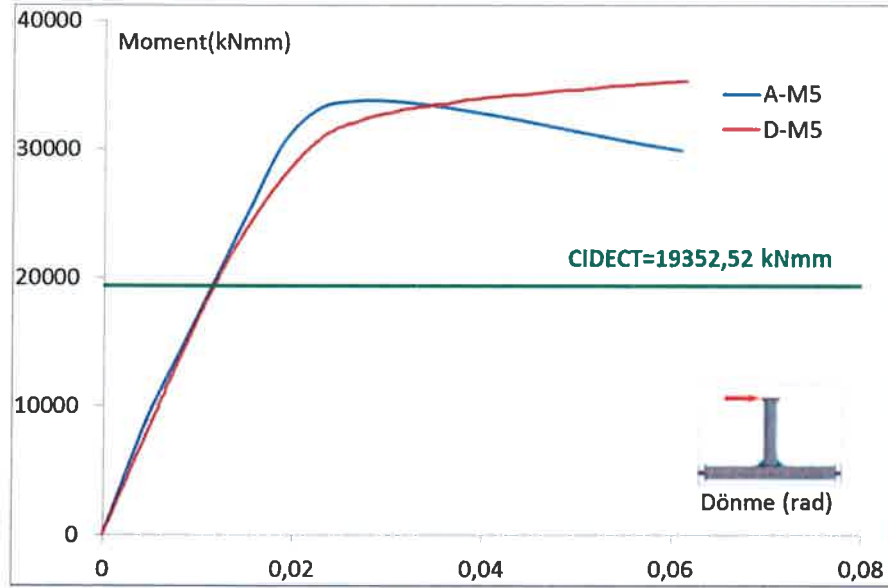
Şekil 4.38. D-M5 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

D-M5 numunesi için ANSYS programında oluşturulan A-M5 nolu sayısal model için yapılan analizde elde edilen kapasite eğrisi, Şekil 4.39'da deneysel analiz ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafikte, sayısal ve deneysel analizin birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. Kapasite eğrileri nihai değer bakımından eşit olmakla birlikte diğer numunelere benzer şekilde bu değere ulaşma zamanları deneysel düzeneğin sahip olduğu yükleme kolunun etkisi nedeniyle farklılık göstermektedir.



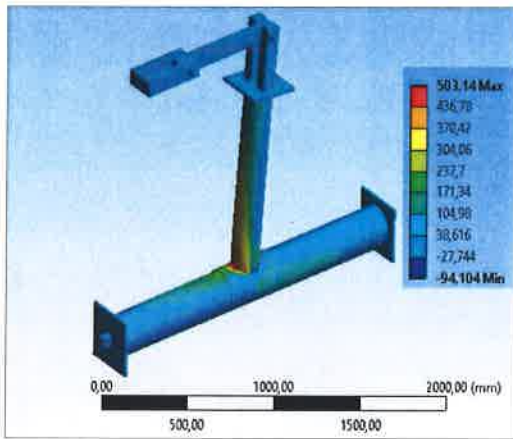
Şekil 4.39. D-M5 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.40'da deneysel ve sayısal analizden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik değişimleri sunulmuştur. 350*344*8 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M5 numunesi için, CIDECT'de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiş olup, moment-dönme ilişkisi bakımından kıyaslandığında sayısal ve deneysel modellerin, CIDECT'e göre hesaplanan bu moment değerini sağladığı görülmüştür. D-M2 numunesi için CIDECT'de verilen amprik formüller kullanılarak hesaplanan moment değeri 21035,53 kNmm iken, başlık levhası boyutu aynı kalmak üzere cidar kalınlığı miktarının artması ile değişen γ değeri için yeniden hesaplanan moment değeri 19352,52 kNmm olarak hesaplanmıştır.

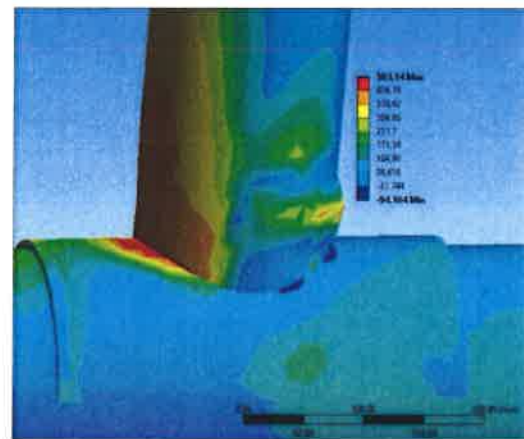


Şekil 4.40. D-M5 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

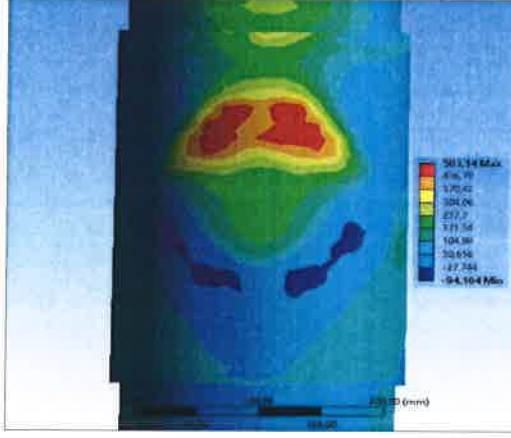
D-M5 nolu numune için yapılan deneysel analiz sonucunda elde edilen şekil değiştirmiş hal ve gerilme dağılımları deneysel analizle örtüşmektedir. Kullanılan başlık levhası boyutunun bir önceki numuneye göre 50 mm daha uzun olmasının kolon üzerinde oluşan gerilme dağılımını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Levha boyunun uzaması ile levha sınırı düğüm noktasından uzaklaşmış, oluşan reaksiyon kuvvetleri azalmıştır. Şekil 4.41.c ve d’de başlık levhasının kolon üzerinde oluşacak olan gerilme yığılmalarını kendi üzerinde topladığı ve kolonu bu gerilmelerden koruduğu görülmektedir. Cidar kalınlığındaki artışın kolon üzerindeki gerilme dağılımında oluşturduğu azalma Şekil 4.41.d’de açıkça görülmektedir.



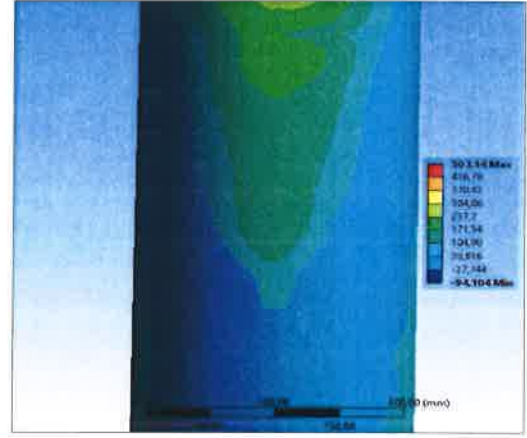
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



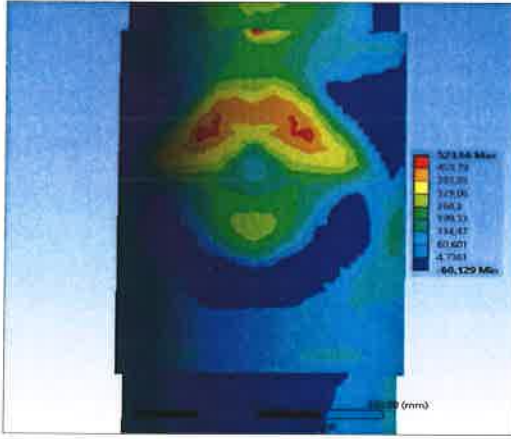
b) Kolon – kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



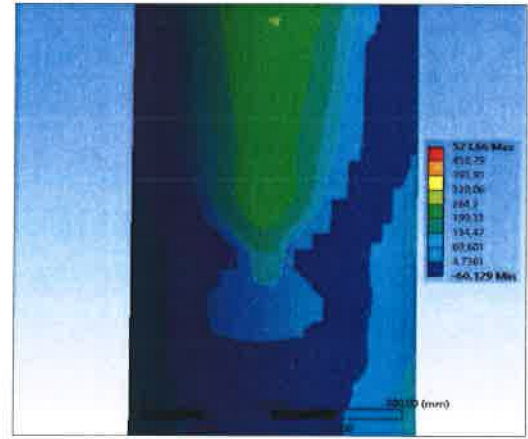
c) A-M5 nolu numune başlık levhası gerilme dağılımı



d) A-M5 nolu numune kolon üstü gerilme dağılımı



e) A-M2 nolu numune başlık levhası gerilme dağılımı



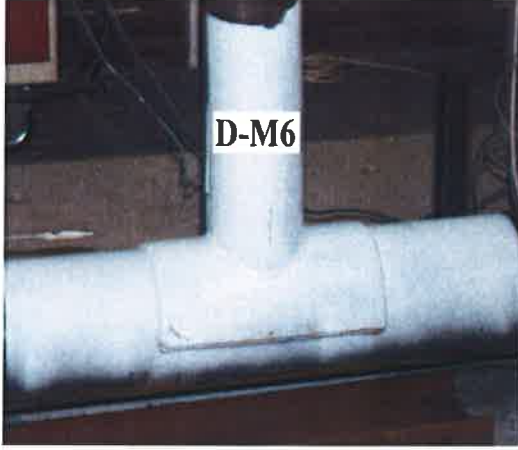
f) A-M2 nolu numune kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.41. A-M5 ve A-M2 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.1.7. D-M6, A-M6 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

D-M6 numunesi başlık levhalı birleşimin çevrimsel olarak etkiyen statik artımsal yükleme koşulları altındaki davranışını incelemek için tasarlanmıştır. Birleşim D219,1-5 mm dairesel kesitli kolon ve D168,3-4 mm dairesel kesitli kiriş kullanılarak imal edilmiştir. 400*344*6 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M6 numunesi, D-M3 numunesinden başlık levhasının cidar kalınlığı bakımından ayrılmaktadır. Bu birleşim tipinde 400*344*8 mm ebatında başlık levhası kullanılmıştır. Birleşimlerde kullanılan kaynak dikişi kalınlığı 6 mm'dir.

D-M6 numunesinde düğüm noktasına eklenen başlık levhası ile kiriş başlığının kolon başlığında meydana getirdiği lokal deformasyon etkilerinin önlenmesi amaçlanmış olup, Şekil 4.42’de numunenin deney öncesi hali görülmektedir.



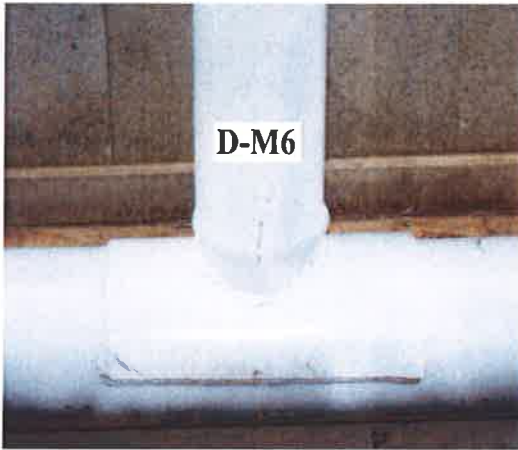
a) Yükleme öncesi genel görünüm



b) Başlık levhası yerleşimi genel görünümü

Şekil 4.42. D-M6 nolu numunenin deney öncesi genel görünümü

Bu deneyde kolon üzerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamış olup, güçlü kolon zayıf kiriş prensibine uygun olarak kirişte plastik mafsallı oluşumu gerçekleşmiştir. Kiriş üzerinde meydana gelen burkulma durumu önceki numunelere benzer şekilde ring halkası şeklinde oluşmuştur. Şekil 4.43’de eğilme etkisi altında kirişte meydana gelen deformasyon durumları fotoğraflanmıştır.



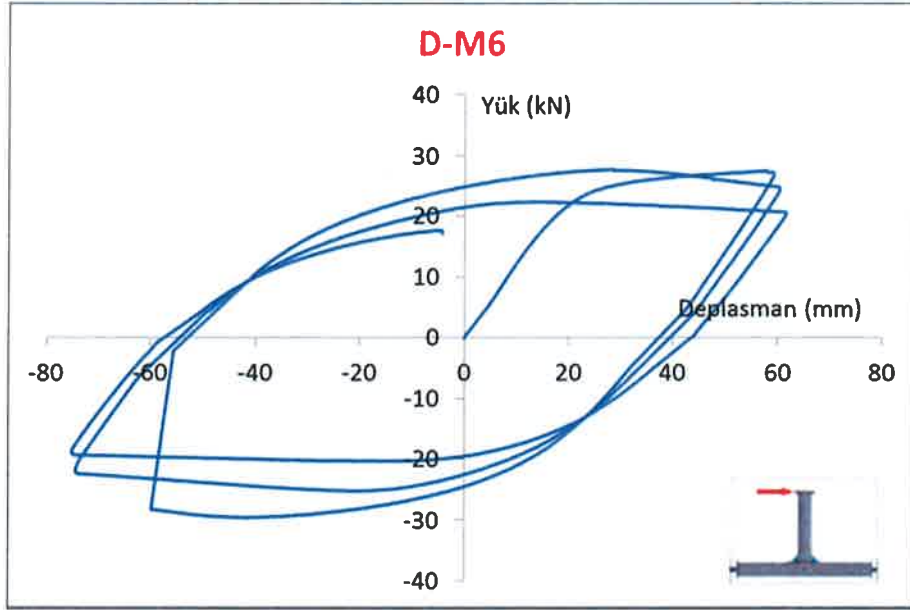
a) Şekil değiştirmiş durum ön görünüm



b) Şekil değiştirmiş durum yan görünüm

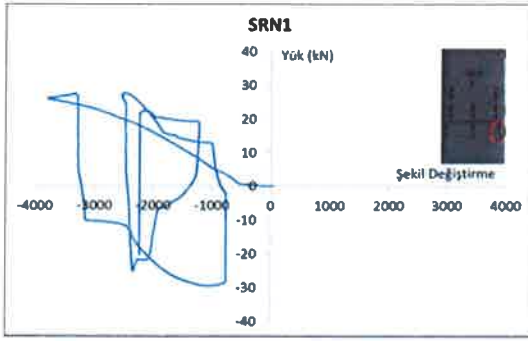
Şekil 4.43. D-M6 nolu numunede deformasyon durumu (kirişte burkulma hali)

Birleşime eklenen başlık levhası sayesinde, kolon üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar davranışı etkilemeyecek düzeyde tutulmuş ve birleşim rijit bir davranış sergilemiştir. Düğüm noktası kapasitesini, kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirme değil, kiriş plastikleşme momenti belirlemiştir. Şekil 4.44'de D-M6 numuneye ait kapasite eğrisi gösterilmiştir. Plastik mafsall oluşumunu takip eden döngülerde birleşim yük almaya devam etmesine rağmen kapasitede bir miktar azalma olmuştur. Kullanılan başlık levhası cidar kalınlığının D-M3 numunesine göre büyümesi kapasitede az miktarda artış sağlamakta olup, davranış önceki numunelerle benzer nitelik göstermiştir. Deplasman ölçer ve gerinim pullarından elde edilen sayısal veriler de bu paralellikte değişmiştir.

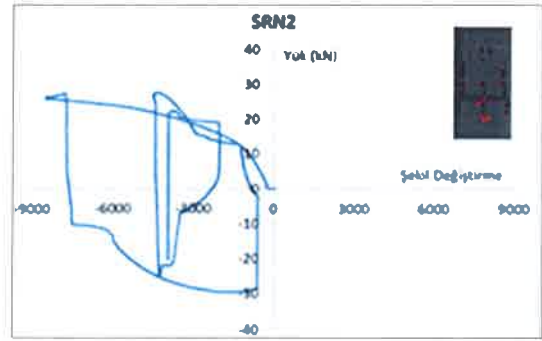


Şekil 4.44. D-M6 nolu deney numunesinin yük-deplasman eğrisi

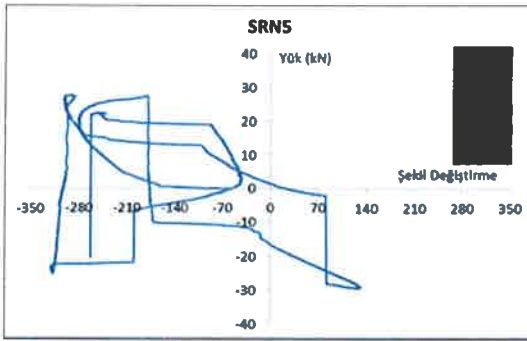
D-M6 numunesinde kolon üzerinde gözle görülür bir deformasyon tespit edilmemesine rağmen kolon üzerine yerleştirilen gerinim pullarında şekil değiştirmeler tespit edilmiştir (Şekil 4.45.a.b). 8 mm. cidar kalınlığındaki başlık levhasının rijit kaldığı, kolonda meydana gelen şekil değiştirmelerin ise lineer sınırlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın kolon yüzeyindeki gerinim pullarından elde edilen veriler, bu numunede sönümlemenin kolon yüzeyinde karşılandığını göstermiştir. Şekil 4.45.d'de kiriş üzerinde meydana gelen plastik mafsall hali görülmektedir.



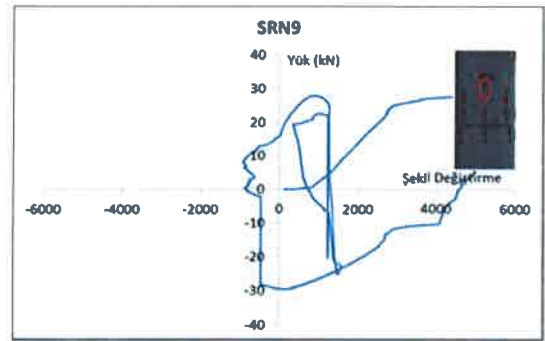
a) Srn 1 yük-şekil değiştirme eğrisi



b) Srn 2 yük-şekil değiştirme eğrisi



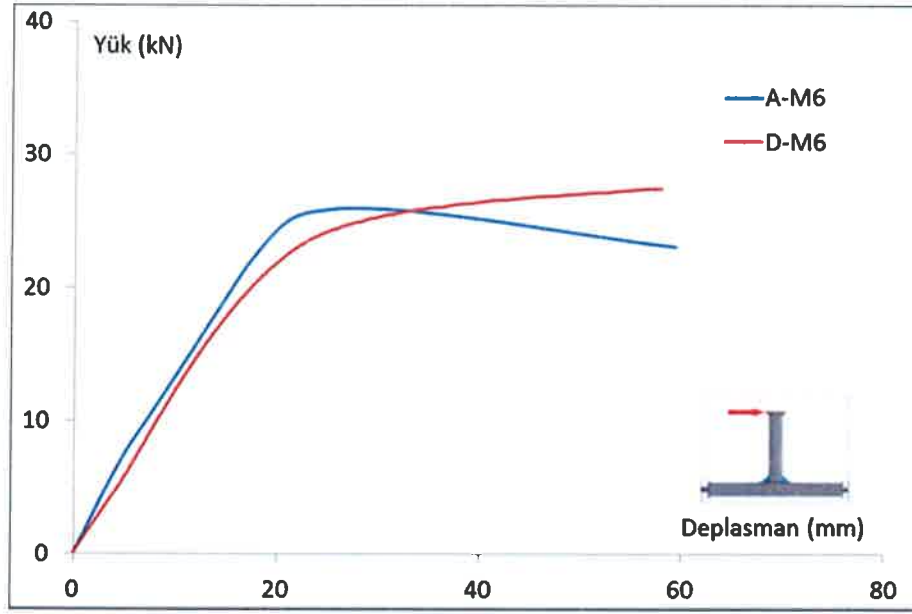
c) Srn 5 yük-şekil değiştirme eğrisi



d) Srn 9 yük-şekil değiştirme eğrisi

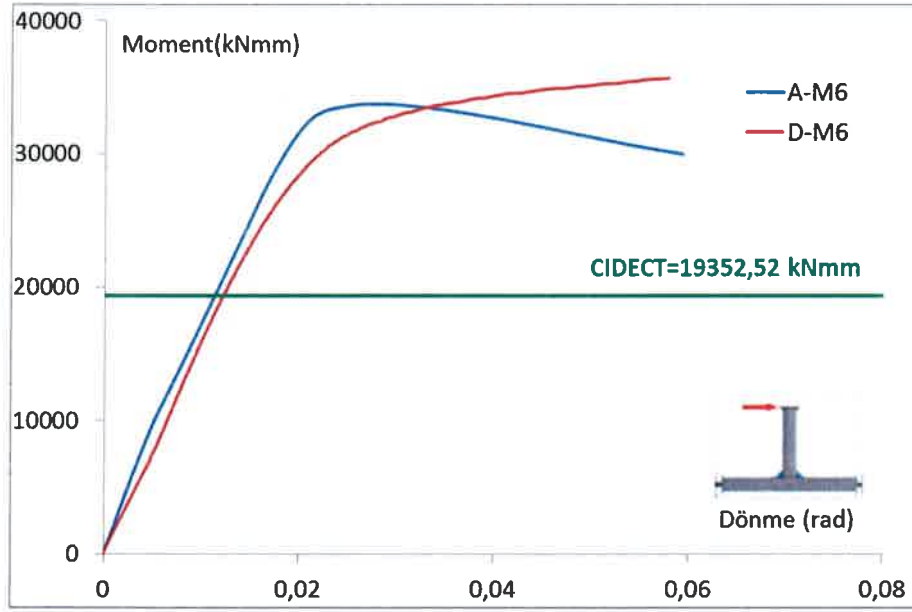
Şekil 4.45. D-M6 nolu numunenin gerinim pulu yük-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 4.46'da D-M6 modeli için ANSYS programı ile yapılan sayısal analizden elde edilen yük-deplasman eğrisinin deneysel analiz ile örtüştüğü görülmektedir. Özellikle elastik bölgede bir uyum içerisinde olan deneysel ve sayısal analiz yük eğrilerinin, nonlinear kısımda kapasite değeri olarak birbiri ile uyuşmalarına rağmen, bu değere ulaşma zamanları arasında farklılık bulunmaktadır.



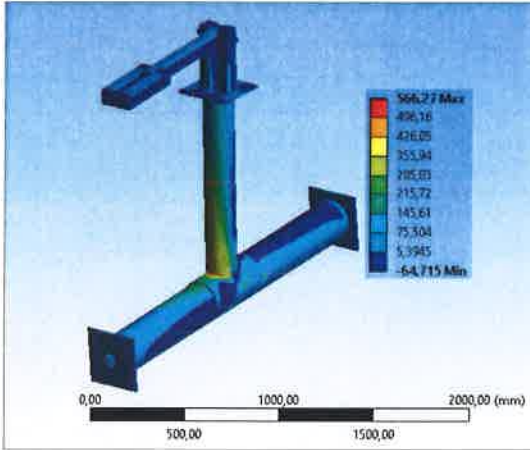
Şekil 4.46. D-M6 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.47'de deneysel ve sayısal analizden elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik değişimleri sunulmuştur. 400*344*8 mm ebatlarında başlık levhası kullanılarak oluşturulan D-M6 numunesi için, CIDECT'de verilen amprik formül kullanılarak hesaplanan moment değeri grafikte sınır durum olarak işaretlenmiş olup, ANSYS sayısal analizi ve deneysel analiz sonucu elde edilen moment-eğrilik değişimlerinin bu sınır değeri sağladığı görülmüştür. D-M3 numunesi için CIDECT'de verilen amprik formüller kullanılarak hesaplanan moment değeri 21035,53 kNmm iken, başlık levhası boyutu aynı kalmak üzere cidar kalınlığı miktarının artması ile değişen γ değeri için yeniden hesaplanan moment değeri 19352,52 kNmm olarak hesaplanmıştır.

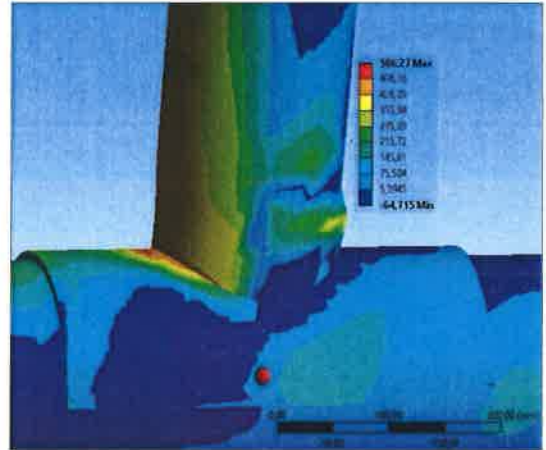


Şekil 4.47. D-M6 nolu modelin deneysel ve sayısal analiz moment-dönme eğrilerinin karşılaştırılması

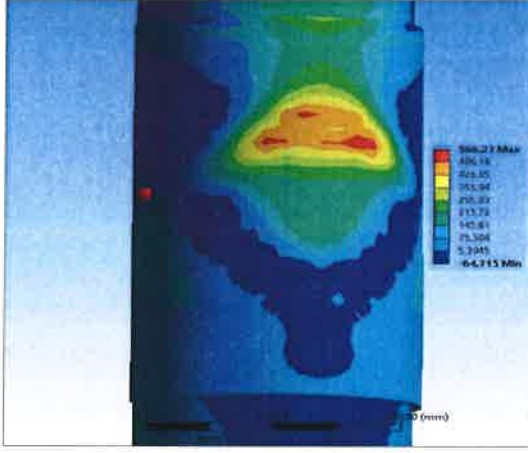
D-M6 nolu numune için deforme olmuş durum ve gerilme dağılımları için elde edilmiş sayısal sonuçlar Şekil 4.48'de gösterilmiştir. D-M6 nolu numune için yapılan deneysel analiz sonucunda elde edilen şekil değiştirmiş hal ve gerilme dağılımları deneysel analizle örtüşmektedir. Şekil 4.48.d ve f'de, cidar kalınlığındaki artışın kolon üzerindeki gerilme dağılımını grafikçe bir alt sınır durumunu temsil eden renk değerine taşıdığı açıkça görülmektedir.



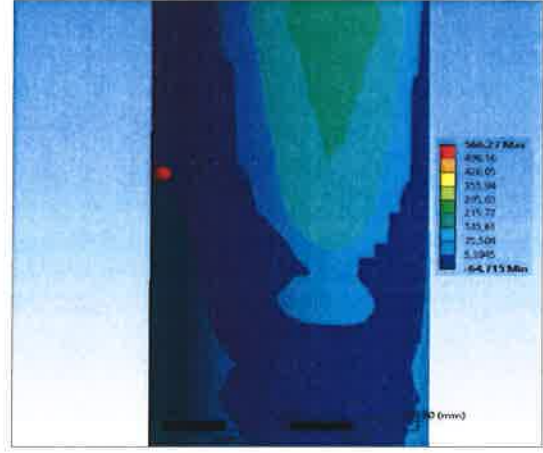
a) Deformasyon altında sayısal model genel görünümü



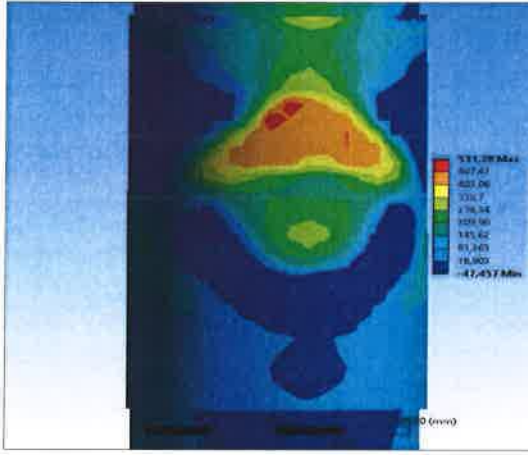
b) Kolon - kiriş birleşim bölgesi gerilme dağılımı



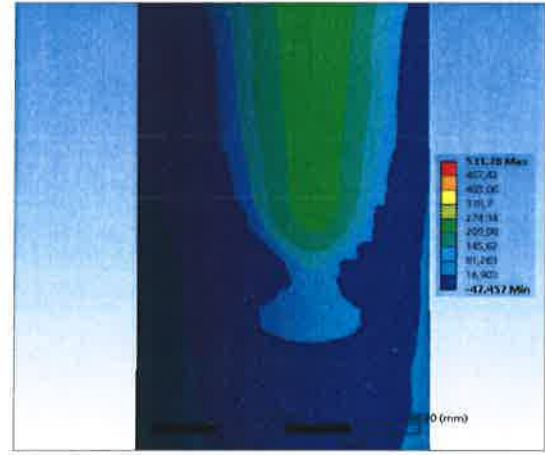
c) A-M6 nolu numuneye ait başlık levhası gerilme dağılımı



d) A-M6 nolu numuneye ait kolon üstü gerilme dağılımı



e) A-M3 nolu numuneye ait başlık levhası gerilme dağılımı



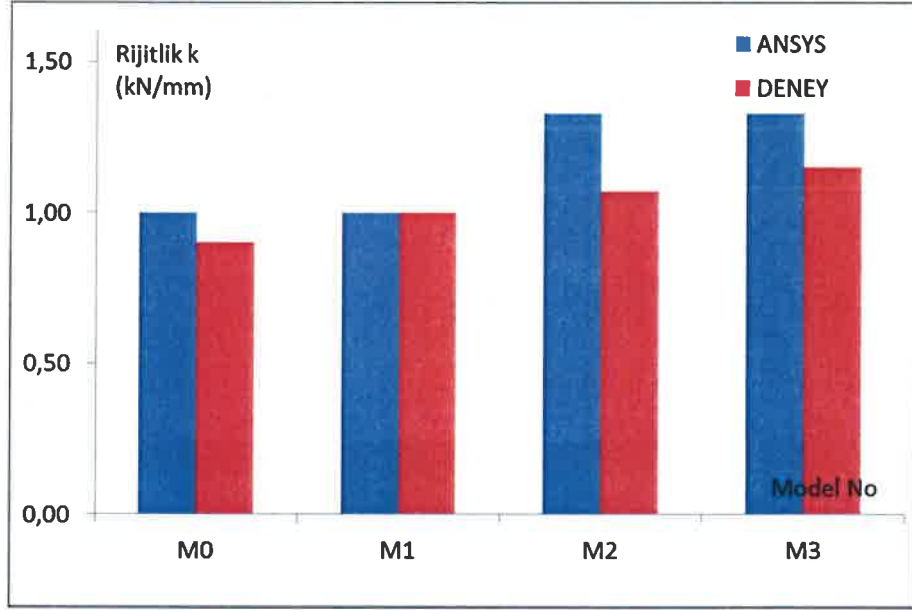
f) A-M3 nolu numuneye ait kolon üstü gerilme dağılımı

Şekil 4.48. A-M6 ve A-M3 nolu modellere ait sayısal analiz sonucu gerilme dağılımları

4.2. Deneysel ve Sayısal Model Rijitlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Deneysel ve ANSYS sonlu elemanlar programı ile sayısal analizleri yapılan numuneler için elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak, düğüm noktası bir birim deplasman için rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Rijitliklerin hesaplanmasında kapasite eğrilerinin lineer bölgedeki eğimi kullanılmıştır. Şekil 4.49 ve 4.50'de şahit numune ile cidar kalınlıkları farklı başlık levhası eklenerek oluşturulan numunelerin rijitlik değişimleri karşılaştırılmıştır.

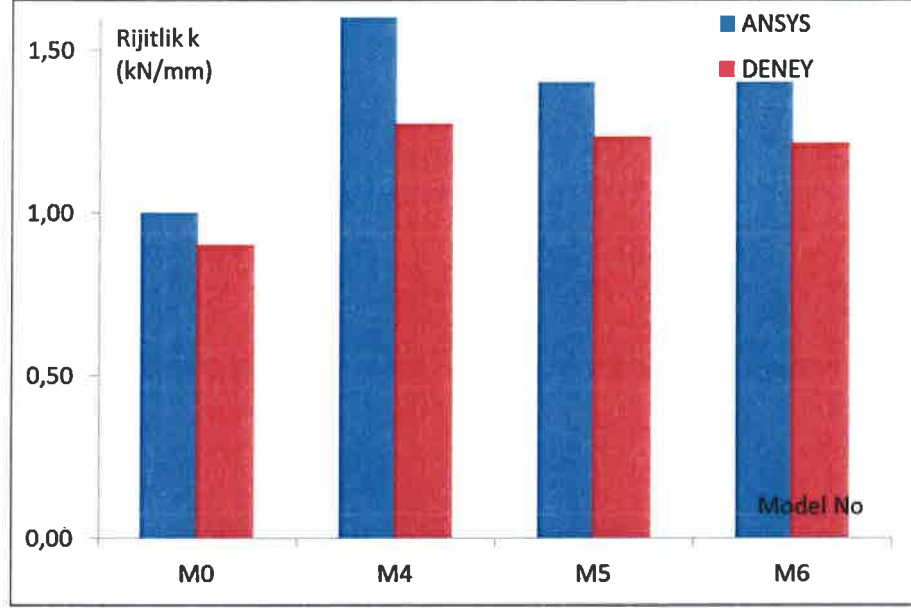
Şekil 4.49’da birleşimin şahit numune ve 6 mm cidar kalınlığına sahip farklı boyutlardaki başlık levhali numunelerin sayısal ve deneysel analiz sonucu hesaplanan rijitlik değerleri gösterilmiştir. Buna göre, başlık levhası kullanılan numunelerde şahit numuneye kıyasla rijitlikte artış sağlandığı hem sayısal hem de deneysel analiz sonuçlarından görülmektedir. Ayrıca, başlık levhası V_a boyunun rijitlik üzerinde etkili olduğu, levha boyu artışı ile rijitliğin paralel olduğu, düğüm noktasında güçlü kolon zayıf kiriş prensibine daha da yaklaşıldığı görülmektedir. Birleşime eklenen 6 mm cidar kalınlığına sahip başlık levhası ile birlikte rijitlikte deneysel analiz sonucuna göre %28, sayısal analize göre %33 oranında artış sağlanmıştır.



Şekil 4.49. Şahit numune ve 6 mm cidar kalınlığında başlık levhali numunelerin rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

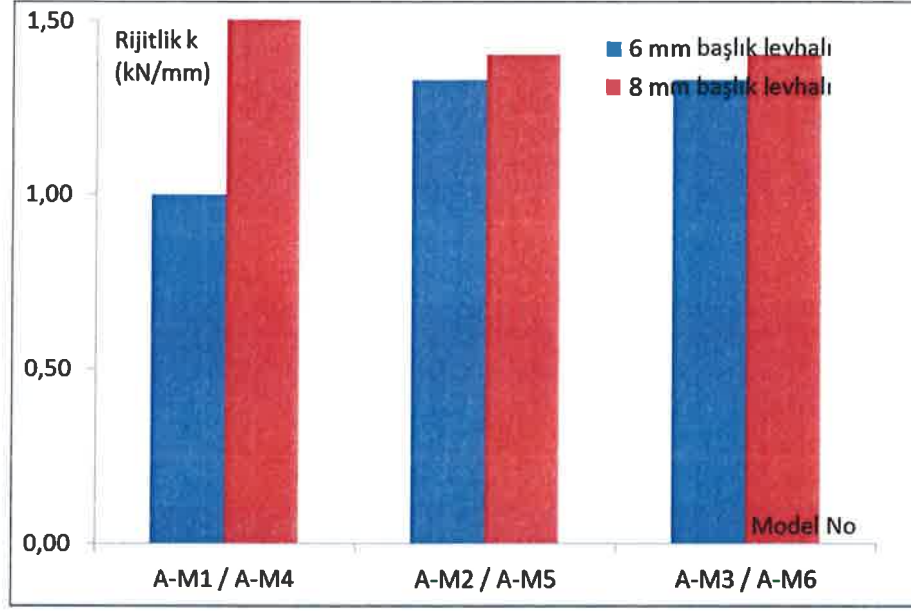
Şekil 4.50’de birleşimin şahit numune ve 8 mm cidar kalınlığına sahip farklı boyutlarda başlık levhali numunelerin sayısal ve deneysel analiz sonucu hesaplanan rijitlik değerleri gösterilmiştir. Buna göre düğüm noktası şahit numune açısından değerlendirildiğinde, başlık levhasının birleşim rijitliğini arttırdığı görülmüştür. Ancak, bu artışı gösteren grafik incelendiğinde; boyutsal parametre bakımından en küçük levhanın kullanıldığı numunede rijitlik değişimi diğerlerine kıyasla ayrılmıştır. Bu durum, kolon yüzeyine sadece levha kenarı boyunca bağlantısı sağlanan başlık levhasının, kolondan bağımsız davranan yüzeyinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzey arttıkça, rijitlikte buna paralel olarak azalmaktadır.

Ancak, şahit numuneye kıyasla başlık levhalı numunelerde birleşim istenilen rijitlik düzeyine gelmekte ve kirişte plastik mafsalsal duruma gelebilecek kapasite değerine ulaşmaktadır.

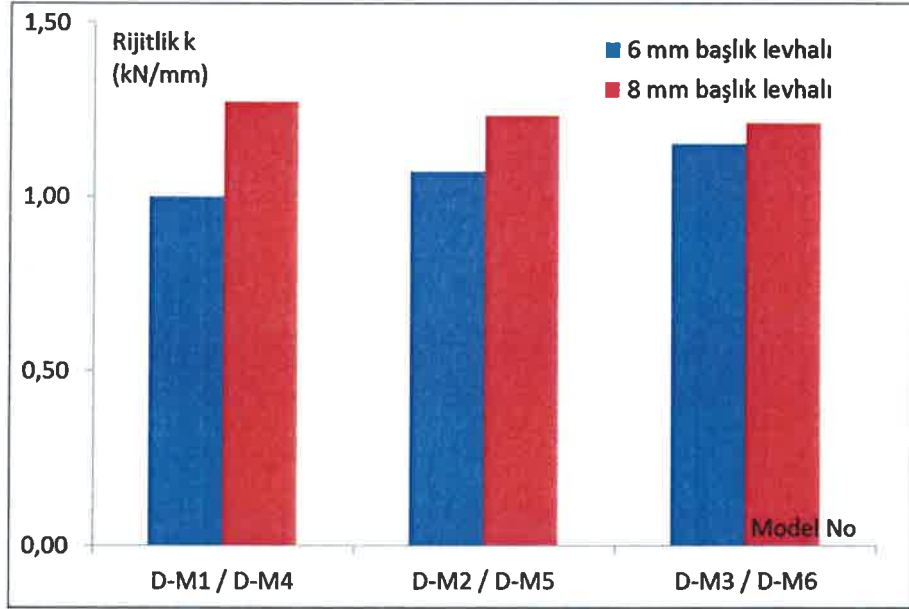


Şekil 4.50. Şahit numune ve 8 mm cidar kalınlığında başlık levhalı numunelerin rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.51 ve 4.52’de numunelerin deneysel ve sayısal analiz sonucuna göre rijitlik değerleri cidar kalınlığının etkisi altında değerlendirilmiştir. Buna göre, birleşime eklenen başlık levhası cidar kalınlığındaki artışın birleşim rijitliğiyle paralel seyrettiği ancak, cidar kalınlığı ile beraber levha boyutundaki artışın düğüm noktası rijitliğini aynı oranda etkilemediği görülmektedir. Önceden de belirtildiği gibi bu durum, kullanılan levhanın montaj şekliyle irtibatlı olarak basınç ve çekme etkisi altında farklı reaksiyonlar üretmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.51. 6-8 mm cidar kalınlığında başlık levhalı numunelerin ANSYS sayısal analiz sonucuna göre rijitlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.52. 6-8 mm cidar kalınlığında başlık levhalı numunelerin deneysel analiz sonucuna göre rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

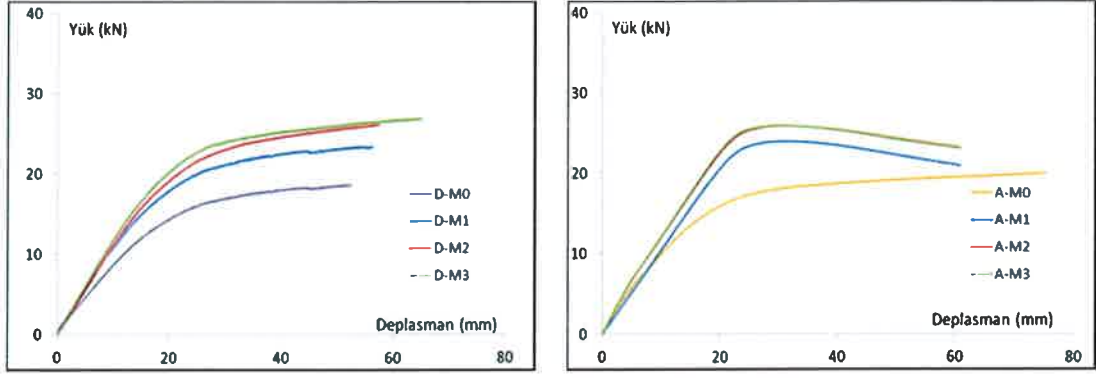
Çelik yapı sistemlerinin sismik bir etki altındaki davranışı malzeme özellikleri, kesit geometrileri ve birleşim detaylarına bağlıdır. Bu bağlamda, kiriş-kolon birleşimlerinin biçimsel özellikleri, elemanın malzeme özellikleri ve eleman kesit özellikleri birleşimin dönme kapasitesinde önemli bir etken durumundadır. Kiriş-kolon birleşim noktalarında gevrek kırılmaların olmaması bunun yerine, bu noktaların sistemin sünekliğine uygun bir davranış sergilemesi istenir. Ancak, son yıllarda meydana gelen depremlerde bu sünekliğin istenildiği gibi sağlanamadığı görülmüştür. Bu nedenle, deprem esnasında malzeme bakımından yüksek süneklik özelliğine sahip çeliğin süneklik özelliklerinin sistem davranışına yansıtılabilmesi ve uygun birleşim detaylarının belirlenmesi amacıyla çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır. Ülkemizde TDY 2007'de çelik yapılara ait birleşim tipleri için belirtilen süneklik detayları sadece I profillerini kapsamaktadır. Yönetmelikte, düğüm noktası davranışını olumsuz etkileyebilecek gevrek kırılma, yapı elemanlarında oluşabilecek lokal burkulma ve panel bölgesi ezilmesi gibi etkenlerin önlenmesi amacıyla sadece I profiller için düğüm noktası detaylarında ek levhaların kullanımı tanımlanmıştır. Bu çalışmaya da konu olan dairesel kesitli profiller ile yapılacak olan birleşimlerde, yönetmelikte belirtilen detaylar ile dairesel kesitli bir profilin dizayn edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, dairesel kesitli profiller kullanılarak imal edilen birleşimin, panel bölgesi ezilmesi, kolon üzerinde meydana gelecek lokal burkulma etkileri ve gevrek kırılma gibi plastik şekil değiştirmelere gösterebileceği davranış belirsiz olup bu durum birleşim bütünlüğünü tehlikeye sokmaktadır.

Bu çalışmada, dairesel kesitli profiller kullanılarak dizayn edilen kolon ve kiriş birleşimine eklenen farklı ebatlardaki (boy-kalınlık) başlık levhalı elemanlar ile kolon üzerinde meydana gelebilmesi ihtimal burkulma ve buruşma gibi şekil değiştirmeler önlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada deneysel ve sayısal analizler, başlık levhasız (şahit numune) ve çeşitli ebatlarda başlık levhalı olmak üzere iki ana başlık altında gruplandırılmıştır. Eğilme etkisi altındaki birleşimde, kolonda oluşan lokal burkulma etkilerini engelleyebilmek amacıyla başlık levhası elemanları kullanılmıştır. Birleşime ait kolon ve kiriş boyutları sabit tutularak başlık levhası boyutları değiştirilmiş, bu sayede farklı boyutlardaki başlık levhalarına sahip belirli

bir birleşimin moment taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Her bir model için, dairesel kesitli birleşimler için CIDECT’de belirtilen formüllerden elde edilen nihai moment taşıma kapasiteleri ile deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen moment taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bu şekilde, değişen boyutsal parametrelere göre (β ve γ değerleri) birleşime eklenen başlık levhasının, kiriş-kolon birleşim noktası davranışına katkısı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda; çalışmada başlık levhasız olarak dizayn edilen şahit numune niteliğinde olan model üzerinde yapılan analizlerde, eğilme etkisi altında kolonda deformasyon meydana gelmiş ve beklenen güçlü kolon-zayıf kiriş davranışı sergilenememiştir. Eğilme etkisi altındaki düğüm noktasında, kolon üzerindeki deformasyonları engellemek ve kolon rijitliğini arttırmak için aynı birleşim altı farklı başlık levhası ile tekrar deneye tabi tutulmuştur. Şahit numune ve farklı cidar kalınlığı ile değişik levha boyutlarına sahip başlık levhalı numunelerin eğilme etkisi altındaki yük deplasman eğrileri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde, düğüm noktasına eklenen başlık levhalarının düğüm noktası kapasitesine sağlamış olduğu katkı açıkça görülmektedir. Başlık levhalı tüm modellerde kolon üzerindeki deformasyon engellenmiş buna bağlı olarak da kolonda yeterli rijitlik sağlanarak, gerilme yığılmaları kolon üzerinden kiriş üzerine kaymıştır. Bu sayede, birleşimde yeterli düzeyde rijitlik elde edilmiş, kiriş moment taşıma kapasitesine ulaşmış ve plastik mafsallı oluşumu meydana gelmiştir.

Şekil 5.1 ve 5.2’de şahit numune, başlık levhalı numunelerden elde edilen yük deplasman eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada 3 farklı boyutsal değişime sahip levhalar, iki farklı cidar kalınlığı altında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan Şekil 5.1’de 6 mm cidar kalınlığına sahip levha ile güçlendirilmiş numunelere ait kapasite eğrileri verilmiştir. Grafik incelendiğinde, hem sayısal hem de deneysel analizlerden elde edilen sonuçlardan tüm başlık levhalı durumlarda kapasite artışının sağlandığı görülmektedir. Levha boyutları kendi aralarında kıyaslandığında ise, kapasitedeki en büyük artışın en büyük levha boyutuna sahip numunede elde edildiği tespit edilmiştir.

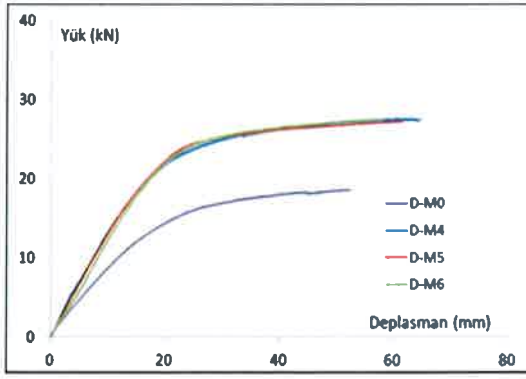


a) Deneysel analiz sonuçları

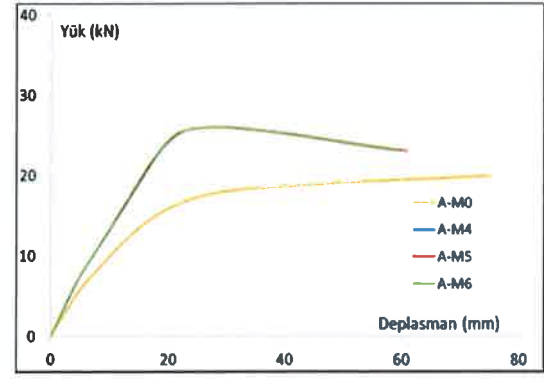
b) ANSYS sayısal analiz sonuçları

Şekil 5.1. Şahit numune ve 6 mm kalınlığında başlık levhali numunelerin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Çalışma kapsamındaki 8 mm cidar kalınlığına sahip ikinci tip levha ile güçlendirilmiş numunelere ait kapasite eğrileri Şekil 5.2’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 6 mm kalınlığa sahip başlık levhali numunelerde olduğu gibi hem sayısal hem de deneysel analizlerden elde edilen sonuçlarda tüm başlık levhali numunelerde kapasite artışının sağlandığı görülmektedir. Bu grafiğin 6 mm cidar kalınlığından ayrıştığı en belirgin nokta boyutsal değişimlerin kapasite eğrisine etkisidir. 8 mm kalınlığındaki levhaya ait bu analizlerde levha boyutu değişmesine rağmen kapasite eğrisinin değişimi etkilenmemiş, en küçük ve en büyük boyutlara sahip levhanın kapasite eğrisi aynı düzlemde sonuçlar vermiştir. Bu durum, kolon başlığına sadece levha kenarları boyunca sabitlenen levhanın eğilme etkisi altında kolondan bağımsız davranışın sınırlandırılmasından kaynaklanmaktadır. 6 mm cidar kalınlığına sahip levhaların kullanıldığı numunelerde, eğilme etkisi altında başlık levhasının kolon başlığından bağımsız davranması sonucunda levha üzerinde oluşacak lokal deformasyonlardan yine levhanın etkilenmesinin önüne geçememiştir. Ancak, 8 mm cidar kalınlığına sahip levhanın kullanıldığı numunelerde cidar kalınlığındaki artışın levhanın deformasyonunu sınırlamasına rağmen, üzerinde meydana gelen deformasyonların birleşimin kapasite eğrisini etkilemediği görülmüştür.



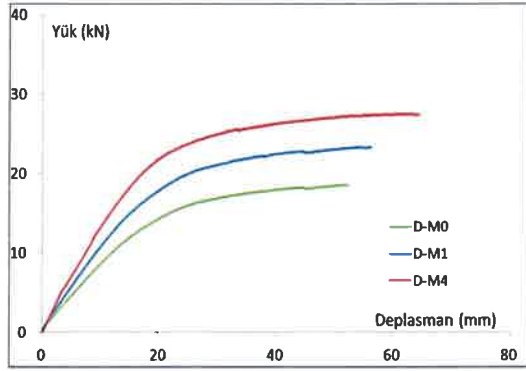
a) Deneysel analiz sonuçları



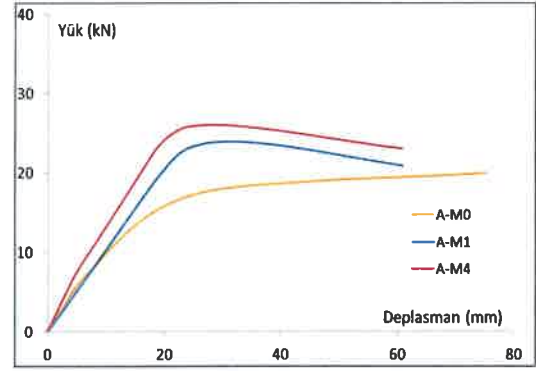
b) ANSYS sayısal analiz sonuçları

Şekil 5.2. Şahit numune ve 8 mm kalınlığında başlık levhali numunelerin yük deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

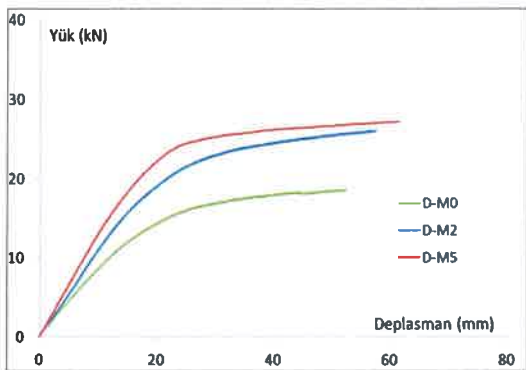
Şekil 5.3'de aynı boyutsal parametrelerde farklı cidar kalınlığına sahip numunelere ait kapasite değerleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Burada, aynı boyutta başlık levhası kullanılan numunelerde 8 mm cidar kalınlığının daha etkin bir rijitlik sergilediği tespit edilmiştir.



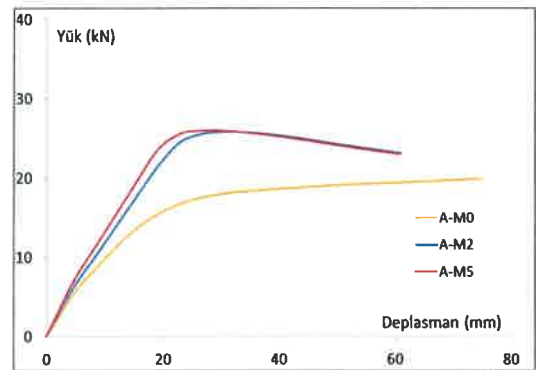
a) Deneysel analiz sonuçları
(300*344*6/8)



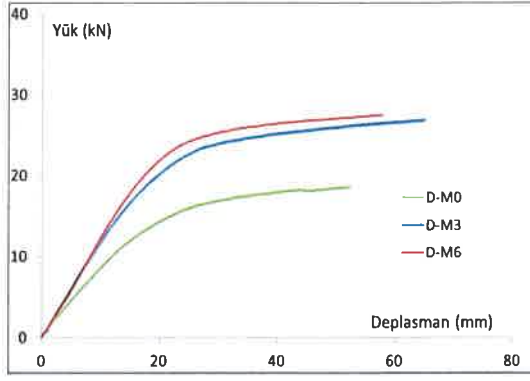
b) ANSYS sayısal analiz sonuçları



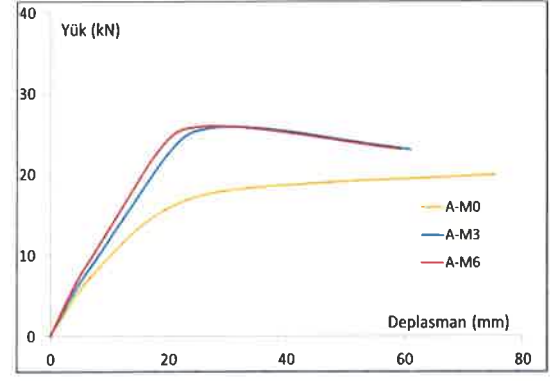
c) Deneysel analiz sonuçları
(350*344*6/8)



d) ANSYS sayısal analiz sonuçları



e) Deneysel analiz sonuçları
(400*344*6/8)



f) ANSYS sayısal analiz sonuçları

Şekil 5.3. Şahit numune ve başlık levhalı numunelere ait yük-deplasman eğrilerinin farklı cidar kalınlığında kapasite değişimlerinin karşılaştırılması

Sonuç olarak eğilme etkisi altında dairesel kesitli profillerin kullanıldığı birleşimlerin test edildiği bu çalışmada:

1. Çeşitli boyut ve cidar kalınlığına sahip tüm başlık levhalı numunelerde, birleşimlerde meydana gelen lokal deformasyonların önüne geçilmiş olup, kirişte plastik mafsalları oluşumunu sağlayacak rijitlik değerleri elde edilmiştir.
2. Literatürde, bu tipte bir birleşim için kullanılacak olan başlık levhalarında levha genişliği, birleşime giren kolon çevre uzunluğunun yarısına eşit değildir. Ayrıca cidar kalınlığının birleşime giren kiriş cidar kalınlığının iki katı olması noktasındaki öneriler üzerinden yola çıkılarak, çalışmada farklı tipte boyutsal parametrelere sahip levhalar iki farklı cidar kalınlığı altında test edilerek değerlendirilmiştir. Buna göre, kullanılacak başlık levhası genişliğinin kolon çevre uzunluğunun en az 1/4 ile en çok 1/2 arasında tüm değerler için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bu genişlik değeri çalışmada kullanılan 6 mm ve 8 mm olan her iki tipteki cidar kalınlıklarını da kapsamaktadır.
3. Kolon üzerinde sadece levha kenarları sınır kabul edilerek yapılan kaynaklı birleşimde eğilme etkisi altındaki levha; basınç bölgesinde kolon ile birlikte çalışırken çekme alanında bağımsız hareket etmektedir. Bu noktada başlık levhası cidar kalınlığı 8 mm olduğunda levha daha rijit davranmakta ve bu

davranışa bağlı levha üzerindeki deformasyon sınırlanmaktadır. Ancak, levhanın istenilenden fazla bir rijitliğe sahip olması levhayı kirişe birleştiren kaynak dikişlerindeki gerilme yığılmasını arttırmakta ve olası kaynak hatalarına bağlı dikişlerde meydana gelebilecek yırtılmaların önünü açmaktadır. Bu sebeple 6 mm cidar kalınlığının kullanıldığı numunelerde de yeterli rijitlik ve kapasite değeri sağlanmıştır. Ayrıca, levha üzerinde meydana gelen deformasyonların kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalması sebebi ile literatürün aksine kullanılacak levha kalınlığı kolon cidar kalınlığından büyük, kiriş cidar kalınlığının iki katından küçük alınabileceği tespit edilmiştir.

4. Eğilme etkisi altında birleşime eklenen başlık levhasının deformasyonu üzerindeki üçüncü etkende levha uzunluğudur. Cidar kalınlığının 8 mm olduğu numunelerde levha uzunluğundaki değişim kapasiteyi etkilememiştir. Ancak, 6 mm cidar kalınlığında sahip levhalarda bu değişim kapasiteye yansımıştır. Buna göre kullanılacak levhanın boyca uzunluğu kiriş çapının 1,5 katından kısa, 2,5 katından da uzun olmayacak şekilde bu aralıkta seçilmesi uygundur.
5. Çalışmada kullanılan başlık levhası enine uzunluğu ile çalışmaya referans değerler sunan CIDECT’de aynı boyuttaki çap genişliğine sahip profil için elde edilmesi gereken kapasite değerleri sağlanmıştır. (CIDECT’de tanımlanan formülasyona göre). Bu sayede birleşimde gerekli rijitlik için profil boyutunun artırılmasına gerek kalmadan kullanılacak başlık levhası ile yeterli kapasite değerleri elde edilmiş ve ekonomi sağlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, dairesel kesitli kolon ve kirişin eğilme etkisi altındaki sınırlı sayıdaki numunenin davranışını temsil etmektedir. Bu sebeple, elde edilen sonuçlar bir öneri niteliğinde olup, çalışmanın sayısal analizler ile genişletilerek daha geniş bir alanda değerlendirilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Başaran, B., 2012. Kutu Kesitli Kiriş-Kolonların Berkitmesiz Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimleri için Süneklik Detaylarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 181 s., Isparta.
- Berman, J.W., Bruneau M., 2008. Tubular Links For Eccentrically Braced Frames; I: Finite Element Parametric Study. Journal Of Structural Engineering, 5 (May 2008).
- Çelik, D., 2013. Kutu Kesitli Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Süneklik Detaylarının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 224 s., Isparta.
- Çıngı F., 2005. Çelik Kiriş Kolon Birleşimlerinin Sismik Tasarım Parametreleri İçin Bir Yazılım, Türkiye Mühendislik Haberleri, 435, 69-76.
- D'Aniello M., Landolfo R., Piluso V., Rizzano G., 2012. Ultimate Behavior of Steel Beams Under Non-Uniform Bending. Journal of Constructional Steel Research, 78, 144-158.
- Design Guide 1, For Circular Hollow Section (Chs) Joints Under Predominantly Static Loading. Comité International Pour Le Développement Et L'étude De La Construction Tubulaire.
- Design Guide 1, For Rectangular Hollow Section (Rhs) Joints Under Predominantly Static Loading. Comité International Pour Le Développement Et L'étude De La Construction Tubulaire.
- Eurocode 3, 2003. Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. European Committee For Standardization, Brussels.
- Fincanoğlu, A., 2015. Eğilme Etkisi Altında C Tipi Başlık Levhalı Kutu Kesitli Birleşimlerin Dönme Kapasitelerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 80 s, Isparta.
- Kımillı, N., 2014. Kutu Kiriş-Boru Kolon Kurtağzı Birleşimlerinin Yapısal Davranışlarının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 110 s, Isparta.
- Lee, M.M.K., Parry, A.L., 1999. Strength of Ring-Stiffened Tubular T-Joints In Offshore Structures- A Numerical Parametric Study. Journal of Constructional Steel Research, 51 (1999), 421-430.
- Mashiri, F.R., Zhao, X.L., Grundy P., 2009. Square Hollow Section (SHS) T-Joints With Concrete-Filled Chords Subject to In-Plane Fatigue Loading In The Brace. Thin-Walled Structures, 48, 150-158.

- Mashiri, F.R., Zhao, X.L., 2004. Stress Concentration Factors and Fatigue Behaviour of Welded Thin-Walled Chs-Shs- T-Joints Under In-Plane Bending. *Engineering Structures*, 26, 1861-1875.
- Özer, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi. Erişim Tarihi: 01.02.2012 http://web.itu.edu.tr/~ortak/ders_notlari/ders_notlari.html.
- Sharaf, T., Fam, A., 2013. Finite Element Analysis of Beam-Column T-Joints of Rectangular Hollow Steel Sections Strengthened Using Through-Wall Bolts, 64, 31-40.
- TDY 2007, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Tezer Ö., 2005. Zayıflatılmış Kiriş Enkesitli Kiriş-Kolon Birleşimleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435, 54-59.
- TS EN ISO 6892-1, 2010. Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tübitak Proje, 2013. Kutu Kesitli Kiriş-Kolonların Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimleri için Süneklik Detaylarının Belirlenmesi, Tübitak Proje No:111M125.
- Wang, W., Chen Y.Y., 2007. Hysteric Behaviour of Tubular Joints Cyclic Loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 1384-1395.
- Wardenier, J., Dutta, D., Yeomans, N., Packer, J.A., Bucak, Ö., Sakae, K., 2002. Statik Yük Altındaki Boru Profil Birleşimlerinin Tasarım El Kitabı. Çev. Büyükaşkın, H.A. Borusan Boru, 65s. İstanbul.
- Yang, C.M., Kim, Y.M., 2007. Cyclic Behavior of Bolted and Welded Beam-to-Column Joints. *International Journal of Mechanical Sciences*, 49, 635-649.
- Zehir, A., 2012. Kutu Kesitli Kiriş-Kolonların Berkitilmiş Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimleri İçin Süneklik Detaylarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s., Isparta.
- Zhao, X. L, 2000. Deformation Limit And Ultimate Strength Of Welded T-Joints In Cold-Formed RHS Sections. *Journal of Cyclic Behavior of Bolted and Welded Beam-to-column joints. Journal of Constructional Steel Research*, 53, 149-165.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz BAYRAKTAR
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1982
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : deniz_ceditoglu@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Uşak Orhan Dengiz Anadolu Lisesi, 2000
Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fak., İnşaat Mühendisliği, 2004
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, 2008

Mesleki Deneyim

Antalya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2007-..... (halen)

Yayınları

Korkmaz, K.A., Ay, Z.A., Keskin, S.N., Ceditoğlu, D. Investigation of traffic induced vibrations on masonry buildings in Turkey and countermeasures, Journal of Vibration and Control 17:1. 3-10, 2010.

Ceditoğlu, D., AY, Z., Keskin, S.N., Çelik, D., Karayolu Araçlarının Neden Olduğu Titreşimler. Yapı Dünyası Dergisi, Ekim 2008.

Ceditoğlu, D., AY, Z., Keskin, S.N., Çelik, D., Yapı Zemin Etkileşiminde Modelleme Teknikleri. Yapı Dünyası Dergisi, Şubat 2010.

Çelik İ.D., Fenkli M., Sivri M., Kimılı N.A., Bayraktar D., Fema (273, 356, 368, 369, 440), Eurocode 8 ve DBYBHY (2007) Yönetmeliklerinde Yapı-Zemin Etkileşim Problemi, S.D.Ü Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 5 (2), 19-29, 2015.