

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN GÖVDESİNDE
AÇILMIŞ DAİRESEL DELİKLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ
ETKİSİ: SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekin ABANOZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN GÖVDESİNDE
AÇILMIŞ DAİRESEL DELİKLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA
ETKİSİ: SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekin ABANOZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zeynep YAMAN

Ortak Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALİ

Ağustos 2024

Ekin ABANOZ tarafından hazırlanan “SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN GÖVDESİNDE AÇILMIŞ DAİRESEL DELİKLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ ETKİSİ: SONLU ELEMAN ANALİZLERİ ” adlı tez çalışması 16.08.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Erkan Çelebi**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr Zeynep YAMAN** (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Necati MERT**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Elif BORU**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Mahyar MAALİ** (Ortak Danışman)
Erzurum Teknik Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN GÖVDESİNDE AÇILMIŞ DAİRESEL DELİKLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ ETKİSİ: SONLU ELEMEN ANALİZLERİ ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../2024).

EKİN ABANOZ





Aileme ve anneanneme



TEŞEKKÜR

Yıllar boyunca ciddi emek ve özveri ile bu çalışmanın yürütülmesini sağlayan, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve desteğini hiç esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Zeynep YAMAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin rehberliği, eleştirileri ve teşvikleri, bu tezin ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, ortak danışman hocam Doç. Dr. Mahyar MAALİ' ye ve Doç. Dr. Elif AĞCAKOCA'ya da destekleri ve katkıları için teşekkür ederim. Bu çalışmanın her aşamasında verdikleri değerli bilgiler ve sağladıkları yönlendirmeler için minnettarım.

Çalışmamın her aşamasında destek olup bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Mohammad Saber SADID'e de teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin yardımları ve önerileri, araştırmamın gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman sevgileri ve destekleri ile yanımda olan, bu hayatta sahip olduğum en değerli varlıklarım canım anneme, babama, kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekin ABANOZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Üstün ve Zayıf Yönleri	3
1.2. Soğuk Şekillendirmiş Petekli Çeliğin Ülkemizdeki Yeri ve Avantajları	4
1.3. Çelik Yapılarda Birleşim Araçları	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Literatür Taraması	7
2.2. Çalışmanın Amacı	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Araştırma Metodu	17
3.2. Doğrulanmış Model	17
3.3. ABAQUS/CAE Sonlu Elemanlar Yöntemi	20
3.4. Sonlu Elemanlar Analiz Adımları	20
3.5. C Profil Modellerin Sonlu Eleman Programında Oluşturulması	22
3.6. Modellere malzeme tanımlanması	24
3.7. Kırılma Hipotezleri	26
3.8. Yükleme ve sınır koşullarının belirlenmesi	27
3.9. Moment- Şekil Değiştirme	29
3.10. Sonlu eleman ağı	31
3.11. Analiz Modelleri	34
4. BULGULAR VE İRDELEMELER	37
4.1. M0A Profillerin İncelemesi	37
4.1.1. M0A çelik profil gerilme dağılımları	37
4.1.2. M0A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı	39
4.1.3. M0A çelik profil akma dayanımları	40
4.1.4. M0A akıllı vidalardaki kesme durumu	41
4.1.5. M0A çelik profilleri moment-deplasman grafiği	43
4.2. M02A Profillerin İncelemesi	43
4.2.1. M02A çelik profil gerilme dağılımları	43
4.2.2. M02A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı	47
4.2.3. M02A çelik profil akma dayanımları	51
4.2.4. M02A akıllı vidalardaki kesme durumu	55
4.2.5. M02A çelik profilleri moment-deplasman grafiği	59

4.3. M04A Profillerin İncelemesi	61
4.3.1. M04A çelik profil gerilme dağılımları	61
4.3.2. M04A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı	65
4.3.3. M04A çelik profil akma dayanımları	69
4.3.4. M04A akıllı vidalardaki kesme durumu.....	73
4.3.5. M04A çelik profilleri moment-deplasman grafiği	77
4.4. M06A Profillerin İncelemesi	79
4.4.1. M06A çelik profil gerilme dağılımları	79
4.4.2. M06A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı	83
4.4.3. M06A çelik profil akma dayanımları	86
4.4.4. M06A akıllı vidalardaki kesme durumu.....	90
4.4.5. M06A çelik profilleri moment-deplasman grafiği	94
4.5. Tokluk ve Süneklik.....	96
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

CFS	: Cold Formed Steel
LSB	: Lite Steel Beam
AISI	: American Iron and Steel Institute
DSM	: The direct strength method
AS/NZS	: Australia/New Zealand Standard
DBN	: Deep Belief Network
YDKT	: Yük Dayanım Katsayıları ile Tasarım
GKT	: Güvenlik Katsayıları İle Tasarım
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
S4R	: Dört Düğümlü Kabuk Eleman



SİMGELER

E	: Elastisite Modülü [MPa]
F	: Kuvvet [kN]
ϵ	: Şekil Değişirme
L₀	: Uzama Miktarı [mm]
a	: Delik Çapı [mm]
d	: Kiriş Yüksekliği [mm]





TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Malzeme detayları(Chen ve ark.2020).....	24
Tablo 3.2. G500 akıllı vida mekanik özellikleri.....	25
Tablo 3.3 Analiz Modelleri	34
Tablo 3.4. Delik sayılarına göre modeller	35
Tablo 3.5. Akıllı vida aralıklarına göre modeller	36
Tablo 4.1. Analiz Sonuçları.....	98





ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çelik Yapı Örnekleri	1
Şekil 1.2. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Profiller (Fabmann, https://tr.fabmann-es.com/custom-fabrication/roll-formed-steel-profiles.html).....	2
Şekil 2.1. (a). Deliksiz kirişler için gözlenen elastik burkulma şekli. (b). S.....	8
Şekil 2.2. Farklı delik pozisyonları(Kulatunga,2013).....	8
Şekil 2.3. Lokal Burkulma Deformasyonu (Zhao, 2019)	9
Şekil 2.4. Yükleme Altında Oluşan Deformasyon Şeklinin Karşılaştırılması (Uzzaman,2020)	10
Şekil 2.5. CFS Deney ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları(Chen,2021)	11
Şekil 2.6. Grade 550 CFS Plakalarda Deney Sonrası Deformasyonlar (Roy,2019)..	12
Şekil 2.7. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Vida (Yan,2013)	12
Şekil 2.8. Çelik Profilin Kırılması- Vida Kırılması(Li,2010).....	13
Şekil 2.9. Akıllı vidaların deformasyonu	13
Şekil 2.10. (a) Kaynaklı birleşim deney numunesi(Menge,2018) (b) Civatalı birleşim deney numunesi(Menge,2018).....	14
Şekil 2.11. Eğilme Testi Sonucu Yer değiştirme-Yükleme Grafiği (Gatheeshgar,2020)	15
Şekil 3.1. Abaqus Doğrulama Modeli Deney Düzeneği (Chen ve ark. (2010))	19
Şekil 3.2. Doğrulan Modelin Moment(kNm) - Deplasman(mm) Eğrisi.....	19
Şekil 3.3. (a) 240-UH1 Laboratuvar Deney Görseli ve (b) Abaqus Analiz Görseli..	20
Şekil 3.4. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon ve (h) Kiriş Berkitmesi sonlu eleman ağ sıklığı ve modelleri (Şekil Ölçeksizdir). (Sadıd,2019).....	21
Şekil 3.5. FEM analiz modeli için oluşturulan yapma bileşik enkesit- boykesit ölçüleri ve yükleme noktaları	22
Şekil 3.6. Modellenen Akıllı vida, Rijit parça, Dudaklı ve dudaksız profiller	23
Şekil 3.7. Şekil değiştirme- Gerilme.....	24
Şekil 3.8. Malzeme detayları tanımlanan dudaklı çelik profil	25
Şekil 3.9. Kırılma Hipotez Eğrileri (Korkut, https://www.serdarkorkut.com/2017/05/24/kirilma-hipotezleri/)	27
Şekil 3.10. Abaqus Model Sınır Koşulları	28
Şekil 3.11. (a) FEM analiz modeli ağ sıklığı (b) FEM analizinde sınır koşulları.....	29
Şekil 3.12. Gerilme- Şekil Değiştirme grafiği (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016).....	31
Şekil 3.13. Verify Mesh Sonucu	32
Şekil 3.14. Düzenlenen Mesh Kalitesi.....	32
Şekil 3.15. Modellerin Mesh Kalitesi	33
Şekil 3.16. Mesh parçalarına bölünmüş modeller.....	33
Şekil 4.1. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400	38

Şekil 4.2. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400.....	39
Şekil 4.3. Akma Dayanımı: a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400.....	40
Şekil 4.4. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400.....	42
Şekil 4.5. M0A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	43
Şekil 4.6. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M0A-S100-1D (b) M0A-S200-1D (c) M0A-S400-1D.....	44
Şekil 4.7. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D.....	45
Şekil 4.8. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D.....	46
Şekil 4.9. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D	48
Şekil 4.10. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D	49
Şekil 4.11. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S200-5D	50
Şekil 4.12. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D	52
Şekil 4.13. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D	53
Şekil 4.14. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D	54
Şekil 4.15. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D.....	55
Şekil 4.16. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı : (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D.....	56
Şekil 4.17. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D	58
Şekil 4.18. M02A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	59
Şekil 4.19. M02A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	60
Şekil 4.20. M02A-5D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	60
Şekil 4.21. M02A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği	61
Şekil 4.22. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D.....	62
Şekil 4.23. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D	63
Şekil 4.24. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S400-5D.....	64
Şekil 4.25. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D	66
Şekil 4.26. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D	67
Şekil 4.27. Plastik Şekil Değiştirme: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D Plastik (c) M04A-S400-5D	68
Şekil 4.28. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D	70
Şekil 4.29. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D	71

Şekil 4.30. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S400-5D	72
Şekil 4.31. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D.....	74
Şekil 4.32. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D.....	75
Şekil 4.33. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S200-5D.....	76
Şekil 4.34. M04A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	77
Şekil 4.35. M04A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	78
Şekil 4.36. M04A-5D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	78
Şekil 4.37. M04A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	79
Şekil 4.38. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D	80
Şekil 4.39. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D	81
Şekil 4.40. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S400-5D	82
Şekil 4.41. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D	83
Şekil 4.42. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D	84
Şekil 4.43. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S400-5D	85
Şekil 4.44. Akma Dayanımı:.....	87
Şekil 4.45. Akma Dayanımı:.....	88
Şekil 4.46. Akma Dayanımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S200-5D	89
Şekil 4.47. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D.....	91
Şekil 4.48. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D.....	92
Şekil 4.49. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S200-5D.....	93
Şekil 4.50. M06A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	94
Şekil 4.51. M06A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	95
Şekil 4.52. M06A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	95
Şekil 4.53. M06A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği.....	96



SOĞUK ŞEKİLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN GÖVDESİNDE AÇILMIŞ DAİRESEL DELİKLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ: SONLU ELEMEN ANALİZLERİ

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Soğuk şekillendirilmiş çelik, Akıllı vidalar, Eğilme, Abaqus, Sonlu elemanlar yöntemi.

Dünyadaki ve ülkemizdeki bölgelerin aktif bir şekilde büyümesi ile endüstrinin ve sanayinin hızlı bir şekilde geliştiği, zaman yönetiminin çok önemli olduğu yaşam koşullarında bu ihtiyaçlara yardımcı olabilecek sanayi yapılarının hızlı bir şekilde inşası giderek artan düzeyde önem arz etmeye başlamıştır. Kentlerin bu gelişim ve değişim sürecinde insanların sosyal ihtiyaçlarına cevap verebilecek ekonomik, sportif, kültürel ve ticaret yapılarının, en hızlı ve uygun şekilde inşaa gereksinimi giderek artmaktadır. Bu tür yapıların daha hızlı ve ekonomik inşa edilebilme talebi, çelik yapılara olan ilgiyi arttırmakta ve bu ilgiye bağlı olarak çelik taşıyıcı elemanların dayanım ve estetik açısından beklentileri karşılayabilecek şekilde tasarlanması gereksinimi ortaya koymaktadır. Dayanıklı ve estetik yapı elemanlarının tasarımını ekonomik ve hızlı inşaat teknikleri ile geliştirmek ülke ekonomisine önemli katkı sunabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla günümüzün gelişmiş ülkelerinde imalatı ve montajı hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilen soğukta işlenmiş çelik profillerle çelik yapılar inşaa edilmektedir. Çeşitli şekillerde oluşturulan soğukta işlenmiş çelik profiller, tasarımda tek veya bileşik enkesitler olarak kullanılabilir. Yapıların kullanım amaçlarına göre, sistemlerine dahil edilen elektrik ve mekanik tesisat hatlarının yapı elemanları üzerinden geçişinde kolaylık sağlaması açısından profil enkesit gövdelerine boşluklar açılmakta ve sözkonusu hatların yapı elemanı üzerinde estetik olarak konumlandırılmasında özellikle bileşik enkesitler tercih edilmektedir. İki profil enkesitinin birlikte kullanımı ile teşkil edilen kutu enkesitli kirişler yaygın olarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller ise kullanım avantajları, üretim aşamasında kolaylığı ve kaliteli profil fazlalığı, diğer şekillendirme çeliklerine göre düşük maliyeti ile sektörde kullanım sıklığını artırmaktadır. Montaj kolaylığı sağlamak, çeşitli tesisat hatlarının kurulum seçeneklerini artırmak için profillerde oluşturulan gövde delikleri enkesit kaybına neden olduğundan yapı elemanlarının dayanım ve davranışını etkilemesi mümkün görünmektedir. Bu kapsamda, yürütülen bu tez çalışmasında soğukta işlenmiş çelik profiller oluşturulan ağ delikli bir yapma kutu profilin eğilme davranışı incelenmiştir. Çalışmanın amacı soğukta işlem görmüş iki adet dudaklı C profilden oluşturulmuş ağ delikli dudaklı kutu profil kirişlerde eğilme davranışını incelemek olup, C profilleri birarada tutan akıllı vidaların yerleşim düzeni, ağ deliklerinin sıklığı ve çapındaki değişimin bu kutu profilin dayanım ve davranışına etkilerini araştırmaktır. Çalışma kapsamında 30 model simülasyonu oluşturulup, ABAQUS sonlu eleman analiz programı kullanılarak yürütülmüştür. Çalışma kapsamında soğuk şekillendirilmiş C profilin; gövde delik çapı, gövde delik çapının büyüklüğü, akıllı vida aralığı değiştiği için akıllı vida sayısı değişimi olmak üzere 3 değişken mevcuttur. Çelik profilleri

birleştirmek için kullanılan akıllı vida aralıkları 100, 200 ve 400 mm olarak değiştirilmiştir. Ayrıca elik birleşimde gövde kısmında gövde deliğine sahip olmamış ve gövde deliğine sahip olmuş modeller olarak ayrı değişkenler üzerinde incelenmiştir. Çalışma, akıllı vida aralığı, gövde delik sayısı, ve gövde delik çapı gibi parametrelerin moment kapasitesi, elastik bölgelerdeki etkileri, akıllı vidanın kesme kuvveti ve süneklik üzerindeki etkilerini detaylandırmaktadır. ABAQUS programında örnek modelleme doğruluğu kanıtlanarak, çalışma sonuçlanmıştır. Akıllı vida aralığının küçülmesi ve delik sayısının artması, birleşimlerin mukavemetini artıran önemli tasarım değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, akıllı vida sayısının artışı, modelin sıkı ve dayanıklı bir yapıya sahip olmasına neden olmuş ve daha düşük plastik şekil değiştirme oranlarına sahip olmamızı sağlamıştır. Akıllı vida aralarındaki mesafenin azaltılması, daha sıkı ve dayanıklı yapılar sağlarken, plastik deformasyonun azaltılması isteniyorsa mesafenin artırılması gerektiği belirlenmiştir. Modellerin süneklik değerlerini optimize etmek için gövde deliği sayısının önemli bir parametre olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak, elik yapı elemanlarında vida aralığının optimize edilmesi, a/d oranının düşük tutulması ve gereksiz gövde deliklerinden kaçınılması, yapısal dayanımı ve rijitliği artırarak özellikle deprem gibi yüksek yükler altında kalan yapılarda güvenliği ve uzun ömürlülüğü sağlamak için kritik öneme sahiptir.

THE EFFECT OF CIRCULAR HOLES ON THE BENDING BEHAVIOR OF COLD-FORMED BEAMS: FINITE ELEMENT ANALYSESS

SUMMARY

Keywords: Cold-formed steel, Smart screws, Bending, Abaqus, Finite element method.

With the active growth of regions worldwide, including our country, the rapid construction of industrial structures has become increasingly important in meeting the demands of modern living conditions. In environments where industry is developing rapidly, effective time management plays a significant role. Cold-formed steel, known for its versatility and efficiency, has emerged as a preferred material in this context. This type of steel is produced by cold working processes that enhance its strength while maintaining lightweight properties, making it ideal for various applications. Its production involves shaping steel sheets into specific profiles without the need for heating, which results in minimal material waste and energy consumption. As cities undergo development and transformation, there is a growing need for the swift and appropriate construction of various structures economic, sports, cultural, and commercial that address the social needs of the population. This rising demand for faster and more economical construction methods has heightened interest in steel structures. Consequently, there is an urgent need for the design of steel carrier elements that fulfill expectations in terms of both strength and aesthetics. It is widely believed that developing durable and visually appealing structural elements through economical and rapid construction techniques can significantly contribute to the country's economy. To meet this demand, steel structures are increasingly being constructed using cold formed steel profiles, which allow for quick manufacturing and assembly in today's developed countries. These cold formed steel profiles can be shaped into various forms and utilized as single or compound cross sections in structural design. Depending on the intended use of the structures, openings are often created in the profile cross section to facilitate the passage of electrical and mechanical installation lines. This design strategy not only enhances the functionality of the structures but also allows for a more aesthetically pleasing arrangement of these lines. The combined use of two profile cross-sections to form box cross section beams has gained popularity due to their structural advantages, which include improved load distribution and enhanced stability. Cold formed steel profiles are increasingly favored in the industry due to their numerous benefits, including ease of production, high quality profile availability, and comparatively low costs when compared to other types of formed steel. These profiles also exhibit excellent strength to weight ratios, making them ideal for a variety of applications. However, the introduction of body holes created to ease assembly and enhance installation options can lead to a loss of cross sectional integrity, potentially impacting the strength and overall behavior of the structural elements. This poses a challenge that engineers must carefully consider during the design process. In this context, the present study focuses on examining the bending behavior of a box profile featuring web holes, formed from cold-formed steel profiles. The primary aim

is to investigate the bending behavior of web hole lip box profile beams constructed from two cold processed lipped C profiles. Additionally, the study aims to assess the effects of the placement order of smart screws that hold the C profiles together, the frequency of web holes, and the variation in their diameters on the strength and behavior of the box profile. This research not only addresses theoretical questions but also provides practical insights that can guide real world applications. For this analysis, a series of 30 model simulations were created and executed using the ABAQUS finite element analysis program, known for its robust simulation capabilities in structural engineering. The study considers three key variables related to the cold-formed C profile: the diameter of the body holes, the dimensions of these holes, and changes in smart screw spacing. The diameter of the body holes is determined based on the defined a/d ratio, with the height of the beam remaining constant, allowing for variations in the body diameter. Profiles without body holes are also examined, varying in sizes of 48 mm, 96 mm, and 144 mm. To investigate the structural performance, smart screw spacings were altered to 100 mm, 200 mm, and 400 mm. Additionally, separate models with and without body holes in the steel connections were analyzed, allowing for a comprehensive comparison of their impacts on strength and behavior. By systematically varying these parameters, the study aims to identify optimal design configurations that balance structural integrity with functional requirements. The lengths of the cold formed steel profiles were designed to be 4000 mm. The height of the lipped profile, which forms the composite section, was selected as 240 mm, while the height of the unlipped profile was set at 244 mm. This selection was made to ensure compatibility and stability in the structural assembly. The thickness of the body header for both profiles was standardized at 2 mm, with a corner radius of 2 mm for the bending region. The mechanical properties of the profiles used in the study were sourced from literature, followed by a validation process to confirm accuracy. A displacement-controlled loading of 30 mm was applied to the box profiles, allowing for the analysis of material deformation behavior, even post-fracture. This method is particularly useful for understanding how materials respond under stress, providing valuable data that can inform future designs. As the study examines the bending behavior of the box profiles, a linear four-node quadrilateral (S4R) shell element with six degrees of freedom at each node was employed for modeling. The findings of the study provide critical insights into how parameters such as smart screw spacing, the number of body holes, and their diameters affect moment capacity, elastic regions, shear force, and ductility. The accuracy of the modeling conducted in the ABAQUS program was validated, underscoring the reliability of the simulation results. It was found that reducing the spacing between smart screws and increasing the number of holes are important design variables that enhance joint strength. Moreover, a greater number of smart screws contributes to a tighter, more durable structural framework, leading to lower plastic deformation rates under load. While reducing the distance between smart screws is advantageous for achieving tighter structures, it was determined that increasing the spacing may be necessary to minimize plastic deformation, particularly under high stress conditions. The study emphasizes that the number of body holes is a pivotal parameter for optimizing ductility values in the models, suggesting a need for careful consideration in design practices. It also highlights the importance of a holistic approach to structural design, where each element's role is understood within the larger context of the entire structure's performance. In conclusion, optimizing screw spacing in steel structural elements, maintaining a low a/d ratio, and avoiding unnecessary body holes are critical strategies for enhancing structural strength and rigidity. These practices are particularly vital in

ensuring safety and longevity, especially in structures exposed to significant loads, such as those experienced during seismic events. The insights from this research are expected to contribute to more effective design guidelines and practices in the field of steel construction, ultimately supporting the development of safer and more resilient infrastructure. By integrating advanced materials and innovative design techniques, we can pave the way for a more sustainable built environment that meets the challenges of tomorrow.





1. GİRİŞ

1920'den günümüze kadar büyük açıklıklı binalar, çok katlı yüksek yapılar ve çelikten oluşturulan karma yapılar yaygın olarak üretilmiştir. Yapı elemanları rijit bir şekilde birleştirilerek etkin yüklere karşı dayanımları ve mimari kullanılabilirlikleri arttırılmıştır.

Ülkemizde ise savaş sonrasında kentlerin hızlı bir şekilde gelişmesine paralel olarak endüstrinin ve sanayinin hızlı bir şekilde gelişmesi, bu gelişimin hızlı ve ekonomik inşa edebilmek için çelik taşıyıcı elemanların kullanılma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Çelik malzeme de elde edilen yenilikler ve gelişmeler ile günümüzün modern çelik konstrüksiyon anlayışı oluşmuştur(Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çelik Yapı Örnekleri

Çelik malzemelerin şekillendirilmesi, şekil verme işleminin uygulandığı sıcaklığa göre “sıcak” ve “soğuk” olarak ikiye ayrılır. Sıcak şekillendirme işlemi, yüksek mukavemete sahip karmaşık geometriler üretmek için kullanılan bir şekillendirme yöntemidir.

Soğuk şekil verilerek üretilen hafif çelik yapılar hakkındaki bilgiler 20. Yüzyıl başlarında uçak endüstrisinin olabildiğince hafif istenmesi ama taşıma kapasitesinin de fazla olmasına ihtiyaç duyulması ile başlamıştır. Ayrıca soğuk şekillendirilmiş çeliğin kullanılmaya başlanmasında etkili ikinci sebep de otomobil endüstrisidir. Otomobil kaportalarının ve demiryolu vagonlarının üretiminde ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelik sac elemanlar kullanılmıştır. Başlangıcı bu şekilde olan soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar tekniği geliştirilerek günümüze kadar getirilmiş ve yapı elemanlarında da vazgeçilmez parçası olmuştur. Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanları; az maliyeti ile üretilmesi, işçilik açısından kolay ve hızlı bir şekilde yerinde birleştirilebiliyor olmaları, yük taşıma kapasitelerinin parça kalınlıklarına göre oldukça fazla olması gibi avantajları ile ön plana çıkmaktadır. (Yağmur, 2022). Ülkemizde 1999 Marmara depremi ile alternatif yapı arayışına girilmesiyle soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik yapı elemanları kullanımı artmıştır.

Hafif çelik yapı sistemi, parçanın et kalınlığının gövde yüksekliğine oranının fazla olduğu ve soğukta işlenerek şekil verilen galvanizli çelik profilin taşıyıcı duvar sistemleri birlikte kullanımı ve tam bir yapı sistemi oluşturulması fikri ile geliştirilmiştir. Üretimde kalınlıkları ortalama 0,5 – 2 mm arası olan bu profiller ile geliştirilen yapıların avantajları, özellikle işçilik için hızlı monte edilmesi ve mimari avantajları ile ön plana çıkar.(Çelik,2010).

U, C, Z, T, L, Σ (sigma) ve Ω (omega) enkesitli profiller (Şekil 1.2), gelişen dünyada ve ülkemizde hafif çelik sektöründe yaygın olarak kullanılan profiller arasında yer almaktadır.



Şekil 1.2. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Profiller (Fabmann, <https://tr.fabmann-es.com/custom-fabrication/roll-formed-steel-profiles.html>)

Soğuk şekillendirilmiş çeliklerin yatay kullanım alanlarına, çatı, döşeme, duvar kaplaması, paneller olarak düşünebiliriz. Bu elemanlar çelik konstrüksiyon da tek başlarına kullanılacakları gibi beton ile birlikte de kompozit malzeme olarak da kullanılabilir.

1.1. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Üstün ve Zayıf Yönleri

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı parçaları, daha fazla tasarım esnekliği sundukları için bir çok alanda kullanılmaktadır. Soğuk şekillendirilmiş çelik fabrika binaları, sanayi yapıları, isteğe bağlı evler, uçak hangarları, spor tesisleri, hangarlar, atölyeler, depolar gibi yerlerde kullanılmaktadır.

Soğukta şekillendirme yöntemi, çelik profillerde akma direncini yükseltme etkisine sahiptir. Akma direncinin artışı, soğuk şekillendirme işleminin pekleşme bölgesinde aktif bir şekilde yer almasının sonucudur. Soğuk şekillendirme işleminde oluşan bu avantaj sayesinde diğer şekillendirme yöntemlerine göre ortalama akma gerilmesini %15 ila %30 artırmaktadır. Tasarım amaçları için, artan akma gerilmesinin minimum %15 oranında arttırıldığı kabul edilebilir. (Yu, 2010).

Hafif çelik yapı sistemleri geniş açıklıklara sahip ve yüksek yapılar yerine, az kat sayısına sahip konut, işyeri gibi benzeri yapı türlerinde, düşük maliyeti, seri şekilde inşaatı ve sürdürülebilirliği açısından diğer sistemlerden daha avantajlıdır. Hafif çelik sistemlerde kullanılan her malzeme (çelik, alçı ve mineral yün) %100 geri dönüştürülebilir. Bu sebeple sökülen yapı bileşenlerinin tekrardan kullanımı mümkün kılınmaktadır.

Üçden daha az kat sayısına sahip olan yapılarda kullanıldığında deprem enerjisi karşısında yüksek performans göstermesi ve olumsuz zemin koşullarında bile başarıyla uygulanabilmesi, diğer sistemlere oranla daha ekonomik sonuçlar elde edilmesini sağlamakta, bu da hafif çelik yapı sistem birleşimlerinin inşaatı için eşsiz kılmaktadır. (Türker,2020).

Birçok gelişmiş ülkede uzun süredir kullanılan bu sistem, tasarım ve üretim aşamamızda halen mevzuat ve kontrol mekanizmaları açısından eksiklikler barındırmaktadır.

Geniş açıklıkların ve/veya yüklerin fazla olduğu çalışmalarda ekonomik verimlilik sağlanamamaktadır. Bu nedenle, yönetmelikler soğuk şekillendirilmiş profillerle

yapılan binalarda kat sayısını sınırlamaktadır. Yüksek binalarda, soğuk şekillendirilmiş profiller genellikle sadece sıcak şekillendirilmiş ana taşıyıcı çelik elemanlara yardımcı olarak kullanılmaktadır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin köşe et kalınlıkları, sıcak şekillendirilmiş profillere göre daha küçük olduğu için, tekil yüklere karşı dirençleri azdır. Ayrıca soğuk şekillendirilmiş profillerin kalınlıkları, sıcak şekillendirilmiş profillere kıyasla daha ince olduğundan yerel burkulma ve yangın dirençleri düşüktür. Bu kalınlığından dolayı profile hassas davranılmalı, montaj esnasında dikkatli olunması gerekmektedir.

Soğuk şekillendirilmiş profiller genellikle açık enkesitlere sahip olduğundan, burulma dirençleri oldukça düşüktür. Bu nedenle, burulma içeren burkulma sınır durumları, bu profillerin davranışını belirleyen kritik bir faktör olabilir. Burkulma sınır durumları, soğuk şekillendirilmiş profillerin performansını ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.(Uslar Haddecilik, 2024).

Çelik yapılar, profillerin ve levhaların, birleştirilmesiyle üretilirler. Çelik yapılar için birleştirme parçaları; kirişten kolona bağlantılar,kolonlar ve kafes düğüm yerleri gibi yük taşıyan sistem elemanlarını bağlar. Normal çelik konstrüksiyonda perçinler, cıvatalar ve kaynaklı bağlantı araçları kullanılırken, soğuk şekillendirilmiş bağlantılarda vidalı, cıvatalı, perçinli, kaynaklı, rozet bağlantıları ve raf bağlantıları dahil olmak üzere birçok farklı bağlantı türü kullanılabilir. (Casim,2018).

1.2. Soğuk Şekillendirmiş Petekli Çeliğin Ülkemizdeki Yeri ve Avantajları

Çelik profiller, yük taşıma kapasitesini artırmak ve malzeme tasarrufu sağlamak amacıyla çeşitli şekillerde tasarlanmaktadır. Özellikle geniş açıklıkların geçilmesi gereken yapılarda, hafiflik ve dayanıklılık arasındaki denge büyük önem taşır. Bu bağlamda, petek kirişler, hem yapısal verimlilik sağlaması hem de ekonomik çözümler sunması nedeniyle tercih edilmektedir. Petek kirişlerin kullanımı 1928 yılına dayanmakta olup, günümüzde altıgen boşluklu formlar özellikle maliyet avantajı sunduğundan yaygınlaşmıştır. Avrupa’da mimari açıdan oldukça kullanışlı olan petek kirişlerin en yaygın olduğu ülke Almanya’dır. Bu sebeple hesap ve yapım standartları olarak en fazla gelişme bu ülkede olmaktadır.

Eğilmeye çalışan kirişlerin, eğilme momenti yani yük kapasitesi yüksekliğinin karesi ile doğru orantılı olarak artar. Bu nedenle çelik kirişlerin yüksekliğinin arttırılması

gerekmektedir. Bu uygulanırken çelik malzeme kullanımını en düşük seviyede tutmak ekonomiklik açısından önemli bir kriterdir. Bu sorundan dolayı yapılan araştırmalar sonucunda petek kirişlerin çelik malzemede ekonomik olarak istenen seviyeyi sağladığı bulunmuştur. Ancak gerekli hesaplamalar sonucunda emniyet yeterliliği araştırılmazsa herhangi bir avantajı kalmamaktadır. Petek kirişlerin gövdesinde oluşan boşluklardan yapının tesisat donanımları geçebilmekte ve yapı yüksekliğinin gereğinden fazla olması engellenmektedir.

Petekli kirişlerin diğer bir avantajı hafif bir malzeme olması, malzeme maliyetinin düşük olması nedeniyle yapının toplam ağırlığını azalttığı, böylece momentlerinin yanı sıra nakliye ve taşıma gibi bir avantajı olduğuda bilinmektedir. (Kalaycıgil,2007).

1.3. Çelik Yapılarda Birleşim Araçları

Çelik yapılarda profiller ve levhalar, çeşitli bağlantı elemanları kullanılarak birleştirilir. Bu bağlantıların temel işlevi, birleştirilen parçaların güvenli ve sağlam bir şekilde birlikte çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle, parçalar arasında oluşan gerilmelerin güvenli bir şekilde aktarılması, kullanılan bağlantı elemanları aracılığıyla sağlanmalıdır.

Günümüzde kullanılan birleşim araçları perçin, bulon, kaynaktır. Bu birleşimlerden biri olan perçinin zaman içinde kullanımı azalmıştır. Kaynak yöntemlerinin gelişmesi ve kaynak maliyetinin bulonlara göre daha düşük olması nedeniyle kaynak en yaygın kullanılan birleşme aracı haline gelmiştir. Perçinleme ve kaynak ile yapılan bağlantıların sonradan bağlı elemanlara zarar vermeden sökülmesi mümkün değildir. Bu nedenle perçinler ve kaynaklar sökülemeyen birleşim araçlarıdır.

Bulonların sökülüp takılması, kolaylıkla uygulanıp farklı yerlerde tekrar kullanılabilmesi nedeniyle her geçen gün bulon birleşimlerinin artmasını sağlamıştır. Bulonların kullanımının artması, mühendisleri bu birleşim aracının hesap yöntemleri üzerinde araştırmaya yöneltmiştir.

Bulon, silindirik gövdeli, altıgen başlıklı ve ucunda spiral diş bulunan, sökülebilir bir birleşim aracıdır. Önceden açılmış deliklere yerleştirilir, pul ve somunla sıkılır. Baş kısmı anahtarla sabitlenirken,, somun diğer bir anahtarla sıkılarak montaj tamamlanır. Kolay montajı nedeniyle şantiyede bulonlu birleşimler sıkça tercih edilir. Bulonlar, sökülebilir montajlar için kolaylıkla kullanılabilen geleneksel bir birleşim aracıken,

akıllı vidalar, delik açma ihtiyacını ortadan kaldırarak montaj yüzeylerinde deformasyonu engelleyen ve kendi yolunu açabilen yeni nesil bir vida çözümü sunar.

Akıllı vidalar 5 cm – 12 cm arasında değişik uzunluklara sahiptirler. Ortalama 5,5 mm çapında üretilen akıllı vidalar isteğe göre farklı ölçülerde üretilebilmektedir.

Literatürde akıllı vidaların çelik birleşimde kullanıldıktan sonraki kesme kuvveti hakkında herhangi bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Genelde akıllı vidaların ve çeliğin birleşimi üzerinde durulmuştur. Ayrıca bu çalışmada akıllı vidanın kesme kuvveti incelenmiş olup birleşim bölgelerindeki yerlerine göre maksimum minimum kesme kuvveti karşılaştırılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu literatür taraması, inşaat sektöründe montaj kolaylığını artırmak amacıyla kullanılan akıllı vidalar ve deliklere sahip dudaklı ve dudaksız C profillerden oluşan birleşik enkesitlerin eğilme davranışına olan etkilerini inceleyen mevcut çalışmaları kapsamlı bir şekilde ele almaktadır; özellikle, akıllı vidaların sayısı, plandaki yerleşim sıklığı, profillerde açılan gövde deliklerinin sayısı ve çapları gibi değişkenlerin birleşik enkesitli yapıların yapısal performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve bu alanda yapılan önceki araştırmaların bulguları değerlendirilmiştir.

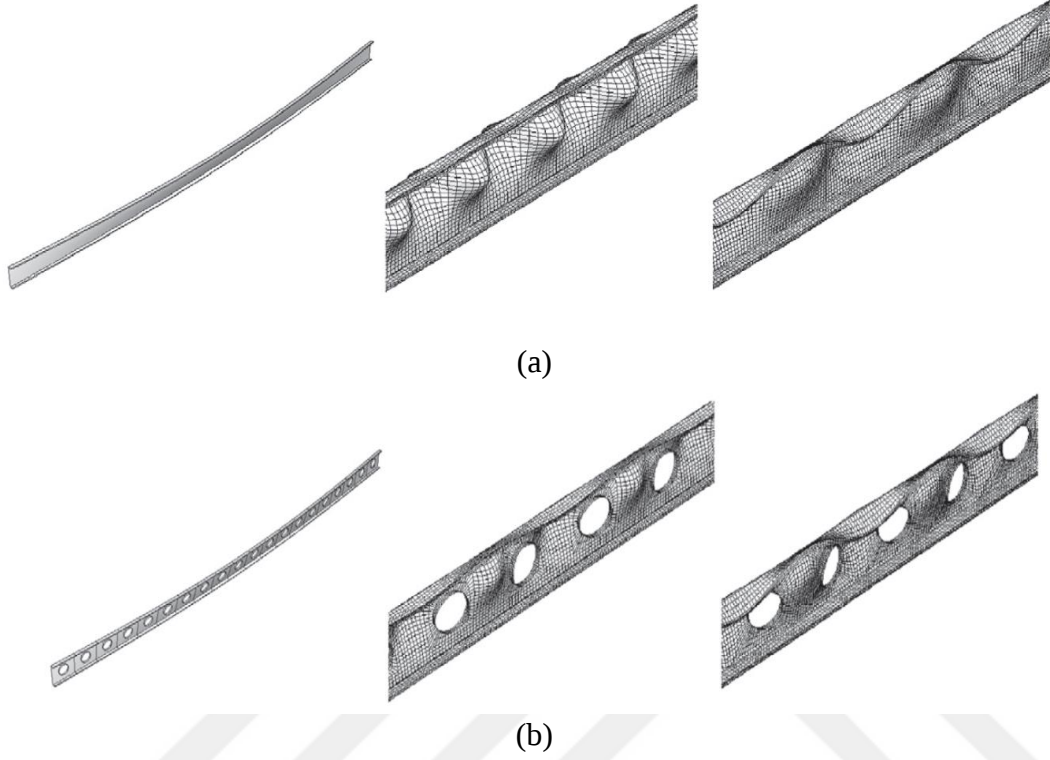
2.1. Literatür Taraması

Gelişmiş inşaat malzemeleri ve teknolojileri, yapısal sistemlerde performansı artırmak amacıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Soğuk şekillendirilmiş çelik, bu gelişmelerden biridir ve birçok döşeme sisteminde kullanılır. Ancak, geleneksel soğuk şekillendirilmiş çelik dudaklı ve dudaksız kanal bölümleri, sınırlı eğilme kapasitesi ve düşük sertlik nedeniyle genellikle aşırı sehim yapma eğilimindedir. Bu dezavantajları gidermek için, LiteSteel kiriş (LSB) olarak bilinen yenilikçi dikdörtgen içi boş başlıklı kanal kirişleri geliştirilmiştir. Avustralya inşaat endüstrisinde tanıtılan bu kirişler, artırılmış eğilme kapasitesi ve bükülme sertliği sunarak geleneksel çözümlerden daha iyi performans göstermektedir. (Elilarasi,2020).

Avusturalya da tanıtılan, yenilikçi özelliğe sahip Lite çelik kirişler birleşim bölgelerinde kiriş olarak kullanıldığında ve zemin sistemlerinde taşıyıcı olarak yoğun yüklere maruz kaldığında gövde kısmından dolayı çelik parçada deformasyon meydana gelmektedir. Genelde yapılan çalışmalar gövde deliklerini dikkate almadan yapılmıştır ve bunlar az sayıda araştırmalardır. Gövde deliklerine sahip bu çelik kirişlerin deforme kapasitesinin arttığı ve dolayısıyla kritik olduğu üzerinde çalışmalar mevcuttur. Ancak, bu çalışmalarda iki başlıklı yük durumu ve gövde delikli çelik üzerinde çalışmalar bulunmamaktadır.(Hareindirasma,2021).

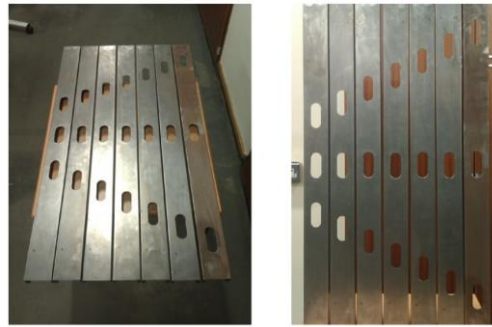
Yu (2012), kenar sertleştirilmiş gövde deliklerinin CFS kanal bölümlerinin yapısal performansı üzerindeki etkileri üzerine Abaqus programında sonlu eleman modelleri

ile araştırma yürütmüştür.(Şekil 2.1.). Araştırmaları, kenarları sertleştirilmiş gövde deliklerine sahip CFS kanal bölümlerinin yapısal kapasitesinin, düz gövdelere sahip olanlardan daha yüksek olabileceğini göstermiştir.



Şekil 2.1. (a). Deliksiz kirişler için gözlenen elastik burkulma şekli. (b). Sertleştirilmiş delikli kirişler için gözlenen elastik burkulma şekli. (Yu,2012)

Kulatunga ve ark. (2013), soğuk şekillendirilmiş C kestili kolon profillerin sıkıştırma testlerinin araştırması üzerinde yürütölmüşlerdir. Gövde deliklerinin yeri, sayısı, boyutları değıştirilerek C profil elemanların yük kapasitesine, kanal kolonların burkulma davranışına yönelik deneysel araştırma yapmışlar ve sonlu eleman analizleri ile bu çalışmayı desteklemişlerdir. (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Farklı delik pozisyonları(Kulatunga,2013)

Chen ve ark.(2019), hem kenarı sertleştirilmiş hemde kenarı sertleştirilmemiş gövde deliklerine sahip CFS kirişler üzerinde sıkıştırma testleri yapmışlardır. 26 eksenel sıkıştırma test numunesi ve 49 sonlu eleman analizi ile çalışmalarını desteklemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda sertleştirilmiş gövde deliklerine sahip kiriş, düz bir kirişe kıyasla sıkıştırma direncinin %22'ye kadar arttığını bulmuşlardır.

Zhao ve ark.(2019), gövde delikli soğuk şekillendirilmiş çelik C profil kirişlerde eğilme davranışlarını araştırmışlardır. Deneysel olarak on adet numune dört noktalı eğilme davranışı incelenmiş ve sonlu eleman modelleri ile testlerin uyumunu incelemişlerdir. AISI'deki (American Iron and Steel Institute) doğrudan mukavemet yönteminin (DSM) sertleştirilmemiş deliklere sahip numuneler için tutucu olmayan tahminler bulunduğu sonucuna varmışlardır. (Şekil 2.3).



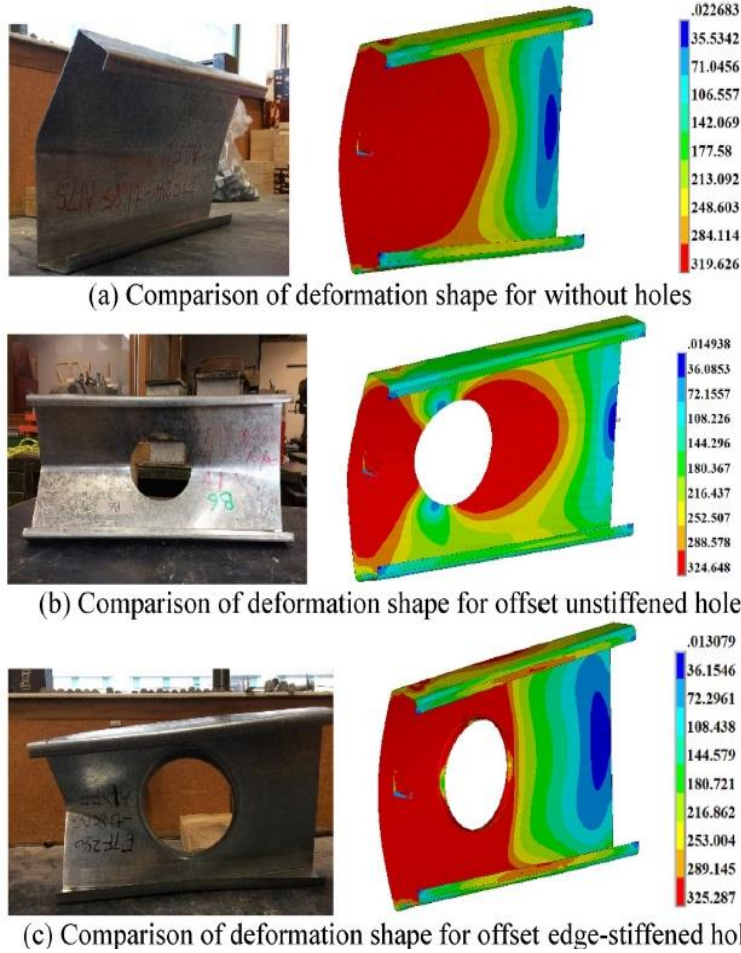
Şekil 2.3. Lokal Burkulma Deformasyonu (Zhao, 2019)

Moen ve ark.(2009), soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların ve delikli kirişlerin, global, distorsiyonel ve yerel elastik burkulma yüklerini tahmin etmek için yöntemler geliştirmişlerdir. Delikli kirişler için tasarım denklemleri önermişlerdir.

Chen (2019), benzer Chen ve ark.(2020), kenarları sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş delikler ve düz gövdelere sahip sırt sırta kirişlerin eksenel dayanımı ile ilgili 27 deneysel numune ve 135 sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçları, kenarları sertleştirilmiş deliklere sahip sırt sırta kirişerde, sırt sırta düz kirişe kıyasla eksenel mukavemetin ortalama %6,6 arttığını göstermişlerdir. Karşılaştırma için, sertleştirilmemiş deliklere sahip aynı bölüm, sırt sırta düz bir kirişe kıyasla eksenel mukavemette ortalama %12,4'lük bir azalmaya sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca buldukları sonuçları Moen ve Schafer'in tasarım denklemleriyle ve AISI ile kıyaslamışlardır.

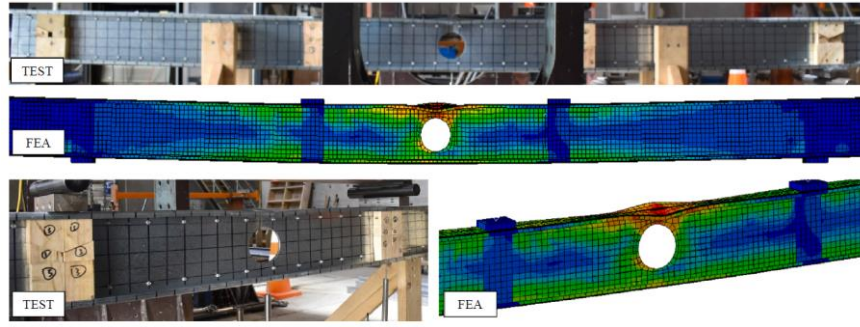
Uzzaman ve ark.(2020), uç iki başlık altında kenarı sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş dairesel gövde deliklerine sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin gövde

parçalanma mukavemetini araştırmışlardır. Kenarı sertleştirilmiş gövde deliklerine sahip soğuk şekillendirilmiş kirişlerin yapısal kapasitesinin, düz gövdelere sahip kirişlere kıyasla daha yüksek olduğunu söylemişlerdir. Şekil 2.4’ de deney düzeneği ve sonlu eleman analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 2.4. Yükleme Altında Oluşan Deformasyon Şeklinin Karşılaştırılması (Uzzaman,2020)

Chen ve ark.(2021), hem kenarı sertleştirilmiş hemde kenarı sertleştirilmemiş gövde deliklerine sahip sırtısırta CFS kirişler üzerinde dört noktalı yükleme testleri yapmışlar ve testlerini sonlu eleman modelleri ile desteklemişlerdir. Test sonuçları sertleştirilmiş delikli sırtısırta kirişler için, düz bir kirişe kıyasla moment kapasitesinin %15,4 arttığı gözlemlenmiştir. Test ve sonlu eleman sonuçları, düz kirişler için Amerikan demir ve çelik enstitüsü(AISI) ve Avustralya-Yeni Zelanda standartları(AS/NZS) tarafından önerilen tasarım momenti kapasiteleriyle karşılaştırmışlardır. (Şekil 2.5.). Delikli kirişler içinde Moen ve Schafer tarafından önerilen denklemlerle karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.5. CFS Deney ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları(Chen,2021)

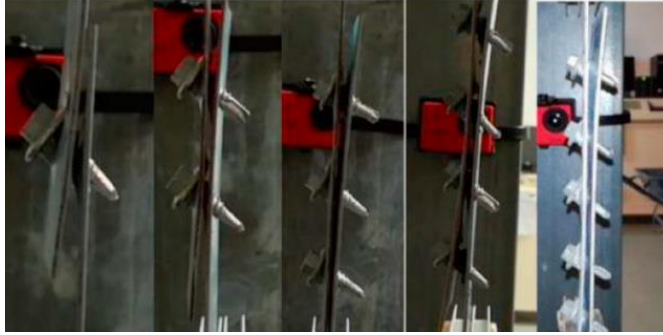
Fang ve ark.(2021), eksenel sıkıştırma altında kenarları sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş gövde deliklerine sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin yapısal performansını incelemek için derin inanç ağı (DBN) önermişlerdir. DBN tahminlerinin, sertleştirilmemiş gövde deliklerine sahip kirişler için %3 ve kenarları sertleştirilmiş gövde deliklerine sahip kirişler için %8 oranında ihtiyatlı olduğu bulunmuştur.

Dissanayake ve ark.(2021), soğuk şekillendirilmiş paslanmaz çelik dudaklı kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarını, en ve boy değişkenleri ile üç noktalı ve dört noktalı yükleme test çalışmalarını yapmışlardır. En- boy oranı 1 olan kesitlerde diyagonal ağ kesme hasarı gözlemlenmiştir. Hem basınç başlıklarının yerel burkulması hem de diyagonal ağ kesme hasarı 1,5 ve 2 en –boy oranına sahip kesitlerde meydana gelmiştir.3 ve 5 gibi daha yüksek en-boy oranına sahip kesitlerin basınç başlıklarında gerçekleşmiştir. Sonuçlarını Eurocode 3 ve Amerikan şartnameleri ile denklemlerini değerlendirmişlerdir.

Öztürk ve ark.(2022), eksantrik yüklü soğuk şekillendirilmiş dudaklı ve sigma kirişlerin yapısal davranışı, eksenel yüklerin ve çift eksenli eğilme momentlerinin eş zamanlı etkileri deneysel ve analitik incelenmiştir. Testler sonucunda kiriş(kolon) elemanlar için sigma kesitlerin, dudaklı kiriş kesitlere kıyasla %42'ye kadar daha yüksek dayanım sağladığını göstermişlerdir.

Roy ve ark.(2019), soğuk şekillendirilmiş çelik kirişler birbirleriyle birleştirilirken montaj için kullanılan akıllı vidaların bağlantı üzerindeki etkisini araştırmak için çalışmışlardır. Özellikle Grade 550 CFS plakalarda yürüttükleri bu çalışmada vida modelleri, vida sayısı ve vida aralığının bağlantı mukavemetleri üzerinde etkisini araştıran 25 deneysel test yapmışlardır. Çalışmalarını desteklemek için dinamik sonlu

eleman modelleri oluşturmuşlardır. Bazı deney sonuçları görseli Şekil 2.6.' da verilmiştir.



Şekil 2.6. Grade 550 CFS Plakalarda Deney Sonrası Deformasyonlar (Roy,2019)

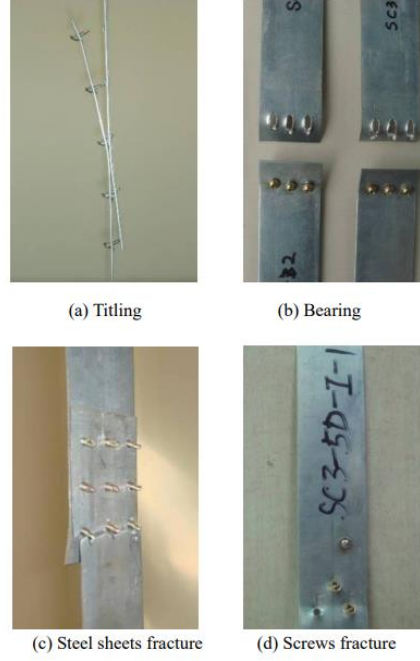
Huynh ve ark.(2017), akıllı vidaların soğuk şekillendirilmiş çelik yapılarda yaygın kullanılması üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Akıllı vidaların bükülmeye uğrayan bağlantısında bir vida koparken diğer vidalar hala elastik durumda olabildiği bilinmektedir. Bu nedenle bu bağlantıların arızadan önceki yük-sapma tepkisini araştırmışlardır.

Yan ve ark.(2012), yüksek sıcaklıklarda ince çelik saçlarda akıllı vida bağlantıları üzerinde çalışmışlardır. Çalışma yürütülürken üç farklı ince çelik saç kalınlığı dikkate almışlardır. Yaptıkları test sonuçlarında akıllı vida bağlantı mukavemetlerinin genellikle yüksek sıcaklıklarda muhafazakar olduğu gösterilmiştir. (Şekil 2.7.).



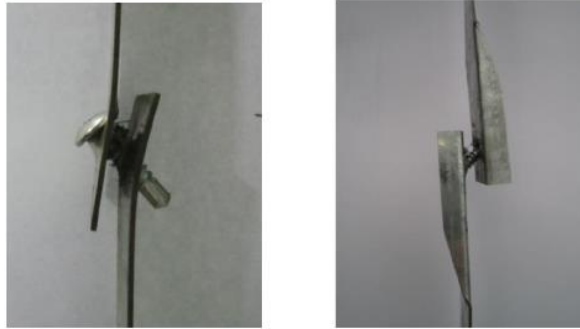
Şekil 2.7. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Vida (Yan,2013)

Li ve ark.(2010), ince duvarlı çelik elemanları sabitlemek için kullanılan akıllı vida bağlantılarının vida eğilme, delik yatağı veya kenar yırtılması, vidaların kesme-çekme kırılması gibi oluşacak arıza modları üzerinde çalışmışlardır. (Şekil 2.8.). Çalışmalarında ayrıca çok sayıda akıllı vida kullanarak birbirleriyle grup etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda akıllı vidaların bağlantılarının kesme dayanımı tahmini için tasarım yöntemi ve tavsiyeler sunmuşlardır.



Şekil 2.8. Çelik Profilin Kırılması- Vida Kırılması(Li,2010)

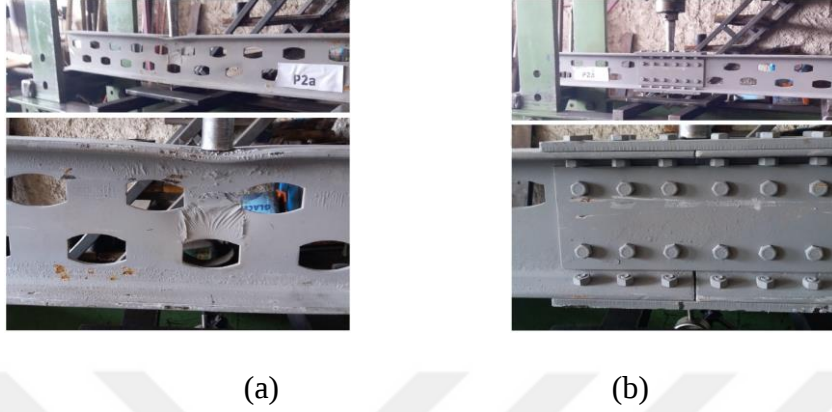
Chen ve ark.(2018), soğuk şekillendirilmiş çelik çerçevelerde akıllı vidaların birincil olarak kullanılması üzerine akıllı vida bağlantıların yüksek sıcaklarda kesme deneyleri üzerinde çalışmışlardır. Bazı deney sonuçları Şekil 2.9.'da yer almaktadır. 225 deneysel test yapmışlar ve dört tip arıza modu tanımlamışlardır. Vida çapı, çelik tipi ve kalınlığı gibi parametrelerin etkisi üzerinde tartışmışlar ve test sonuçlarında farklılıkları karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.9. Akıllı vidaların deformasyonu

Menge (2018), çalıştığı tezde gövde delikli I profil kirişlerde üç noktalı eğilme davranışını incelemiştir. Çalışma incelenirken farklı değişkenler üzerinde durulmuştur; Kaynaklı, bulonlu olmak üzere iki farklı birleşim aracı ve gövde delik çapları, delik sıralamasını değiştirerek farklı delik şekilleriyle birlikte kombinasyonlar oluşturmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda farklı delik çapları araştırılsa da

kritik noktaların açılan delik çapları ve çevresi olduğunu, delik çapları küçüldükçe daha fazla yük taşıdığını gözlemlemiştir. (Şekil 2.10.). Birleşim araçlarında kaynaklı birleşimlerin civatalı birleşimlere göre yük altında daha kararlı davranış sergilediğini gözlemlemiştir.



Şekil 2.10. (a) Kaynaklı birleşim deney numunesi(Menge,2018) (b) Civatalı birleşim deney numunesi(Menge,2018)

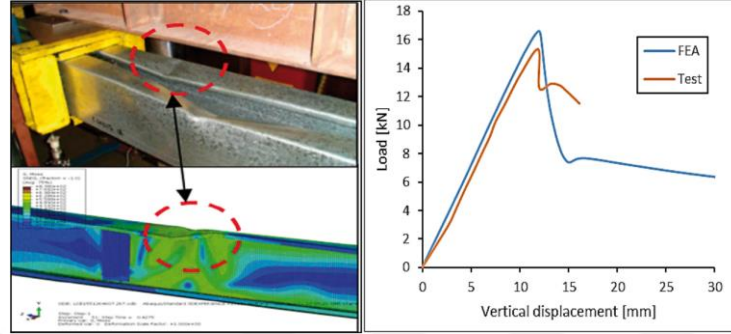
Yıldırım (2022), çalıştığı tezde soğuk şekillendirilmiş Z kesitli çelik profilleri geleneksel yöntemlere göre daha basit ve kullanışlı olan Sonlu Şerit yöntemi kullanarak, AISI S100-16 tanımlı Doğrudan Kuvvet yöntemini uygulayarak YDKT ve GKT yöntemlerine göre farklı burkulma uzunlukları için hesaplamıştır.

Çelik (2020), çalıştığı tezde soğuk şekillendirilmiş U profil çeliklerin, tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarını, AISI S100-16 yönetmeliğinde tanımlanan tasarım esaslarından faydalanarak pratik tasarım tabloları oluşturmuştur.

Yağmur (2022), çalıştığı tezde soğuk şekillendirilmiş C profil kesitli çeliklerin eksenel basınç altındaki dayanımlarını ve davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonuçlarını AISI S100-16 yönetmeliğindeki tasarım ilkelerine göre elde etmiştir. Elde ettiği dayanım sonuçlarını tablolar halinde sunmuştur. Ayrıca C profil çeliklerin geometrik özelliklerinin akma gerilmesi ve çarpmalı burulma gerilmesi tasarım dayanımları etkisini incelemesi sonucunda, aynı gövde yüksekliğine ve aynı başlık genişliğine sahip profillerin dayanımları arasındaki farkın kalınlıktan kaynaklandığına ulaşmıştır.

Gatheeshgar ve ark.(2020), soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin yük taşıma kapasitelerini en iyi şekilde kullanıp sonuca vararak artırmayı hedeflemişlerdir. Soğuk şekillendirilmiş gövde delikli çelikler üzerinde sınırlı çalışmaya sahip olduğunu gördükleri için gövde dayanımına ve eğilme testlerine yoğunlaşmışlardır. Kesitlerde eğilme, kesme ve gövde dayanımları için Eurocode 3 standartlarında ve Parçacık Sürü

Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Deneyel olarak yürütülen çalışma sonlu elemanlar (FE) analizi ile desteklenmiştir. Sonuçlar, iyileştirilen soğuk şekillendirilmiş çeliklerin, ilk durumda olan çeliğe oranla eğilme de %30, kesme de %6 ve gövde başlık arası birleşim yerinde %13 daha etkili olduğunu göstermiştir. (Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. Eğilme Testi Sonucu Yer değiştirme-Yüklemeye Grafiği (Gatheeshgar,2020)

2.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, inşaat sektöründe montaj kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılan akıllı vidalar ve gerekli tesisatları yapabilmek için gövdesinde açılan delikleri temsilen dudaklı ve dudaksız C profiller kullanılarak birleşik bir enkesit oluşturulmuştur. Birleşim aracı olarak akıllı vida kullanılmıştır. Akıllı vidaları sayısı ve plandaki yerleşim sıklığının bileşik enkesitli profilin eğilme davranışına etkileri araştırılmıştır. Bir diğer etken ise bu birleşik enkesitin gövdesinde açılan delik ve açılan gövde delik sayısının değişimidir. Açılan gövde delikleri sayısı artırılarak, gövde deliklerin boyutları değiştirilerek eğilme davranışının etkisi araştırılmıştır. Bu üç değişken altında toplamda 30 farklı model üzerinde çalışılmış olup değişken akıllı vida aralığı, değişken gövde çapı ve gövde delik sayısı üzerinde durulmuştur. Modeller sonlu elemanlar modelleri ile analiz yapan ABAQUS programında hazırlanıp, sonuçları değerlendirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Metodu

Bu çalışmanın amacı, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan dudaklı ve dudaksız C profillerin birleştirilmesiyle oluşturulan kutu profiller ile akıllı vidaların birleşiminden oluşan birleşik enkesitlerin eğilme davranışını analiz etmektir. Akıllı vidaların sayısı, profildeki yerleşim sıklığı, profillerde açılan gövde deliklerinin sayısı ve çapları gibi parametrelerin, bu birleşik yapıların eğilme dayanımı ve yapısal performansı üzerindeki etkilerini araştırmak, bu çalışmanın ana hedefidir. Bu bağlamda, farklı değişkenler altında 30 farklı model oluşturulmuş ve bu modellerin eğilme davranışı üzerine etkileri incelenmiştir.

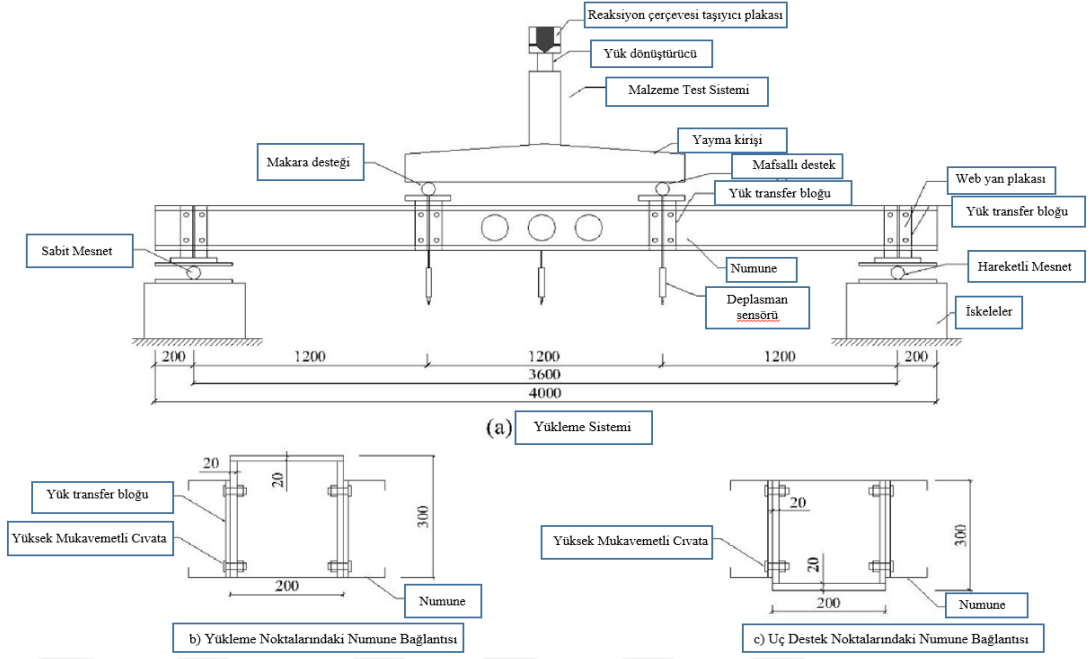
Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method - FEM) kullanılarak, doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. ABAQUS yazılımı aracılığıyla yapılan simülasyonlar, farklı gövde delik çapları ve delik sayıları ile akıllı vidaların yerleşim şekillerinin birleşik enkesitli C profiller üzerindeki eğilme davranışına olan etkilerini analiz etmeye odaklanmıştır. Bu doğrultuda, gövde deliklerinin sayısının ve çaplarının değiştirilmesi, vidaların farklı düzenlerde yerleştirilmesi ile elde edilen veriler karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2. Doğrulanmış Model

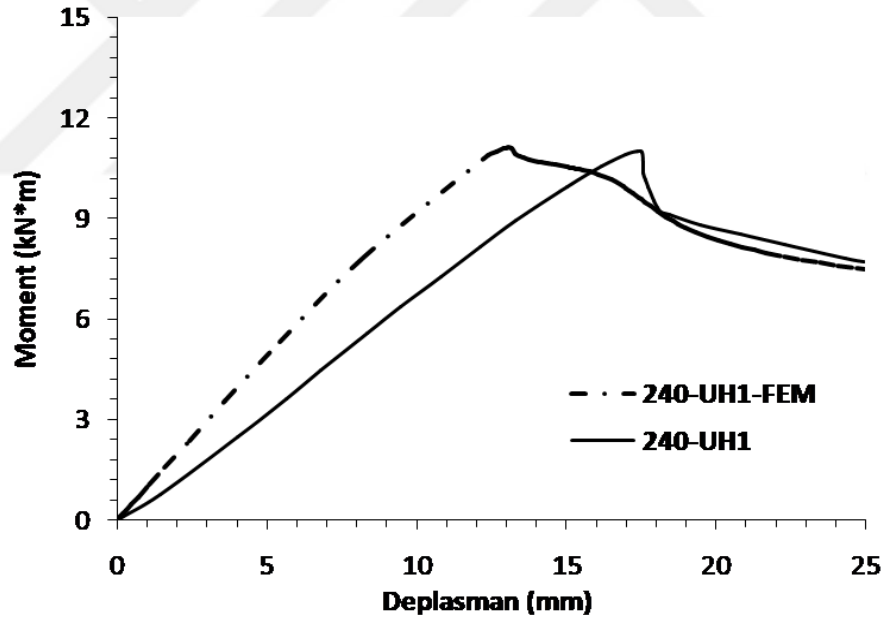
Çalışmada kullanılan malzeme modeli ve sonlu eleman tipinin doğru bir şekilde çalıştığını göstermek için literatürde yapılan bir çalışma modellenmiştir.(Chen ve ark., 2020). Çalışma hem deneysel olarak yürütülmüş olup, hem de ABAQUS sonlu elemanlar analiziyle sonuçlar desteklenmiştir. Çalışmada 16 adet soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin dört noktalı eğilme analizi yer almaktadır. Bunlardan 8 adet numune gövde deliği sertleştirilmiş kirişler, 6 adet numune gövde deliği sertleştirilmemiş kiriş ve 2 adet numune gövde deliğine sahip olmayan kirişler yer almaktadır. Ayrıca gövde deliği bulunan çelik kirişlerin gövde delik sayılarıda değiştirilerek moment kapasite değerleri hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analizinde gövde delikli olan modeller oluşturulmuş olup, doğrusal olmayan elasto - plastik

modeller ve modeller için geometrik kusurlarıda tanımlayarak deneysel sonuçlarını doğrulamışlardır. Deneyi gerçekleştirirken düzlem dışı arızayı önlemek için yükleme bölgelerine ve mesnet noktalarına yük aktarma blokları yerleştirilmiştir. Test numunelerinin malzeme özelliklerini elde etmek için çekme testleri yapılmıştır. Kirişlerin soğuk şekillendirilmiş özelliklerinin etkisini dikkate almak için hem düz gövde kısmından hem de köşe kısımlarından numune alınmış, her iki bölge için farklı değerler bulunmuştur. Malzeme özelliklerini İngiliz test ve malzeme standartına uygun olarak test etmişlerdir. Deney düzeneği Şekil 3.1' de görülmektedir. Sonlu elemanlar modelinde S4R shell eleman seçilmiştir. Ağ sıklığı için kirişlerde 5 mm x 5 mm ağ boyutu kullanılmış, yük transfer blokları için 10 mm x 10 mm nin uygun olacağını belirlemişlerdir. Gövde delikleri etrafında daha ince ağ boyutları kullandıklarını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarında gövde deliği sertleştirilmemiş kirişler için Moen ve Schafer tarafından önerilen tasarım denklemlerinden elde edilen moment kapasitesinin, sonlu elemanlar analizi ve testlerinden elde edilen moment kapasitesinden ortalama %11 daha düşük olduğu bulunmuştur. Gövdesi sertleştirilmiş kirişleri Moen ve Schafer tarafından önerilen denklemlerle karşılaştırmışlar, kirişlerin tasarım moment kapasitesinin, önerilen denklemlere göre %28 oranında aşırı temkinli olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin Moen ve Schafer denklemlerinin sertleştirilmemiş gövde delikleri için olması, sertleştirilmiş gövde deliklerinin geometrik özelliklerini taşımamasından kaynaklı olduğu söylenmiştir.

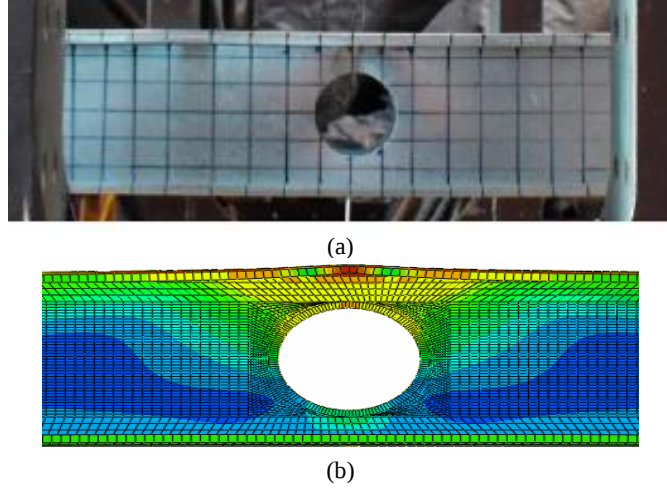
Literatürdeki çalışmadan alınan L4000-UH1-1 deney numunesi tekrar modellenmiştir. Doğrulama çalışması ile yapılan analiz sonucunda elde edilen moment-deplasman eğrisi Şekil 3.2' de verilmiştir. Chen ve ark.(2020), tarafından yapılan sonlu eleman çalışması ile doğrulama çalışması arasında %10'luk bir farkın olduğu ve bu değer de kabul edilebilir bir yakınsaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonucunda deforme olan numune ile sonlu elemanlar yönteminde elde edilen model görselleri Şekil 3.3' de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 3.1. Abaqus Doğrulama Modeli Deney Düzeneği (Chen ve ark. (2010))



Şekil 3.2. Doğrulan Modelin Moment(kNm) - Deplasman(mm) Eğrisi



Şekil 3.3. (a) 240-UH1 Laboratuvar Deney Görseli ve (b) Abaqus Analiz Görseli

3.3. ABAQUS/CAE Sonlu Elemanlar Yöntemi

Çalışma için model oluşturulurken kullanmış olduğumuz Abaqus/CAE yazılımı, eleman tabanlı parametrik modelleme yapmamıza olanak sağlamıştır. Abaqus; çözümleme için girilen parametreler, eleman ağacında gözükmekte olup sonradan uygulamaya dönük değiştirilebilme özelliği sağlayan güçlü bir sonlu elemanlar yazılımıdır. (ABAQUS V.6.6 Documentation).

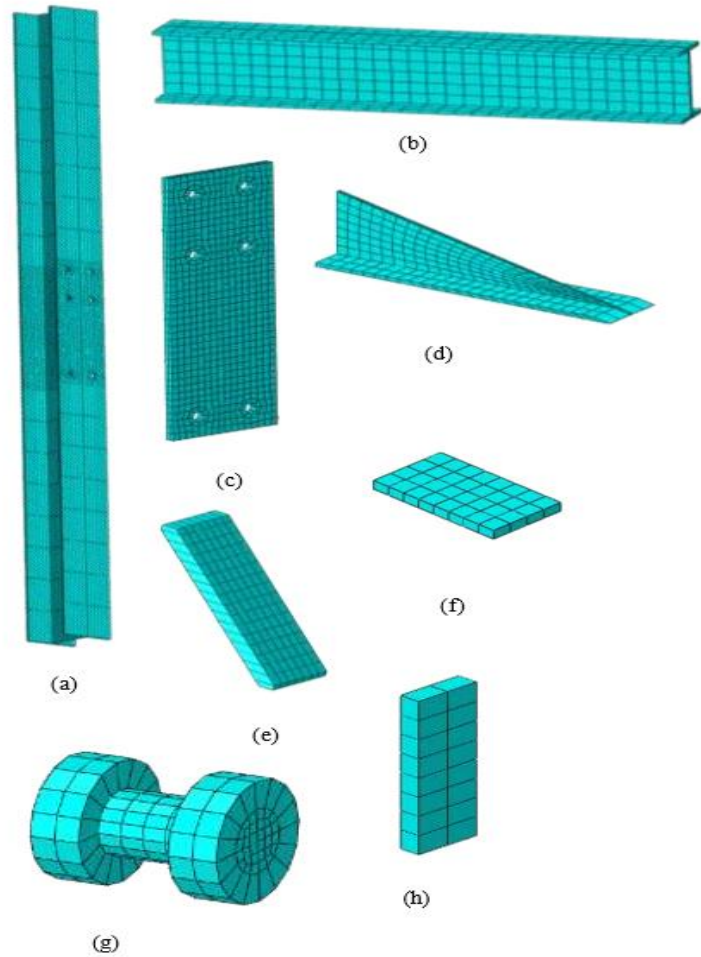
Günümüzde bütçe, zaman ve ekipman gibi kısıtlamalar nedeniyle sonlu elemanlar analizleri oldukça önemlidir. Bu analizler, tasarım süreçlerini hızlandırabilir, maliyeti ve zamanı azaltabilir ve laboratuvar deneylerinin yerini alabilir. Abaqus gibi yazılımlar, kullanıcıların modelde hızlı ve kolay değişiklikler yapmalarını sağlayarak bu süreci daha da iyileştirir. Bu da mühendislerin tasarım sürecinde esneklik ve verimlilik sağlar.

Lineer ve non-lineer analizler, termal analiz, dinamik analiz, kırılma ve hasar analizi gibi çeşitli analiz türlerini sunmaktadır. Elastik, plastik, viskoelastik, kırılğan elastoplastik ve elastoviskoelastik gibi çeşitli malzeme modellerini içerir. Paralel hesaplama yeteneği sayesinde büyük modellerin yüksek analizlerini hızlı bir şekilde sonuçlandırır.

3.4. Sonlu Elemanlar Analiz Adımları

İlk aşamada, iki veya üç boyutlu bir model hazırlanır. Bu model, gerçek dünya probleminin geometrik ve fiziksel özelliklerini temsil eder. Property kısmında malzemenin özellikleri tanımlanır. Birçok parçası tanımlanan malzemeler bir araya getirilerek (assembly) çözümlenecek problemi oluşturur. Sonlu elemanlar metodu ile

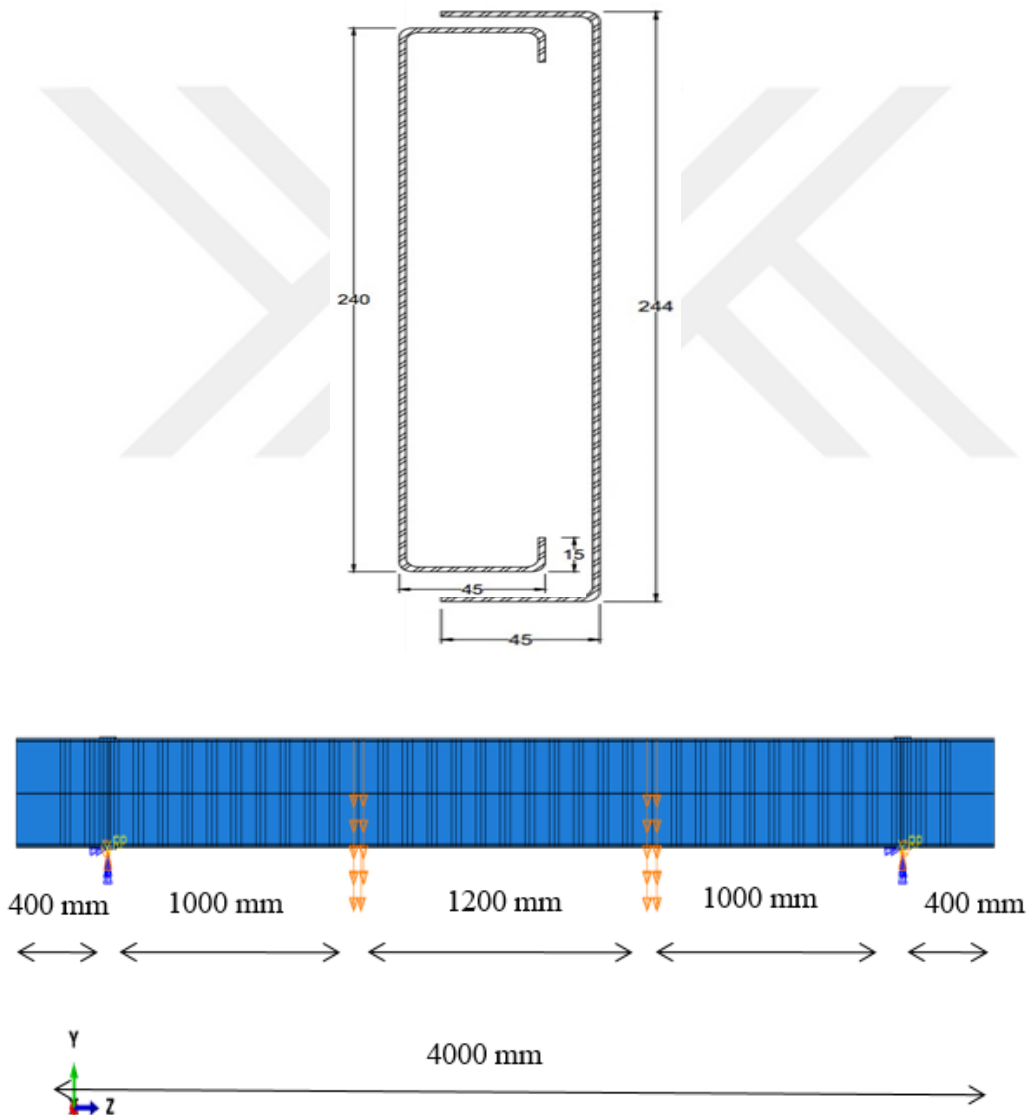
analiz yapmak için incelenen yapı daha küçük alt parçalara(mesh) ayrılır. Bu işlem, yapı üzerinde düğüm noktaları ve bu düğüm noktalarından birbirine bağlı elemanlar oluşturularak gerçekleştirilir. Bu süreç genellikle "mesh generation" olarak adlandırılır. Her elemanın fiziksel davranışını temsil eden şekil fonksiyonları tanımlanır. Bu fonksiyonlar, eleman içindeki sürekli fonksiyonların çözümünü temsil eder. Her eleman için fiziksel davranışını temsil eden denklemler geliştirilir ve tüm problemi temsil edecek şekilde elemanlar birleştirilir, böylece direngenlik matrisi oluşturulur. Daha sonra sınır koşulları, başlangıç koşulları belirlenir ve yükleme uygulanır. Çözüm aşamasında, her düğüme ait sonuçlar, örneğin farklı düğüm noktalarındaki yer değiştirme değerleri gibi verileri elde etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel denklem sistemleri çözülür. Programda oluşturulmuş örnek parçalar Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon ve (h) Kiriş Berkitmesi sonlu eleman ağ sıklığı ve modelleri (Şekil Ölçeksizdir). (Sadıd,2019).

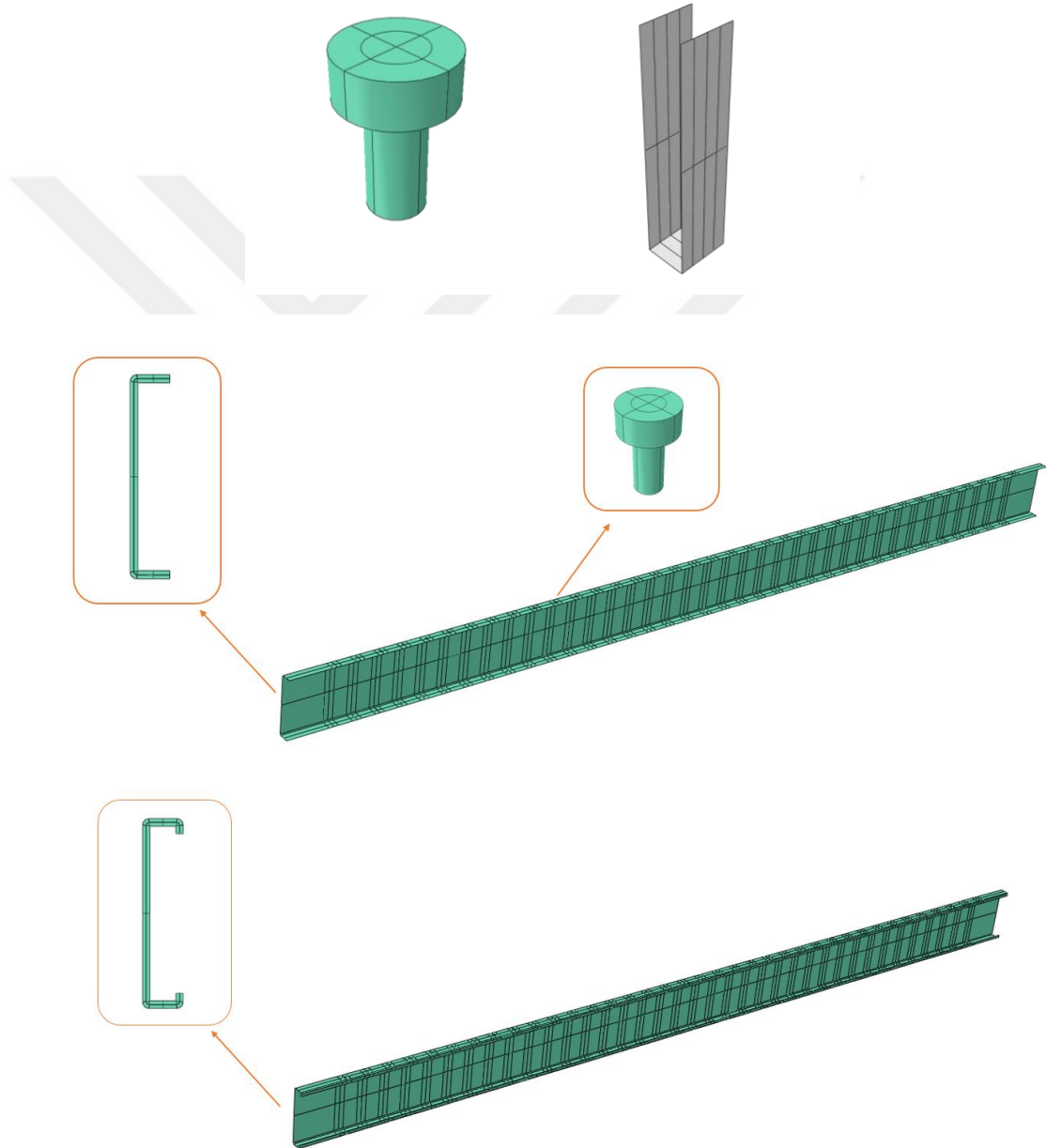
3.5. C Profil Modellerin Sonlu Eleman Programında Oluşturulması

Çalışmada kutu enkesit şeklini teşkil etmek için dudaklı ve dudaksız C profiller kullanılarak birleşik bir enkesit oluşturulmuştur. Model kiriş boyu inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan kiriş boyutlarından 4000mm olarak tasarlanmıştır. Bileşik enkesiti teşkil eden dudaklı profil yüksekliği 240 mm dudaksız profil yüksekliği 244 mm olarak seçilmiştir. Dudaklı ve dudaksız profillerin yükseklikleri, bu profillerin birlikte çalışmasını ve stabil bir yapı oluşturmasını sağlamak için seçilmiştir. Her iki profilde gövde ve başlık kalınlık 2 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5). Köşe dönme bölgesi yarıçapı 2 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.5. FEM analiz modeli için oluşturulan yapma bileşik enkesit- boykesit ölçüleri ve yükleme noktaları

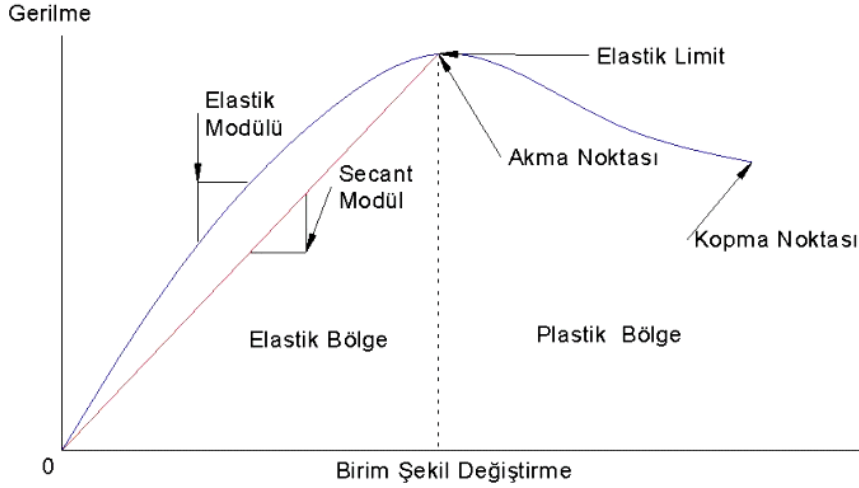
CFS dudaklı ve dudaksız C profiller ve akıllı vidalar modellemesi part kısmında tek tek modellenmiştir. Assembly kısmında modellenen parçaların birleşimi yapılmıştır. C profillerin ve akıllı vidaların malzeme davranışı density(yoğunluk) seçilmiş olup, değeri $7,85E-9 \text{ ton/m}^3$ girilmiştir. C profiller ve akıllı vidalar solid, homogeneous olarak modellenmiştir. C profiller iki destek noktasına yerleştirilmiş ve buradaki mesnet noktaları için rijit parça modellenmiştir. İki belirli nokta üzerinde yükleme yapılmıştır. Abaqusde modellenen parçalar Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Modellenen Akıllı vida, Rijit parça, Dudaklı ve dudaksız profiller

3.6. Modellere malzeme tanımlanması

C profillerin değişen akıllı vidaların ve gövde deliklerin modellenmesi için malzemelerin elastisite modülünün, akma dayanımı, çekme dayanımı ve poisson oranı tanımlanmalıdır. Aşağıda Şekil 3.7 gerilme-şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.7. Şekil değiştirme- Gerilme

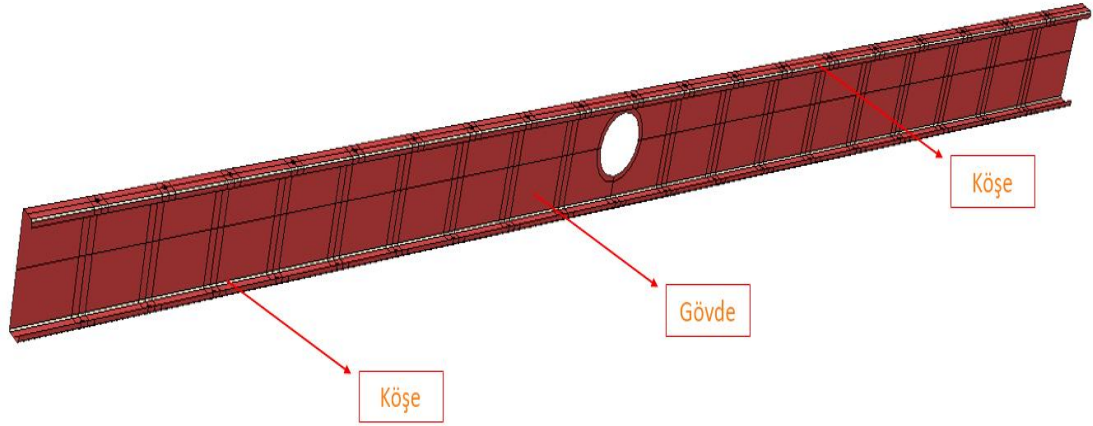
Parametrik çalışmada analiz edilen kirişlerde kullanılan profil çeliklerinin malzeme özellikleri, FE modeli doğrulama çalışması için kullanılan Chen ve ark.(2020) tarafında gerçekleştirilmiş deneysel çalışmadan alınmıştır (Tablo 3.1.). Malzeme özelliklerinin çelik parçadaki görseli Şekil 3.8’ de verilmiştir.

Tablo 3.1. Malzeme detayları(Chen ve ark.2020)

Kupon	Elastisite Modülü (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Poisson Oranı
Köşe	210052	363,4	431,8	0,3
Gövde	192057	332,8	420,5	0,3

Soğuk şekillendirilmiş dudaklı ve dudaksız C kirişlerle teşkil edilen bileşik enkesitli kutu profilde birleşim aracı olarak akıllı vida kullanılmıştır. İki kiriş parçasının birleşiminde soğuk şekillendirilmiş çelik elemanın et kalınlığı 4mm’den ince olduğu için akıllı vida tercih edilmiştir. Bunun nedeni vida kullanımıyla malzemenin kesilmesi veya zayıflatılması riskinin azalması ve bağlantıların güvenli bir şekilde oluşturulabilmesidir. G500 akıllı vidaların eğilme davranışının etkisi doğru bir şekilde

simüle eden sayısal model kullanılmıştır. G500 akıllı vidanın mekanik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. G500 akıllı vida çapı 3,14 mm olarak alınmıştır.



Şekil 3.8. Malzeme detayları tanımlanan dudaklı çelik profil

Tablo 3.2. G500 akıllı vida mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Beklenen Minimum
Akma Dayanımı (Mpa)	500
Çekme Dayanımı (Mpa)	520
Uzama ($L_0 = 80\text{mm}$ uzama miktarında % ($\geq 0.6\text{mm}$))	7
90° Enine Eğim (L eksen)	6t

Dudaklı ve dudaksız C profilleri, akıllı vidaları ve rijit parça modellerini assembly kısmında birleştirdikten sonra aralarında bağlantının nasıl olacağını programa belirtmelidir. Rijit parça ile C profil birleşimi kaynak olarak modellenmesi için Abaqus de Tie olarak bilinen kaynağı temsil eden ara eleman tipi kullanılmıştır. Bu şekilde tanımlanan yüzeyler arasındaki etkileşim tamamen birbirine aktarılmaktadır.

Ayrıca profillerin yükleme esnasında birbirlerine geçmemesi için tangential behavior seçilmiştir. Dudaklı ve dudaksız C profiller, akıllı vidalar ve C profillerin teğet temas etkileşimleri arasındaki sürtünme katsayısı 0.4 olarak tanımlanmıştır. Chen ve ark. yaptığı test sonuçları ile sayısal veriler oranının ortalama değerine gelen sürtünme katsayısı 0.4 belirlenmiş ve analizde kullanılmıştır.

Sonlu eleman analizi yapılacak olan çelik deneyinin malzeme mekanik özellikleri ve elastisite modülü Tablo 3.1’de verilmişti. Bu bilgilerden yararlanarak malzemenin elasto-plastik şekilde modellenmesinin uygun olacağına karar verilmiştir.

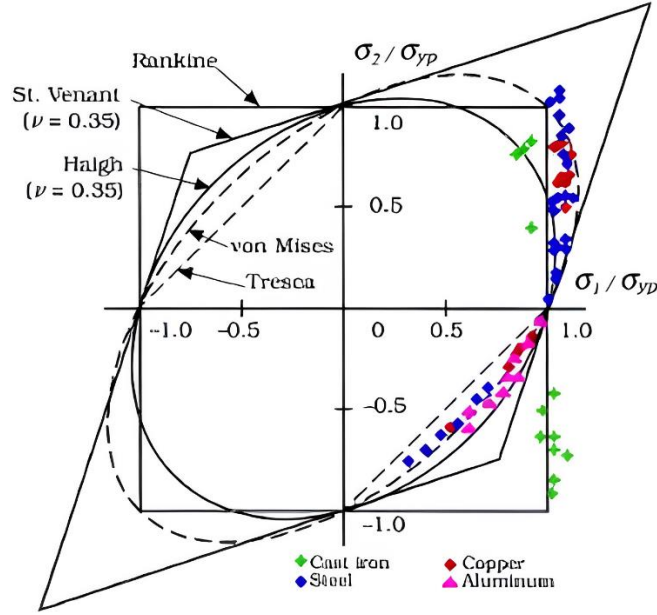
3.7. Kırılma Hipotezleri

Kırılma hipotezleri, bir malzemenin ya da yapının kırılma anını ve kırılma şeklini nasıl gerçekleşeceğini tahmin etmeye yönelik teorik yaklaşımlardır. Hipotezler, malzemelerin farklı stres ve yük koşulları altında nasıl davranacağını öngörmek amacıyla teorik bir çerçeve sunar. Bu hipotezler, malzemenin iç yapısı, uygulanan yüklerin büyüklüğü ve yönü, malzemenin sünek veya gevrek olup olmadığı gibi faktörleri dikkate alır.

Maksimum normal gerilme hipotezi (Rankine hipotezi); Kırılmanın, malzemedeki en büyük normal gerilmenin malzemenin akma dayanımını aştığı noktada gerçekleşeceğini varsayar. Maksimum kayma gerilmesi hipotezi (Tresca hipotezi); Kırılmanın, en yüksek kayma gerilmesinin malzemenin kayma dayanımını aştığı noktada oluşacağını öne sürer. Maksimum enerji yoğunluğu hipotezi (Von Mises hipotezi); malzeme kırılmasının, toplam enerji yoğunluğunun belirli bir kritik değeri aştığında gerçekleşeceğini varsayar. Coulomb – Mohr hipotezi; Malzemenin hem kayma hemde normal gerilme etkisi altında kırılacağını, ancak kayma ve normal gerilmelerin bileşenlerine bağlı olduğunu ifade eder. Griffith kırılma hipotezi; Özellikle gevrek malzemeler için geçerli olan bu hipotez, kırılmanın malzeme içinde bulunan mikroskobik çatlakların büyümesiyle başladığını belirtir. Maksimum uzama enerjisi hipotezi; Kırılmanın, malzemedeki birim hacimdeki maksimum uzama enerjisinin belirli bir kritik değeri aştığında gerçekleşeceğini varsayar.

Bu hipotezler, farklı türde malzemelerin kırılma mekanizmalarını anlamak ve tasarımlarda güvenlik sınırlarını belirlemek için uygulanır. Hangi hipotezin seçileceği, malzemenin özelliklerine ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişir. Bu sayede, malzemelerin performansı ve güvenirliliği daha iyi tahmin edilebilir ve tasarımların sonuçları etkin bir şekilde optimize edilebilir.

Bu çalışmada Von Mises hipotezli tercih edilmiştir. Sünek malzemeler için uygun model olmasının yanında, plastik deformasyon durumunu doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi hipotezin tercih edilmesinde belirleyici kriterler olmuştur.



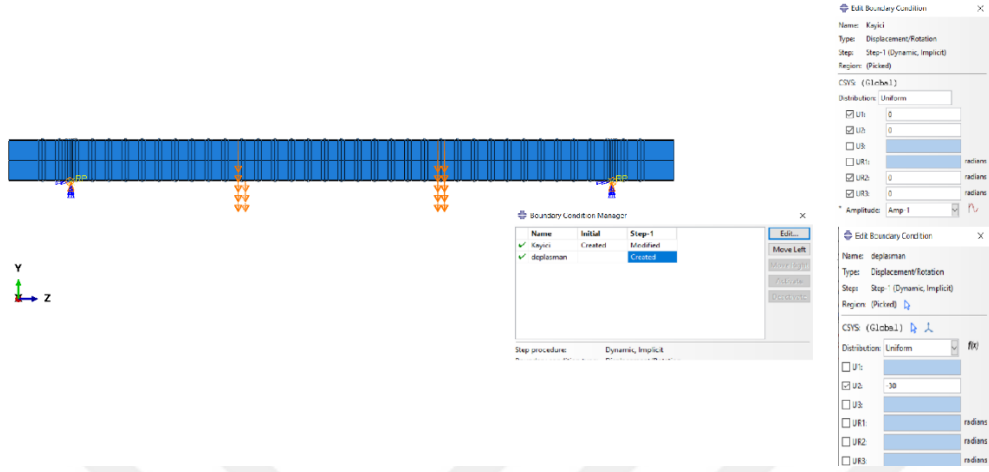
Şekil 3.9. Kırılma Hipotez Eğrileri (Korkut, <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/24/kirilma-hipotezleri/>)

3.8. Yükleme ve sınır koşullarının belirlenmesi

C profil modellere y eksenine yönünde 30 mm deplasman kontrollü yükleme yapılmıştır. Deplasman kontrollü yükleme, özellikle malzemenin deformasyon davranışının, kırılma sonrasında bile incelenebilmesi için kullanılır. Böylelikle malzemenin elastik sınırı, akma noktası ve plastik deformasyon aşamaları daha net bir şekilde belirlenebilir. Ayrıca gerilme kontrollü yükleme, kuvvet kontrollü yükleme ve çevrimsel yükleme yöntemleri vardır. Gerilme kontrollü yükleme, malzemelerin uzun vadeli davranışlarını incelemek için kullanılır örnek olarak sürünme testleri gösterilebilir. Kuvvet kontrollü yükleme, metal testlerinde ve sertlik ölçüm deneylerinde yaygın olarak kullanılır. Çevrimsel yükleme, numuneye belirli bir aralıkla değişen yükler uygulanır. Malzemenin yorulma direnci gibi davranışlarını incelemek için kullanılır. Bu yükleme genellikle köprü, bina gibi yapılar üzerindeki dinamik yüklerin simülasyonunda kullanılır.

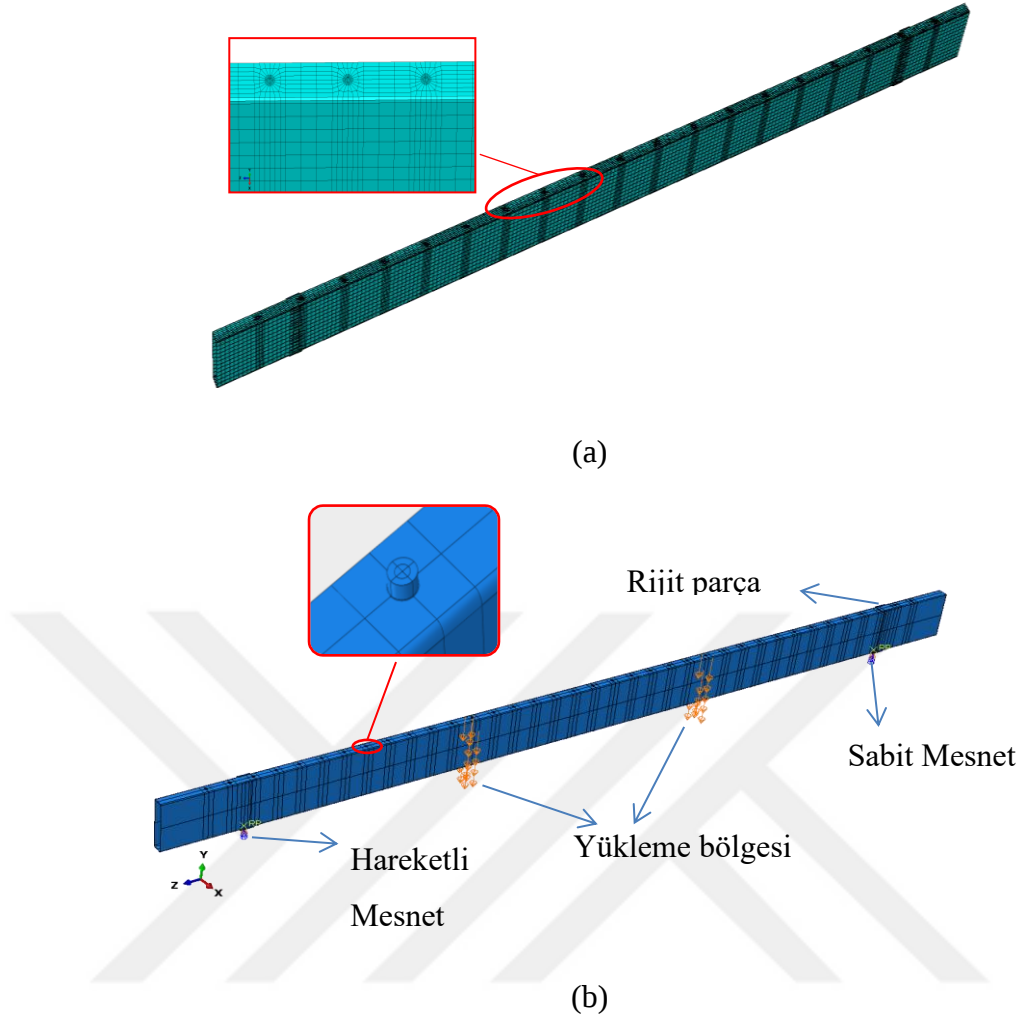
Deplasman kontrolünün 30 mm ile sınırlandırılması, hem fazla analiz sonuçlarının elde edilmesine neden olacak hem de analiz süresini gereksiz yere uzatacaktır. Yapılan analizlerde, deplasmanların 14-16 mm arasında yüksek moment değerleri gösterdiği ve bu aşamadan sonra lineer bir eğriye ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu

nedenle, 30 mm'lik bir deplasman kontrolü, analiz açısından yeterli olarak değerlendirilmiştir. Bu yükleme aralığı iki sabit mesnet arası 3600 mm ve mesnet yükleme arası 1200 mm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.10. Abaqus Model Sınır Koşulları

ABAQUS programında üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulan kirişlerin eğilme davranışı incelendiği için düğüm noktası başına altı serbestlik derecesine sahip doğrusal 4 düğümlü dörtgen (S4R) kabuk eleman kullanılarak modellenmiştir. İnce kabuklarda kayma deformasyonunun göz ardı edilmesi nedeniyle Kirchhoff teorisi kullanılırken, kalın kabuklarda Mindlin teorisi tercih edilir. S4R elemanı, hem ince hem de kalın kabuklarda uygun analiz sağlayan, azaltılmış integrasyon yöntemi kullanan ve enine kayma gerilmesi formülasyonu Banyo-Dvorkin formülasyonuna benzeyen bir elemandır. Modeller oluşturulurken çözüm ağı(mesh) sıklığı kiriş boykesitinde gerilme yığılması dağılımlarına bakılarak farklı oranlarda seçilmiştir. Büyük gerilme yığılmaları olan bölgelerde küçük mesh parçaları ile az olduğu bölgelerde ise büyük mesh parçaları ile analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. (a) FEM analiz modeli ağ sıklığı (b) FEM analizinde sınır koşulları

3.9. Moment- Şekil Değiştirme

Taşıyıcı sistemde bir yükleme yapılacağı zaman sistemin aşağıdaki adımlar gibi ilerlemesi beklenir;

- Herhangi bir noktada elastik sınır gerilmesinin aşılması sağlanmalıdır.
- Servis yükleri altında oluşan şekil değiştirmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde tutulmalıdır.
- Sistemde kararsız denge durumlarının oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Birleşim noktalarında mukavemet sınırının aşılması sağlanmalıdır.
- Yorulmadan dolayı kırılmaların önlenmesi için uygun tasarım ve malzeme seçimi

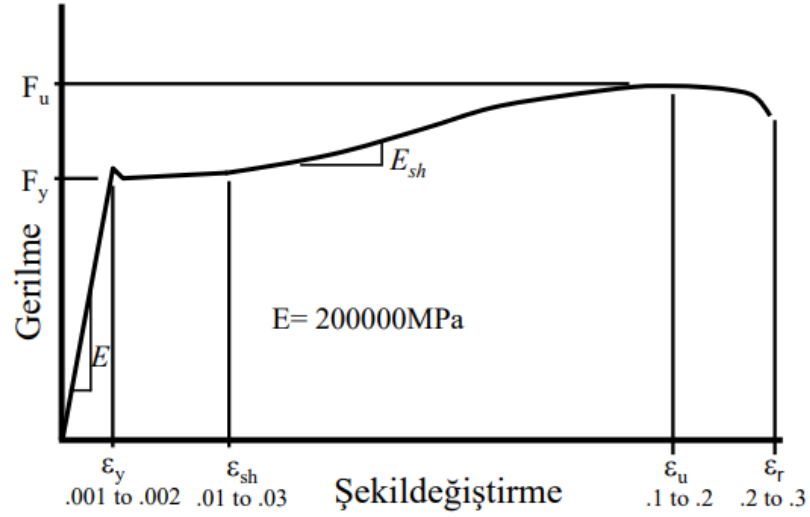
Birincil koşul dışında kalan diğer koşulların sağlanmaması durumunda sistem kullanılamaz hale gelirken, gerilmelerin bazı noktalarda elastik sınırı aşması, malzemenin plastik davranışını ortaya koyar. Bu durumda, sistem bazı noktalarda plastik, bazı noktalarda ise elastik davranış sergiler. Buna elastik-plastik davranış denir.

Yüklerin belirli bir düzeye ulaşmasıyla elastik davranış sona erer ve sistem sadece plastik deformasyon gösterir, bu durumda sistem göçer. Bu nedenle, sistemde elastik sınır ötesindeki davranışın değerlendirilmesi ve göçme durumunun hesaplanması, daha gerçekçi ve ekonomik çözümlere ulaşmayı sağlar. Plastik hesaplamalar, malzemenin mukavemet sınırlarını aşan yükler altında nasıl davranacağını anlamamıza yardımcı olur. Bu yaklaşım, yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını artırmak için önemli bir adımdır.

Plastik hesaplama sürecinde, servis yükleri altında bazı kesitlerde plastik mafsallar oluşabilir, ancak göçme mekanizması oluşmaz. Bir kesitin taşıma kapasitesine ulaşabilmesi için o kesit tamamen plastikleşmelidir. Bu durumda, söz konusu kesitte bir plastik mafsal oluşmuş demektir. Plastikleşmiş bir kesitte, şekil değiştirmeler (dönmeler) meydana gelir; ancak sistem mekanizma durumuna erişmediği sürece göçme oluşmaz.

Çelik gibi malzemelerde, elastik sınır gerilmesine ulaşıldığında büyük şekil değiştirmeler ve uzama görülebilir; bu özellikleriyle düktil malzemeler olarak kabul edilirler. Yükler arttıkça, plastik bölgeye geçildiğinde sistemdeki plastikleşmiş elemanlar şekil değiştirmeye devam eder. Ancak bu plastik şekil değiştirmeleri sonucunda malzeme, plastik bölgede kalır ve eski halini alma yeteneğini kaybeder.

Çelik, plastik sahanlığı (Akma sahanlığı) sonunda elastik şekil değiştirmeleri 15 katına kadar şekil değiştirme yapar. Daha ileri deformasyonlarla birlikte malzemenin gerilme kapasitesinde bir artış olur (Şekil 3.12). Bu, pekleşme olarak tanımlanır. Pekleşme, malzemeye uygulanan yükler elastik bölgeyi geçince kalıcı deformasyona uğramasına sebep olur. Pekleşme, plastik şekil değiştirme bölgesi içinde yer almaktadır.

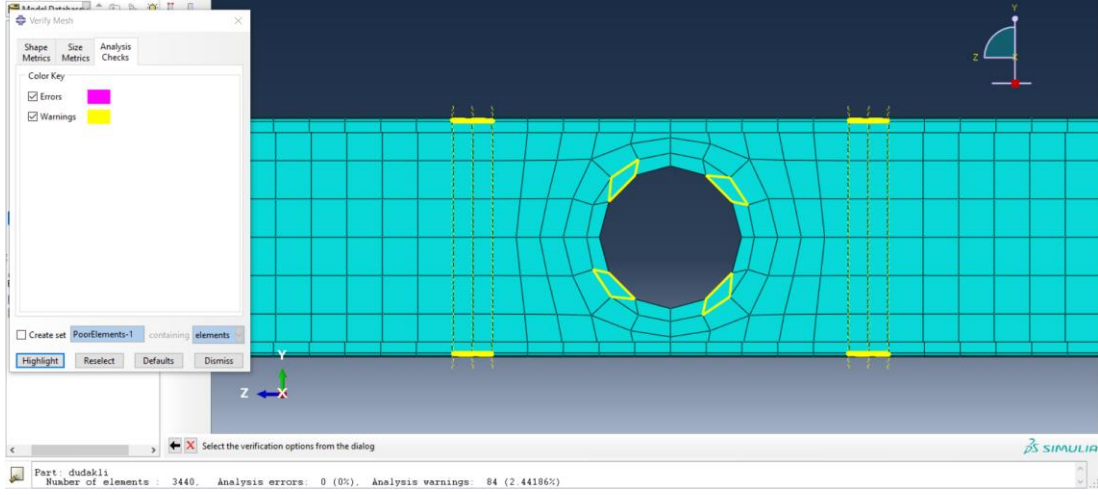


Şekil 3.12. Gerilme- Şekil Değiştirme grafiği (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016)

3.10. Sonlu eleman ağı

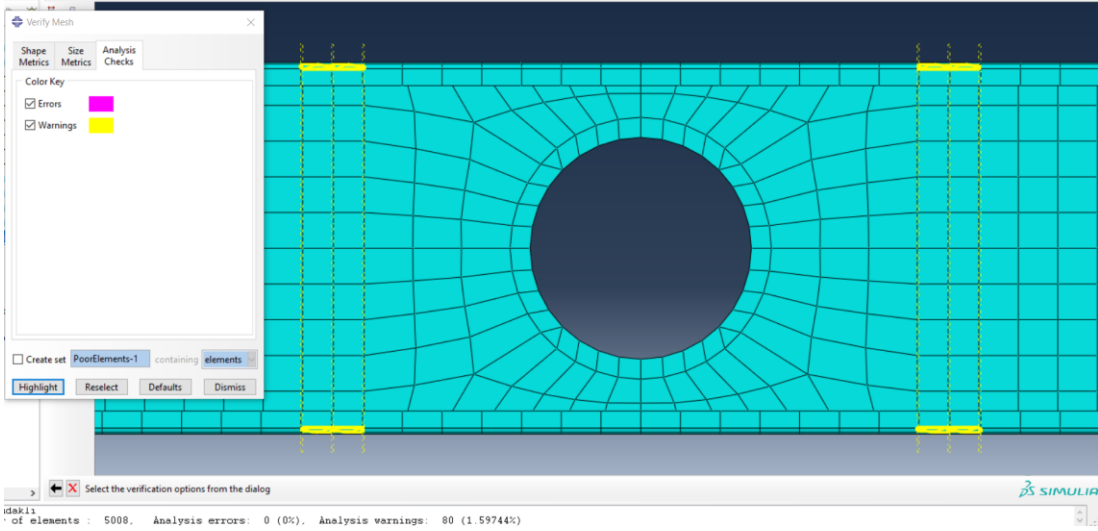
Analiz edilecek yapı ve sistem, sonlu sayıda eleman adı verilen daha küçük ve basit parçalara bölünür. Her eleman için denklemler yazılır ve tüm elemanlar bir araya getirilerek sistemin genel denklemleri elde edilir. Mesh (ağ) sonlu elemanlar yönteminde analizi yapılacak olan model, sonlu sayıda küçük elemanlara (üçgenler,dörtgenler..) bölünmesiyle yapılır. Bu elemanlar düğüm noktaları ile birbirine bağlanır. Bu düğüm noktalarının sayısı çözüm doğruluğunu ve aynı zamanda hesaplama süresini doğrudan etkiler. Ağ sıklığı daha fazla sayıda olması daha küçük elemanlar anlamına gelir. Yüksek ağ sıklığı modeli doğru bir şekilde ifade eder, bu da çözümün doğruluğunu artırır. Bu yüksek ağ sıklığı daha fazla eleman ve daha fazla düğüm noktası anlamına geldiğinden, çözüm süresini ve hesaplama maliyetini artırır. Bu yüzden kritik bölgelerde yüksek ağ sıklığı kullanılırken, az kritik bölgelerde düğüm ağ sıklığı kullanılması beklenir.

Ağ sıklığı ilk önce kirişler için 35x35 boyutunda seçilmiş ve programda olan Verify Mesh ile mesh kalitesini kontrol edebilmiştir. Sonuç hakkında elde edilen uyarıların görseli Şekil 3.13’de verilmiştir.



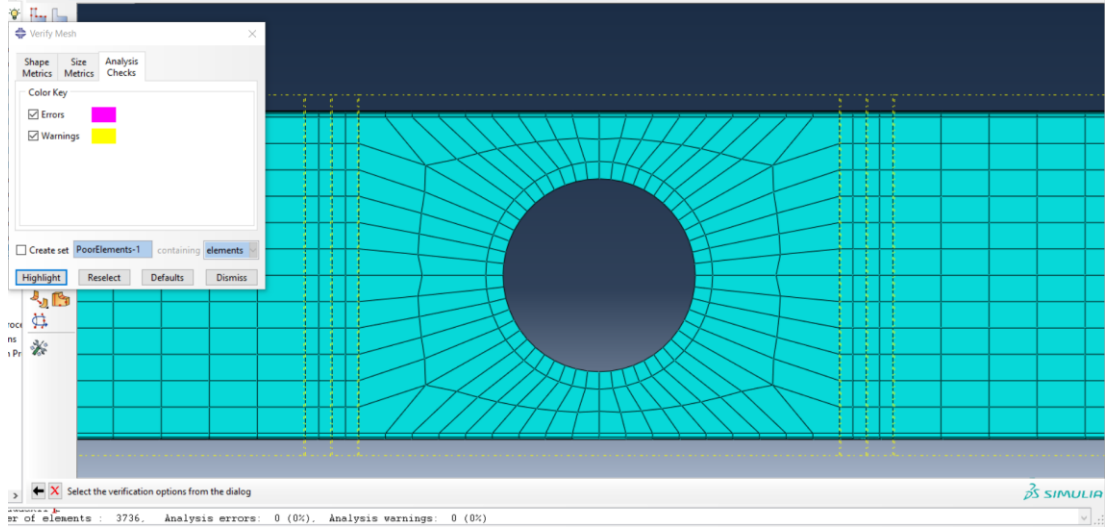
Şekil 3.13. Verify Mesh Sonucu

Yapılan mesh kalitesi sonucunda gövde delik etrafının daha küçük parçalara bölünmesi gerektiği anlaşılmıştır. Düzenlenen bir sonraki mesh sıklığı C profillerin kendisi için 25x25, gövde delik etrafı ve akıllı vida giriş kısmının etrafı için 15x15 boyutları seçilmiştir. Mesh kalitesine bakıldığında gövde deliği etrafında bir sorun olmadığını belirtmiş fakat S4R ile çözüm yaptığımız için parçalara bölünen delik etrafının dörtgen parçalandığını görmek isteriz. Şekil 3.14’ de üçgen parçalara bölündüğü görülmektedir. Bu yüzden delik etraflarının mesh kalitesi tekrardan düzenlenmiştir.



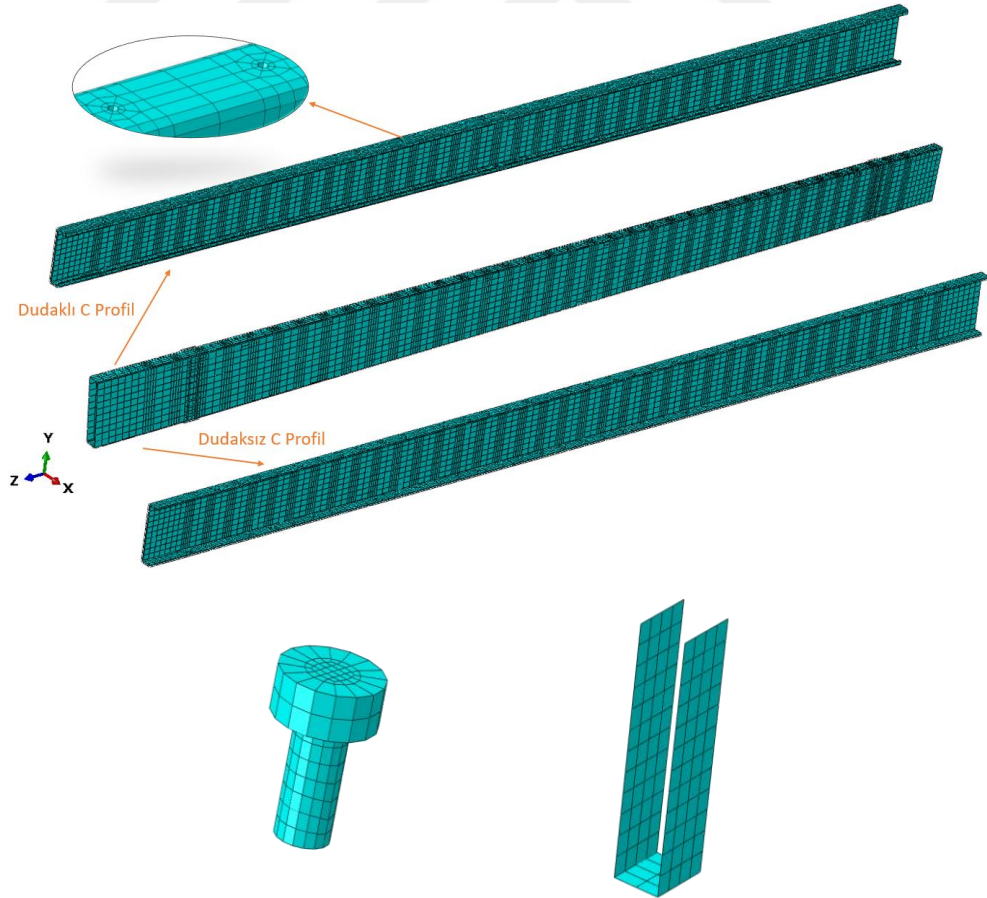
Şekil 3.14. Düzenlenen Mesh Kalitesi

Modellerde mesh kalitesi için düzenlenen son çalışma da parçada 25x25 ağ sıklığı, gövde delik etrafında 10x10 ağ sıklığı tercih edilmiştir. Bunun üzerine Verify Mesh sonuçları 0 olarak güncellenmiştir. Güncellenen mesh kalitesi Şekil 3.15’ de görülmektedir.



Şekil 3.15. Modellerin Mesh Kalitesi

Bu modelde değişen fiziksel bölgelerde akıllı vida birleşim delikleri, gövde delikleri etrafında yüksek ağ sıklığı tercih edilmiştir. Modelde olan delik etrafları 10x10 mm, C profillerin kendisi 25x25 mm, akıllı vida 2x2 mm ,rijit parça 20x20 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.16. Mesh parçalarına bölünmüş modeller

3.11. Analiz Modelleri

Modeller, a/d oranını ve akıllı vida arası mesafeyi gösterecek şekilde etiketlenmiştir. Örneğin, ‘M02A-S100-3D’ etiketi şu şekilde açıklanabilir, 02A a/d (d kiriş yüksekliği, a delik çapı) oranı 0,2 , S100 vida aralığı 100 (mm), 3D ise gövde delik sayısının 3 adet olduğunu ifade etmektedir.

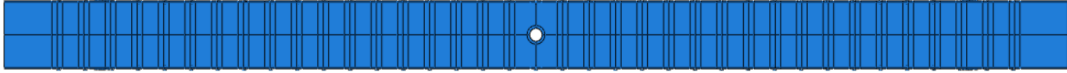
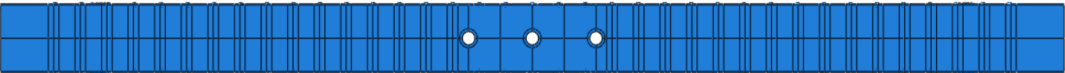
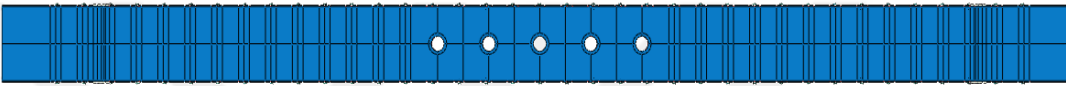
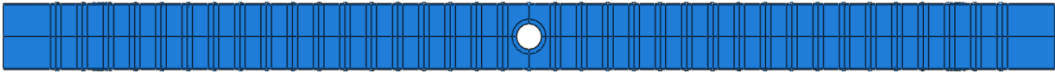
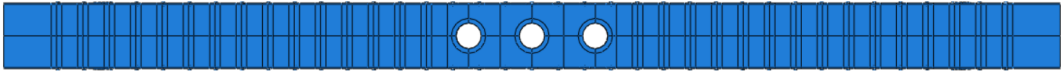
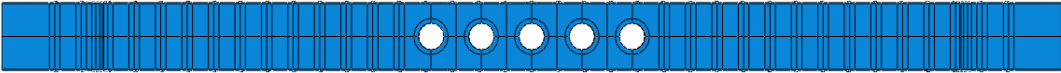
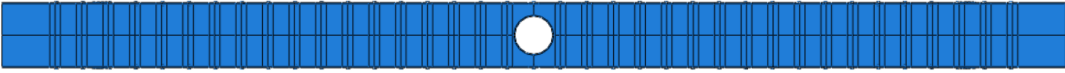
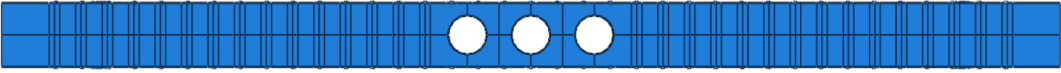
Çalışmada oluşturulan modelleri daha iyi anlayabilmek için modellerin olduğu görsel bir tablo oluşturulmuştur.

Tablo 3.3 Analiz Modelleri

Model	a/d	Gövde Delik Sayısı	Gövde Çapı (mm)	Vida Aralığı (mm)	Vida Sayısı (Tek Başlık)
M0A-S100	-	-	-	100	37
M0A-S200	-	-	-	200	19
M0A-S400	-	-	-	400	10
M02A-S100-1D	0,2	1	48	100	37
M02A-S200-1D	0,2	1	48	200	19
M02A-S400-1D	0,2	1	48	400	10
M02A-S100-3D	0,2	3	48	100	37
M02A-S200-3D	0,2	3	48	200	19
M02A-S400-3D	0,2	3	48	400	10
M02A-S100-5D	0,2	5	48	100	37
M02A-S200-5D	0,2	5	48	200	19
M02A-S400-5D	0,2	5	48	400	10
M04A-S100-1D	0,4	1	96	100	37
M04A-S200-1D	0,4	1	96	200	19
M04A-S400-1D	0,4	1	96	400	10
M04A-S100-3D	0,4	3	96	100	37
M04A-S200-3D	0,4	3	96	200	19
M04A-S400-3D	0,4	3	96	400	10
M04A-S100-5D	0,4	5	96	100	37
M04A-S200-5D	0,4	5	96	200	19
M04A-S400-5D	0,4	5	96	400	10
M06A-S100-1D	0,6	1	144	100	37
M06A-S200-1D	0,6	1	144	200	19
M06A-S400-1D	0,6	1	144	400	10
M06A-S100-3D	0,6	3	144	100	37
M06A-S200-3D	0,6	3	144	200	19
M06A-S400-3D	0,6	3	144	400	10
M06A-S100-5D	0,6	5	144	100	37
M06A-S200-5D	0,6	5	144	200	19
M06A-S400-5D	0,6	5	144	400	10

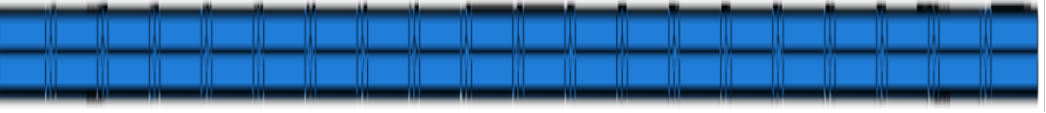
Tabloda sunulan veriler, daha anlaşılır kılmak amacıyla görsel unsurlarla desteklenmiştir.

Tablo 3.4. Delik sayılarına göre modeller


M0A-1D

M02A-1D

M02A-3D

M02A-5D

M04A-1D

M04A-3D

M04A-5D

M06A-1D

M06A-3D

M06A-5D

Tablo 3.5. Akıllı vida aralıklarına göre modeller


M0A-S100

M0A-S200

M0A-S400

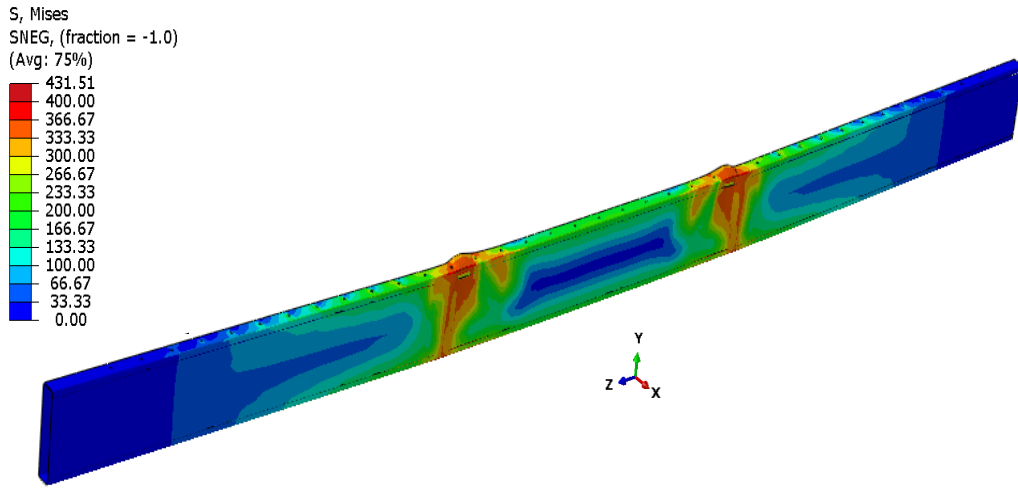
4. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu araştırmada, 30 adet dudaklı ve dudaksız C çelik profiller üzerinde birleşik enkesit oluşturulmuştur. Akıllı vidaların ve gövde delik sayısı, gövde delik çapının plandaki değişikliği ile birleşik enkesitte eğilme davranışına etkileri araştırılmıştır. Profil analizleri, Abaqus programında sonlu elemalar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş, analiz sonuçları olarak C profillerde meydana gelen plastik şekil değiştirmeler, yer değiştirmeler, akma dayanımları ve akıllı vidaların kesme dayanımları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca moment(kN*mm) - deplasman(mm) grafikleri oluşturulmuş, karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları profiller üzerinde karşılaştırılmalı olarak değerlendirmeye alınmıştır. Böylelikle gövde deliklerin profillerde yarattığı deformasyonlar daha ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

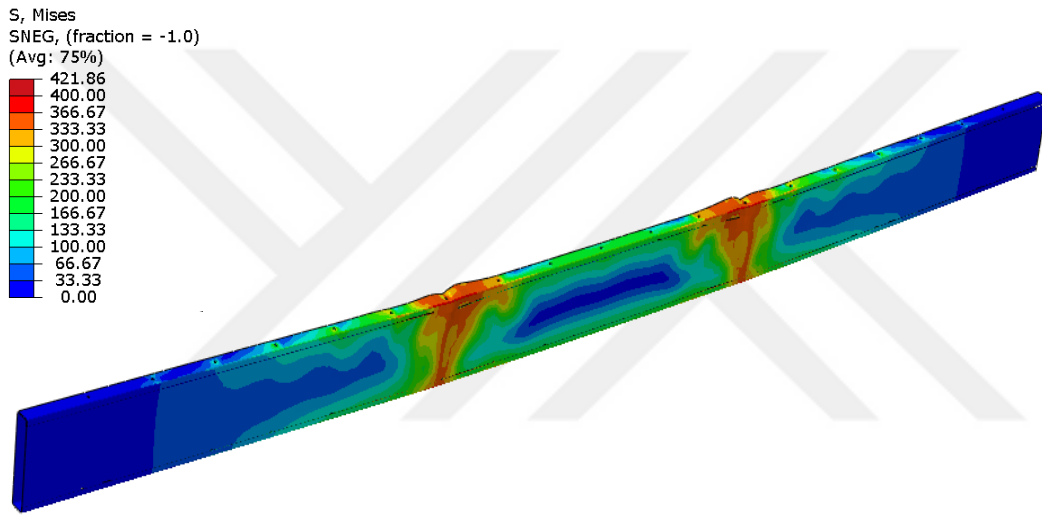
4.1. M0A Profillerin İncelemesi

4.1.1. M0A çelik profil gerilme dağılımları

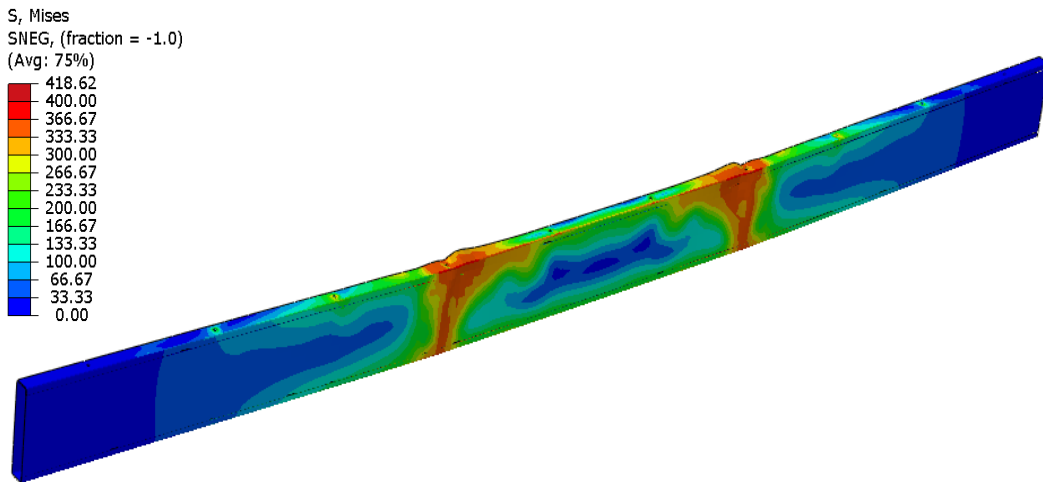
Dudaklı ve dudaksız C profilde oluşan Von Mises gerilme dağılımı, M0A-S100, M0A-S200, M0A-S400 için Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



(a)



(b)



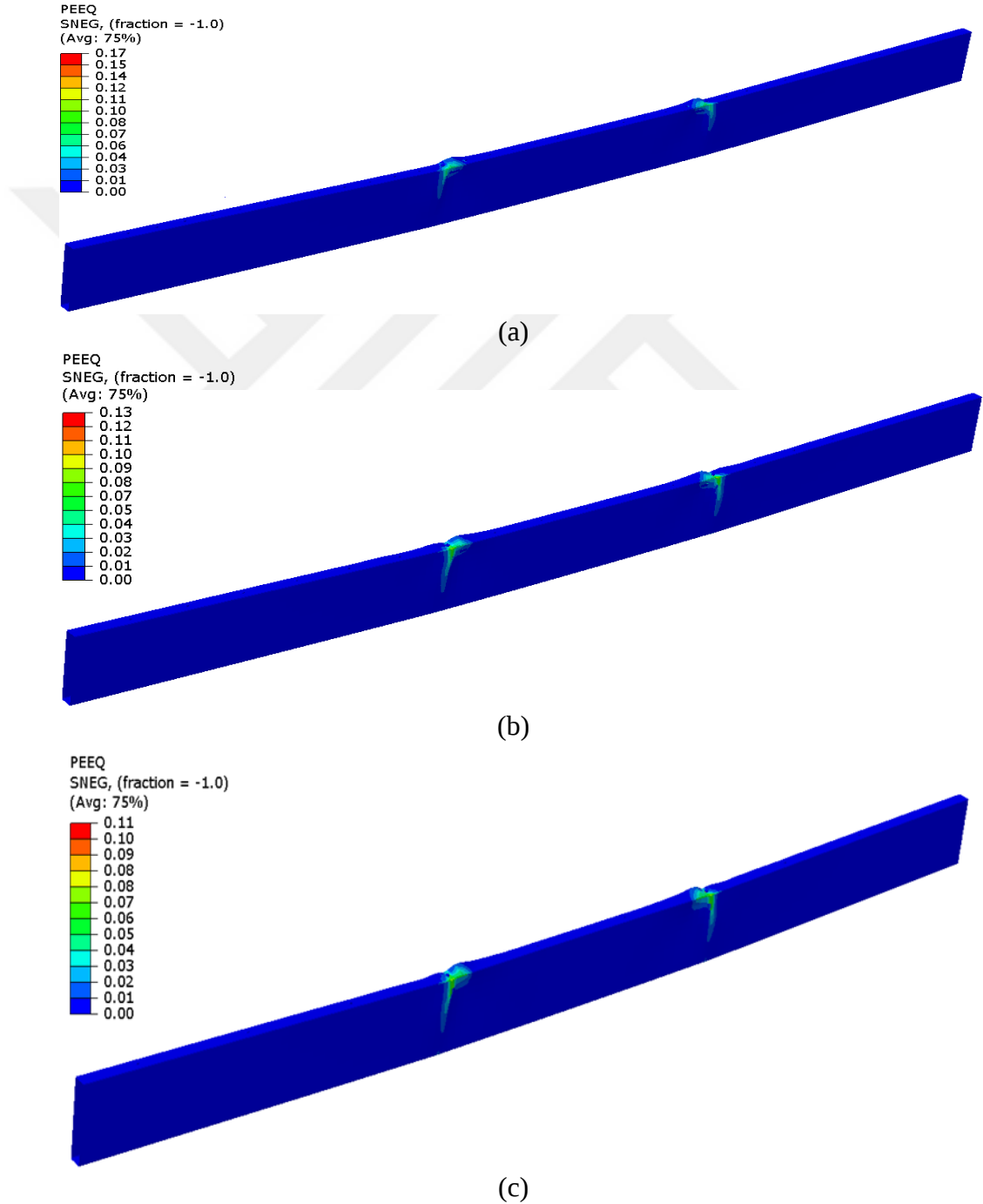
(c)

Şekil 4.1. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400

Von Mises gerilme sonuçlarına göre dudaklı ve dudaksız C profilde maksimum M0A-S100 için 431,51 MPa, M0A-S200 için 421,86 MPa, M0A-S400 için 418,62 MPa gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.1.2. M0A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı

Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 4.2’ de verilmiştir.

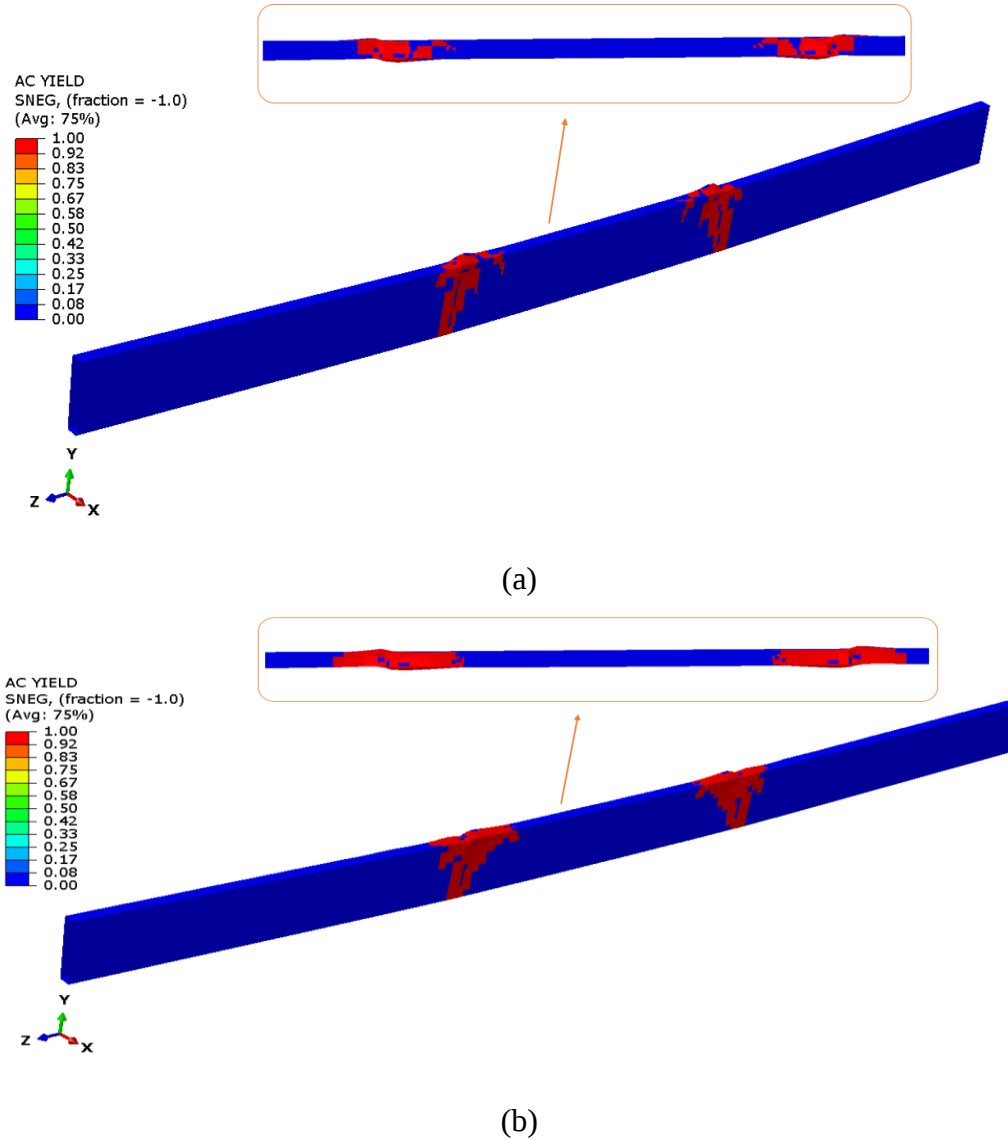


Şekil 4.2. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400

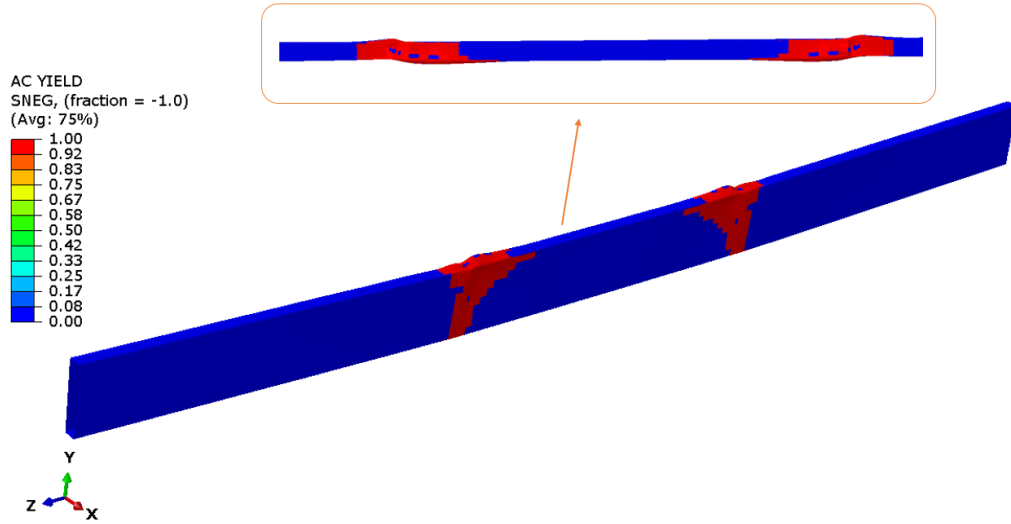
Profil üzerinde gerçekleşen 4 noktalı eğilme deneyi sonucunda yükleme bölgesindeki akıllı vidaların ilk önce plastik şekil değiştirme yapmaya başladığı gözlemlenirken yükleme noktaları arasında kalan akıllı vidaların bu vidalarla aynı anda plastik şekil değiştirme yapmaya başlamadıkları görülmüştür. 0A-S100 modelinde yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %11, 0A-S200 modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %13, 0A-S100 modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %17 olarak bulunmuştur.

4.1.3. M0A çelik profil akma dayanımları

Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan akma dayanımı Şekil 4.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.3. Akma Dayanımı: a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400



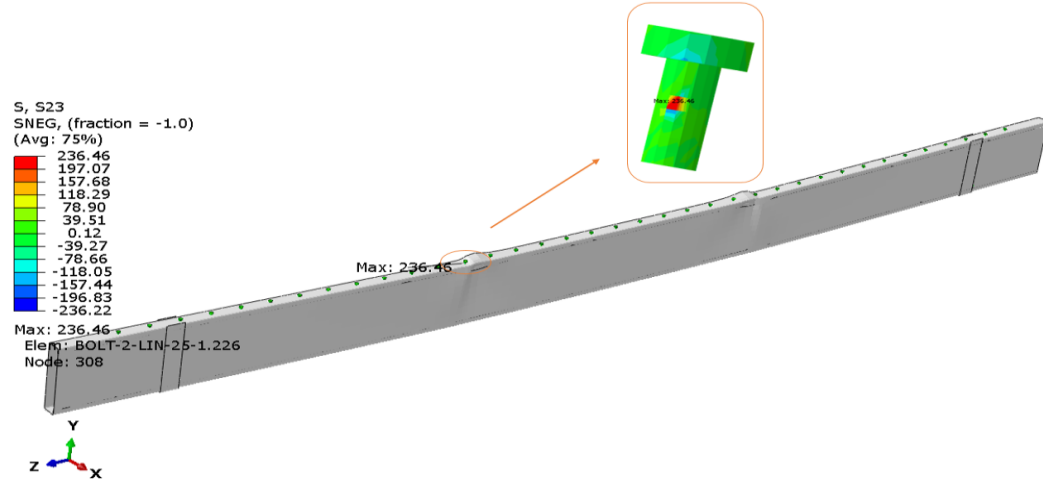
(c)

Şekil 4.3.(Devamı) Akma Dayanımı: a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400

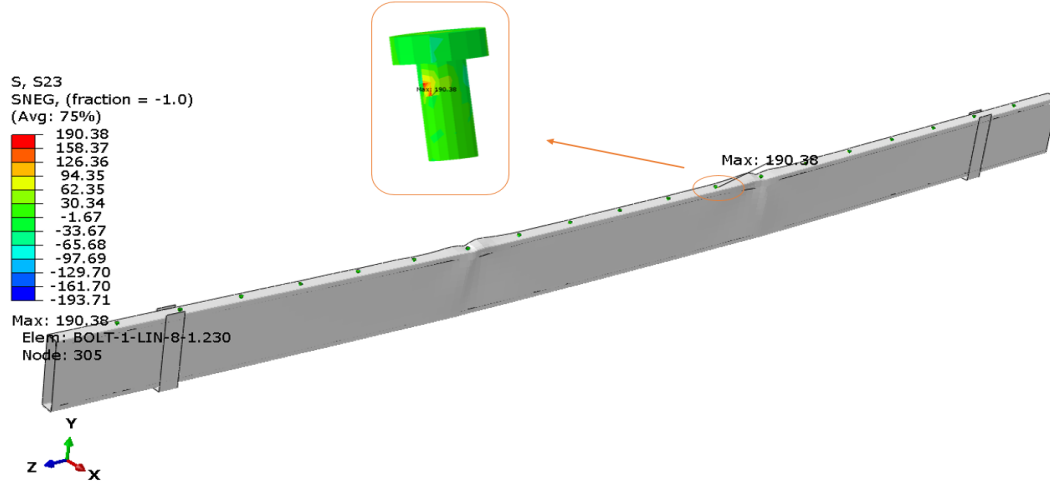
M0A analizinde oluşturulan her 3 modelde yükleme noktalarındaki akılı vida deliklerine şekil değiştirmeler oluşmakta ve delik çevresi akma dayanımı sınır durumuna ulaştığı gözlemlenmiştir.

4.1.4. M0A akıllı vidalardaki kesme durumu

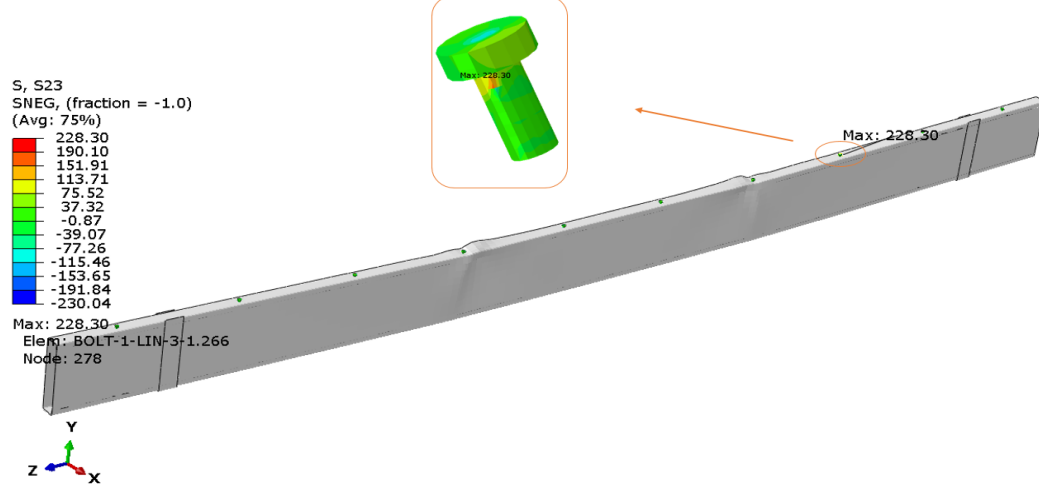
M0A enkesitli birleşimlerde kullanılan akıllı vidaların kesme gerilme dağılımları Şekil 4.4 de verilmiştir.



(a)



(b)



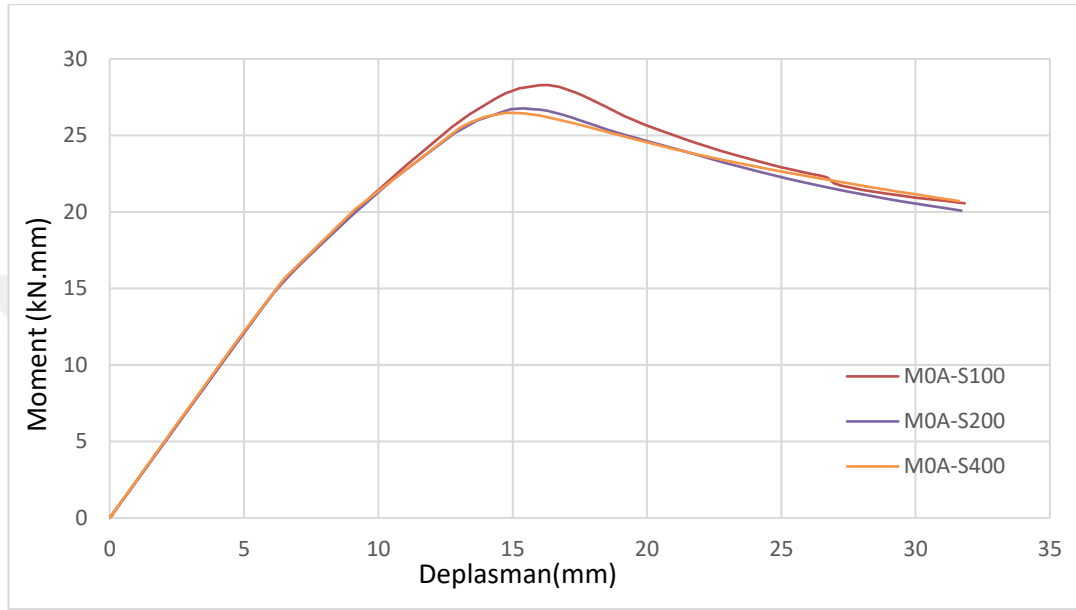
(c)

Şekil 4.4. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı (a) M0A-S100 (b) M0A-S200 (c) M0A-S400

Akıllı vidaların maksimum kesme gerilmeleri M0A-S100 için 236,46 MPa, M0A-S200 için 190,38 MPa, M0A-S400 için 228,30 MPa gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.1.5. M0A çelik profilleri moment-deplasman grafiği

Yapılan analizler sonucunda birleşik enkesitli profilde oluşan moment – deplasman grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.



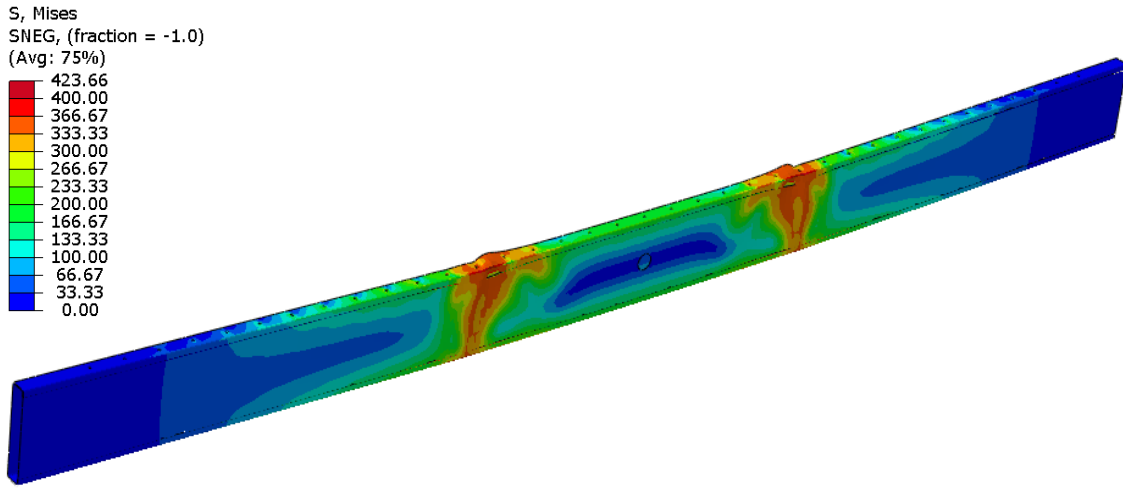
Şekil 4.5. M0A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği

Analiz sonuçlarından elde edilen M0A modellerine ait moment-deplasman grafiği eğrisi Şekil 4.13 de verilmiştir. M0A-S100 modelinin en büyük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu, M0A-S400 modelinin de en küçük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M0A-S100 modelinde 16,30 mm, M0A-S200 modelinde 15,38 mm, M0A-S400 modelinde 14,97 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir.

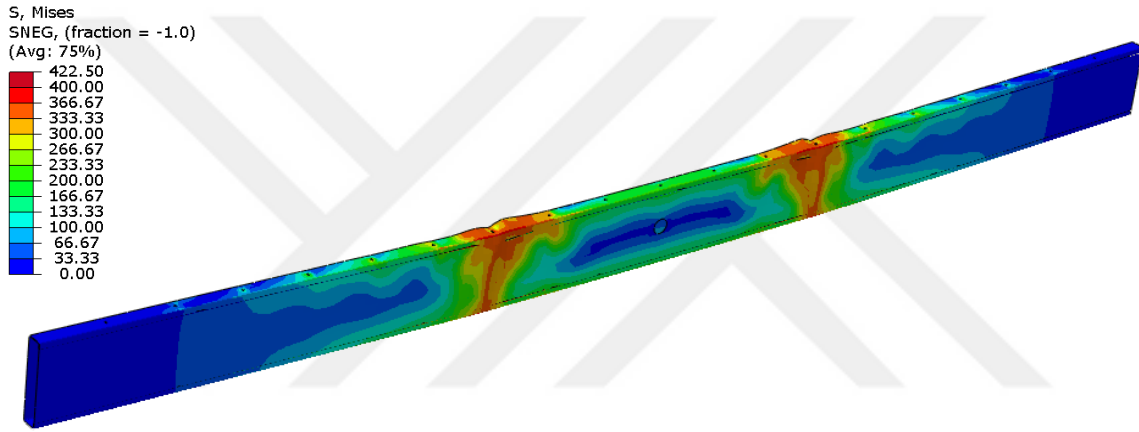
4.2. M02A Profillerin İncelemesi

4.2.1. M02A çelik profil gerilme dağılımları

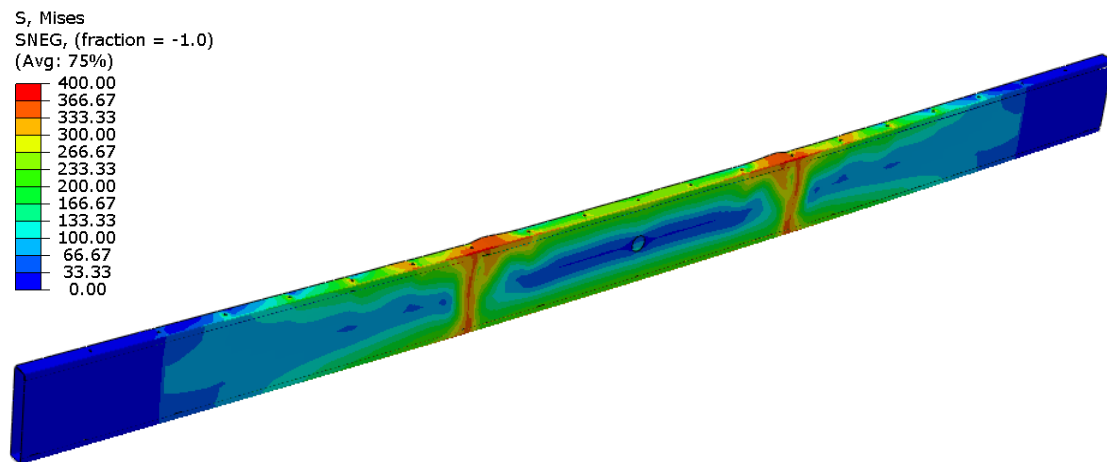
Dudaklı ve dudaksız C profilde oluşan Von Mises gerilme dağılımı, M02A-S100-1D, M02A-S200-1D, M02A-S400-1D için Şekil 4.6’ da, M02A-S100-3D, M02A-S200-3D, M02A-S400-3D için Şekil 4.7’de, M02A-S100-5D, M02A-S200-5D, M02A-S400-5D için Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



(a)

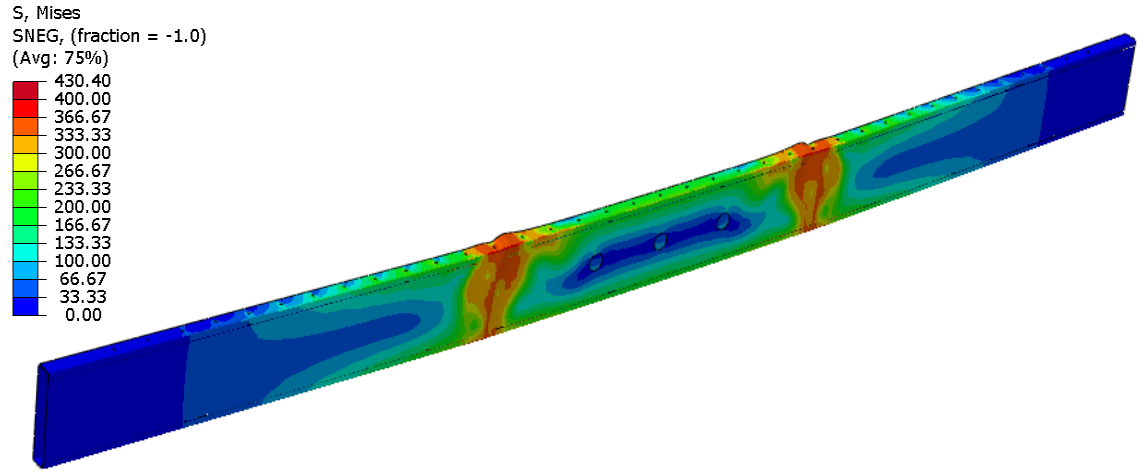


(b)

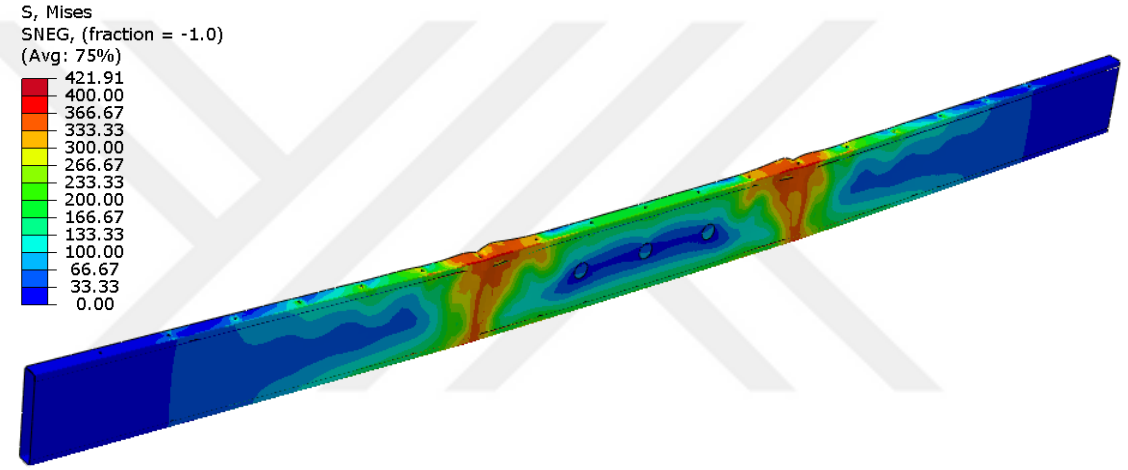


(c)

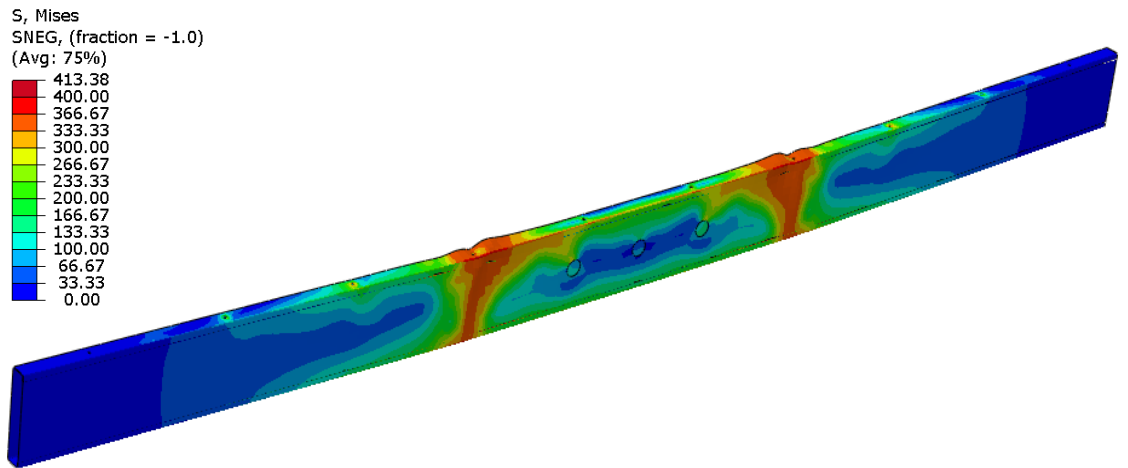
Şekil 4.6. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M0A-S100-1D (b) M0A-S200-1D (c) M0A-S400-1D



(a)



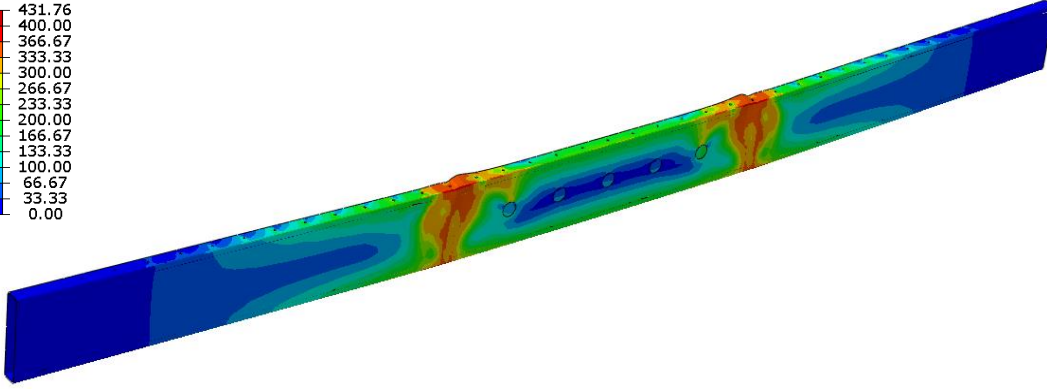
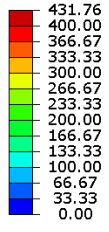
(b)



(c)

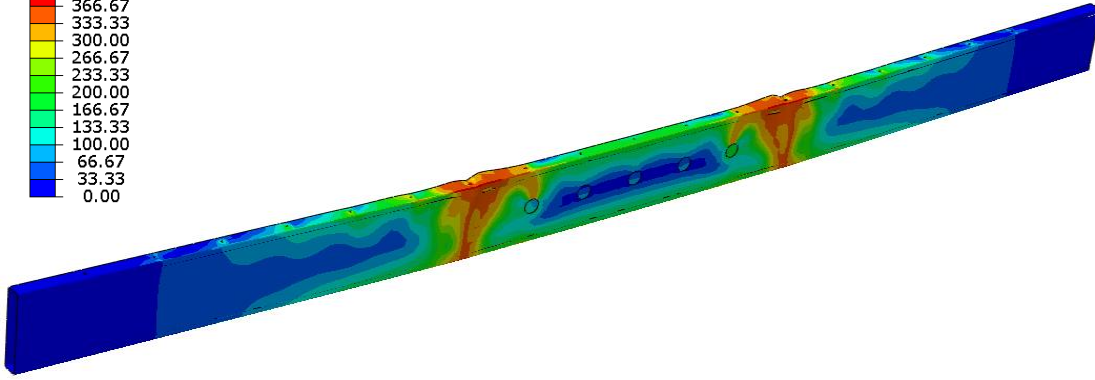
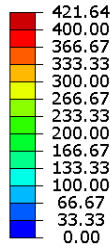
Şekil 4.7. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



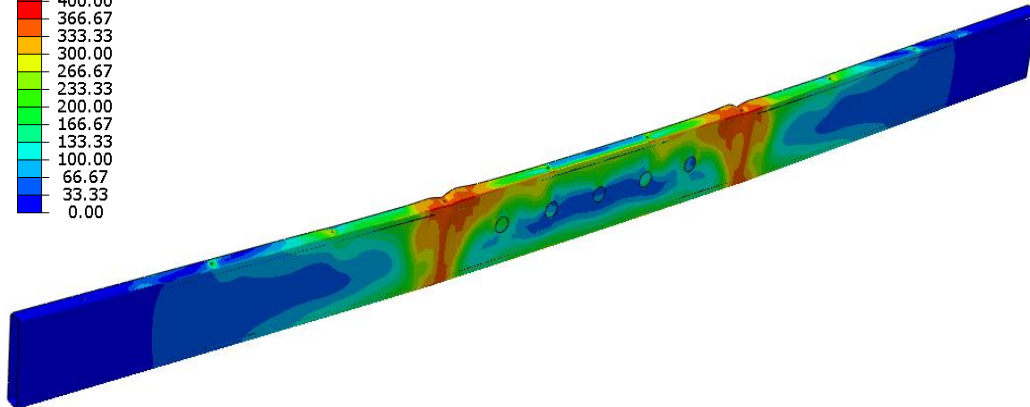
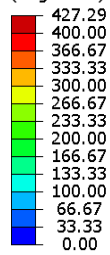
(a)

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(b)

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(c)

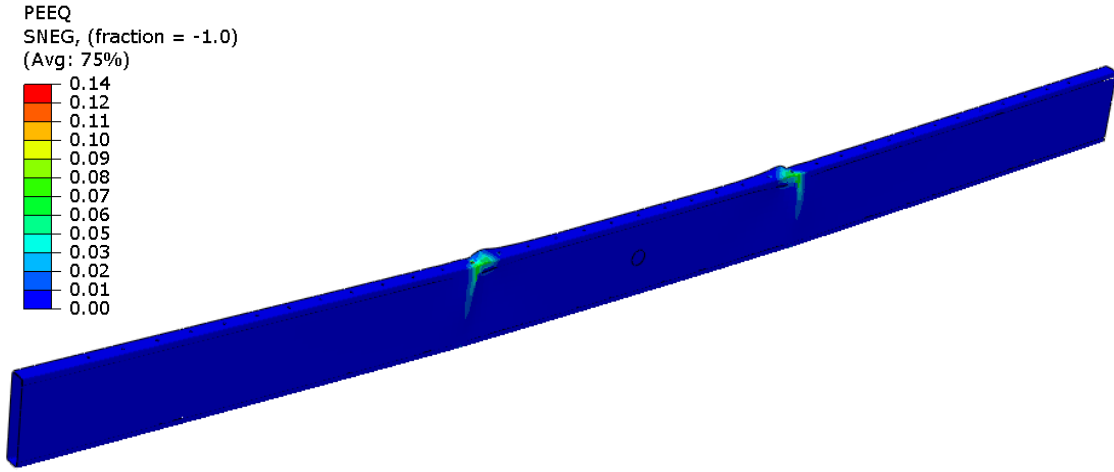
Şekil 4.8. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D

Von Mises gerilme sonuçlarına göre dudaklı ve dudaksız C profilde maksimum M02A-S100-1D için 423,66 MPa, M02A-S200-1D için 422,50 MPa, M02A-S400-1D için 400,00 MPa, M02A-S100-3D için 430,40 MPa, M02A-S200-3D için 421,91 MPa, M02A-S400-3D için 413,38 MPa, M02A-S100-5D için 431,76 MPa, M02A-S200-5D için 421,64 MPa, M02A-S400-5D için 427,99 MPa gerilme değerleri ölçülmüştür.

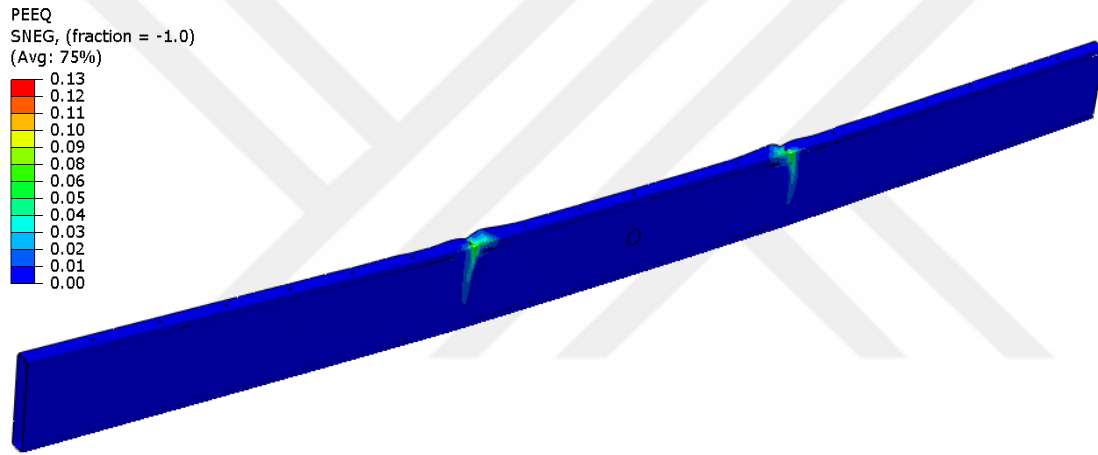
4.2.2. M02A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı

Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 4.9 , Şekil 4.10 , Şekil 4.11 ' de verilmiştir.

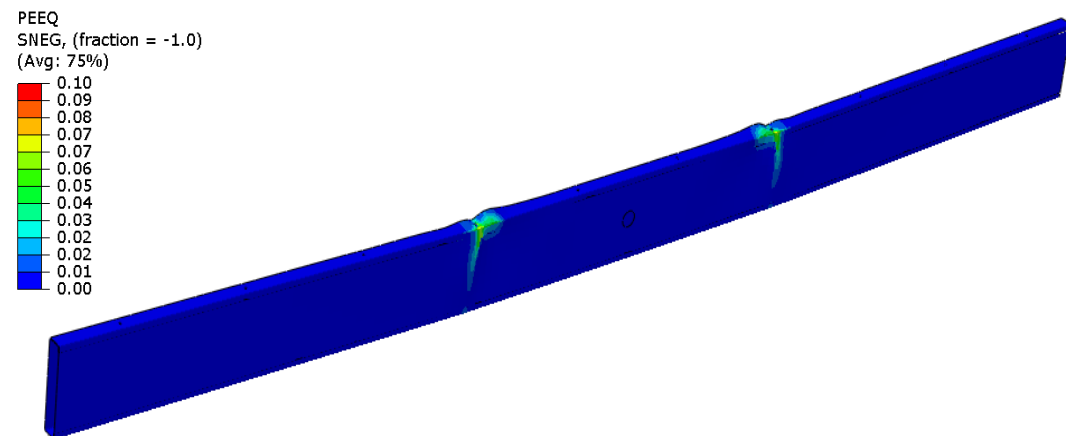




(a)

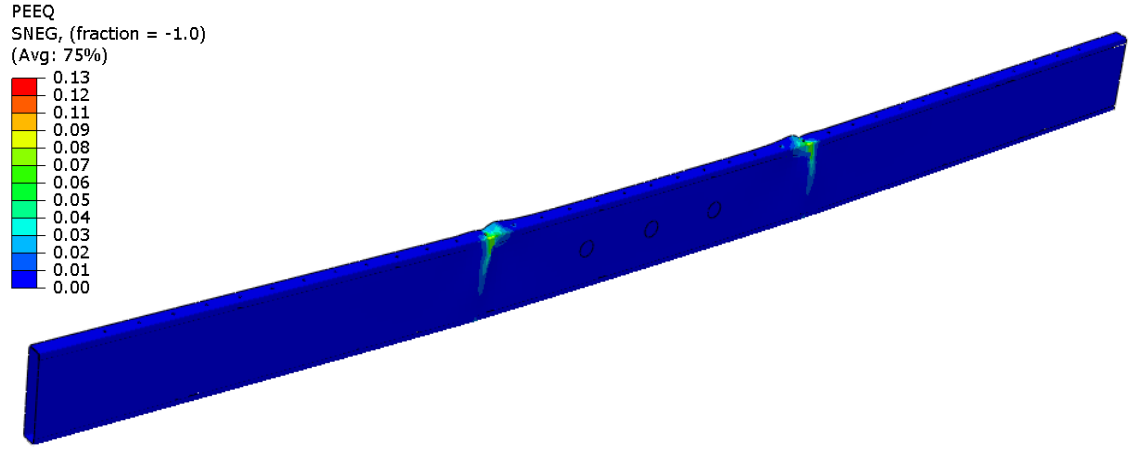


(b)

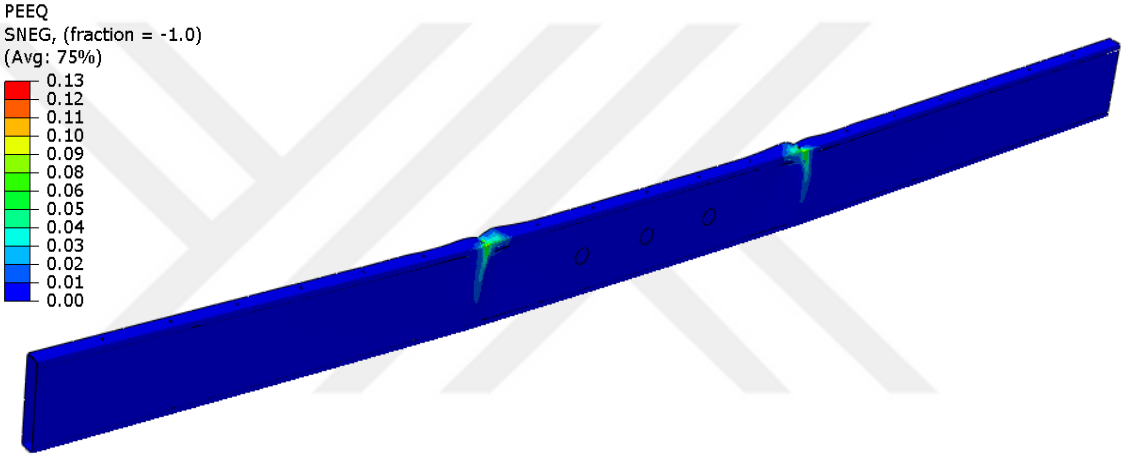


(c)

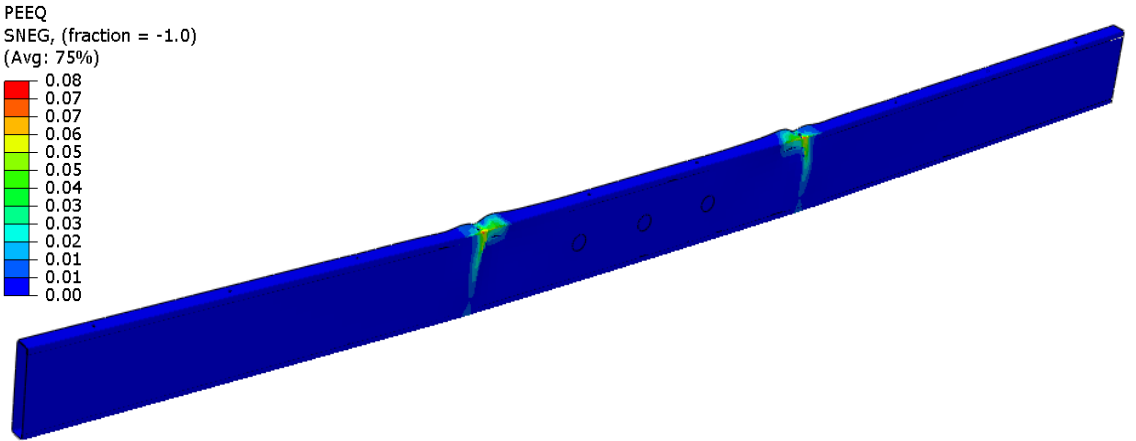
Şekil 4.9. Plastik Şekil Değişirme Dağılımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D
(c) M02A-S400-1D



(a)



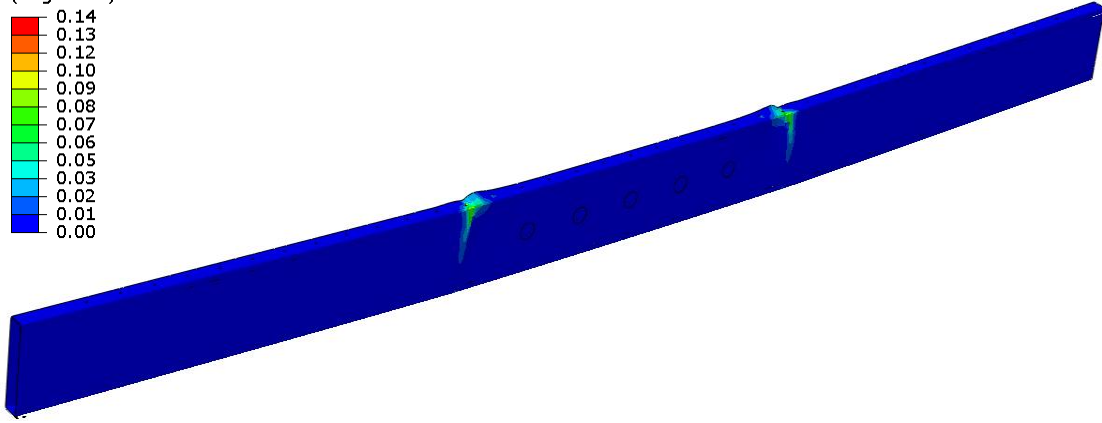
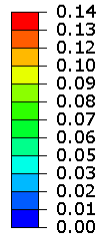
(b)



(c)

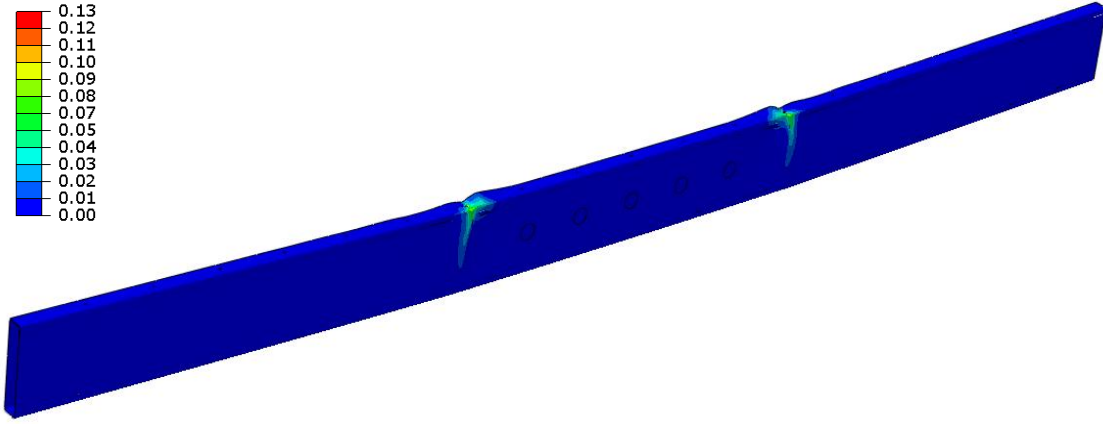
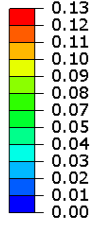
Şekil 4.10. Plastik Şekil Değişirme Dağılımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



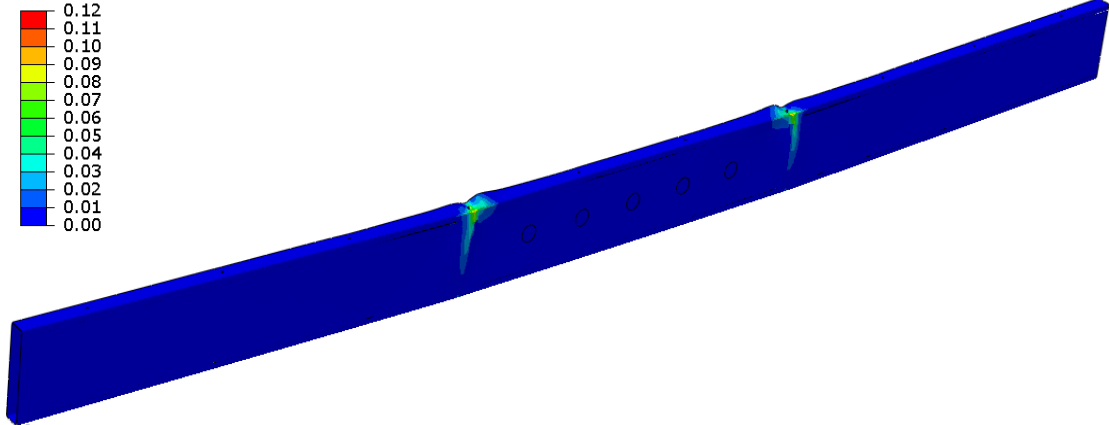
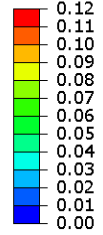
(a)

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(b)

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(c)

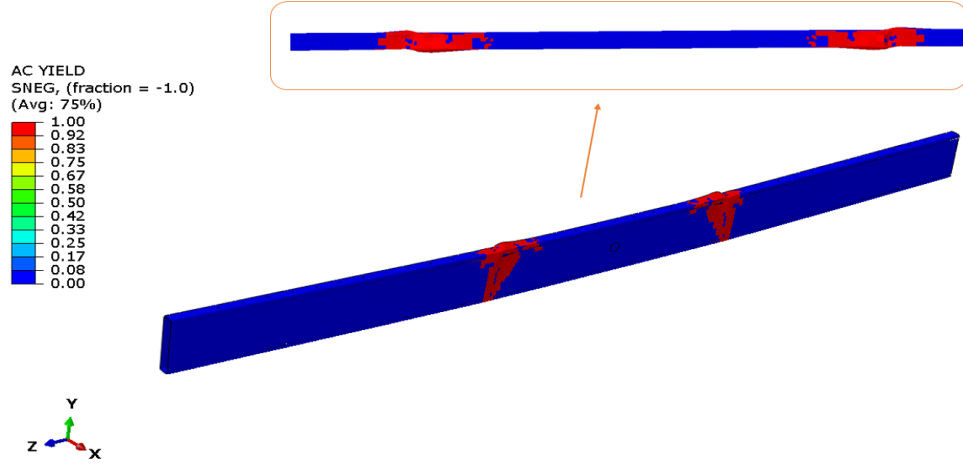
Şekil 4.11. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S200-5D

M02A-S100-1D modelinde yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %14, M02A-S200-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı

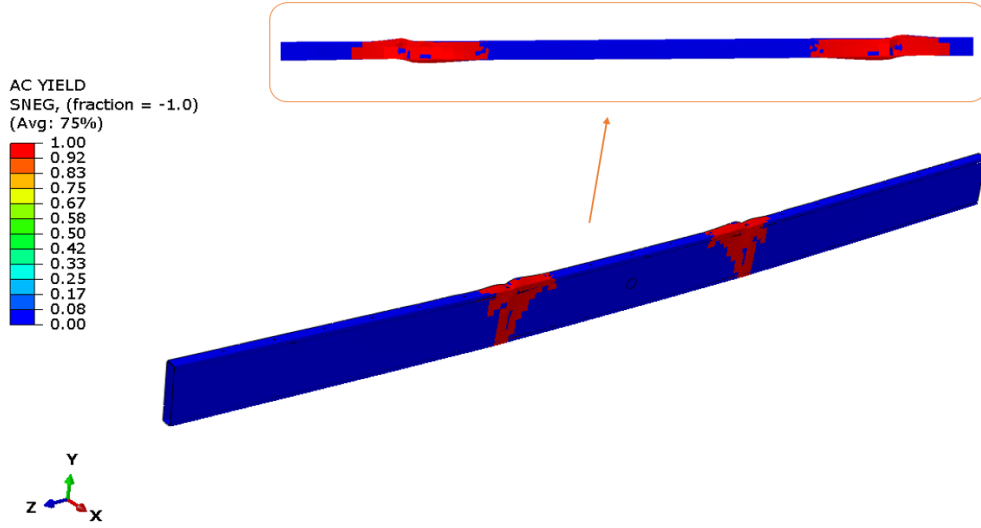
vidanın plastik şekil değıştirmesi %13, M02A-S400-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirmesi %10, M02A-S100-3D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirme kapasitesi %13, M02A-S200-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirmesi %13, M02A-S400-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirmesi %8, M02A-S100-5D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirme kapasitesi %14, M02A-S200-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirmesi %13, M02A-S400-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değıştirmesi %12 olarak bulunmuştur.

4.2.3. M02A çelik profil akma dayanımları

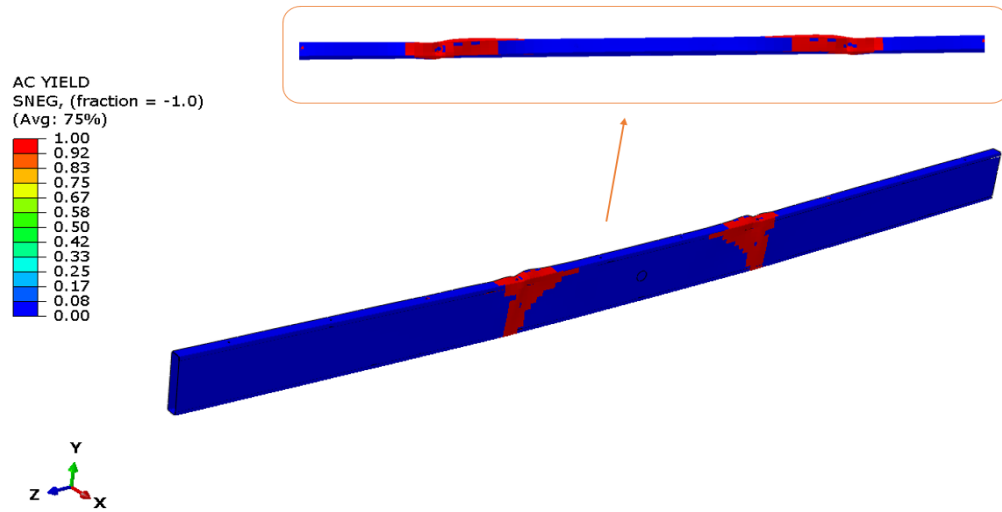
Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan akma dayanımı 1 gövde deliğine sahip olan profiller için Şekil 4.12’ de, 3 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.13’ de, 5 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.14’ de verilmiştir.



(a)



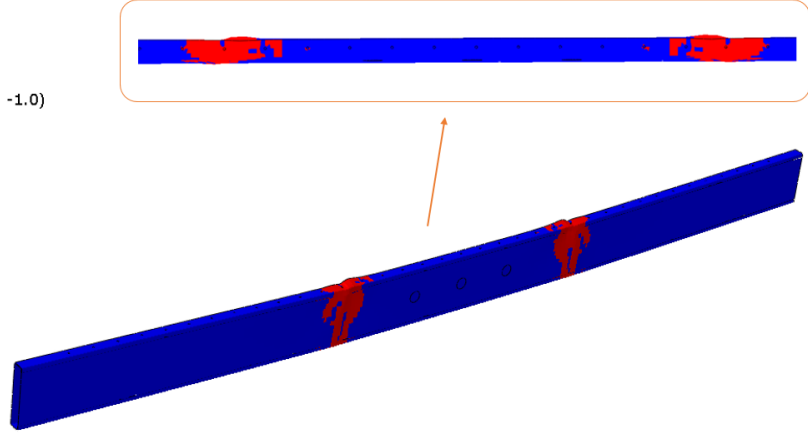
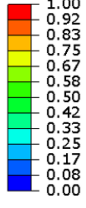
(b)



(c)

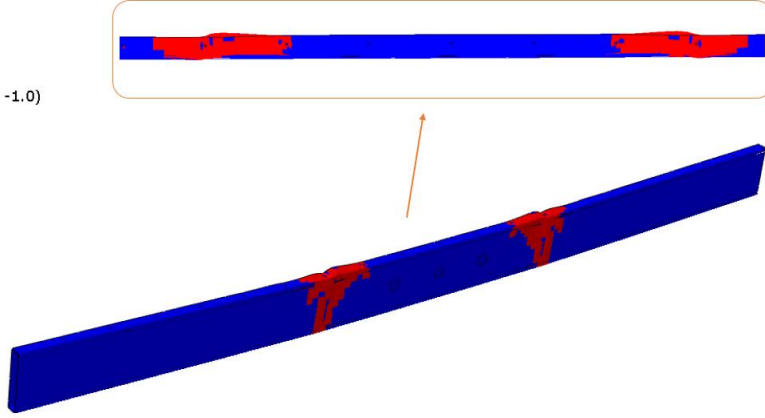
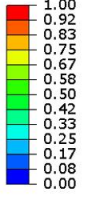
Şekil 4.12. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D

AC YIELD
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



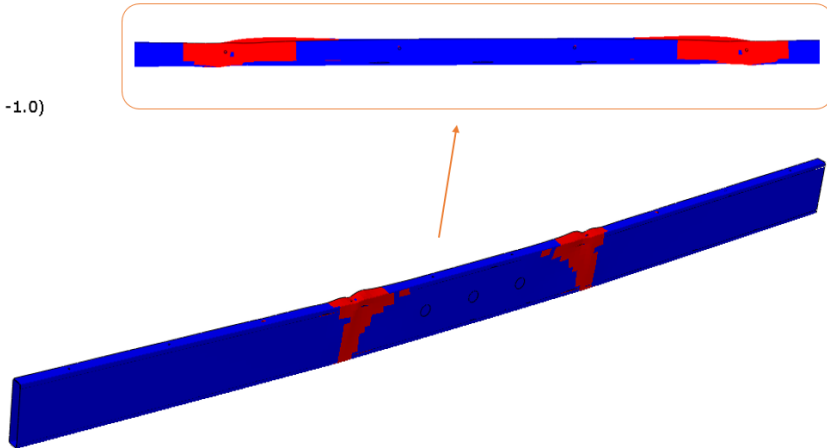
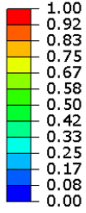
(a)

AC YIELD
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



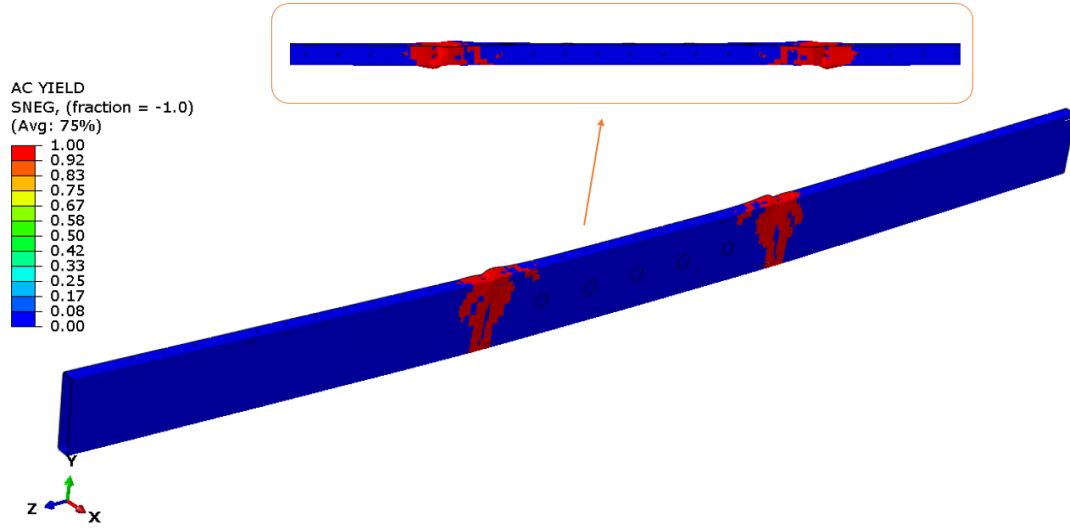
(b)

AC YIELD
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)

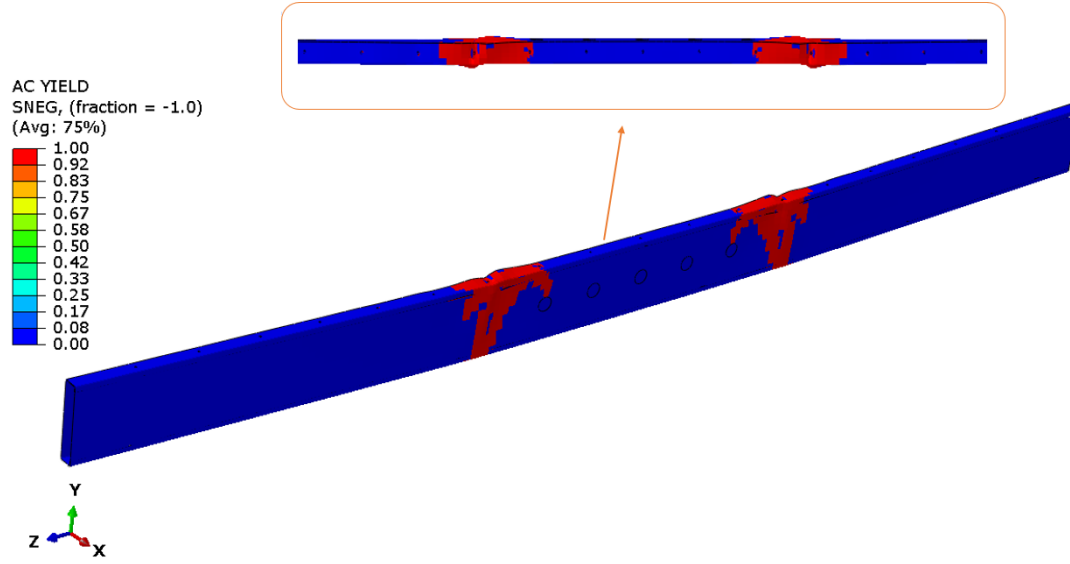


(c)

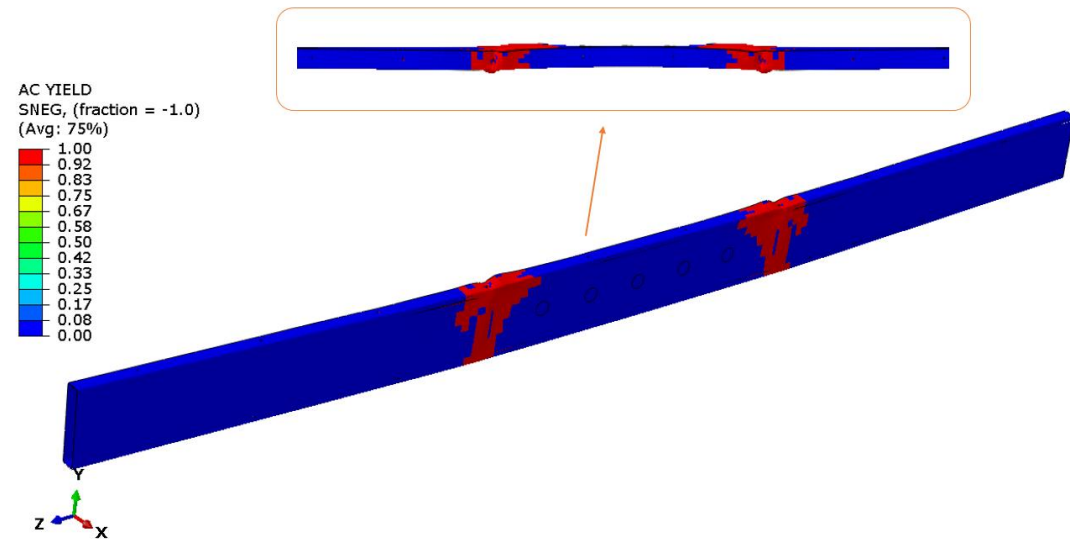
Şekil 4.13. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D



(a)



(b)



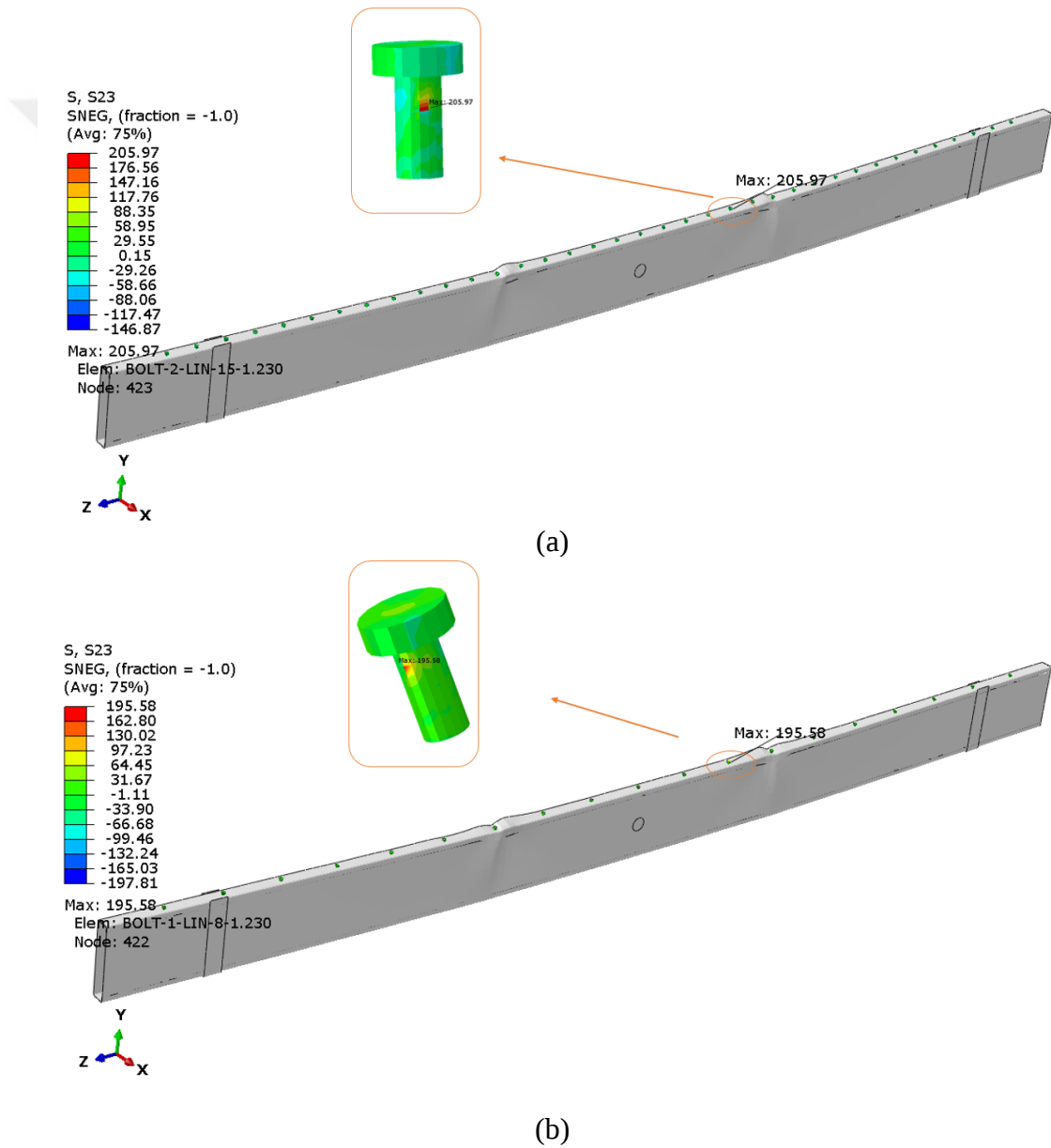
(c)

Şekil 4.14. Akma Dayanımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D

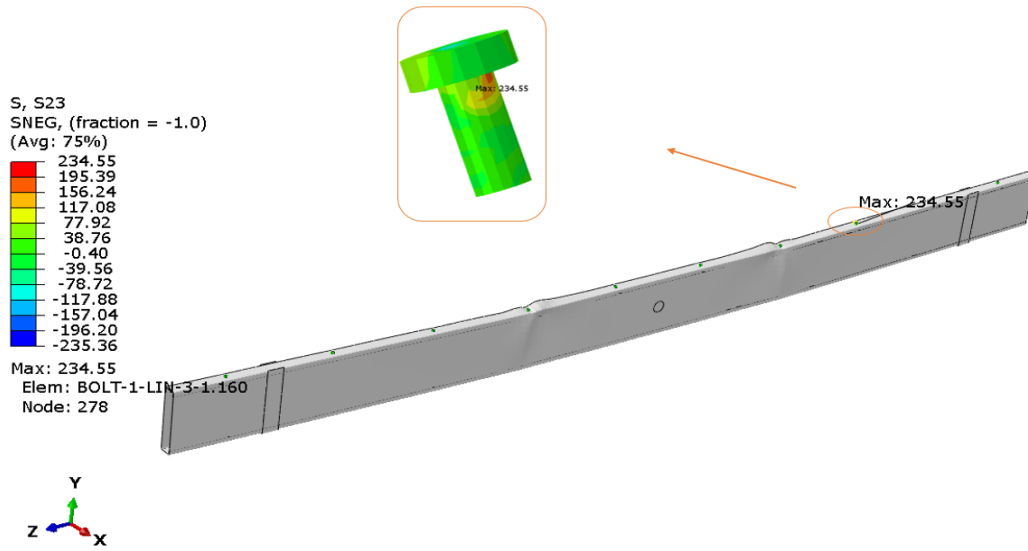
M02A analizinde oluşturulan her 9 modelde yükleme noktalarındaki akıllı vida deliklerine şekil değiştirmeler oluşmakta ve delik çevresi akma dayanımı sınır durumuna ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca S200 ve S400 akıllı vida aralığına sahip profillerde yanal şekilde akmaların arttığı görülmüştür.

4.2.4. M02A akıllı vidalardaki kesme durumu

M02A enkesitli birleşimlerde kullanılan akıllı vidaların kesme gerilme dağılımları 1 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.15’ de, üç gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.16’ da, beş gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.17’de verilmiştir.

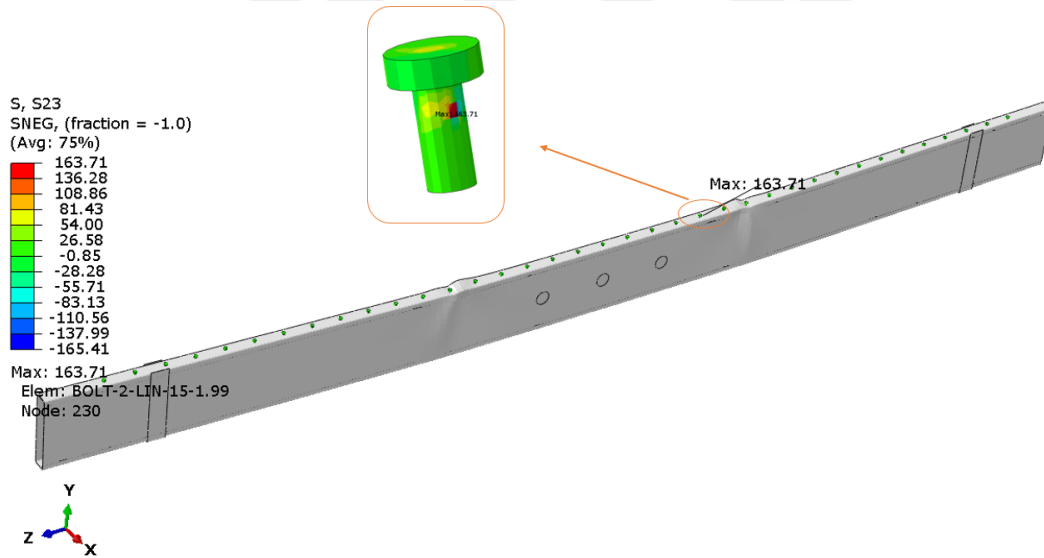


Şekil 4.15. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D



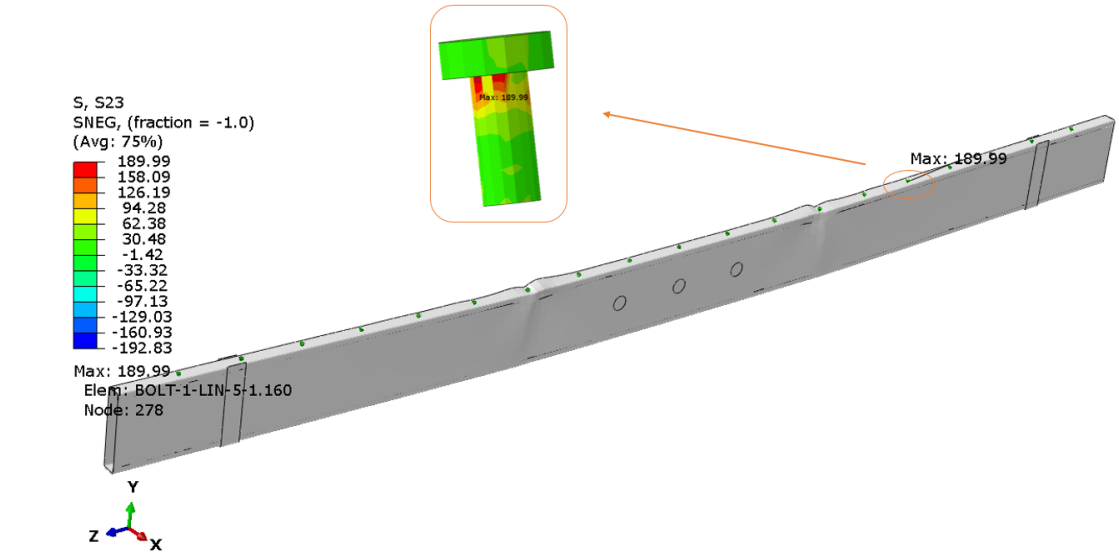
(c)

Şekil 4.15. (Devamı) Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M02A-S100-1D (b) M02A-S200-1D (c) M02A-S400-1D

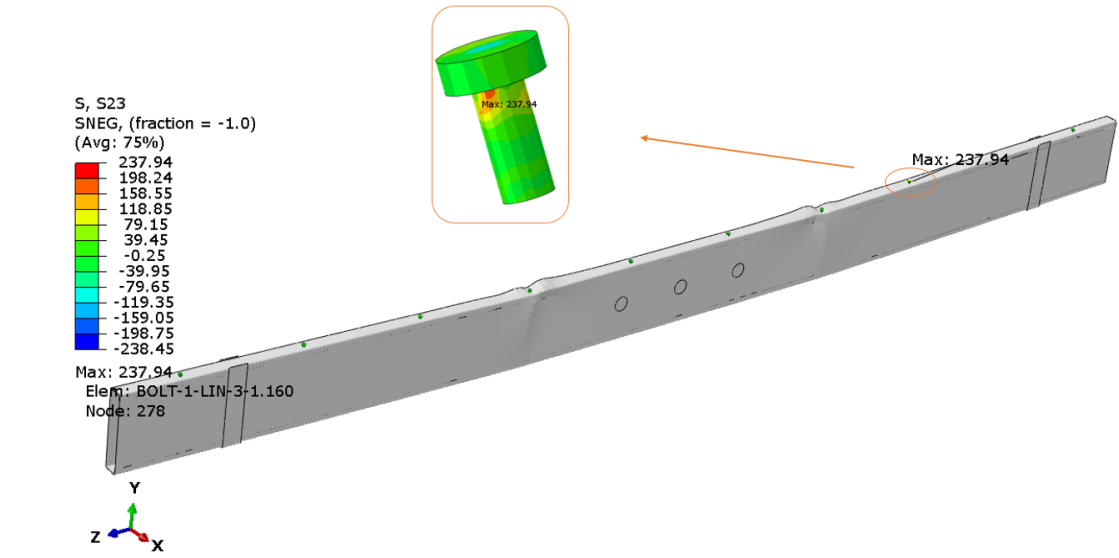


(a)

Şekil 4.16. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı : (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D

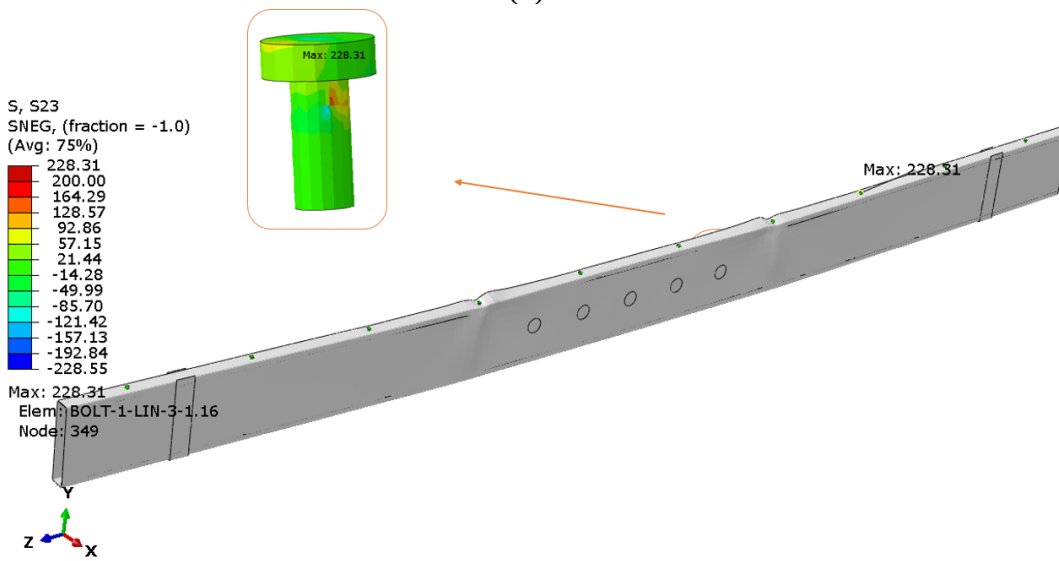
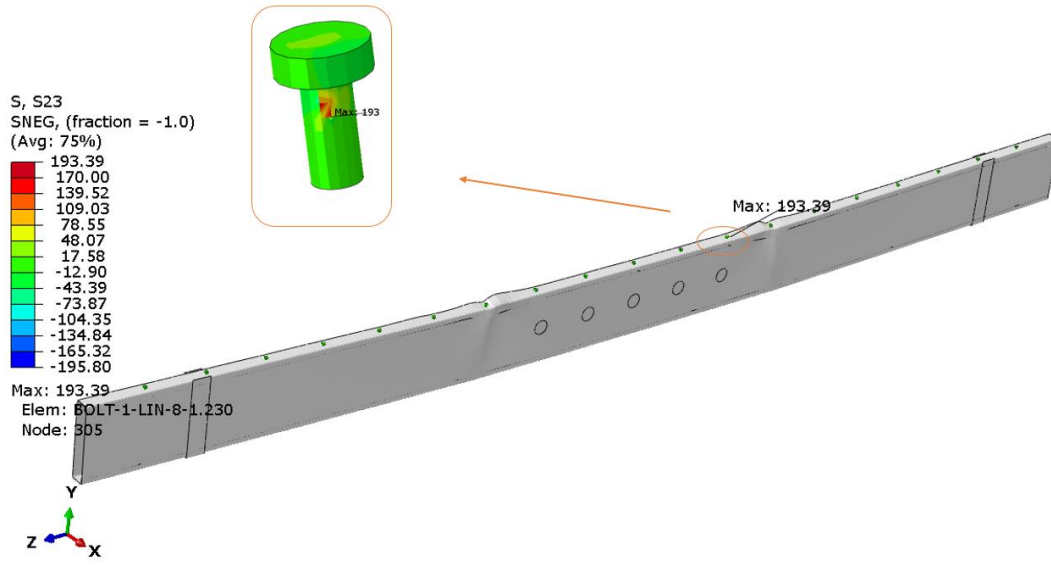
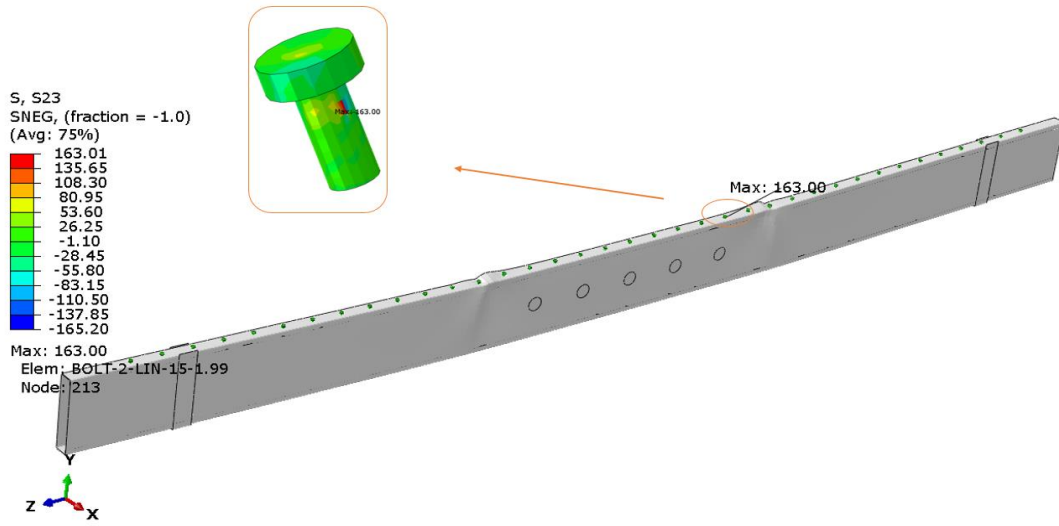


(b)



(c)

Şekil 4.16. (Devamı) Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı : (a) M02A-S100-3D (b) M02A-S200-3D (c) M02A-S400-3D

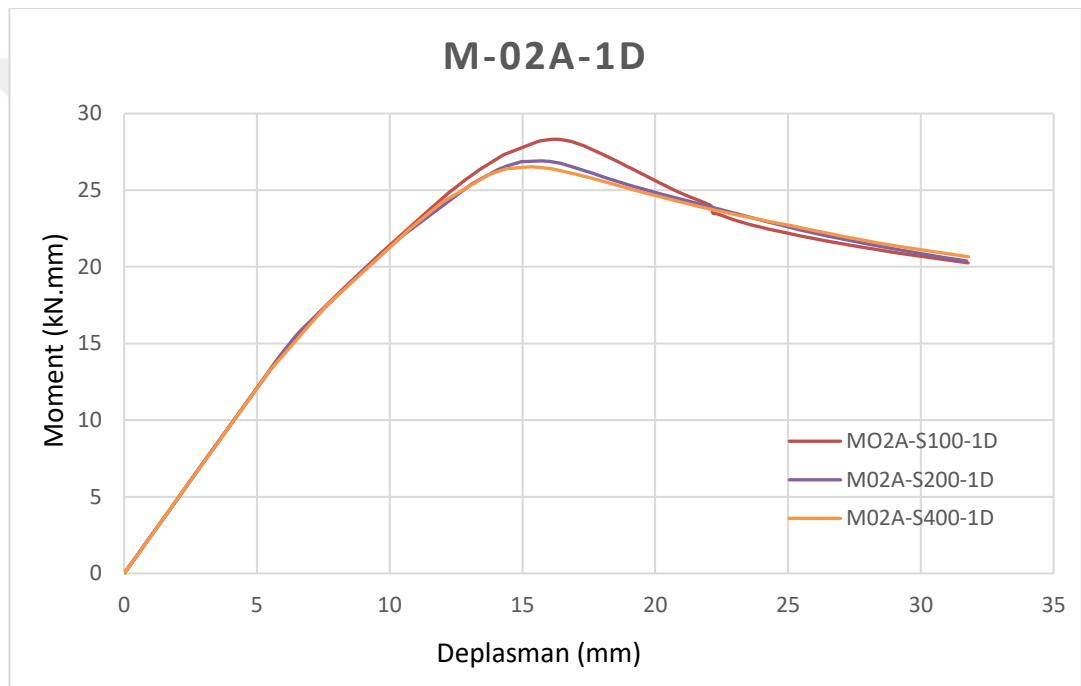


Şekil 4.17. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M02A-S100-5D (b) M02A-S200-5D (c) M02A-S400-5D

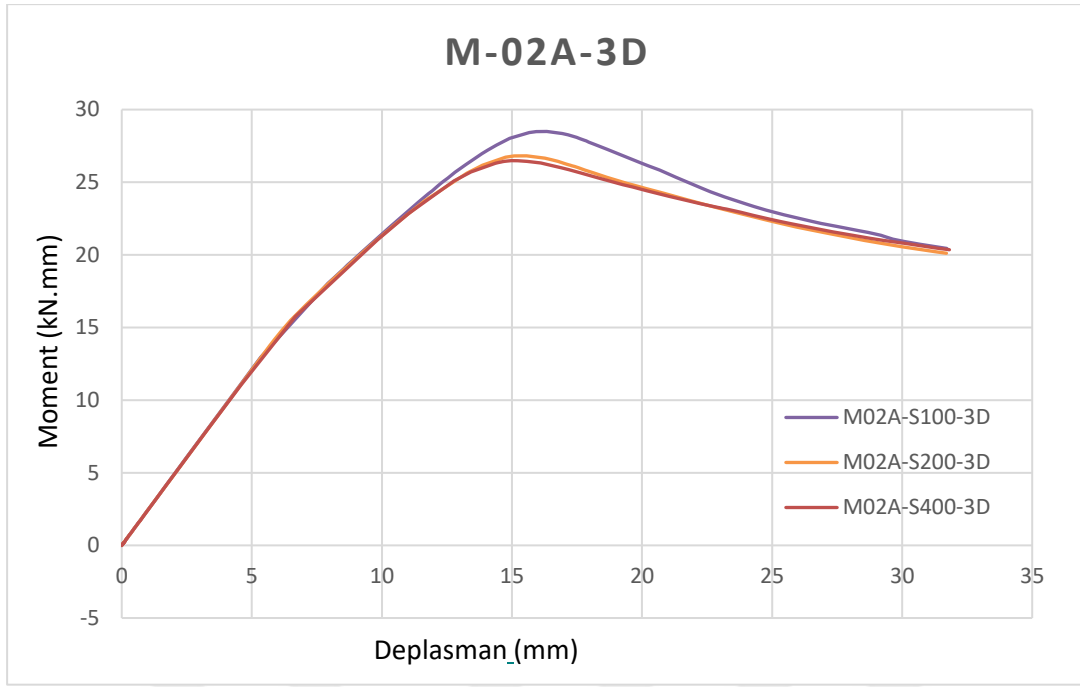
Akıllı vidaların maksimum kesme gerilmeleri M02A-S100-1D için 205,97 MPa, M02A-S200-1D için 195,58 MPa, M02A-S400-1D için 234,55 MPa, M02A-S100-3D için 163,71 MPa, M02A-S200-3D için 189,99 MPa, M02A-S400-3D için 237,94 MPa, M02A-S100-5D için 163,01 MPa, M02A-S200-5D için 193,39 MPa, M02A-S400-5D için 228,31 MPa gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.2.5. M02A çelik profilleri moment-deplasman grafiği

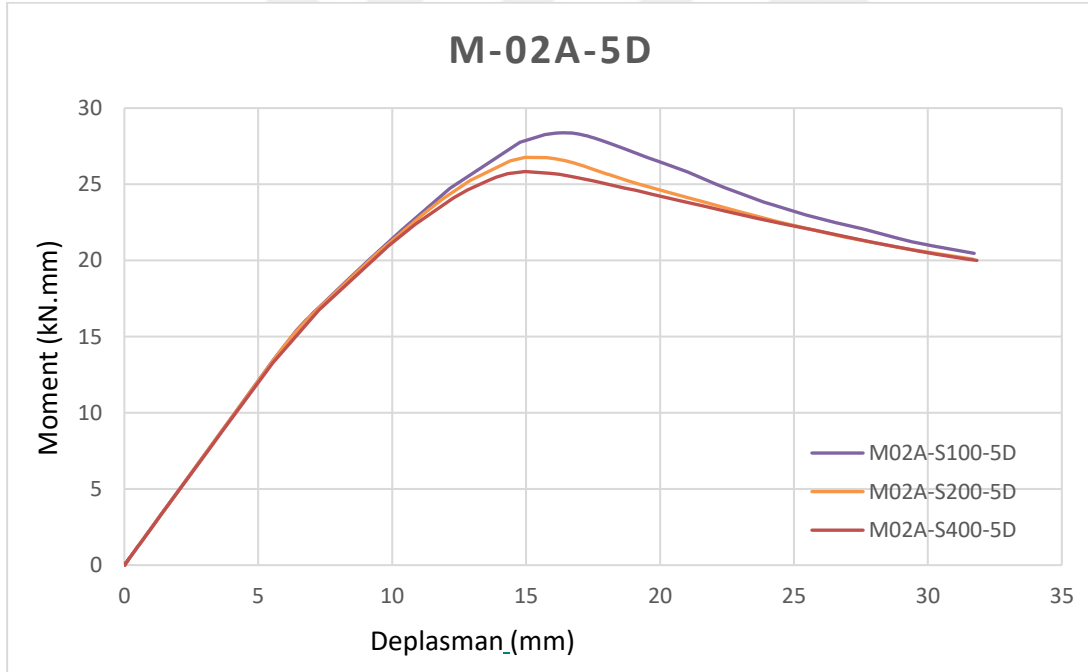
Yapılan analizler sonucunda birleşik enkesitli profilde oluşan moment – deplasman grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir. Ayrıca bir, üç, beş gövde deliğine sahip profiller için bağımsız grafik oluşturulmuştur.



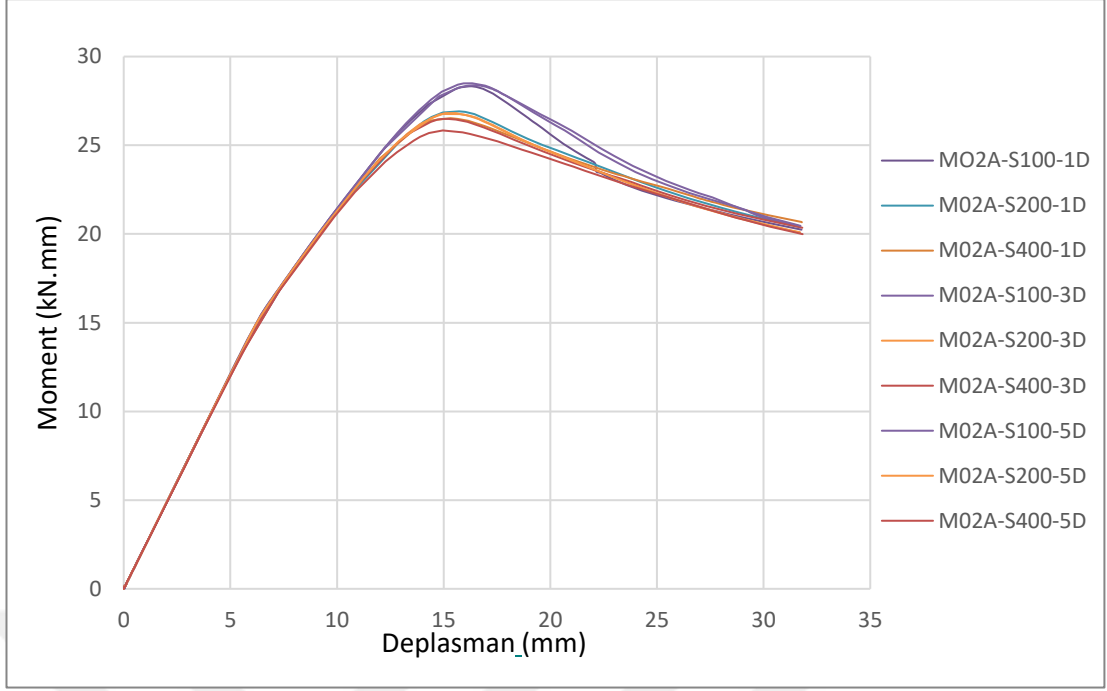
Şekil 4.18. M02A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.19. M02A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.20. M02A-5D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.21. M02A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği

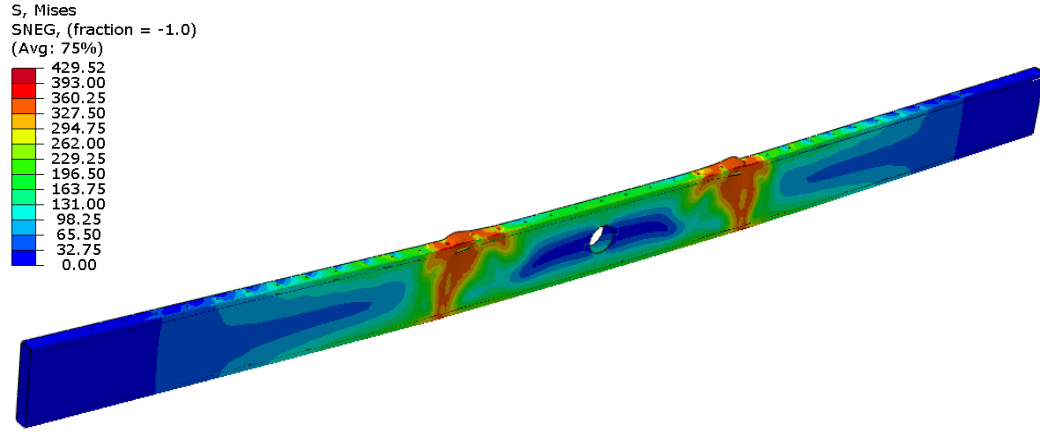
Analiz sonuçlarından elde edilen M02A-1D, M02A-3D ve M02A-5D modellerine ait moment-deplasman grafiği eğrisi Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’ de verilmiştir. Model sonuçlarında 1 gövde deliğine, 3 gövde deliğine ve 5 gövde deliğine sahip profillerde M02A-S100 modelinin en büyük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu, M0A-S400 modelinin de en küçük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M02A-S100-1D modelinde 16,18 mm, M02A-S200-1D modelinde 15,72 mm, M02A-S400-1D modelinde 15,31 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M02A-S100-3D modelinde 16,33 mm, M02A-S200-3D modelinde 15,56 mm, M02A-S400-3D modelinde 14,97 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M02A-S100-5D modelinde 16,37 mm, M02A-S200-5D modelinde 14,96 mm, M02A-S400-5D modelinde 14,96 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir.

4.3. M04A Profillerin İncelemesi

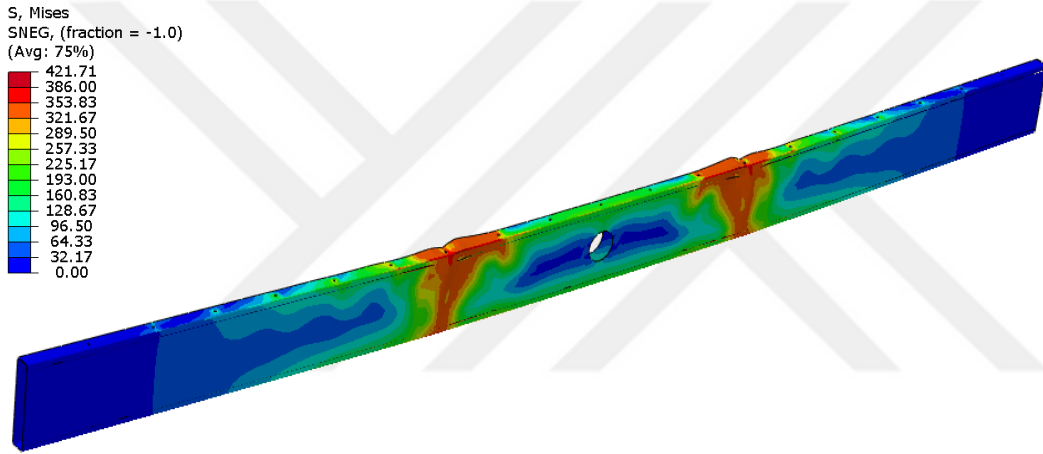
4.3.1. M04A çelik profil gerilme dağılımları

Dudaklı ve dudaksız C profilde oluşan Von Mises gerilme dağılımı, M04A-S100-1D, M04A-S200-1D, M04A-S400-1D için Şekil 4.22’ de, M04A-S100-3D , M04A-S200-

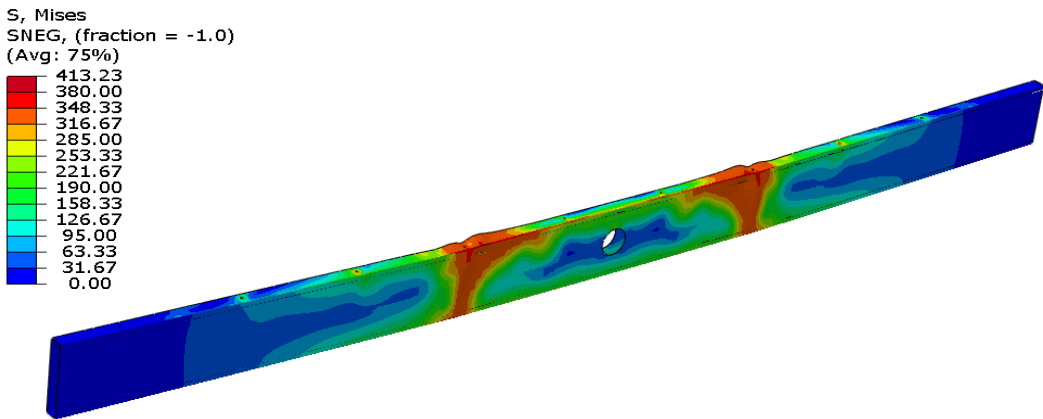
3D, M04A-S400-3D için Şekil 4.23' de, M04A-S100-5D, M04A-S200-5D, M04A-S400-5D için Şekil 4.24' de gösterilmiştir.



(a)

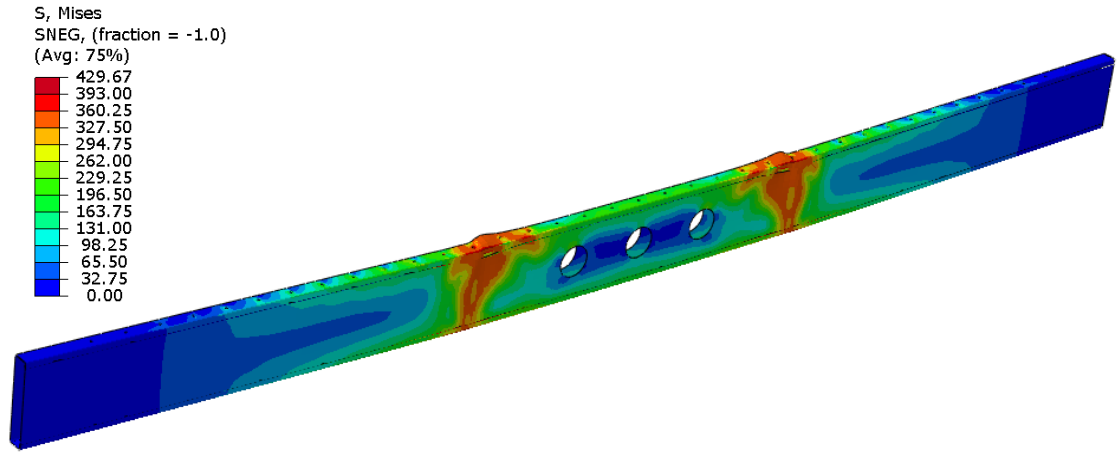


(b)

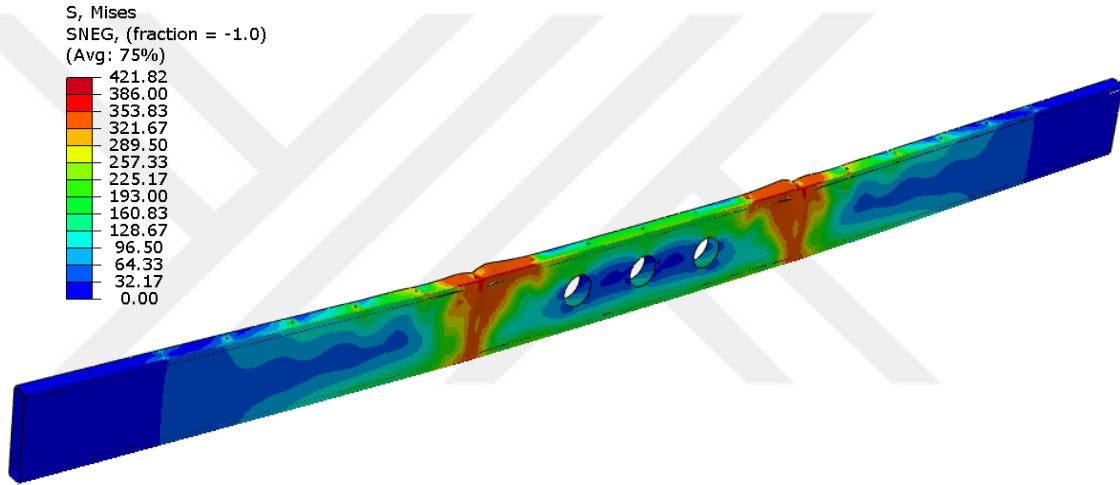


(c)

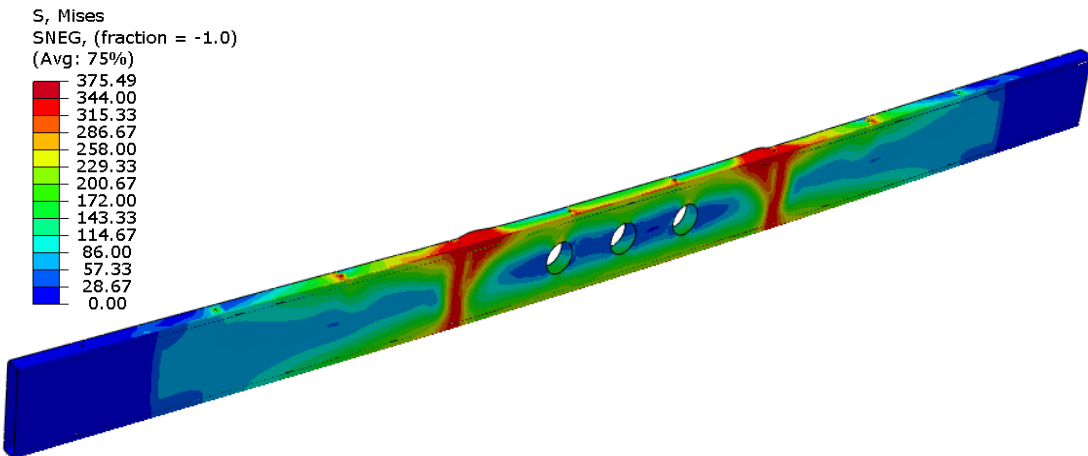
Şekil 4.22. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D



(a)



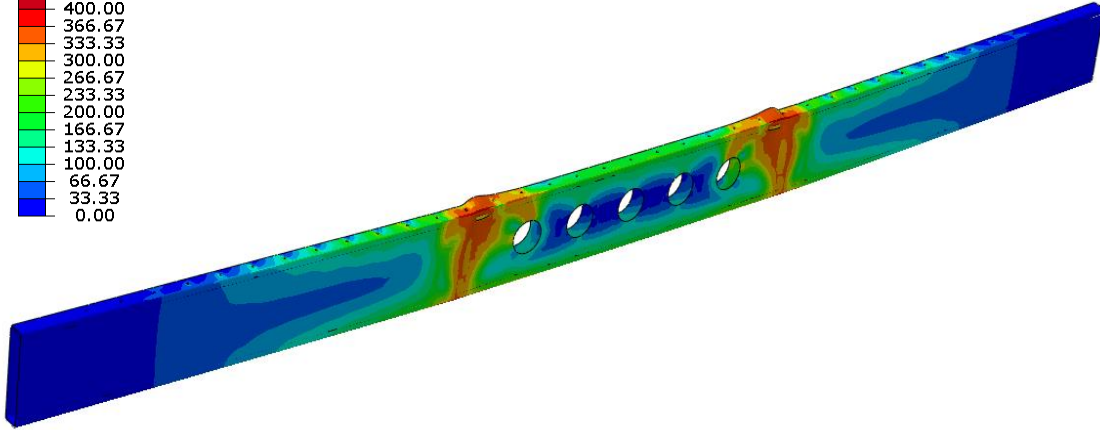
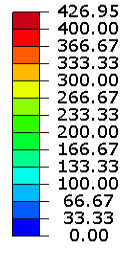
(b)



(c)

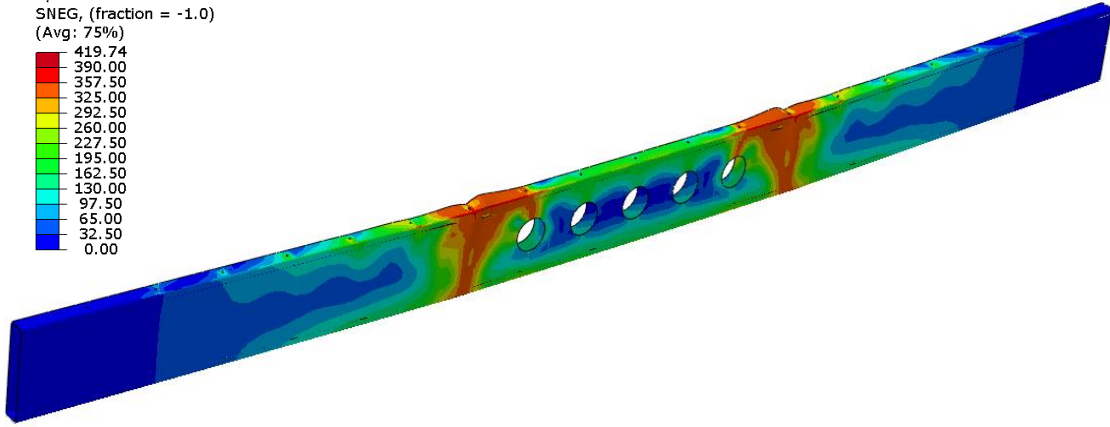
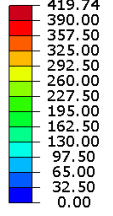
Şekil 4.23. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D
(c) M04A-S400-3D

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



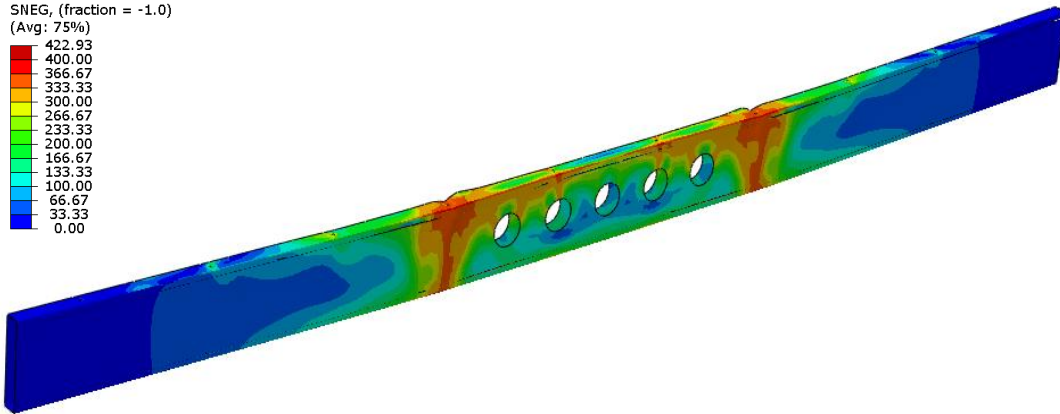
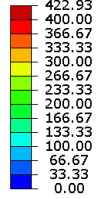
(a)

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(b)

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(c)

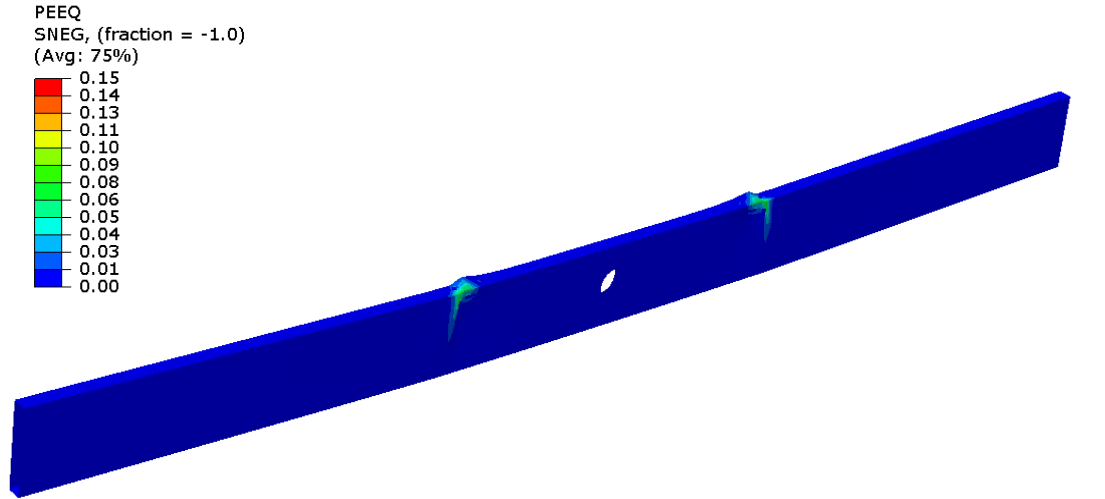
Şekil 4.24. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S400-5D

Von Mises gerilme sonuçlarına göre dudaklı ve dudaksız C profilde maksimum M04A-S100-1D için 429,52 MPa, M04A-S200-1D için 421,71 MPa, M04A-S400-1D için 413,23 MPa, M04A-S100-3D için 429,67 MPa, M04A-S200-3D için 421,82 MPa, M04A-S400-3D için 375,49 MPa, M04A-S100-5D için 426,95 MPa, M04A-S200-5D için 419,74 MPa, M04A-S400-5D için 422,93 MPa gerilme değerleri ölçülmüştür.

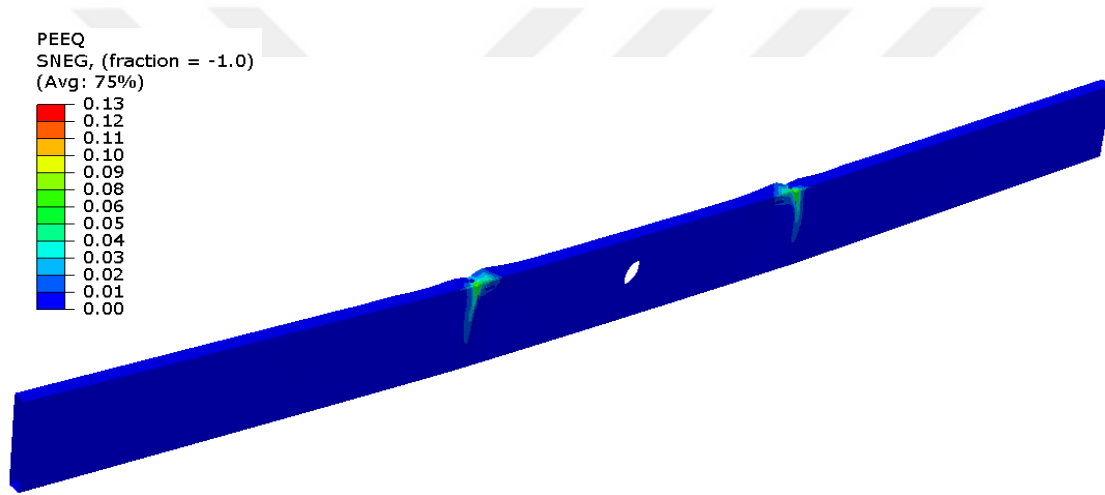
4.3.2. M04A çelik profil plastik şekil değiştirme dağılımı

Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’ de verilmiştir.

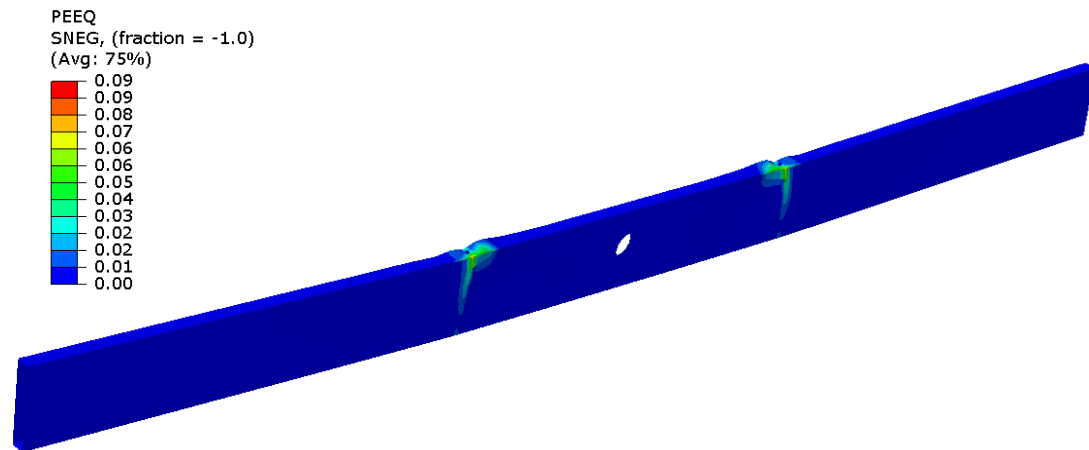




(a)

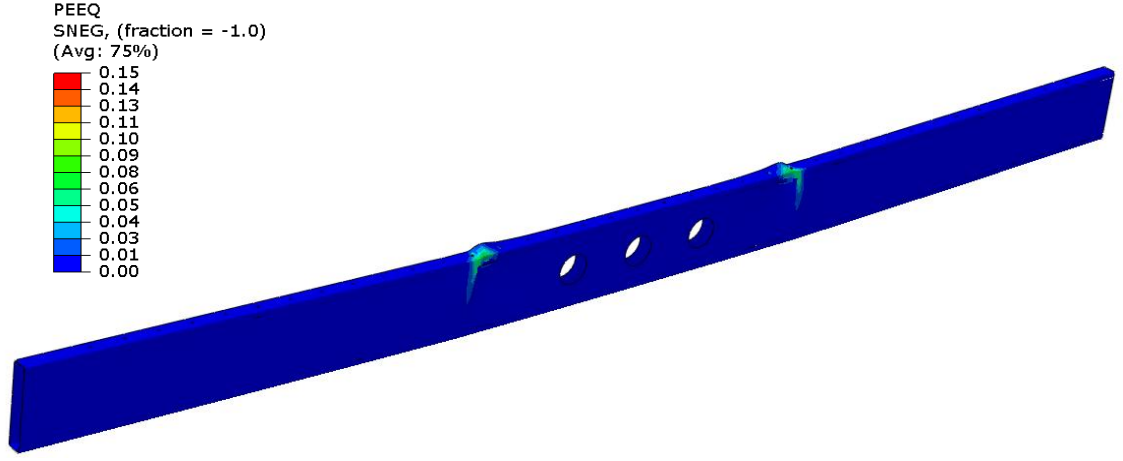


(b)

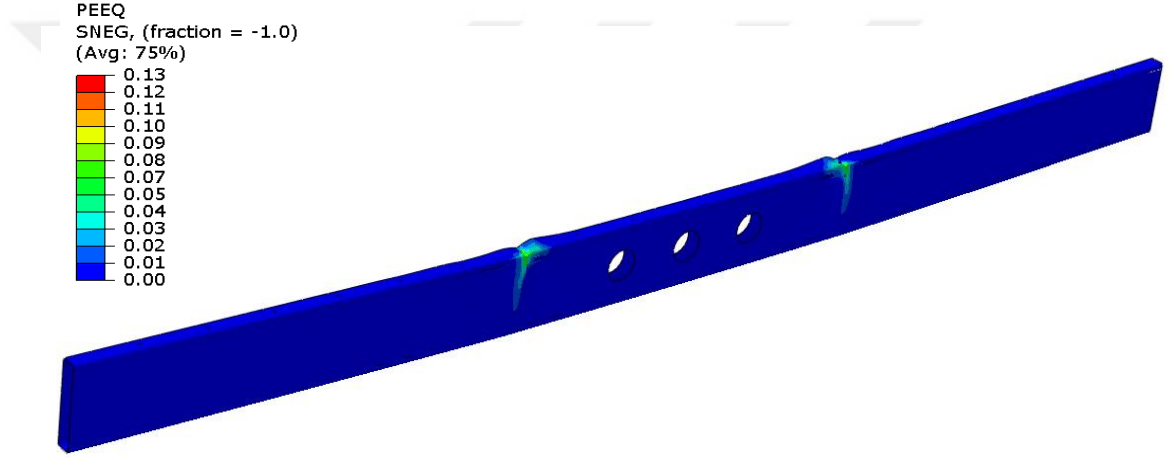


(c)

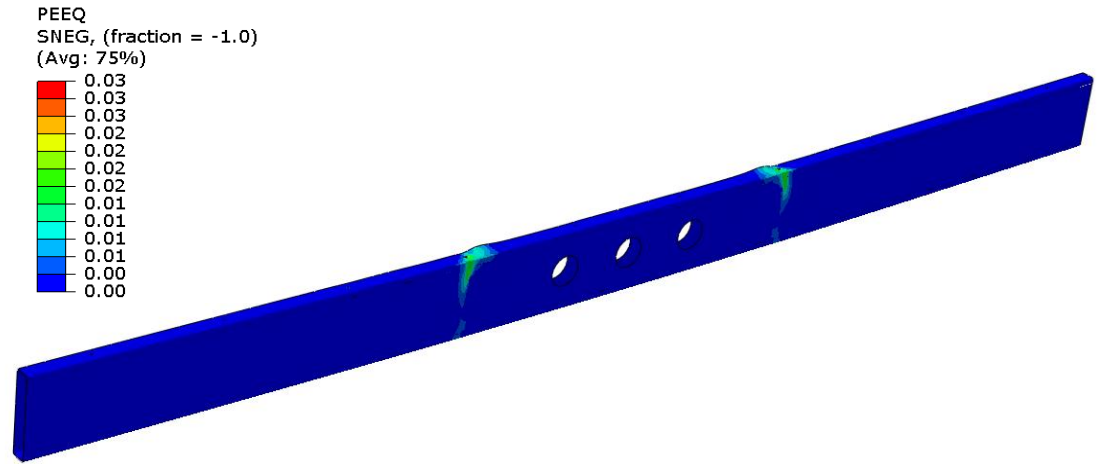
Şekil 4.25. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D



(a)

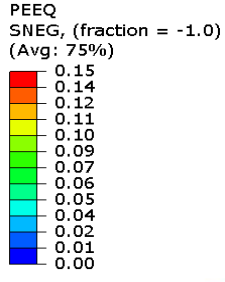


(b)

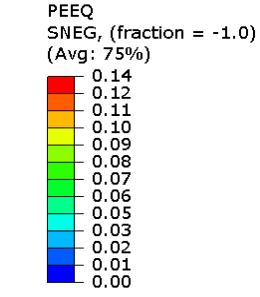


(c)

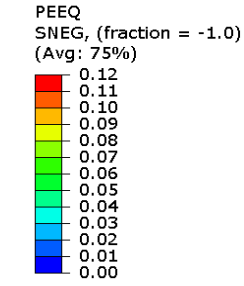
Şekil 4.26. Plastik Şekil Değişirme Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D



(a)



(b)



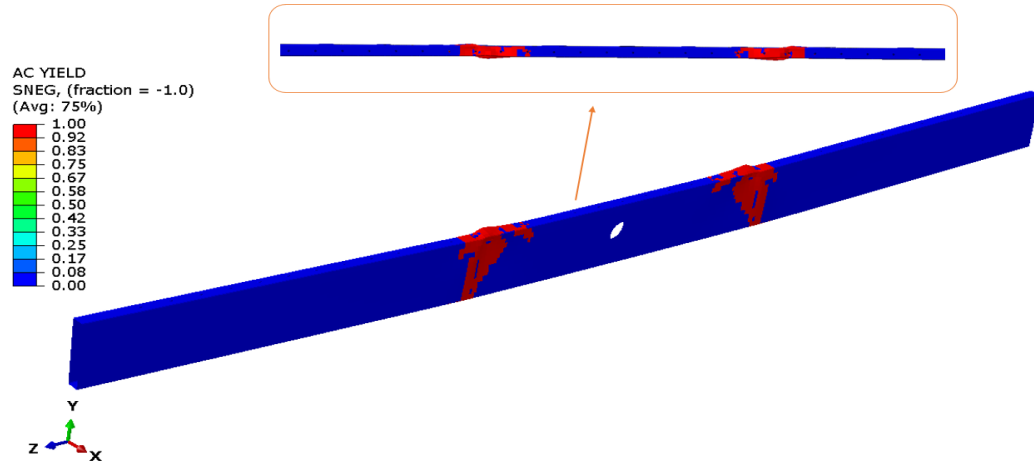
(c)

Şekil 4.27. Plastik Şekil Değiştirme: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D Plastik
(c) M04A-S400-5D

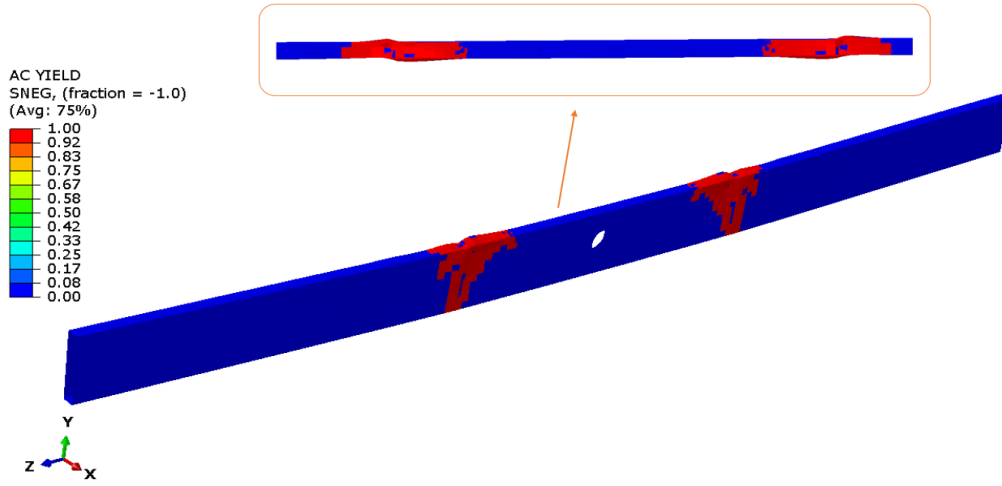
M04A-S100-1D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %15, M04A-S200-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %13, M04A-S400-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %9, M04A-S100-3D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %15, M04A-S200-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %13, M04A-S400-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %3, M04A-S100-5D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %15, M04A-S200-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %14, M04A-S400-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %12 olarak bulunmuştur.

4.3.3. M04A çelik profil akma dayanımları

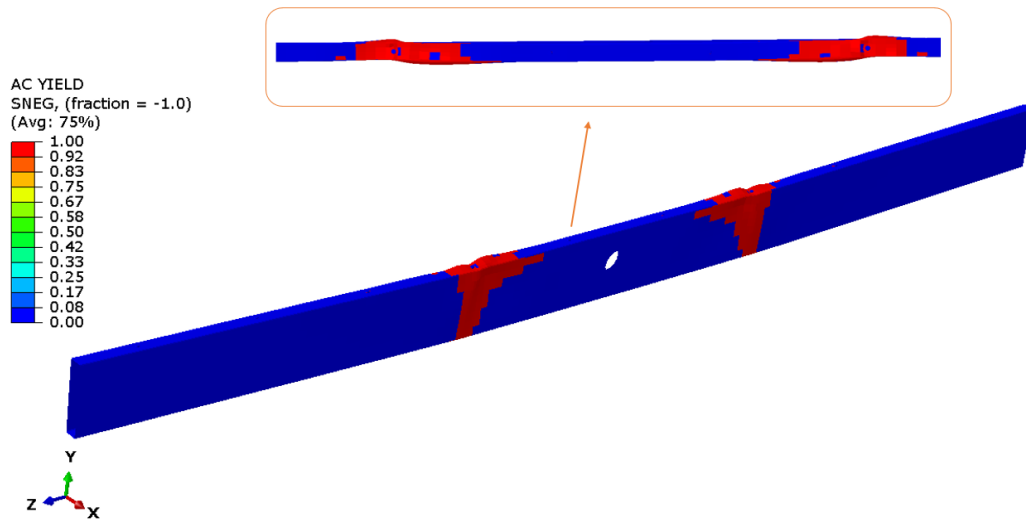
Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan akma dayanımı 1 gövde deliğine sahip olan profiller için Şekil 4.28’ de, 3 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.29’ de, 5 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.30’ da verilmiştir.



(a)

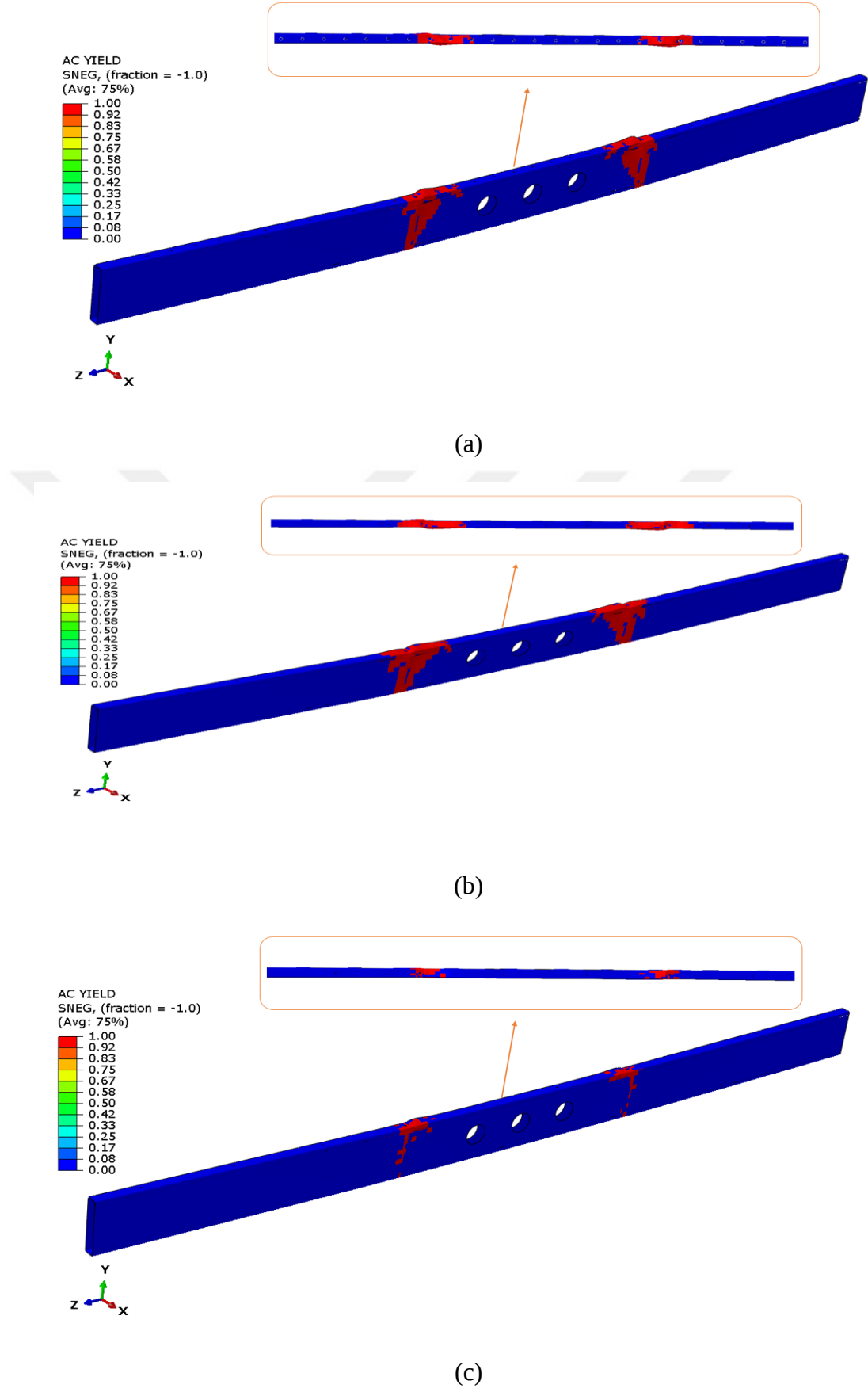


(b)

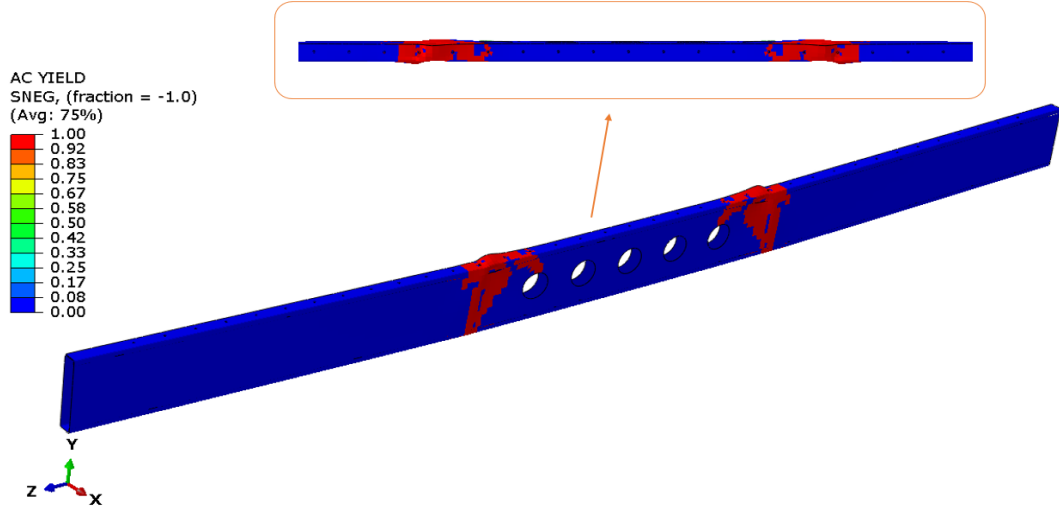


(c)

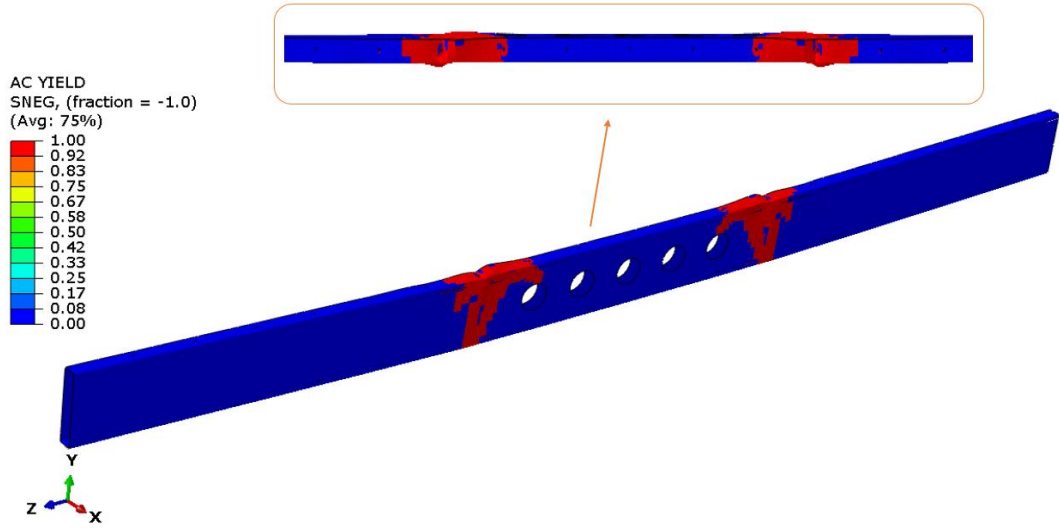
Şekil 4.28. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D



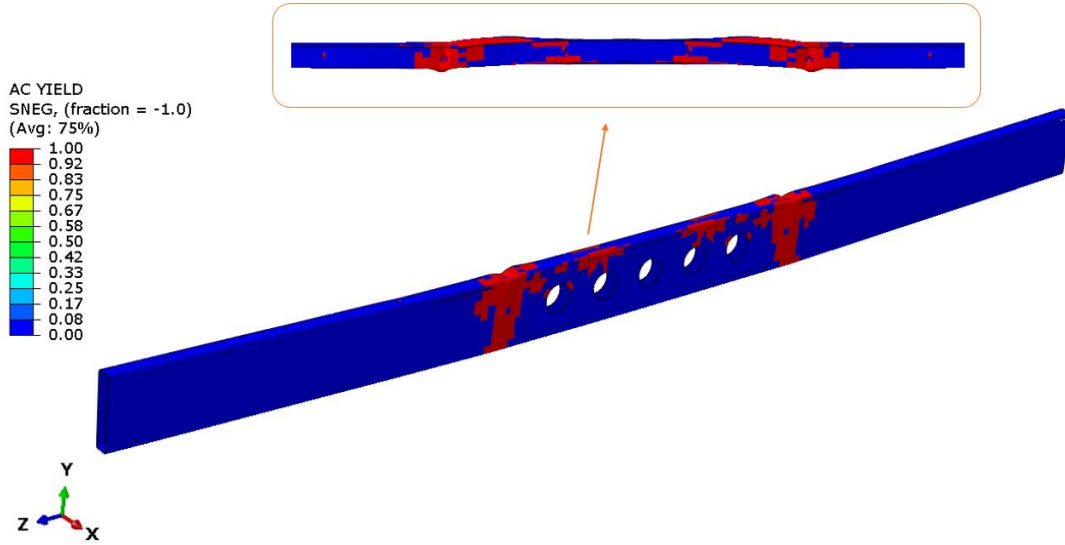
Şekil 4.29. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D



(a)



(b)



(c)

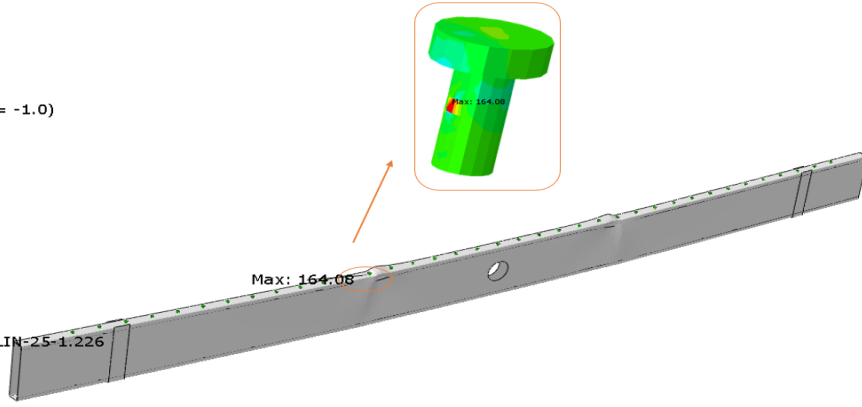
Şekil 4.30. Akma Dayanımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S400-5D

M04A analizinde oluşturulan her 9 modelde yükleme noktalarındaki akıllı vida deliklerine şekil değiştirmeler oluşmakta ve delik çevresi akma dayanımı sınır durumuna ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca S200 ve tek gövde deliğine sahip S400 akıllı vida aralığına sahip profillerde yanal şekilde akmaların arttığı görülmüştür. 5 gövde delikli modellerin hepsinde yükleme bölgelerine yakın olan delik etrafının da aktığı görülmüştür. M04A-S400-5D modelde ise akma dayanımlarının diğer modellere göre dört gövde delik etrafındaki bölgede aktığı gözlemlenmiştir.

4.3.4. M04A akıllı vidalardaki kesme durumu

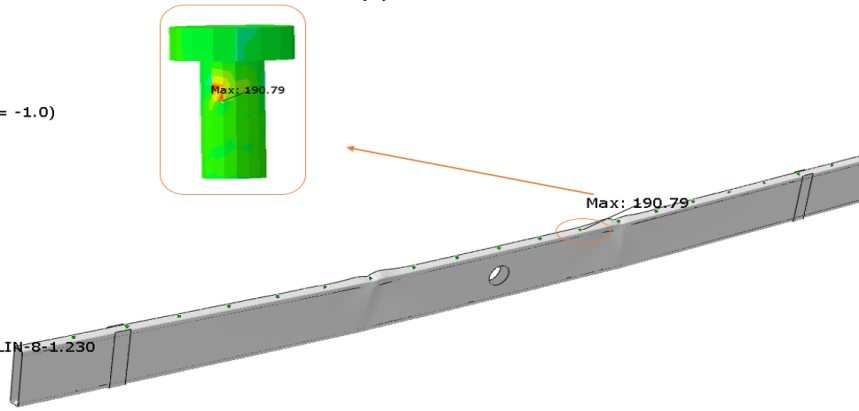
M04A enkesitli birleşimlerde kullanılan akıllı vidaların kesme gerilme dağılımları 1 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.31’ de, üç gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.32’ de, beş gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.33’de verilmiştir.

S, S23
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)
164.08
136.23
108.39
80.54
52.70
24.85
-2.99
-30.84
-58.69
-86.53
-114.38
-142.22
-170.07
Max: 164.08
Elem: BOLT-2-LIN-25-1.226
Node: 308



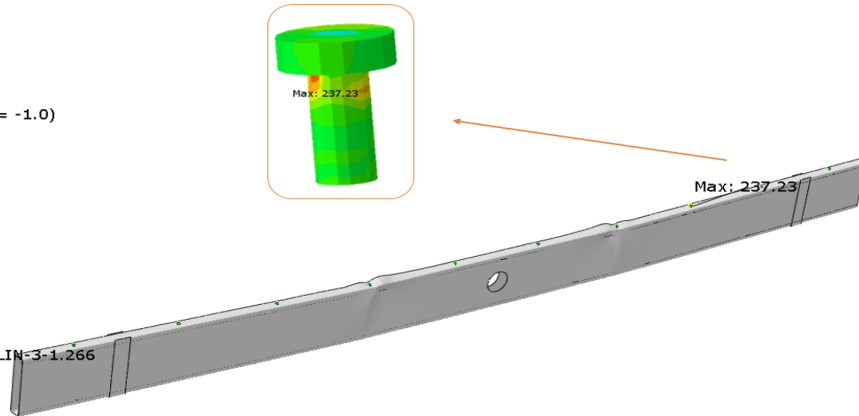
(a)

S, S23
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)
190.79
158.83
126.88
94.92
62.96
31.00
-0.96
-32.92
-64.88
-96.84
-128.80
-160.76
-192.72
Max: 190.79
Elem: BOLT-1-LIN-8-1.230
Node: 305



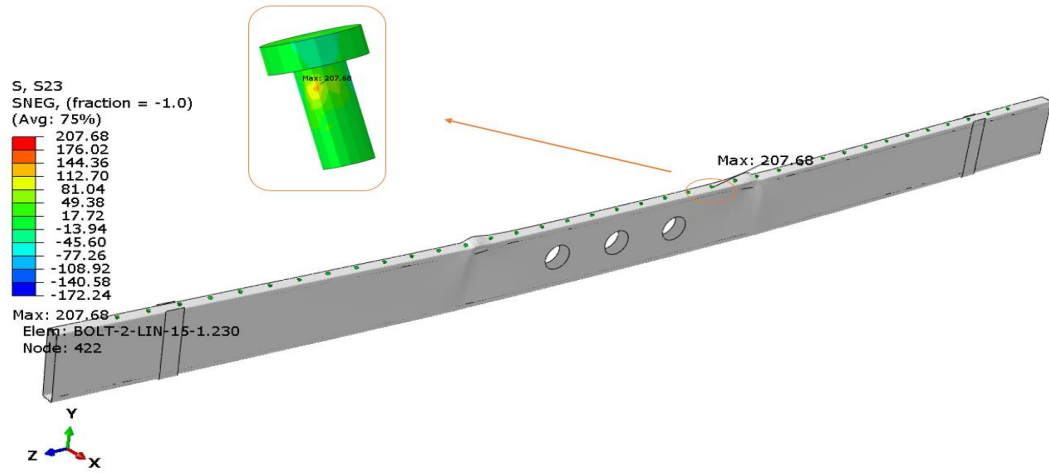
(b)

S, S23
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)
237.23
197.66
158.09
118.53
78.96
39.39
-0.18
-39.75
-79.31
-118.88
-158.45
-198.02
-237.58
Max: 237.23
Elem: BOLT-1-LIN-3-1.266
Node: 278

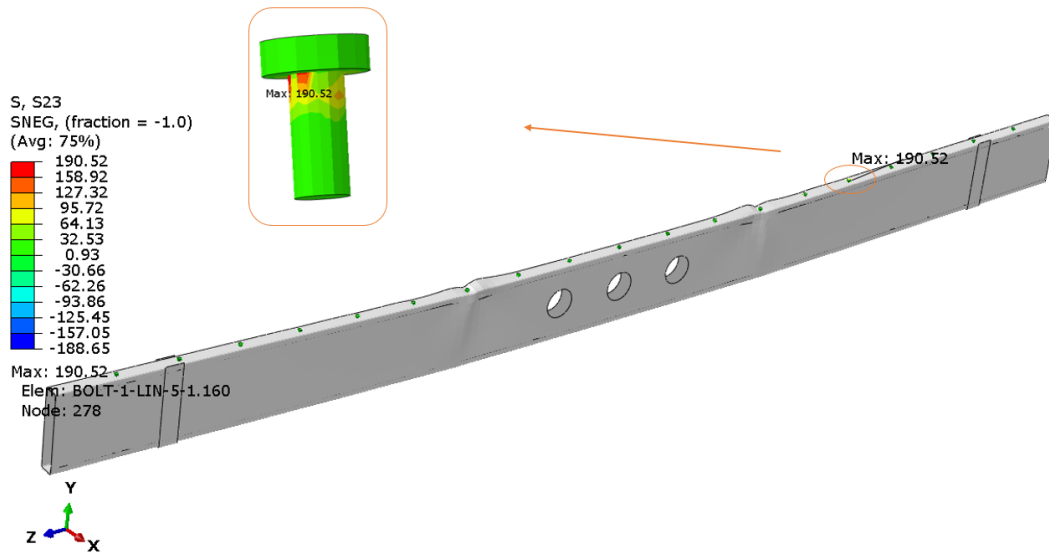


(c)

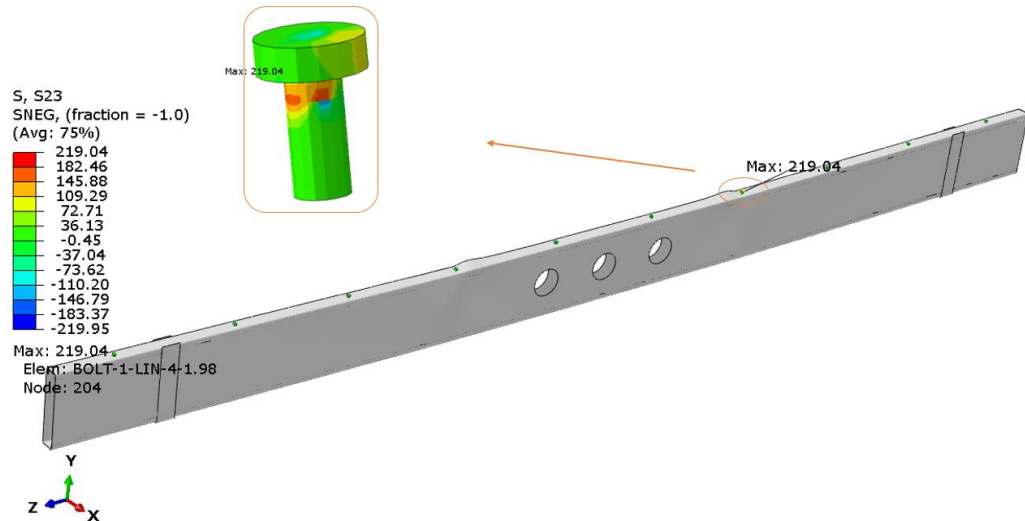
Şekil 4.31. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-1D (b) M04A-S200-1D (c) M04A-S400-1D



(a)

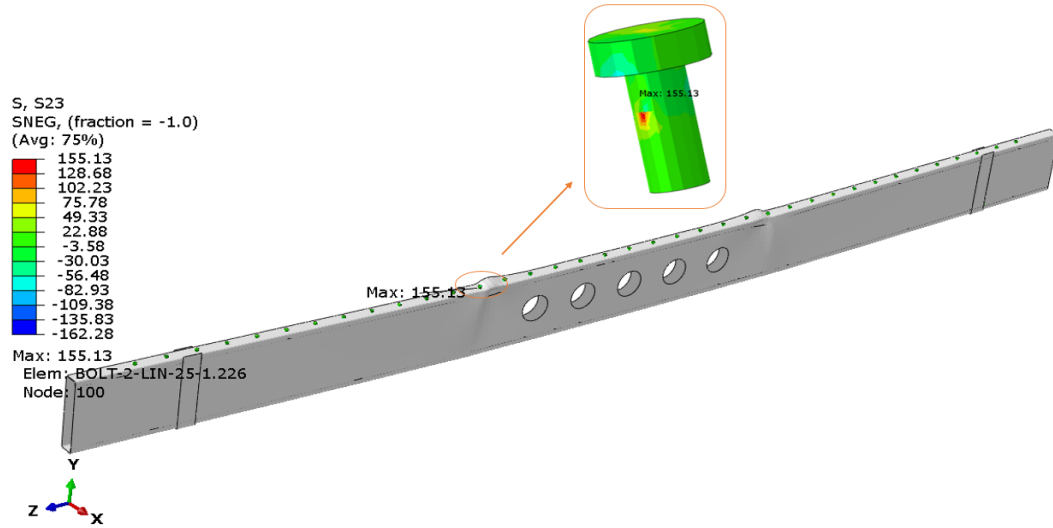


(b)

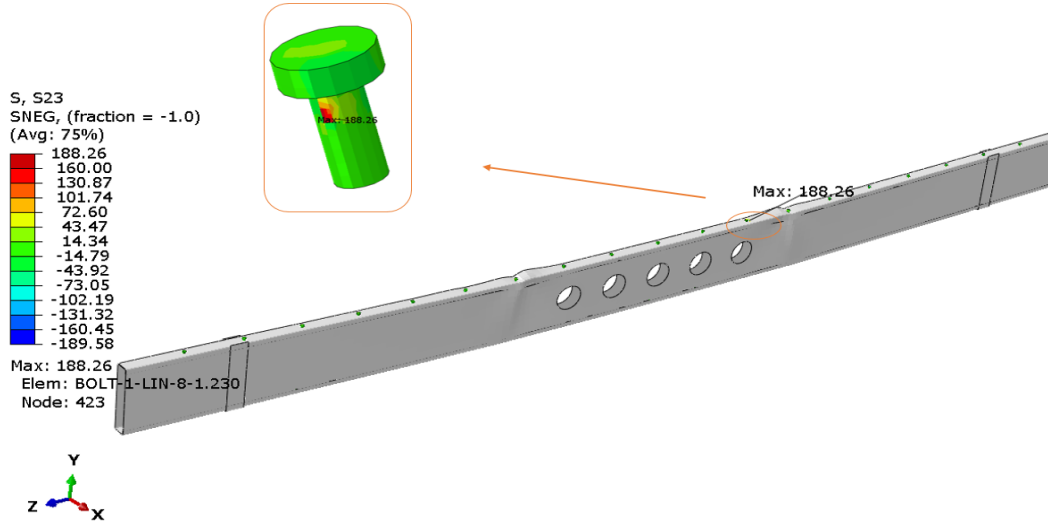


(c)

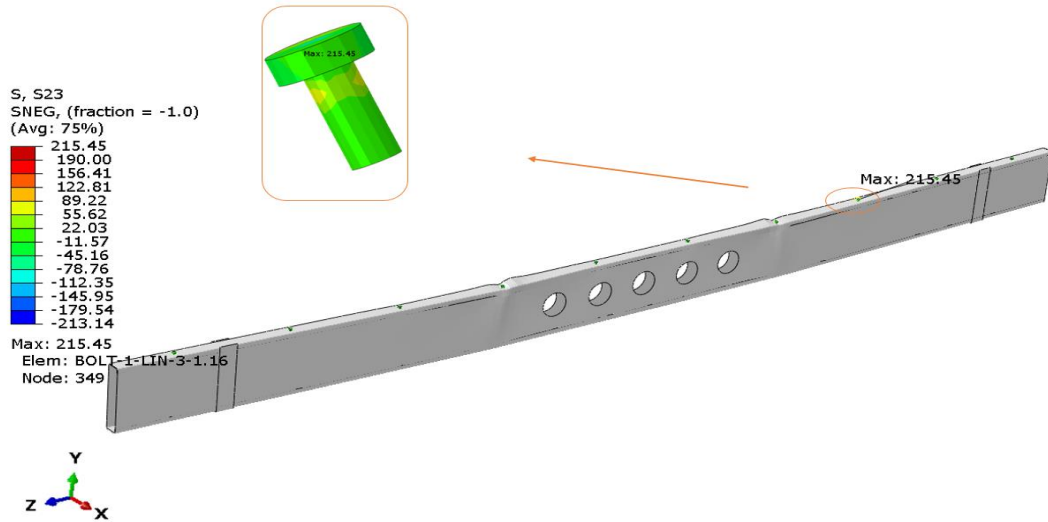
Şekil 4.32. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-3D (b) M04A-S200-3D (c) M04A-S400-3D



(a)



(b)



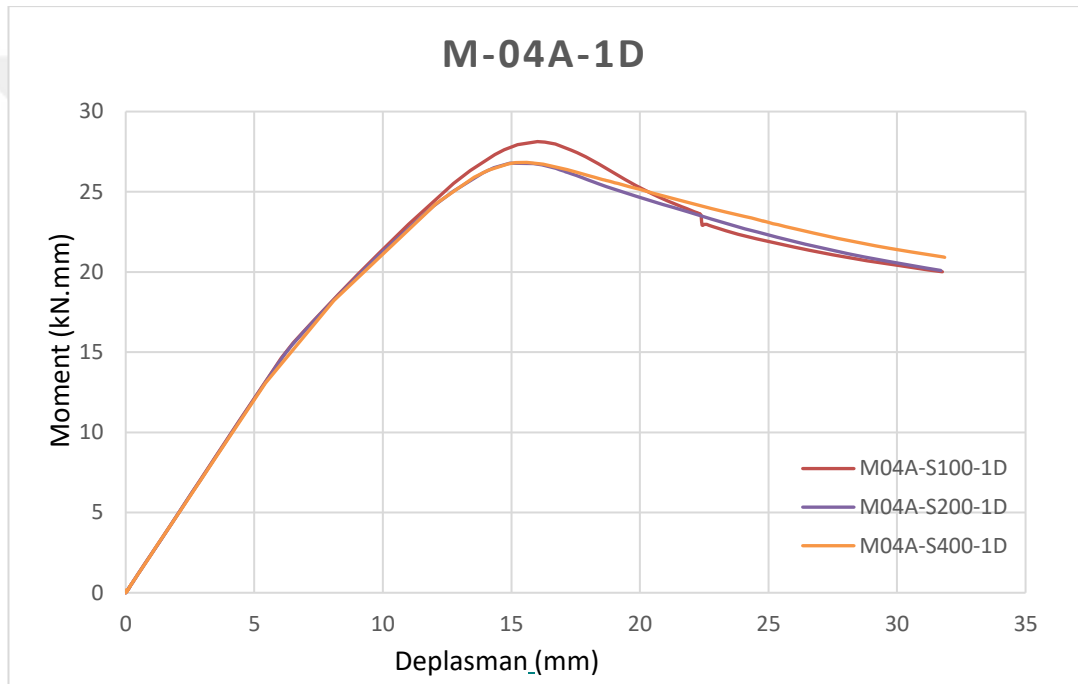
(c)

Şekil 4.33. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M04A-S100-5D (b) M04A-S200-5D (c) M04A-S200-5D

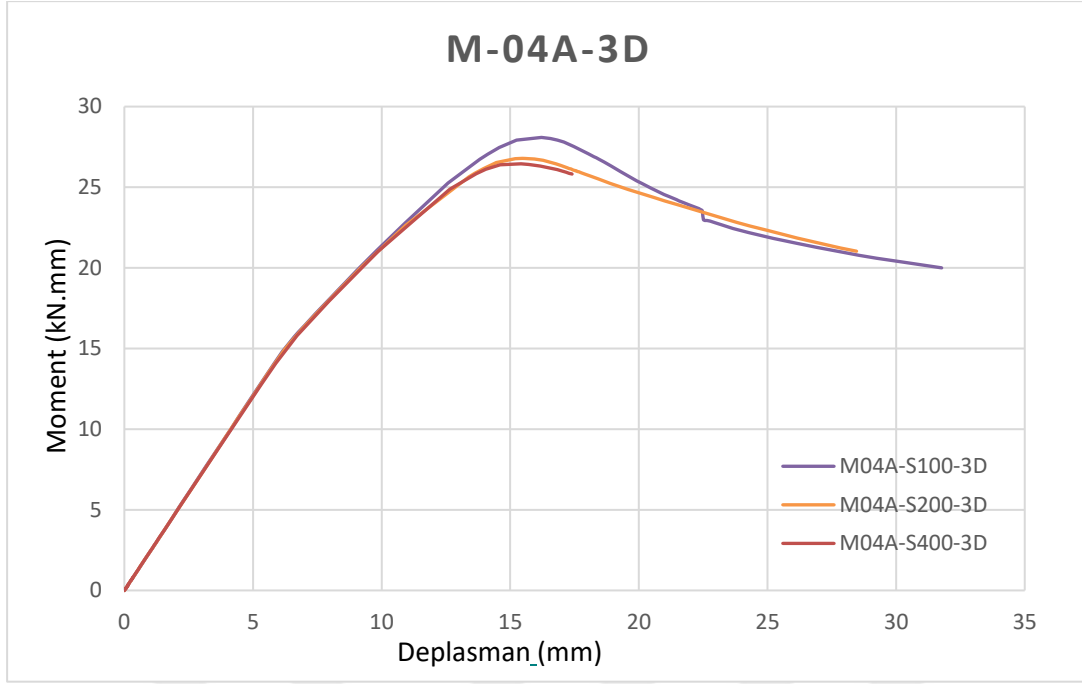
Akıllı vidaların maksimum kesme gerilmeleri M04A-S100-1D için 164,08 MPa, M04A-S200-1D için 190,79 MPa, M04A-S400-1D için 237,23 MPa, M04A-S100-3D için 207,68 MPa, M04A-S200-3D için 190,52 MPa, M04A-S400-3D için 219,04 MPa, M04A-S100-5D için 155,13, M04A-S200-5D için 188,26 MPa, M04A-S400-5D için 215,45 gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.3.5. M04A çelik profilleri moment-deplasman grafiği

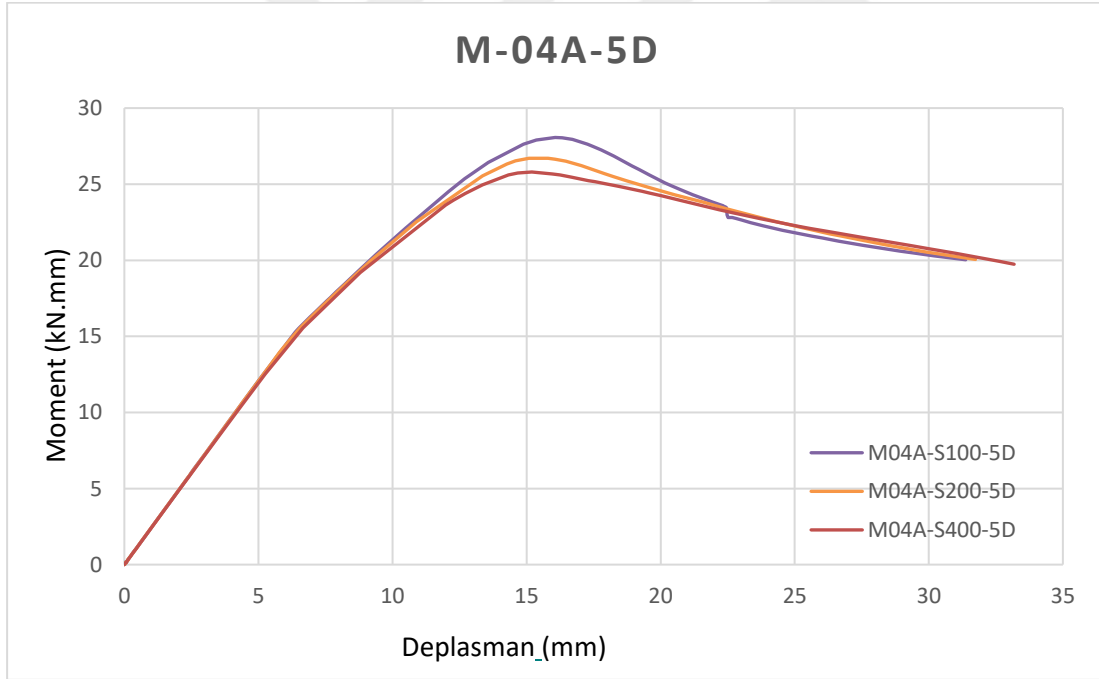
Yapılan analizler sonucunda birleşik enkesitli profilde oluşan moment – deplasman grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir. Ayrıca bir üç ve beş gövde deliğine sahip profiller için bağımsız grafik oluşturulmuştur.



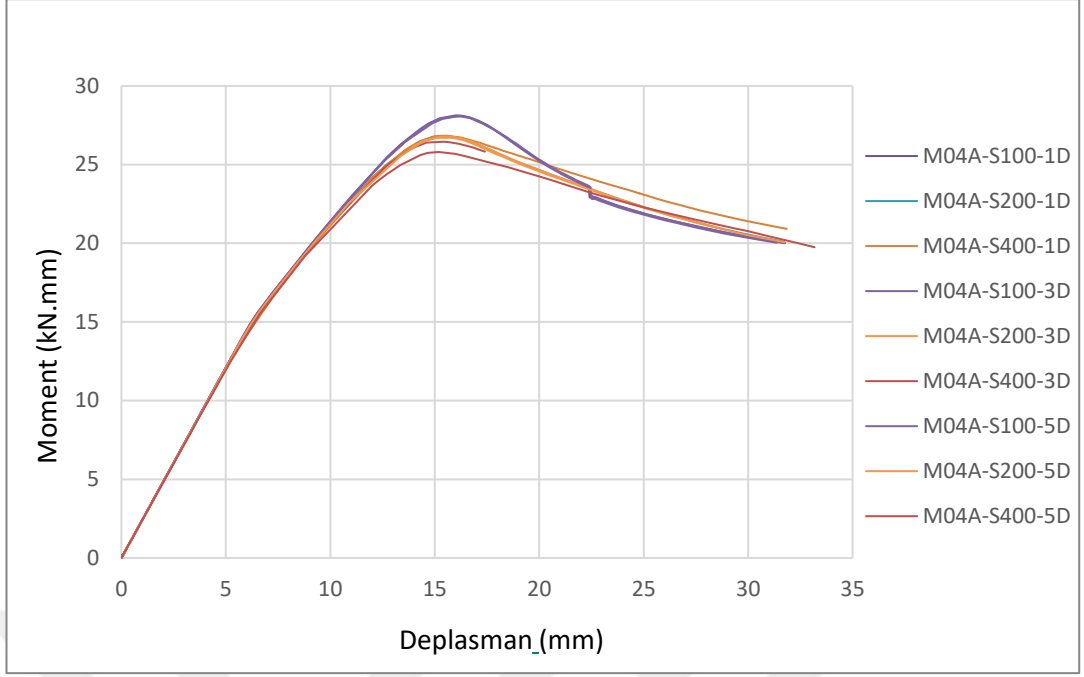
Şekil 4.34. M04A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.35. M04A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.36. M04A-5D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.37. M04A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği

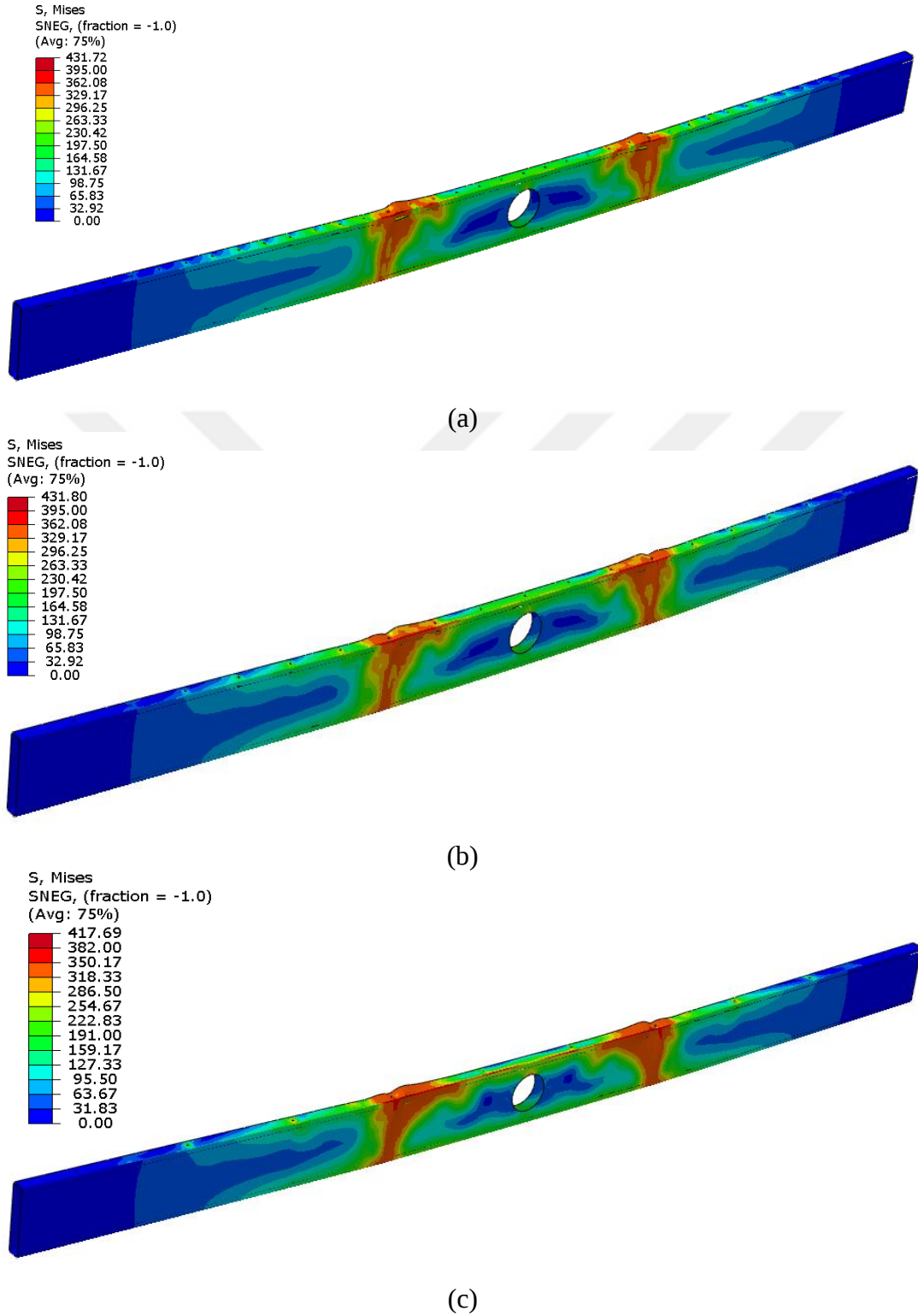
Analiz sonuçlarından elde edilen M04A-1D, M04A-3D ve M04A-5D modellerine ait moment-deplasman grafiği eğrisi Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’ da verilmiştir. Model sonuçlarında 1 gövde deliğine, 3 gövde deliğine ve 5 gövde deliğine sahip profillerde M02A-S100 modelinin en büyük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu, M04A-S400 modelinin de en küçük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M04A-S100-1D modelinde 16,01 mm, M04A-S200-1D modelinde 14,94 mm, M04A-S400-1D modelinde 15,60 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M04A-S100-3D modelinde 16,21 mm, M04A-S200-3D modelinde 15,56 mm, M04A-S400-3D modelinde 15,42 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M04A-S100-5D modelinde 16,06 mm, M04A-S200-5D modelinde 15,08 mm, M04A-S400-5D modelinde 15,19 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir.

4.4. M06A Profillerin İncelemesi

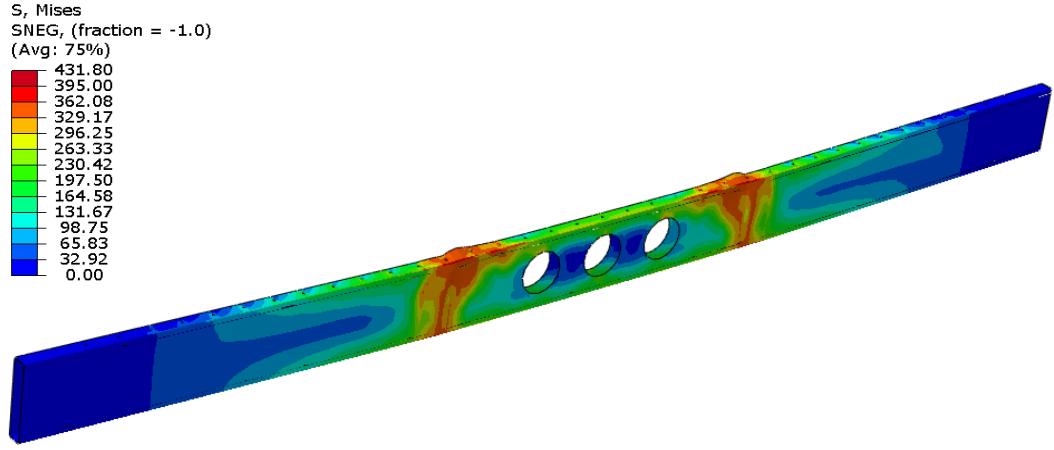
4.4.1. M06A çelik profil gerilme dağılımları

Dudaklı ve dudaksız C profilde oluşan Von Mises gerilme dağılımı, M06A-S100-1D, M06A-S200-1D, M06A-S400-1D için Şekil 4.38’ de, M06A-S100-3D, M06A-S200-

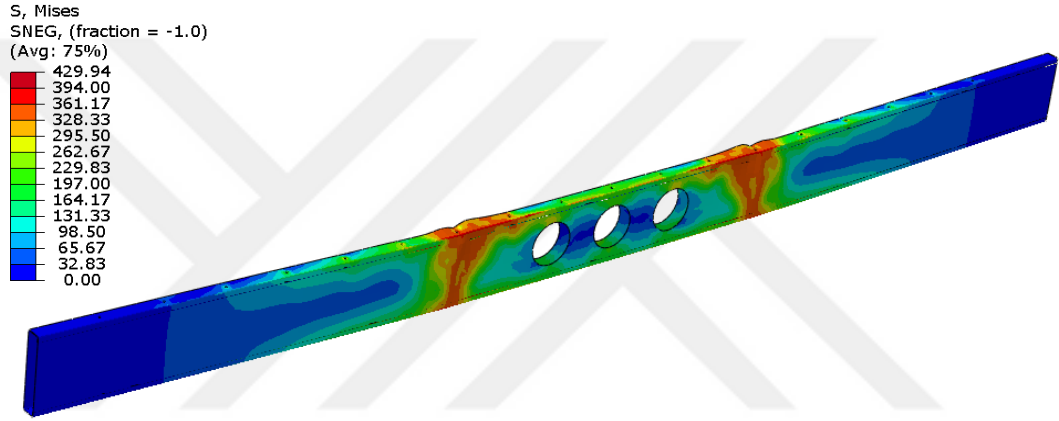
3D, M06A-S400-3D için Şekil 4.39’ da, M06A-S100-5D, M06A-S200-5D, M06A-S400-5D için Şekil 4.40’ da gösterilmiştir.



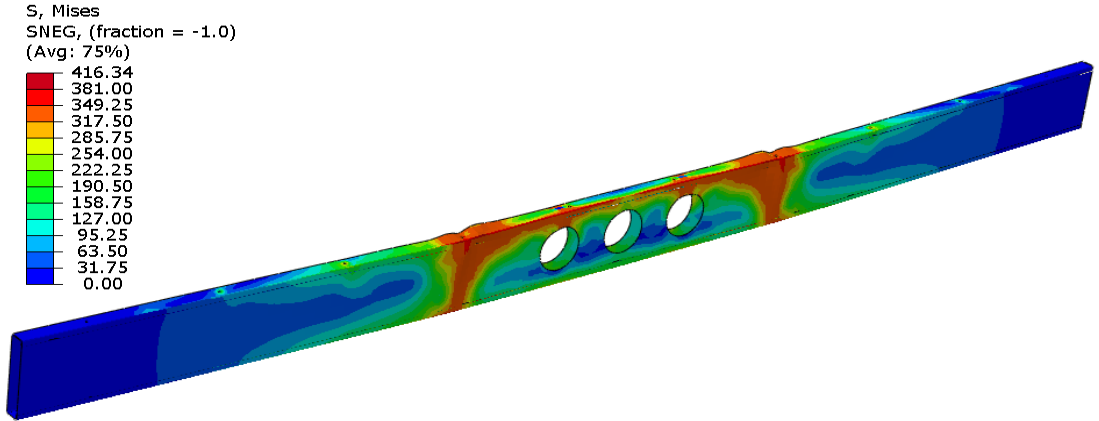
Şekil 4.38. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D



(a)

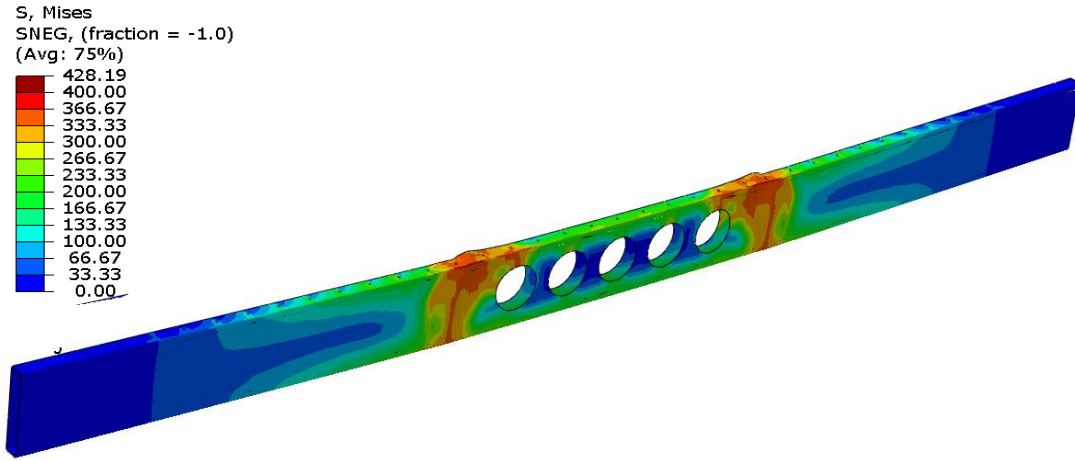


(b)

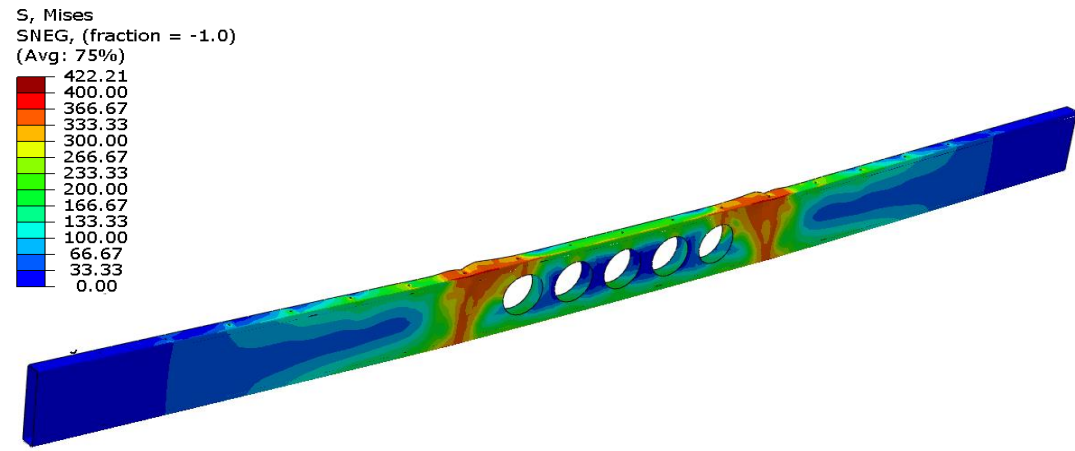


(c)

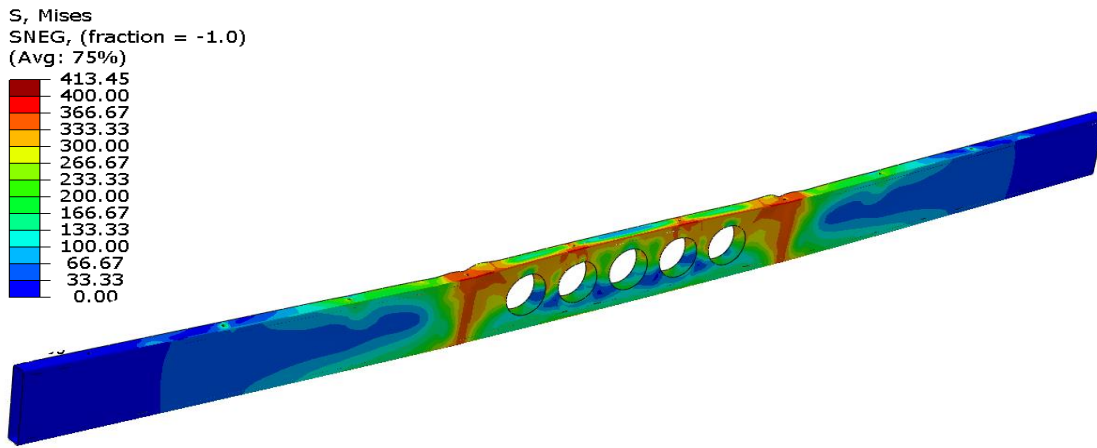
Şekil 4.39. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D



(a)



(b)



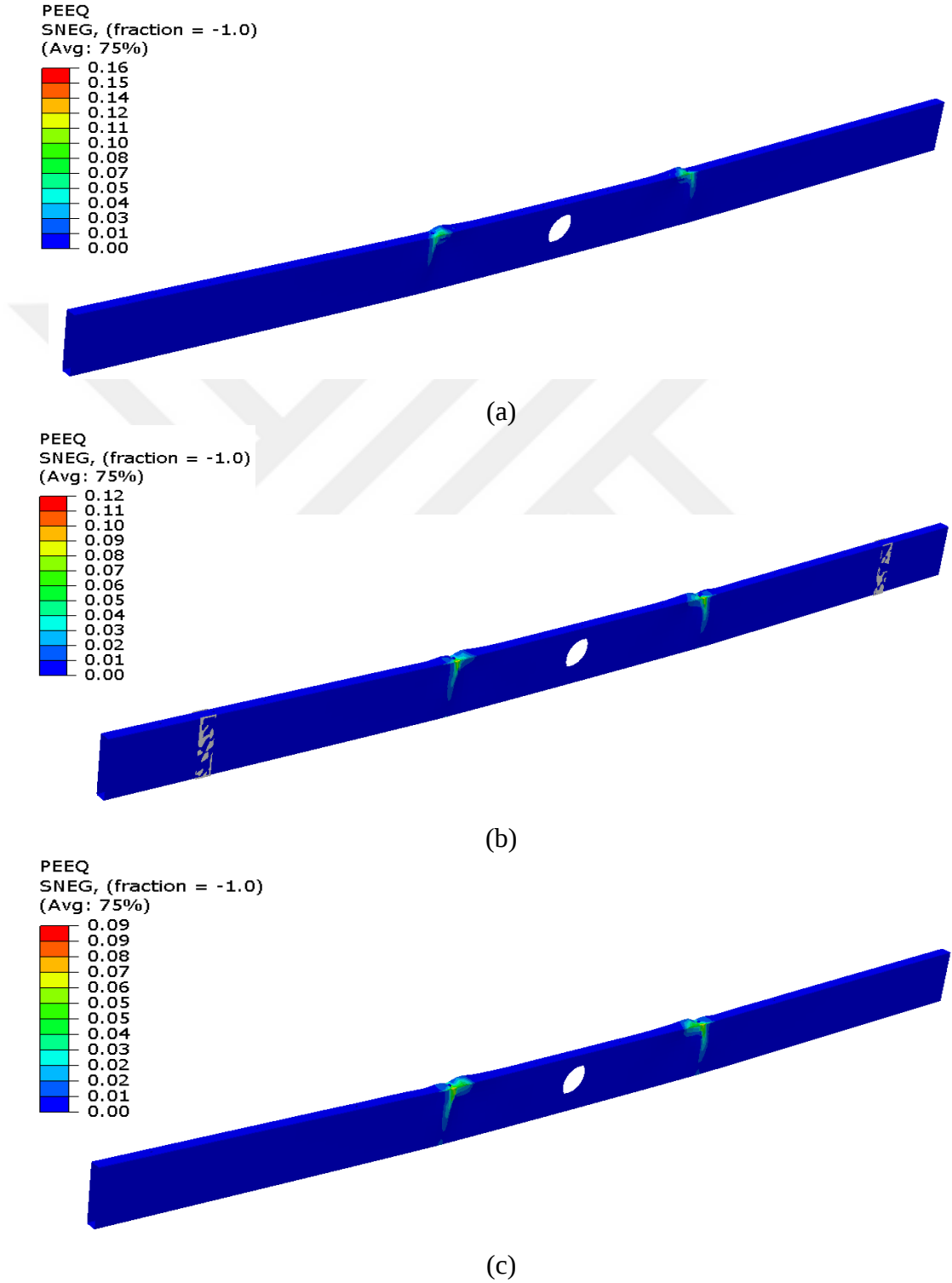
(c)

Şekil 4.40. Von Mises Gerilme Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S400-5D

Von Mises gerilme sonuçlarına göre dudaklı ve dudaksız C profilde maksimum M06A-S100-1D için 431,72 MPa, M06A-S200-1D için 431,80 MPa, M06A-S400-1D için 417,69 MPa, M06A-S100-3D için 431,80 MPa, M06A-S200-3D için 429,94 MPa, M06A-S400-3D için 416,34 Mpa, M06A-S100-5D için 428,19 MPa, M06A-S200-5D için 422,21 MPa, M06A-S400-5D için 413,45 Mpa gerilme değerleri ölçülmüştür.

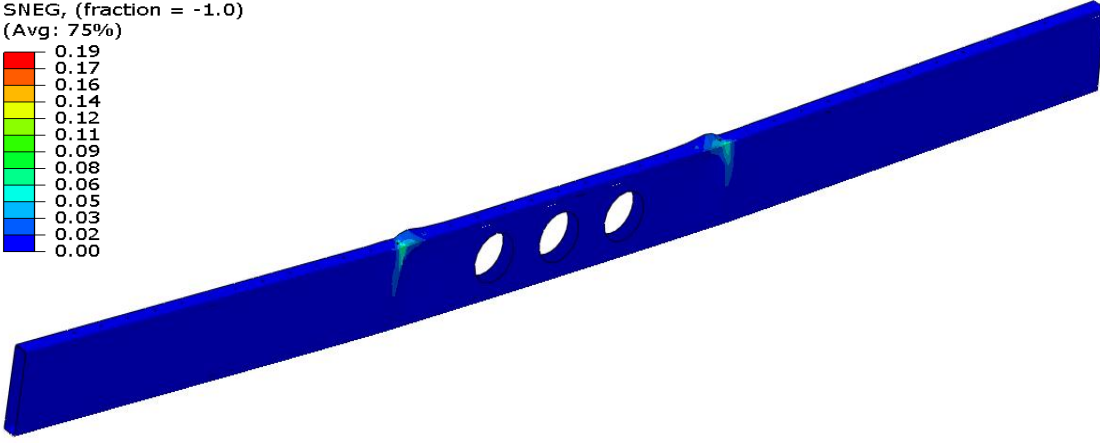
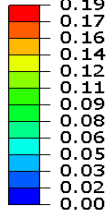
4.4.2. M06A çelik profil plastik şekil değıştirme dağılımı

Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan plastik şekil değıştirme dağılımları Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43’de verilmiştir.



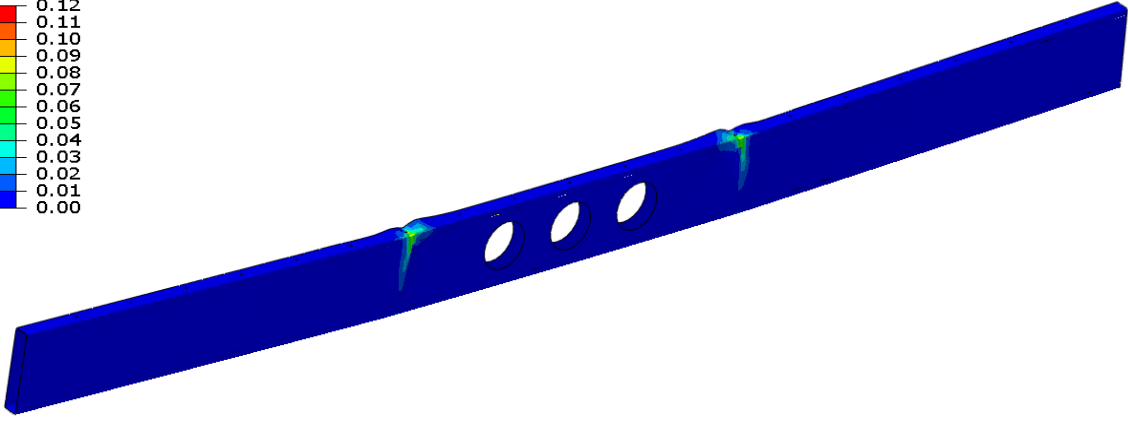
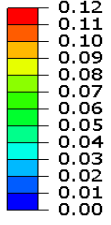
Şekil 4.41. Plastik Şekil Değıştirme Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



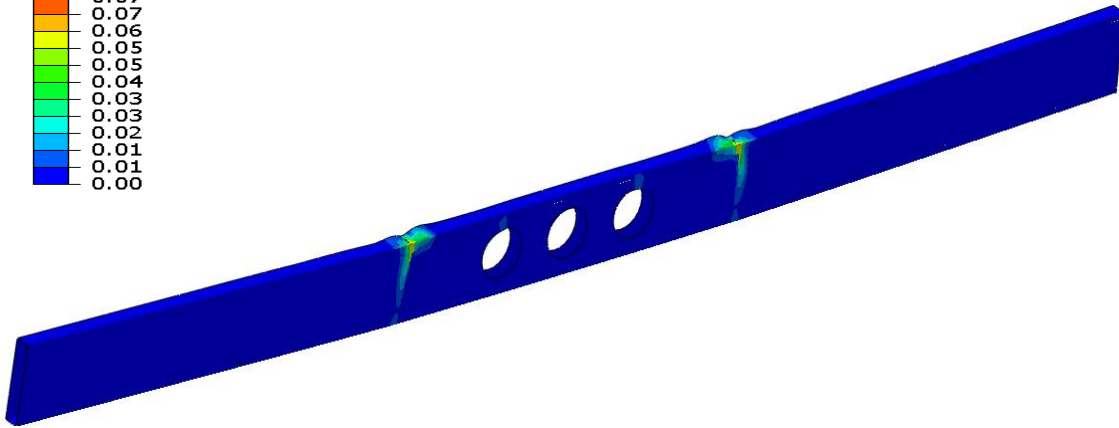
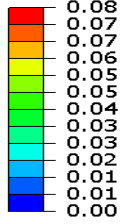
(a)

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(b)

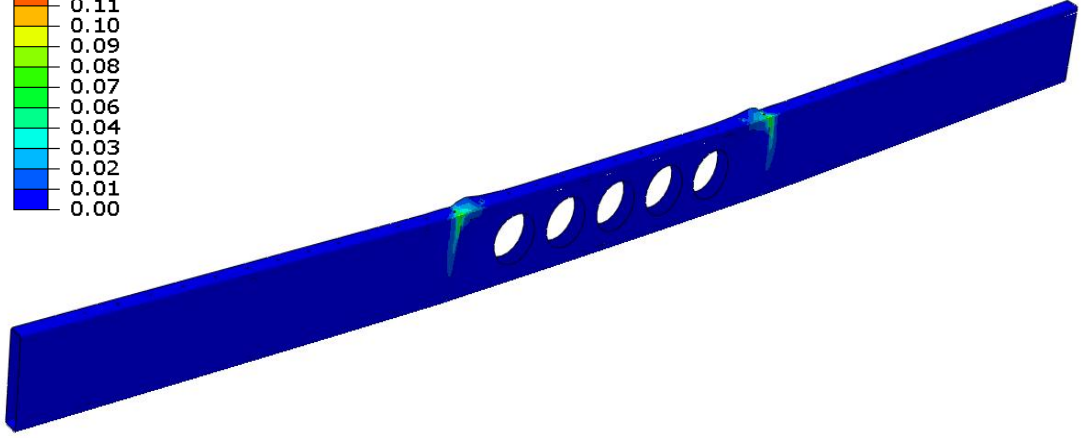
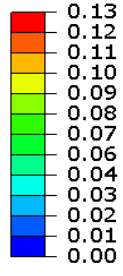
PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(c)

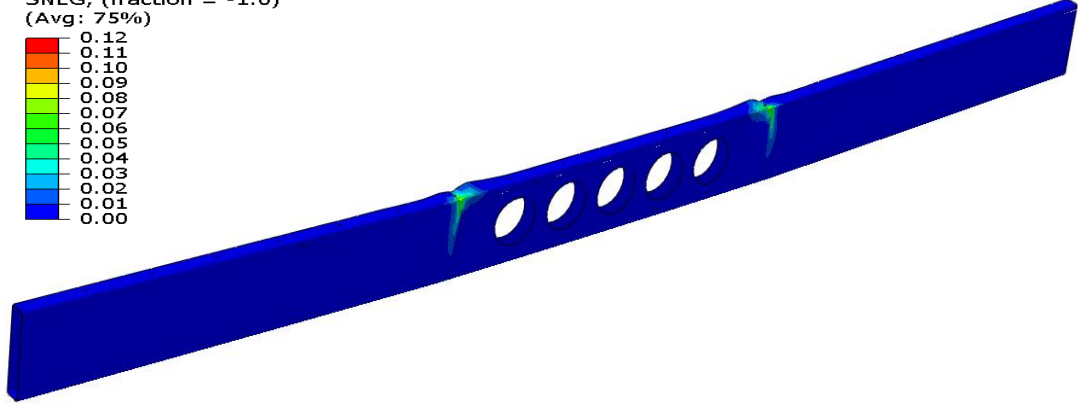
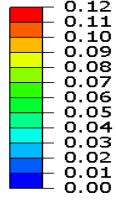
Şekil 4.42. Plastik Şekil Değiştirme Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



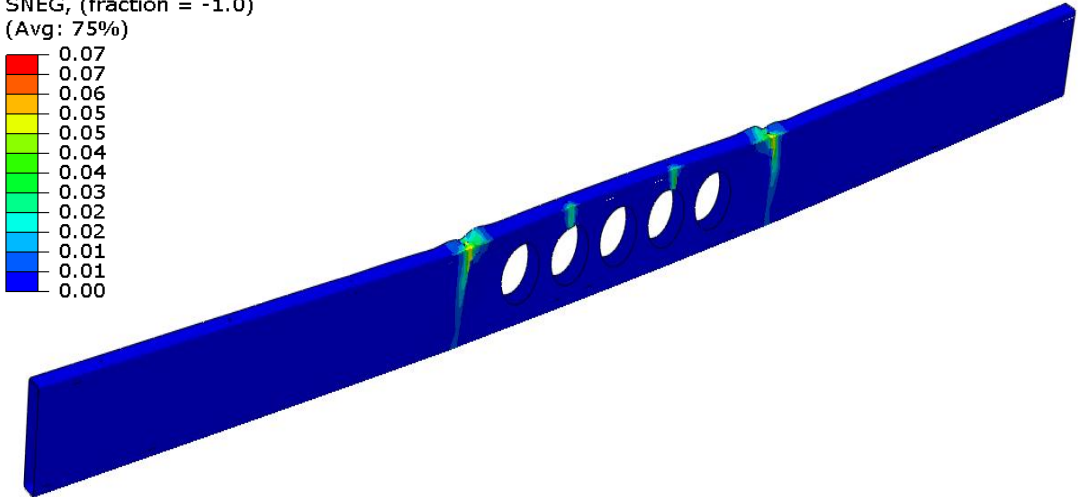
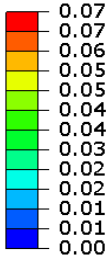
(a)

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



(b)

PEEQ
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



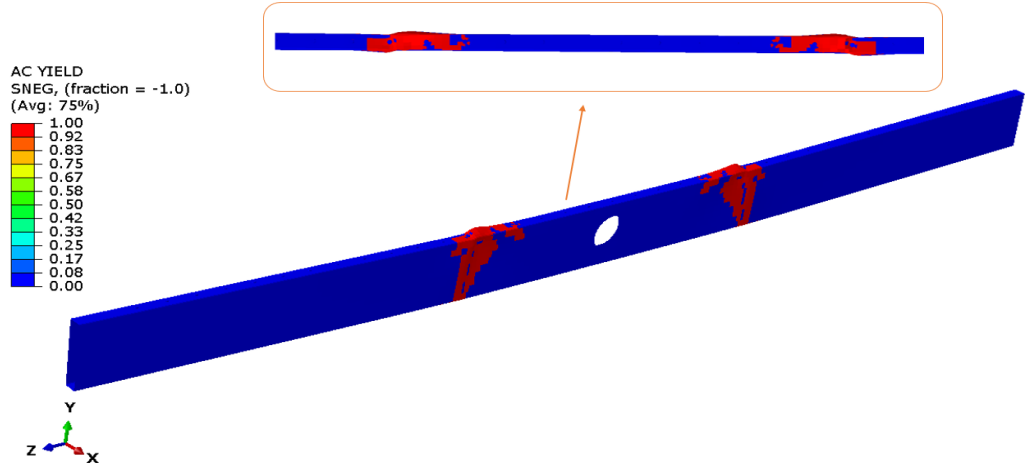
(c)

Şekil 4.43. Plastik Şekil Değişirme Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S400-5D

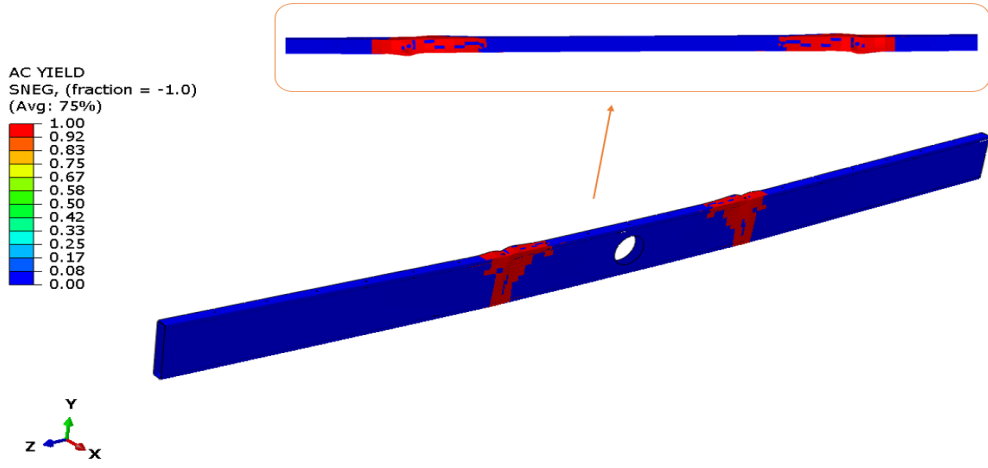
M06A-S100-1D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %16, M04A-S200-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %12, M06A-S400-1D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %9, M06A-S100-3D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %19, M06A-S200-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %12, M06A-S400-3D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %8, M06A-S100-5D modelinde yükeleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirme kapasitesi %13, M06A-S200-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %12, M06A-S400-5D modelindeki yükleme bölgesindeki akıllı vidanın plastik şekil değiştirmesi %7 olarak bulunmuştur.

4.4.3. M06A çelik profil akma dayanımları

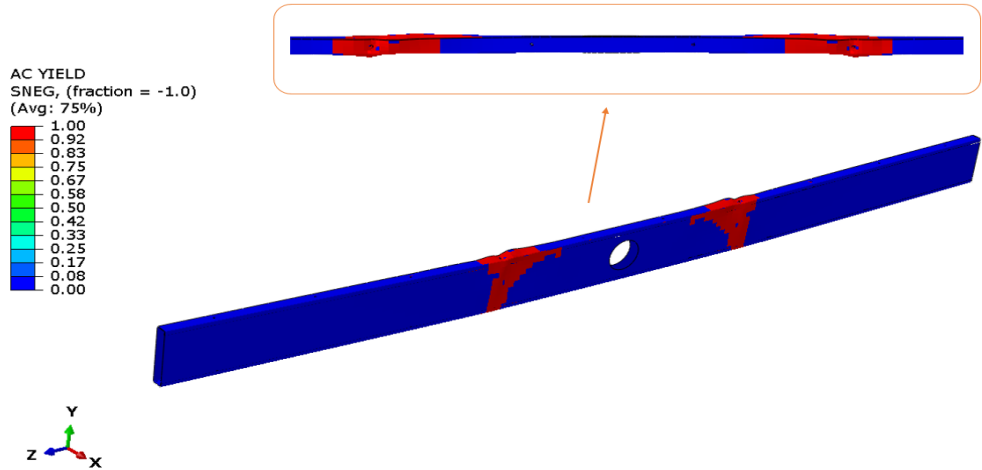
Deplasman kontrollü eğilme analizi sonucunda dudaklı ve dudaksız C profil birleşik enkesitinde oluşan akma dayanımı bir gövde deliğine sahip olan profiller için Şekil 4.44' de, üç gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.45' de, beş gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.46' da verilmiştir.



(a)

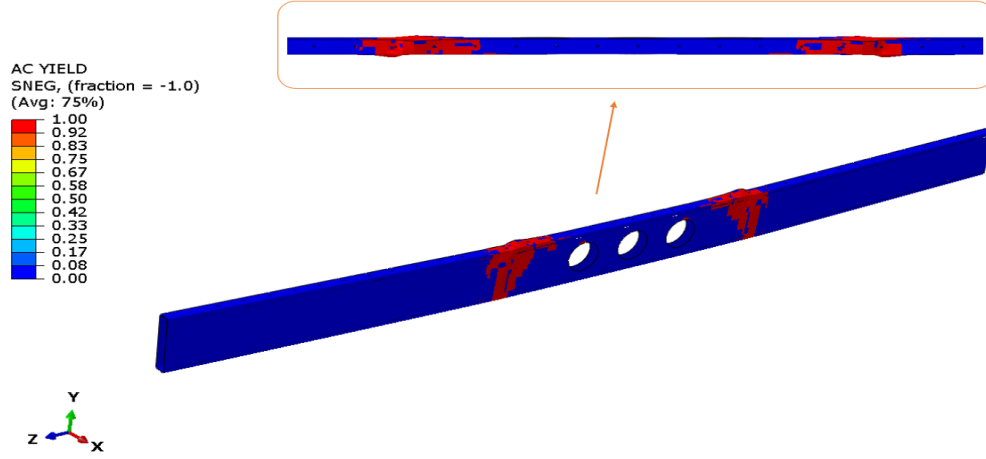


(b)

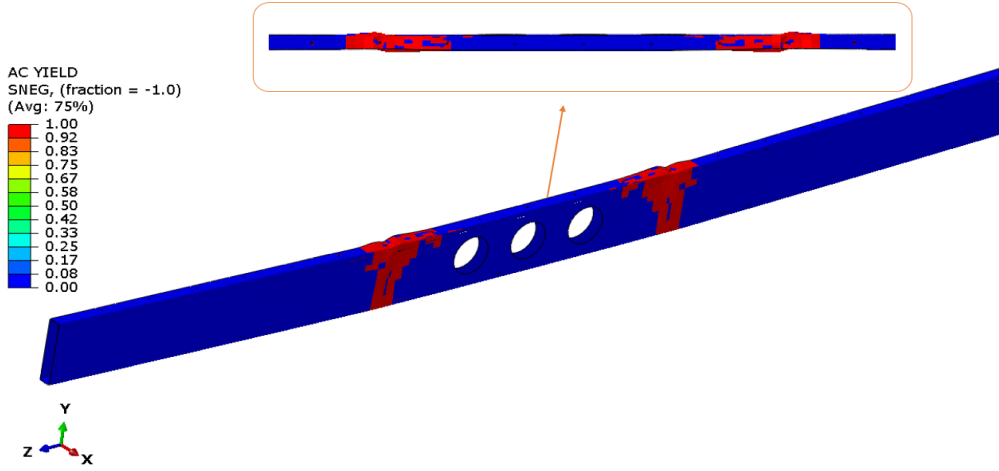


(c)

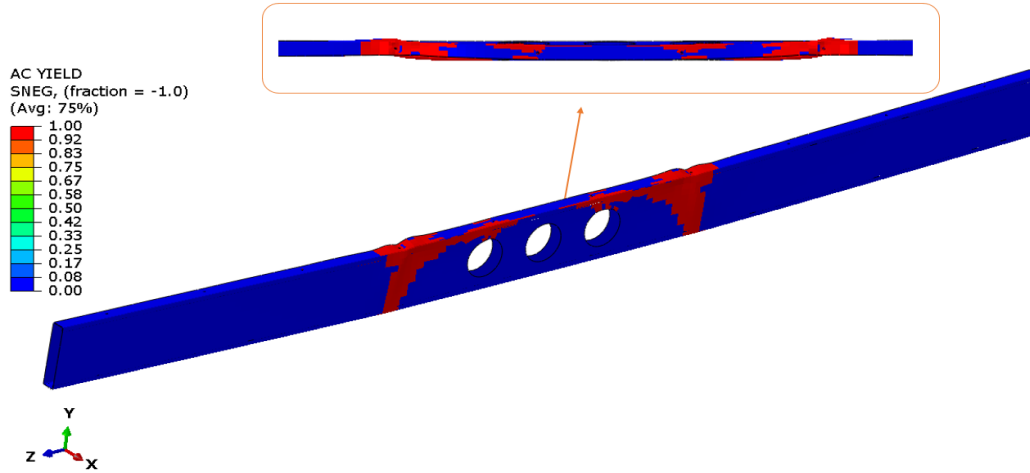
Şekil 4.44. Akma Dayanımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D



(a)

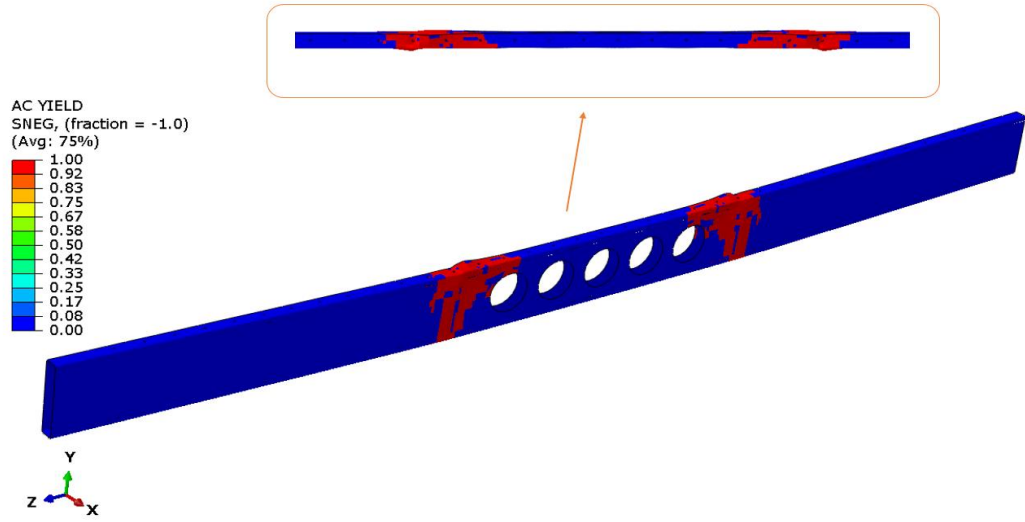


(b)

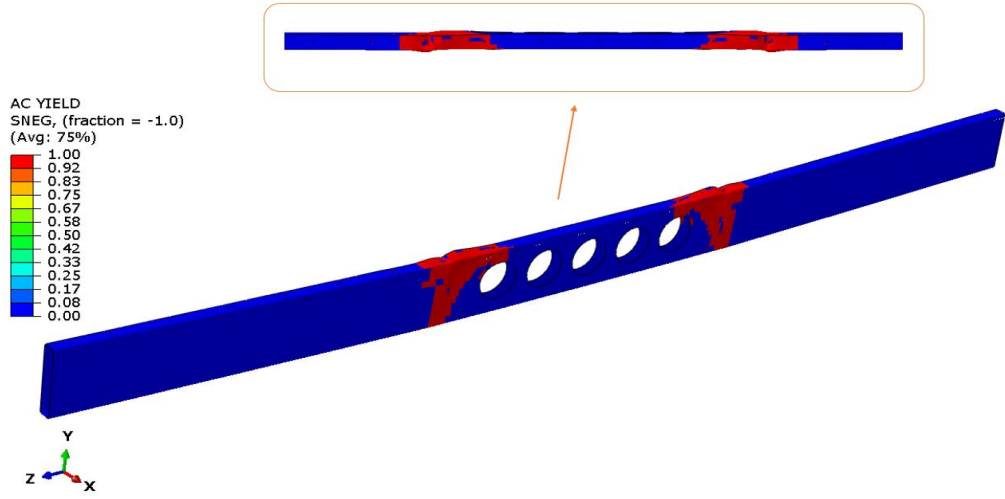


(c)

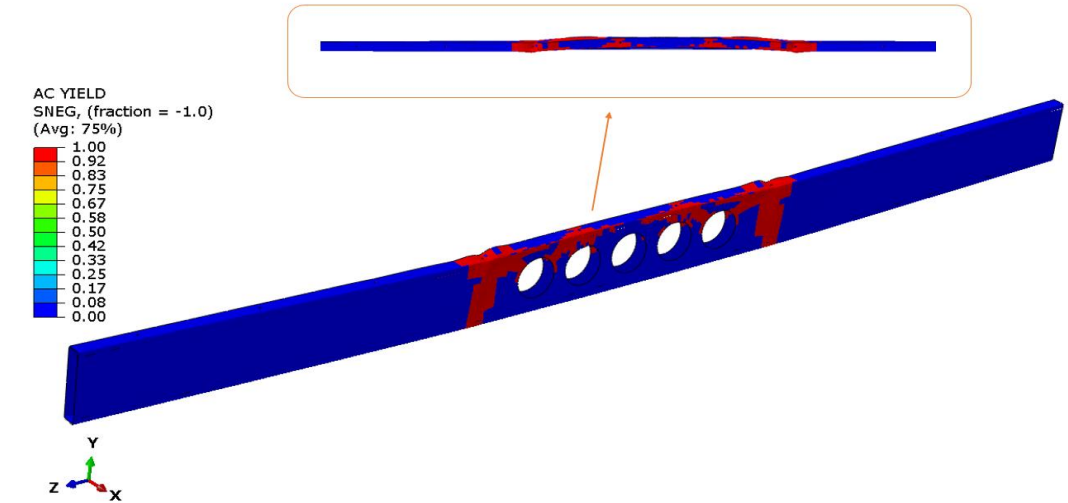
Şekil 4.45. Akma Dayanımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D



(a)



(b)



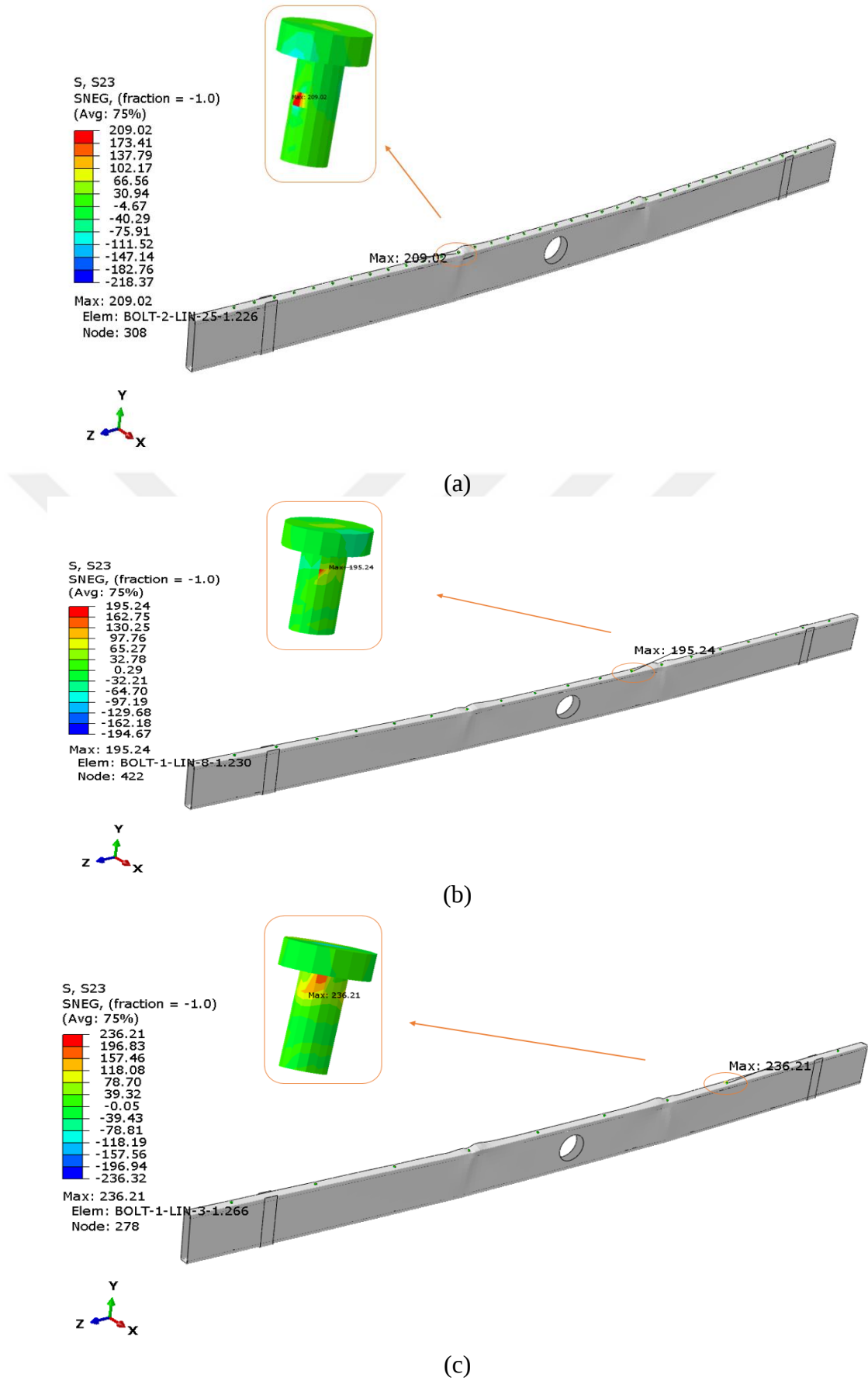
(c)

Şekil 4.46. Akma Dayanımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S200-5D

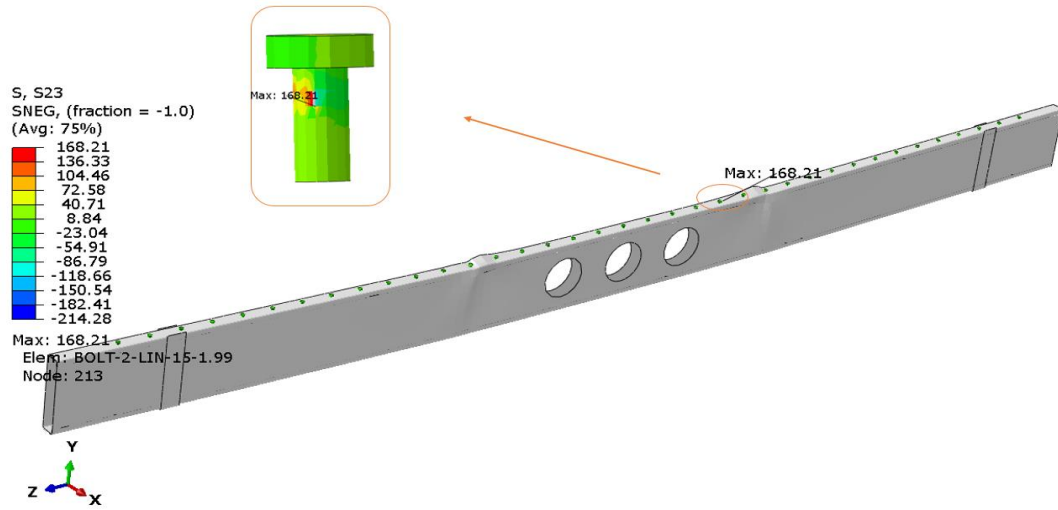
M06A analizinde oluşturulan her 9 modelde yükleme noktalarındaki akıllı vida deliklerine şekil değiştirmeler oluşmakta ve delik çevresi akma dayanımı sınır durumuna ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca S200 ve tek gövde deliğine sahip S400 akıllı vida aralığına sahip profillerde yanal şekilde akmaların arttığı görülmüştür. 5 gövde delikli modellerin hepsinde yükleme bölgelerine yakın olan delik etrafının da aktığı görülmüştür. M06A-S400-5D modelde ise akma dayanımlarının diğer modellere göre dört gövde delik etrafındaki bölgede aktığı gözlemlenmiştir.

4.4.4. M06A akıllı vidalardaki kesme durumu

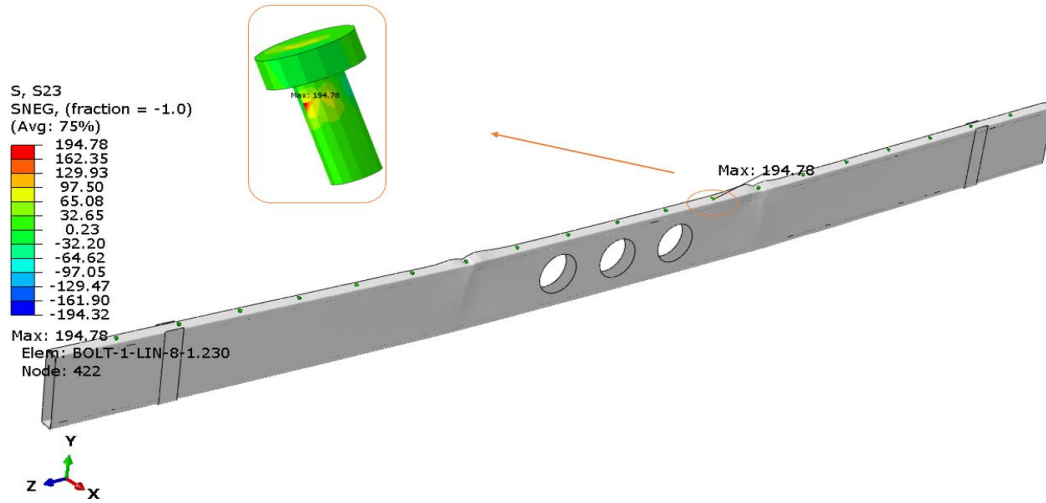
M06A enkesitli birleşimlerde kullanılan akıllı vidaların kesme gerilme dağılımları 1 gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.47' de, üç gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.45' de, beş gövde deliğine sahip profiller için Şekil 4.46' da verilmiştir.



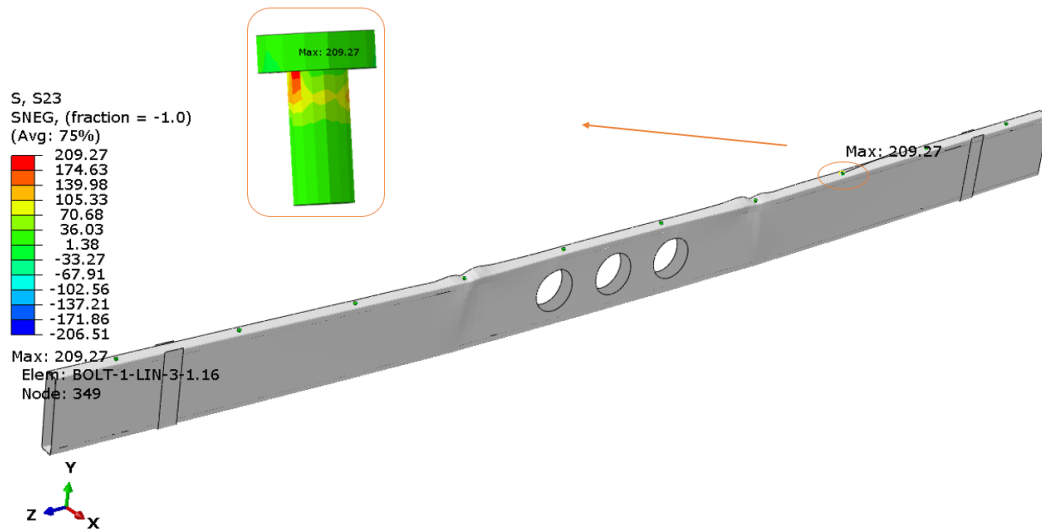
Şekil 4.47. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-1D (b) M06A-S200-1D (c) M06A-S400-1D



(a)

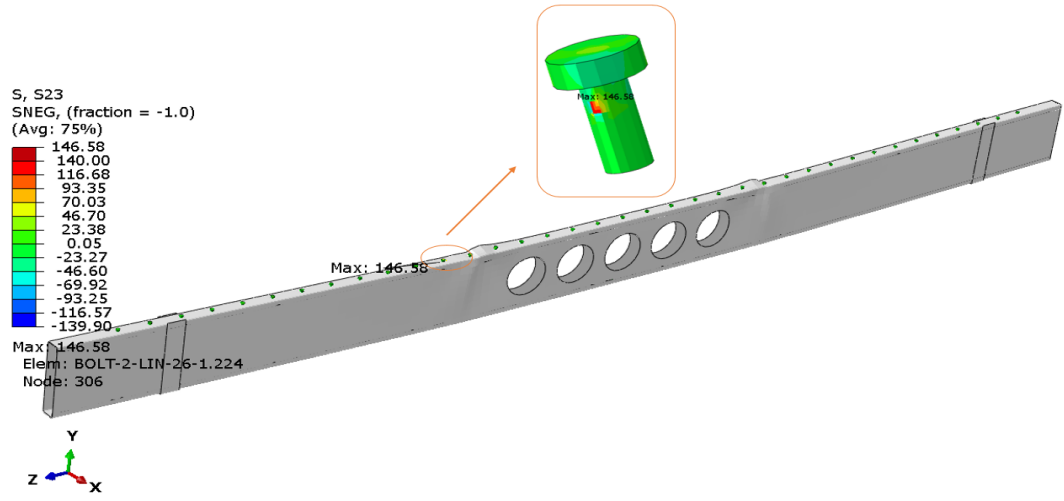


(b)

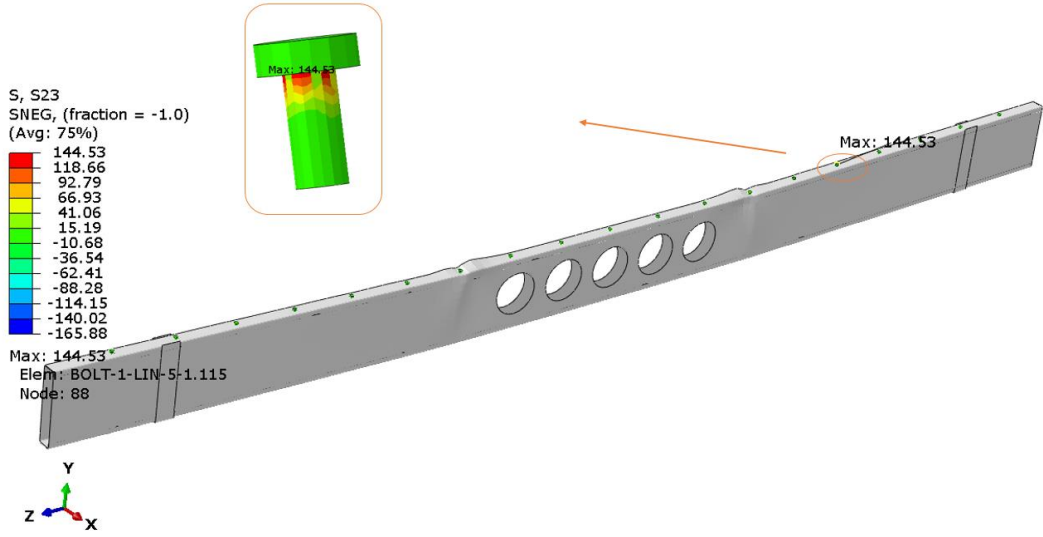


(c)

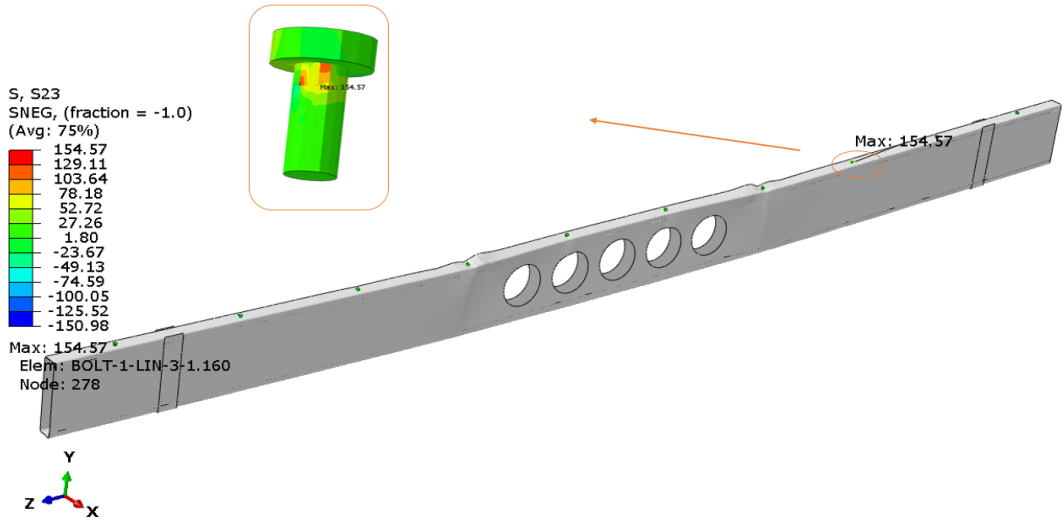
Şekil 4.48. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-3D (b) M06A-S200-3D (c) M06A-S400-3D



(a)



(b)



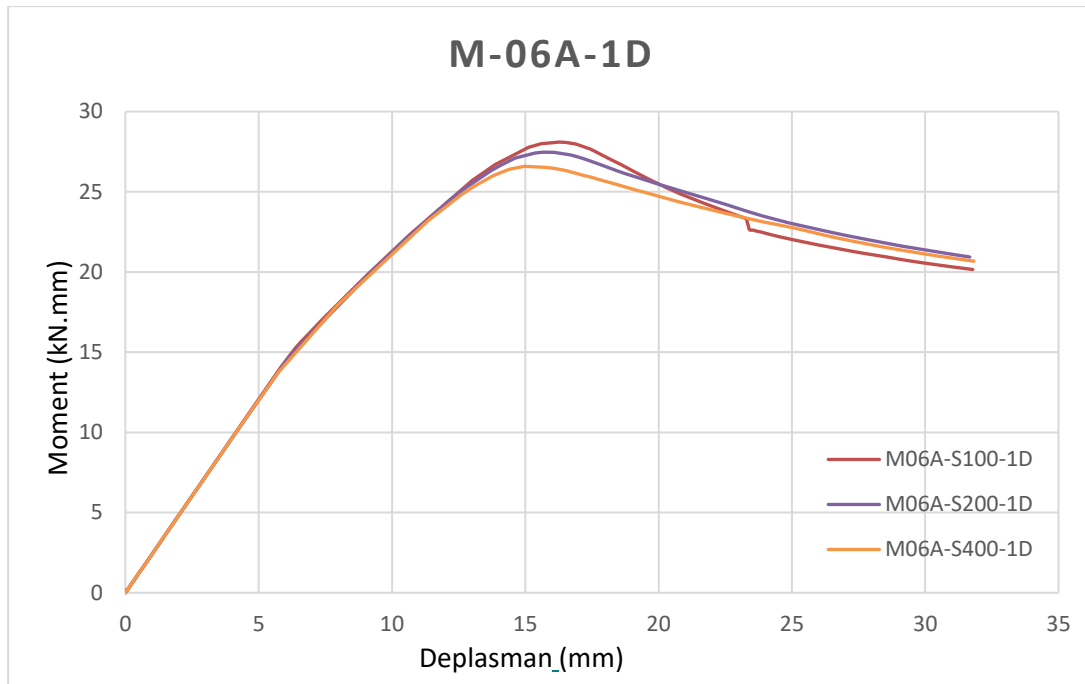
(c)

Şekil 4.49. Akıllı Vida Kesme Gerilmesi Dağılımı: (a) M06A-S100-5D (b) M06A-S200-5D (c) M06A-S200-5D

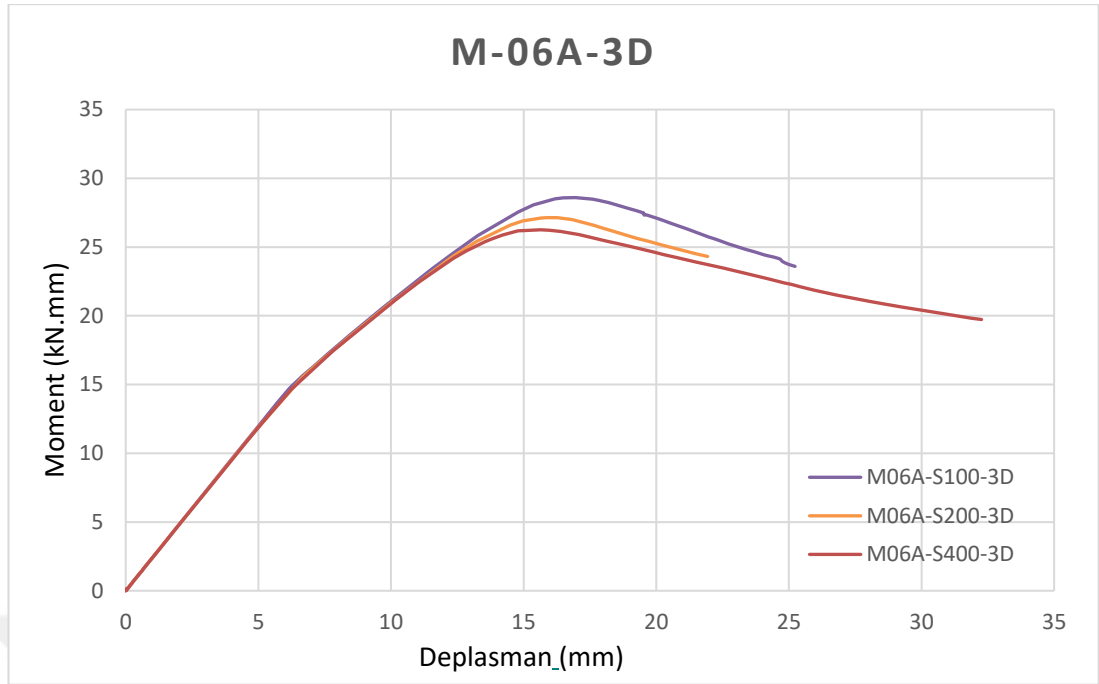
Akıllı vidaların maksimum kesme gerilmeleri M06A-S100-1D için 209,02 MPa, M06A-S200-1D için 195,24 MPa, M06A-S400-1D için 236,21 MPa, M06A-S100-3D için 168,21 MPa, M06A-S200-3D için 194,78 MPa, M06A-S400-3D için 209,27 Mpa, M06A-S100-5D için 146,58 MPa, M06A-S200-5D için 144,53 MPa, M06A-S400-5D için 154,57 Mpa gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.4.5. M06A çelik profilleri moment-deplasman grafiği

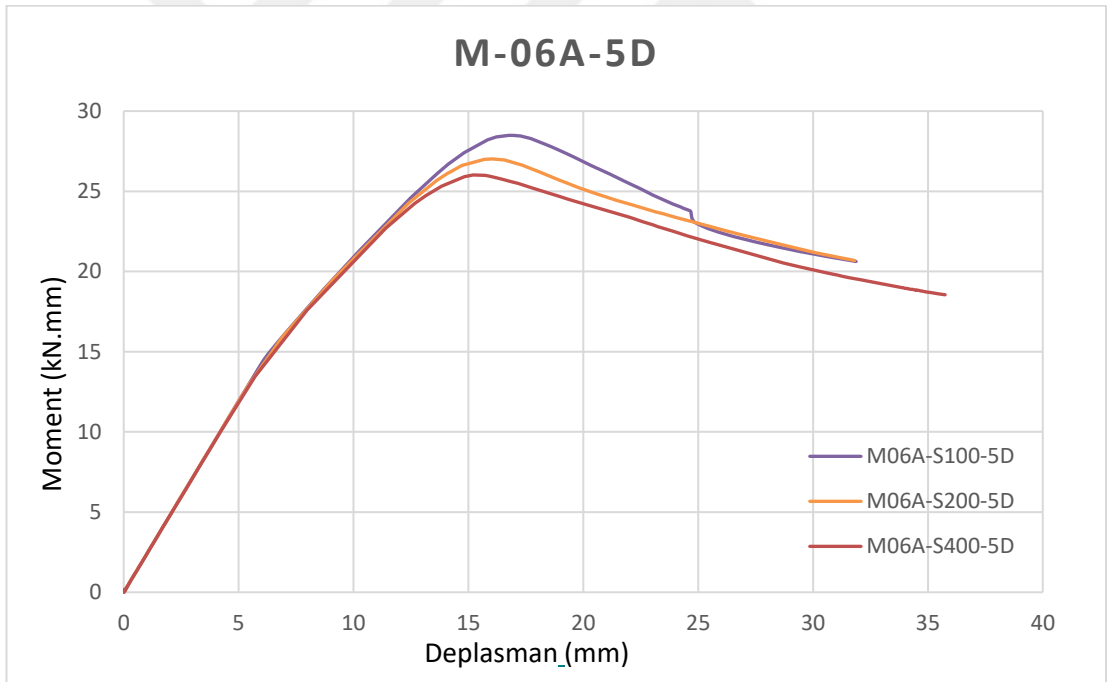
Yapılan analizler sonucunda birleşik enkesitli profilde oluşan moment – deplasman grafiği Şekil 4.53’de verilmiştir. Ayrıca bir, üç ve beş gövde deliğine sahip profiller için bağımsız grafik oluşturulmuştur.



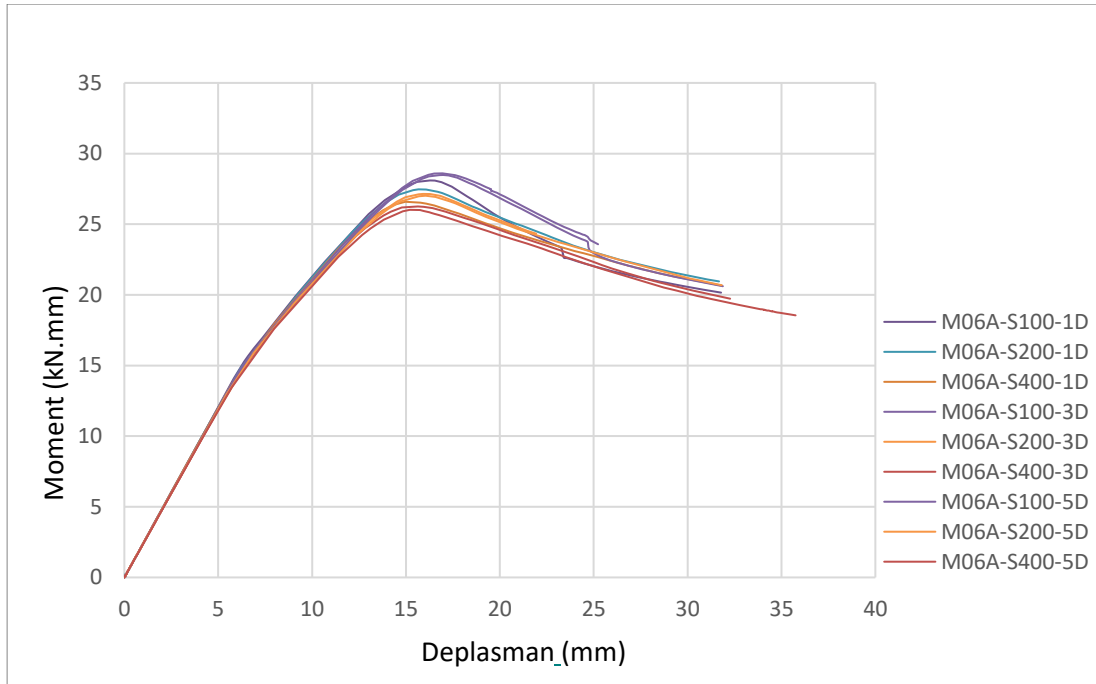
Şekil 4.50. M06A-1D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.51. M06A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.52. M06A-3D Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği



Şekil 4.53. M06A Profillerinin Moment-Deplasman Grafiği

Analiz sonuçlarından elde edilen M06A-1D, M06A-3D ve M06A-5D modellerine ait moment-deplasman grafiği eğrisi Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’ de verilmiştir. Gövde deliği sayısına bakılmaksızın profillerde M06A-S100 modelinin en büyük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu, M06A-S400 modelinin de en küçük moment taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M06A-S100-1D modelinde 16,27 mm, M06A-S200-1D modelinde 15,65 mm, M06A-S400-1D modelinde 14,95 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M06A-S100-3D modelinde 16,94 mm, M06A-S200-3D modelinde 15,91 mm, M06A-S400-3D modelinde 15,63 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Moment kapasitesi maksimum olduğunda M06A-S100-5D modelinde 16,97 mm, M06A-S200-5D modelinde 16,05 mm, M06A-S400-5D modelinde 15,20 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiştir.

4.5. Tokluk ve Süneklik

Çelik bir parça için tokluk ve süneklik, malzemenin performansını ve güvenliğini belirlemede kritik iki mekanik özelliktir. Tokluk, çeliğin kırılmadan önce ne kadar enerji absorbe edebileceğini tanımlar. Yani, bir çelik parça ne kadar tokluğa sahipse, kırılma veya çatlama olmadan önce o kadar fazla deformasyona dayanabilir. Bu özellik, özellikle darbeye maruz kalan çelik yapı elemanlarında büyük önem taşır. Süneklik ise, çeliğin plastik deformasyon altında ne kadar uzayabileceğini gösterir.

Yüksek süneklik, çeliğin kırılmadan önce şekil değiştirebilme kapasitesini artırır ve bu da kırılmalığa karşı direnç sağlar. Çelikte tokluk ve süneklik, dayanıklılık ve güvenlik açısından büyük önem taşıyan parametrelerdir. Tablo 4.1’ de modellere ait tokluk ve süneklik değerleri verilmiştir. Modellerimden M04A-S400-3D ait çözüm analiz sayacım 0,70 olduğu için tam olarak tokluk ve süneklik değeri ölçülememiştir.



Tablo 4.1. Analiz Sonuçları

Model	Maksimum Gerilme (MPa)	Plastik Şekil Değiştirme	Akıllı Vidalar S23 (MPa)	Tokluk	Süneklik	Maksimum Moment (kN.mm)
M0A-S100	431,51	0,17	236,46	637,37	378,24	28,29
M0A-S200	421,86	0,13	190,38	617,65	318,24	26,77
M0A-S400	418,62	0,11	228,30	607,62	392,11	26,48
M02A-S100-1D	423,66	0,14	205,97	628,46	367,43	28,32
M02A-S200-1D	422,50	0,13	195,58	620,50	376,15	26,91
M02A-S400-1D	400,00	0,10	234,55	613,30	387,49	26,53
M02A-S100-3D	430,40	0,13	163,71	634,76	371,21	28,49
M02A-S200-3D	421,91	0,13	189,99	616,23	388,83	26,82
M02A-S400-3D	413,38	0,08	237,94	609,44	387,19	26,48
M02A-S100-5D	431,76	0,14	163,00	637,38	372,97	28,38
M02A-S200-5D	421,64	0,13	193,39	617,68	391,75	26,76
M02A-S400-5D	427,29	0,12	228,31	607,89	389,42	25,84
M04A-S100-1D	429,52	0,15	164,08	624,46	367,68	28,13
M04A-S200-1D	421,71	0,13	190,79	618,68	392,72	26,78
M04A-S400-1D	413,23	0,09	237,23	613,71	387,45	26,83
M04A-S100-3D	429,67	0,15	207,68	627,17	362,37	28,09
M04A-S200-3D	421,82	0,13	190,52	618,38	376,32	26,78
M04A-S400-3D	375,49	0,03	219,04	285,39	53,47	26,45
M04A-S100-5D	426,95	0,15	155,13	617,15	357,54	28,07
M04A-S200-5D	419,74	0,14	188,26	616,15	388,88	26,70
M04A-S400-5D	422,93	0,12	215,45	632,12	411,76	25,80
M06A-S100-1D	431,72	0,16	209,02	625,17	363,71	28,10
M06A-S200-1D	431,80	0,12	195,24	620,87	385,60	27,47
M06A-S400-1D	417,69	0,09	236,21	613,71	398,32	26,59
M06A-S100-3D	431,80	0,19	168,21	646,06	365,81	28,60
M06A-S200-3D	429,94	0,12	194,78	619,37	375,34	27,14
M06A-S400-3D	416,34	0,08	209,27	620,18	383,76	26,26
M06A-S100-5D	428,19	0,13	146,58	639,59	360,77	28,48
M06A-S200-5D	422,21	0,12	144,53	618,95	374,62	27,02
M06A-S400-5D	413,45	0,07	154,27	672,25	455,85	26,02

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan kutu enkesit şeklini teşkil etmek için dudaklı ve dudaksız C profiller kullanılarak birleşik bir enkesit oluşturulmuştur. Bu enkesit oluşturulurken bağlantı elemanı olarak G500 akıllı vida kullanılmıştır. ABAQUS sonlu eleman programı kullanılarak bu enkesitin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. 4000 mm uzunluğundaki birleşim enkesitin, her iki ucunda(başlangıçta ve bitişte) 400 mm mesafede mesnetler yerleştirilmiştir. Enkesitin ilk yükleme noktası, başlangıçtan itibaren 1400 mm mesafede yer almaktadır ve iki yükleme arası 1200 mmdir. Çalışmalar ABAQUS programında 21 adet sonlu eleman modelinin (FEA) 4 noktalı eğilme yüklemesine maruz bırakılarak doğrusal olmayan analizleri ile yürütülmüştür. FEA modeli oluşturulan bileşik enkesitin teşkilinde kullanılan akıllı vidalar arasındaki mesafe için 3 farklı değer (100mm, 200mm, 400mm) kullanılarak, vidalar arası değişen mesafenin elemanın moment taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, oluşturulan bileşik enkesit gövdesindeki delik çapları değiştirilerek moment-deplasman eğrileri sorgulanmış ve gövde delik sayısındaki değişimin eğriler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Moment – deplasman grafikleri için, tüm modellerin başlangıçtaki eğrileri benzerdir, bu da başlangıçta benzer elastik davranış gösterdiklerini gösterir. Bu aşamada, deplasman arttıkça moment doğrusal bir şekilde artmaktadır. Her model için moment bir noktada maksimuma ulaşır ve bu nokta akma noktasına ulaştığı yerdir. Grafikteki eğrilerin zirve yaptığı noktalar, bu modellerin maksimum taşıma kapasitesini gösterir. Moment- deplasman grafikleri incelendiğinde S100-1D, S100-3D,S100-5D modellerinin her durumda da (1D, 3D ve 5D) 100 mm vida aralığı olan numunelerin yüksek kuvvet değerine ulaştığını görmekteyiz. Bu değerleri delik çaplarının aynı olduğu maksimum değer minimum değere göre yüzde farkı M06A modellerinde %1,75, M04A modellerinde %1,67, M02A modellerinde %0,60 hesaplanmıştır. Bu, gövde çapının daha büyük olmasının yapısal dayanımı artırabileceğini gösterebilir. Daha büyük vida aralıklarına sahip numunelerin S200 vida aralığına sahip olan modelde maksimum değere göre M02 modelinde %0,56, M04 modelinde %0,30, M06

modelinde %1,64, S400 vida aralığına sahip modelde ise M02 modelinde %2,63, M04A modelinde %3,85, M06A modelinde %2,14 olduğu görülmüştür.

- a/d oranının artması(örneğin 02A'dan 06A'ya) genellikle daha yüksek moment kapasitesi ve daha geniş elastik bölgede olduğu söylenebilir.
- Vida aralığının küçülmesi ve delik sayısının artması, genel olarak birleşimin mukavemetini artırmaktadır.
- Gövde delik sayısında genellikle 1D etiketli modeller, 3D ve 5D etiketli modellere göre daha yüksek moment kapasitesine sahiptir. 1D modeller elastik bölgede genellikle daha dik bir eğime sahiptir, daha yüksek rijitliğe sahiptirler.
- Delik sayısının artırılması, plastik bölgede daha erken bir azalmaya sebep olmuştur. 3D ve 5D etiketli modellerin moment kapasiteleri daha erken düşmeye başladığı gözlemlenmektedir.

Genel olarak modellerin von mises gerilmelerindeki yüksek değerler malzemenin daha fazla yük taşıyabileceğini gösterir. Plastik şekilde değiştirmelerde daha düşük değerler malzemenin daha az plastik deformasyona uğradığını ifade eder. Plastik şekil değiştirme oranları Tablo 4.1' de sunulmuştur. S400 aralıklı akıllı vidalarla oluşturulan modellerin plastik şekil değiştirme oranları %12 – 8 aralığında değişmektedir. S200 aralıklı akıllı vidalarla olan modellerin plastik şekil değiştirme oranları %14 – 12 aralığında ve S100 aralıklı akıllı vida aralığı %19 – 14 arasında değişmektedir. Bu veriler, akıllı vida aralığının azalmasıyla, plastik şekil değiştirme oranlarının azaldığını göstermektedir. Vida sayısının artışı, modelin sıkı ve dayanıklı bir yapıya sahip olmasına neden olmuş ve daha düşük plastik şekil değiştirme oranlarına sahip olmamızı sağlamıştır.

Akıllı vidaların kesme kuvvetlerinde yüksek değerlerin daha fazla yük taşıyabileceği belirtiliyor. Özellikle, S100 mm aralığı ile S200 mm aralığı arasında %15-17 arasında bir artış gözlenirken, S200 mm ile S400 mm arasında ise bu artışın %13-24 arasında olduğu belirtilmiştir. Akıllı vida sayısı azaldıkça, vidalardaki kesme kuvvetlerinde bir artış gözlenmiştir. Bu durum, akıllı vidaların yük taşıma kapasitesi ile ilgili önemli bir gözlemi ortaya koymaktadır.

- Vida sayısı azaldıkça kesme kuvvetleri artar, yani akıllı vidalar daha yüksek yük taşıyabilir.

- Daha sıkı ve dayanıklı yapılar için vidalar arasındaki mesafe azaltılabilir, ancak plastik deformasyon azaltılmak isteniyorsa mesafe artırılabilir.

Birleşik enkesit üzerinde incelenen akma gerilmesi, malzemenin elastik sınırı aşarak plastik deformasyona uğradığını ifade eder. Bu durumda malzemenin geri dönüşü olmayan bir şekil değişikliği yaşadığı anlamına gelir. Oluşturulan modellerdeki akma gerilmesi yükleme bölgesinin olduğu yerlerde maksimum kapasiteye ulaştığı görülmüştür. Bu da enkesitin yük altında kalıcı deformasyon geçirmeye başladığını gösterir.

Modeller üzerindene elde edilen tokluk ve süneklik değerlerine bakıldığında, M06A-S400-5D hem tok ve süneklik değerleri en yüksek olan modeldir. Bu çelik, yüksek darbe dayanıklılığı ve deformasyon kapasitesi ile öne çıkar. Gövde deliği bulunmayan modellerin süneklik değerlerinde, 100 mm aralıklı akıllı vida birleşiminden 400 mm aralıklı akıllı vida birleşimine geçişte ortalama %3,68 artış gözlemlenmiştir. M02A modelleri için bir gövde deliğine sahip modeller için %3,61, üç gövde deliğine sahip modeller için %2,88, beş gövde deliğine sahip modeller için %2,95 ölçülmüştür. M04A modelleri için bir gövde deliğine sahip modeller için %3,61, üç gövde deliğine sahip modeller için %3,85, beş gövde deliğine sahip modeller için %9,93 ölçülmüştür. M06A modelleri için bir gövde deliğine sahip modeller için %6,28, üç gövde deliğine sahip modeller için %3,25, beş gövde deliğine sahip modeller için %10,00 ölçülmüştür.

Genel olarak, gövde deliği sayısının süneklik üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Özellikle M04A ve M06A serilerinde beş gövde deliğine sahip modellerin daha yüksek süneklik artışı gösterdiği, tasarımın süneklik değerlerini optimize etmek için önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre ihtiyaç durumuna göre, çelik yapı elemanlarında vida aralığının artması yapısal dayanımı azaltabilir. Bu nedenle çelik yapı uygulamalarında vida aralığının optimize edilmesi, daha küçük aralıkların tercih edilmesi önerilmektedir. a/d oranının artırılması ile çelik elemanların daha yüksek yük kapasitelerine ulaşmasını sağlar ve daha geniş bir elastik davranış aralığı sunmuştur. Bu nedenle tasarım aşamasında a/d oranının yüksek tutulması performansı iyileştirebilir. Bu özellikle deprem gibi yüksek yükler altında kalan yapılar için kritik bir öneme sahiptir. Çelik elemanlarda gövde deliklerinin sayısının artması ise plastik bölgede erken bir azalmaya sebep olmuştur. Delik sayısının optimize edilmesi, yani

gereğinden fazla delik kullanılmaması yapının rijitliğini ve moment kapasitesini artırabilir. Gereksiz delikler, yapısal bütünlüğü zayıflatabileceğinden, sadece gerekli olan deliklerin kullanılması önerilir.



KAYNAKLAR

- [1]. ABAQUS V.6.6 Documentation
- [2]. Celik, O. C. (2010, January). Hafif çelik yapıların tasarımı: Deprem riski düşük bölgelerde orta yükseklikteki binalarda uygulanabilirliği. İstanbul Teknik Üniversitesi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Kütüphanesi.
- [3]. Chen, B., Roy, K., Uzzaman, A., Raftery, G., & Lim, J. B. (2020). Axial strength of back-to-back cold-formed steel channels with edge-stiffened holes, un-stiffened holes and plain webs. *Journal of Constructional Steel Research*, 174, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106313>
- [4]. Chen, B., Roy, K., Uzzaman, A., & Lim, J. B. (2020). Moment capacity of cold-formed channel beams with edge-stiffened web holes, un-stiffened web holes and plain webs. *Thin-Walled Structures*, 157, 107070. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107070>
- [5]. Chen, B., Roy, K., Uzzaman, A., Raftery, G. M., Nash, D., Clifton, G. C., ... & Lim, J. B. (2019). Effects of edge-stiffened web openings on the behaviour of cold-formed steel channel sections under compression. *Thin-Walled Structures*, 144, 106307. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106307>
- [6]. Chen, W., Ye, J., & Zhao, M. (2018). Steady-and transient-state response of cold-formed steel-to-steel screwed connections at elevated temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*, 144, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.01.016>
- [7]. Çelik, H. (2020). Soğuk Şekillendirilmiş Çelik U Profillerinin Enkesit Özelliklerinin ve Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı]. Kocaeli, Türkiye.
- [8]. Dissanayake, D. M. M. P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Tsavdaridis, K. D., Wanniarachchi, K. S., & Nagaratnam, B. (2021, April). Bending-shear interaction of cold-formed stainless steel lipped channel sections. In *Structures* (Vol. 30, pp. 1042-1055). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.071>
- [9]. Elilarasi, K., & Janarthanan, B. (2020). Effect of web holes on the web crippling capacity of cold-formed LiteSteel beams under End-Two-Flange load case. *Structures*, 25, 293-303. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.03.022>
- [10]. Emrah, Hafif Çelik, 2020, <https://aysteel.com.tr/hafif-celik/> 03.07.2023 tarihinde ziyaret edildi.
- [11]. Ettubov, C. (2004). Çelik Yapılar: Birinci Cilt. İstanbul: ABC Yayınları. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Kütüphanesi.

- [12]. Fabmann, <https://tr.fabmann-es.com/custom-fabrication/roll-formed-steel-profiles.html> 09.06.2024 tarihinde alınmıştır.
- [13]. Fang, Z., Roy, K., Chen, B., Sham, C. W., Hajirasouliha, I., & Lim, J. B. (2021). Deep learning-based procedure for structural design of cold-formed steel channel sections with edge-stiffened and un-stiffened holes under axial compression. *Thin-Walled Structures*, 166, 108076. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108076>
- [14]. Hareindirasma, S., Elilarasi, K., & Janarthanan, B. (2021). Effect of circular holes on the web crippling capacity of cold-formed LiteSteel beams under Interior-Two-Flange load case. *Thin-Walled Structures*, 166, 108135. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108135>
- [15]. Huynh, M. T., Pham, C. H., & Hancock, G. J. (2017, October). On the finite element modeling of the screwed connections of cold-formed steel. In *Congrès International de Géotechnique–Ouvrages–Structures* (pp. 224-232). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6713-6_21
- [16]. Kalaycıl, M. (2007). *Yüksek lisans tezi*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [17]. Korkut S., 2017, <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/24/kirilma-hipotezleri/> 17.08.2024 tarihinde ziyaret edildi.
- [18]. Kulatunga, M. P., & Macdonald, M. (2013). Investigation of cold-formed steel structural members with perforations of different arrangements subjected to compression loading. *Thin-Walled Structures*, 67, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.02.014>
- [19]. Li, Y., & Yao, X. (2010). Shear behavior of screw connections for cold-formed thin-walled steel structures. In *Proceedings of the International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures* (Vol. 6).
- [20]. Menge, A. K. (2018). Gövdesinde Delikler Açılarak Hafifleştirilen Çelik Kiriş ve Eklerinin Eğilmede Davranışı [Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı]. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ziyafeddin Babayev. Yozgat, Türkiye.
- [21]. Moen, C. D., & Schafer, B. W. (2009). Elastic buckling of cold-formed steel columns and beams with holes. *Engineering Structures*, 31(12), 2812-2824. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.07.007>
- [22]. Piyawat, K., Ramseyer, C., & Kang, T. H.-K. (2013). Development of an axial load capacity equation for doubly symmetric built-up cold-formed sections. *Journal of Structural Engineering*, 139(12), 04013008, 1-13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000780](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000780)
- [23]. Roy, K., Lau, H. H., Ting, T. C. H., Masood, R., Kumar, A., & Lim, J. B. (2019). Experiments and finite element modelling of screw pattern of self-drilling screw connections for high strength cold-formed steel. *Thin-Walled Structures*, 145, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106393>

- [24]. Sadid, M. S. (2021). Guse Açısı ve Berkitleme Tipinin Statik Yük Etkisi Altındaki Kolon-Kiriş Birleşim Davranışına Etkisi [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı]. Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Yaman, Aralık, Türkiye.
- [25]. TSE (2016). TS 648: Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [26]. Türk Yapısal Çelik Derneği. (2024). Çelik yapıların sürdürülebilirliği. *Türk Yapısal Çelik Derneği*. https://tuksa.org/tr/celik_yapilar_yazi.aspx?yazi=1016, 03.07.2024 ziyaret edildi.
- [27]. Uslular Haddecilik. Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanları. *Uslular Haddecilik*. <https://www.uslularhadde.com/soguk-sekillendirilmis-celik-yapi-elemanlari>, 25.10.2023 tarihinde ziyaret edildi.
- [28]. Uzzaman, A., Lim, J. B., Nash, D., & Roy, K. (2020). Cold-formed steel channel sections under end-two-flange loading condition: Design for edge-stiffened holes, unstiffened holes and plain webs. *Thin-Walled Structures*, 147, 106532. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106532>
- [29]. Yağmur, H. (2022). Soğuk Şekillendirilmiş Çelik C Profillerinin Eksenel Basınç Davranışlarının İncelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı]. Kocaeli, Türkiye.
- [30]. Yan, S., & Young, B. (2012). Screwed connections of thin sheet steels at elevated temperatures–Part I: Steady state tests. *Engineering Structures*, 35, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.10.030>
- [31]. Yazıcı C.(2018), Hafif Çelik Yapılarda Vidalı Kiriş-Kolon Birleşim(Berkitmeli) Davranışının DeneySEL Olarak Belirlenmesi, [Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı]. Erzurum, Türkiye.
- [32]. Yıldırım, V. (2022). Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Z Profillerinin Basınç ve Eğilme Dayanımlarının Doğrudan Dayanım Yöntemiyle Belirlenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı]. Kocaeli, Türkiye.
- [33]. Yu, C. (2012). Cold-formed steel flexural member with edge stiffened holes: Behavior, optimization, and design. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 210-218. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.09.008>
- [34]. Yu, W.-W., & LaBoube, R. A. (2010). *Cold-formed steel design* (4th ed.). Wiley.
- [35]. Zhao, J., Sun, K., Yu, C., & Wang, J. (2019). Tests and direct strength design on cold-formed steel channel beams with web holes. *Engineering Structures*, 184, 434-446. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.062>
- [36]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/116449>, 25.10.2023 tarihinde ziyaret edildi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ekin ABANOZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : Devam Ediyor, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Dalı
- **Yüksek Lisans** : Devam Ediyor, İstanbul Üniversitesi, Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Pr.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2020 yılında 8 ay Yılmaz Elektrik İnşaat firmasında İnşaat Mühendisi saha kontrol elemanı olarak çalıştı.
- 2023- Halen devam ediyor. Berko İnşaat firmasında İnşaat Mühendisi teknik ofis elemanı olarak çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

Abanoz E., Yaman Z., Maali M., Sadıd M. S., (2022, Aralık), Soğuk Şekillendirilmiş Birleşik Enkesitli Kirişlerde Vida Mesafesinin Eğilme Davranışına Etkisi, 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Güven Plus Yayınevi, İstanbul, Türkiye.