



**MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ
VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Esra ÇERÇİ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ VE SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Esra ÇERÇİ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Esra ÇERÇİ tarafından hazırlanan “MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

.....

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Murat AYDIN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Burhan DUMAN (ISUBU)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Esra ÇERÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Esra ÇERÇİ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Haziran 2021, 76 sayfa

Makara ile sac şekillendirme işlemi, geleneksel şekillendirme yöntemlerine kıyasla, dayanımı daha yüksek ürünlerin üretilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir. Bu yöntemde, levha veya rulo halindeki metalik sac malzeme, farklı boyutlarda, sıralı bir biçimde yerleştirilmiş makaralar ile nihai kesite ulaşmaya kadar bükme işlemi gerçekleştirilmektedir. Avantajlarının yanında, üretim prosesinin karmaşık ve proses parametrelerinin belirlenmesinin zor olması, makara ile sac şekillendirme işleminin sınırlılıkları olarak gösterilmektedir.

Bu çalışmada, DP800 yüksek mukavemetli sac malzemenin, makara ile sac şekillendirme yöntemi kullanılarak, çoklu bükme operasyonlarıyla nihai kesite ulaşılması hedeflenmiştir. Çalışmada, farklı istasyon sayısı, makara özellikleri içeren

senaryolar tanımlanmış ve üretim prosesin için en uygun üretim şeklinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bilgisayar ortamında, teorik analizler yapılarak, birim şekil değişimi ve gerilme dağılımları elde edilmiş, nihai ürünün üretilmesi ile teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kullanılan sonlu elemanlar yazılımı ile çoklu bükme operasyonlarının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan senaryolar incelendiğinde, istasyon sayısının artması ile sac malzemede meydana gelen bükme operasyonlarında birim şekil değişim limitlerinin arttığı, limit değer olarak 0,45'in altında kaldığı, gerilme yığılmalarının giderildiği ve çoğu durumda plastik bölgede 850MPa üst sınırı geçmediği görülmüştür. Ayrıca, gerçek üretim hattı kurulmadan önce, sonlu elemanlar analiziyle, üretimde meydana gelecek hatalar önlenmekte ve bu sayede maliyetlerin düşürülerek, ekonomik üretim elde edilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Roll Form, sonlu elemanlar analizi, makara ile sac şekillendirme, yüksek mukavemetli sac malzemeler.

Bilim Kodu : 91433

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ROLL FORMING PROCESS AND SIMULATION BY USING FINITE ELEMENT METHOD

Esra ÇERÇİ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Design Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

June 2021, 76 pages

Roll forming, is a technology that allows the production of products with higher strength compared to traditional forming methods. In this method, the metal sheet material in the form of sheet or coil is bending until it reaches the final cross-section with reels of different sizes placed in a row. In addition to the advantages, the complexity of the production process and the difficulty of determining the process parameters are shown as the limitations of the roll forming process.

In this study, it is targeted to reach the final cross section of DP800 high-strength sheet material with multiple bending operations by using roll forming method. In the study, scenarios with different number of stations and roll specifications were defined and the most suitable production method for the production process to be determined. The displacements and stress distributions were obtained by making theoretical analyzes in the computer environment, and the theoretical and experimental results were

compared with the production of the final product. As a result, modeling of multiple bending operations was carried out with the finite element method used. When the defined scenarios are examined, it has been observed that with the increase in the number of stations, the unit deformation limits in the bending operations in the sheet material increased, the limit value remained below 0,45, the stress concentrations were eliminated and, in most cases, the upper limit of 850MPa in the plastic region did not exceed. In addition, before the actual production line is established, errors that may occur in production are prevented by finite element analysis, thus reducing costs and achieving economical production.

Key Word : Roll Form, finite element analysis, sheet forming with roller, high strength sheet materials.

Science Code : 91433

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneği için makaralı sac şekillendirme hattını kullandıran, 3-boyutlu tarama cihazını ölçümler için kullanmama ve sonlu elemanlar analizleri için paket programını kullanmama imkan tanıyan çalıőmamın tamamlanmasında büyük destekleri olan EAE Makina Ltd. sahibi Sayın Mustafa Selçuk BAYDAR'a ve EAE Makina çalıőanlarına teşekkür ederim.

Sonlu elemanlar analizi sonuçlarının yorumlanmasında yardımlarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Prof. Dr. Ata MUĞAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNİN MEKANİĞİ	6
2.1. GENEL	6
2.2. ROLL FORM MAKİNE TÜRLERİ	8
2.2.1. Klasik Tip Roll Form Makinesi	8
2.2.2. Ayarlabilen (Dubleks) Roll Form Makinesi	9
2.2.3. Ağır Seri Kasetli Tip Roll Form Makinesi	10
2.3. ROLL FORM MAKİNA KOMPONENTLERİ.....	10
2.3.1. İstasyon Blokları	11
2.3.2. Miller	12
2.3.3. Makaralar	13
2.3.4. Şaftlar	14
2.4. ROLL FORM PROSESİNİN TASARIMI.....	14
2.4.1. Malzeme Seçimi ve Mekanik Özellikler	15
2.4.2. Bant Genişliğinin Hesaplanması.....	15
2.4.3. Bükme Stratejisi - Çiçek Diyagramı.....	18

	<u>Sayfa</u>
2.4.4. İstasyon Sayısının Belirlenmesi.....	20
2.4.5. İstasyonlar Arası Mesafenin Belirlenmesi.....	24
2.5. MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNDE YAYGIN OLARAK GÖRÜLEN KUSURLAR.....	25
BÖLÜM 3	28
MATERYAL METOD	28
3.1. MALZEME	28
3.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	29
3.2.1. Tasarım Girdileri	29
3.2.2. Dinamik Analiz.....	34
3.3. DENEYSEL ÜRETİM.....	39
BÖLÜM 4	40
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	40
4.1. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARI.....	40
4.1.1. Statik Analiz Sonuçları	40
4.1.2. Sehim Değerleri	42
4.1.3. Kesit Karşılaştırması	45
4.1.4. Von Mises Gerilmeleri	45
4.1.5. Makara Çapı Kontrolü.....	48
4.1.6. Üretilen Profilin Ölçümlerine Ait Kesit Detayları	49
BÖLÜM 5	51
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
EK AÇIKLAMALAR A. SİMÜLASYON SONUÇLARI	57
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Makara ile sac şekillendirme işlemi.....	1
Şekil 1.2. Üç temel kesit profili.....	3
Şekil 2.1. Makara diziliş örneği.....	6
Şekil 2.2. Makara ile sac şekillendirme yöntemiyle üretilen örnek profiller.	7
Şekil 2.3. Makaralı sac şekillendirme makinası.	7
Şekil 2.4. Makaralı sac şekillendirme hattı a) rulo açıcı makinası b) rulo doğrultucu makinası c) delik delme ünitesi d) giriş grubu e) form makinası f) boy kesme ünitesi.....	8
Şekil 2.5. Klasik tip roll form makinası.	9
Şekil 2.6. Dupleks tip roll form makinası.	9
Şekil 2.7. Ağır seri kasetli tip roll form makinası.	10
Şekil 2.8. Roll form makinasında bulunan ana bileşenler a) istasyon bloğu b) mil c) makara d) şaft e) şase.	11
Şekil 2.9. İstasyon bloğu.	11
Şekil 2.10. İstasyon bloğu ayarlanması.	12
Şekil 2.11. Makaralı sac şekillendirme makaraları a) üst makara b) alt makara c) yan makara d) çapraz makara.....	13
Şekil 2.12. Üniversal mafsallı şaftlarla tahrik edilen şekillendirme hattı.	14
Şekil 2.13. Sac malzemenin bükülme teorisi.	15
Şekil 2.14. Üç aşamada sabit yay bükme gösterimi.	16
Şekil 2.15. Üç aşamada sabit yarı çap bükme gösterimi.	16
Şekil 2.16. Çiçek.	18
Şekil 2.17. Makara ile şekillendirilmiş sac malzemenin çiçek diyagramı.	19
Şekil 2.18. Eksen düzlemi seçiminin kenar hareketine etkisi a) en kötü b) en iyi.	19
Şekil 2.19. Çiçek diyagramını değiştirerek bükülme yarıçapına erişimin iyileştirilmesi.....	20
Şekil 2.20. S faktörü.	22
Şekil 2.21. Form açısı metodu.....	23
Şekil 2.22. Sac malzemenin istasyonlar arasındaki hareketi.....	24

Şekil 2.23. Diğer istasyona geçerken sac malzemede oluşan sehim	25
Şekil 2.24. Makara ile sac şekillendirme işleminde görülen ürün bozuklukları a) düşey eğilme b) yatay eğilme c) burulma d) açılma e) bel verme f) kenar dalgalanmaları g) cep oluşumu h) Herringbore etkisi	26
Şekil 2.25. U kesitli bir profildeki kenar dalgalanmalar.	27
Şekil 3.1. Nihai ürün kesiti.	28
Şekil 3.2. Malzeme özelliklerinin COPRA® RF yazılımına girilmesi.	30
Şekil 3.3. Makine özelliklerinin COPRA® RF yazılımına girilmesi a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo.	31
Şekil 3.4. Profilin segmentlere ayrılması.	31
Şekil 3.5. Malzeme özelliklerinin COPRA® FEA yazılımına girilmesi.	35
Şekil 3.6. Simülasyon modeli koordinat sistemi.	35
Şekil 3.7. Sac malzemenin arka ucundaki sınır koşulları.	36
Şekil 3.8. Sac malzemenin ön ucundaki sınır koşulları.	36
Şekil 3.9. Tip 7 elemanın düğüm numaralandırma dizisi ile şematik gösterimi. ...	37
Şekil 3.10. Simülasyon ağının parametreleri.	37
Şekil 3.11. Sistemin çalışma hızının yazılıma girilmesi.	38
Şekil 3.12. Sisteme ait girilen tüm parametreler.	38
Şekil 3.13. Üretilen prototipin üç boyutlu görseli.	39
Şekil 4.1. Her bir senaryodaki parametreler sonucunda elde edilen analiz sonuçları a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo.	41
Şekil 4.2. 15 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.	43
Şekil 4.3. Birim şekil değişim grafiği.	44
Şekil 4.4. 5 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.	45
Şekil 4.5. 15 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.	46
Şekil 4.6. Von Mises grafiği.	47
Şekil 4.7. Makara çapı kontrolü.	48
Şekil 4.8. Üretilen C kesitli profil.	49
Şekil 4.9. COPRA® DT 200 lazer profil tarama cihazı.	49
Şekil 4.10. Üretilen profilin tarama cihazında ölçülen ölçüleri.	50
Şekil Ek A.1. 2 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.	58

Sayfa

Şekil Ek A.2. 3 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	58
Şekil Ek A.3. 4 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	58
Şekil Ek A.4. 5 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	59
Şekil Ek A.5. 6 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	59
Şekil Ek A.6. 7 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	59
Şekil Ek A.7. 8 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	60
Şekil Ek A.8. 9 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	60
Şekil Ek A.9. 10 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	60
Şekil Ek A.10. 11 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	61
Şekil Ek A.11. 12 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	61
Şekil Ek A.12. 13 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	61
Şekil Ek A.13. 14 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	62
Şekil Ek A.14. 16 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	62
Şekil Ek A.15. 17 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	62
Şekil Ek A.16. 18 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	63
Şekil Ek A.17. 19 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.....	63
Şekil Ek A.18. 2 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	63
Şekil Ek A.19. 3 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	64
Şekil Ek A.20. 4 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	64
Şekil Ek A.21. 6 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	64
Şekil Ek A.22. 7 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	65
Şekil Ek A.23. 8 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	65
Şekil Ek A.24. 9 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	65
Şekil Ek A.25. 10 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	66
Şekil Ek A.26. 11 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	66
Şekil Ek A.27. 12 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	66

Sayfa

Şekil Ek A.28. 13 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	67
Şekil Ek A.29. 14 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	67
Şekil Ek A.30. 15 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	67
Şekil Ek A.31. 16 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	68
Şekil Ek A.32. 17 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	68
Şekil Ek A.33. 18 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	68
Şekil Ek A.34. 19 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması	69
Şekil Ek A.35. 2 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	69
Şekil Ek A.36. 3 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	69
Şekil Ek A.37. 4 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	70
Şekil Ek A.38. 5 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	70
Şekil Ek A.39. 6 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	70
Şekil Ek A.40. 7 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	71
Şekil Ek A.41. 8 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	71
Şekil Ek A.42. 9 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	71
Şekil Ek A.43. 10 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	72
Şekil Ek A.44. 11 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	72
Şekil Ek A.45. 12 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	72
Şekil Ek A.46. 13 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	73
Şekil Ek A.47. 14 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	73
Şekil Ek A.48. 16 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	73
Şekil Ek A.49. 17 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	74
Şekil Ek A.50. 18 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	74
Şekil Ek A.51. 19 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.....	74
Şekil Ek A.52. DP 800 malzeme çekme testi sonuçları.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. İstasyon sayısını etkileyen faktörler.....	21
Çizelge 3.1. DP800 çeliğinin mekanik özellikleri.	28
Çizelge 3.2. DP800 çeliğinin kimyasal bileşimi.	29
Çizelge 3.3. Parametreleri belirlemek için girilen dört farklı senaryo.	30
Çizelge 3.4. Her bir istasyon girilen büküm açıları a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo	32
Çizelge 3.5. Üretimi yapılan prototip parametreleri.	39
Çizelge 4.1. Her bir istasyonda sac malzemedeki alt ve üst sınır ve oluşan birim şekil değişim değerleri.....	44
Çizelge 4.2. Her bir istasyonda meydana gelen alt ve üst sınırlar ile oluşan Von Mises gerilmeleri.....	47
Çizelge 4.3. Hedeflenen ile ölçülen kesit ölçülerinin karşılaştırılması.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- % : yüzde
F : kuvvet
° : açı (derece)
 γ : akma dayanımı
 θ, α : açılar
" : inç

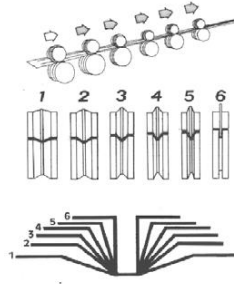
KISALTMALAR

- m : metre
dak : dakika
mm : milimetre
FEA : Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Yazılımı)
DP : Dual-Phase Steel (Çift Fazlı Çelik)
HSLA : High-Strength Low-Allow Steel (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik)
CAD : Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM : Computer-Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
MPa : Megapascal
RF : Roll Form
cot : Kotanjant
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN : European Norm (Avrupa Normu)
TS : Türk Standardı
MARC: Advanced Nonlinear Simulation (Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Makara ile sac şekillendirme yöntemi (roll forming), levha ya da rulo haldeki sac malzemenin istenen kesit ölçülerine ulaşıncaya kadar, art arda dizilmiş makaralardan geçirilerek aşamalı ve sürekli olarak yapılan şekillendirme işlemidir [1]. Şekil 1.1’de makara ile sac şekillendirme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Makara ile sac şekillendirme işlemi, dönen kalıpların hareketi ile bükülen sac şekillendirme kategorisinde sınıflandırılmaktadır [2,3].



Şekil 1.1. Makara ile sac şekillendirme işlemi [1].

1950’li yıllardan itibaren makaralı sac şekillendirme işlemi yaygınlaşmaya başlamıştır. 1970’lerde, Kuzey Amerika çelik üreticilerinin ürettiği tüm sac plaka ürünlerinin yaklaşık % 35 ila 40’ı makaralı sac şekillendirme yöntemi ile şekillendirilmiştir. Yirminci yüzyılın son yıllarında, otomotiv ürünleri, makaralı sac şekillendirme sektörünün en hızlı büyüyen segmenti olmuştur. Yirmi birinci yüzyılda makaralı sac şekillendirme sektörü hala güçlü bir şekilde büyümeye devam etmektedir [4].

Makaralı sac şekillendirme işlemi, dünya çapında yayılan ve bugün bina, taşıt, uçak, mobilya ve ev aletleri gibi çeşitli uygulamalarda ürün imal edilebilen bir metal şekillendirme prosesidir. Prosesin diğer metal şekillendirme işlemlerine kıyasla yararı,

delme, kaynaklama, kenetleme vb. yardımcı işlemlerin dahil edilebilmesi ve dolayısıyla doğrudan kullanıma hazır profillerin üretilmesidir [5].

Endüstride, makara ile sac şekillendirme yöntemi diğer şekillendirme yöntemlerine (kalıp, abkant vb.) göre yaygın olarak kullanılmadığından proses ile ilgili yapılan çalışmalar yeterli seviyede değildir. Bundan dolayı, şekillendirme sürecinin tasarlanmasının “deneme-yanılma” yöntemine dayanması hala yaygındır. Bu, malzeme israfı ve üretim süresinin kaybı ile pahalı bir yöntemdir. Bir sonlu elemanlar yazılımı kullanarak tasarımcı şekillendirme sürecinde neler olduğunu önceden tahmin edebilir ve gerekirse süreci iyileştirebilir. Geometrinin karmaşıklığına ve doğruluk taleplerine bağlı olarak, çözüm süresi birkaç saat ile birkaç gün arasında olabilir [6].

Makara ile sac şekillendirme yönteminde sonlu elemanlar yönteminin kullanılması, sektördeki ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi açısından çok önemli bir adım olmuştur. İstasyon sayısı ve bükme stratejisi gibi her tasarım kararı, herhangi bir üretim yapılmadan önce kontrol edilebilir ve gerekirse değiştirilebilmektedir [6]. Makara ile sac şekillendirme yönteminde en sık kullanılan sonlu elemanlar yazılım paketleri COPRA [7], PROFİL UBECO [8], SHAPE-RF [9] ‘dir. Bu yazılımlar ile, ampirik bağlantılar kullanarak analizler yapılabilmektedir.

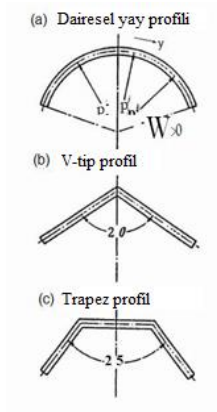
Sonlu elemanlar yönteminin iyi sonuçlar sağladığı daha önceki yapılan çalışmalarda görülmüştür. Sukmoo vd. bir “U” kesitli profilin makara ile şekillendirme aşamalarını simüle etmek için COPRA® RF FEA yazılımını kullanılmış ve deformasyon uzunluğunu literatürde mevcut bir deneyle karşılaştırmışlardır. Çalışmalardan elde edilen sonuç, deformasyon sertleşme üssü (n), deformasyon uzunluğu üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Deformasyon sertleşme üssü arttıkça, deformasyon uzunluğunun da doğru orantılı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca simülasyon sonuçları ve deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu sonucuna varmışlardır [10].

Kasaei vd. yapmış oldukları çalışmada, bant genişliğinin, boylamasına uzama ve kenar dalgalanmalarına olan etkilerini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar yazılımı ile deneysel sonuçlar karşılaştırılıp doğrulama çalışması yapmışlardır. Bant genişliğinin artması,

boylamasına uzamada bir etki yaratmazken, sac malzemelerin kenarlarında daralmaların fazlalaştığını bulmuşlardır [11].

Brunet vd. çalışmalarında, makaralı sac şekillendirme yönteminde sac malzemede oluşabilecek üç boyutlu deformasyon davranışlarını analiz etmek için bilgisayar destekli simülasyon yazılımı geliştirmişlerdir. Tasarım sistemi, hareketli sınır koşullarına sahip iki boyutlu kesitin, üç boyutlu analiz ile birleştirildiği elastik plastik sonlu elemanlar analizine dayanmaktadır. İki boyutlu analiz için, genelleştirilmiş bir düzlem-gerinim ve üç boyutlu analiz için kalın kabuk elemanı kullanılmıştır. Dönen makaralar, bir şekillendirme istasyonundan bir sonraki istasyona sürekli hareket eden sert yüzeyler olarak modellenmiştir. Sac malzeme ve makaralar arasındaki sürtünme, Coulomb sürtünmesi olarak modellenmiştir. Geliştirdikleri yazılımın doğruluğunu ölçmek için, yazılım ile hesaplanan boylamasına sapma ile deneysel olarak ölçülen boylamasına sapma değerlerini karşılaştırılmıştır. Model ve deney arasındaki farkın makul olduğu sonucuna varmışlardır. Dönen makaraların etkisinin önemini göreceli olarak ortaya koymuşlardır [12].

Makara ile bükme işlemlerindeki en temel problem, şekillendirme parametrelerinin belirlenmesidir. Nihai kesit elde edilmeye çalışılırken, en az maliyet ve en kısa sürede üretim faktörleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu parametrelerin belirlenmesinde yarı deneysel ampirik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, Şekil 1.2’de gösterildiği gibi üç temel profili V tipi, trapez ve dairesel yay profillerini analiz etmede yapılmıştır [13,14].



Şekil 1.2. Üç temel kesit profili [13].

Makaralı sac şekillendirme işleminde, birden çok tekrarlı bükme, katlama gibi işlemler olduğu için karmaşık bir üretim yöntemidir. Bu karmaşık üretim yöntemi etkileyen birden çok parametre;

- Bant genişliği,
- Bükme stratejisi (çiçek deseni),
- Makara tasarımı (makara çapları),
- İstasyon sayısı,
- İstasyonlar arası mesafe,
- Makara ve sac malzeme arasındaki sürtünme,
- Üretim hızı olarak sıralanabilir [15].

Üretim hızları 5-150 m/dak. arasında değişen ve yüksek üretim kapasitesine sahip olan makaralı sac şekillendirme işleminde, üretim esnasında yaşanacak aksaklıklar, yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Makaralı sac şekillendirme işleminde, hataların ve hatalardan kaynaklı yüksek maliyetlerin önüne geçilmesi, tasarım sürecinde simülasyon yazılımlarının kullanılması ile gerçekleşmektedir. Geleneksel yaklaşımda, makaralı sac şekillendirme işleminde istasyon sayısı ve bükme stratejileri gibi parametreler, deneyime göre belirlenmektedir. Ancak günümüzde, üretime geçilmeden önce sonlu elemanlar simülasyonları kullanılarak, bu parametreler analiz edilebilir, doğrulanabilir ve hatalardan kaynaklı üretim ve tasarım maliyetleri düşürülerek, zamandan tasarruf sağlanabilir [16].

Makara ile sac şekillendirme yönteminde, üretim öncesinde, şekillendirme parametrelerinin yüksek hassasiyetle belirlenmesi önemli bir noktadır. Şekillendirme parametreleri, birbiri sıra birçok farklı değişkenden etkilendiği için, analitik ve matematiksel yaklaşımlar ile çözümlenecek işlemi daha da zorlaştırmaktadır. Hassas bir şekilde parametrelerin belirlenmemesi, nihai üründe hatalara neden olmakta ve bu da işlem maliyetini arttırmaktadır. Ayrıca, üretim hattının kurulum maliyetinin yüksek olması da deneme-yanılma yöntemi ile deneysel olarak şekillendirme parametrelerinin belirlenmesini imkansız kılmaktadır. Diğer yandan, teknolojinin gelişmesine paralel olarak, gün geçtikçe daha dar toleranslarda ve ölçü tamlığında ürün

ihtiyacı, üreticilerin daha hassas makinelerde üretimi, daha düşük maliyetlerde yapmalarına neden olmaktadır.

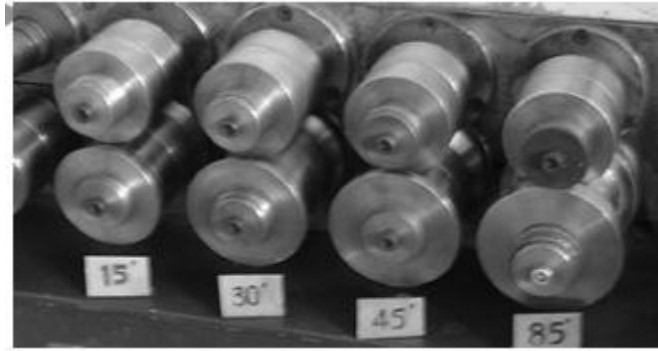
Bu çalışmada DP800 çift fazlı çelik malzeme kullanılarak, birden fazla büküm segmentine sahip C kesitli profilin makaralı sac şekillendirme ile üretilmesi için büküm açıları, birim şekil değişimleri ve gerilmelerin elde edildiği sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda prototip üretilmiş ve C kesitli profil üretilmiştir. Üretilen profil 3B tarayıcı ile taranarak ölçü tamlığı ve sapmalar belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNİN MEKANİĞİ

2.1. GENEL

Makara ile sac şekillendirme, ardışık olarak dizilmiş dönen makaraların arasından geçen sac malzemede istenen kesit elde edilinceye kadar gerçekleşen süreçtir [17]. Makaralar giderek artan açılar ile imal edilir ve istasyonlara montajı yapılır. Şekil 2.1’de farklı açılarda imal edilen makaraların istasyonlar üzerinde montajı yapılmış hali gösterilmiştir.



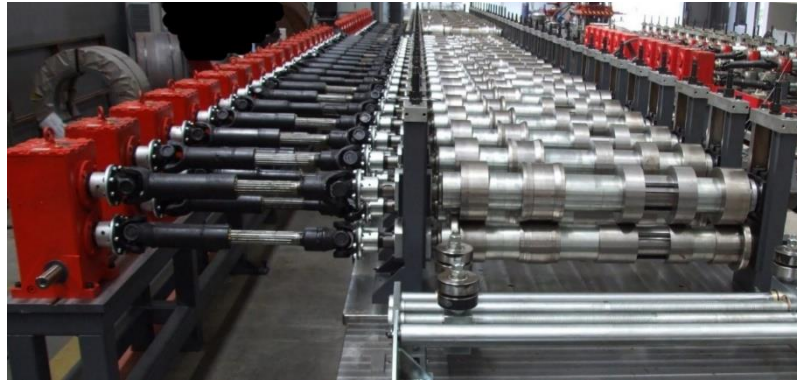
Şekil 2.1. Makara diziliş örneği [17].

Makaralı sac şekillendirme yöntemiyle üretilmiş profiller, diğer yöntemlerle üretilenlere göre daha fazla yapısal dayanıma sahiptir. Makaralı sac şekillendirme yöntemi ile çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır, vb. demir esaslı ve demir dışı metal alaşımları şekillendirilmektedir [18]. Şekil 2.2’de makara ile sac şekillendirme yöntemiyle üretilen örnek profiller gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Makara ile sac şekillendirme yöntemiyle üretilen örnek profiller [19].

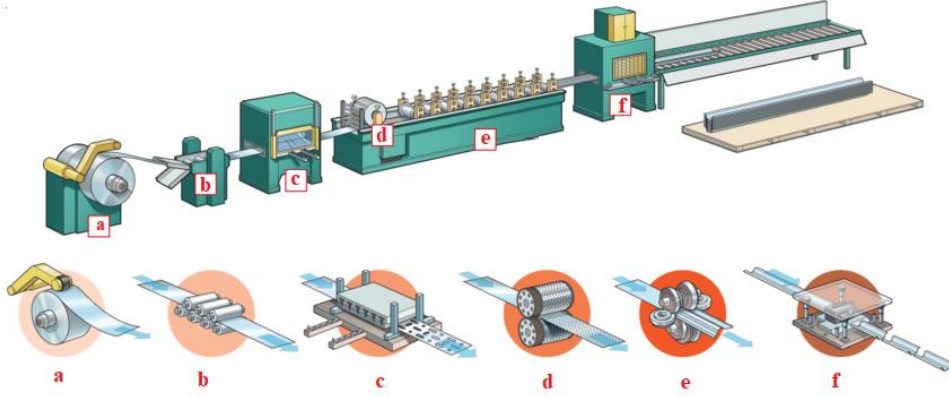
Roll form makinelerinde üretim hızı 15 m/dak ile 150 m/dak arasında değişmekle birlikte üretim hızı, malzemeye, kesitin toleransına ve makinenin hammadde besleme kapasitesine göre belirlenmektedir [20]. Roll form makinelerinde kullanılan sac malzemenin kalınlığı 0,15 mm ile 19 mm arasında değişmektedir [21]. Şekil 2.3'te bir makaralı sac şekillendirme makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Makaralı sac şekillendirme makinası [22].

Makaralı sac şekillendirme sistemi genel olarak; rulo açıcı, rulo doğrultucu, delik delme ünitesi, giriş grubu, roll form ve boy kesme ünitelerinden oluşmaktadır. Şekil 2.4'te bir makaralı sac şekillendirme hattının bileşenleri gösterilmiştir. Çalışma prensibi; rulo halde sac malzeme açıcı mandrenine takılmasıyla operasyon başlar. Açıcı makinasında açılan rulo sac malzeme üzerindeki bombeleri ve eğrilikleri düzeltmek için doğrultucu makinasına girer. Burada alt ve üst merdaneler arasından geçen sac malzeme düzeltilmiş halde roll form makinasına girer. Eğer sac malzemedeki

delik delme, köşe çıkarma vs. işlemleri var ise delik delme ünitesine girer ve buradan roll form makinasına geçiş yapar. Roll form makinasında her bir istasyondaki makaralar tarafında adım adım bükülerek son istasyondan nihai profil olarak çıkar. Sonrasında istenilen boyda boy kesme ünitesi ile kesilerek operasyon tamamlanmış olur [4].



Şekil 2.4. Makaralı sac şekillendirme hattı. a) rulo açıcı makinası b) rulo doğrultucu makinası c) delik delme ünitesi d) giriş grubu e) roll form makinası f) boy kesme ünitesi [23].

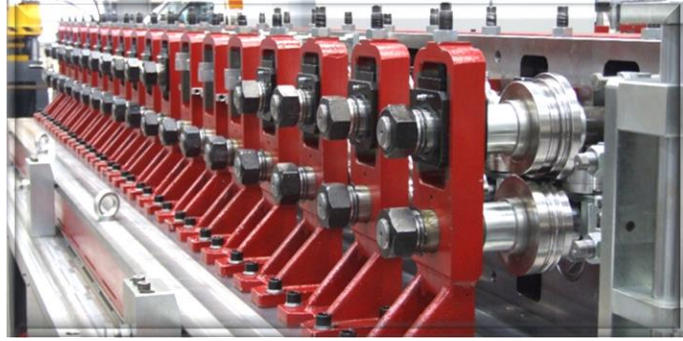
2.2. ROLL FORM MAKİNE TÜRLERİ

Makara sac şekillendirme işleminde en önemli noktalardan biri de makaraların takılacağı makine tipinin belirlenmesidir. Makinanın türü profil kesiti, malzeme cinsi ve kalınlığı, profilin çeşitliliği, üretim adetleri gibi parametrelere göre belirlenmektedir. En sık kullanılan klasik, ayarlanabilen (dubleks) ve ağır seri (kasetli) makine tipleridir. Bunlar dışında kullanılan modeller de mevcuttur, onlar özel makine tipleri olarak kabul edilmektedir [4].

2.2.1. Klasik Tip Roll Form Makinesi

Klasik tip sac şekillendirme makinaları, en çok kullanılan makinelerdir. Bu modelde, herhangi bir genişlik ve kalınlıktaki malzemeleri şekillendirmeye imkan tanımaktadır. Bu model genellikle ölçü ve kesit değişkenliği olmayan profilleri şekillendirmek için kullanılır. Kesit ya da ölçü değişkenliği olduğu durumlarda ayar zamanları uzun

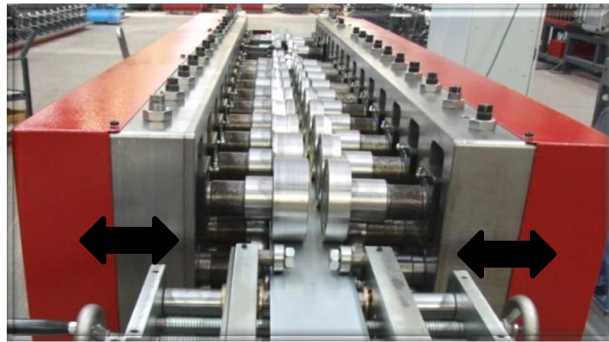
süreceği için çok sık tercih edilmemektedir [4]. Şekil 2.5’de klasik tip roll form makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Klasik tip roll form makinası [22].

2.2.2. Ayarlabilen (Dubleks) Roll Form Makinesi

Seri üretim yapılan işletmelerde en büyük sorunlardan biri hazırlık ve ayar zamanlarıdır. Bu modelde, klasik tipin aksine ölçü değişkenliği olduğu durumlarda ayar zamanı kısa ve kolaydır. Aynı veya benzer kesitte olup, değişken taban ve kenar yüksekliği olan profillerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Makaraların bağlanmış olduğu bloklar bir tarafa ya da iki tarafa da manuel veya otomatik olarak açılıp kapanabilmektedir [4]. Şekil 2.6’da dubleks tip roll form makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Dubleks tip roll form makinası [22].

2.2.3. Ağır Seri Kasetli Tip Roll Form Makinesi

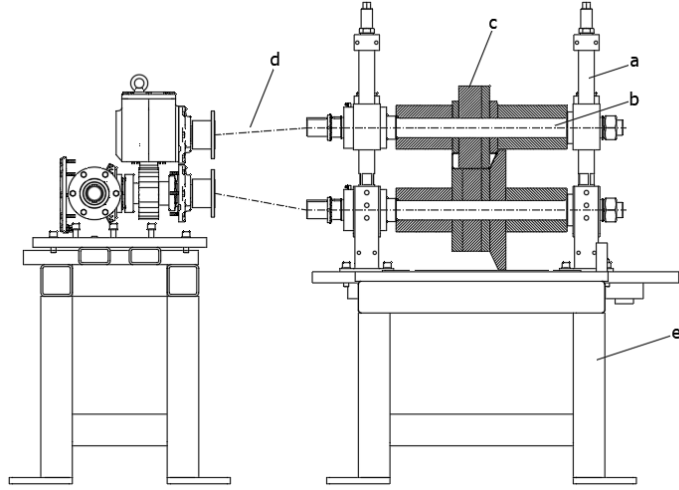
Bir üründen diğerine geçiş için yapılan hazırlık zamanı ve ayar süresi ortalama 8 saat ve daha fazla sürmektedir. Bu süreyi 30-45 dakikalara düşürmek kasetli tip rollform makinesi ile mümkün olmaktadır. Kaset denilen bir plaka üzerine her bir istasyona makaraların monte edilmiş şekilde yerleştirilmektedir. Bu plakalar üzerine 4 ile 8 arasında istasyon yerleştirilebilmektedir. Bu tip makinelerin tahriği şaftlar ile sağlanmaktadır. Genellikle mukavemetli ve kalın saclarda da tercih edildiğinden ağır seri makineler olarak da bilinmektedir [4]. Şekil 2.7’de ağır seri kasetli tip roll form makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Ağır seri kasetli tip roll form makinası [22].

2.3. ROLL FORM MAKİNA KOMPONENTLERİ

Bir roll form makinasında bulunan ana bileşenler; istasyon bloğu, şekillendirmeyi sağlayan makaralar, makaraları taşıyan alt ve üst miller, tahriği ileten şaftlar ve şaseden oluşmaktadır [4]. Bir makaralı sac şekillendirme makinasında bulunan ana bileşenler Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Makaralı sac şekillendirme makinasında bulunan ana bileşenler a) istasyon bloğu b) mil c) makara d) şaft e) şase [22].

2.3.1. İstasyon Blokları

İstasyon bloğu, millerin her iki tarafından desteklendiği bir bloktur. Her bir istasyon bloğu, kolonlar ile desteklenen alt ve üst takozlardan oluşan standlardır. Bu standların üzerine makaraların takıldığı alt ve üst miller bağlanmaktadır [4]. Mil ve makaraların takılı olduğu örnek bir istasyon bloğu Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

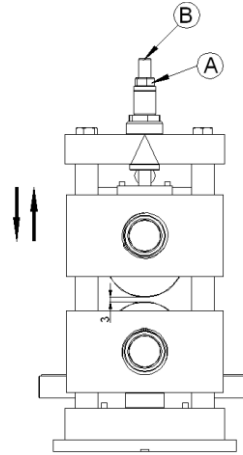


Şekil 2.9. İstasyon bloğu [22].

Profil toleranslarının düzgün olabilmesi için makaraları taşıyan millerin paralel olması gereklidir. Bütün makaralar ve millerdeki paralellik deneme ve testler sırasında

ayarlanıp kurulur. Baskı ayarları kontrolü ilk başta sac kalınlığına uygun sentil çakısıyla ayarlanır. Ayarlama işleminde alt makaralar sabit tutulduğundan üst makaralardan malzeme kalınlığı kadar sac malzeme geçecek şekilde baskı verilir. Operatör malzemenin kalınlığını kalitesi ve özelliklerini kontrol etmelidir. Ve bunlara göre sentil çakısıyla baskı ayarlarının düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gereklidir [4].

Baskı ayarı çok sık kullanılmaz. Ancak sac kalınlığı ve malzeme özelliği değiştiğinde baskı ayarı kullanılır. Şekil 2.10’da baskı ayarı gösterilmiştir. A somunu gevşetilerek mil de boşluk bırakılır. Mil üzerindeki boşlukta makaraların kaydırılması için B somunu ileri veya geri hareket ettirilir. Basınç ayarının doğruluğu malzeme kalınlığında bir sentil çakısı ile makaralar arasındaki boşluğun kontrolü ile sağlanabilir. İstenilen baskı verildikten sonra A somunu tekrar sıkılır [4].



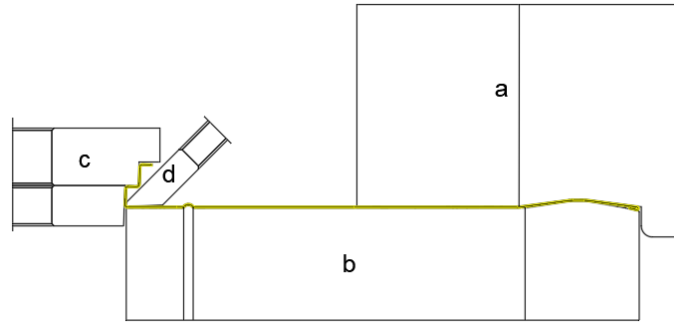
Şekil 2.10. İstasyon bloğu ayarlanması [22].

2.3.2. Miller

Miller, alt ve üst mil olarak ayrılmakta ve makaraları taşıyan önemli parçalardan biridir. Miller sağ ve sol istasyon bloklarına yataklanarak kullanılmaktadırlar. Sistemin stabilitesini sağlamak için mil yataklaması önem taşımaktadır. Mil ve makara bağlantısı ise kama elemanları kullanılarak yapılmaktadır [4].

2.3.3. Makaralar

Sac malzemenin istenen kesite ulaşılıncaya kadar bükme işlemini yapan aletler, makaralardır. Malzeme, makaralar arasından geçerek aşama aşama gerçekleşen bükümler sonucu nihai şeklini almaktadır [24]. Bir istasyonda bulunan makara grubu, en az alt ve üst makaralardan oluşmaktadır. Profilin kesitine göre gerektiğinde yan ve çapraz makaralar da kullanılabilir [4]. Şekil 2.11’de örnek bir makara grubu gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Makaralı sac şekillendirme makaraları a) üst makara b) alt makara c) yan makara d) çapraz makara [22].

Makaraların imalatı son derece hassas olmalıdır. Oluşabilecek en küçük seviyedeki sapmalar bile ürün kalitesinde büyük etkilere sebep olabilmektedir. İstenilen sonuçlarda profil elde edebilmek için makara yüzeylerinin birbirine paralel olması, salgısız dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle, makaraların tüm ölçülerinin toleranslara uygun olarak işlenmesi ve yüzey kalitesindeki düzgünlük önem taşımaktadır [4].

Proses açısından veya imalat ve montaj kolaylığı açısından gerektiğinde makaralar bölünebilmektedir. Böyle bir makara setinin bazı parçaları farklı malzemelerden olabilir veya boşta olacak şekilde düzenlenebilmektedir. Bu tür bir makara setinin bileşenleri aynı zamanda diğer bazı alet setlerinde de kullanılabilir, böylece firmanın alet masrafı en aza indirilebilmektedir. Bazen, ürünün kalitesini artırmak için geçişler arasında yan makaralar ve doğrultma kılavuzları tasarlamak da gerekmektedir [4].

2.3.4. Şaftlar

Şaftlar, redüktörlerden aldığı tahriği alt ve üst millere iletmektedir. Şaft ile bağlantı yapıldığında, redüktör ve istasyon blokları arasındaki konumlandırmanın bir miktar esnekliğe sahip olmasına olanak vermektedir. Bu bağlantı yöntemi ile, her bir makaranın bağımsız olarak sürülmesine izin vermekte ve değişken hız kullanılmasına da olanak sağlayacaktır [4]. Şekil 2.12’de roll form makinasının şaft bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Üniversal mafsallı şaftlarla tahrik edilen şekillendirme hattı [22].

2.4. ROLL FORM PROSESİNİN TASARIMI

Makaralı sac şekillendirme işleminin tasarlanması, bir optimizasyon işlemidir. Nihai ürünün elde edilmesi prosesin doğru tanımlanması ile mümkündür. Prosesin doğru tanımlanması için de makaralı sac şekillendirme yöntemine etki eden değişkenlerin iyi anlaşılması gerekmektedir [25].

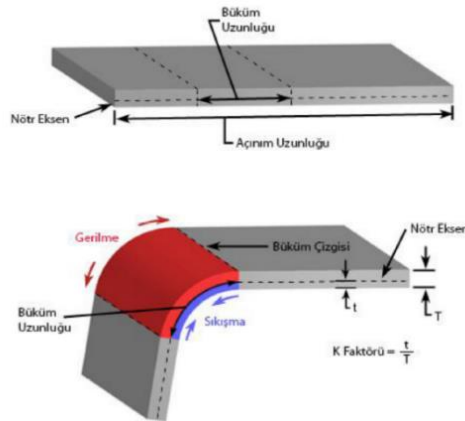
2.4.1. Malzeme Seçimi ve Mekanik Özellikler

Malzeme seçimi, hedeflenen kesitteki profilin tasarımı ile başlamaktadır. Doğru ürünü doğru fiyata üretmek için doğru malzemeyi seçmek önemlidir. En önemli mekanik özellikler akma dayanımı, çekme mukavemeti ve uzamadır [4].

Günümüzde hızla gelişen teknoloji sayesinde yüksek mukavemet sağlayan ve hafif malzemelerin kullanılmasını her geçen gün giderek arttırmaktadır. Yüksek mukavemetli çift fazlı (DP) çelikler yorulma ve darbelere karşı yüksek direnç gösterdiğinden özellikle otomotiv sanayisinde tercih edilmektedir [25]. DP çelikleri, çift fazdan oluşan bir yüksek mukavemetli çelik sınıfını ifade etmektedir [26].

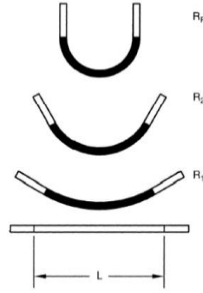
2.4.2. Bant Genişliğinin Hesaplanması

Bükme açıları girilmeden önce, sac malzemenin her bir bükme istasyonunda değişen büküm uzunluklarının bilinmesi gerekir. Gereken uzunlukları hesaplamak için şu anda kullanılan yöntem, sac malzemenin büküm esnasında tarafsız eksenin değişmediği yöntemdir. Tarafsız eksen sabittir. Bükme esnasında, tarafsız eksenin dış kısmında çekme kuvvetinin etkisiyle uzama (gerilme), iç kısımlarında basma kuvvetinin etkisi ile kılma (sıkışma) gerçekleşmektedir [31]. Şekil 2.13’de sac malzemenin bükülme teorisi gösterilmiştir. “K” faktörü büküm sabitini hesaplama yöntemi malzeme kalınlığına olan mesafenin malzemenin kalınlığına oranı olarak bilinmektedir [32].



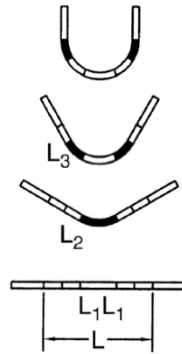
Şekil 2.13. Sac malzemenin bükülme teorisi [32].

Bant açınımının hesaplamasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri büküm yapılan bölgede yay uzunluğu değişmemektedir. Yay uzunluğu sabit kalırken, istenilen yarıçapa ulaşınca kadar yarıçap değerleri giderek azalmaktadır. Bu yöntemde aynı anda birden fazla büküm imkanı tanırken, geri yaylanma kontrolünü sağlamak zordur çünkü geri yaylanma paylarını tek bir seferde verilmesi gerekmektedir [32]. Sabit yay büküm yöntemi şematik gösterimi Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Üç aşamada sabit yay bükme gösterimi [32].

Diğer bir yöntem ise, sabit yarıçap metodudur. Her bir segment parçalara ayrılarak bölünmektedir. Bu segmentler, her bir istasyonda bükümleri yapılarak nihai ölçüye ulaşılmaktadır. Bu yöntem ile sabit yay metodu aksine istenilen bükümde ve oranlarda geri yaylanma payları verilebilme imkanı olduğunda geri yaylanma kontrolü daha kolaydır [32]. Şekil 2.15'de sabit yarıçaplı büküm yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada, sabit yarıçap metodu kullanılarak büküm işlemi tasarlanmıştır.



Şekil 2.15. Üç aşamada sabit yarı çap bükme gösterimi [32].

Bant genişliğini elde etmek için ampirik çalışmalar da yapılmıştır. Duggal, çalışmasında gerekli olan bant genişliğini elde etmek için deneysel bir denklem geliştirmiştir [15]. Bu denklem Eşitlik 2.1'de verilmiştir. İstenilen şeklin enine kesitindeki düz uzunluklar, aşağıdaki ampirik formülden hesaplanan bükülme paylarına eklenir,

$$BA = \{(0.01743 \times R) + (0.0078 \times T)\} \times A \quad (2.1)$$

BA = Bükme payı (")

R = İç bükülme yarıçapı (")

T = Malzeme kalınlığı (")

A = Bükme açısı (°)

Bant açısı 0 iken, gerekli istasyon sayısını hesaplamak için de bir formül Eşitlik 2.2'de sunulmuştur.

$$N = \cot(\theta) \times H \times L \quad (2.2)$$

H = Kenar yüksekliği (")

θ = Bükme açısı (°)

L = Miller arasındaki mesafe (")

N = Gerekli istasyon sayısı

Oluşturma yarıçapları F, Eşitlik 2.3'de verilen denklem kullanılarak elde edilebilmektedir.

$$F = \left(\frac{BA}{0.0175} \times S \right) - (T) \quad (2.3)$$

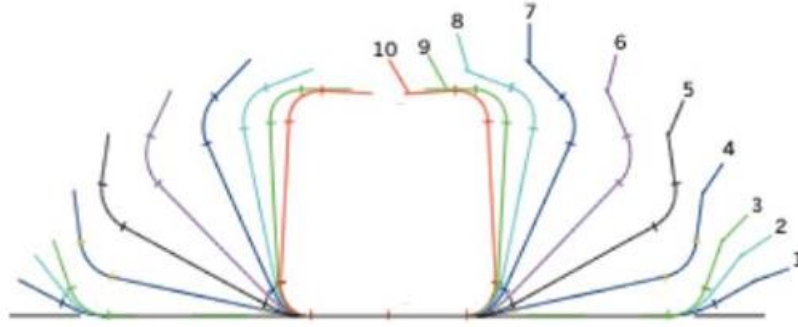
BA = Bükme payı (")

S = Yan şekillendirme açısı (°)

T = Sac malzemenin kalınlığı (")

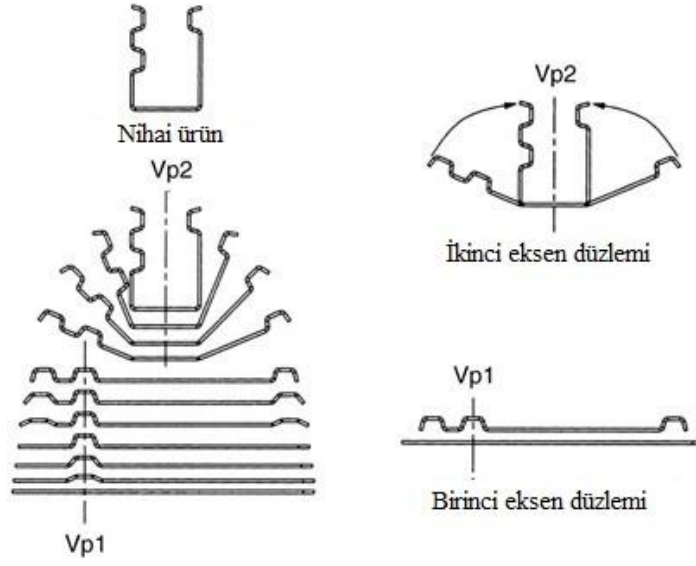
2.4.3. Bükme Stratejisi - Çiçek Diyagramı

Makara ile sac şekillendirmedeki bükme stratejisi, nihai kesit profilin çizilmesi ve daha sonra, öngörülen istasyon sayısına karşılık gelen bir dizi adımda açılması ile sağlanır. Tüm adımların üst üste çizilen çizimlerine çiçek diyagramı denir [18]. Çiçek diyagramı, tüm süreci tek bir çizimde görselleştirmek için önemli bir araçtır. Şekil 2.16'da örnek bir çiçek şeması gösterilmiştir.

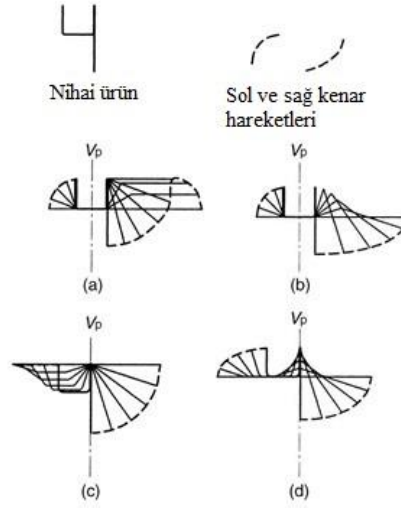


Şekil 2.16. Çiçek [18].

Profildeki artık gerilmeleri en aza indirmek ve makaraların şekillendirme yarıçapına erişmesine izin vermek için iyi bir bükme stratejisi geliştirmek çok önemlidir. İlk adım, Şekil 2.17'de görülebileceği gibi dikey bir eksen düzlem seçmektir. Bu eksen üzerinde bulunan malzemenin modülleri, makara çapına bağlı olarak ya düz bir çizgide ya da biraz yukarı doğru hareket etmektedir. Şekil 2.18'de görülebileceği gibi seçilen eksen düzlemi, şekillendirme sırasında kenar hareketini ve dolayısıyla kenar gerilmesini etkileyecektir [4].



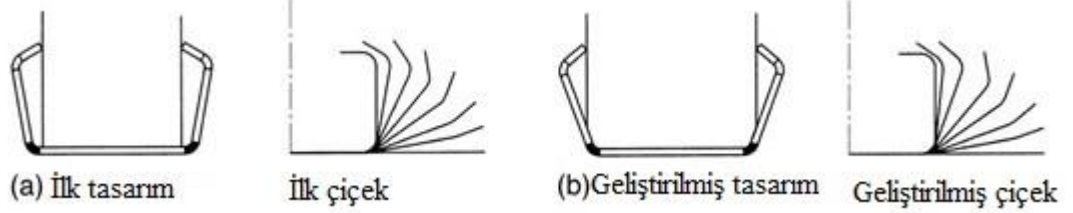
Şekil 2.17. Makara ile şekillendirilmiş sac malzemenin çiçek diyagramı [4].



Şekil 2.18. Eksen düzlemi seçiminin kenar hareketine etkisi a) en kötü d) en iyi [4].

Doğru şekillendirme yapılabilmesi için her istasyondaki şekillendirme açısı ve konumunun seçimi doğru belirlenmelidir. Aynı istasyonda birkaç büküm oluşturulabilir veya bir büküm bir sonrakinden önce tamamen oluşturulabilir. Bu noktada, geri esnemeyi kontrol altına alabilmek için malzemenin özelliklerine bağlı kalarak tersine denilen içe bükümler yapılır. Ayrıca, tasarımcı büküm çizgilerinin erişilebilirliğine dikkat etmek zorundadır; bazen bir sonraki adımda bükülme yarıçapına daha iyi erişim sağlamak için bir adımda daha küçük bir açı oluşturmak

daha iyidir [4]. Şekil 2.19’da çiçek diyagramında iyileştirmeler yapılarak iç radyüslere erişimin kolaylaştırıldığı gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Çiçek diyagramını değiştirerek bükme yarıçapına erişimin iyileştirilmesi [4].

Bükme stratejisi oluştururken verilen büküm dereceleri sac malzemede oluşacak deformasyonları etkileyen en önemli konudur. Daha büyük şekillendirme açısı artışlarının, malzeme kenarlarında daha yüksek gerilimler oluşturduğunu ve en büyük şekillendirme açısı artışlarının kullanıldığı işlemlerin, şekillendirilmiş parçalar üzerinde daha yüksek geri yaylanma oluşturduğu bulunmuştur. Ayrıca malzeme kenarındaki kalıcı boylamasına gerilmenin geri esneme davranışını etkileyebileceği bulunmuştur [34].

Safdarian vd. yapmış oldukları çalışmalarında roll form prosesindeki parametreleri (çiçek deseni, malzeme kalınlığı, kenar yükseklikleri, taban genişliği, üretim hızı, istasyonlar arası mesafe) incelemiştirlerdir. Bu parametreler arasında değişimler yaparak nasıl etkili olduğunu incelemiştirlerdir. Çalışmalar sonucunda, çiçek desenindeki bükme stratejisi değişikçe (açı arttıkça) sac malzemedeki sehimler arttığı görülmüştür. Üretim hızının değişimi sonuçları değiştirmedeği sonucuna varmışlardır [35].

2.4.4. İstasyon Sayısının Belirlenmesi

Bir profilin gerekli olan şekillendirme adımlarının sayısı, malzeme özelliklerine ve profilin ölçülerine, karmaşıklığına ve toleranslarına gibi değişkenlere bağlıdır [4]. Halmos, istasyon sayısını etkileyen faktörleri Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi özetlemiştir [4].

Çizelge 2.1. İstasyon sayısını etkileyen faktörler [4].

Faktörler	İstasyon sayısı gereklilikleri		
	Artan	Azalan	
	Kesitin derinliği Büküm çizgisi Kesitin toleransı	Yüzeysel Açık Serbestlik	Derinlik Görünmez Sıkı
Malzeme	Kalınlık Makine güçlü Makine güçsüz Malzeme özellikleri Yüzey Dönüklük, dalgalanma, sehim vb. Devamlılık	Kalın Düşük yüksek dayanımı Yüksek uzama oranı Sıcak haddelenmiş çelik Dar tolerans malzemesi Rulo sac	Daha ince İnce ve kalın Yüksek akma dayanımı Düşük uzama oranı Önceden boyanmış yada parlak yüzey Serbest tolerans malzemesi Levha sac
Hattaki diğer işlemler	Ortak delikler Kenarlara yakın delikler Köşe çıkartma Kaynak Eğrilik	Etkisiz Aynı veya daha az	Daha fazla geçiş Yüzeysel (1'den 2'ye) Derin (daha fazla geçiş) 2 ile 4 veya daha fazla
Makinenin özellikleri	Daha büyük mil çapı Derin bölümler ve paneller için Yatay mesafe Büyük Küçük	Daha az geçiş olabilir Daha az geçiş	Daha fazla geçiş

Başka bir yaklaşım yine Halmos tarafından geliştirilmiştir ve Çizelge 2.1'de açıklanan çeşitli faktörleri hesaba katan değişkenleri içeren Eşitlik 2.4'de verilen ampirik bir denklemden oluşmaktadır: [4]

$$n = \left[0.237h^{0.8} + \frac{0.834}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{\gamma^{2.1}}{0.003U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs \quad (2.4)$$

n, tahmini istasyon sayısı

h, maksimum kenar yüksekliği (mm)

t, malzeme kalınlığı (mm),

α , sac malzemenin bir tarafında oluşan açılarının toplamı (°)

γ , akma dayanımı (MPa)

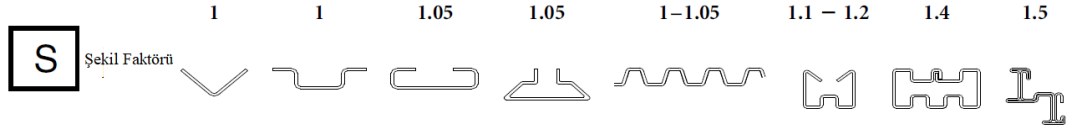
U, çekme dayanımı (MPa)

z, delik / köşe boşaltma ve malzeme süreklilik faktörü (0 yada 2 arasında alınır. Delik yada köşe boşaltma yok ise 0, var ise 2 alınır.)

s, şekil faktörü (1-1,5 arasında seçilir. Şekil 2.20'de gösterilmiştir.)

e, diğer işlemler için ekstra istasyon sayısı (0,1,2, vb. Verilebilir. Örneğin eğer profile ekstra kabartma işlemi yapılacak ise bir istasyon daha ekleneceği için 1 yazılır. Yoksa 0 kabul edilir.)

f, tolerans faktörü (0-2 arasında değer alınır. Tolerans değeri dikkate alınmayacak ise 0, orta hassasiyette ise 0.5-1, hassas ise 1.1-1.7 çok hassas ise 1.9-2 değerleri alınır.)



Şekil 2.20. S faktörü [4].

Eşitlik 2.4'deki faktörler tasarımcı tarafından belirlenip ve referans bir değer bulunabilir. Yazılım paketleri, modelin doğruluğunu artırmak için çoğu zaman mümkün olan en fazla sayıda faktörü dahil etmeye çalışmak için gereken geçiş sayısını ilk olarak tahmin etmek için bunun gibi denklemleri kullanmaktadır [4].

Yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem, form açısı yöntemidir. Bu yöntem ile yaklaşık istasyon sayısı ve her istasyonda şekillendirme dağılımını belirlemek için kullanılmaktadır. Burada α , şekillendirme açısı genellikle 1° ile 2° arasında tutulur, ancak 3° ile 5° arasındaki şekillendirme açıları başarıyla kullanılmıştır [36]. Şekil 2.21'de form açısı metodu gösterilmiştir. Eşitlik 2.5'de form açısı denklemi verilmiştir [36].

$$\cot \alpha = \frac{L_t}{a} = \frac{(n-1)D}{a} \longrightarrow \cot \alpha = 40,5 \quad (\alpha \cong 1,5^\circ) \quad (2.5)$$

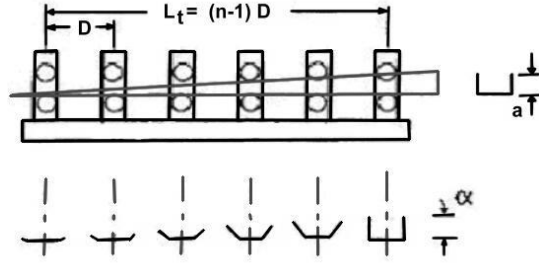
a: Kenar yüksekliği (mm)

D: İki istasyon arasındaki uzaklık (mm)

n: İstasyon sayısı

“n” istasyon sayısını bulmak için denklem Eşitlik 2.6'da verilmiştir.

$$n = \frac{40,5 \cdot a}{D} + 1 \quad (2.6)$$



Şekil 2.21. Form açısı metodu [36].

Jimma ve Ona, birbirini izleyen makara şekillerini tasarlamak ve söz konusu kesitin geometrik özelliklerine dayalı olarak belirli bir kesiti oluşturmak için gerekli olan istasyon sayısını belirlemek için bir yöntem önermişlerdir. Geometrik hususlar; profilin simetrik veya asimetrik olması, toplam bükülme köşelerinin sayısı ve malzemenin kalınlığıdır [37].

Makara ile sac şekillendirme kuvvetinin derecesini ifade eden bir şekil faktörü f tanımlanmıştır. Gerekli olan istasyon sayısı, şekil faktörünün değerine bağlı olarak bulunabilir. Simetrik ve asimetrik kesitler için şekil faktörü şu şekilde hesaplanabilir: [37]

Simetrik kesitler için Eşitlik 2.7’de verilen denklem kullanılmaktadır [37].

$$F_l = F_i \times n \times t \quad (2.7)$$

F_i = Toplam flanş uzunluğu (mm)

n = Toplam büküm sayısı

t = Malzemenin kalınlığı (mm)

Asimetrik kesitler için Eşitlik 2.8’de verilen denklem kullanılmaktadır [37].

$$f_2 = (F_i x n_1 + F_2 x n_2) x t \quad (2.8)$$

F_i = Kesitin solundaki toplam flanş uzunluğu (mm)

F_2 = Kesitin sağındaki toplam flanş uzunluğu (mm)

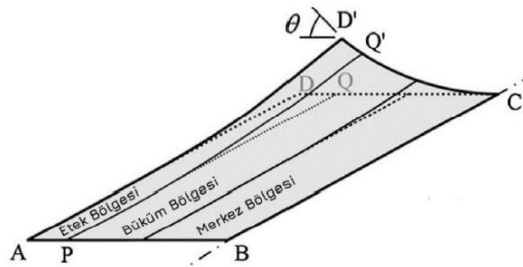
n_1 = Kesitin solundaki toplam viraj sayısı

n_2 = Kesitin sağındaki toplam viraj sayısı

2.4.5. İstasyonlar Arası Mesafenin Belirlenmesi

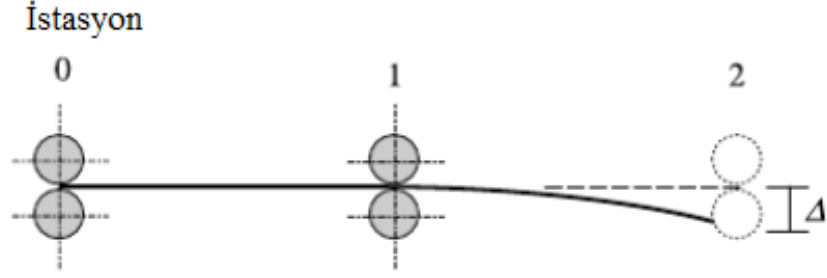
Rollforming yöntemindeki diğer önemli noktalardan biri de istasyonlar arası mesafenin olması gereken en optimum değerinin belirlenmesidir. Sac malzeme bir istasyondan diğerine ilerlerken bu mesafenin az olması sac malzemede kenar dalgalanmalara sebep olurken, gereğinden fazla mesafe verilmesi de diğer istasyona girene kadar sac malzemede eğilmeler oluşabilmekte ve istenen bükümler gerçekleştirilememektedir. Yine gereğinden yüksek mesafeler ile üretilen rollform makinası maliyetleri yüksek olacağından rekabetçi olmaktan uzaklaşacaktır.

İstasyonlar arası mesafenin az ya da fazla olması simülasyon sonuçlarında ele alacağımız ve kontrollerinin yapılacağı parametrelerden biridir. Şekil 2.22’de göldüğü gibi sac malzeme istasyonlar arasında ilerlerken sac malzemenin kenar bölgesi (A-D), merkez bölgesine (B-C) göre izlediği yol daha uzundur. Buna göre de A-D bölgesi uzayarak A-D’ bölgesine dönüşmektedir [38].



Şekil 2.22. Sac malzemenin istasyonlar arasındaki hareketi [38].

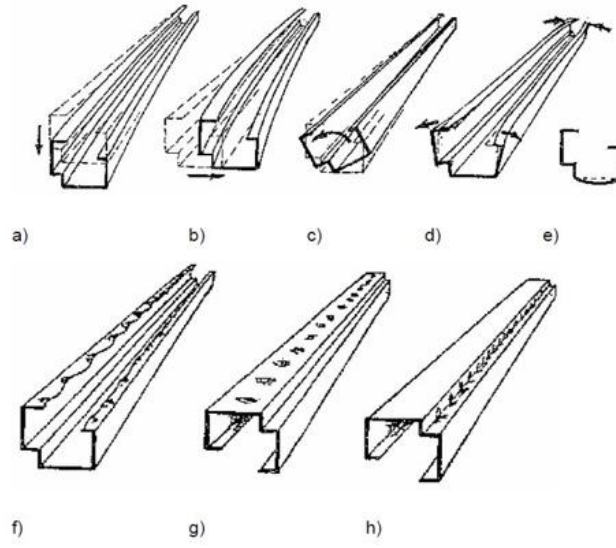
Bu uzamaların olması kaçınılmazdır. Burada önemli olan, oluşacak bu uzamaların mümkün olduğunca minimize edilmesidir. Buna çözüm olarak da bu uzamalar elastik bölge alanında tutulmalıdır. Şekil 2.23’de görüldüğü gibi elastik bölge alanını aştığı durumlarda aşağı yönde eğilmelere sebep olacağından sac malzemede sehimler meydana gelebilmektedir [38].



Şekil 2.23. Diğ er istasyona geçerken sac malzemede oluşan sehim [38].

2.5. MAKARA İLE SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİNDE YAYGIN OLARAK GÖRÜLEN KUSURLAR

Makara ile sac şekillendirme işleminde, sac malzeme üzerinde farklı pozisyonlarda şekil bozuklukları görülmektedir. Bu bozukluklara etkisi olan çok sayıda değişken vardır ve bu nedenle matematiksel model olarak tanımlanması yapılamamaktadır. Şekil bozuklukları içerisinde en sık görülen kusurlar, Şekil 2.24’te gösterilmiştir. Bunlar, enine ve boyuna yönde eğilme, burulma, sehim olarak sayılabilirler. Bu kusurların davranışlarını incelemek çok önemlidir. Sac malzeme, birçok makara tarafından kademeli olarak şekil değişimine uğradığından homojen olarak şekil bozukluğuna maruz kalmamaktadır [39].



Şekil 2.24. Makara ile sac şekillendirme işleminde görülen ürün bozuklukları a) düşey eğilme b) yatay eğilme c) burulma d) açılma e) bel verme f) kenar dalgalanmaları g) cep oluşumu h) herringbore etkisi [39].

Düşey eğilme, yatay eğilme ve burulma sac malzemenin boylamasına meydana gelen gerilmelerden kaynaklanan problemlerdendir. Malzeme şekillendirme esnasında bir bölgenin diğer bölgeye göre daha fazla uzaması, düşey ya da yatay eğilmelere ve burulmalara sebebiyet vermektedir. Bu hatalar, malzemenin genişliği ve kalınlığına, malzemenin özelliklerine, istasyon arası mesafe vb. gibi farklı işlem değişkenlerinden etkilenmektedir. Bu hataları kontrol etmenin etkili yollarından biri, istasyon arasındaki mesafeyi ayarlamaktır. Çıkış istasyonundaki doğrultma makaraları ile verilen baskılar ile de düzeltilebilmektedir [13,40].

İstasyon boyunca şekillendirme adımlarından geçen sac malzemede büküm sırasında plastik şekil değişimleri gerçekleştiğinden, son istasyona geldiğinde profil üzerinde kalıntı stresler kalmaktadır. Profil istenen kesitte şekillendirilip alıp boy kesme işleminde kesme işlemi yapıldığında ise bu kalıntı stresler açığa çıkmakta ve profilin ağız kısımlarında açılmalar görülebilmektedir. Bu plastik şekil değişim gerinim yüzdeleri yüksek oldukça bu kalıcı stres de artacaktır. Profil üzerinde her bir istasyonda birikerek gelindikçe bu açılmalar kaçınılmaz olacaktır [32].

Kenar dalgalanması yaygın olarak bulunan kusurlardan biridir. Bunun, kenarlardaki boylamasına uzamadaki farkın, profilin geri kalanıyla ilişkili olduğuna inanılmaktadır. Ayrıca, daha büyük flanş uzunluklarına sahip profiller için ve giriş açısı (α) 4° 'den büyük olduğunda kenar dalgaları gözlemlenmiştir. Kenar dalgalanmasından kaçınmak için önerilen yöntemlerden biri, sac malzemenin şekillendirilmesinin son aşamasında hafif bir gerginlik altında tutulmasıdır [40]. Şekil 2.25’de U kesitli bir profilde oluşan kenar dalgalanmalar gösterilmiştir.



Şekil 2.25. U kesitli bir profildeki kenar dalgalanmalar [41].

Çizelge 3.2. DP800 çeliğinin kimyasal bileşimi.

Alaşım	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Nb	Cu	V	B
DP800	0,066	0,22	2,32	0,011	0,0055	0,30	0,10	0,033	0,13	<0,010	0,020	0,027	0,0057	0,0023

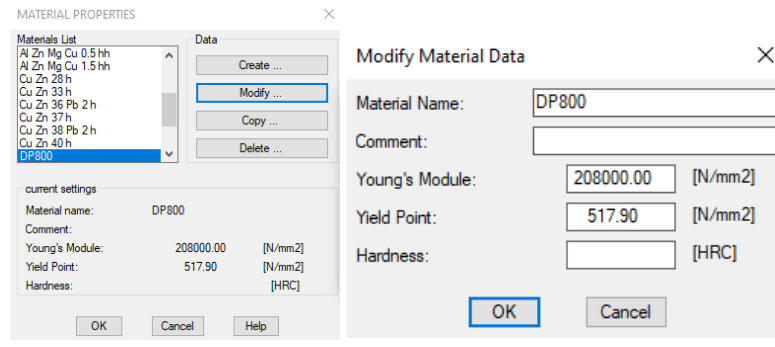
Lahaije vd. DP800 malzemesinin şekillendirilebilme özelliklerinin otomotiv sanayinde kullanılan DP600, HX260/HX300 LAD ve HX240 LAD yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerden üstün olduğu yaptıkları çalışmalarında görülmektedir [27]. Bundan dolayı, DP800 çeliği otomotiv sanayisinde sıklıkla tercih edilmektedir. Almedia vd. çalışmalarında, DP600 ve DP800 çeliklerinin geri yaylanma özelliklerini karşılaştırmış ve DP800 çeliğinin geri yaylanma miktarları, DP600 çeliğinin geri yaylanma miktarlarından çok daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [28]. Bu nedenle, DP800 çeliği son yıllarda otomotiv şasi parçalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

3.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Teorik şekil değişimlerinin belirlenmesi için COPRA® RF FEA sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan yazılımda, özellikle makaralı sac şekillendirme simülasyonları için, statik olarak nitelenen bükme ve katlanma analizleri, dinamik olarak nitelenen hareketli makaralarla tam boy şekillendirme analizleri yapılabilmektedir.

3.2.1. Tasarım Girdileri

Teorik analizlerin başlangıcında, COPRA® RF yazılımı içerisinde DP800'e ait malzeme özellikleri girilmektedir. Şekil 3.2'de yazılım içerisinde malzeme özellikleri giriş ekranı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Malzeme özelliklerinin COPRA® RF yazılımına girilmesi.

Malzeme tanımlamasının ardından, ikinci aşamada makine özellikleri program içerisinde tanımlanmaktadır. Makine özelliklerinde girilmesi gereken parametreler, makara çapları, istasyonlar arası mesafe, istasyon sayısıdır. Üretilecek olan karmaşık segmentli ürün için, en uygun üretim parametrelerinin belirlenmesi için 4 farklı senaryo üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolarda, istasyonlar arasındaki mesafe sabit tutularak, istasyon sayısı artırılmıştır. İstasyon sayısının artırılmasında, maliyet ve üretilecek ürünün kesiti göz önünde bulundurulmuş, çoklu bükme operasyonları içerdiği için istasyon sayısı 17'den başlatılarak 18, 19 ve 20 olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.3'te senaryolara ait parametrelerin özellikleri verilmiş, Şekil 3.3'te bütün senaryolar ait parametrelerin programa giriş ekranı gösterilmiştir. Alt üst makara mil çapları her bir senaryo için 63 mm olarak girilmiştir.

Çizelge 3.3. Parametreleri belirlemek için girilen dört farklı senaryo.

	Alt makara çapı	Üst makara çapı	İstasyon sayısı	İstasyonlar arası mesafe
Birinci senaryo	220 mm	220 mm	17	500 mm
İkinci senaryo	240 mm	240 mm	18	500 mm
Üçüncü senaryo	250 mm	250 mm	19	500 mm
Dördüncü senaryo	260 mm	260 mm	20	500 mm

Machine Data DTM

Machine name: C PROFIL

Root diameter

bottom: 220.000

top: 220.000

side: 100.000

Station Distance

constant

different

No. Stations 17

Forming starts at

Station number 1

Distance: 500.000

Station Identifier	pass	station	Distance
1 MS- 2 MS	20-19	1-2	500.000
2 MS- 3 MS	19-18	2-3	500.000
3 MS- 4 MS	18-17	3-4	500.000
4 MS- 5 MS	17-16	4-5	500.000
5 MS- 6 MS	16-15	5-6	500.000
6 MS- 7 MS	15-14	6-7	500.000
7 MS- 8 MS	14-13	7-8	500.000
8 MS- 9 MS	13-12	8-9	500.000
9 MS- 10 MS	12-11	9-10	500.000
10 MS- 11 MS	11-10	10-11	500.000
11 MS- 12 MS	10-9	11-12	500.000
12 MS- 13 MS	9-8	12-13	500.000
13 MS- 14 MS	8-7	13-14	500.000
14 MS- 15 MS	7-6	14-15	500.000
15 MS- 16 MS	6-5	15-16	500.000
16 MS- 17 MS	5-4	16-17	500.000
17 MS- 18 MS	4-3	17-18	500.000

a)

Machine Data DTM

Machine name: C PROFIL

Root diameter

bottom: 240.000

top: 240.000

side: 100.000

Station Distance

constant

different

No. Stations 18

Forming starts at

Station number 1

Distance: 500.000

Station Identifier	pass	station	Distance
1 MS- 2 MS	20-19	1-2	500.000
2 MS- 3 MS	19-18	2-3	500.000
3 MS- 4 MS	18-17	3-4	500.000
4 MS- 5 MS	17-16	4-5	500.000
5 MS- 6 MS	16-15	5-6	500.000
6 MS- 7 MS	15-14	6-7	500.000
7 MS- 8 MS	14-13	7-8	500.000
8 MS- 9 MS	13-12	8-9	500.000
9 MS- 10 MS	12-11	9-10	500.000
10 MS- 11 MS	11-10	10-11	500.000
11 MS- 12 MS	10-9	11-12	500.000
12 MS- 13 MS	9-8	12-13	500.000
13 MS- 14 MS	8-7	13-14	500.000
14 MS- 15 MS	7-6	14-15	500.000
15 MS- 16 MS	6-5	15-16	500.000
16 MS- 17 MS	5-4	16-17	500.000
17 MS- 18 MS	4-3	17-18	500.000
18 MS- 19 MS	3-2	18-19	500.000

b)

Machine Data DTM

Machine name: C PROFIL

Root diameter

bottom: 250.000

top: 250.000

side: 100.000

Station Distance

constant

different

No. Stations 19

Forming starts at

Station number 1

Distance: 500.000

Station Identifier	pass	station	Distance
1 MS- 2 MS	20-19	1-2	500.000
2 MS- 3 MS	19-18	2-3	500.000
3 MS- 4 MS	18-17	3-4	500.000
4 MS- 5 MS	17-16	4-5	500.000
5 MS- 6 MS	16-15	5-6	500.000
6 MS- 7 MS	15-14	6-7	500.000
7 MS- 8 MS	14-13	7-8	500.000
8 MS- 9 MS	13-12	8-9	500.000
9 MS- 10 MS	12-11	9-10	500.000
10 MS- 11 MS	11-10	10-11	500.000
11 MS- 12 MS	10-9	11-12	500.000
12 MS- 13 MS	9-8	12-13	500.000
13 MS- 14 MS	8-7	13-14	500.000
14 MS- 15 MS	7-6	14-15	500.000
15 MS- 16 MS	6-5	15-16	500.000
16 MS- 17 MS	5-4	16-17	500.000
17 MS- 18 MS	4-3	17-18	500.000
18 MS- 19 MS	3-2	18-19	500.000

c)

Machine Data DTM

Machine name: C PROFIL

Root diameter

bottom: 260.000

top: 260.000

side: 100.000

Station Distance

constant

different

No. Stations 20

Forming starts at

Station number 1

Distance: 500.000

Station Identifier	pass	station	Distance
1 MS- 2 MS	20-19	1-2	500.000
2 MS- 3 MS	19-18	2-3	500.000
3 MS- 4 MS	18-17	3-4	500.000
4 MS- 5 MS	17-16	4-5	500.000
5 MS- 6 MS	16-15	5-6	500.000
6 MS- 7 MS	15-14	6-7	500.000
7 MS- 8 MS	14-13	7-8	500.000
8 MS- 9 MS	13-12	8-9	500.000
9 MS- 10 MS	12-11	9-10	500.000
10 MS- 11 MS	11-10	10-11	500.000
11 MS- 12 MS	10-9	11-12	500.000
12 MS- 13 MS	9-8	12-13	500.000
13 MS- 14 MS	8-7	13-14	500.000
14 MS- 15 MS	7-6	14-15	500.000
15 MS- 16 MS	6-5	15-16	500.000
16 MS- 17 MS	5-4	16-17	500.000
17 MS- 18 MS	4-3	17-18	500.000
18 MS- 19 MS	3-2	18-19	500.000

d)

Şekil 3.3. Makine özelliklerinin COPRA® RF yazılımına girilmesi a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo.

Makine özellikleri girildikten sonra Autocad programında iki boyutlu olarak çizilen profil, analiz programına aktarılmıştır. Program tarafından profil segmentlere ayrılmaktadır. Şekil 3.4'te COPRA ® RF yazılımı tarafından profilin segmentlere ayrılmış hali gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Profilin segmentlere ayrılması.

Her bir senaryoya ait büküm açılarının değerleri Çizelge 3.4 'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Her bir istasyonda girilen büküm açıları a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo.

a)

İstasyon no	2. segment	4. segment	7. segment	9. segment
	Açı °	Açı °	Açı °	Açı °
17	90°	90°	64°	115°
16	(1,2°) 91,2°	(1,2°) 91,2°	(1°) 65°	(1,5°)116,5°
15	90°	(10°) 90°	(6°) 64°	115°
14	90°	(14°) 80°	(8°) 58°	115°
13	90°	(14°) 66°	(8°) 50°	115°
12	90°	(14°) 52°	(12°) 42°	115°
11	90°	(14°) 38°	(12°) 30°	115°
10	90°	(14°) 24°	(12°) 18°	115°
9	90°	(10°) 10°	(6°) 6°	115°
8	(10°) 90°	0°	0°	(10°) 115°
7	(15°) 80°	0°	0°	(10°) 105°
6	(15°) 65°	0°	0°	(21°) 95°
5	(15°) 50°	0°	0°	(24°) 74°
4	(15°) 35°	0°	0°	(25°) 50°
3	(10°) 20°	0°	0°	(20°) 25°
2	(10°) 10°	0°	0°	(5°) 5°
1	0°	0°	0°	0°

b)

İstasyon no	2. segment	4. segment	7. segment	9. segment
	Açı °	Açı °	Açı °	Açı °
18	90°	90°	64°	115°
17	(1,2°) 91,2°	(1,2°) 91,2°	(1°) 65°	(1,5°) 116,5°
16	90°	(7,5°) 90°	(5°) 64°	115°
15	90°	(12,5°) 82,5°	(7°) 59°	115°
14	90°	(12,5°) 70°	(7°) 52°	115°
13	90°	(12,5°) 57,5°	(7°) 45°	115°
12	90°	(12,5°) 45°	(11°) 38°	115°
11	90°	(12,5°) 32,5°	(11°) 27°	115°
10	90°	(12,5°) 20°	(11°) 16°	115°
9	90°	(7,5°) 7,5°	(5°) 5°	115°
8	(10°) 90°	0°	0°	(10°) 115°
7	(15°) 80°	0°	0°	(10°) 105°
6	(15°) 65°	0°	0°	(21°) 95°
5	(15°) 50°	0°	0°	(24°) 74°
4	(15°) 35°	0°	0°	(25°) 50°
3	(10°) 20°	0°	0°	(20°) 25°
2	(10°) 10°	0°	0°	(5°) 5°
1	0°	0°	0°	0°

c)

İstasyon no	2. segment	4. segment	7. segment	9. segment
	Açı °	Açı °	Açı °	Açı °
19	90°	90°	64°	115°
18	(1,2°) 91,2°	(1,2°) 91,2°	(1°) 65°	(1,5°) 116,5°
17	90°	(6,5°) 90°	(5°) 64°	115°
16	90°	(11°) 83,5°	(6°) 59°	115°
15	90°	(11°) 72,5°	(6°) 53°	115°
14	90°	(11°) 61,5°	(6°) 47°	115°
13	90°	(11°) 50,5°	(6°) 41°	115°
12	90°	(11°) 39,5°	(10°) 35°	115°
11	90°	(11°) 28,5°	(10°) 25°	115°
10	90°	(11°) 17,5°	(10°) 15°	115°
9	90°	(6,5°) 6,5°	(5°) 5°	115°
8	(10°) 90°	0°	0°	(10°) 115°
7	(15°) 80°	0°	0°	(10°) 105°
6	(15°) 65°	0°	0°	(21°) 95°
5	(15°) 50°	0°	0°	(24°) 74°
4	(15°) 35°	0°	0°	(25°) 50°
3	(10°) 20°	0°	0°	(20°) 25°
2	(10°) 10°	0°	0°	(5°) 5°
1	0°	0°	0°	0°

d)

İstasyon no	2. segment	4. segment	7. segment	9. segment
	Açı °	Açı °	Açı °	Açı °
20	90°	90°	64°	115°
19	(1,2°) 91,2°	(1,2°) 91,2°	(1°) 65°	(1,5°) 116,5°
18	90°	(5°) 90°	(5°) 64°	115°
17	90°	(10°) 85°	(5°) 59°	115°
16	90°	(10°) 75°	(5°) 54°	115°
15	90°	(10°) 65°	(5°) 49°	115°
14	90°	(10°) 55°	(5°) 44°	115°
13	90°	(10°) 45°	(5°) 39°	115°
12	90°	(10°) 35°	(10°) 34°	115°
11	90°	(10°) 25°	(10°) 24°	115°
10	90°	(10°) 15°	(10°) 14°	115°
9	90°	(5°) 5°	(4°) 4°	115°
8	(10°) 90°	0°	0°	(10°) 115°
7	(15°) 80°	0°	0°	(10°) 105°
6	(15°) 65°	0°	0°	(21°) 95°
5	(15°) 50°	0°	0°	(24°) 74°
4	(15°) 35°	0°	0°	(25°) 50°
3	(10°) 20°	0°	0°	(20°) 25°
2	(10°) 10°	0°	0°	(5°) 5°
1	0°	0°	0°	0°

Profil 10 ayrı segmente ayrılmıştır. Bunlardan 1, 3, 5, 6, 8 ve 10 numaralı bölümler boy, 2, 4, 7 ve 9 numaralı bölümler açı olarak ayrılmıştır. Açı olarak ayrılan segmentlere her bir istasyonda büküm açısı değerleri verilerek büküm gerçekleştirilecektir. Boy segmentlerinde şekillendirme olmadığı için müdahale edilmemektedir. Çizelge 3.4'te sarı alan olarak gösterilen değerler profilin son halindeki ölçülerdir. Amaç, her bir istasyonda adım adım büküm açısı verilerek nihai dereceye kadar bükümdür. 1. istasyonda düz sac girdiği için büküm yoktur, 1. istasyon kılavuz görevi görmektedir. Bundan dolayı açılar 0° olarak girilir. Dördüncü senaryoyu referans alarak büküm stratejisinden bahsedecek olursak, 2 ve 9 no'lu segment 2 ile 8 no'lu istasyonlar arasında bükümleri tamamlanmıştır. Çünkü büküme en uçtaki segmentlerden bükülerek başlanmalıdır, bu segmentler tamamlanınca ortadaki segmentler bükülür. Sonrasında 4 ve 7 no'lu segment 8. istasyona kadar büküm olmayacağı için 0° girilir ve bükümler 9. istasyonda başlar. 90 ° ve 64° olana kadar adım adım büküm açıları girilerek tamamlanır. Parantez içinde olan açılar o istasyonda verilen büküm açısını göstermektedir. 19. istasyonda geri yaylanmayı önlemek için girilen malzemeye göre program, geri yaylanma açısı belirlenir ve bu açı girilir. Örneğin 2 no'lu segment için 1,2° geri yaylanma açısı belirlenmiştir. Bu değerler kadar içeri büküm yapılır, son istasyonda son haline getirilir.

3.2.2. Dinamik Analiz

Bükme analizlerinin tamamlanmasından sonra, dinamik analiz olarak tabir edilen hareketli makaralar ile simülasyon bölümüne geçilmiştir. COPRA® RF yazılımında analizi tamamlanan tasarım, COPRA® FEA MARC MENTAT yazılımına otomatik olarak aktarılmıştır. Hareketli makaralı simülasyonlarda, çekme eğrisi biliniyorsa Swift malzeme modeli kullanılmaktadır [43]. Swift yasası Eşitlik 3.1'de verilen denkleme göre formüle edilmektedir :

$$\bar{\sigma}_p = K (\varepsilon_0 + \bar{\varepsilon}_p)^n \quad (3.1)$$

$\bar{\sigma}_p$ = eşdeğer stres (MPa)

$\bar{\varepsilon}_p$ = eşdeğer gerinim (MPa)

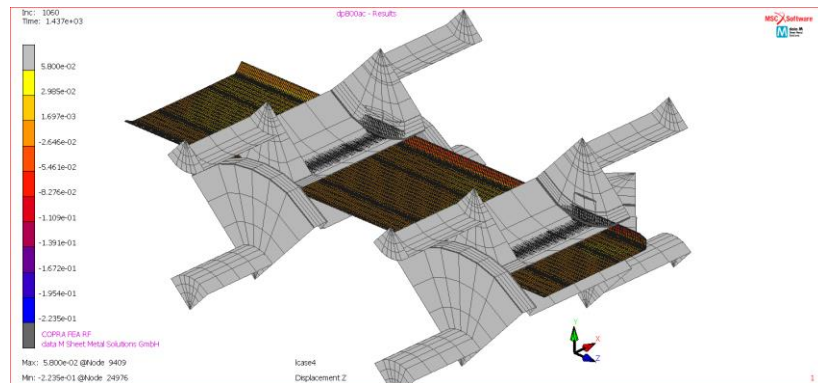
K, ε_0 , n çekme testinden elde edilen malzeme sabitleridir.

Yapılan dinamik analizlerde, kolaylık olması bakımından çekme eğrisi yerine, malzemeye ait olan mekanik özelliklerin değerleri girilerek malzeme modeli kullanılmıştır. Bu noktada, DP800 malzemesine ait akma dayanımı, çekme dayanımı ve yüzde uzama parametreleri kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te hareketli makaralı simülasyon için malzeme tanımlaması gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Malzeme özelliklerinin COPRA® FEA yazılımına girilmesi.

Makaralar, bir sınır koşulu ile form verme yönünde hareket ettirilen katı yüzeyler olarak modellenmiştir. Bu çalışmada sürtünme hesaba katılmamıştır. Şekil 3.6'da, simülasyon modelinin koordinat sistemi gösterilmiştir.

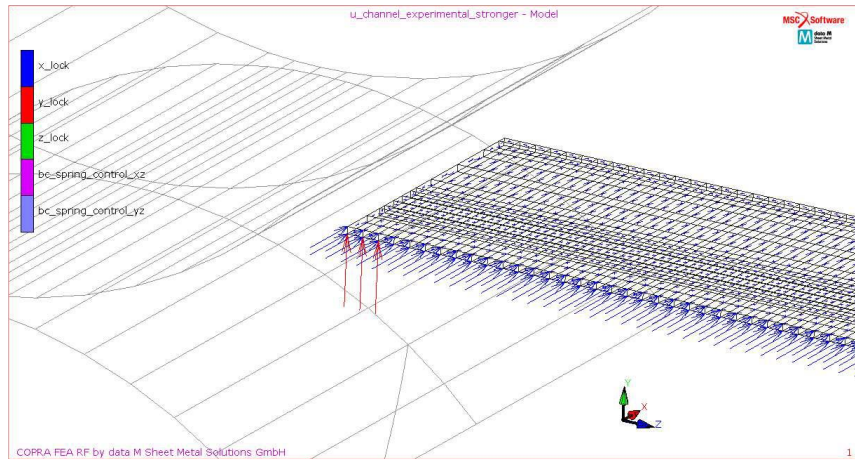


Şekil 3.6. Simülasyon modeli koordinat sistemi.

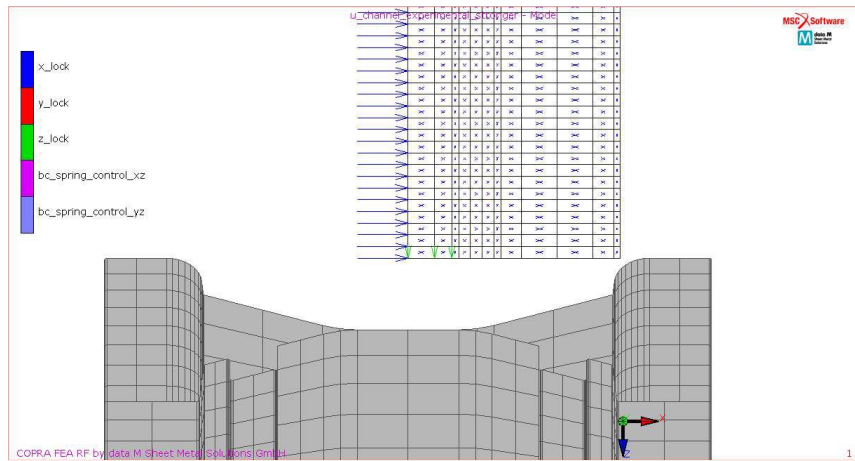
Çalıştırılan tüm simülasyonlarda standart koordinat sistemi şöyledir:

- x, sac malzemenin genişlik yönü,
- y, Sac malzemedeki kalınlık yönü,
- z, sac malzeme hareket yönü (şekillendirme yönü)

Sac malzemedeki sınır koşulları Şekil 3.7 ve 3.8’de gösterilmektedir. Sac malzemenin arka ucunda, y yönündeki son üç düğümün yer değiştirmesini sabitleyen bir y kilidi sınır koşulu kullanılmıştır. Sac malzemenin ön ucunda, ön üç düğümün z yönündeki yer değiştirmesini sabitleyen bir z kilidi sınır koşulu kullanılmıştır. Profilin ortasında, x yönündeki yer değiştirmeyi sabitleyen bir sınır koşulu vardır.



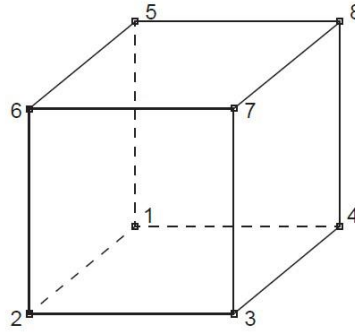
Şekil 3.7. Sac malzemenin arka ucundaki sınır koşulları.



Şekil 3.8. Sac malzemenin ön ucundaki sınır koşulları.

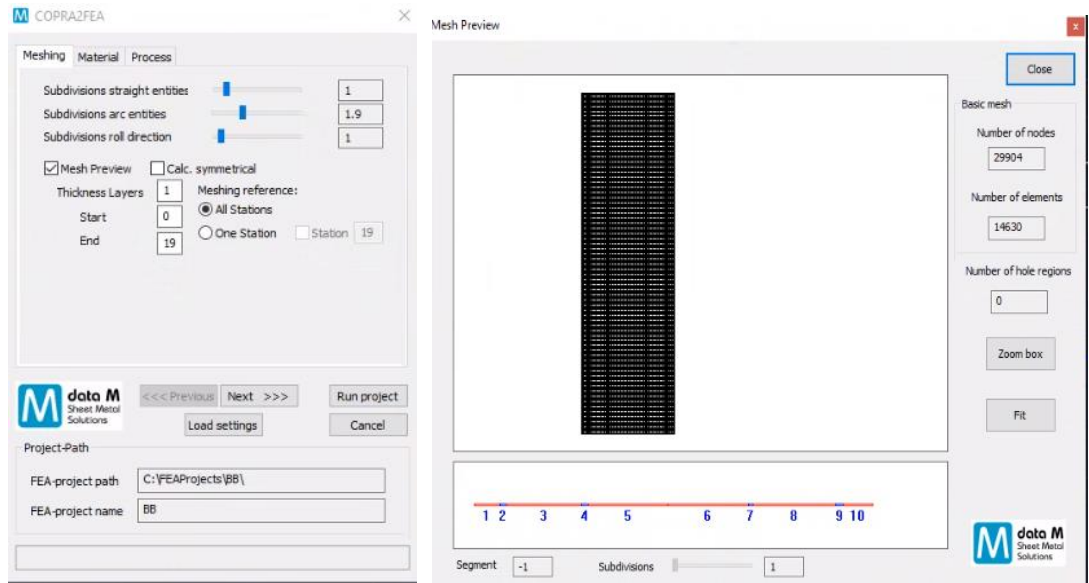
Tüm analizler için seçilen eleman tipi, Şekil 3.9’da gösterilmiştir. COPRA® FEA RF yazılımında DataM tarafından kullanılan standart öge olduğu ve çelik malzemelerin şekillendirmesinde simülasyonlarının çoğunda kullanıldığı için seçilmiştir [44].

Mevcut çalışmada, eleman tipi 7 seçilmiştir. Bu eleman tipi, üç çizgili sekiz düğümlü altı yüzlü bir katı elemandır. Eleman sertliği, sekiz noktalı Gauss entegrasyonu kullanılarak belirlenmektedir [45].



Şekil 3.9. Tip 7 elemanın düğüm numaralandırma dizisi ile şematik gösterimi [45].

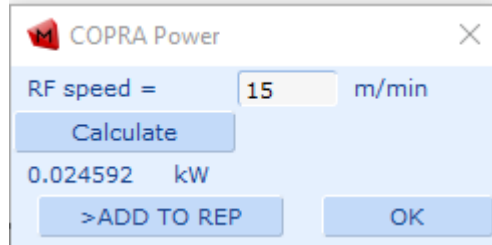
Eleman boyutu ve ağ örme işlemi Şekil 3.10’da gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Toplam node sayısı 29904, toplam eleman sayısı 14630 adettir. Nihai kesit simetrik olmadığı için, herhangi bir simetri düzlemide tanımlanmamıştır.



Şekil 3.10. Simülasyon ağının parametreleri.

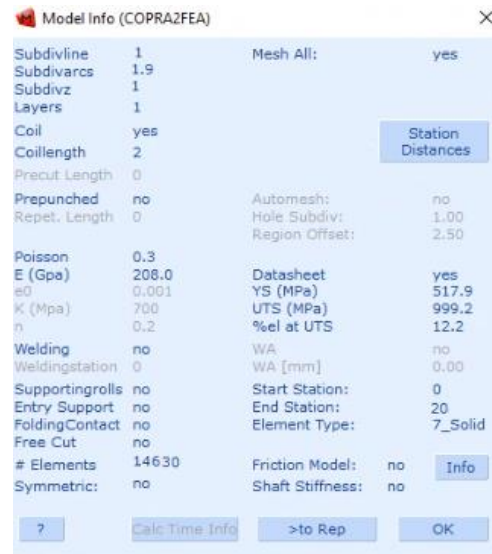
Düz olan segmentlerde (1,3,5,6 ve 8 no'lu segmentler) kullanılan ağ yoğunluğu 1 olarak tanımlanmıştır. Büküm yapılacak olan segmentlerde (2,4,7 ve 9 no'lu segmentler) kullanılan ağ yoğunluğu 1.9 olarak kullanılmıştır. Burda daha hassas bir analiz çalışması yapılması için daha sık ağ örülmüştür. Dönme yönündeki ağ yoğunluğu da 1 olarak girilmiştir.

Hattın çalışma hızı 15 m/dak, 1 ürün boyu 3 metre ve bir ürün üretim süresi 12 saniye olarak belirlenmiştir. Şekil 3.11'de sistemin çalışma hızına ait parametrelerin girişi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Sistemin çalışma hızının yazılıma girilmesi.

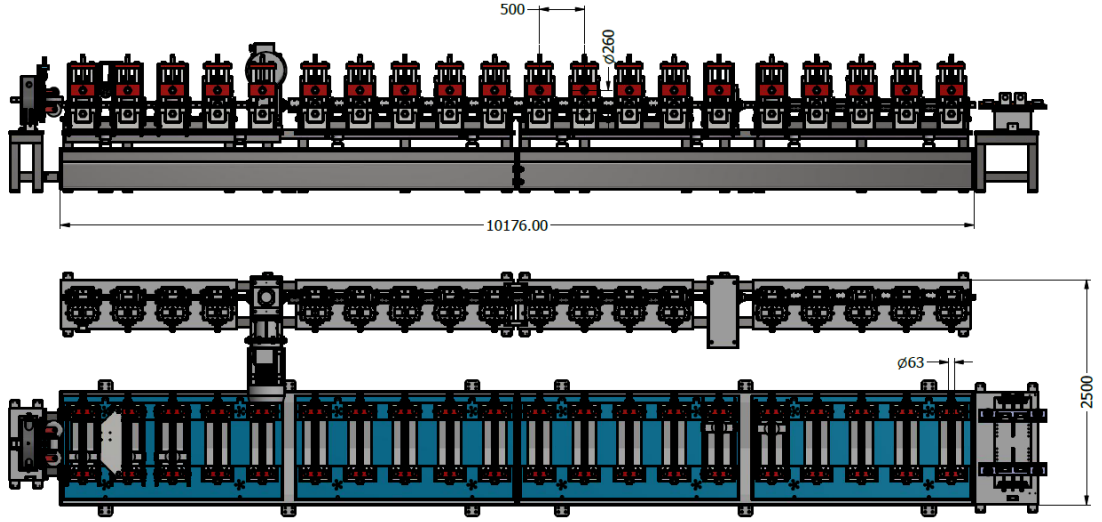
Girilen tüm parametreler Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra sonlu elemanlar yazılımı çalıştırılarak analize başlanmıştır.



Şekil 3.12. Sisteme ait girilen tüm parametreler.

3.3. DENEYSEL ÜRETİM

Makara ile sac şekillendirme işleminde, istenilen kesit ölçülerinde ve istenilen tolerans aralığında üretim yapabilmeyi etkileyen en önemli faktörlerden birisi makinenin hassasiyeti ve ölçü tamlığıdır. Şekil 3.13'te üretimi yapılan prototipin üç boyutlu görseli gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Üretilen prototipinin üç boyutlu görseli.

Analiz sonuçlarına bağlı olarak elde edilen verilere göre üretilen prototip parametreleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Bu parametrelere göre prototip üretimi yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Üretimi yapılan prototip parametreleri.

İstasyon sayısı	20
Alt makara çapı	260 mm
Üst makara çapı	260 mm
Tahvil oranı	1/1
İstasyonlar arası mesafe	500 mm
Mil çapı	63 mm
Prototip boyu	10176 mm
Prototip eni	2500 mm

BÖLÜM 4

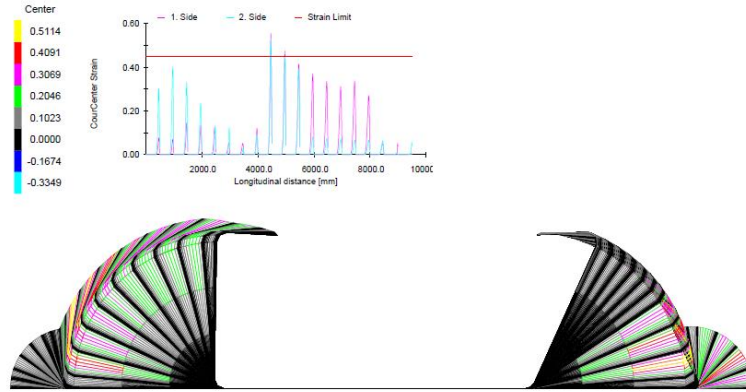
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARI

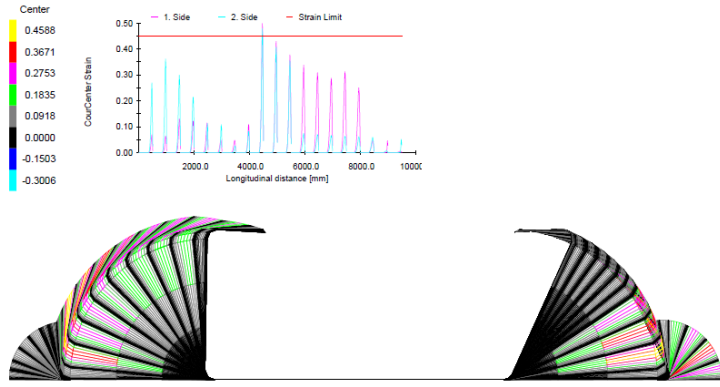
Tez çalışması kapsamında, teorik şekillendirme analizlerinden elde edilen sonuçlar, C profil kesitinde görülen birim şekil değişimleri ve hasar özelliklerine göre değerlendirilmiştir.

4.1.1. Statik Analiz Sonuçları

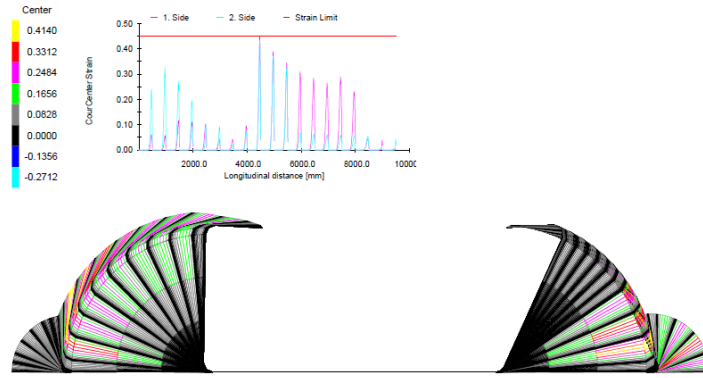
Parametre olarak girilen, makara çapları, istasyonlar arası mesafe, istasyon sayısı ve büküm açıları sonucunda, nihai ürün için segmentlerin sıralı bir şekilde büküm sonuçları elde edilmiştir. Şekil 4.1’de her bir senaryo sonucu elde edilen elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir.



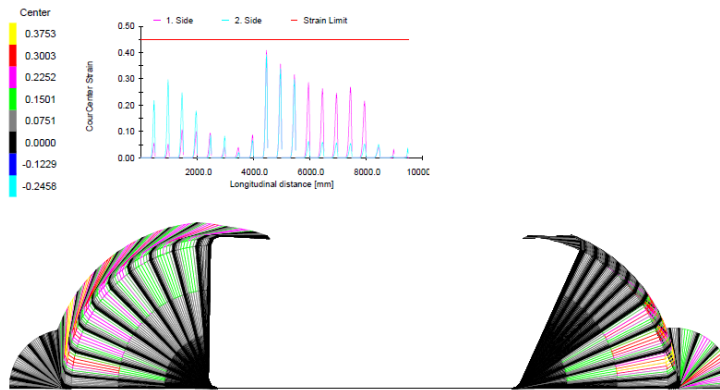
a)



b)



c)



d)

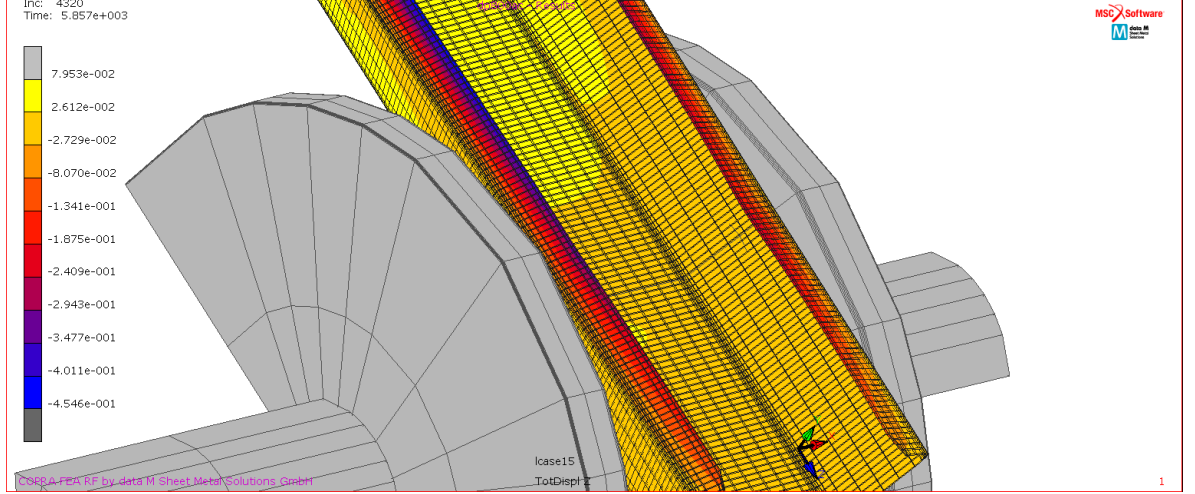
Şekil 4.1. Her bir senaryodaki parametreler sonucunda elde edilen analiz sonuçları a) birinci senaryo b) ikinci senaryo c) üçüncü senaryo d) dördüncü senaryo.

Şekil 4.1.a, Şekil 4.1.b, Şekil 4.1.c ve Şekil 4.1.d'de, senaryo 1, 2, 3 ve 4 için bükme operasyonlarına ait birim şekil değişimi/boy mesafesi değerleri görülmektedir. Resimlerde verilen renkli ölçeklendirmede, sarı bölgeler birim şekil değişiminin en fazla olduğu bölgeler, açık mavi bölgeler birim şekil değişiminin en az olduğu bölgelerdir. Bükme operasyonları sonuçlarında, 0,45 birim şekil değişimi limit değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer malzemenin akma sınırı $R_p0,2$ 'dir ve simülasyon yazılımı tarafından belirlenmektedir. Bu bölgenin üzerinde olan şekil değişimlerinde, limit değerinin aşılması ve buna bağlı olarak hataların meydana gelmesi mümkündür. Şekil 4.1.a, Şekil 4.2.b, Şekil 4.3.c'de görüldüğü üzere biri şekil değişimleri parçanın ortasına doğru, sınır çizgi üzerinde kalarak güvenli bölgeden çıkmıştır. Bu durum üretim esnasında olası hatalara neden olacaktır. Bükme operasyonları birim şekil değişimlerinde elde edilen bilgiler doğrultusunda senaryo 4 olan, 20 istasyonlu makara ile sac şekillendirme işlemi, limit birim şekil değişimlerinin altında kalarak, hatasız bir üretimin üretileceği ön görülmektedir. Bu analizler sonucunda, istasyon arası mesafe 500 mm, alt ve üst makara çapları 260 mm, tahvil oranı 1/1, istasyon sayısı 20 ve bant genişliğinin 230 mm olarak belirlenmiştir.

4.1.2. Sehim Değerleri

Sac malzemenin Z yönünde verilen çizgisel hızına bağlı olarak, meydana gelen taban sehimleri incelenmiştir. Grafiklerde verilen aralıklar Z yönünde verilen çizgisel hızın plastik şekil değişim değeridir. Belirlenen sınır değerinin aşılması sonucunda, sac malzemede plastik şekil değişimi sonucu hatalar meydana gelebilmektedir. Buradaki sehimin göz ardı edilemeyecek kadar çok olması sacın istasyon aralığında yığılmasına sebep olmakta ve makinenin çalışmasını etkilemektedir.

Senaryo 4'e göre simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler örnek olarak 15 no'lu istasyon için Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Diğer istasyonlar için elde edilen çıktılar Ek-A'da gösterilmiştir. 1 nolu istasyon kılavuz, 20 nolu istasyon ütüleme görevi gördüğü için simülasyon sonuçları dikkate alınmamıştır.

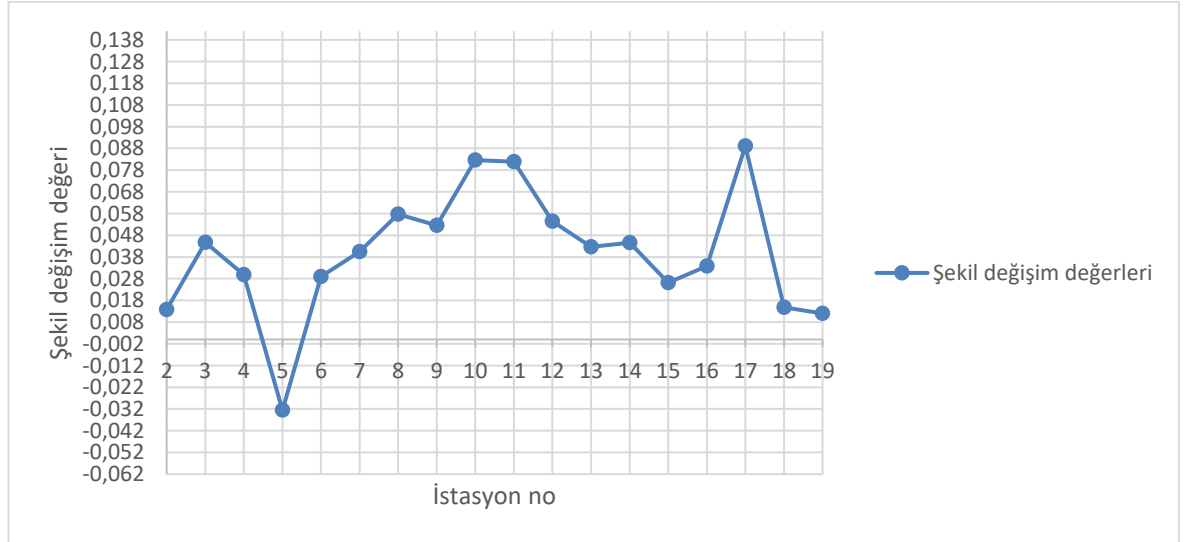


Şekil 4.2. 15 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.

Bütün istasyonlardaki saca etki eden kuvvetlere göre oluşan, sacın ilerleme yönündeki alt ve üst sınır şekil değişim değerleri ile gerçekleşen maksimum şekil değerleri değerleri sonlu eleman analizleri ile bulunmuştur. Şekil 4.2'de gösterilen simülasyon sonucundaki sol kısımda yer alan değerlerin karşılığı olan renk skalası görülmektedir. Gri alan maksimum üst sınırı, en altta yer alan mavi alan ise minimum alt sınırı göstermektedir. Şekil üzerinde meydana gelen gri renk skalasına en yakın renge karşılık gelen değer ise gerçekleşen en üst şekil değişim değeri olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler senaryo 4'e göre tüm istasyonlar için Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Senaryo 4'e göre istasyon numarasına göre birim şekil değişim grafiği Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Maksimum ve minimum birim şekil değişimlerinin, sac malzemenin alt ve üst limit şekil değişim değerlerini aşmaması, aksi takdirde, kesit bükülmesi yerine, boyuna uzamanın meydana geleceği belirtilmektedir [38].

Çizelge 4.1. Her bir istasyonda sac malzemeki alt ve üst sınır ve oluşan birim şekil değişim değerleri.

İstasyon no	Alt sınır şekil değişim değeri	Üst sınır şekil değişim değeri	Oluşan maksimum şekil değişim değeri
2	-0,0621	0,08973	0,01382
3	-0,0594	0,07067	0,04466
4	-0,2235	0,058	0,02985
5	-0,1497	0,08461	-0,03257
6	-0,1497	0,04823	0,02902
7	-0,1038	0,05653	0,04049
8	-0,2897	0,09622	0,05763
9	-0,45	0,1085	0,05261
10	-0,4577	0,1426	0,08262
11	-0,4501	0,1409	0,08183
12	-0,4369	0,1091	0,05445
13	-0,411	0,09306	0,04266
14	-0,4136	0,09541	0,04451
15	-0,4546	0,07953	0,02612
16	-0,4752	0,09039	0,03383
17	-0,3425	0,137	0,08906
18	-0,2703	0,086	0,01475
19	-0,1295	0,1062	0,01193

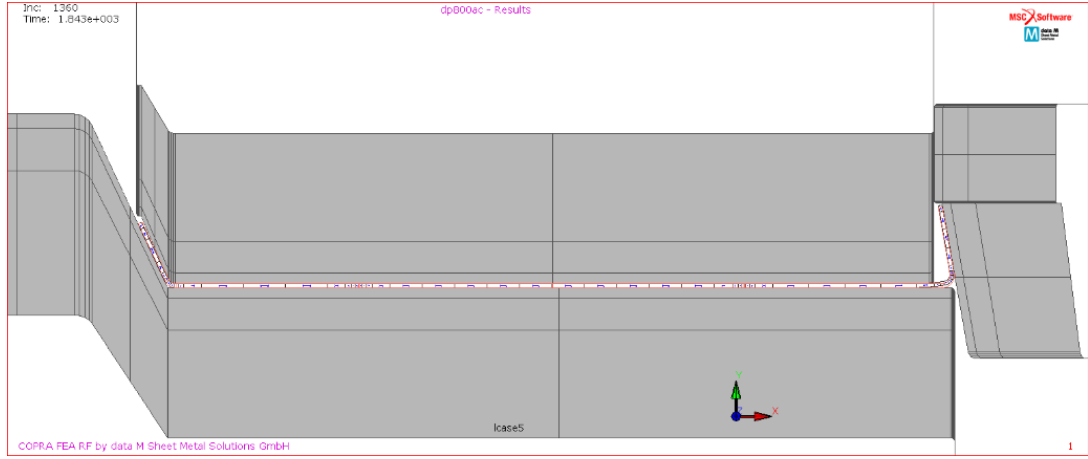


Şekil 4.3. Birim şekil değişim grafiği.

Elde edilen grafikten anlaşılacağı gibi, tüm istasyonlarda şekil değişim değerlerinin üst sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

4.1.3. Kesit Karşılaştırması

Kesit karşılaştırması ile, üretilmek istenen profil kesiti ile, Copra RF® FEA sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilen kesit karşılaştırması yapılarak herhangi bir şekil değişimi olup olmadığı kontrol edilebilmektedir. Bu karşılaştırma sonucunda, kulak radyüs ve bükümlerde problem olmadığı saptanmıştır. Örnek olarak 5 no'lu istasyon için kesit karşılaştırması Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Kırmızı olan istenilen, mavi olan ise analizden elde edilen kesittir. Diğer istasyonlar için elde edilen çıktılar Ek-A'da gösterilmiştir.

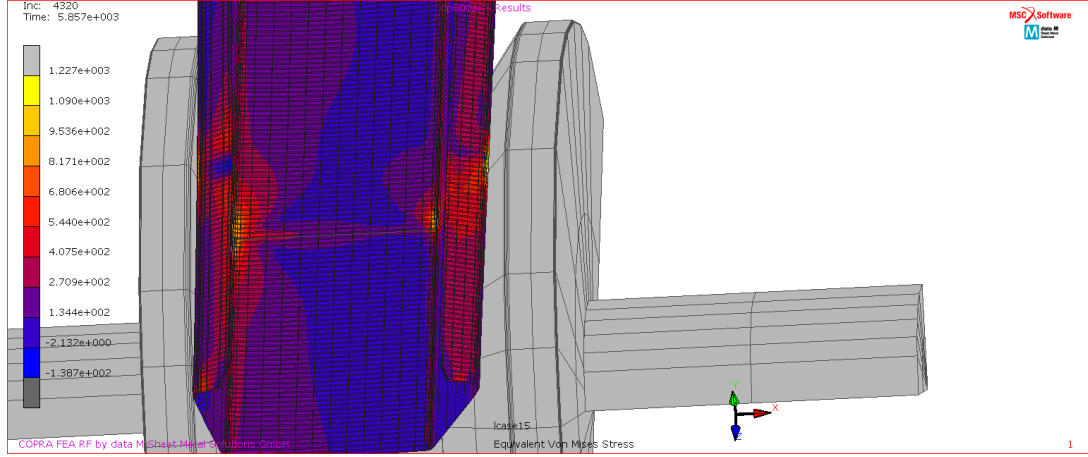


Şekil 4.4. 5 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.

4.1.4. Von Mises Gerilmeleri

Makaralı sac şekillendirme işlemi bir kalıcı plastik şekil değiştirme işlemi olduğundan bölgesel gerilmeler önem arz etmektedir. Von Mises gerilmesi yapının herhangi bir yükleme durumunda plastik şekil değişimine uğramış olup olmadığını belirlemek için hesaplanan bir değerdir. Herhangi bir noktada hesaplanan gerilmeler, deneysel olarak ölçülen akma noktası ile karşılaştırılabilir. Sac malzemeye istenilen oranda şekil değiştirme kuvveti uygulanıp uygulanmadığına bakılmaktadır. Gerilmeler belli bir sınırı aştığı durumda sac malzemede hasar oluşmaya başlamaktadır. Sınır değeri Santos vd. yapmış oldukları çalışma ile karşılaştırılmıştır. Yapmış oldukları çalışmada DP800 malzemenin plastik şekil değiştirme üst sınır değeri 850 MPa olarak

belirlemişlerdir [47]. Baskıları “y” yönünde uyguladığımız için “y” yönündeki Von Mises gerilmeleri büyük olacağından bu yöndeki elemanlar üzerindeki gerilmeler dikkate alınmıştır. Senaryo 4’e göre simülasyon sonucu 15 no’lu istasyonda oluşan von mises gerilmeleri şekil 4.5’te gösterilmiştir. Diğer istasyonlar için elde edilen çıktıları Ek-A’da gösterilmiştir.

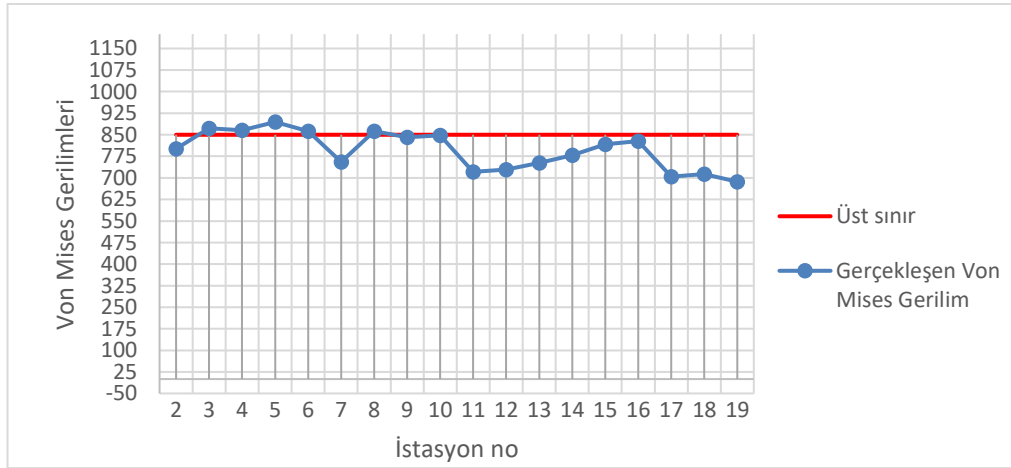


şekil 4.5. 15 no’lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.

şekil 4.5’te gösterilen simülasyon sonucunda sol kısımda yer alan değerlerin karşılığı olan renk skalası görölmektedir. Gri alan maksimum üst sınırı, en altta yer alan mavi alan da minimum sınırı göstermektedir. şekil üzerinde meydana gelen gri renk skalasına en yakın renge karşılık gelen değer ise gerçekteşen en üst gerilim olarak belirlenmiştir. Senaryo 4’e göre elde edilen bu değerler tüm istasyonlar için Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre elde edilen grafik şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Her bir istasyonda meydana gelen alt ve üst sınırlar ile oluşan Von Mises gerilmeleri.

İstasyon no	Alt sınır Von Mises gerilme (MPa)	Üst sınır Von Mises gerilme (MPa)	Oluşan maksimum Von Mises gerilme (MPa)
2	-138,7	1204	801,5
3	-64,07	1273	871,9
4	-27,52	1249	866
5	-74,59	1309	894,2
6	-62,26	1259	862,4
7	-56,44	1298	755,9
8	-97,28	1274	862,8
9	-98,6	1244	840,9
10	-89,95	1250	847,7
11	-70,97	1249	721
12	-41,21	1242	728,8
13	-57,51	1292	752,4
14	-16,32	1309	778,7
15	138,7	1227	817,1
16	113,8	1231	827,4
17	104,8	1243	703,7
18	-81,96	1243	712,8
19	-80,53	1198	686,4



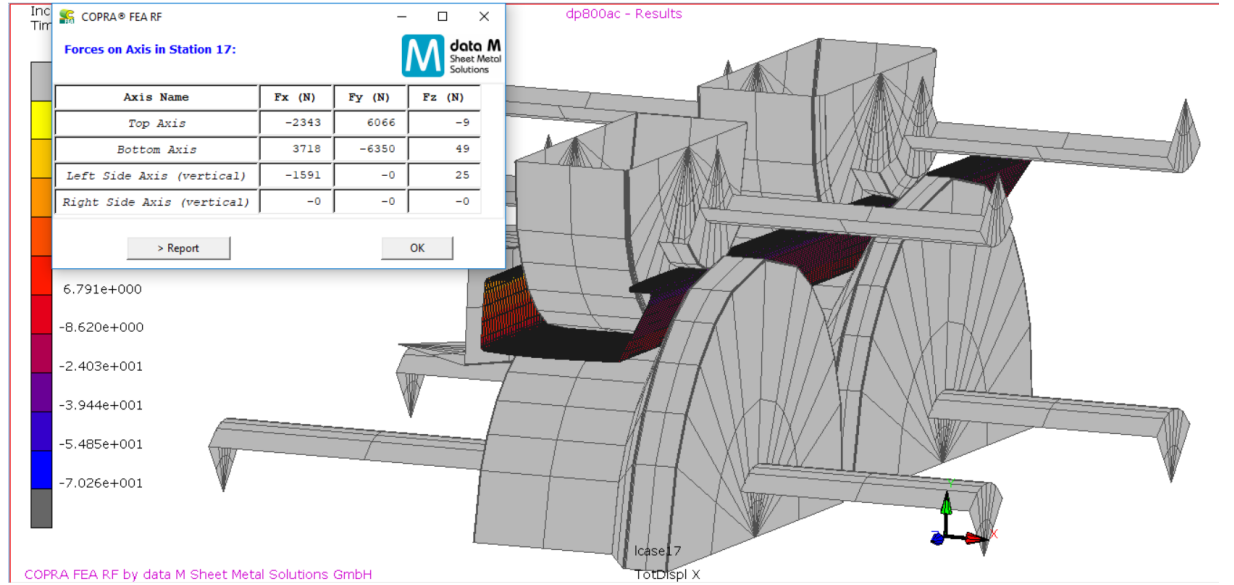
Şekil 4.6. Von Mises grafiği.

Elde edilen grafikten yola çıkarak, yapmış oldukları çalışmadaki üst limit sınırı olan 850 MPa referans alınarak [47] karşılaştırıldığına; 3,4,5,6 ve 8 no'lu istasyonlarda meydana gelen gerilme üst sınırı aştığı görülmektedir. En yüksek gerilme ise 894,2 MPa olarak 5 no'lu istasyonda görülmüştür. En yüksek sapma %4,94 oranında olduğu görülmüştür. Üst sınırın değerinin aşması demek, plastik deformasyonların

oluşabileceği, bu istasyonlarda meydana gelebilecek hataların profilin geometrisinde hatalara neden olabileceği söylenebilir.

4.1.5. Makara Çapı Kontrolü

Çalışmada, mil çapının uygunluğu kontrol edilmiştir. Baskıları “y” yönünde yüklediğimiz için “Fy” değerlerine bakılması gerekmektedir. Millerde zorlanmaların olmaması için alt ve üst mil kuvvetlerinde eşdeğer bir yük olması gerekmektedir. Şekil 4.7’de gösterildiği gibi 17. istasyondaki Fy (N) kuvvetlerine bakıldığında üst mile etki eden kuvvet 6066 N, alt mile etki eden kuvvet 6350 N’dir. Alt ve üst mile etki eden yük eşdeğerdir. Burdan çıkarılacak sonuca göre, seçilen mil çapının uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Makara çapı kontrolü.

4.1.6. Üretilen Profilin Ölçümlerine Ait Kesit Detayları

Tez kapsamında yapılan simülasyon çalışmaları sonrasında, elde edilen parametrelere göre prototip üretim hattı imal edilmiştir. Prototipte üretilen profil Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu hattan üretilen profiller COPRA® DT200 profil tarama cihazı ile lazer tarama metodu kullanarak dış ölçüleri ölçülmüş ve AutoCAD ortamına aktarılmıştır. Üretilen profilin son ve başlangıç kısımlarında boy kesme bıçağından meydana gelebilecek açılmalar olabileceğinden, profilin orta alanı taranarak ölçümler alınmıştır. Tarama cihazı Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Profil ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmış verilen toleranslar içinde olup olmadığı tayin edilmiştir.

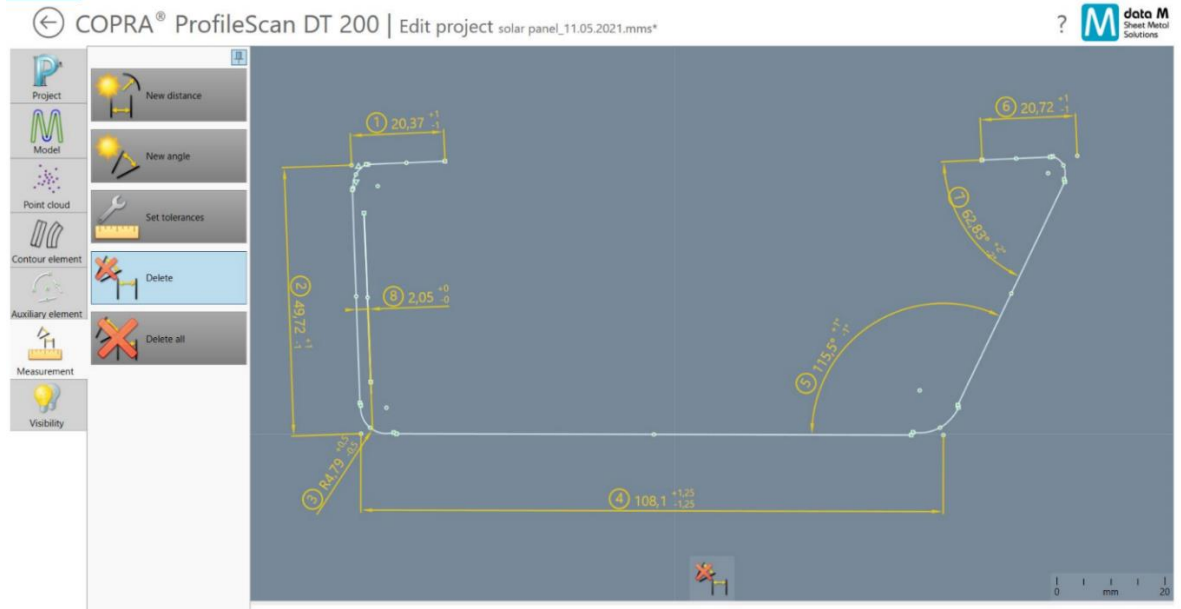


Şekil 4.8. Üretilen C kesitli profil.



Şekil 4.9. COPRA ® DT 200 lazer profil tarama cihazı.

COPRA® DT 200 üç boyutlu lazer tarama cihazında elde edilen ölçümler Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Üretilen profilin tarama cihazında ölçülen ölçüleri.

Çizelge 4.3. Hedeflenen ile ölçülen kesit ölçülerinin karşılaştırılması.

No	Hedeflenen	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Sonuç
1	20	20,37	±1	0,37	
2	50	49,72	±1	-0,28	
3	R 4,5	R 4,79	±0,5	0,29	
4	108,8	108,1	±1,25	0,7	
5	115°	115,5°	±1	0,5	
6	20	20,72	±1	0,72	
7	64°	62,83°	±2	1,17	
8	2	2,05			

Prototip üretim hattında üretilen C kesitli profillerin, TS EN 10162 [42] standardına göre belirlenen tolerans aralığında üretimin yapıp yapılmadığı kontrol edilmiştir. Bu çalışmada esas konu, son profilin boyutlarının değerlendirilmesidir. Yapılan ölçümlere göre Çizelge 4.3'te hedeflenen, ölçülen, tolerans değerleri ve sapma miktarları verilmiştir. Sonuç bölümünde yeşil olarak işaretlenen ölçüler uygun ölçü ve tolerans aralığında olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi sapmalar ilgili standart aralığında olduğu için kabul edilebilir olarak dikkate alınmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, DP 800 yüksek mukavemetli sac malzeme kullanılarak, C kesitli profilin makara ile sac şekillendirme yöntemiyle üretilmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, C kesitli profilin makara ile sac şekillendirme için istasyon sayısı, istasyonlar arası mesafe, makara çapları gibi büküm parametreleri belirlenmiş, daha sonra sacın şekillendirme analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen teorik analiz sonuçları doğrultusunda, C kesit profilin üretimi yapılarak, ölçü tamlığı ve hassasiyeti 3 boyutlu lazer ölçüm cihazı taranmış, elde edilen ürün ve tasarlanan ürün arasındaki ölçüsel farklar belirlenmiştir. Sonuç olarak;

- İstasyon sayısı 17, 18, 19 ve 20 olarak belirlenen dört farklı senaryo içerisinde, büküm açılarının daha az artış gösterdiği istasyon sayısı 20 olan senaryo 4 en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Senaryo 4'e göre şekillendirme analizlerinin başarılı olabilmesi için alt ve üst makara çaplarının $\text{Ø}260$ mm ve istasyonlar arası mesafenin 500 mm olması gerektiği belirlenmiştir.
- Sac malzemenin ilerleme yönü olan “z” yönündeki şekil değişim değerleri teorik analizler sonucunda elde edilmiştir. Bu bağlamda, tüm istasyonlar ve senaryolar incelendiğinde, birim şekil değişimlerinin 0,45 limit değerini aşmadığı görülmüştür. Ayrıca, üretim hattı ile elde edilen prototip ürünün şekillendirme sınırları, teorik analizlerden elde edilen sonuçlar ile uyumlu şekillendirme sınırları göstermiştir.
- Makaralı sac şekillendirme esnasında sac malzemede meydana gelen gerilme yığılımları için, teorik analizlerden Von Mises gerilme dağılımı incelenmiştir. Plastik şekillendirme bölgesi içerisinde en yüksek dayanım sınırı olan 850MPa limit altında, birçok istasyonda gerilme dağılımı elde edilmiştir. Ancak, 3, 4, 5,

6 ve 8 no'lu istasyonlarda gerilmelerin üst sınırı aştığı ve bu noktalarda en fazla gerilme farkının %4,94 olarak olduğu görülmüştür.

- Lazer tarama cihazı ile üretilen ürün ve bilgisayar ortamındaki model arasındaki fark incelendiğinde, nihai geometrik ve bilgisayar modeli arasında uyum olduğu, en yüksek sapmanın açılmalarda, yaklaşık %1,17 olduğu belirlenmiştir.

İlerideki çalışmalar

- Baskı ayarlarının operatörün kontrolüne bırakılmasını önleyecek sistem düzenlenecektir. Simülasyon sonucundan alınan baskı kuvvetlerine göre alt üst limitler belirlenecektir. İstasyon baskı blok millerine servo motorlar bağlanacaktır. Mil ile blok arasına kuvvet sensörleri yerleştirilerek olması gereken baskı ayarını sistem otomatik olarak ayarlayacak böylelikle ayar zamanı ve hata oranları minimize edilecektir.
- Bir sonraki çalışmalarda makaralı sac şekillendirme makinasında şekillendirme işlemi tamamlanan profilin boy kesme ünitesinde istenilen boyda boyu kesilmektedir. Boy kesme ünitesi simülasyon sürecine dahil edilmemekte ve olması gereken zımba şekli tasarımcının tecrübesine bırakılmaktadır. Bu durum, profilin kesim kısımlarında açılmalara sebebiyet vermekte, hata oranlarını arttırmakta ve maliyetleri arttırmaktadır. Yapılacak olan simülasyon çalışmalarına boy kesme ünitesi de dahil edilecek ve en optimum bıçak tasarımı belirlenecektir.

KAYNAKLAR

1. Kiuchi, M., "Analytical study on cold roll form-ing process", *Rep. of the Inst. Ind. Sci.*, Tokyo, 23 (1): 1-43 (1973).
2. Chryssolouris, G., "Manufacturing Systems-Theory and Practice", 2nd ed, Springer-Verlag, Berlin, 125-128 (2005).
3. Lange, K., "Handbook of Metal Forming", Çeviri Editörü, *McGraw-Hill*, Almanya, 225-228 (1985).
4. Halmos, George T. "Roll Forming Handbook" Çeviri Editörü, *Geoffrey Boothroyd*, Florida (2006).
5. Lindgren, M., "Modelling and simulation of the roll forming process" Licence Thesis, *Luleå University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering*, İsveç, 1 (1): 14-15 (2015).
6. Hellborg, S., "Finite element simulation of roll forming", M. Sc. Thesis, *Linköping University Institute of Technology, Department of Management and Engineering*, İsveç, 9-10 (2007).
7. İnternet: Data M Scandinavia AB, "Software for Roll Forming-COPRA®RF", <http://www.datam.de/en/products-solutions> (2017).
8. İnternet: UBECO PROFIL, "Rollform Design Software", <http://www.ubeco.com/profil.htm> (2016).
9. İnternet: Shape orp., "Metal Processing", <http://www.shapecorp.com/about/steel-processing> (2009).
10. Sukmoo, H., Seungyoon, L., and Naksoo, K., "A parametric study on forming length in roll forming", *J. Mater. Process. Techn.* (113): 774-778 (2001).
11. Kasaeia, M. M., Naeini, M. H., Azizi, T. R., and Tehrani, M. S., "Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion", *Journal of Materials Processing Technology*, (214): 190-199 (2013).
12. Brunet, M. B., Lay, P., "Computer aided design of roll-forming of channel sections," *J. Mater. Process. Techn.* (60): 209-214 (1996).
13. Kiuchi, M., Suzuki, H. and Nakajima, S., "Experimental investigation on cold roll forming process", *Rep. of the Inst. Ind. Sci.*, (22): 84-172 (1972).

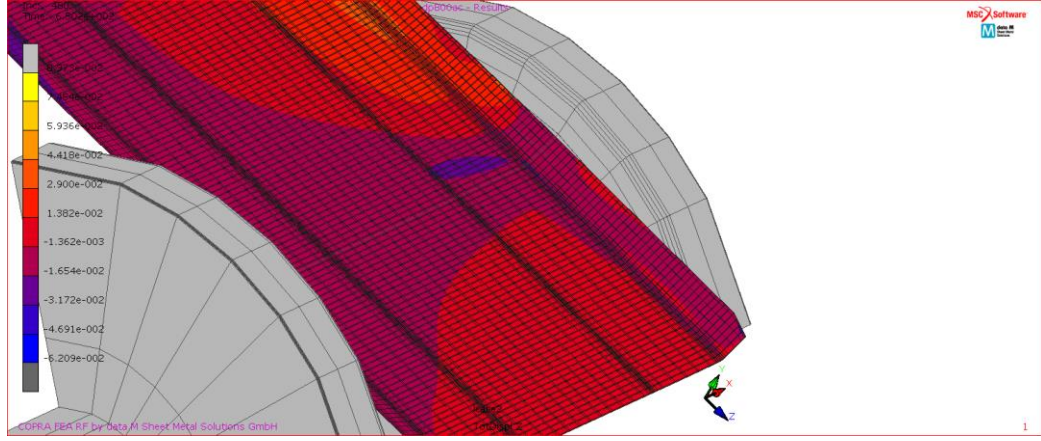
14. Bhattacharyya, D. and Smith, P.D., "The development of longitudinal strain in the cold roll forming and its influence on product straightness", *1st International Conf. on Tech, of Plasticity, Tokyo, The Japan Soc. for Technol. of Plasticity*, (1): 422-427 (1984).
15. Duggal, N., "Process Simulation of roll forming and roll pass design" M. Sc. Thesis, *The Ohio State University Department of Mechanical Engineering*, USA, 15-16 (1995).
16. Abee, André, Albert Sedlmaier, and Carl Stephenson, "Development of new 3D roll forming applications by means of numerical analysis as a part of a quality control methodology." *CBM Metal Matters*, 2 (18): 21–24 (2010).
17. Dönmez, O. E., "Makaralı bükme işleminde ince sacların kenar dalgalanma kusurunun deneysel incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi" Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 34-35 (2007).
18. Paralikas, I. N., "Cold roll forming process energy efficiency optimization" Ph. D. Thesis, *University of Patras Department of Mechanical Engineering*, Patras, 17-18 (2012).
19. İnternet: Indo German Toolings "Metal Processing", <http://lanvrtoolings.com/product.html> (2021).
20. Brunet, M., Mguil, S., and Pol, P., "Modelling of a roll forming process with a combined 2D and 3D code" *J. Mater. Process. Technol.*, 80-81, 213-219 (1998).
21. Lindgren, M., "Finite element model of roll forming of a U-channel", *International Conf. on Tech. of Plasticity*, 15-16 (2005).
22. İnternet: EAE Makina "Sac İşleme Makinaları ve Otomasyonu", <https://www.eaemachinery.com/> (2020).
23. İnternet: Handley Group "Cold Rollforming", <https://www.hadleygroup.com/capabilities/cold-rollforming> (2020).
24. Yüksel, R., "Yolcu koltuğu ayaklarında malzeme değişkenliğinin ve malzeme kalınlığının bilgisayar ortamında mekanik analizi, maliyet analizi ve optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-16 (2020).
25. Ferreira, P. B. F., "Roll forming – a study on machine deflection by means of experimental analysis and numerical developments" M.Sc. Thesis, *University of Porto Mechanical Engineering to the Faculty of Engineering*, Porto, 14-15 (2016).
26. Suzuki, H., McEvily, A.J., "Microstructural Effects on Fatigue Crack Growth in a Low Carbon Steel" *Metallurgical Transactions A*, 10 (4): 475-481 (1979).

27. Lahaije, C., Blowey, A., Loiseaux, J., Ennis, B., Lonescu, C., and Berkhout, B., “Mass saving potential of DP800HyperForm against HSLA grades for BIW applications” *4th International Conference on Steels in Cars and Trucks*, Germany, (2014).
28. Almedia, L. O. C., Lima, L. H. L., and Pereira, S. M., “Springback comparison between DP600 and DP800 steel grades”, *Materials Research Express*, vol:7 (2020).
29. Gülçeken, E., “Modelling of flexible roll forming”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 97-98 (2006).
30. Abcc, A., “Increasing roll forming know-how for practical verification and improving production quality by use of numerical simulation”, *ICIT 2003 4th International Conference on Industrial Tools*, Bled (2004).
31. Alvarez, W., “Roll form tool design: fundamentals” New York, 2-3 (2006).
32. Doğan, S., “Araç koltuk kızağının roll forming işlemi ile üretilmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 17-18 (2018).
33. Angel, R. T., “Designing Tools for Cold Roll Forming”, *The Iron Age*, 16 (3): 83-88 (1949).
34. Abeyrathna, Buddhika, Bernard Rolfe, Peter Hodgson, and Matthias Weiss, “Effect of forming sequence on product straightness and springback in roll forming” *Proceedings of the 2014 International Deep- Drawing Research Group Annual Conference*, Paris, 153–58 (2014).
35. Safdarian, R., Naeini, M. H., “The effects of forming parameters on the cold roll forming of channel section”, *Thin-Walled Structures*, :(92): 130-136 (2015).
36. Nallapati, S.R., “CAD for roll forming process”, Ph. D. Thesis, *West Virginia University, Morgantown*, West Virginia (1996).
37. Ona, H., Jimma, T. and Kozono, H., "A Computer Aided Design System for Cold Roll Forming", *Adv. Technol. of Plasticity, Proc. 1st Int. Conf. on Tech, of Plasticity, The Jap. Soc. for Technol. of Plasticity*, (1): 422-427 (1984).
38. SalmaniTehrani, M., Hartley, P., MoslemiNaeini, H., ve Khademizadeh, H., “Localised edge buckling in cold roll-forming of symmetric channel section”, *Thin-Walled Structures*, 44 (2): 184-196 (2006).
39. Halmos G.T., “Trends in roll forming processes”, *Sheet Metal Industries*, 60 (1): 38-41 (1983).
40. Jimma, T., ve Ona, H., “Optimum Roll Pass Schedules On The Cold Roll Forming Process of Symmetrical Channels”, *Proceedings of the Twenty-first International Metal Design & Research Conference*, 63–69 (1980).

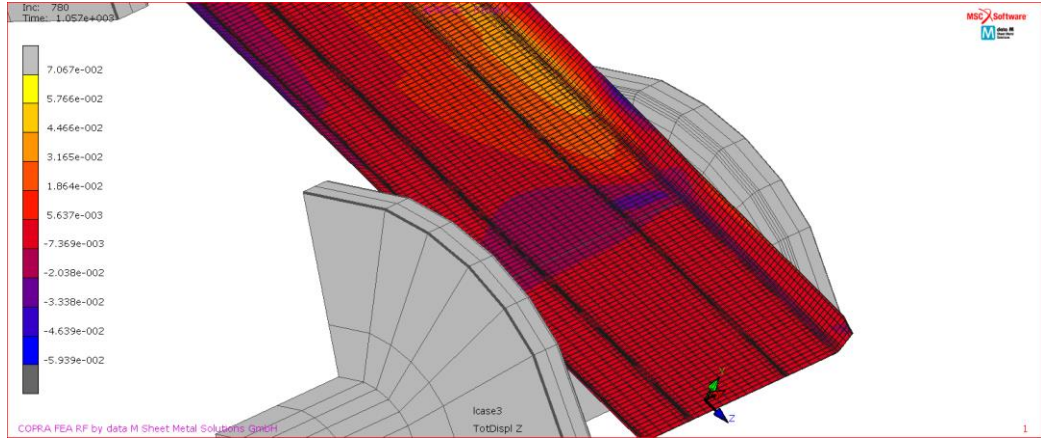
41. Ogawa, H., Tamura, K., and Nakagawa, T., “Pipe formation from long-length sheet plate using successive press bending UO formation method”, *Plasticity and Processing*, (25): 239–281 (1984).
42. TS EN 10162, “Çelik profiller-soğuk haddelenmiş-teknik teslim şartları-boyut ve kesit toleransları”, TSE, ICS 77.140.70, Ankara (2006).
43. Swift, H. W., “Plastic Instability under Plane Stress”. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 1 (1). Elsevier: 1-18 (1952).
44. Data M SMS. 2015. “COPRA RF-Rollforming the Future: Data M.” <http://www.datam.de/en/home/>.
45. MSC Software. Marc® 2013 User Manual - Volume B: Element Library. Santa Ana, CA (2013).
46. Çelen, S.,” Sanayi 4.0 ve Simülasyon” *International Journal Of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1 (1): 9-26, (2017).
47. Santos, R. O., Silveira, L. B., Moreira, L. P., Cardoso, M. C., Silva, F. R. F., Paula, A. S., Albertacci, D. A., “Damage identification parameters of dual-phase 600-800 steels based on experimental void analysis and finite element simulations”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1): 644-659 (2019)

EK AÇIKLAMALAR A.

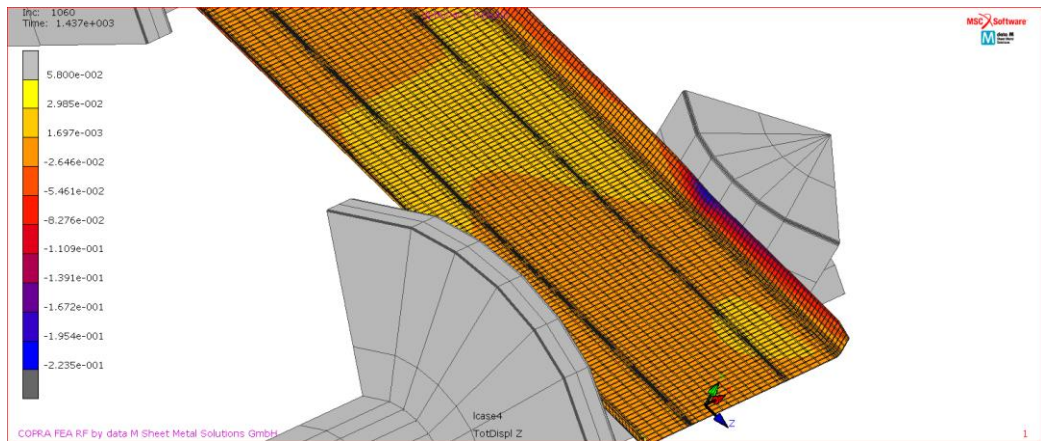
SİMÜLASYON SONUÇLARI



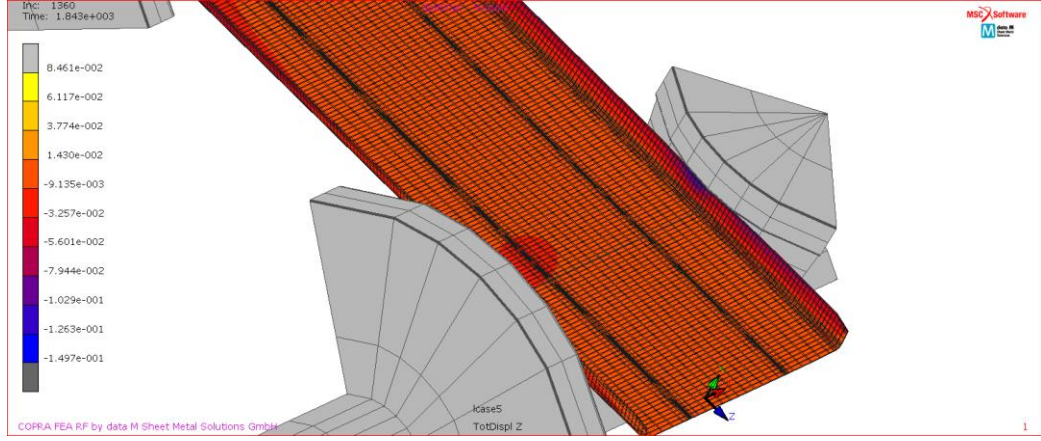
Şekil Ek A.1. 2 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



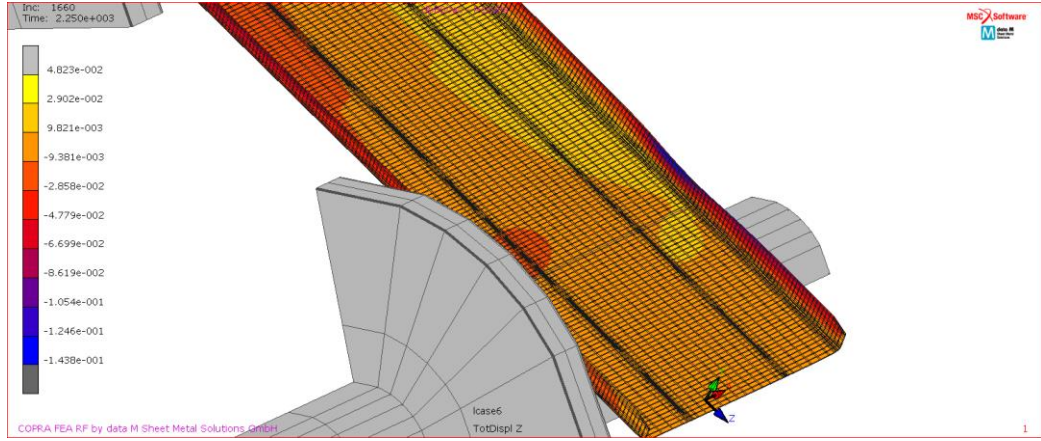
Şekil Ek A.2. 3 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



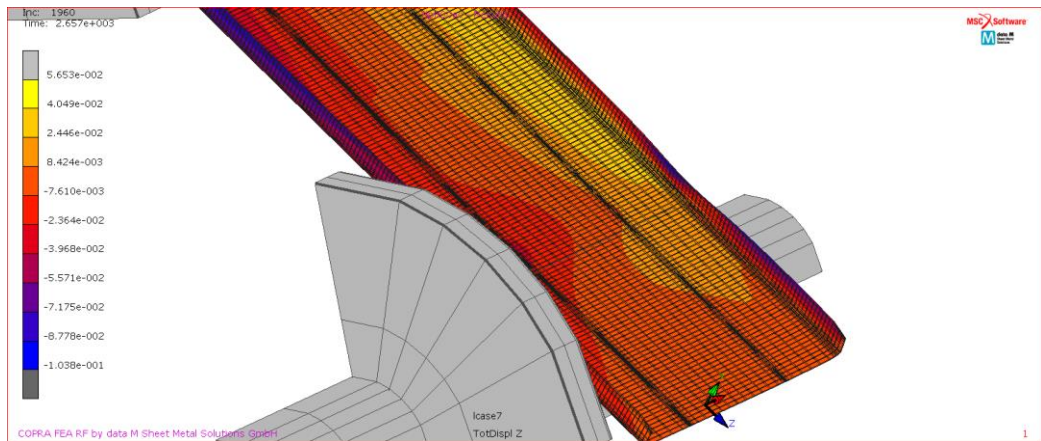
Şekil Ek A.3. 4 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



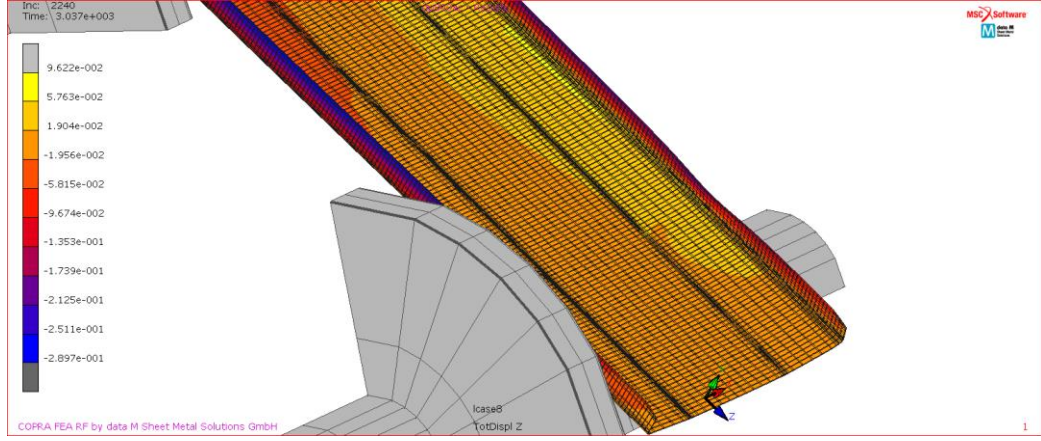
Şekil Ek A.4. 5 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



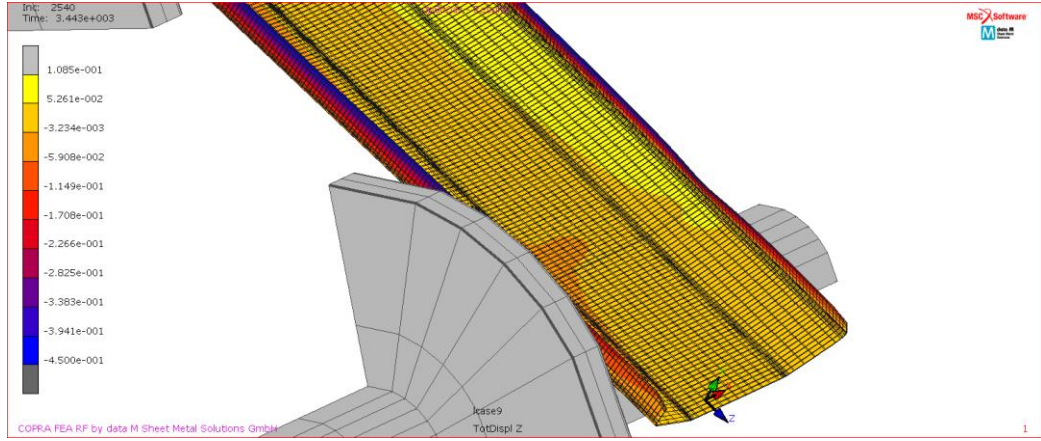
Şekil Ek A.5. 6 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



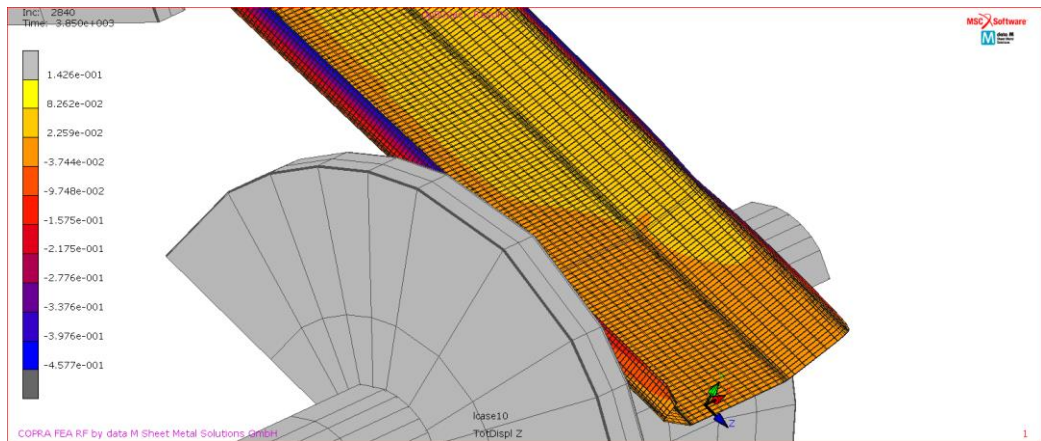
Şekil Ek A.6. 7 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



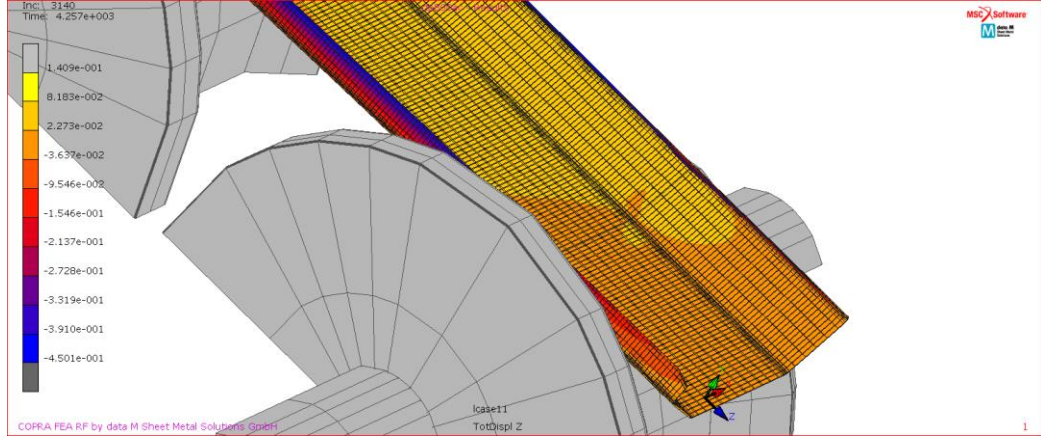
Şekil Ek A.7. 8 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



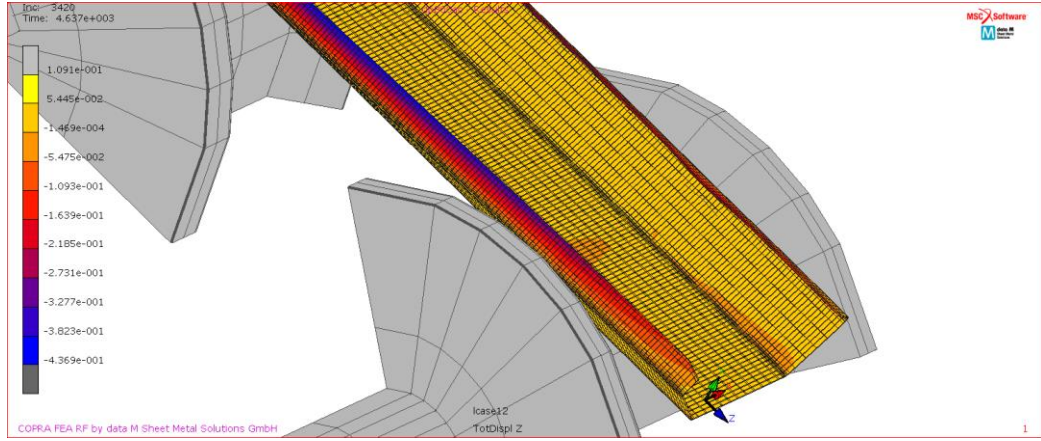
Şekil Ek A.8. 9 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



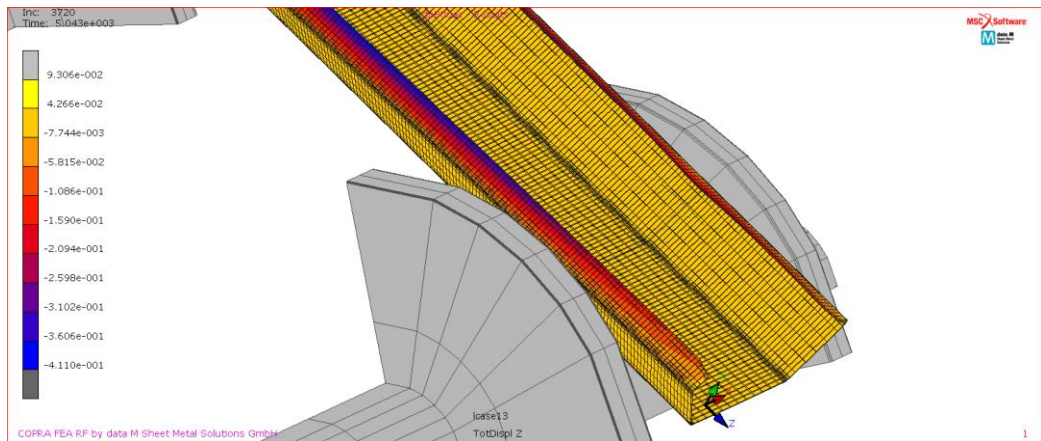
Şekil Ek A.9. 10 no'lu istasyondaki birim şekil değişim değerleri.



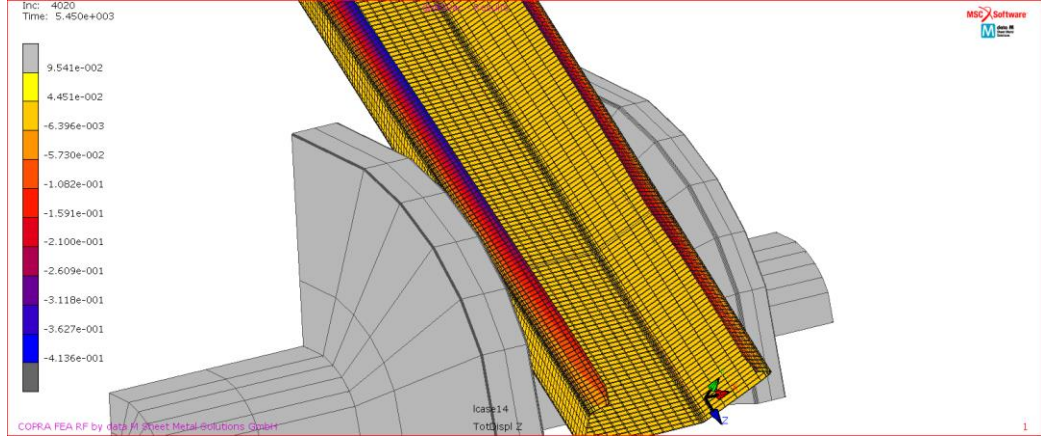
Şekil Ek A.10. 11 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



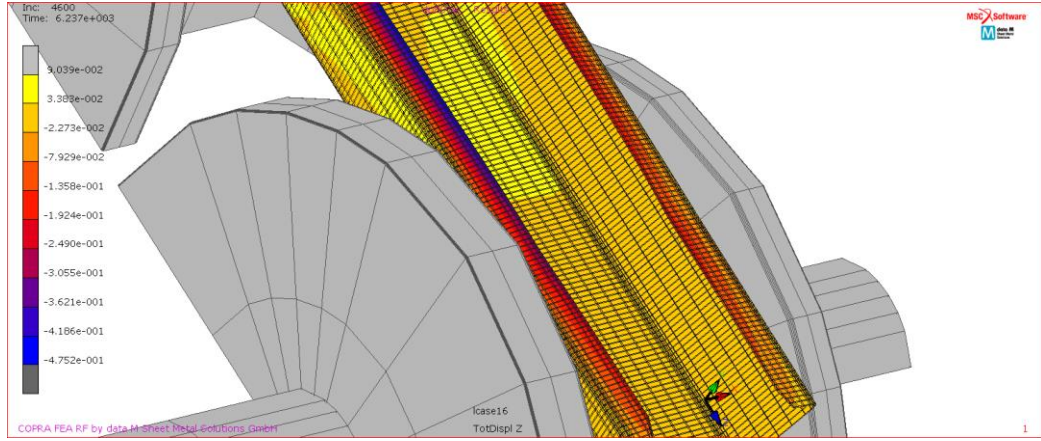
Şekil Ek A.11. 12 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



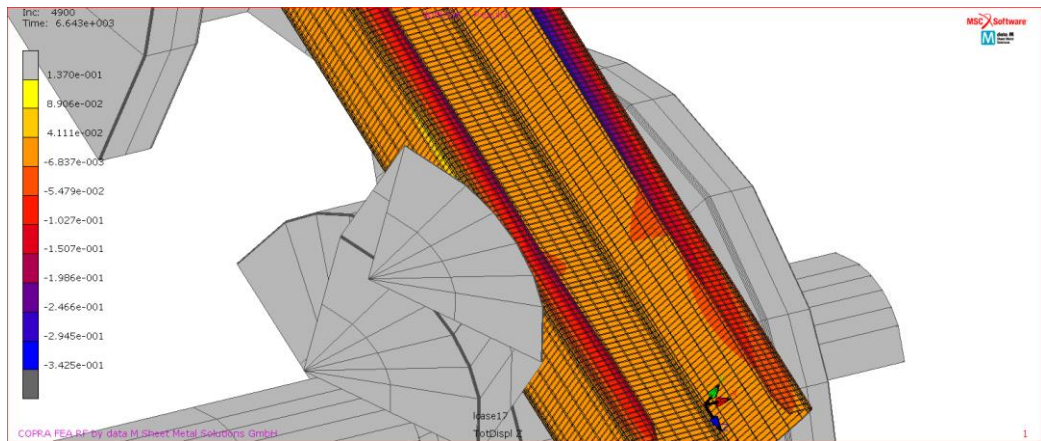
Şekil Ek A.12. 13 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



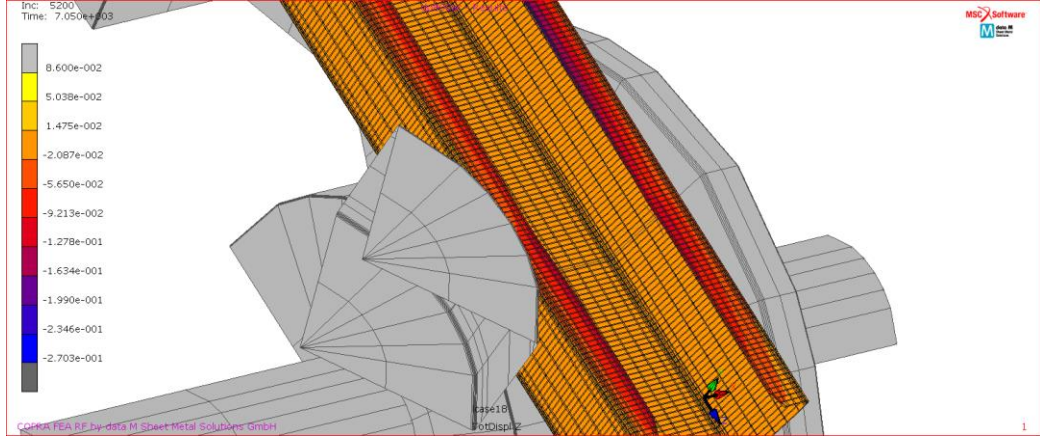
Şekil Ek A.13. 14 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



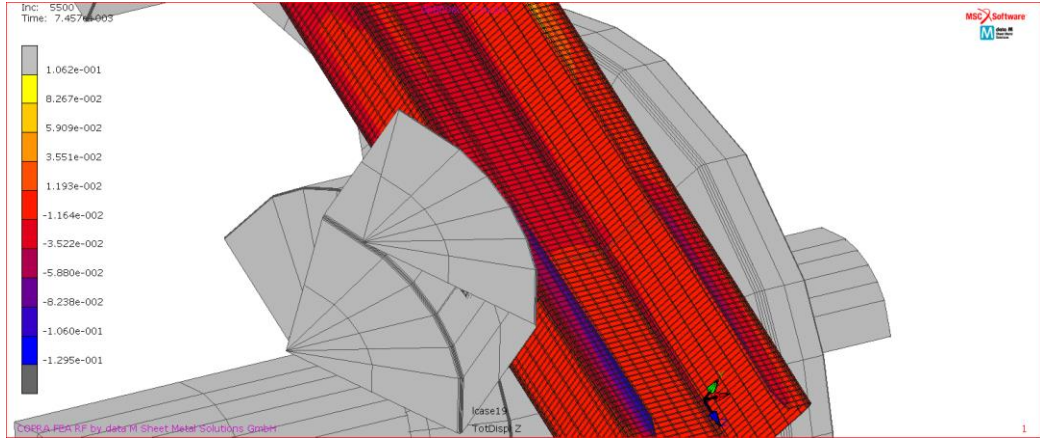
Şekil Ek A.14. 16 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



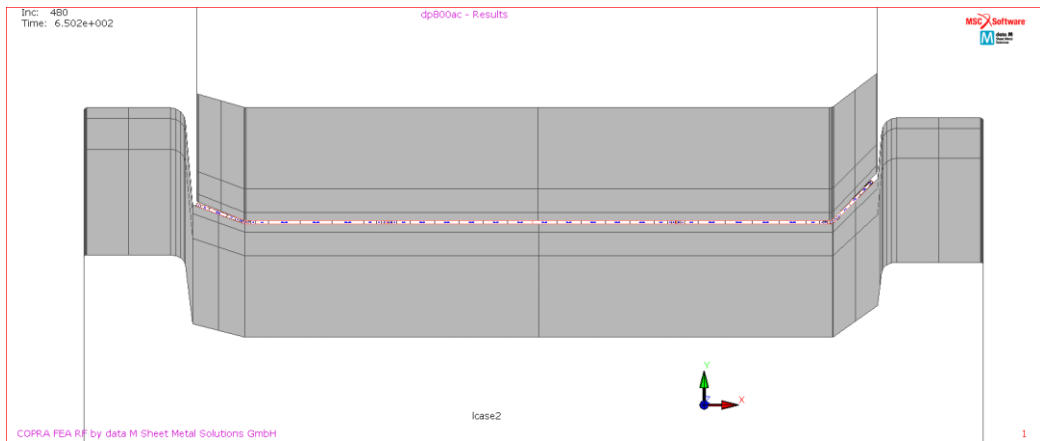
Şekil Ek A.15. 17 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



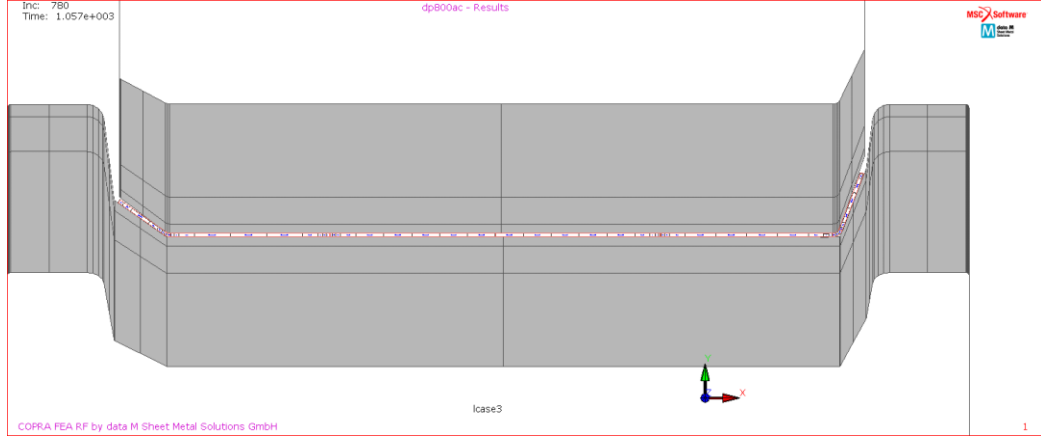
Şekil Ek A.16. 18 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



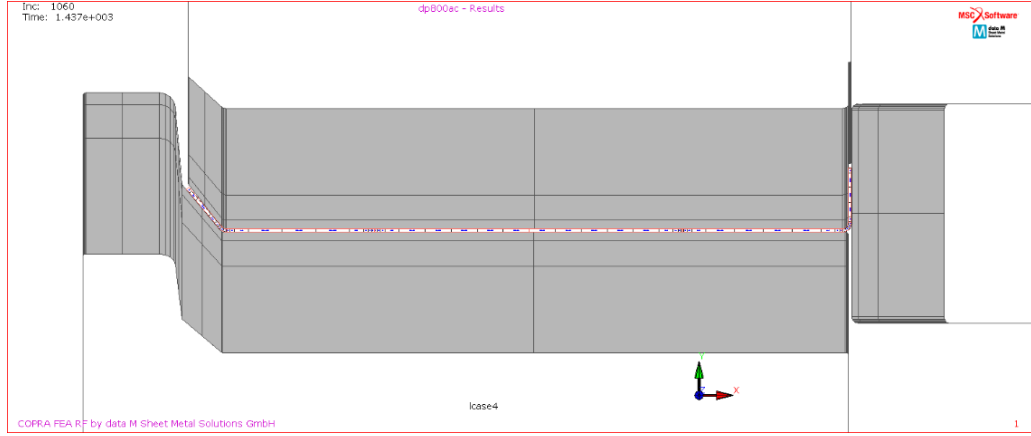
Şekil Ek A.17. 19 no'lu istasyondaki birim şekil değışim değeri.



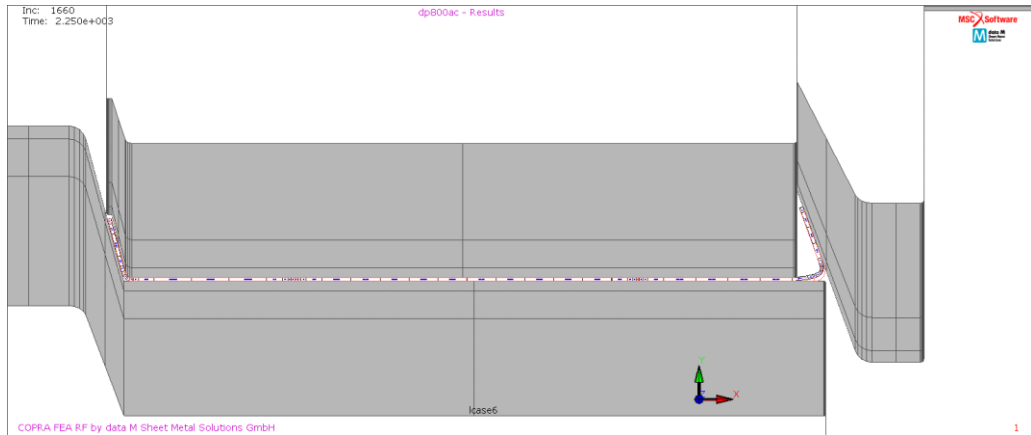
Şekil Ek A.18. 2 no'lu istasyon için istenilen ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



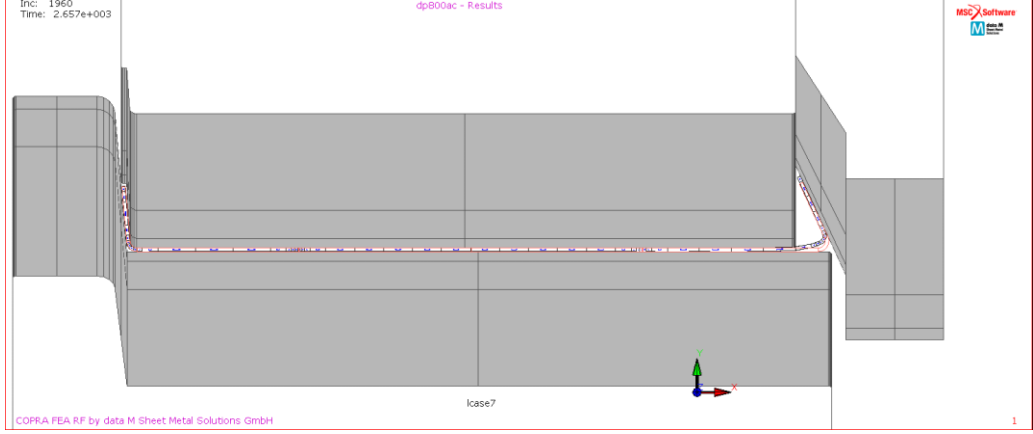
Şekil Ek A.19. 3 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



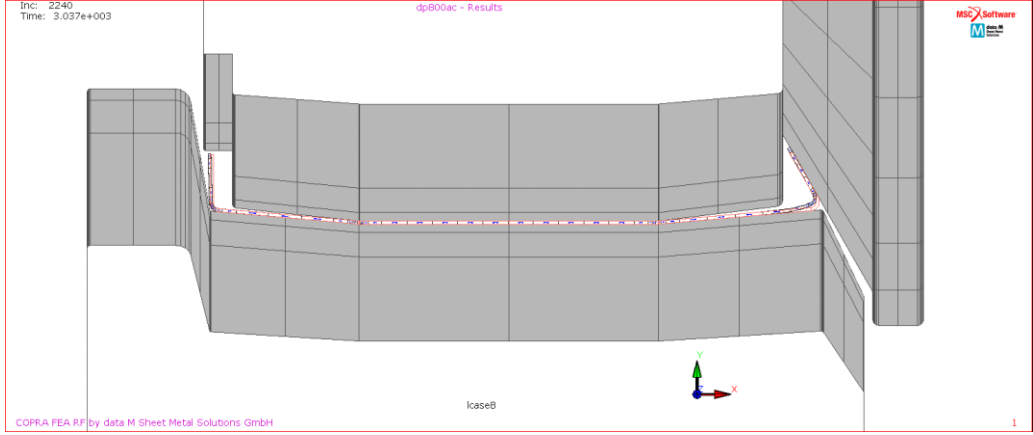
Şekil Ek A.20. 4 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



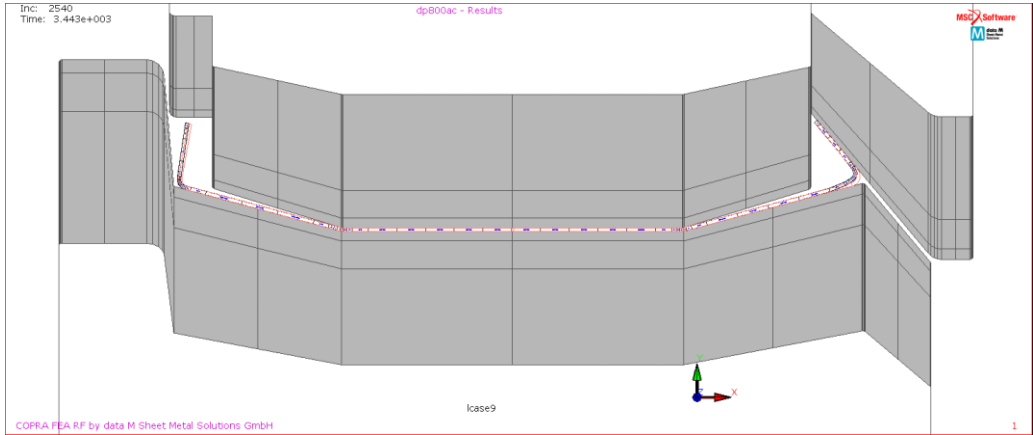
Şekil Ek A.21. 6 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



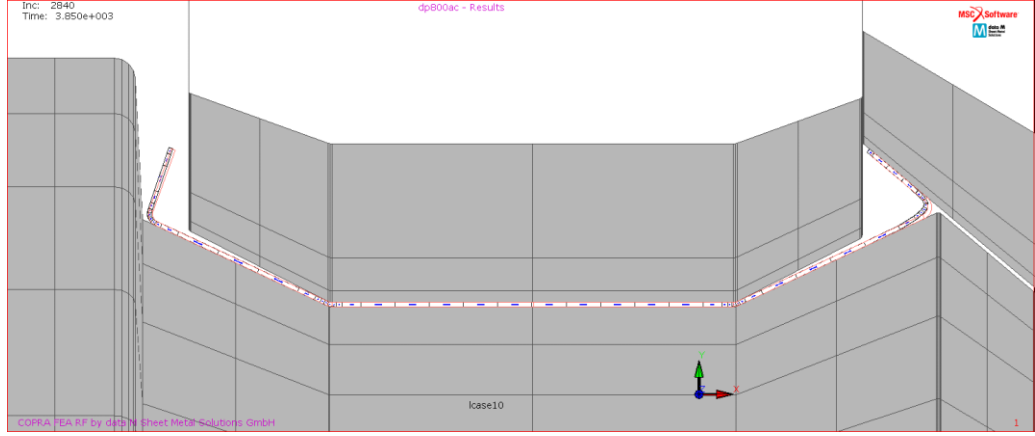
Şekil Ek A.22. 7 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



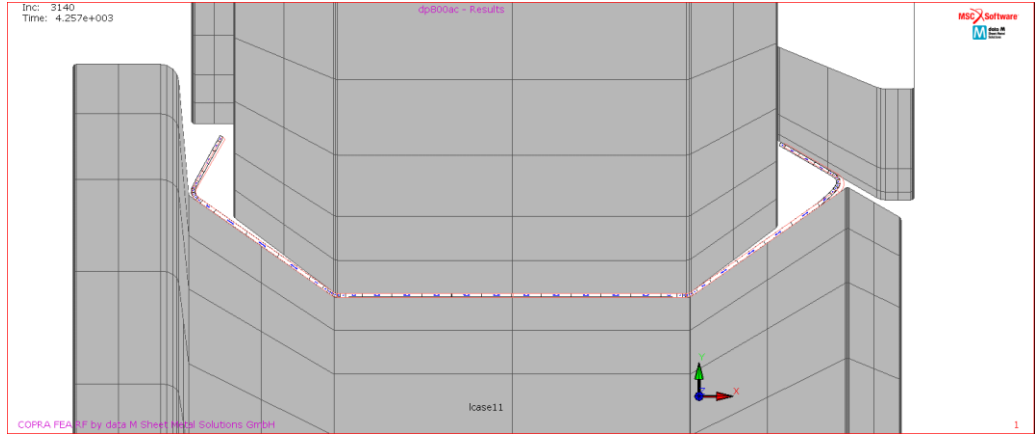
Şekil Ek A.23. 8 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



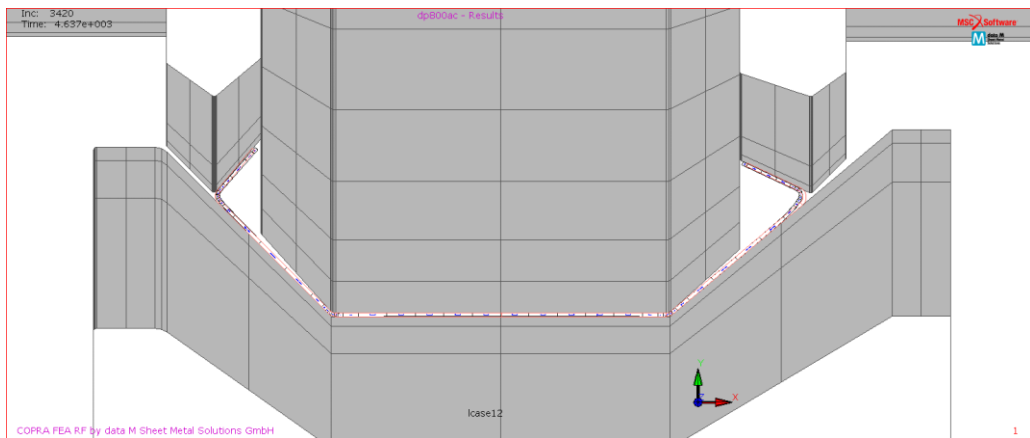
Şekil Ek A.24. 9 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



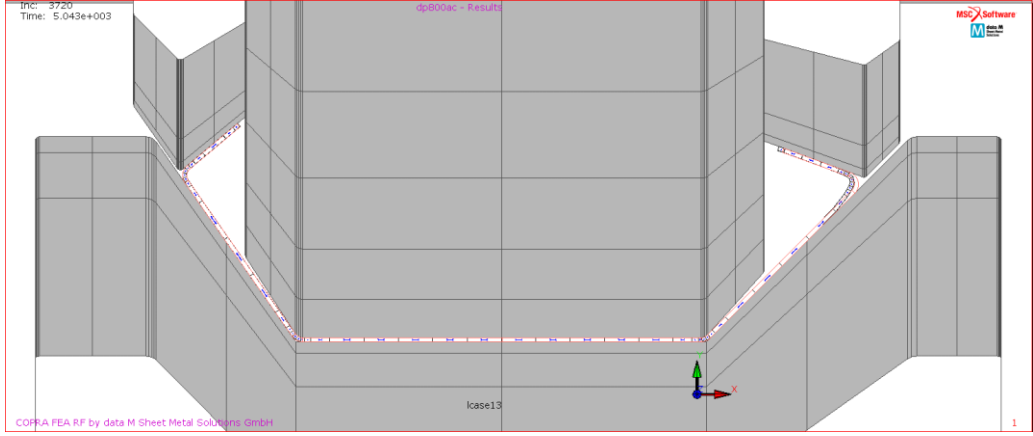
Şekil Ek A.25. 10 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



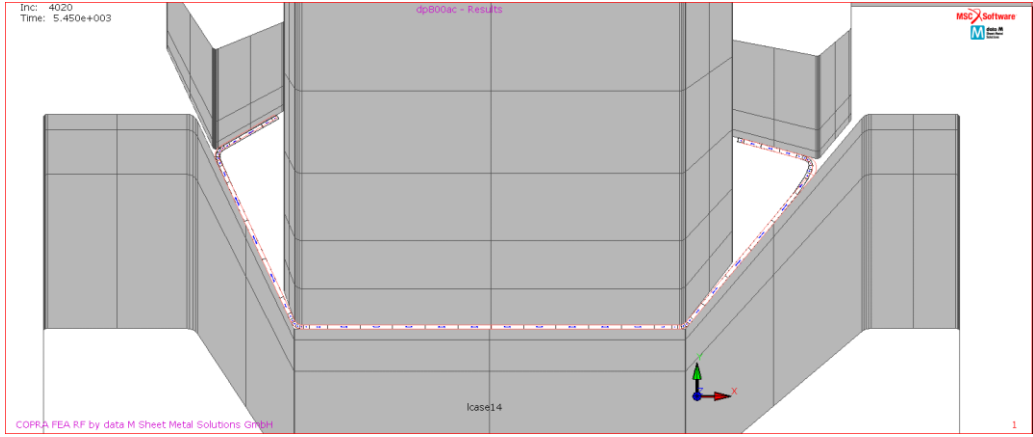
Şekil Ek A.26. 11 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



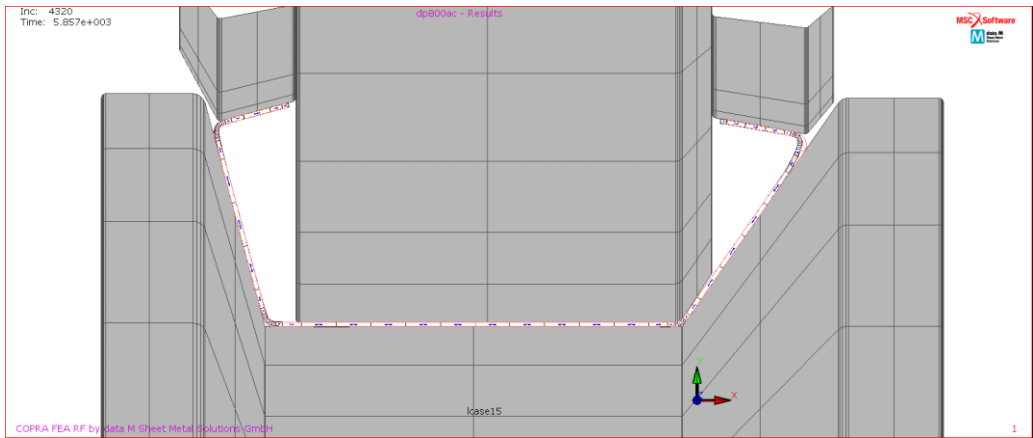
Şekil Ek A.27. 12 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



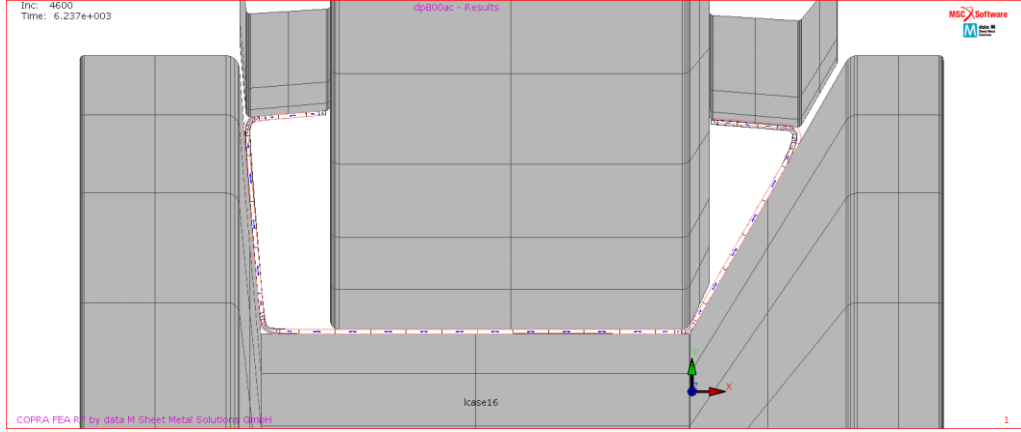
Şekil Ek A.28. 13 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



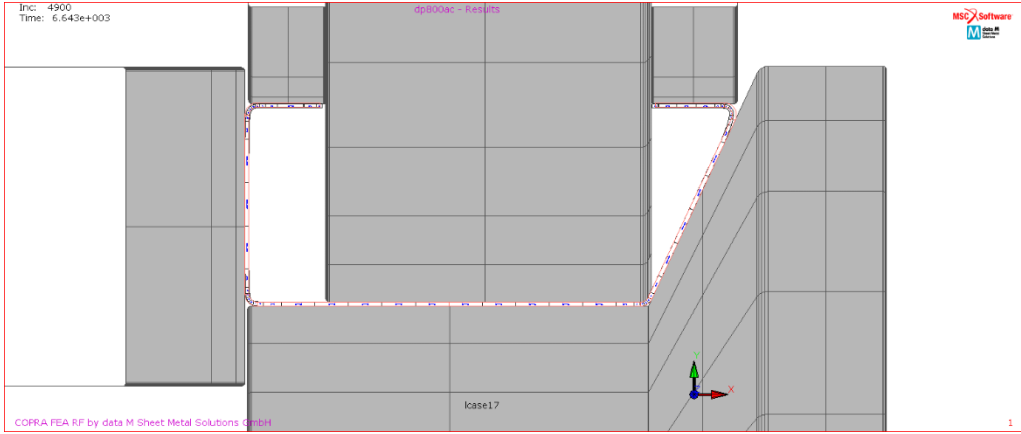
Şekil Ek A.29. 14 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



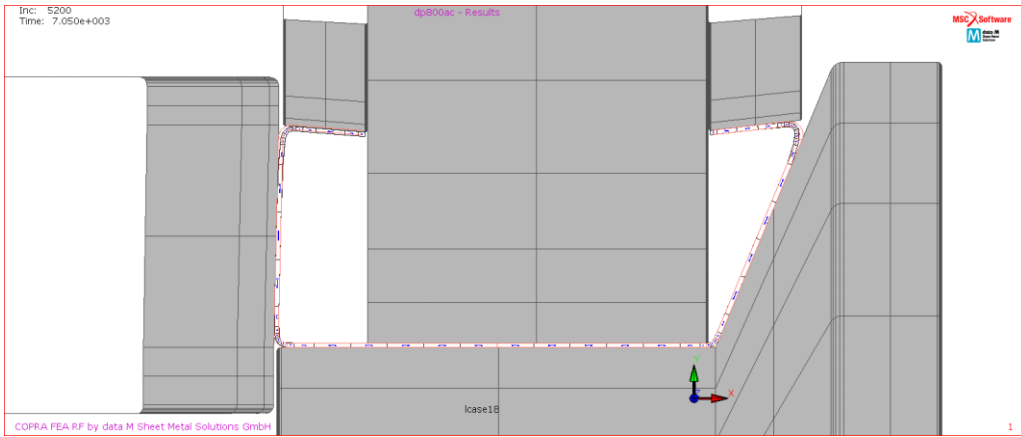
Şekil Ek A.30. 15 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



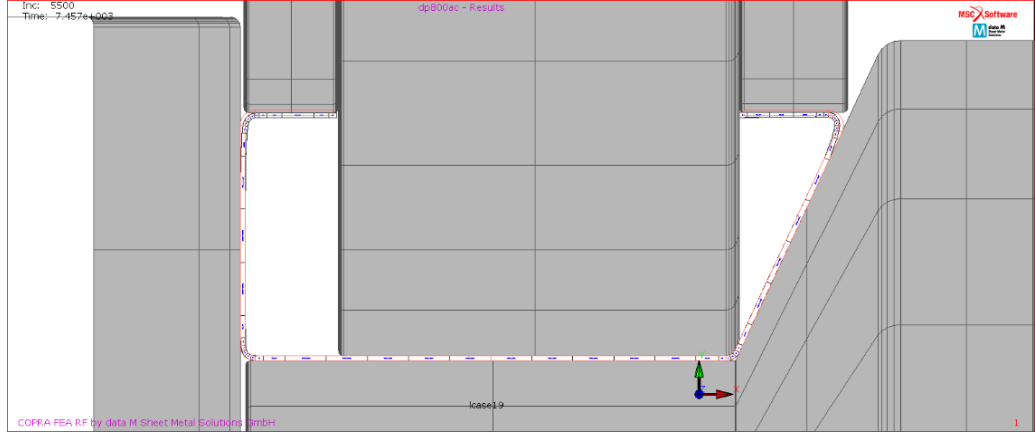
Şekil Ek A.31. 16 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



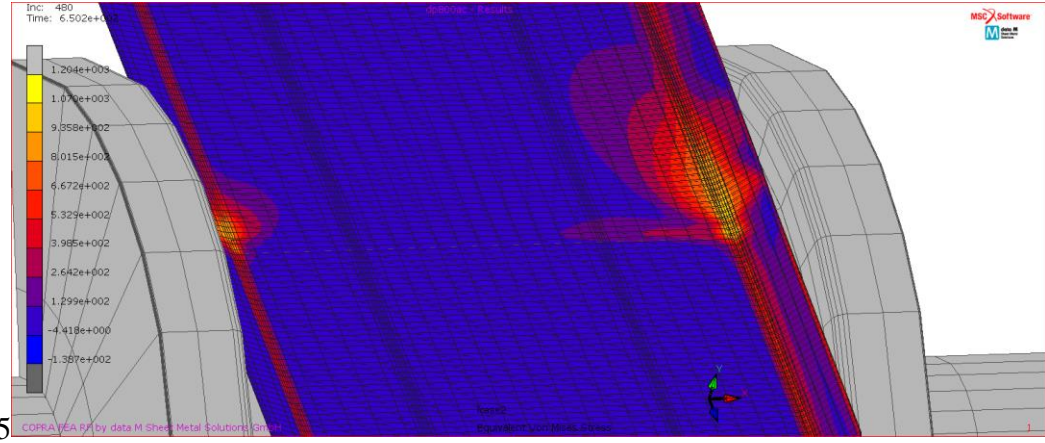
Şekil Ek A.32. 17 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



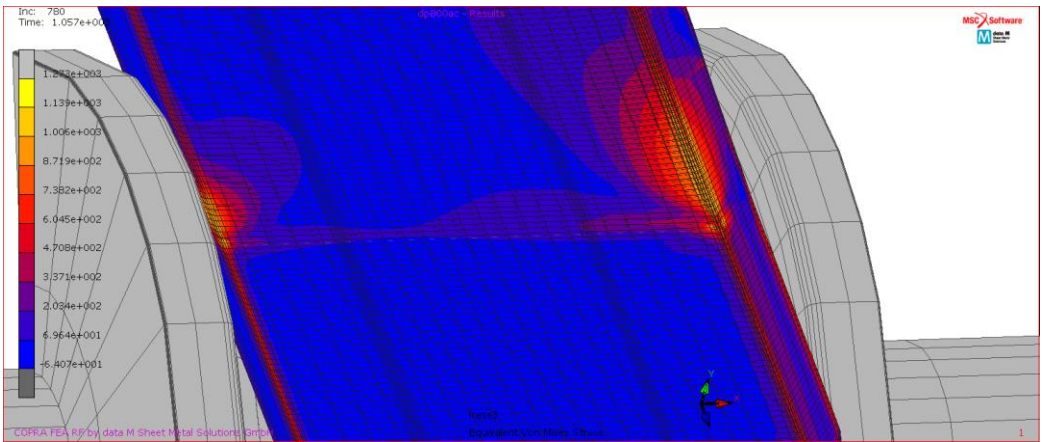
Şekil Ek A.33. 18 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



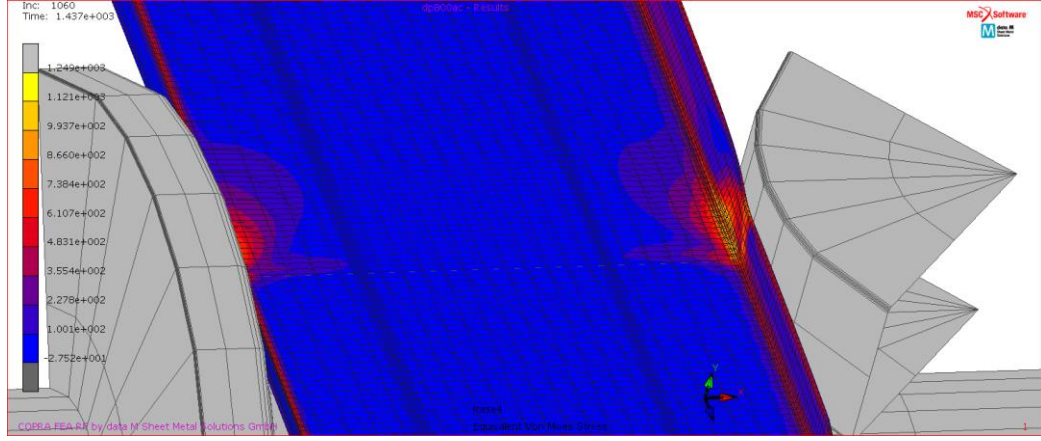
Şekil Ek A.34. 19 no'lu istasyon için istenilen kesit ile analizden elde edilen kesit karşılaştırması.



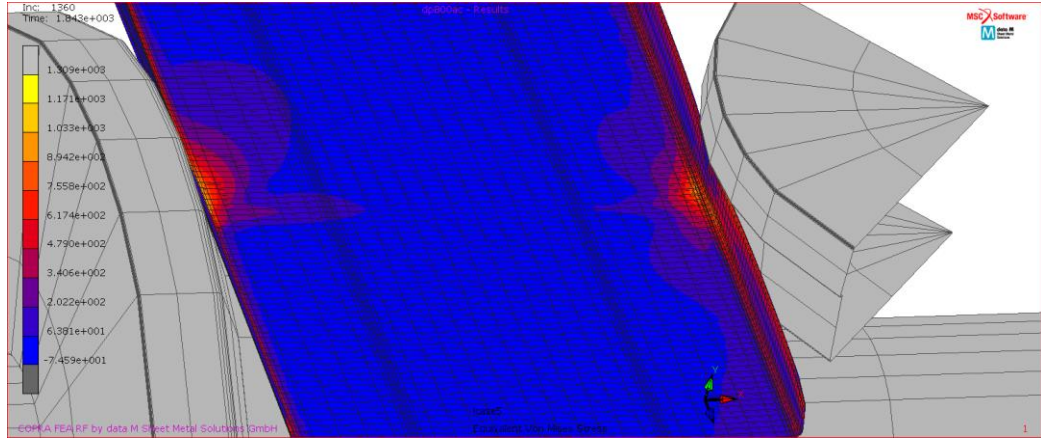
Şekil Ek A.35. 2 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



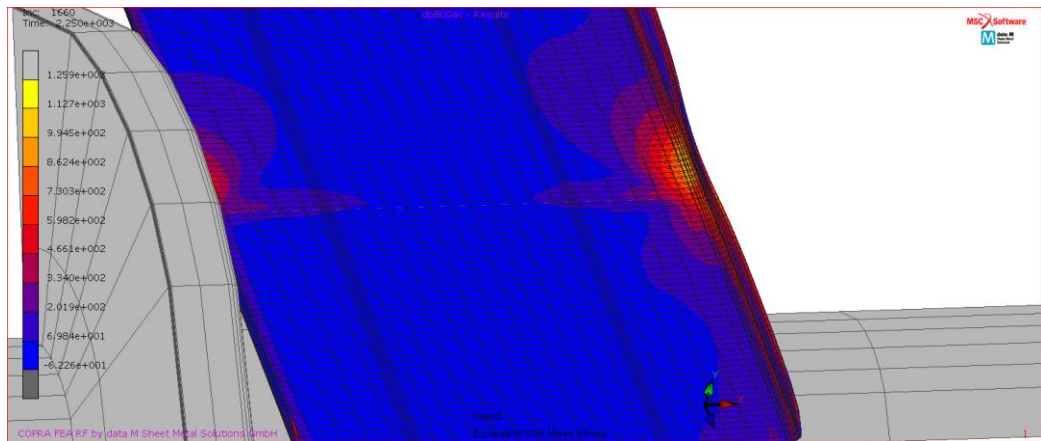
Şekil Ek A.36. 3 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



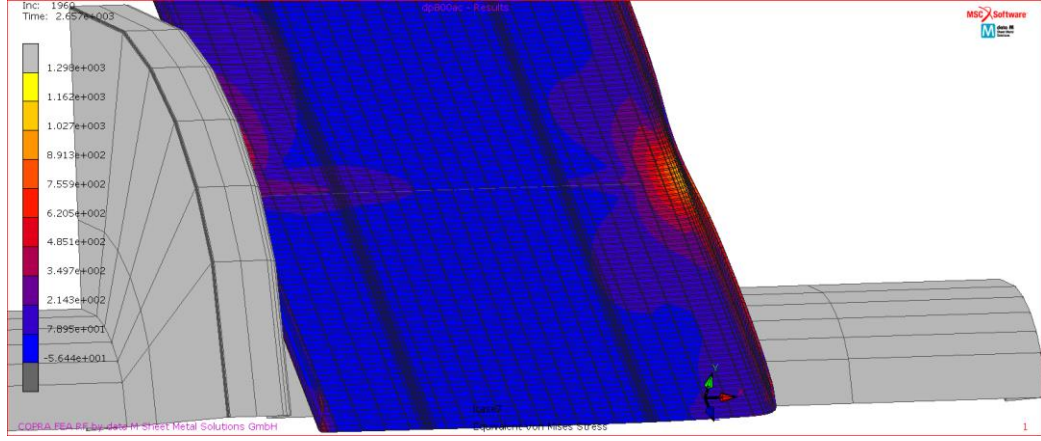
Şekil Ek A.37. 4 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



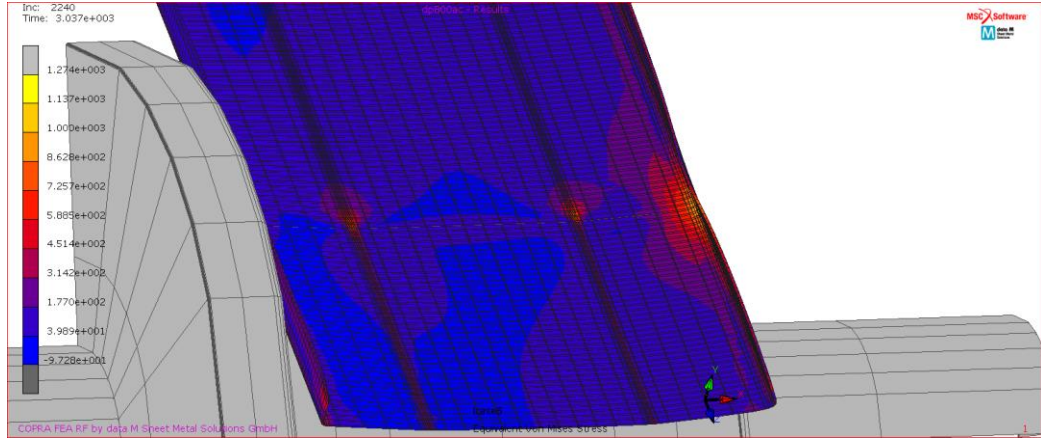
Şekil Ek A.38. 5 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



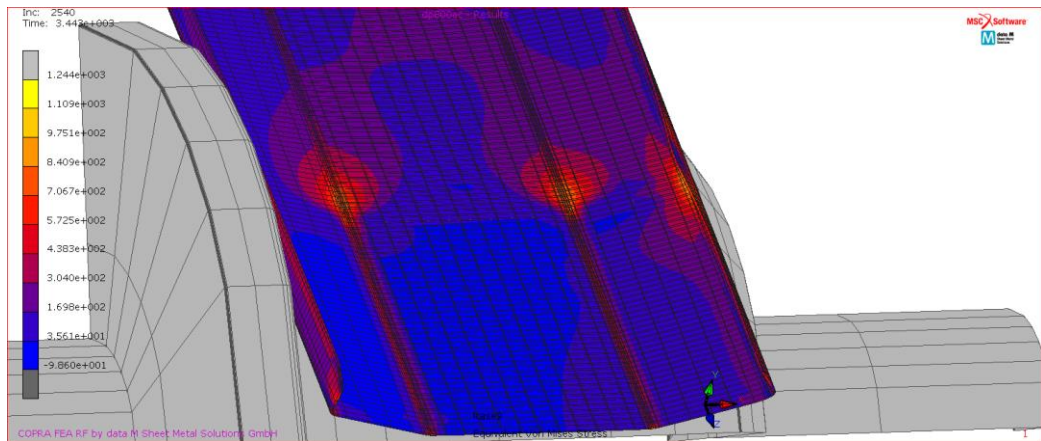
Şekil Ek A.39. 6 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



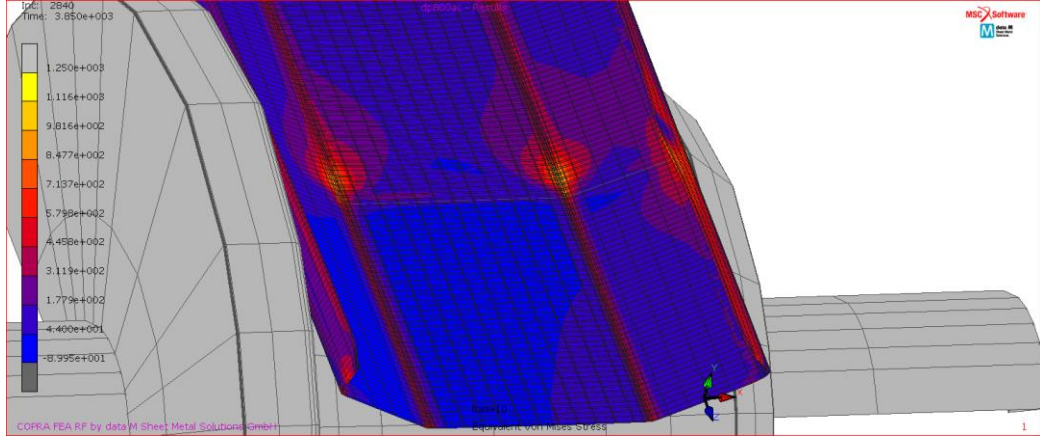
Şekil Ek A.40. 7 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



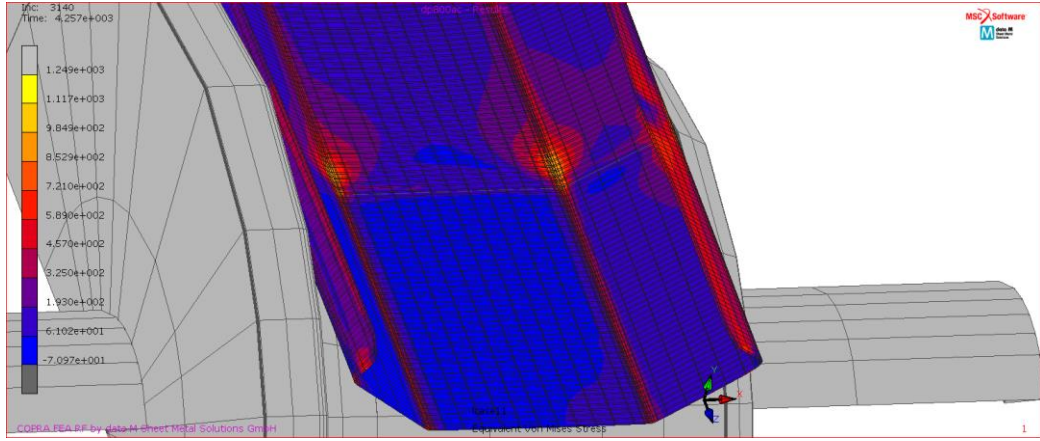
Şekil Ek A.41. 8 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



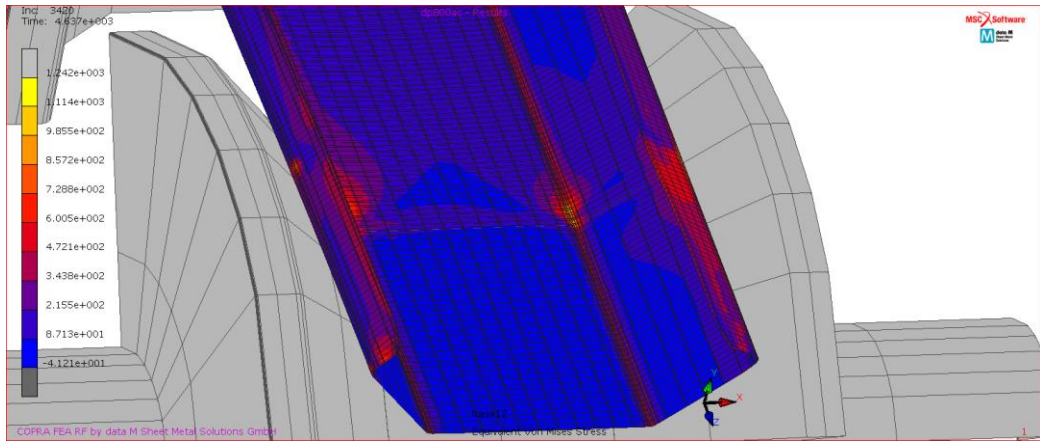
Şekil Ek A.42. 9 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



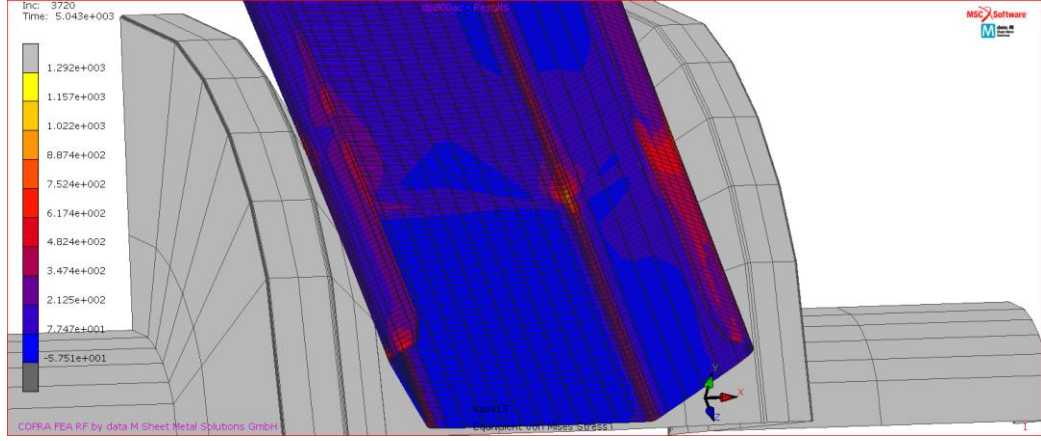
Şekil Ek A.43. 10 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



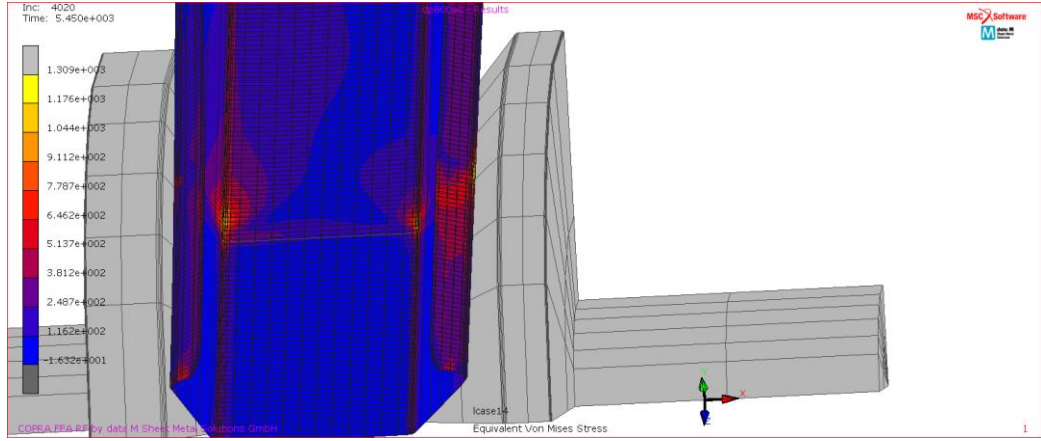
Şekil Ek A.44. 11 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



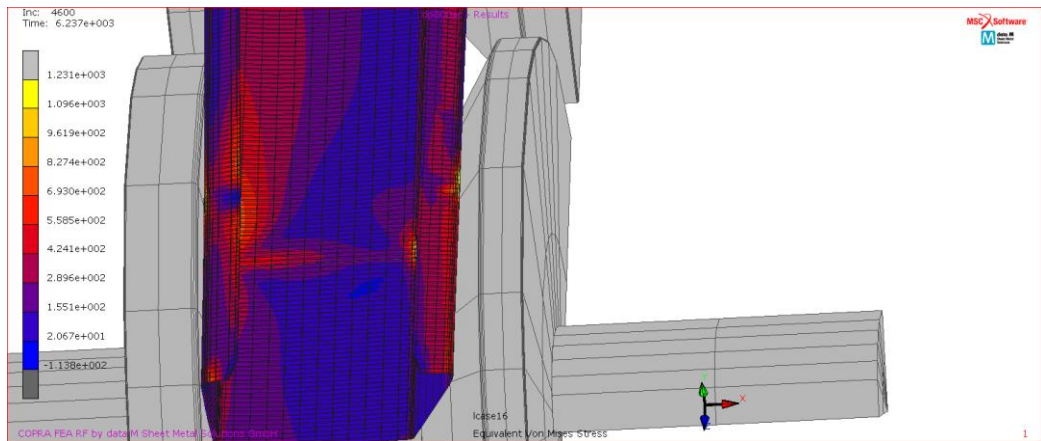
Şekil Ek A.45. 12 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



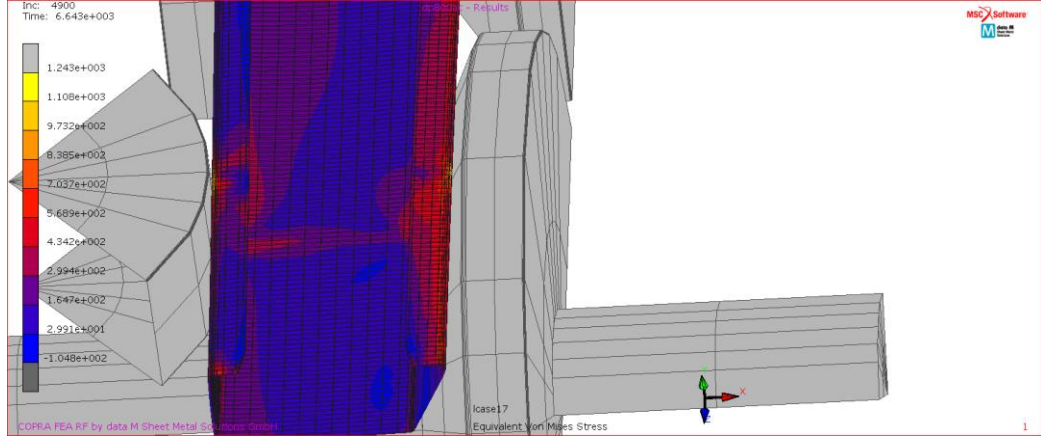
Şekil Ek A.46. 13 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



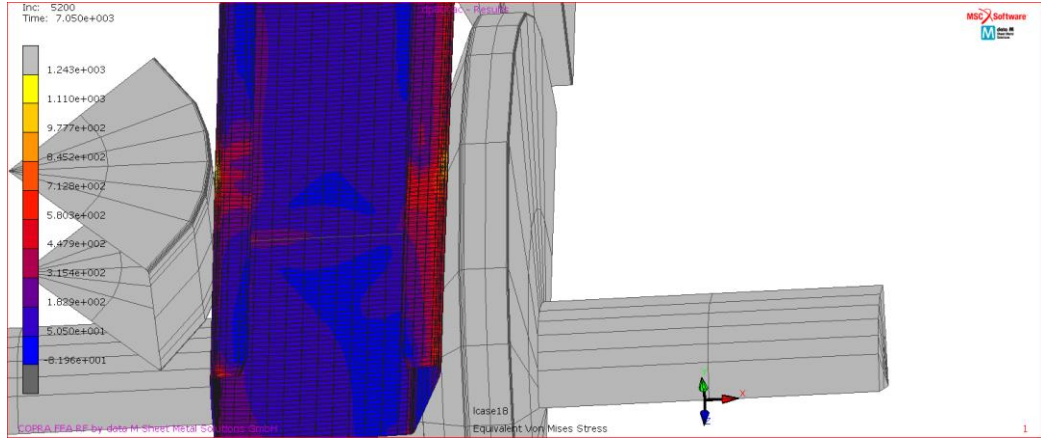
Şekil Ek A.47. 14 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



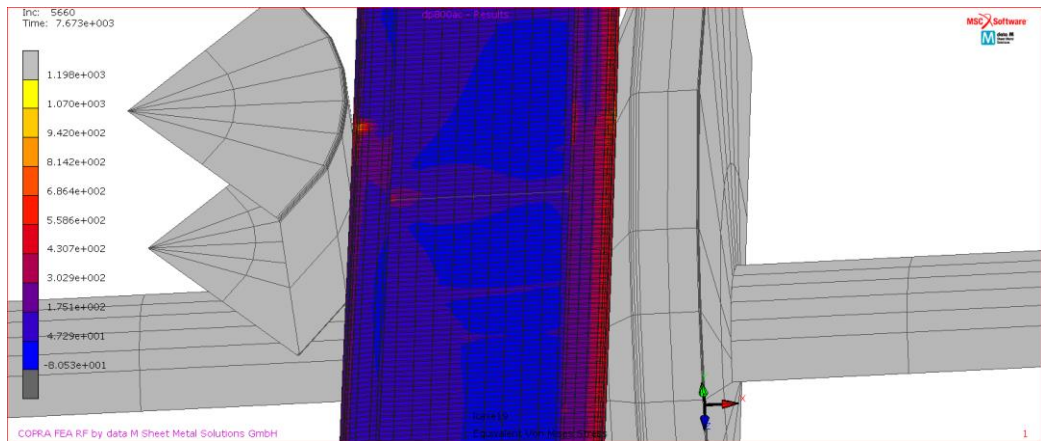
Şekil Ek A.48. 16 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



Şekil Ek A.49. 17 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



Şekil Ek A.50. 18 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.



Şekil Ek A.51. 19 no'lu istasyondaki Von Mises gerilmeleri.

TEKNOLAB

TEKNOLOJİ LABORATUAR HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.



Protokol Numarası (Protocol Number)	PRT-İ/00041
Müşterinin Adı (Customer Name)	EAE MAKİNE SAN.TİC.A.Ş
Müşterinin Adresi (Customer Address)	İ.O.S.B Eski Turgut Özal Cad. No:20 / 20 BAŞAKŞEHİR / İSTANBUL
Yüklenici Adı (Company of supply)	-
Yüklenici Firma Adresi (Address of supply company)	-
Numune Adeti (Number of samples)	1
Teknik Şartname (Technical Specification)	
Raporun Sayfa Sayısı (Number of pages of the Report)	2
Kayıt Tarihi (The Date of receipt of the test item)	24/10/2019

Test Sonuçları, Numune alma işlemi Müşteri tarafından gerçekleştirilen numuneye aittir. Bu Rapor bir bütün olup, laboratuvarın izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz, imzasız ve mühürlü deney raporları geçersizdir.
The results belong to above sample that by sampling customer. This report shall not be reproduced other than in full except with permission of the laboratory. unsigned and unstamped reports are invalid

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği; standart belirsizliğin k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenirlilik sağlamaktadır.
The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95 %.

* İşaretili olanlar akreditasyon kapsamında değildir.
* Marked methods are out of scope accreditation

TEKNOLAB

TEKNOLOJİ LABORATUAR HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.

Analiz Sonuçları / Results of Analysis



Lab. Numune No/Rapor No	I-00123
Lab. Order No/Rapor No Deneyin Yapıldığı Tarih	24/10/2019 - 25/10/2019
Date of Test	
Numune Adı, Tanımı , Durumu	2x25 DP 800
Name, Identity and condition of test item	

Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analytic Method
Düşük Alaşımlı Çelik Spektrometrik Analiz			
C	0.066	%	ASTM E415
Si	0.22	%	ASTM E415
Mn	2.32	%	ASTM E415
P	0.011	%	ASTM E415
S	0.0055	%	ASTM E415
Cr	0.30	%	ASTM E415
Mo	0.10	%	ASTM E415
Ni	0.033	%	ASTM E415
Al	0.13	%	ASTM E415
Co	<0.010	%	ASTM E415
Nb	0.020	%	ASTM E415
Cu	0.027	%	ASTM E415
V	0.0057	%	ASTM E415
B	0.0023	%	ASTM E415
Çekme Deneyi			
Rm	999.2	N/mm ²	EN ISO 6892-1
Rp0.2	517.9	N/mm ²	EN ISO 6892-1
A5,85	12.20	%	EN ISO 6892-1

Şekil Ek A.52. DP800 malzeme çekme testi sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Esra ÇERÇİ Sultanahmet Endüstri Meslek Lisesi Makine Ressamlığı Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gerede Meslek Yüksekokulu Makine Resim ve Konstrüksiyon Bölümü'de öğrenime başlayıp 2008 yılında mezun oldu. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2012 yılında Karabük Üniversitesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü birinciliği ve Karabük Üniversitesi ikincilik derecesini alarak mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'de çift anadal yaparak 2014 yılında iyi bir derece ile mezun oldu. 2013 yılında EAE Makina Ltd. şirketinde proje yöneticisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.