

**ARAÇ KOLTUK KIZAĞININ ROLL FORMING İŞLEMİ
İLE ÜRETİLMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE ANALİZİ**

Serdar DOĞAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAÇ KOLTUK KIZAĞININ ROLL FORMING İŞLEMİ İLE ÜRETİLMESİ
VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Serdar DOĞAN

Prof. Dr. Ali BAYRAM
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

TEZ ONAYI

Serdar DOĞAN tarafından hazırlanan "ARAÇ KOLTUK KIZAĞININ ROLL FORMING İŞLEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

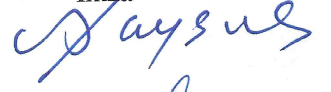
Danışman : Prof. Dr. Ali BAYRAM

Başkan : Prof. Dr. Ali BAYRAM
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

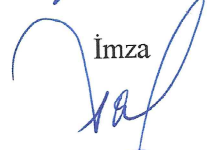
Üye : Prof. Dr. Ali ORAL
Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç Dr. Hakan AYDIN.
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



İmza



İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

13.11.2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Serdar DOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇ KOLTUK KIZAĞININ ROLL FORMING İŞLEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Serdar DOĞAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Roll forming şekil verme prosesi soğuk şekillendirme prosesleri içerisinde, profil tip parçaların üretiminde özelleşmiş bir operasyondur. Otomotiv sektöründe gerek ek operasyonların eklenmesiyle gerekse yeni nesil ileri yüksek mukavemetli sacların şekillendirilmesindeki başarısı sebebiyle gitgide yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında roll forming hat tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar, sac açınım metotları, prosese özgü hata tipleri incelenmiş olup sonrasında sonlu elemanlar metodu ile şekil verme analizleri ve prototip profil üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon ve prototip üretim çalışmalarında roll forming ile bükülebilirliğe yatkın olan kompleks fazlı çelik 800CP kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçlarında oluşan plastik uzamalar incelenmiş olup bu şekil değişiminin prosese özgü hata tipleri ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında, simülasyon ve prototip profil kesitine ait ölçüm sonuçlarının kıyaslanmasıyla korelasyon faaliyetleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Roll forming, haddeleyerek şekil verme, ileri yüksek mukavemetli saclar, kompleks fazlı çelikler, çiçek açınımı
2018, viii + 69 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**MANUFACTURING OF VEHICLE SEAT TRACK WITH ROLL FORMING
PROCESS AND SIMULATION BY USING FINITE ELEMENT METHOD**

Serdar DOĞAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Roll forming is a cold forming process which specialized in the production of profile sheet metal parts. Process is becoming more popular in recent years due to its flexibility in range of products by additional operation steps and capability of producing advanced high strength steels.

In this study design criteria's for roll forming line design, blank development methods, specific failure modes defined, forming simulations and prototype production studies are executed. Due to its bendability characteristics, complex phase steel (800CP) is used for simulation and prototype production.

Plastic strains are investigated in simulation results and associated with process specific failure modes. After the evaluation of the results, correlation of simulation and prototype profile sections are completed.

Key words: Roll forming, advanced high strength steels, complex phased steels, finite element analysis, correlation, flower design

2018, viii + 69 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca danışmanlığımı yapan ve bu süreçte akademik anlamda gelişimime destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Ali BAYRAM'a teşekkürlerimi sunarım.

Projenin hayata geçirilmesinde ihtiyaç duyduğum hem yönetsel hem de teknik destekleri sağlayan değerli yöneticim Recep KURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Sonsuz emekleri ve destekleri sayesinde bugünlere gelmiş olduğum kıymetli aileme;
Ama her şeyden öte karşılaştığım her türlü zorlukta benden desteğini esirgemeyen, hayat ortağım ve biricik eşim Gizem'e sonsuz sevgi ve minnettarlıklarımı sunarım.

Serdar DOĞAN

.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Roll Forming Soğuk Şekillendirme Prosesi	5
3.2. Roll Forming Hattının Elemanları	8
3.2.1. Rulo Sac Açıcı	8
3.2.2. Rulo Sac Doğrultucu	9
3.2.3. Roll Form Makaraları.....	10
3.2.4. Düzeltici İstasyon.....	11
3.3. Proses Mekanikleri.....	12
3.3.1. Malzeme Seçimi, Mekanik Özellikler ve Tolerans Beklentileri.....	13
3.3.2. Çiçek Açınımı	14
3.3.3. Açınım Genişliğinin Hesaplanması.....	17
3.3.4. Sacın Etek Uzaması.....	21
3.3.5. Makara Çaplarının Etkisi.....	22
3.3.6. Etek Uzunluğunun Etkisi.....	24
3.3.7. Roll Forming Prosesi Hata Modları	25
3.4. Roll Forming Operasyonunda Kullanılan Yüksek Mukavemetli Çelikler	28
3.4.1. Çift Fazlı Çelikler.....	28
3.4.2. Kompleks Fazlı Çelikler.....	30
3.4.3. Martenzitik Çelikler	31
3.5. Roll Forming Proses Tasarımı	32
3.5.1. Roll Forming Proses Tasarımı	32
3.5.2. Roll Form Hattına Ait Parametreler	34
3.5.3. Çiçek Açınımının Oluşturulması	35
3.5.4. Makaraların Tasarımı	38
3.6. Sonlu Elemanlar Metodu İle Şekil Verme Analizleri	38
3.6.1. Mesh	39
3.6.2. Kontak	42
3.6.3. Sınır Koşulları.....	44
3.6.4. Malzeme Kartı	45
4. BULGULAR	47
4.1. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	47
4.1.1. Kesitin Makaralar İçerisindeki Hareketinin Kontrolü.....	48
4.1.2. Uzamaların Kontrolü.....	53
4.2. Geri Yaylanma Verilerinin Korelasyonu	62
4.2.1. Gerçekleştirilen Ölçümlere Ait Kesit Detayları.....	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Roll Forming Operasyonu (Wiebenga ve ark. 2012)	5
Şekil 3.2 Üretilen Minimum İç Yarıçapların Kıyaslanması	6
Şekil 3.3 Büküm İç Yarıçapının Kıyaslanması	6
Şekil 3.4 Farklı Sacların Aynı Makaralardan Geçirilmesi Sonucu Elde Edilen Kesitler .	7
Şekil 3.5 Roll Forming ile Üretilen Kesitler	7
Şekil 3.6 Roll Form Hattının Elemanları (Halmos 2006)	8
Şekil 3.7 Çift Üniteli Rulo Sac Açıcı.....	9
Şekil 3.8 Rulo Sac Doğrultma Ünitesi	9
Şekil 3.9 Roll Form Makaraları	10
Şekil 3.10 Makaraların Bölünmesi ve Malzeme Tasarrufu	11
Şekil 3.11 Makara Entegre Düzeltici İstasyon	11
Şekil 3.12 Roll Forming Prosesinde Karşılaşılan Genel Hata Tipleri	12
Şekil 3.13 Sacın Makaralar Arasındaki Hareketi ve Eksen Takımları	12
Şekil 3.14 Çiçek Açınımı	15
Şekil 3.15 İstasyonlar Arası Mesafe (a-çok kısa, b-ideal, c- çok fazla)	16
Şekil 3.16 Sac Bükülebilirliği	17
Şekil 3.17 Sacın Büküm Esnasındaki Gerçek Şekil Değişimi	18
Şekil 3.18 Sabit Yay Metodu ile Bükümün Gerçekleştirilmesi	19
Şekil 3.19 Sabit Yay Metodunda Açık ve Yarıçap Değişimi.....	20
Şekil 3.20 Sabit Yarıçap Metodu ile Şekil Verme.....	20
Şekil 3.21 Sabit Yarıçap Metodunda Nötr Eksenin Değişimi.....	21
Şekil 3.22 Sacın Makaralar Arasındaki Hareketi	21
Şekil 3.23 Makaradan Çıkan Sacın Sehim ve Makaraya Çarpması	22
Şekil 3.24 Makara Çapının Azalmasıyla Giriş Bölgesinin Kısalması	22
Şekil 3.25 Makara Giriş Mesafesine Ait Parametreler	23
Şekil 3.26 Açınım Operasyonlarının Kıyaslanması.....	24
Şekil 3.27 Etek Genişliğinin Geri Yaylanmaya Etkisi	25
Şekil 3.28 Büküm ve Geri Yaylanma	26
Şekil 3.29 Flaring Etkisi.....	27
Şekil 3.30 Eğilme ve Burulma Hata Modları.....	28
Şekil 3.31 Çift Fazlı Çeliklerin Kristal Yapısı	29

Şekil 3.32 DP350/600 ile HSLA 350/450 Akma Eğrilerinin Kıyaslanması	29
Şekil 3.33 Kompleks Fazlı Çeliklere Ait Mikro Yapı	30
Şekil 3.34 Martenzitik Saca Ait Mikro Yapı.....	31
Şekil 3.35 Bir Koltuk Kızak Kompleksi (Anonim)	32
Şekil 3.36 Şekil Verme Simülasyonları Gerçekleştirilecek Koltuk Üst Kızağı	33
Şekil 3.37 Prototip Hat Ölçüleri	34
Şekil 3.38 İstasyona Ait Ölçüler.....	34
Şekil 3.39 Kesit Üzerine Yerleştirilmiş Nötr Eksen	35
Şekil 3.40 Kesite Ait Çiçek Açımını	36
Şekil 3.41 Makara Tasarımı	38
Şekil 3.42 Form Makaraların Mesh Modeli	39
Şekil 3.43 Hassas Modellenmiş Makara Modeli	40
Şekil 3.44 Kum Saati Etkisi ve İntegrasyon Noktaları ile Önlenmesi	40
Şekil 3.45 Analiz Sırasında Karşılaşılan Kum Saati Hata Modu	41
Şekil 3.46 Hassas Modellenen Elemanlar (Kırmızı - Sac Giriş/Gri - Büküm Bölge)	41
Şekil 3.47 Farklı Kontak Mekaniklerinde Stres Oluşumunun Kıyaslanması	42
Şekil 3.48 Geometrik Düzeltmenin Sağladığı İyileşmeler.....	43
Şekil 3.49 Master-Slave Elemanlar Arasında Kontak Komşuluğu	43
Şekil 3.50 Sacın Sınır Koşulları	44
Şekil 3.51 Makaraların Serbestlikleri	45
Şekil 3.52 SSAB - Roll 800CP Akma Eğrileri.....	45
Şekil 4.1 Makaralar Arasındaki Sac Üzerinde Gerçekleşen Şekil Değişimleri	47
Şekil 4.2 Sacın 1 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	48
Şekil 4.3 Sacın 2 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	48
Şekil 4.4 Sacın 3 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	48
Şekil 4.5 Sacın 4 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	49
Şekil 4.6 Sacın 5 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	49
Şekil 4.7 Sacın 6 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	50
Şekil 4.8 Sacın 7 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	50
Şekil 4.9 Sacın 8 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	51
Şekil 4.10 Sacın 9 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	51
Şekil 4.11 Sacın 10 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	52
Şekil 4.12 Sacın 11 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi	52

Şekil 4.13 Bölge 1'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	55
Şekil 4.14 Bölge 1'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	55
Şekil 4.15 Bölge 2'ye Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	56
Şekil 4.16 Bölge 2'ye Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	56
Şekil 4.17 Bölge 3'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	57
Şekil 4.18 Bölge 3'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	57
Şekil 4.19 Bölge 4'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	58
Şekil 4.20 Bölge 4'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	58
Şekil 4.21 Bölge 5'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	59
Şekil 4.22 Bölge 5'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	59
Şekil 4.23 Bölge 6'ya Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	60
Şekil 4.24 Bölge 6'ya Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	60
Şekil 4.25 Bölge 7'ye Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişiklikleri	61
Şekil 4.26 Bölge 7'ye Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişiklikleri	62
Şekil 4.27 Profil Üzerinden Kesit Ölçümleri Alınan Yerlerin Gösterimi.....	63
Şekil 4.28 Kesit 1 - Simülasyon Kesit İncelemesi.....	63
Şekil 4.29 Kesit 1 - Prototip Parça Kesit İncelemesi.....	64
Şekil 4.30 Kesit 2 - Simülasyon Kesit İncelemesi.....	64
Şekil 4.31 Kesit 2 - Prototip Parça Kesit İncelemesi.....	65
Şekil 4.32 Prototip Kesitin Ortasından Alınan Kesit Ölçümü	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Çift Fazlı Çeliklerin Araç Gövdesindeki Kullanım Yerleri.....	30
Çizelge 3.2 Kompleks Fazlı Çeliklerin Otomobilde Kullanım Yerleri	31
Çizelge 3.3 Martenzitik Çeliklerin Otomobilde Kullanım Yerleri.....	32
Çizelge 3.4 Örnek Bir Bükümün Sabit Yarıçap Metodu ile Açınımı.....	37
Çizelge 4.1 Kesit Üzerindeki Bölgelerin Numaralandırılması.....	47
Çizelge 4.2 Plastik Uzama Ölçümlerinin Yapılacağı Yer ve Eleman Numaraları.....	54
Çizelge 5.1 Kesit Üzerindeki Bölgeler	66



1. GİRİŞ

Metal şekil verme operasyonlarının alt disiplinleri, seri imalatta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisi gibi büyük sektörlerde rekabetin her geçen gün artması ve güvenlik beklentilerinin gün geçtikçe daha da artması sonucunda, operasyon çıktı beklentileri de bu doğrultuda artırmaktadır.

Her geçen yıl koşulları sıkılaştıran CO₂ emisyon regülasyonları sebebiyle, karbon ayak izinin küçültülmesinin en yaygın uygulaması ağırlık azaltma çalışmalarıdır. Bunu sağlamak için de kullanılan metallerin akma noktaları ve alaşım element yüzdeleri git gide artmakta ancak şekillendirilebilirlik kabiliyetleri ise aynı oranda azalmaktadır.

Metal şekil verme operasyonlarında karşılaşılan en yaygın hata tipi geri yaylanmanın doğru hesaplanamaması kaynaklı olarak gerçekleşen geometrik uygunsuzluklardır. Düşük alaşımlı ve akma mukavemetine ait saclarda bu hata tipinin etkileri çok daha düşük olsa da sac mukavemetinin artması ile birlikte lotlar arası sac malzemenin akma nokta tolerans genliği de artmaktadır. Bunun sonucunda da geri yaylanmalar sonucu oluşan geometrik hatalar, üretilen parçanın kullanılamaması sonuçlarını doğurabilmektedir.

Karşılaşılan teknik zorlukların çözümü ise doğru proses tasarımıyla geçmektedir. Bu sebeple proses tasarımcısı, ürünün mekanik ve geometrik beklentilerini ile sacın mekanik özelliklerini çok iyi anlayabilmeli ve şekil verme operasyonunu bu doğrultuda tasarlaması gerekmektedir. Aksi takdirde yanlış tasarlanmış bir proses, o ürünün kullanım süresince karşılaşılabilecek problemlerin ve kalitesizlik maliyetlerinin temelini oluşturacaktır.

Soğuk metal şekil verme operasyonlarından biri olan roll forming prosesi her ne kadar otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olsa da diğer kalıpla şekil verme operasyonları kadar yaygın değildir. Bunun sonucunda proses üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar sınırlı kalmakta ve karşılaşılan problemler daha çok tecrübe kaynaklı ampirik metotlarla çözülmeye çalışılmaktadır. Ancak karşılaşılan problemlerin kompleksliği arttıkça klasik metotlarla çözümü pek mümkün olmamaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında hedef, roll forming prosesinin daha iyi anlaşılabilmesi ve fiziksel hat üzerinde karşılaşılabilecek olası hata tiplerini daha tasarım aşamasında iken fark edip, çözebilecek teknik tecrübeyi oluşturabilmektir. Bunu başarabilmek için de hedef bir kızak kesitinin öncelikle roll form şekil verme prosesi tasarlanacak, sonrasında şekil verme simülasyonları gerçekleştirilerek üretilecek olan prototip kızak üzerinden doğrulama çalışmaları gerçekleştirilecektir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Roll forming prosesi, kullanılan sac malzemelerin mukavemetinin artmasıyla birlikte, şekil verme kabiliyeti ile gün geçtikçe sektörde edindiği yeri sağlamlaştırmaktadır. Bu talebin artmasıyla birlikte de proses üzerine, gerek akademik gerekse saha çalışmaları tüm hızıyla sürmektedir.

M. Lindgren yaptığı çalışmada, flanş eteğindeki boyuna maksimum uzamaları ve deformasyon uzunluğunun (form makaraları ile flanş eteğindeki uzamanın $2e-5$ 'ten büyük olduğu yer arasındaki mesafe), akma noktasının değişimi ile etkileşimini incelemiştir. Bu değişimleri inceleyerek çipek açınımının kaç adımda gerçekleştirileceği ve makaralar arasındaki mesafe tanımlanmıştır. Çalışmaların sonucunda; akma noktası arttıkça boyuna uzamalarda maksimum uzama değerinin azalmakta ve deformasyon uzunluğunun artmakta olduğu gözlemlenmiştir.

M.M. Kasaei ve ark. yaptıkları çalışmada roll forming ile üretilen ERW kaynaklı boruların bant genişliğinin, boyuna uzamalara ve etek dalgalanmasına olan etkisini incelemişlerdir. Proses simülasyonunu MSC Marc Mentat programı ile explicit olarak tamamlanıp sonrasında fiziksel denemeler ile doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda; bant genişliğinin artmasının büküm istasyonlarında, sacın dış yüzeyindeki genişlik doğrultusundaki aksenal uzamasında herhangi bir etkisi olmamakla birlikte, etek birleştirme (hizalama) makaralarından geçerken sacın dış yüzeyindeki aksenal daralmayı arttırdığı görülmüştür.

Siti Nadiah binti Mohd Saffea ve ark. yaptıkları çalışmada, roll form operasyonu ile üretilen bir profilin imalat operasyonları sırasında üzerinde oluşturulan kalıntı stresin, boydan kesilmesi sonrasında oluşan hata modu olan kesitte açılmaya etkisi (flaring) incelenmiştir. Bahsedilen mekaniğin incelenmesinde, 6 operasyonda şekil verilen ve kenarlarında flanş mevcut olan bir V kesit üzerinden gidilmiştir. Yapılan çalışmalarda geri yaylanmanın, şekil değiştirme esnasında oluşan kalıntı stresin artması ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Takuo Nagamachi ve ark. yaptıkları çalışmada, daire kesitli profilden dikdörtgen kesitli profilin üretimi operasyonu üzerinde, kullanılan makara çaplarının profilin yükseklik,

genişlik ve köşe yarıçaplarının ölçüsel uygunluğu ile ilgisini incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı yan ve alt-üst makara çap oranları üzerinden, şekil verme simülasyonları ve prototip üretimleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların sonucunda, makara çaplarının birbirine oranı değiştikçe genişlik ve yükseklik arasındaki oranın değiştiği görülmüştür.

Yin Ji-long ve ark. yaptıkları çalışmada, şekil verme simülasyonlarında kullanılan explicit (açık) sonlu elemanlar metodunda, tekil iterasyon süresini (time step) kısaltmak için kullanılan parametreleri ve bu parametrelerin stabiliteye olan etkilerini incelemişlerdir. Sisteme kütle ekleyerek ya da hızlandırarak time step kısaltılsa da sistem üzerindeki dinamik etkileri, sonuç üzerinde büyük hatalara sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, bir U kesit üzerinde şekil verme simülasyonu gerçekleştirilmiş olup tekil iterasyon süresi kısaltılarak hatalar kabul edilebilir seviyeye çekilmiştir.

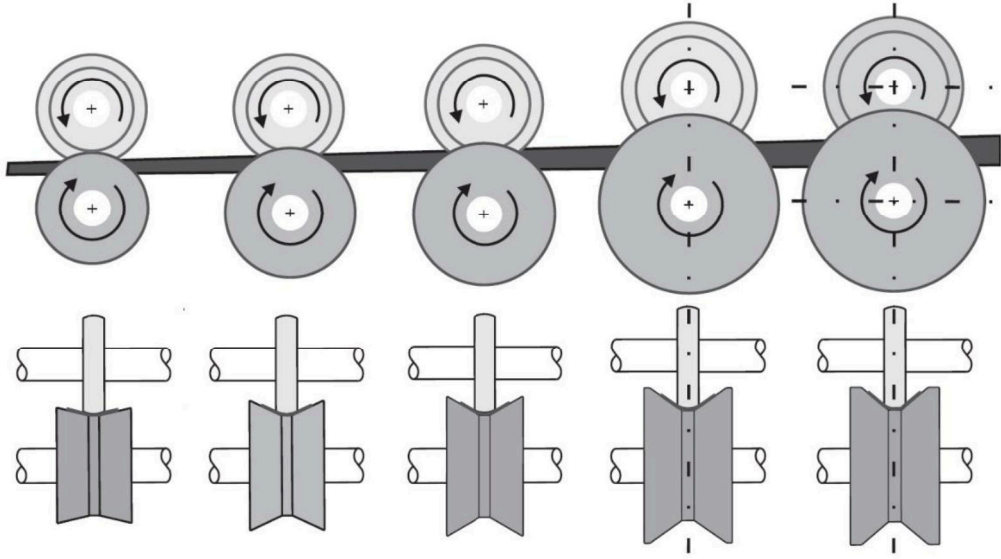
A. Abvabi ve ark. yaptıkları çalışmada, roll forming prosesinde kullanılan yüksek (HSS) ve ileri yüksek mukavemetli saclar üzerinde hali hazırda bulunan kalıntı stresin, roll forming operasyonu esnasında ve sonrasında yarattığı etkiyi incelemişlerdir. Bu etkiyi görebilmek adına, DP780 sac malzeme farklı kalınlıklara haddelenerek inceltilmiş ve içerisinde bulunan kalıntı stresi değiştirerek deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde ettikleri verilerde, haddelenerek inceltilmiş sacın kalınlığı azaldıkça geri yaylanma miktarının ve etekteki açılmaların azaldığı görülmüştür.

R. Safdarian ve ark. yaptıkları çalışmada, roll forming operasyonu üzerinde etkili olan parametreleri (ardışık büküm açılarının değişimi, sac kalınlığı, flanş genişliği, merkez düzlem genişliği, sürtünme katsayısı, makara hızı ve istasyonlar arası mesafe) incelemişlerdir. Bu parametrelere ait değişimlerin, bilinen hata tipleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre bükümler arası açı değişimi arttıkça sacın profil boyunca oluşan eğriliği (bow) artmıştır. Buna ek olarak, etekte meydana gelen boyuna uzamalar da ardışık istasyonlar arası açılardaki artışı ve sac kalınlığındaki artış ile birlikte artmakta; ancak etek genişliğinin, merkez düzlem genişliğinin ve istasyonlar arası mesafenin artması ile birlikte de azalmaktadır. Sürtünme ve sacın seyahat hızının ise boyuna uzamalarda bir etkisi olmadığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

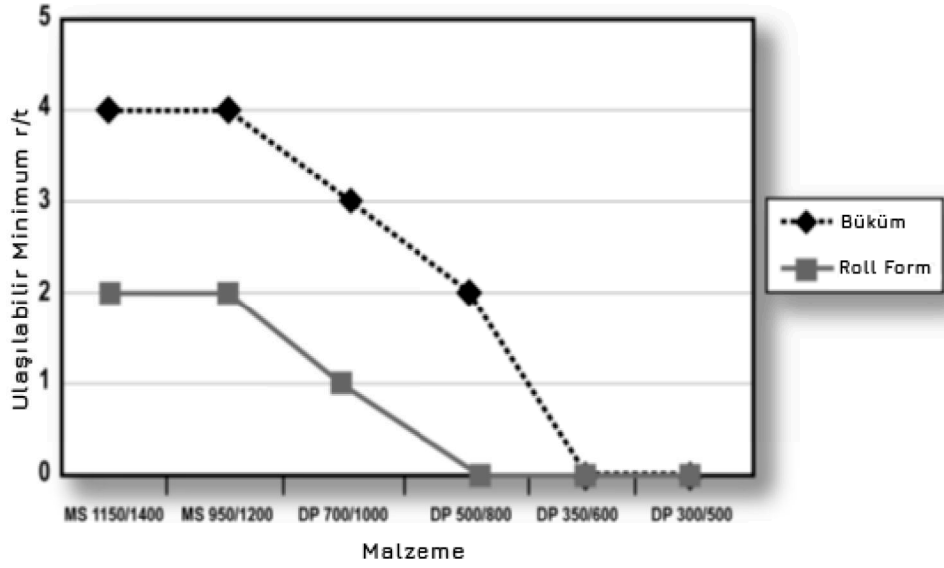
3.1. Roll Forming Soğuk Şekillendirme Prosesi

Operasyon olarak roll forming ile soğuk şekillendirme, metal bir şeridin ardışık form verme makaraları ile kalınlığını değiştirmeden (haddelemeden) bir doğrultu boyunca sürekli olarak bükülerek arzu edilen kesitin elde edildiği bir prosestir (Şekil 3.1).



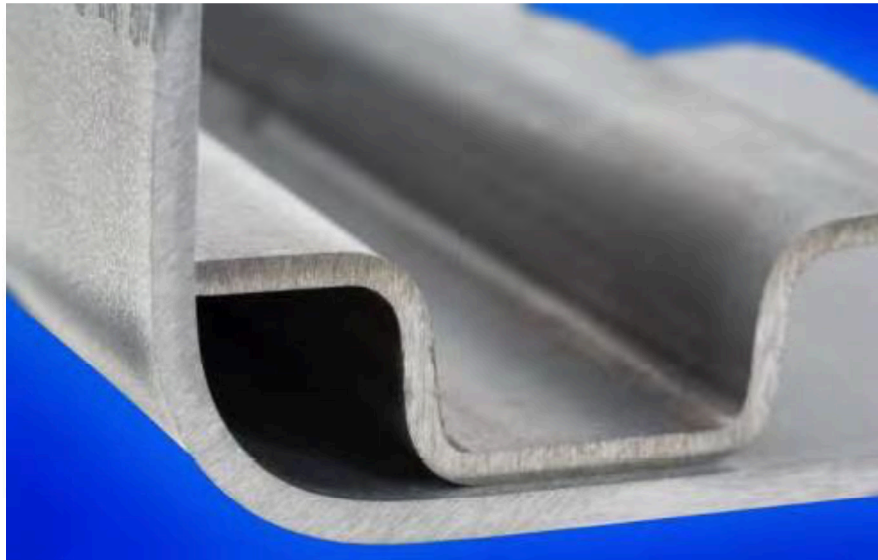
Şekil 3.1 Roll Forming Operasyonu (Wiebenga ve ark. 2012)

Roll forming prosesi özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin, dar toleranslarda ve esnek profil uzunluğu ile üretilmesinde öne çıkmaktadır. Kesit üzerindeki her büküm birden fazla operasyona dağıtılarak istenmeyen uzamalar azaltılırken, geri yaylanmaların da kontrol altında tutulması sağlanır. Geri yaylanmaların kontrolü de özellikle yüksek mukavemetli sacların şekillendirilmesi konusunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca diğer şekil verme operasyonlarına kıyasla artan mukavemete rağmen, herhangi bir yırtılma yaşamadan, kalınlıktan küçük iç yarıçaplarda dahi şekil verilebilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Üretilbilir Minimum İç Yarıçapların Kıyaslanması

Şekil 3.3’de MS1050/1400 çeliğinin normal büküm ve roll forming ile büküm sonucu elde edilen iç yarıçapların kıyaslaması yapılmıştır. Resimde de görüldüğü üzere roll forming ile bükülen kesitin (omega kesit) sahip olduğu minimum büküm iç yarıçapı, sac kalıp teknolojisi ile bükülen saca (90° büküm) kıyasla daha küçük yarıçapta (0.5) iç çapta bükülebilmektedir.



Şekil 3.3 Büküm İç Yarıçapının Kıyaslanması

Bununla birlikte, sac kalıncılığının aksine roll forming, proses değişkenliklerine karşı daha esneklerdir. Örnek verecek olursak; gelen sac rulolarındaki kalınlık ve akma

noktasındaki değişkenlikler, çok basit ayarlarla telafi edilebilmektedir. Şekil 3.4 incelendiğinde akma nokta farklılıklarına rağmen doğru tasarlanmış bir proses ile geri yaylanmalar kontrol altında tutulabilmektedir.



Şekil 3.4 Farklı Sacların Aynı Makaralardan Geçirilmesi Sonucu Elde Edilen Kesitler

Ek operasyonlar ile profil doğrultusunda şekil verme zorunluluğu gibi engeller de devre dışı bırakılarak, özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektöründe kendine yer bulabilmiştir (Şekil 3.5). Uçan giyotin adaptasyonu ile aynı kesite ait ancak farklı uzunluklara ait parçalar, kolaylıkla üretilebilmektedir. Roll form hattına eklenen operasyonların hat ile iletişimi ve senkronizasyon kısıtları aşılabildiği zaman, oldukça yüksek hat hızlarına çıkmak da mümkündür.



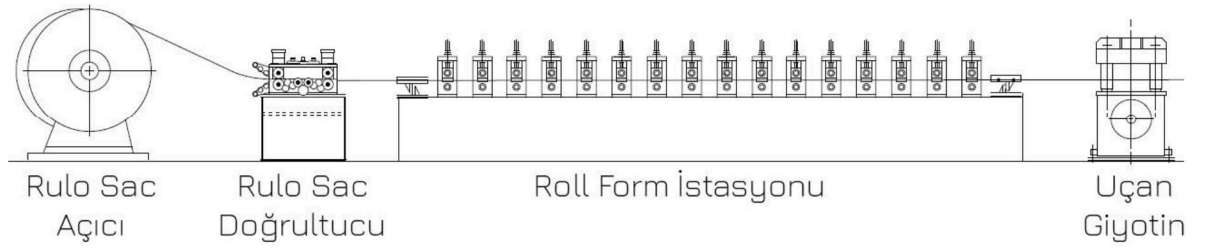
Şekil 3.5 Roll Forming ile Üretilen Kesitler

Şekil verme operasyonunun birden fazla sayıda istasyona bölünmesi ve her istasyonda kullanılan makaraların birden fazla alt makaradan oluşması sebebiyle, devreye alma

esnasında çıkan hatalar, düşük maliyetlerle ve kısa sürede çözülebilmektedir. Bununla birlikte, özellikle etekleri aynı fakat gövde genişlikleri farklı ürün grupları, ortak makaraların arasına eklenen düz makaralar ile üretilebilmektedir.

3.2. Roll Forming Hattının Elemanları

Roll form prosesi ile ilgili detaylara girmeden önce, hat elemanlarına hakim olmak gerekmektedir (Şekil 3.6). Üretim alanına rulo olarak gelen sac, ilk olarak daha öncede hesaplanmış ve hattın tasarımına uygun sac genişliğinde dilimlenir. Daha sonrasında sac, rulo sac açıcıya yüklenerek hat üzerinde hali hazırda bulunan bir önceki sac rulosuna kaynatılarak birleştirilir.



Şekil 3.6 Roll Form Hattının Elemanları (Halmos 2006)

Bu operasyon sonrasında, sacın rulo olarak sarılmasından gelen eğriliğinin alınması için rulo sac ilk olarak doğrultucuya girer. Eğriliği alınmış olan sac, roll form istasyonundaki makaralara girerek arzu edilen kesite doğru bükülerek ilerler. Hattan çıkmadan önce en son istasyon olan doğrultucu istasyona (Türk Kafası – Turk's Head) girerek hat içerisinde çözülemeyen geometrik uygunsuzluklar giderilir ve teknik resimde tanımlanan boyda uçan giyotin ile kesilerek operasyon tamamlanır.

3.2.1. Rulo Sac Açıcı

Sacın roll forming prosesi ile üretilebilir olması için şerit şeklinde bir ruloya sarılmış olması gerekmektedir. Bu rulo sac, kesitin genişliğinde dilimlenerek, şekillendirilmeye hazır hale getirilir. Ancak bu sacın, sarılmış rulodan hattın ilerleme hızında açılarak tezgâha beslenmesi gerekmektedir. Bu fonksiyon için rulo sac açıcılar kullanılmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Çift Üniteli Rulo Sac Açıcı

Rulo sac açıcılara sac ruloları teker teker yüklenebildiği gibi dönen tabla entegrasyonu ile de aynı anda birden fazla rulo yüklenerek rulo değişim süreleri kısaltılabilmektedir.

3.2.2. Rulo Sac Doğrultucu

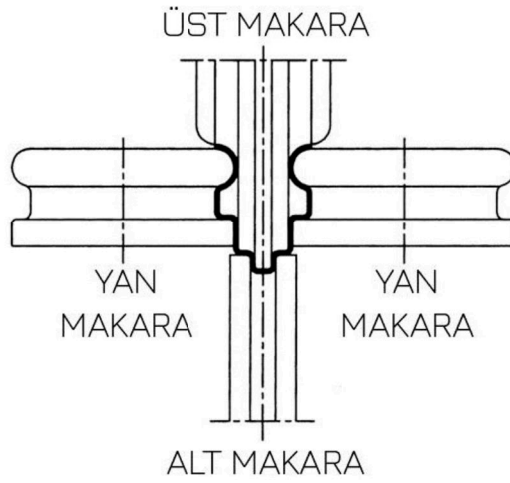
Rulo şeritten açılan sac üzerinde, sarım esnasında oluşan dairesel eğriliklerin, sac hatta sürülmeden önce düzeltilmesi gerekmektedir. Ayrıca sac üzerinde mevcut olan bu eğrilikler sac rulusunun merkezine doğru gittikçe daha da artmaktadır. Bu eğriliklerin düzeltilmesi için sac doğrultucular kullanılmaktadır (Şekil 3.8). Böylelikle hatta giren sacın doğrusallığı sağlanabilmektedir.



Şekil 3.8 Rulo Sac Doğrultma Ünitesi

3.2.3. Roll Form Makaraları

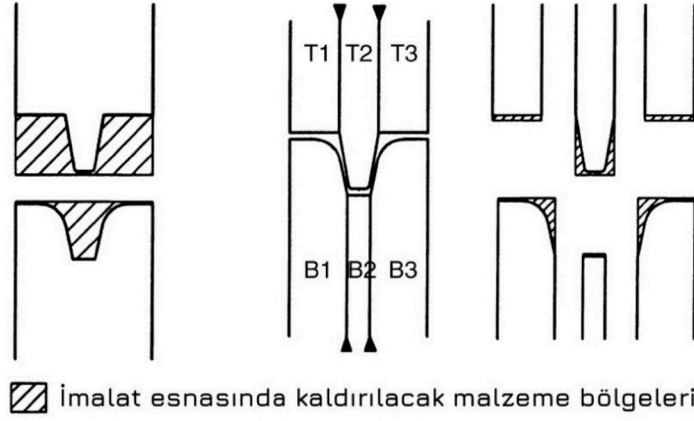
Sac malzeme, formun oluşturulduğu yer olan makara setleri arasından geçerken final kesite doğru bükümler, ardışık olarak gerçekleştirilir. Bir set makarada, en az bir adet alt ve üst makara bulunur. Geometrinin kapalı olması durumunda ya da açık büküm yapılmasının istenmediği durumlarda ise yan makaralar ile büküm operasyonu desteklenmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Roll Form Makaraları

Makaraların form vermek haricinde bir diğer görevi de sacın istasyonlar arasında ilerlemesini sağlamaktır. Tahrik, tekil olarak alt veya üst makaradan verilebileceği gibi sac iki makara ile aynı anda da sürülebilir. Bazı özel durumlarda yan makaralar da tahrik ediliyor olsa da sacın ilerlemesi üzerinde temel fonksiyon, alt-üst makara setlerindedir.

Alt ve üst makaralar, genellikle birden fazla alt parçalara dilimlenebilmektedir (Şekil 3.10). Makaraların dilimlenmesi ile hem üretim esnasında daha az malzeme kaldırılmakta olup hem de montaj ve ayar kolaylığı sağlanabilmektedir. Bu avantajlarına ek olarak, makaralarla üretilebilecek olan kesitlerin genişlikleri esnek tutulurken, değişiklik veya iyileştirmelerde makaranın sadece küçük bir dilimi değiştirilerek maliyetlerin aşağı çekilmesi sağlanmaktadır.



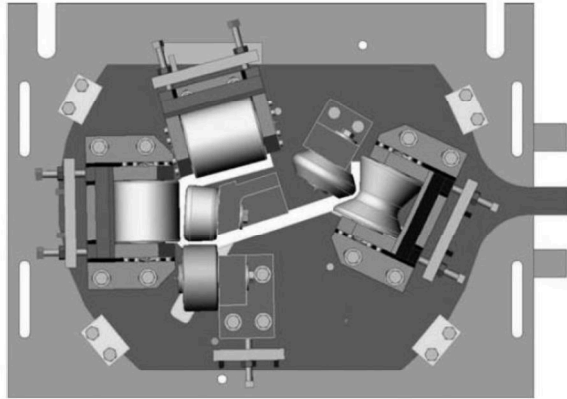
Şekil 3.10 Makaraların Bölünmesi ve Malzeme Tasarrufu

3.2.4. Düzeltici İstasyon

Prosesin tabiatı itibariyle kesit boyunca gerçekleşen farklı miktarlardaki uzamaları ile sac malzemenin rulolar arası değişen mukavemetinin ve kalınlığının, final kesit geometrisine olan etkisini toleranslar dahilinde tutabilmek için profilin hattın sonunda kontrollü olarak düzeltilmesi gerekmektedir. Bunun için düzeltici istasyonlar kullanılmaktadır (Şekil 3.11).

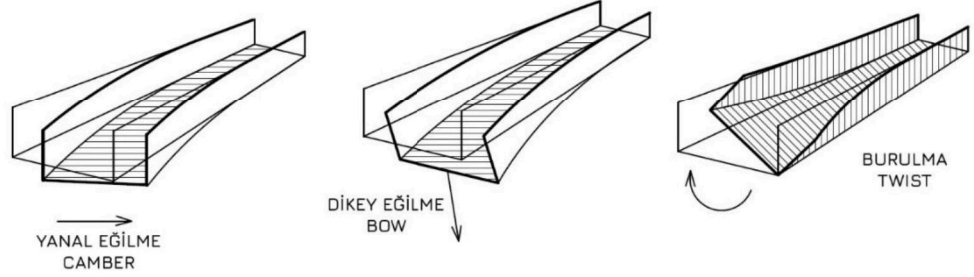
Proses tasarımı ve form makaralarının aşınması kaynaklı hatalar dışında imalat sırasında oluşan hatalar, 3 kategori altında toparlanabilirler:

1. Yanal Eğilme
2. Dikey Eğilme
3. Burulma



Şekil 3.11 Makara Entegre Düzeltici İstasyon

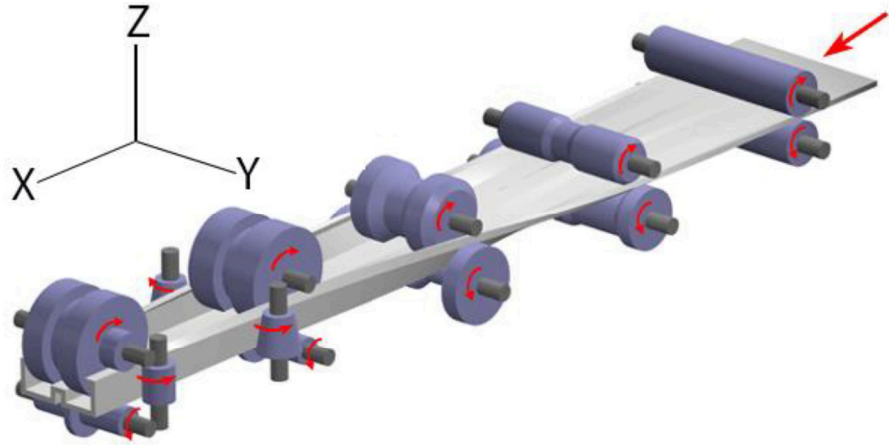
Bu hata tipleri roll form hattının sonuna eklenen bir düzeltici istasyon ile karşı büküm oluşturularak kabul edilen proses değişkenlik seviyesine çekilebilmektedirler (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Roll Forming Prosesinde Karşılaşılan Genel Hata Tipleri

3.3. Proses Mekanikleri

Bütün diğer proseslerde olduğu gibi roll formda da doğru proses tasarımı için şekil verme operasyonuna etki eden mekaniklerin iyi anlaşılması gerekmektedir. Böylelikle gerek takip eden ardışık proseslere doğru bir girdi sağlamak, gerekse final müşteriye doğru ürünü ulaştırabilmek mümkün olacaktır.



Şekil 3.13 Sacın Makaralar Arasındaki Hareketi ve Eksen Takımları

Daha önce de belirtildiği üzere şekil verme operasyonları esnasında sac malzeme, form verme makaraları arasında ilerletilerek arzu edilen kesit elde edilir (Şekil 3.13). Doğru kesiti elde edebilmek içinse bu süreçte etkili olan parametrelerin ne olduğunun ortaya konulması ve proses tasarımının bu doğrultuda yapılması gerekmektedir. Bu şekil verme operasyonu esnasında prosese girdi sağlayan dinamikler, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Malzeme Seçimi, Mekanik Özellikler ve Tolerans Beklentileri
2. Çiçek Açınımı
3. Açınım Genişliğinin Hesaplanması
4. Sacın Etek Uzaması
5. Makara Çaplarının Etkisi
6. Etek Uzunluğunun Etkisi
7. Roll Forming Prosesi Hata Modları

3.3.1. Malzeme Seçimi, Mekanik Özellikler ve Tolerans Beklentileri

Üretilmesi hedeflenen kesit, hayatına bir fonksiyonu yerine getirmesi için tasarlanmış bir ürün olarak başlamaktadır. Bu fonksiyonu yerine getirirken üzerine gelecek olan değişken yüklemeler altında da işlevini sürdürmesi beklenmektedir. Ürünün geometrisi, malzemesi, kalınlığı, üretim metodu vs. gibi değişkenler, bu doğrultuda kurgulanmakta ve seçilmektedir.

Üretim metodu ise malzeme konusunda ürünün fonksiyonel beklentisi kadar büyük bir öneme sahiptir. Çünkü tasarlanan ürünün üretilebilirliği, doğrudan ürün maliyetine etki etmesi sebebiyle ortaya çıkacak final ürünün rekabetçiliği üzerinde etkilidir. Ancak kesit tasarımcısının, proses tasarımcısı ile çalışması durumunda, prototip ve seri fazlarda ortaya çıkabilecek kronik problemlerin henüz tasarım aşamasındayken çözülmesi mümkün olacaktır.

Roll form prosesi diğer sac şekillendirme proseslerine kıyasla daha esnek olması sebebiyle seçilen saca ait teknik zorluklar, hat tasarımındaki basit çözümler ile kolayca tolere edilebilmektedir. Özellikle bükülebilirlik konusunda minimum iç yarıçap, pres kalıpları teknolojisinde başlı başına büyük bir sıkıntıyken roll forming prosesi ile (çoğu

yüksek mukavemetli saclarda dahil olmak üzere) kalınlığın altındaki iç yarıçaplara kadar büküm yapmak mümkün olmaktadır.

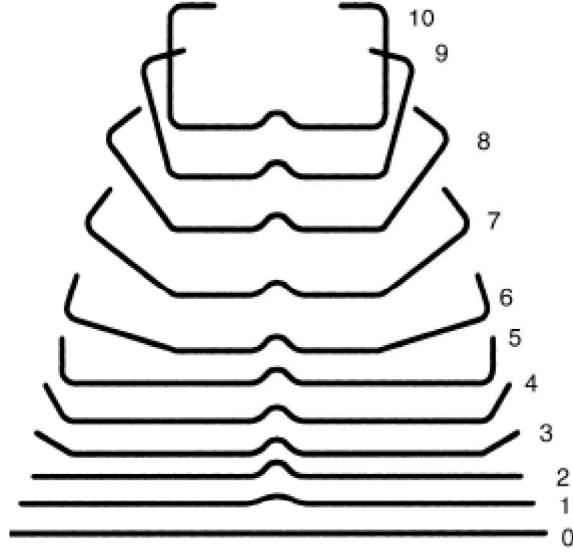
Yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerin roll form dışında diğer metal şekil verme operasyonlarına entegrasyonunda karşılaşılan en büyük sıkıntılardan biri, gelen her lot sacın farklı akma noktalarına sahip olmasıdır. Düşük mukavemetli saclarda da aynı değişkenlik olmasına rağmen, akma noktasının görece daha düşük olması, geri yaylanmalar üzerinde büyük değişkenliklere sebep olmamaktadır. Ancak proses yapısı itibariyle roll form akma noktasındaki büyük yüzdelerdeki değişkenlikleri dahi (+10~15% MPa) tolere edebilir.

Her ne kadar proses kendi içerisinde esnek olsa da dikkat edilmesi gereken bazı önemli kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler sacın genişlik ve kalınlık toleransı, boyuna ve yanal dalgalanmalar ile rulo sacdan gelen uygunsuzluklar olarak geometrik parametreler adı altında toplanabilir.

Geometrik parametreler, sacın makaralar arasındaki sınır koşullarına etki etmesi sebebiyle prosesin kararlılığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu için sac tedarikçisi ile bu parametrelerin genliği üzerinde bir anlaşmaya varılıp, proses de bu doğrultuda tasarlanmalıdır.

3.3.2. Çiçek Açımını

Roll forming operasyonu, diğer metal şekil verme operasyonları gibi gerek geometrik sebeplerden, gerekse iş parçası üzerindeki kalıntı stresi minimize edebilmek adına ardışık operasyonlardan oluşmaktadır. Bu operasyonların tanımlanması için kesit üzerindeki bükümlerin belirli bir sırayla, düz bir sac elde edene kadar açılmasına çiçek açımını denir (Şekil 3.14).

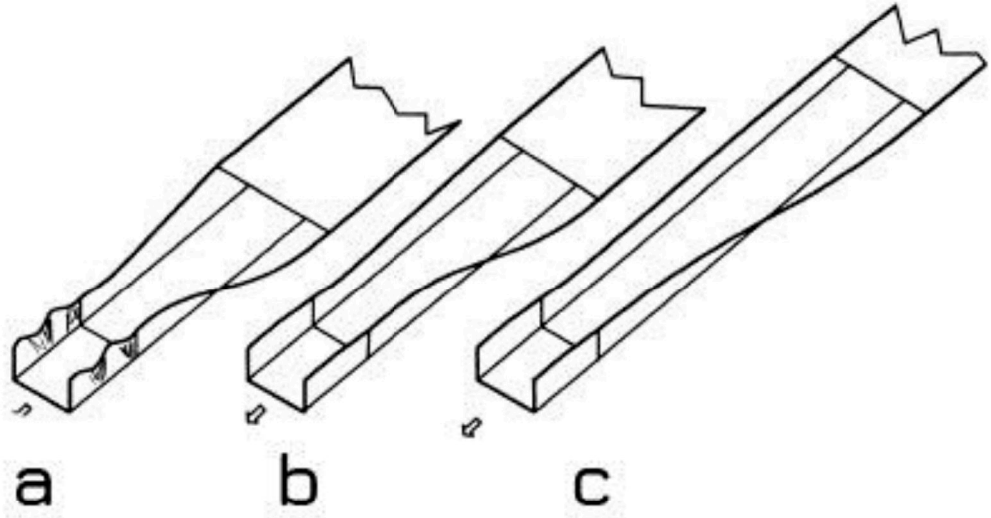


Şekil 3.14 Çiçek Açınımı

Çiçek açınımının tasarımı, roll form hat tasarımının en kritik aşaması olup; tasarım aşamasında yapılan hatalar fark edilmediği halde, sonradan çözülmesi mümkün olmayacak kalıcı problemler yaratabilme potansiyeli taşımaktadır. Özellikle final ürün beklentileri ile ilişkilendirilmemiş bir çiçek tasarımı, sürekli tolerans dışı ürün üretecek bir hattın temelini oluşturacaktır.

Gerçekleştirilecek olan açınım çalışmasında, hat tasarımcısı hangi bükümlerin, hangi sırada, kaç adet istasyonda ve her istasyonda kaçar derece büküleceğine karar vermektedir.

İstasyonların sayısı kadar arasındaki mesafe de önem taşımaktadır (Şekil 3.15). Sac, bir bükümden diğer büküme doğru seyahat ederken, istasyonların birbirine çok yakın olması, sacın boyuna uzamasını arttırarak eteklerde dalgalanmaya yol açabilir. Tam tersine istasyonlar arası mesafe çok fazla olursa bu durumda da bükümler verimsiz gerçekleşecek ve gereğinden fazla sayıda istasyon ve uzun bir tezgahta büküm meydana gelecektir.



Şekil 3.15 İstasyonlar Arası Mesafe (a-çok kısa, b-ideal, c- çok fazla)

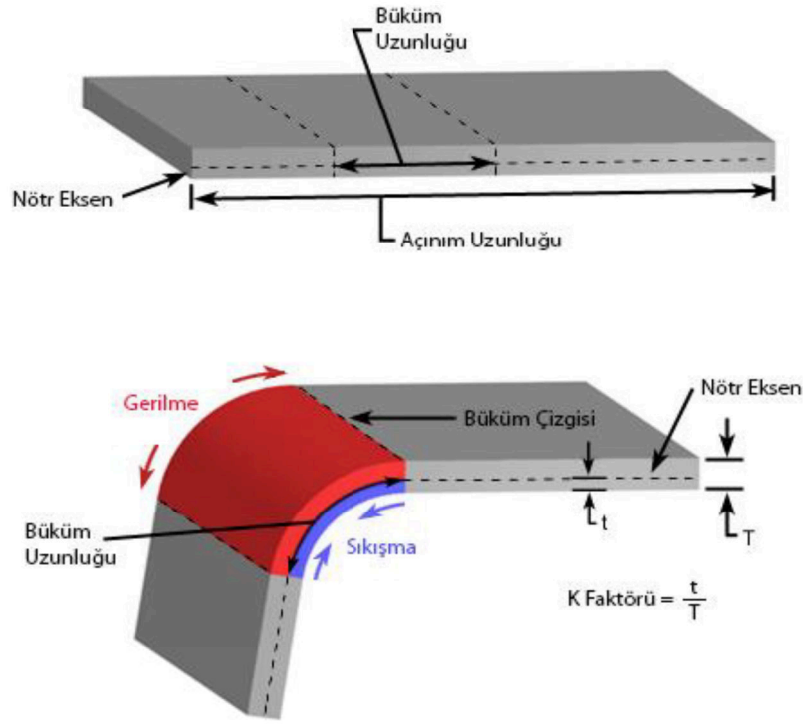
Bu noktada hat tasarımcısı, hali hazırda var olan bir roll form tezgahı üzerine makara tasarımı yapıyorsa istasyonlar arası mesafeyi referans kabul ederek minimum plastik deformasyona müsaade edecek şekilde istasyonlar arası büküm açılarını belirlemelidir. Ancak hat sıfırdan yapılıyorsa istasyonlar arası mesafeyi, doğru ürün performansına göre seçebilir.

Bu kararları alırken tasarımcı fazla güvenli tarafta kalarak sacı çok sayıda istasyonda bükmesi durumunda, hat yatırım maliyetlerini arttırırken, az sayıda makara kullanarak hat maliyetini düşürdüğünde ise profil üzerinde oluşacak olan kalıntı stres ve açık bükümler sebebiyle geometrik olarak uygun olmayan bir kesit üretecektir. Tasarımcının bu noktadaki en temel görevi, bu iki dinamik arasındaki dengeyi en iyi şekilde kurabilmektir.

Çiçek açınımı konusunda özelleşmiş ve ilgili hesaplamaları yapan programlar, her ne kadar mevcut olsa da bu tezin kapsamında olmadığı için bahsedilmeyecektir. Onun yerine, çiçek açınım tasarımının arka planındaki detayların üzerinden kısaca geçilerek okuyucuyu bu konuda bilgilendirmek hedeflenmiştir.

3.3.3. Açınım Genişliğinin Hesaplanması

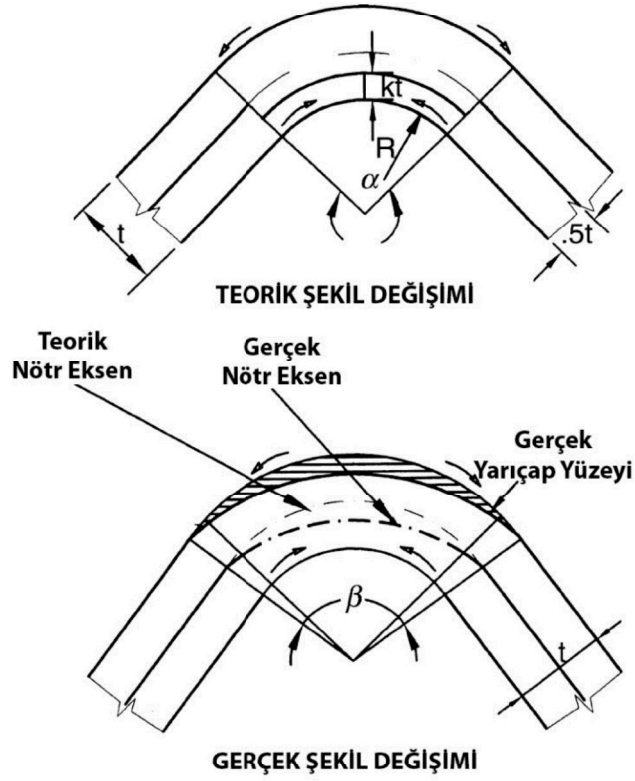
Hazırlanan çiçek açınımı sonrasında makara tasarımına geçmeden önce, sacın her bükümde nasıl ve ne kadar şekil değiştireceğinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalarda referans alınan metot, sacın büküm esnasında uzunluğu değişmeyen nötr eksenin belirlendiği sac bükülebilirliğidir. Buna göre, sacın kalınlık yönündeki bir düzleme ait genişliğinin büküm esnasında değişmediği kabul edilir. Düzlemden büküme doğru olan kısım sıkışmakta, bükümden dış duvara doğru olan kısım ise gerilmektedir. Teorik olarak bakıldığında, geometri üzerinde herhangi bir değişiklik olmamaktadır.



Şekil 3.16 Sac Bükülebilirliği

Bu düzlemin pozisyonu ise K faktörü ile tanımlanır. K faktörü Şekil 3.16'da da gösterildiği üzere nötr eksenin kalınlık yönündeki mesafesinin kalınlığa oranı olarak ifade edilmektedir. Bu değer, deneysel çalışmalarla bulunabileceği gibi genellikle üzerinde çalışılan sacın tedarikçisinden de temin edilebilmektedir.

Ancak sacın gerçek davranışı incelendiğinde iç yarıçap, form makaraları ile kontakta olduğu için değişmemektedir. Büküm bölgesinde sac kalınlığı dış yüzeyin uzaması sebebiyle incelmekte ve dış büküm yüzeyi eğrisel bir form almaktadır. Bunun sonucunda da dış büküm yarıçap değeri, iç yarıçap + kalınlık değerinden daha az olmaktadır.



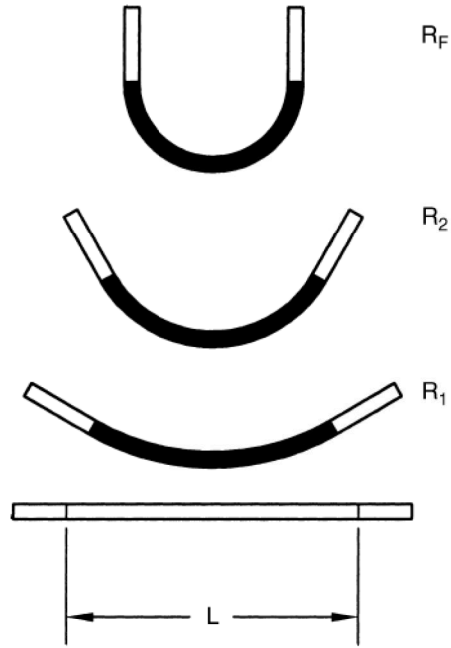
Şekil 3.17 Sacın Büküm Esnasındaki Gerçek Şekil Değişimi

Açınım genişliğinin hesaplanmasında ise bu kalınlıktaki incelmenin sadece büküm bölgesinde olduğu değerlendirilir (Şekil 3.17). Böylelikle, bükümdeki yarıçapın iç nötr düzlem uzunluğunun değişmediği değerlendirilerek hesaplamalar yapılmaktadır.

Açınım hesaplamasında iki farklı metot kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, büküm bölgesinin yay uzunluğunun büküm boyunca değiştirilmediği sabit yay metodu; diğeri ise büküm bölge açısını, çiçek açınımında kurgulanmış sayıda ve açı değerlerinde parçalara bölerek her defasında sırayla bükümün gerçekleştirildiği sabit yarıçap metodudur.

3.3.3.1. Sabit Yay Metodu

Sabit yay metodunda, büküm bölgesinin yay uzunluğunun değişmediği kabul edilir. Buna göre sac parça, düz açınım halinden git gide azalan yarıçap değerlerinde bükülerek istenilen yarıçapa ulaşılır (Şekil 3.18).

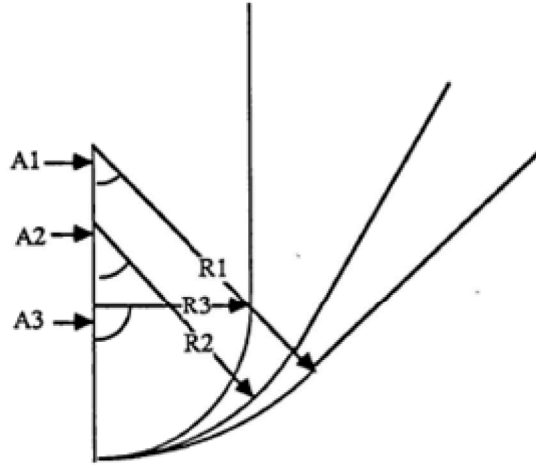


Şekil 3.18 Sabit Yay Metodu ile Bükümün Gerçekleştirilmesi

Sabit yay metodunda, yay uzunluğu değişmediği için o bükümdeki yarıçap ile o yarıçapı gören açının radyan değerinin çarpımı, final yarıçap uzunluğu ile o yarıçapı gören açının radyan değerinin çarpımı ile aynı olacaktır (Şekil 3.19).

$$A1 * R1 = A2 * R2 = A3 * R3 = SABİT \quad (3.1)$$

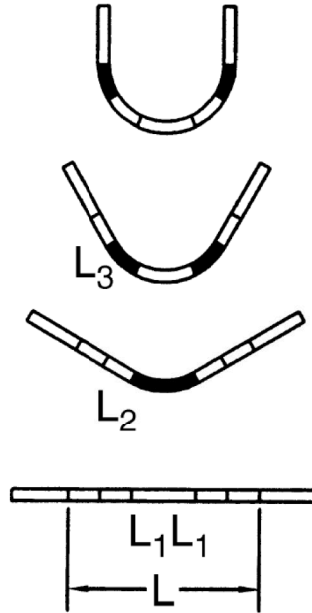
Sabit yay metodunun avantajı, sacı makara içinde final yarıçapa hapsetmediği için küçük aksenal kaymalara müsaade etmesidir. Böylelikle aynı anda birden fazla büküm yapmak mümkün olmaktadır. Ayrıca açık büküm gerçekleşeceği zaman, form makarası iç yarıçap yüzeyine basamayacağı için sac, etekten hapsedilerek dış büküm yüzeyinden şekil verileceği durumlarda faydalı olmaktadır.



Şekil 3.19 Sabit Yay Metodunda Açı ve Yarıçap Değişimi

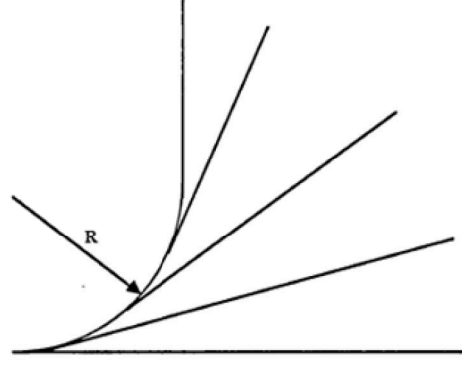
3.3.3.2. Sabit Yarıçap Metodu

Sabit yarıçap metodunda, büküm bölgesi aynı yarıçapta ve farklı açılarda birden çok yay parçalarına bölünür. Bu yay parçalarının sırayla her bükümde tek tek ve tamamen açılmasıyla çiçek açılımı tasarlanır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Sabit Yarıçap Metodu ile Şekil Verme

Sabit yarıçap metodunun kullanılabilesi için iç ve dış büküm yüzeylerinin, form makaraları ile temas etmesi gerekmektedir. Bununla birlikte geri yaylanma riski yüksek olan saclarda, geri yaylanmaları sabit yay metodu ile bir defada vermek yerine, sabit yarıçap metodu ile paylaştırarak vermek daha kolay ve efektif olacaktır (Şekil 3.21).

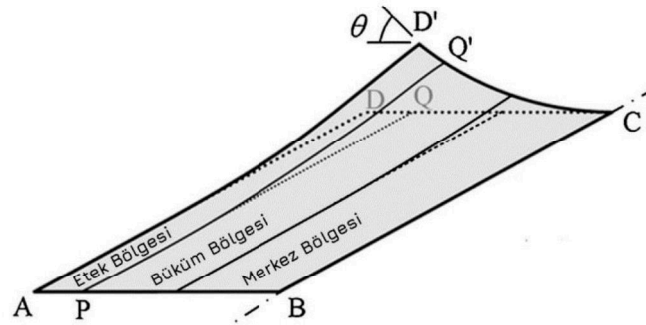


Şekil 3.21 Sabit Yarıçap Metodunda Nötr Eksenin Değişimi

Tez kapsamında yapılan çalışmada, ağırlıklı olarak sabit yarıçap metodu kullanılarak makara içerisinde sacın hem iç hem de dış yarıçapına dokunmak mümkün olmuştur. Böylelikle serbest bükümden olabildiği kadar uzak durulmuş ve sacın özellikle ürün fonksiyonu açısından önemli geometrilerinin korunması sağlanmıştır.

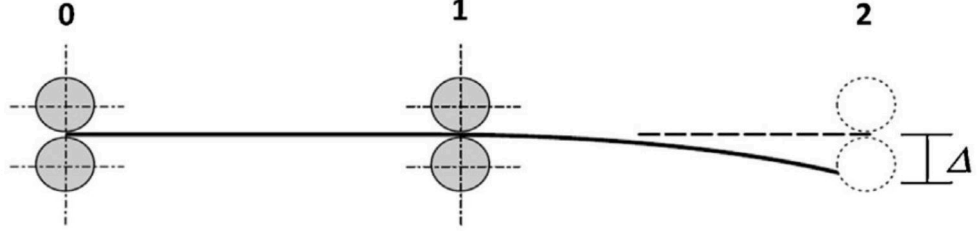
3.3.4. Sacın Etek Uzaması

Makara içerisinde seyahat eden sacın etek bölgesi (A-D Çizgisi), merkez bölgesine (B-C Çizgisi) kıyasla daha uzun bir yol izlemektedir. Bunun sonucunda da A-D çizgisi uzayarak A-D' çizgisine dönüşecektir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Sacın Makaralar Arasındaki Hareketi (Kasaei ve Ark. 2014)

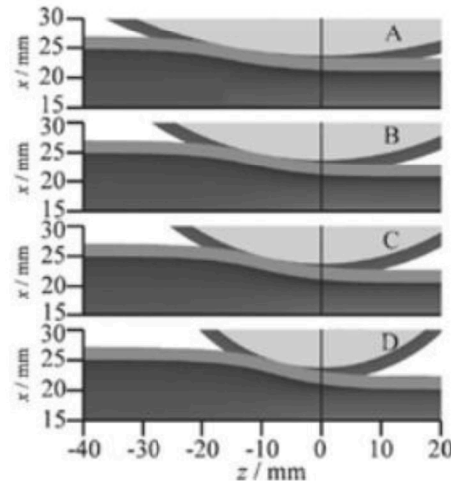
Burada önemli olan kısım, bu uzamaların olabildiği kadar elastik bölgede bırakılarak etek uzamasının minimize edilmesidir. Aksi taktirde sac ilerleme doğrultusu boyunca farklı kesitlerde farklı uzamalara maruz kalacağından hattan çıkan final ürün üzerinde çarpımalardan kaynaklı olup uygunsuzluklarla karşılaşılacaktır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Makaradan Çıkan Sacın Sehimi ve Makaraya Çarpması (Kasaei ve Ark. 2014)

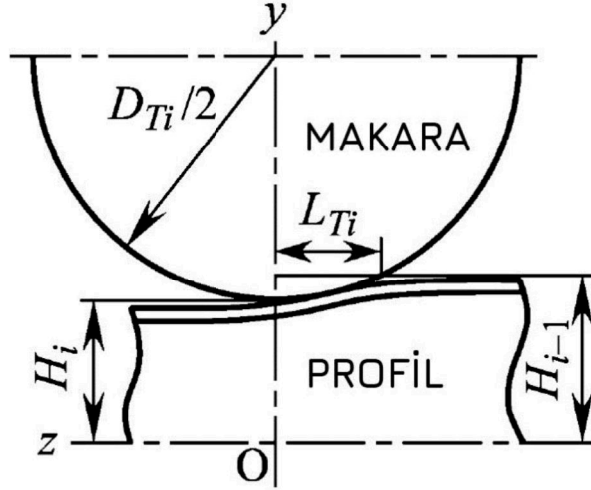
3.3.5. Makara Çaplarının Etkisi

Roll form hat tasarımında en önemli karar kriterlerinden biri de tasarlanmış çiçek açımını için doğru makara çapı seçimidir. Çünkü makara çapı, hareket eden sacın boyuna uzamasına etki eden önemli faktörlerden biridir. Bunun sebebi ise Şekil 3.24'te görüldüğü üzere sacın istasyona girerken X doğrultusunda hareket ettiği mesafenin, Z doğrultusunda hareket ettiği mesafeye oranı, makara çapının artması ile doğru orantılı olarak değişmektedir. X/Z oranının artması ise sacın üzerinde oluşacak olan istenmeyen boyuna plastik uzamaların artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.24 Makara Çapının Azalmasıyla Giriş Bölgesinin Kısılması

Z doğrultusundaki boy ne kadar kısa olursa sac da o kadar kısa bir mesafede bükülmeye çalışacağından, gerçekleşen uzamalar plastik bölgeye doğru kayacaktır. Ancak aşikâr olan bir durum var ki; makara çapları arttıkça hem istasyon ve hat üzerindeki yerleşim zorlaşmakta hem de hat maliyetleri artmaktadır. Burada hat tasarımcısına düşen sorumluluk, çiçek açınımına uygun makara çaplarını seçmek eğer tasarlanmış olan çiçek açınımına uygun makara çapı seçilemiyor ise çiçek açınımını değiştirmektir.



Şekil 3.25 Makara Giriş Mesafesine Ait Parametreler

Makaraya giriş mesafesinin (L_{Ti}) hesaplanmasında (Şekil 3.25) ise aşağıdaki formül kullanılmaktadır. Bu formülde amaç, makara giriş uzunluğunun o sacın seyahat ettiği köşegen uzunluğuna oranlayarak gerçekleşen uzamaların yüzde kaçının plastik bölgede gerçekleştiğinin hesaplamaktır. Böylelikle sac üzerindeki boyuna plastik uzamaların yüzdesi kontrol edilerek gerekli ise çiçek açınımını iyileştirilebilir.

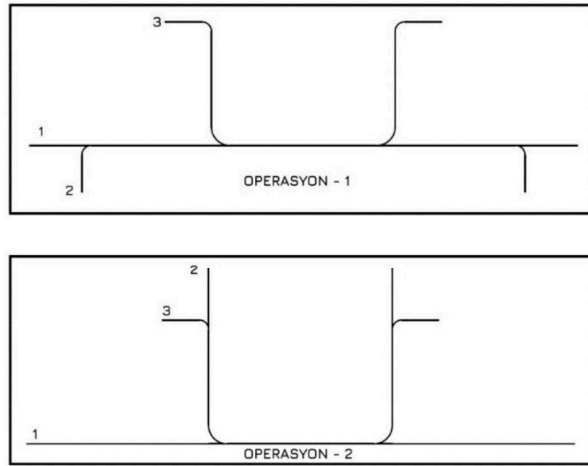
$$L_{Ti} = \sqrt{\left(\frac{D_{Ti}}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_{Ti}}{2} - H_{i-1} + H_i\right)^2} \quad (3.2)$$

Bu noktada dikkat edilmesi gereken başka bir konu ise hat tasarımı tamamlandıktan sonra sac üzerinde istenilmese de bir miktar boyuna uzamanın gerçekleşecek olmasıdır. Bu noktada tasarımcı şekil verme simülasyon sonuçlarını inceleyerek; boyuna uzamaların sacın hat içerisindeki çizgisel hızını arttırdığı durumda, takip eden makara çaplarını azaltıp çizgisel hızı artırma yoluna giderek dengeyi sağlamalıdır.

3.3.6. Etek Uzunluğunun Etkisi

Çiçek tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer konu, ilk bükümlerin hangi sırayla gerçekleşeceği ve bunun genel şekillendirme sürecine olan etkisinin ne olacağıdır. Çiçek açınımında sıklıkla kullanılan bir metot da ilk büküm operasyonlarını sacın eteğin dış genişliğine en yakın bükümünden başlatmaktır. Böylelikle etek bölgesinde bir güçlendirici form oluşturularak sacın istasyonlar arası boyuna uzamalarının önüne geçilmesi sağlanacaktır.

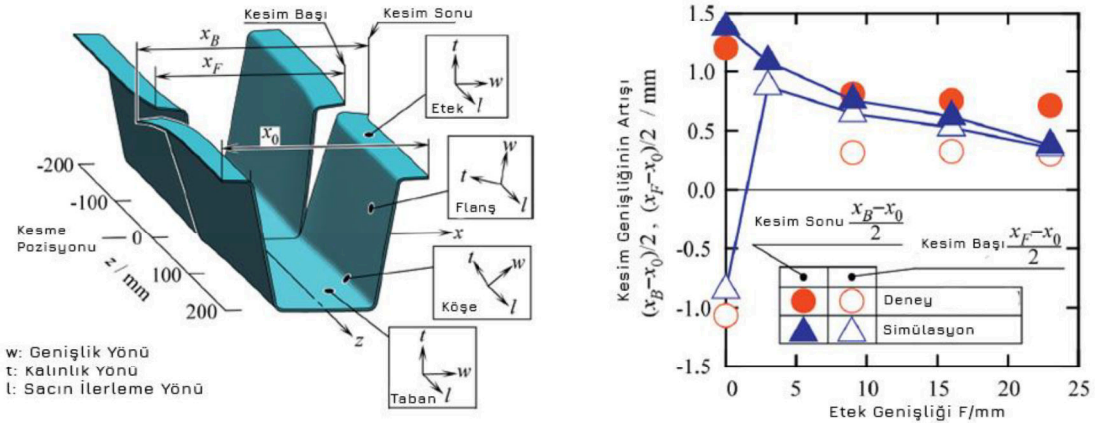
Ancak aksi şekilde ilk bükümlere merkez noktasına yakın noktalardan başlanması durumunda ise sacın etek bölgesi, hem daha zayıf olduğu için boyuna uzamalara karşı daha az dirençli olacak hem de açılmal olarak seyahat edeceği yol uzayacağı için daha fazla boyuna uzamaya maruz kalacaktır.



Şekil 3.26 Açınım Operasyonlarının Kıyaslanması

Şekil 3.26'daki örneğe bakıldığı zaman, iki farklı operasyona ait büküm sıralamaları görülmektedir. Birinci operasyonda ilk büküm dış eteklerde gerçekleştirilmiş olup ikinci adımda merkez düzlem üzerindeki büküm gerçekleştirilmiştir. İkinci operasyonda ise tam tersi bir sıralama izlenmiştir. Operasyon-2'de etek en uç noktasının iki istasyon arasında seyahat ederken aldığı yol, Operasyon-1'e kıyasla daha fazladır. Bunun sonucunda da Operasyon-2'de gerçekleşecek olan etek uzamalarının plastik bölgeye kayarak etekte dalgalanmaya sebep olma riski yüksektir.

Saffe ve arkadaşları, yaptıkları bir çalışmada etek genişliğinin geri yaylanmaya etkisini incelemiştir. Bu çalışmada etek genişliği 0mm, 3mm, 9mm, 16mm ve 23mm olacak şekilde 5 farklı kesiti roll forming ile üretilen profildeki açılmaları ve kapanmaları incelemiştir.



Şekil 3.27 Etek Genişliğinin Geri Yaylanmaya Etkisi

Şekil 3.27’de bulunan profile bakıldığında etek genişliği 0mm olduğu durumda kesim bölgesinin öncesinde daralma ve sonrasında açılma ile karşılaşmıştır. Ancak etek genişliği arttıkça bu geri yaylanmaların daralma eğilimi gösterdiği ortaya koyulmuştur.

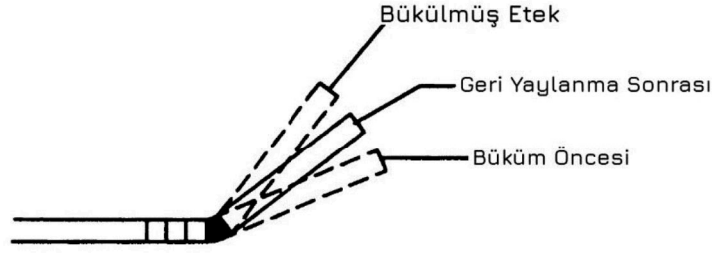
3.3.7. Roll Forming Prosesi Hata Modları

Herhangi bir prosesi tasarlayabilmek için hakim olunması gereken temel bilgilerden biri de o prosese özgü hata tipleridir. Böylelikle hat tasarımcısı daha en başından olası hata tiplerini öngörüp, bunları önleyecek çözümleri tasarımına her şey kağıt üzerindeyken entegre edebilir. Eğer hata tipleri hat tasarımında tamamen çözülebilecek kök sebeplere sahip değilse bu hataların oluşması durumunda çeşitli ayar mekanizmaları ile hata genliğini kabul edilebilir bir bölgeye çekebilir.

Tez kapsamında sacın izotropik olduğu varsayımında bulunduğu için üzerinde duracağımız hata tipleri homojen olmayan uzama ve kalıntı stres sonucu oluşan geri yaylanmalar kapsamında olacaktır.

3.3.7.1. Geri Yaylanma

Geri yaylanma, bütün metal şekil verme proseslerinde olduğu gibi sacın, üzerine uygulanan şekil değiştirici kuvvetler ortadan kalktığı zaman elastik toparlanma ile eski şekline geri dönmeye çalışmasıdır. Bu hatayla ilgili olarak tasarımcı her istasyonda olası geri yaylanmaları ön görüp fazla büküm vererek problemi çözmeye çalışır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 Büküm ve Geri Yaylanma

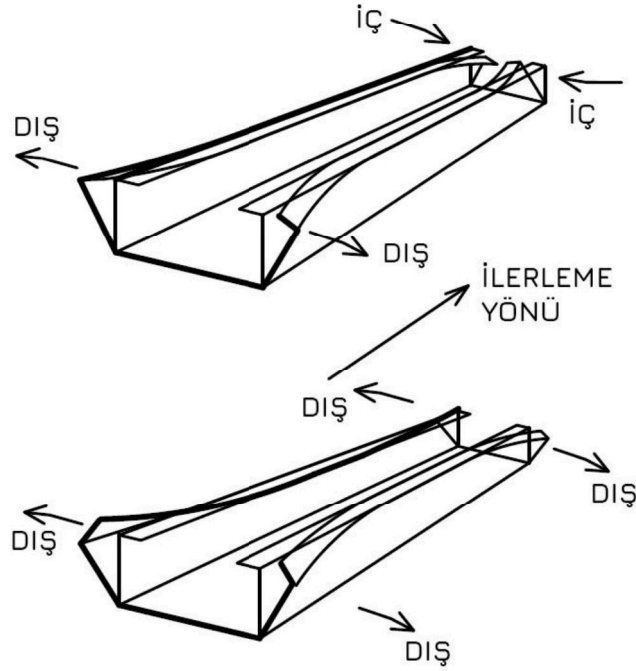
Buna ek olarak hattın belirli yerlerine ütüleme istasyonları da yerleştirilebilir. Ancak kesitin karmaşıklaşması sebebiyle, iç ve dış büküm yarıçapına aynı anda ulaşmanın mümkün olmadığı durumlar oluşmaktadır. Bunun sonucunda da büküme bağlı olan düz bölgelerde eğikliğe sebep olma riski mevcuttur.

Bu ve benzer hataları üretime geçmeden yakalamanın yolu ise tasarımı şekil verme simülasyonlarından geçirmektir. Tasarımcı ön gördüğü geri yaylanmaların sonucunu SEM sonuçlarını inceleyerek tasarımı iyileştirebilir ve hat sonunda bulunan düzeltici istasyon (Türk Kafası / Turk's Head) ile malzeme kompozisyon ve kalınlık varyasyonları kaynaklı değişkenlikleri absorbe edebilecek bir tasarım gerçekleştirebilir.

3.3.7.2. Açılma/Kapanma (Flaring)

Hat içerisinde ilerleyen sac final kesitine ulaşana kadar belirli sayıda istasyondan geçer. Her istasyonda gerçekleştirilen büküm sırasında oluşan plastik şekil değiştirmeler sebebiyle parça üzerinde bir miktar kalıntı stres kalmaktadır. Operasyondan çıkan profil ise kullanım boyunca kesildiği zaman, parça üzerinde bulunan kalıntı stres serbest kalmaktadır ve parçanın geri yaylanarak şekil değiştirmesine (açılmasına ya da kapanmasına) sebep olmaktadır (Şekil 3.29).

Sac üzerinde gerçekleşen plastik şekil değiştirme yüzdesinin çok yüksek olması durumunda, sac üzerinde oluşan kalıntı stres artacaktır. Sacın takip eden istasyonlarda da benzer agresiflikte plastik şekil değiştirmeye maruz kalması durumunda, üzerinde çok fazla kalıntı stres birikecektir.

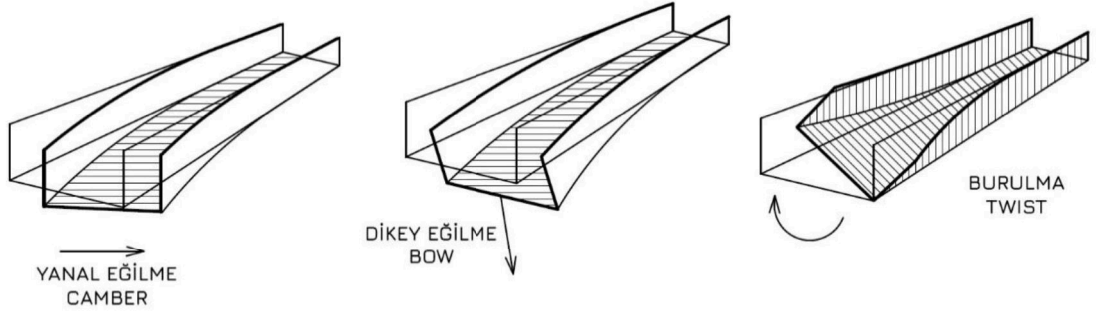


Şekil 3.29 Flaring Etkisi

SEM çalışmaları sayesinde sacın hat üzerinde ilerlerken üzerinde oluşan plastik deformasyonlar görülebilmektedir. Böylelikle hangi deformasyonların arzu edilen hangilerinin tasarım hatası kaynaklı olduğu kolaylıkla görülebilmektedir. Bu noktadan sonra SEM girdisi ile tasarımcı, hat maliyet dengesini de gözeterek operasyonlar üzerinde değişikliklere gidip oluşan kalıntı stresleri minimum seviyeye çekebilir.

3.3.7.3. Yanal, Dikey Eğilme ve Burulma (Camber/Bow & Twist)

Bir kesit üzerinde meydana gelen yanal ve dikey eğilmeler ile burulma hata tipleri, gerçekleşen uzamaların kesit boyunca eşit olarak dağılmaması sebebiyle oluşmaktadır. Kesite ait herhangi bir bölgenin diğerlerine göre daha fazla uzaması, kesit boyunca doğrusallığın kaybolması ile sonuçlanacaktır. Bu doğrusallık kaybı sonucunda kesit üzerine eğilmeler ve burulmalar gerçekleşecektir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Eğilme ve Burulma Hata Modları

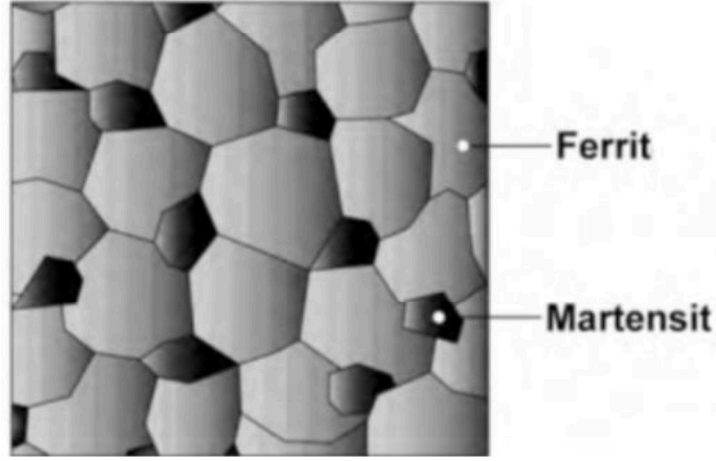
Seri koşullarda doğru tasarlanmış bir hatta üretilen bir profil üzerinde gerçekleşen eğilme ve burulmalar, genellikle malzeme kompozisyonunun ve kalınlığının tasarım girdisi olarak belirlenen spesifikasyonlar içerisinde gelmemesine bağlı olarak ya da hat üzerindeki ayar kaçıklıkları sebebiyle gerçekleşebilir.

Ancak ne yazık ki her defasında öngörülen ve karşılaşılan hata tipleri, hat içerisinde çözülemez. Gerek kesit geometrisi kaynaklı gerekse hat parametreleri kaynaklı olarak yukarıda tanımlanan hata tipleri ile karşılaşılabılır. Bu durumda yapılması gereken, uzamaldaki süreksizliğin olduğu noktaları ve miktarlarını tanımlayıp bunu düzeltici istasyonlar içinde çözmektir.

3.4. Roll Forming Operasyonunda Kullanılan Yüksek Mukavemetli Çelikler

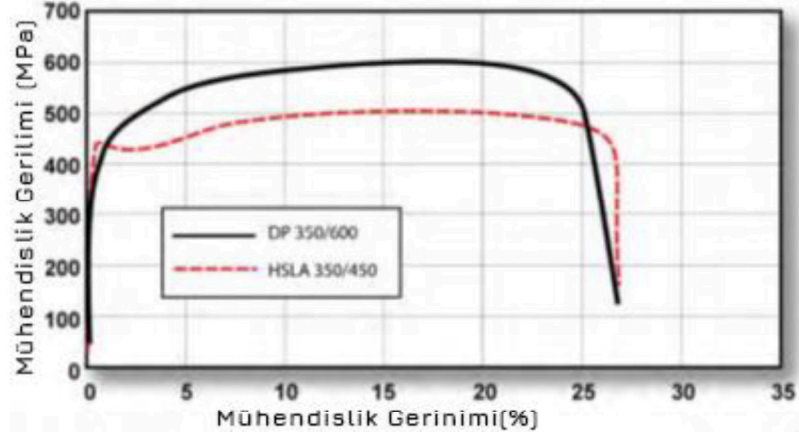
3.4.1. Çift Fazlı Çelikler

Çift fazlı çelikler ferrit yapısı içerisinde adalar şeklinde dağılmış martenzitik yapılardan oluşmaktadır. Genellikle martenzit yüzdesinin artması ile birlikte malzemenin mukavemeti de artmaktadır. Çift fazlı çelikler haddeleme sonrasında, östenit fazına kadar ısıtılmış çeliğin kontrollü bir şekilde soğutulması martenzit fazına dönüştürülmesi ile elde edilir. Soğutma operasyonu esnasında kristal yapı içerisinde eser miktarda beyrit ve kalıntı östenit ile de karşılaşılabilmektedir.



Şekil 3.31 Çift Fazlı Çeliklerin Kristal Yapısı

Şekil 3.31’de de görüldüğü üzere çift fazlı çelikler, kristal yapısında sürekli olarak bulunan ferrit sayesinde üstün süneklik özelliğine sahiptir. Bununla birlikte şekil değiştirmeler martenzit adalarını saran ferrit fazı üzerinde gerçekleşmekte ve bunun sonucunda da gerinim pekleşme özellikleri yüksektir.



Şekil 3.32 DP350/600 ile HSLA 350/450 Akma Eğrilerinin Kıyaslanması

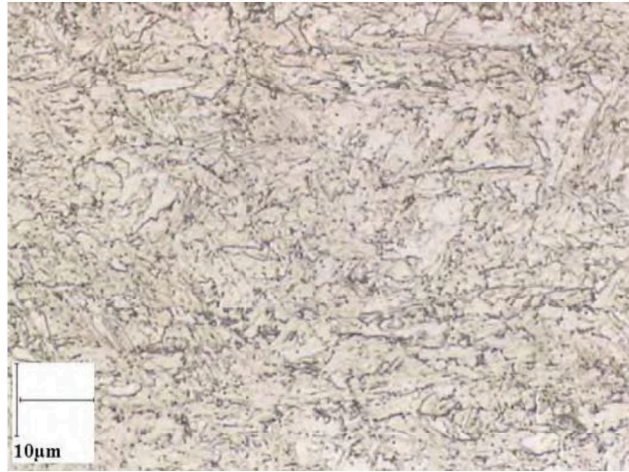
Sahip oldukları yüksek süneklik ve gerinim pekleşme özelliklerinin bir arada bulunması sayesinde benzer HSLA çeliklerine kıyasla çok daha yüksek akma noktaları ve TS/YS (Akma Noktası/Kopma Noktası) oranları elde edilebilmektedir (Şekil 3.32). Çizelge 3.1’de çift fazlı çeliklerin araç gövdesinde kullanım yeri görülmektedir.

Çizelge 3.1 Çift Fazlı Çeliklerin Araç Gövdesindeki Kullanım Yerleri

DP 300/500	Tavan, Kapı ve Yan Gövde Giydirme Sacları, Taban Sacı
DP 350/600	Taban, Kaput ve Yön Gövde Giydirme Sacları, Çamurluk ve Taban Güçlendirmeleri
DP 500/800	Gövde İç Sacları, Ön Panel, İç ve Arka Profiller, Süspansiyon Kule Güçlendirme Sacları
DP 600/980	Güvenlik Kafes Komponentleri (B Direği, Tünel Sacı, Motor Bağlantı Sacları, Ön Alt Gövde Sacları), Koltuk Sacları
DP 700/1000	Tavan Profilleri
DP 800/1180	B Direği Üst Komponentleri

3.4.2. Kompleks Fazlı Çelikler

Kompleks fazlı çelikler, mikro yapısında çok sayıda kristal yapısı barındırmalarından bu ismi almıştır. İy yapısında, ferrit ve beynit matrisi içerisinde az miktarda martenzit, kalıntı östenit ve perlit içermektedir (Şekil 3.33). Kontrollü sağlanan rekristalizasyon ve/veya eklenen alaşım elementleri (Ti veya Nb) ile hassas tane yapıları elde edilebilmektedir. Çift fazlı çeliklere kıyasla eş değer akma noktalarında yüksek kopma mukavemetine sahiptir.



Şekil 3.33 Kompleks Fazlı Çeliklere Ait Mikro Yapı

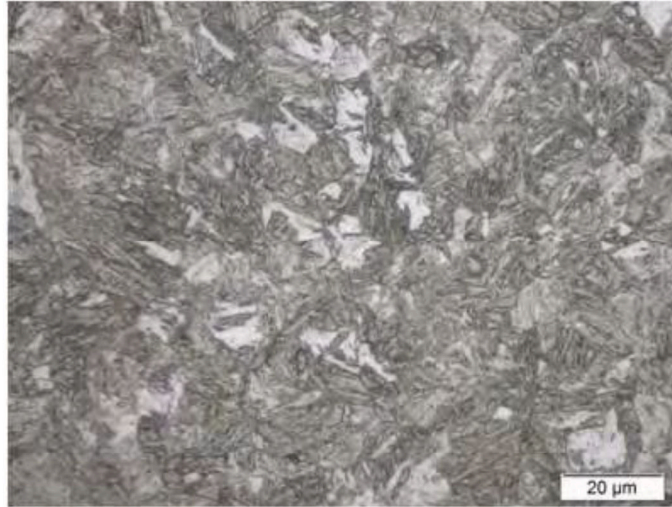
Kompleks fazlı çelikler, özellikle yüksek enerji yutma kabiliyetleri, yüksek kalıntı stres barındırabilmeleri, yüksek bükülebilirlik ve yüksek delik genişleme karakterleri sayesinde öne çıkmaktadır. Çizelge 3.2’de çift fazlı çeliklerin araç gövdesinde kullanım yeri görülmektedir.

Çizelge 3.2 Kompleks Fazlı Çeliklerin Otomobilde Kullanım Yerleri

CP 500/800 CP 600/900 CP 680/780	Gövde Profilleri, Karoser Parçaları, Yan Alt Profiller
CP 750/900	B Direk Güçlendirmeleri, Tünel Destek Saclar
CP 800/1000	Arka Süspansiyon Kule Sacları, Çamurluk Destek Braketleri
CP 850/1180 CP1000/1200	Gövde Arka Şase Güçlendirme Sacları
CP1050/1470	Marşpiyel Sacları, Tampon Profilleri

3.4.3. Martenzitik Çelikler

Martenzitik çelikler, östenit fazına ısıtılmış sacın neredeyse tamamen martenzit fazına dönüştürülmesi ile elde edilir. Mikro yapılarında, martenzit matris içerisinde az miktarda ferrit ve beynit bulundurulur (Şekil 3.34). Kristal yapısında yoğun bulunan martenzitin bir sonucu olarak akma noktasının 1700 MPa'a kadar ulaşabilmesiyle birlikte en yüksek akma mukavemetine sahip çelik tipidir.



Şekil 3.34 Martenzitik Saca Ait Mikro Yapı

Martenzitik çeliklere karbon eklenmesi sonucunda sertleştirilebilirlikleri arttırılarak daha da yüksek akma mukavemetlerine ulaşmak mümkündür. Ayrıca mangan, silikon, krom, molibden, boron, vanadyum ve nikel gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile yine benzer şekilde sertleştirilebilirlikleri arttırılabilir. Çizelge 3.4'de çift fazlı çeliklerin araç gövdesinde kullanım yeri görülmektedir.

Çizelge 3.3 Martenzitik Çeliklerin Otomobilde Kullanım Yerleri

MS 950/1200	Yan Travers Sacları, Kapı İçi Saclar, Tampon Profilleri, Tampon Güçlendirmeleri
MS1150/1400	Yan Travers Sacları, Kapı İçi Saclar, Tampon Profilleri, Tampon Güçlendirmeleri
MS1250/1500	Kapı İçi Saclar, Tampon Profilleri, Tampon Güçlendirmeleri

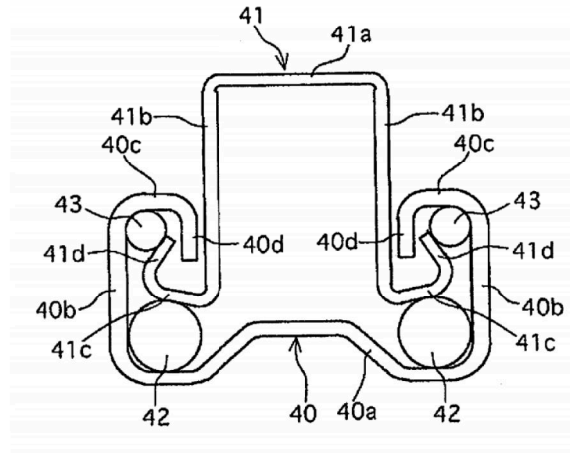
3.5. Roll Forming Prosesi Tasarımı

Bu bölümde tez kapsamında roll forming operasyonuna ait prosesin tasarımı ve sonlu elemanlar analizi ile şekillendirme simülasyonu verilecektir. Prosesi tasarlanacak hedef ürün olarak koltukların ileri-geri hareketini sağlayan koltuk kızıağına ait üst kızak seçilmiştir. Proses simülasyonunda kızak üzerinde bulunan delik ve boşaltmalar göz ardı edilerek bir proses tasarımı gerçekleştirilecektir.

3.5.1. Roll Forming Prosesi Tasarımı

3.5.1.1. Kızak Kesitine Ait Detaylar

Tez kapsamında çalışma gerçekleştirilecek olan kesit, araç koltuk sistemlerinde, koltuğun ileri-geri hareketinden sorumlu olan kızak mekanizmasına ait bir kızaktır. Koltuk kızakları alt ve üst kızaklardan oluşmakta olup birbiri üzerindeki hareketlerini bilyeler (Şekil 3.35'teki 42 ve 43 numaralı elemanlar) üzerinde yuvarlanarak gerçekleştirir.

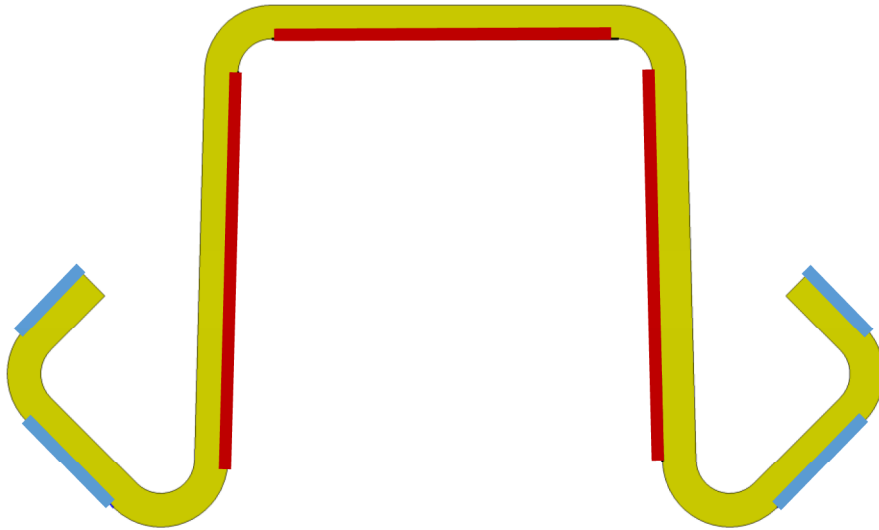


Şekil 3.35 Bir Koltuk Kızak Kompleksi (Anonim)

Kızakların birbiri üzerindeki hareketinin seri üretim koşullarında sağlanabilmesi için kesit geometrisi üzerindeki fonksiyonel noktaların, dar tolerans genliğinde üretilmesi gerekmektedir. Bu da ancak doğru proses tasarımı ile mümkün olabilecektir.

Roll forming operasyonunda proses tasarımı, çiçek açınımının doğru kurgulanması ve tasarlanması ile başlar. Teknik resimde belirtilen kritik bölgelerin kontrollü olarak üretilmesi için makaraların o bölgeye iç ve dış duvardan basabiliyor olması ve geri yaylanma için gerekli olan aşırı bükümlerin makaraya çarpmadan uygun bir pozisyonda gerçekleştirilebiliyor olması gerekmektedir.

Tez çalışmalarının gerçekleştirileceği hedef ürün Şekil 3.36'da gösterilen bir koltuk üst kızıağıdır. Her araç komponentinde olduğu gibi ürün beklentileri, güvenlik ve fonksiyonel kriterler ile tanımlanmıştır. Kızıaktan beklenen M1 sınıfı aracın belirtilen çarpışma testlerinden başarı ile çıkabilmesi, bunu da başarırken ağırlık anlamında da rekabetçi olabilmesidir. Roll form prosesi ile bükülebilirliğe uygunluğu ve gerinim pekleşmesi karakteristikleri itibariyle üründe, SSAB firmasına ait Roll 800CP yüksek mukavemetli çeliğin kullanılması kararlaştırılmıştır.

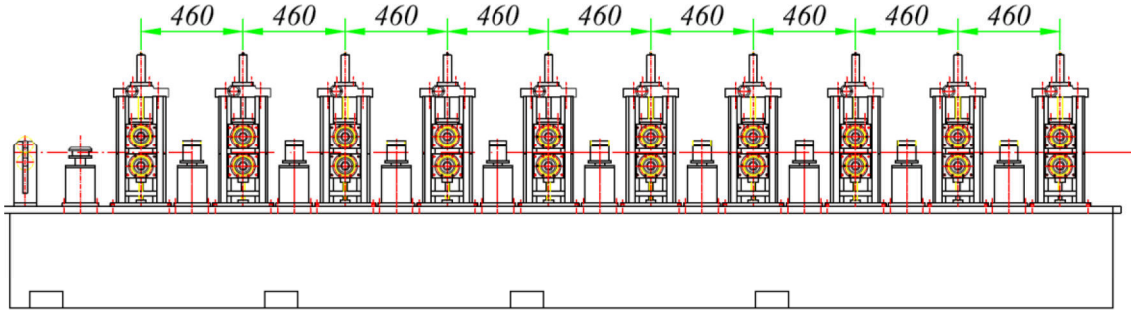


Şekil 3.36 Şekil Verme Simülasyonları Gerçekleştirilecek Koltuk Üst Kızıağı

Tasarımdan gelen girdilere göre mavi çizgiler ile gösterilen yüzeylerde bilyeler çalışmakta olup konum ve düzlemsellik de dar toleransta tasarlanmıştır. Kırmızı çizgiler ile gösterilen duvarlarda ise üst duvar ile yan duvarlar arasındaki konum ve açının dar toleranslarda üretilmesi gerekmektedir.

3.5.2. Roll Form Hattına Ait Parametreler

Çiçek açınımına başlamadan önce belirlenmesi gereken parametrelerin başında eğer bir hat mevcut ise bu hatta ait ölçüsel kriterlerin tanımlanması gerekmektedir. Bu kriterlere göre istasyonlar arası mesafe, maksimum makara çapı, mil çapı, vs... gibi veriler ışığında her istasyondaki bükümlere ve makara çaplarına karar verilebilir.

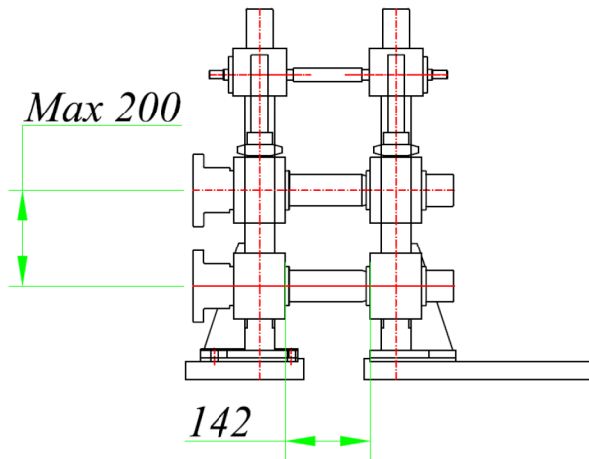


Şekil 3.37 Prototip Hat Ölçüleri

Gerçekleştirilecek çiçek açınımında kullanılacak olan hat parametreleri:

- İstasyonlar arası mesafe: 460mm
- Makara Maksimum Genişliği: 142mm
- Makara Eksenleri Arası Maksimum Mesafe: 200mm

olarak tanımlanmış olup Şekil 3.37 ve 3-38'de detayları görülmektedir.

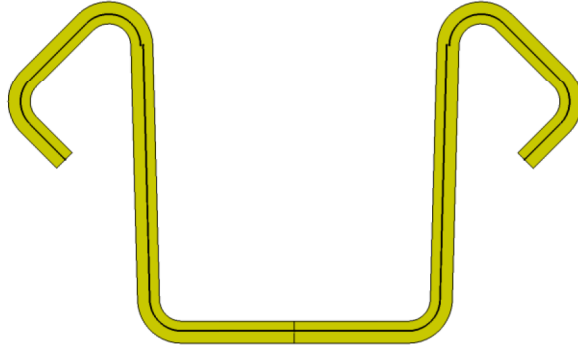


Şekil 3.38 İstasyona Ait Ölçüler

3.5.3. Çiçek Açımının Oluşturulması

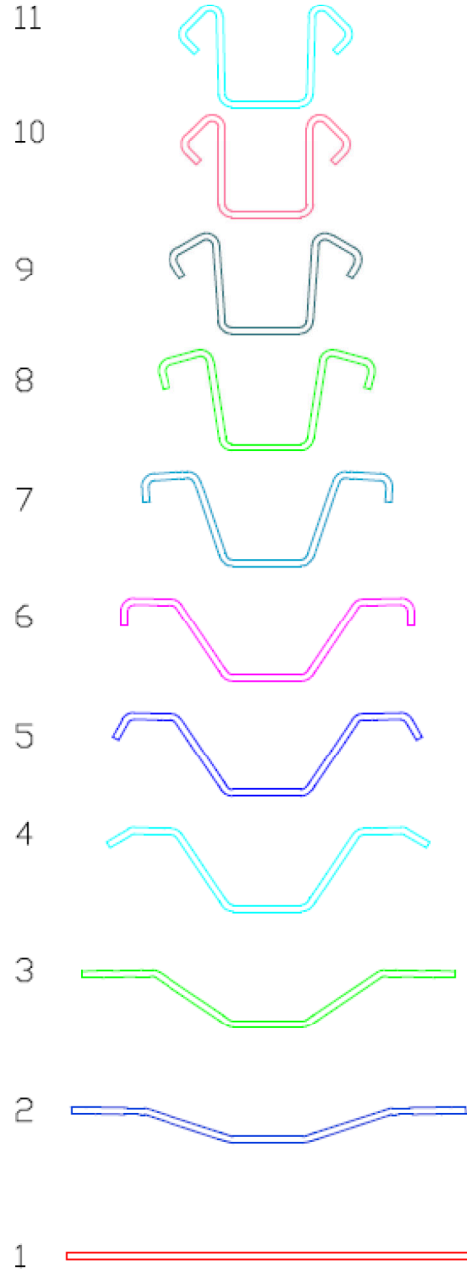
Önceki bölümlerde çiçek açımını metotlarında anlatıldığı üzere, geri yaylanmaları kontrol edebilmek ve form verme esnasında hem iç hem de dış büküm yarıçapına temas edebilmek adına sabit yarıçap metodu kullanılmıştır.

Çiçek açımına başlamadan önce nötr eksenin yerini tanımlayacak olan K_t katsayısının bulunması gerekmektedir (Şekil 3.39). Bu katsayı analitik yöntemlerle hesaplanabileceği gibi sac imalatçısından da tedarik edilebilir. Gerçek üründe kullanılacak sac olan Roll 800CP için ilgili katsayı SSAB'den talep edilerek, K_t değeri 0,44166 olarak alınmıştır. Bu K_t değeri doğrultusunda Nötr Eksen, büküm bölgeleri ile birlikte oluşturulmuştur.



Şekil 3.39 Kesit Üzerine Yerleştirilmiş Nötr Eksen

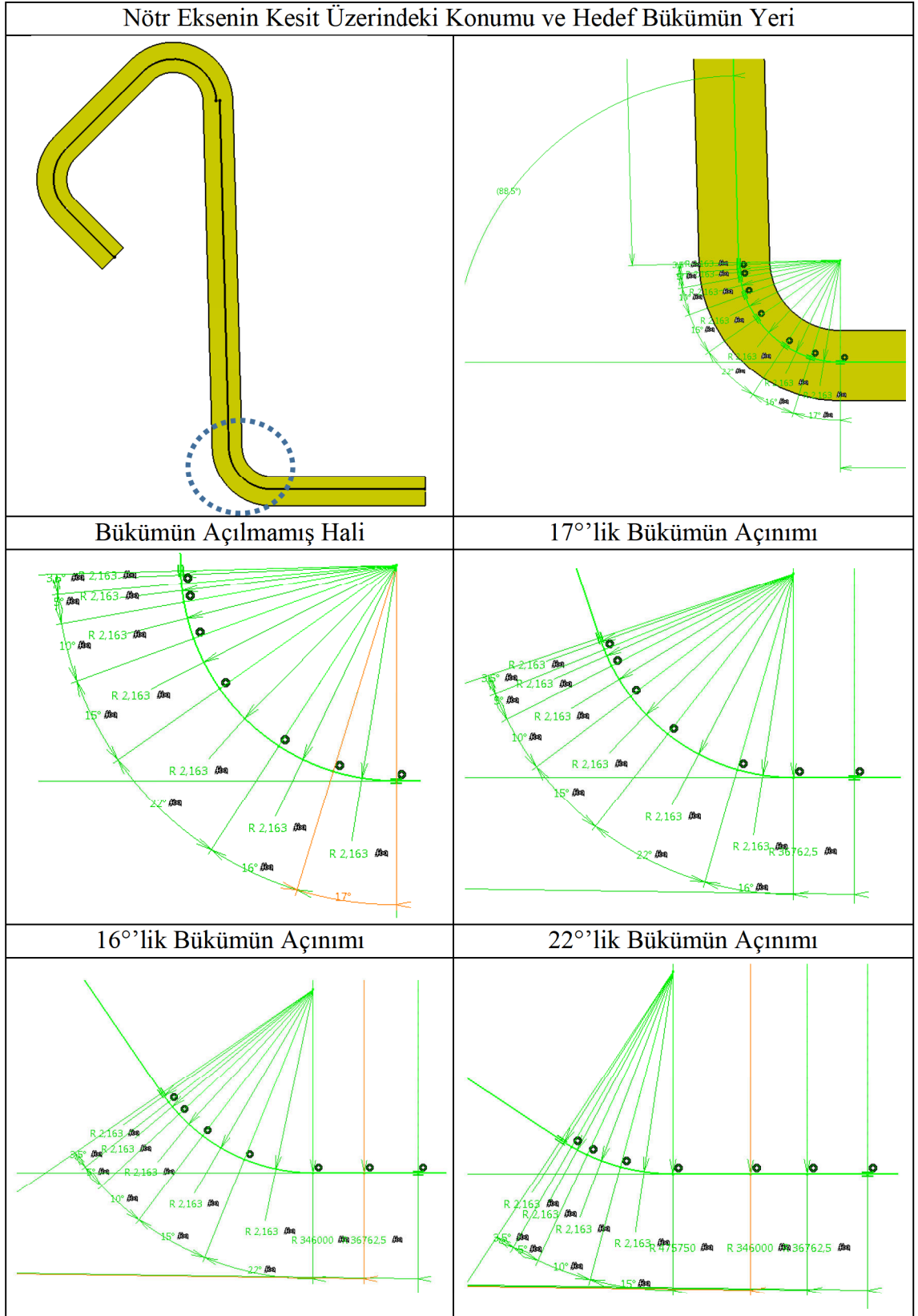
Oluşturulan nötr eksen üzerinden de kesite ait çiçek açımını oluşturulmuştur (Şekil 3.40). Girişte kullanılacak 1 numaralı hizalama istasyonu ve 11 numaralı ütüleme istasyonları dışında şekil verme operasyonları toplamda 9 adet istasyon ile tamamlanmıştır.



Şekil 3.40 Kesite Ait Çiçek Açınımı

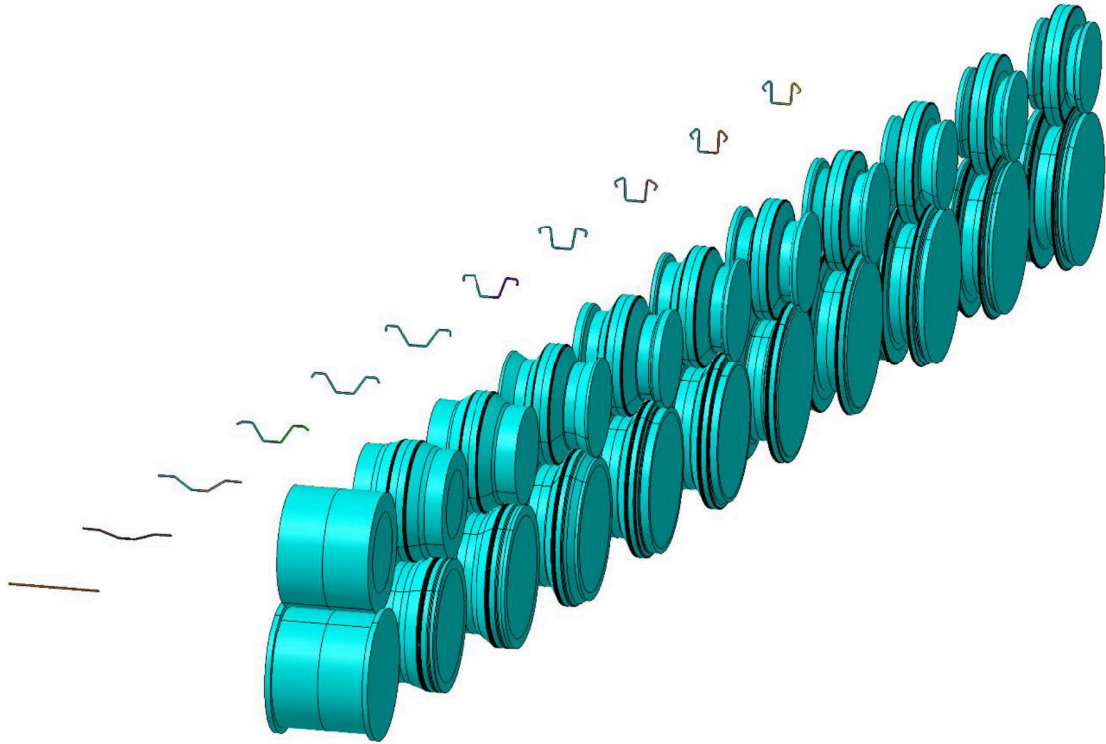
Çiçek açınımında oluşturulan bükümlerin anlaşılabilmesi adına, örnek olarak bir bükümün açınımı Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Hedef bükümün diğer bükümler ile etkileşimi ve uzama kontrolleri sonrasında kaç adımda büküleceğine karar verilmiş, sonrasında da uygun açılara parçalanmıştır. Burada $88,5^\circ$ derecelik bir büküm $3,5^\circ$ - 5° - 10° - 15° - 22° - 16° - 17° derecelik 7 adet alt parçaya bölünmüştür.

Çizelge 3.4 Örnek Bir Bükümün Sabit Yarıçap Metodu ile Açınımı



3.5.4. Makaraların Tasarımı

Çiçek açınımının tamamlanmasından sonra makaraların tasarımına geçilmiştir. Bu doğrultuda, önceden belirlenmiş hat ve istasyon parametrelerine sadık kalacak şekilde makaraların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım süresince makaraların çizgisel hızlarının eşitliği, istasyonlar arasında seyahat eden sacın çarpmaların önlenmesi, önlenemiyorsa yüzeylerinin yumuşatılması vb. adımlar izlenerek makaraların tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.41).



Şekil 3.41 Makara Tasarımı

3.6. Sonlu Elemanlar Metodu İle Şekil Verme Analizleri

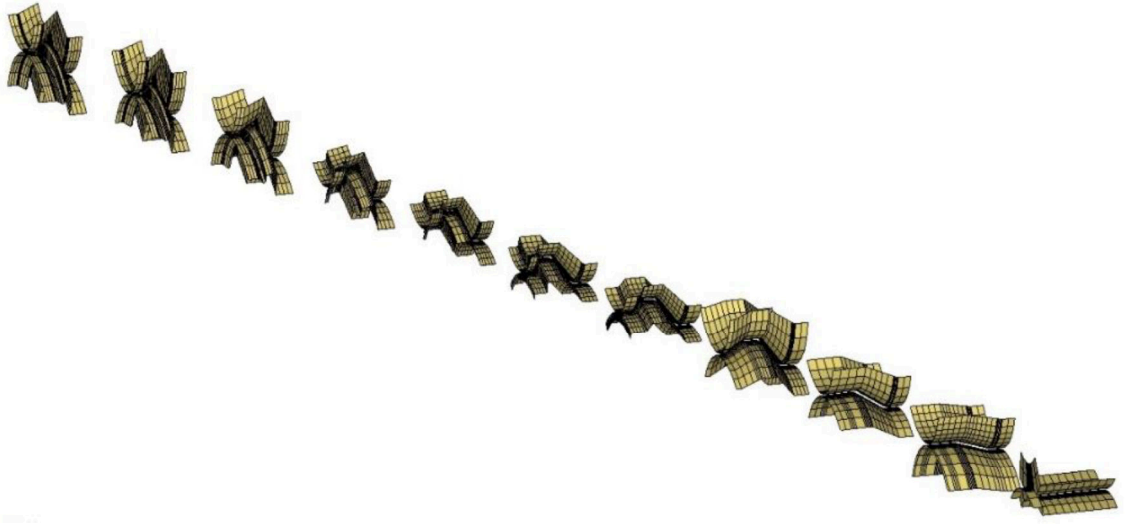
Bu bölümde, oluşturulan hat tasarımı üzerinden ABAQUS explicit çözücüsü ile şekil verme analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil verme analizleri için yapılan kıyaslama çalışmalarında, iki farklı metot ile analizlerin gerçekleştirilebildiği görülmüştür. İlk metotta sac şeridi, makara ilerleme doğrultusunda sabit tutulup, üzerinden makaralar sürtünmesiz bir şekilde akmaktadır. Diğer metotta ise makaralar, sabit ve merkez eksenleri etrafında tanımlı hızlarda dönmekte ve sac bir ilk hız ile makaralara doğru ilerlemektedir. Makaraların sacı çekebilmesi için makaralar ile sac arasında sürtünme tanımlanmıştır.

Mevzubahis iki analiz kıyaslandığı zaman, sürtünmeli analizde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ancak özellikle hat ve istasyonların esnemesi gibi gürültüler sebebiyle tam anlamıyla doğru bir analiz çalışması elde etmek oldukça zor olmakla birlikte endüstride beklenen hızlı ve dinamik çözüm üretme konusunda ne yazık ki yavaş kalmaktadır.

Sürtünmesiz analizlerde doğruluk oranı, her ne kadar sürtünmeli analizlerden daha düşük olsa da gerekli korelasyon çalışmaları sonucunda sistem parametreleri oturduğu takdirde kabul edilir doğruluk değerlerinde sonuçlar elde edilebilmektedir. Korelasyonu sağlamış parametrelerle kurulan modeller de hızlı reaksiyon verebilmeye müsaade etmektedir. Bu sebeple tez kapsamında yapılan çalışmalarda sürtünmesiz ve explicit analiz metoduyla ilerlenmiştir.

3.6.1. Mesh

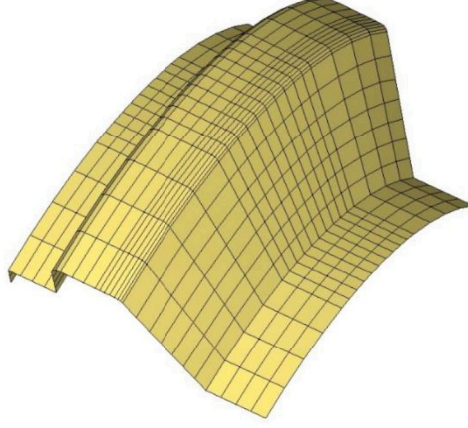
Gerçekleştirilen analizde sadece sacın şekil değişimi incelenecek olması sebebiyle yalnızca makara yüzeyleri ve sacın modellenmesine olup diğer elemanlar kapsam dışı bırakılmıştır (Şekil 3.42). Makaralar üzerinde herhangi bir şekil değişimi incelemeyeceği için makaralar rijit olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.42 Form Makaraların Mesh Modeli

İterasyon süresini kısaltmak adına makaraların sadece sac ile kontakta bulunacağı yüzeyler modellenmiştir. Bu yüzeyler içinde de sacın kontak ile şekil değiştireceği tanjant

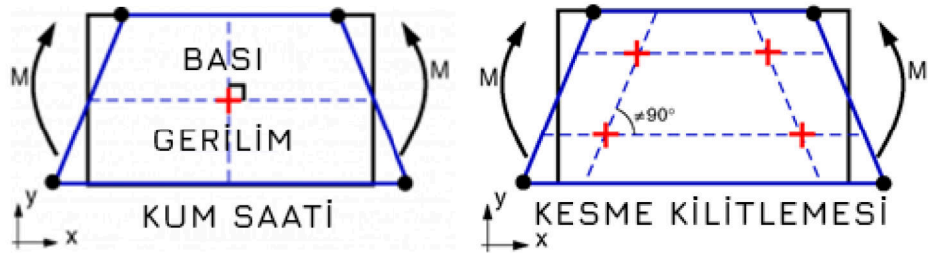
yüzeyler bölgeleri ve radyus bölgeleri daha hassas elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 3.43). Ayrıca kesit ZX düzleminde simetrik olduğu için makaralar ve sacın sadece yarısı modellenmiştir.



Şekil 3.43 Hassas Modellenmiş Makara Modeli

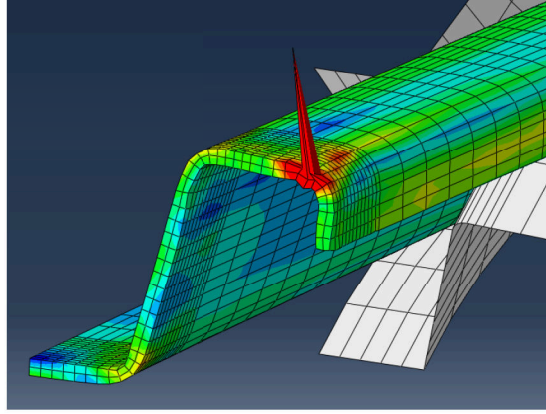
Modellenecek sac malzemenin aynı anda iki istasyonda da mevcut bulunması sağlanarak üzerindeki gerilme kaynaklı boyuna uzamalar gözlemlenecektir. Bu sebeple sac uzunluğu istasyonlar arası mesafenin 1.3 katı olarak seçilmiştir.

Sac modellenirken sacın alt ve üst düzlemi arasındaki değişimleri görebilmek adına kübik katı elemanlar (C3D8R) kullanılmıştır. Bununla birlikte şekil verme operasyonları esnasında kum saati oluşumunun engellenmesi istenmektedir. Kum saati oluşumunu önlemek adına iki farklı çözüm mevcuttur. Bunlardan ilki, kalınlıkta en az 4 adet tekil integrasyon noktası olan eleman kullanılması ve diğeri de tek elemanlı kalınlıkta 4 adet integrasyon noktası kullanılmasıdır (Şekil 3.44). Ancak bunun bir yan etkisi olarak simülasyon süresi uzamaktadır.



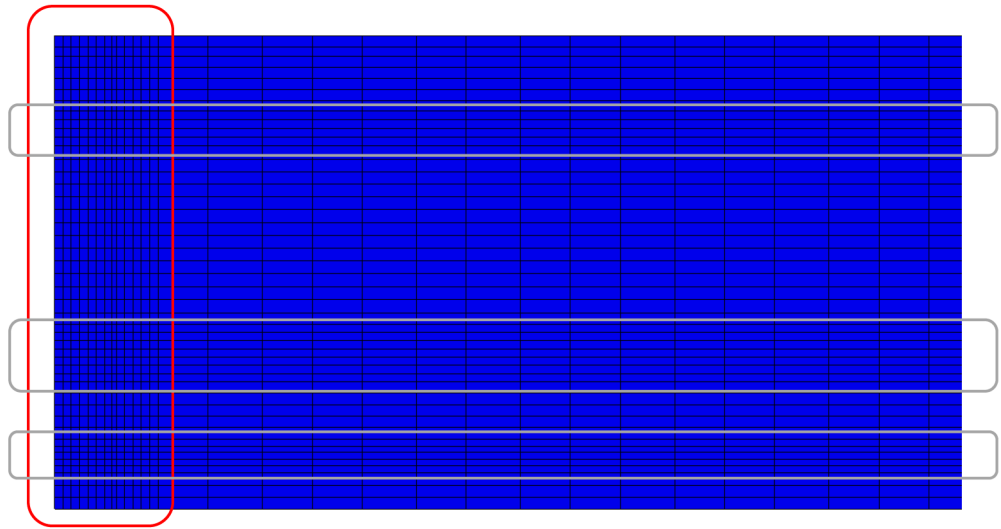
Şekil 3.44 Kum Saati Etkisi ve Integrasyon Noktaları ile Önlenmesi

İterasyon süresinden ödün vermeden kum saati oluşumunu (Şekil 3.45) minimize edebilmek adına ABAQUS içerisinde geliştirilmiş olan kum saati kontrol modülleri kullanılmıştır. Kullanılan elemanlar, kübik katı elemanlar olduğu için “Hourglassing Control” altında “Enhanced Stiffness” özelliği kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonrasında Yapay Enerjinin, İç Enerjiye oranının %1’den az olması gerekmektedir.



Şekil 3.45 Analiz Sırasında Karşılaşılan Kum Saati Hata Modu

Sacın modellenmesi esnasında makara eleman yüzeylerinde olduğu gibi bazı bölgelerin diğerlerine kıyasla daha hassas modellenmesi gerekmiştir (Şekil 3.46). Bu bölgeler sacın makaraya giriş bölgesi olan sacın ilk 10mm’si ve büküm noktalarıdır. Sacın lokal hassas modellenmesi ile hem kontak yüzeyleri iyileştirilip hem de sacın makaralar arasındaki deformasyonu daha kontrollü şekilde gerçekleştirilmiştir.

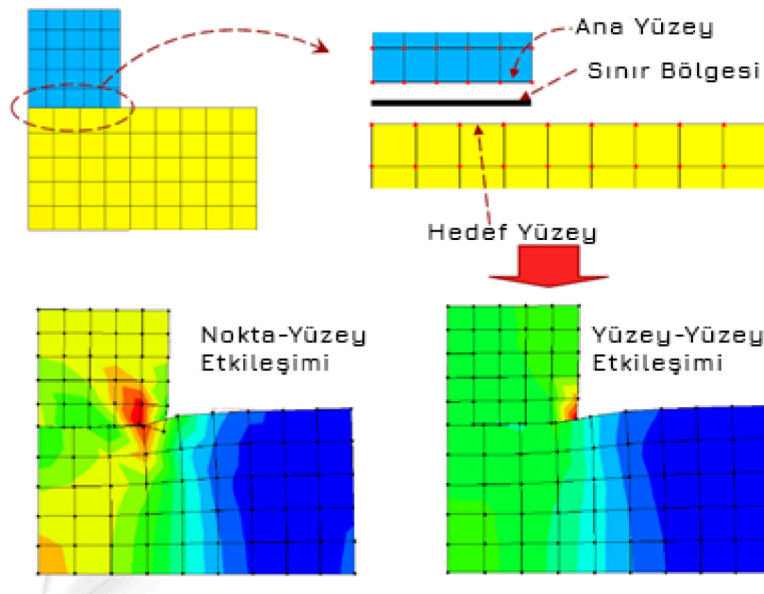


Şekil 3.46 Hassas Modellenen Elemanlar (Kırmızı - Sac Girişi ve Gri – Büküm Bölgesi)

3.6.2. Kontak

Proses simülasyonu esnasında doğru kurgulanması gereken operasyonların başında, iş parçası ile takım arasındaki kontak ilişkilerinin doğru tanımlanması gelmektedir. Çünkü her kontak kendi içerisinde spesifik bazı nitelikler (kayma, yuvarlanma, penetrasyon durumu, vs... gibi) barındırmaktadır. Bu niteliklerin doğru tanımlanması başarılı bir simülasyon için kilit öneme sahiptir.

Roll forming prosesinde kurgulanan simülasyon koşullarında, ilerleme yönünde sabit tutulan sacın üzerinden makaralar kayarak hareket etmiştir. Sac ile makara arasında herhangi bir penetrasyon istenmemektedir ve sacın makaraya ilk temasında, yüksek enerjili nokta elemanın makara yüzeyine girmemesi gerekmektedir. Roll forming prosesine özel olarak, belirlenen kontak koşullarının sac her yeni istasyon makara setine girdiğinde tekrar sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple parametrelerin doğru tanımlanması yüksek öneme sahiptir.

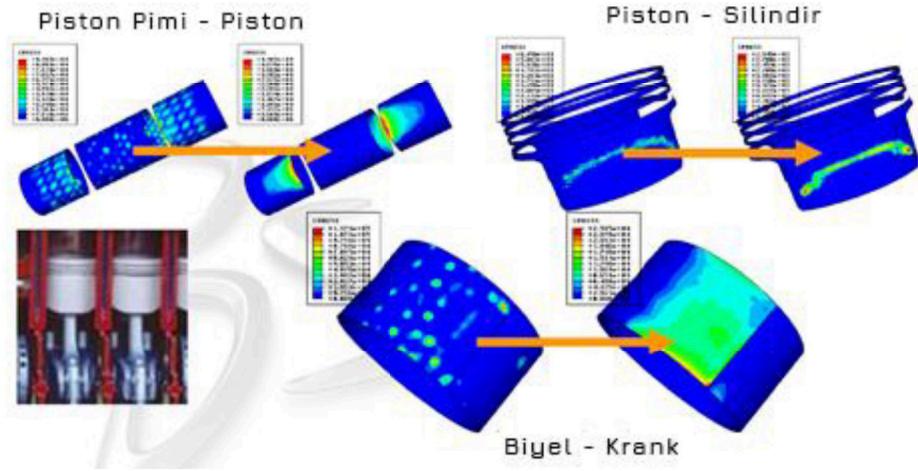


Şekil 3.47 Farklı Kontak Mekaniklerinde Stres Oluşumunun Kıyaslanması

Sacın makaraya ilk çarptığı ve iki makara arasında şekil aldığı zamanlarda Node-to-Node (Nokta-Nokta) ve Node-To-Surface (Nokta-Yüzey) gibi kontak mekaniklerinde elemanların düzgün bir şekilde buluşmadıkları anlarda girişim olmakta ve tutarsız sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.47). Bunun önüne geçebilmek adına Surface-to-Surface (Yüzey-Yüzey) kontak mekaniği seçilmiştir. Böylelikle makara, boyuna

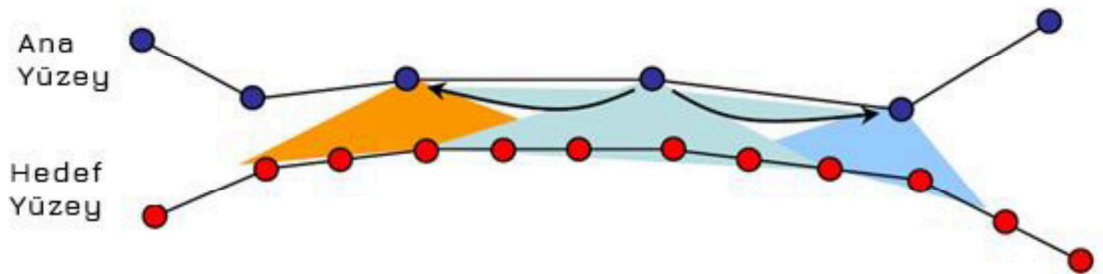
uzamalar sebebiyle herhangi bir ekseninde şekil değiştirirse de ilk çarptığı noktada yüzey yüzeye kontak gerçekleşeceği için hata oluşma ihtimali oldukça düşüktür.

Makaralar fiziksel olarak her ne kadar yuvarlak olsa da sonlu elemanlar metodu ile modellenirken kullanılan eleman tipleri sebebiyle köşeleri mevcuttur. Sac üzerinden geçerken bu bölgelerde stres yığılmasının önlenmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için kontak seçenekleri altında dairesel geometrik düzeltme uygulanmıştır (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 Geometrik Düzeltmenin Sağladığı İyileşmeler

Kontak noktalarında oluşan yüksek kontak kuvvetleri sonrasında sac elemanlarının kalıp yüzeylerine penetrasyonunu önlemek adına master-slave elemanların seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca hassas elemanlarla örülmüş yüzeyi master olarak atamak hem performans hem de tutarlılık açısından daha faydalı olacaktır (Şekil 3.49).



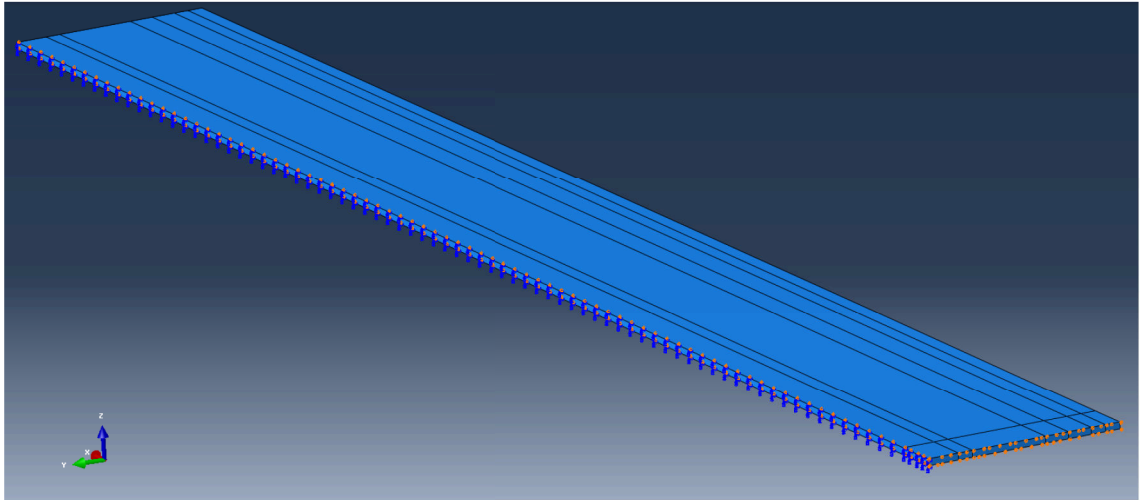
Şekil 3.49 Master-Slave Elemanlar Arasında Kontak Komşuluğu

3.6.3. Sınır Koşulları

3.6.3.1. Sac Sınır Koşulları

Gerçekleştirilen analizde sacın makaraların ilerlemeye yönünde herhangi bir doğrultuda hareket etmesi istenmemektedir. Ancak bu sınır koşulunun sacın hat içerisinde şekil değişimini de manipüle etmemesi gerekmektedir. Bu sebeple sınır koşulunu sağlayacak node'lar doğru seçilmelidir. Bununla birlikte sacın model içerisinde simetrik modellendiği göz önünde bulundurularak simetri ekseninde de hareketlerin sınırlandırılması gerekmektedir.

Sacın hareketi ZX düzlemindeki simetri gereksinimi itibarıyla Y düzleminde ötelemesi ve X ile Z düzleminde dönüşü sınırlandırılmıştır ($U_2=U_{R1}=U_{R3}=0$). Sacın $-X$ yönünde ilerlemesini kısıtlarken X doğrultusunda boyuna uzamasını ve YZ düzlemindeki eğilmelerini serbest bırakabilmek için sacın $+X$ yönünde en önde bulunan node'lardan X serbestliği ($U_1=0$) kaldırılmıştır (Şekil 3.50).

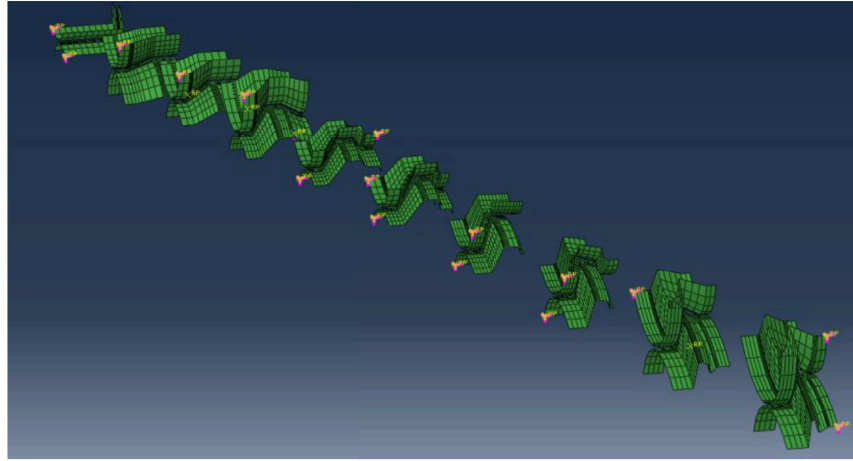


Şekil 3.50 Sacın Sınır Koşulları

3.6.3.2. Form Makaraları Sınır Koşulları

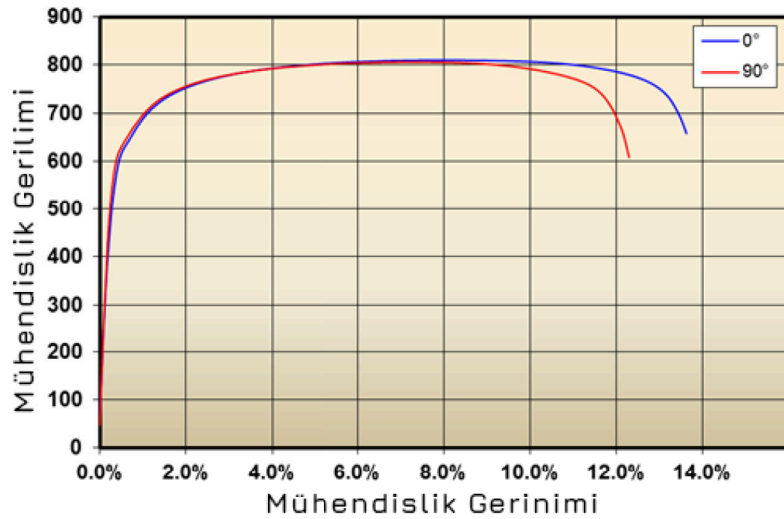
Form makaraları $-X$ doğrultusunda ilerleyerek sacın üzerinden geçecektir. Bu sebeple makaraların sahip olması gereken tek serbestlik $-X$ yönündeki hareketidir. Bunun dışında kalan serbestlikleri kısıtlanmıştır (Şekil 3.51).

Normal koşullarda belirtilen kesitin 30m/dk'lık hızlarda üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak fiziksel hattı da devreye alırken sacın yüksek hızla makaraya çarpması için düşük hızla hatta sürülmektedir. Gerçekleştirilen simülasyonda da sac makaralara ilk defa sürülüyor gibi davranmıştır. Bu sebeple yüksek hızlı makaraların saca çarparak yüksek ve istenmeyen deformasyonlar oluşturmasını önlemek adına makara hızları 10mm/s ($U_1=10$) olarak seçilmiştir.



Şekil 3.51 Makaraların Serbestlikleri

3.6.4. Malzeme Kartı



Şekil 3.52 SSAB - Roll 800CP Akma Eğrileri

Hedef kesitte önceki bölümlerde de belirtildiği üzere SSAB firmasına ait Roll800CP isimli kompleks fazlı çelik kullanılmıştır. Analizde girdi olarak kullanmak üzere SSAB

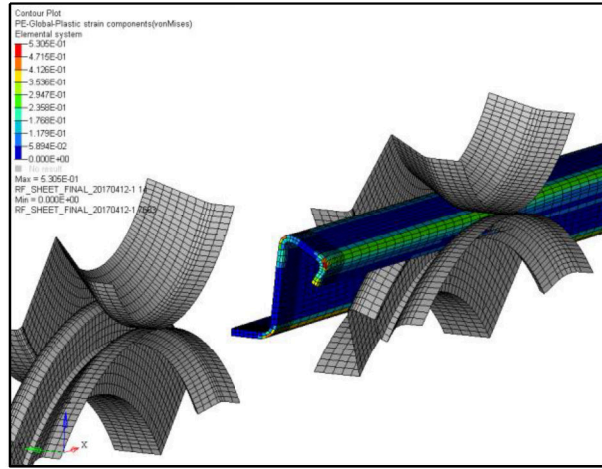
Avrupa'dan malzemeye ait veriler talep edilmiştir (Şekil 3.52). İletilen veriler doğrultusunda da elasto-plastik olarak oluşturulan malzeme kartına veriler tanımlanmıştır. Akma eğrilerinden elastik modül 210 GPa ve Poisson Oranı 0,18 olarak hesaplanmıştır.



4. BULGULAR

4.1. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

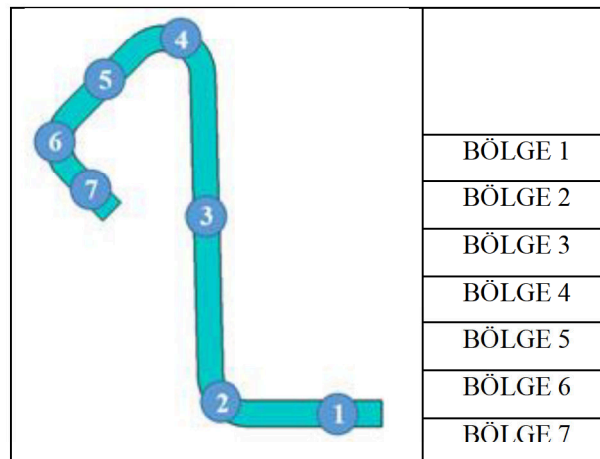
Tez kapsamında gerçekleştirilen şekil verme simülasyonları (Şekil 4.1) sonrasında elde edilen veriler, roll forming operasyonuna özgü olan hata tipleri kapsamında değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Makaralar Arasındaki Sac Üzerinde Gerçekleşen Şekil Değişimleri

Kesit üzerinde yorum yapılacak olan bölgeler Çizelge 4.1’de numaralandırılmıştır. Böylelikle ifade edilen bölgelerin daha rahat tanımlanması sağlanmıştır.

Çizelge 4.1 Kesit Üzerindeki Bölgelerin Numaralandırılması

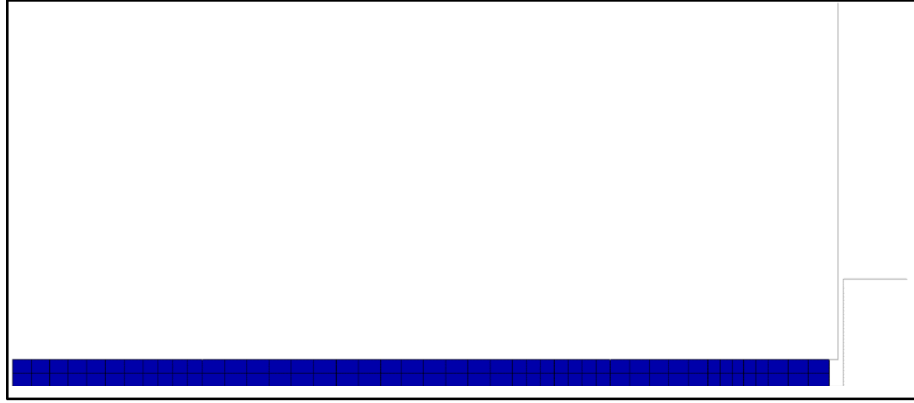


4.1.1. Kesitin Makaralar İçerisindeki Hareketinin Kontrolü

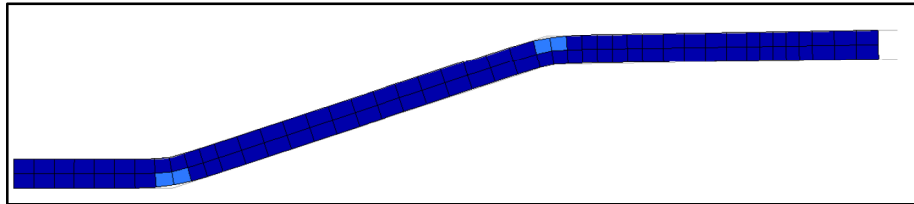
Proses ile alakalı gerçekleşen mekanikleri ve bu mekanikler üzerinden oluşan plastik şekil değiştirmeleri doğru yorumlayabilmek için öncelikle sacın makaralar içerisindeki davranışını yorumlamak gerekmektedir.

Makaralar içerisinde ilerleyen sacın, form yüzeyleri ile oluşan etkileşimleri incelenerek kalıcı uzamaların hata tipleri ile olan ilgisi ortaya konulmuştur. Takip eden şekillerde mesh elemanlar ile örülmüş sac üzerindeki plastik deformasyonlar görülmekte olup makaraların form yüzeyleri çizgi olarak gösterilmiştir.

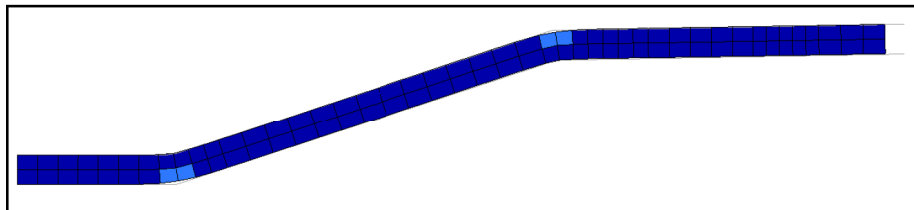
İlk 3 istasyon incelendiğinde sacın büküm yerlerinde herhangi bir majör uzama ve şekil değişimi yönünden herhangi bir sıra dışı durum ile karşılaşılmamıştır (Şekil 4.2-4).



Şekil 4.2 Sacın 1 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi

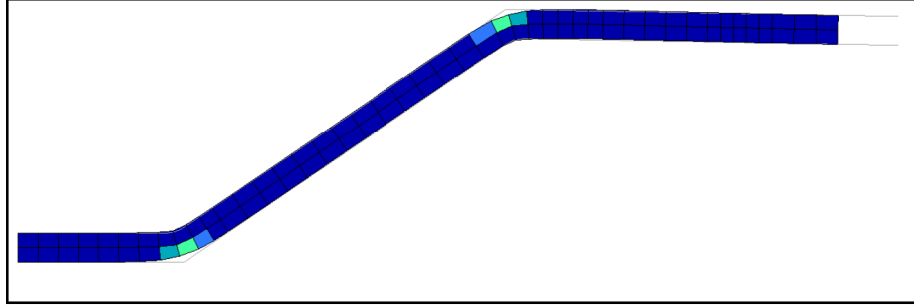


Şekil 4.3 Sacın 2 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi

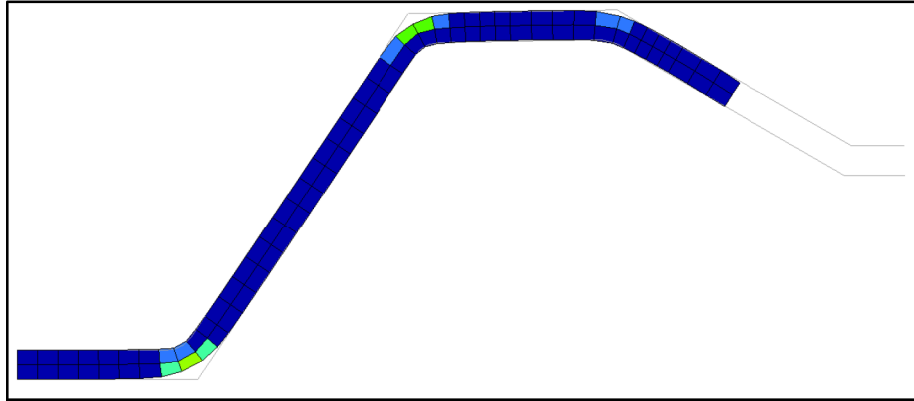


Şekil 4.4 Sacın 3 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi

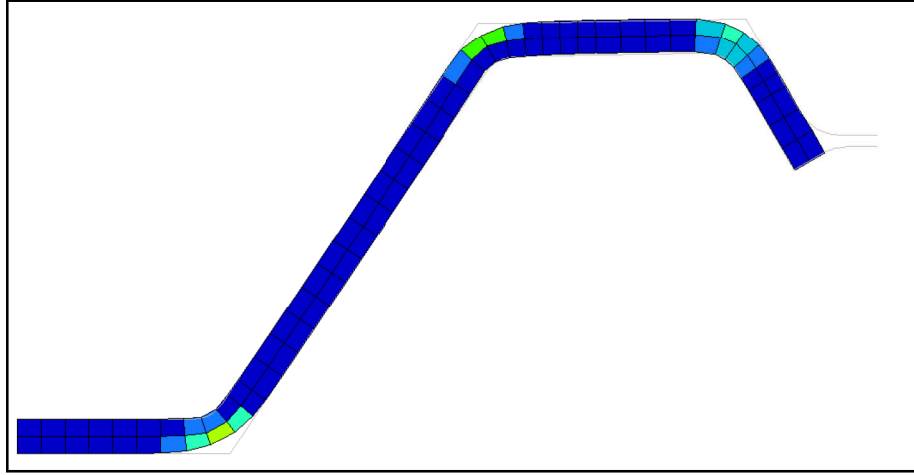
Takip eden istasyonlarda 2 ve 4 numaralı yarıçapı bölgelerinde incelmeler gözlenmiştir karşılaşılmamıştır (Şekil 4.5-8). Bununla birlikte 7 numaralı etek bölgesi 8, 9, 10 ve 11 numaralı istasyonlarda, makara yüzeyleri ile kilitlenmiştir (Şekil 4.9-12). Ancak kesitin bulunduğu YZ düzleminde meydana gelen uzamalar sebebiyle 6 numaralı yarıçap bölgesinde ve takip eden 7 numaralı etek bölgesinde şişmeler meydana gelmiş; bunun sonucunda da hem yarıçapta hem de düzlükte yığılmalar meydana gelmiştir.



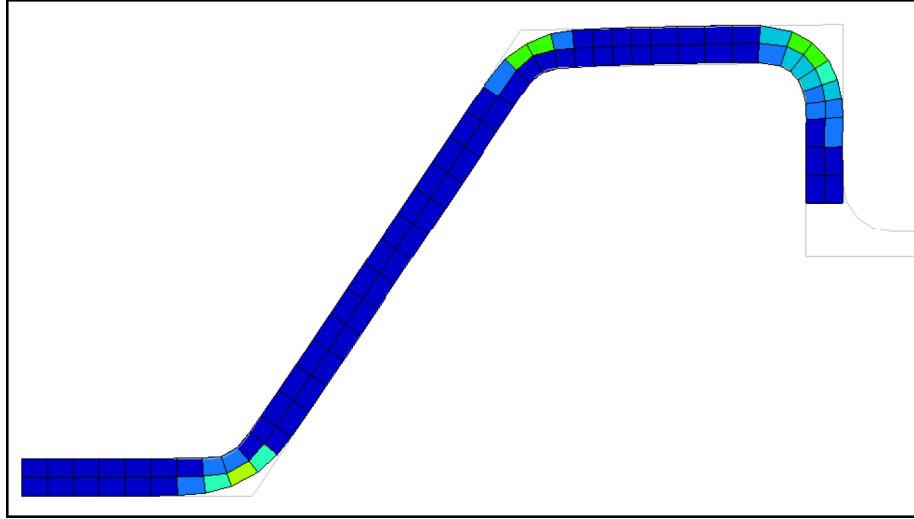
Şekil 4.5 Sacın 4 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



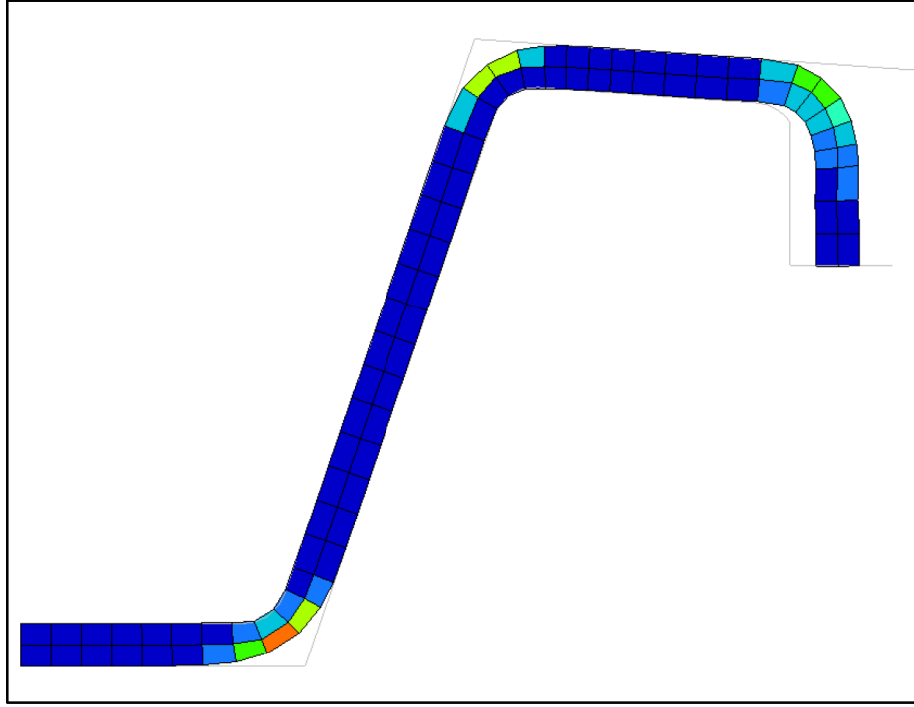
Şekil 4.6 Sacın 5 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



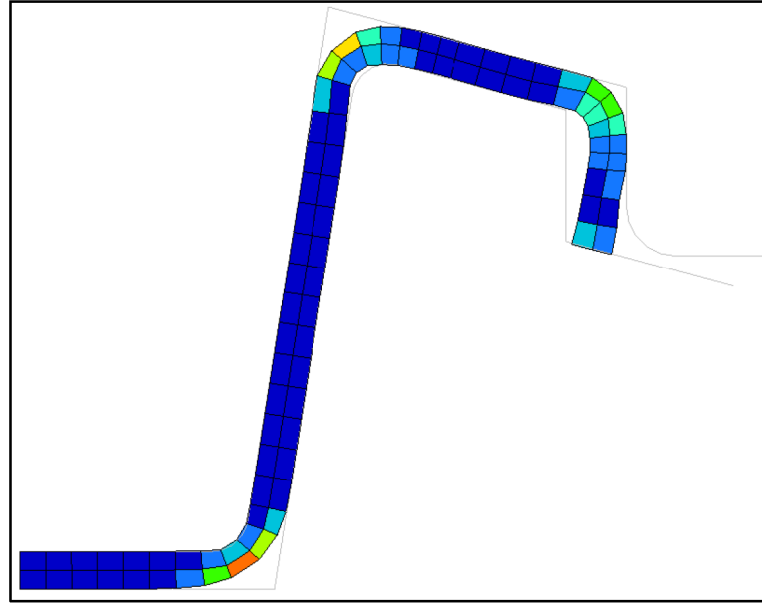
Şekil 4.7 Sacın 6 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



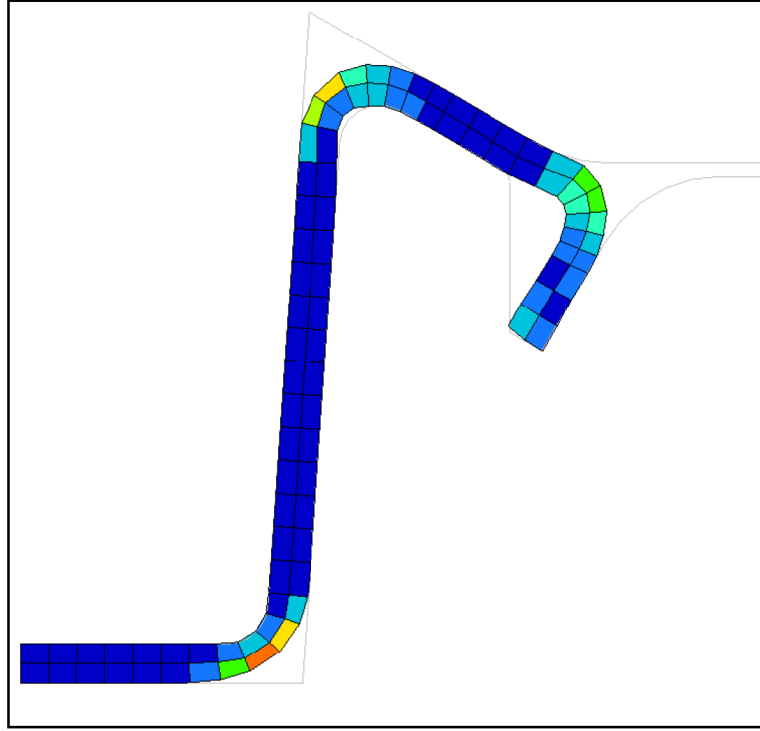
Şekil 4.8 Sacın 7 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



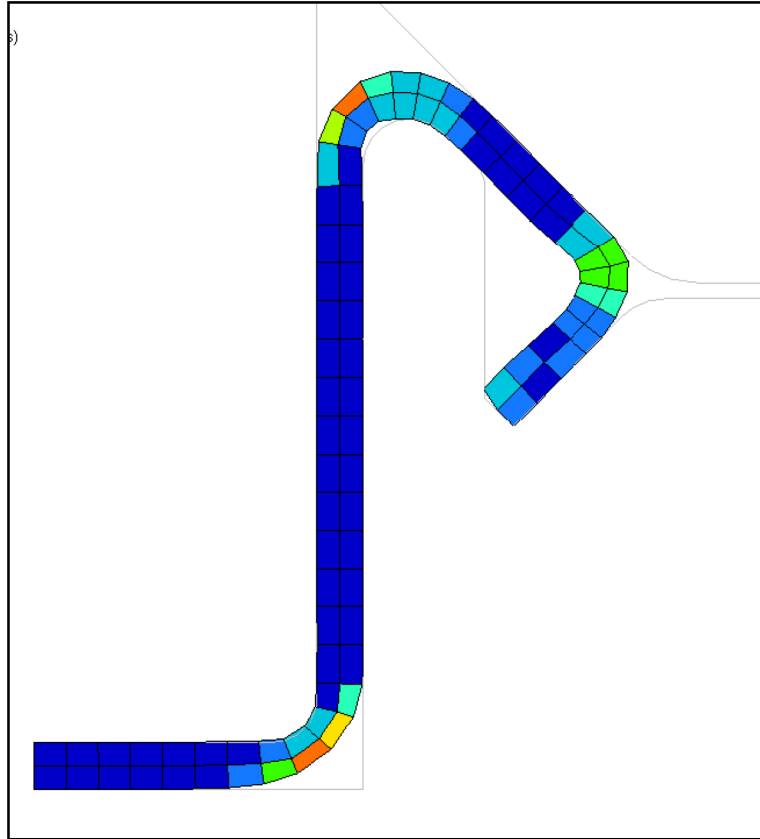
Şekil 4.9 Sacın 8 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



Şekil 4.10 Sacın 9 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



Şekil 4.11 Sacın 10 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi



Şekil 4.12 Sacın 11 Numaralı İstasyon İçindeki Yerleşimi

Uzamaların kontrolünde 2, 4 ve 6 numaralı büküm noktalarındaki ve 7 numaralı etekteki şekil değiştirmelerin, YZ düzlemi ve X doğrultusundaki etkisi incelenmiştir. Özellikle şekil değiştirmeler arasında gözlemlenecek orantısızlıklar profilin eğilmesi konusunda doğru izleri yaratacaktır.

4.1.2. Uzamaların Kontrolü

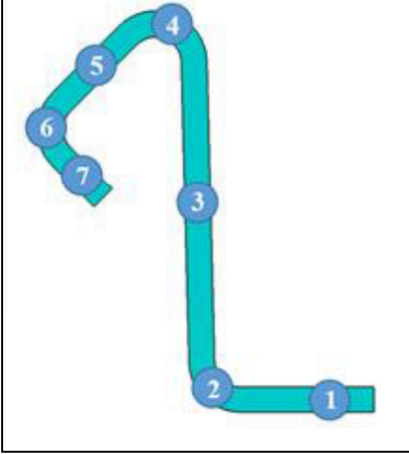
Diğer metal şekil verme proseslerinde de olduğu gibi şekil verme esnasında iş parçası üzerinde gerçekleşen uzamaların kontrol altında tutulması gerekmektedir. Böylelikle hem parça üzerinde oluşan düzensiz uzamalar sebebiyle oluşacak geometrik uygunsuzlukların hem de aşırı incelmeler sebebiyle riskli bölgelerin tespitini sağlamak mümkün olmaktadır.

Bu tez kapsamında uzamalar iki farklı boyutta incelenmiştir. Bunlardan ilki kesitin bulunduğu düzlem olan YZ düzlemi olup diğeri de profilin ilerleyiş doğrultusu olan X eksenidir. Şekil verme operasyonu profile arzu edilen şekli YZ düzleminde vermektedir. Bu düzlem üzerindeki şekil değişimlerinin etkisi ise Poisson Kuralı sebebiyle X^1 doğrultusundaki elemanların boyu üzerine etki etmektedir.

Kesit üzerindeki eğilme ve burulmalar ise bu iki uzama arasındaki farkın kesit boyunca değişik olarak dağılması sebebiyle oluşmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda uzamalar arasındaki farkın etkisi incelenmiş ve hangi istasyonda bu farklılıkların oluştuğu incelenerek uygun kesitin elde edilmesi sağlanmıştır.

1 X doğrultusunda gerçekleşen plastik uzamalar, sacın eksen takımı üzerindeki yerleşimi itibariyle ters işaretli olarak grafiklerde gösterilmektedir. Yani +X doğrultusunda artan uzamalar aslında elemanın o doğrultuda kısaldığını göstermektedir.

Çizelge 4.2 Plastik Uzama Ölçümlerinin Yapılacağı Yer ve Eleman Numaraları



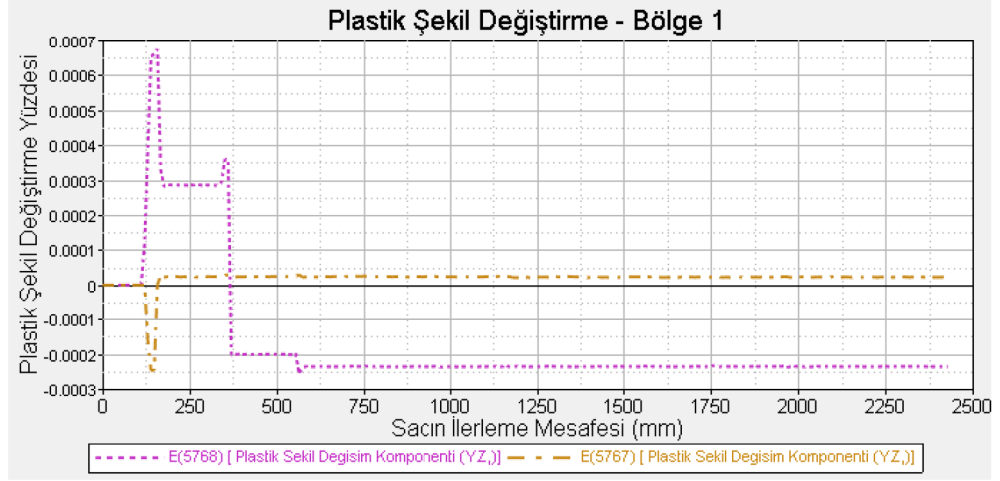
	Alt Eleman ID	Üst Eleman ID
BÖLGE 1	5767	5768
BÖLGE 2	5777	5778
BÖLGE 3	5795	5796
BÖLGE 4	5813	5814
BÖLGE 5	5829	5830
BÖLGE 6	5837	5838
BÖLGE 7	5849	5850

Uzamaların kesit üzerindeki ölçümleri Çizelge 4.2 ile gösterilmiş yerlerden gerçekleştirilmiştir. Bu noktalardan elemanlar üzerinde oluşan plastik uzamalar ölçülmüştür. Ölçüm verilerinin mutlak olmaması sayesinde elemanların tanımlanan düzlem ya da boyutta nasıl şekil değiştirdiği (uzama/daralma) görülebilmektedir. Yukarıdaki çizelgede ölçümlerin gerçekleştirildiği eleman numaraları (ID) tanımlanmıştır.

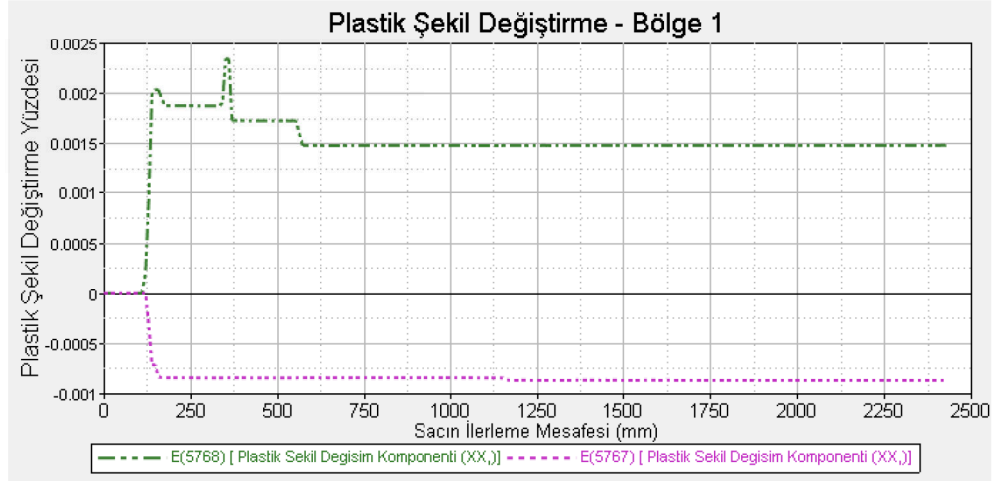
4.1.2.1. Bölge 1'e Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

1 numaralı bölge üzerinde oluşan YZ ve X üzerindeki plastik şekil değiştirmelerin çok düşük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple bu bölgede oluşan şekil değiştirmelerin ana geometri üzerinde bir uygunsuzluk yaratması beklenmemektedir. Şekil 4.13 üzerindeki veriler incelendiğinde YZ düzleminde, dış elemanda (5768) ilk 3 istasyonda bir miktar uzama gerçekleşse de sonrasında daralmalar olduğu görülmüştür. İç elemanda (5797) ise uzamalar neredeyse sıfıra yakındır.

Şekil 4.14 üzerinde bulunan X doğrultusundaki veriler incelendiğinde, YZ düzlemindeki daralmaların sonucu dış elemanda (5768) kısaltmalar görülmekteyken iç eleman (5767) uzamıştır. Bu tipte bir uzama eğilimi, boyuna doğrultuda eğilme etkisi gösterecektir. Ancak tek başında uzama yüzdeleri çok düşük olduğu için etkisinin zayıf olması beklenmektedir.



Şekil 4.13 Bölge 1'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişirmeler

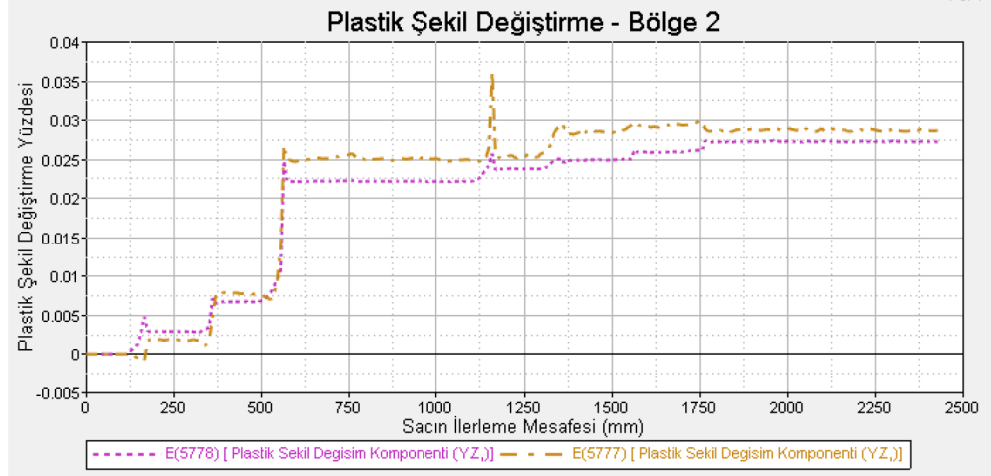


Şekil 4.14 Bölge 1'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

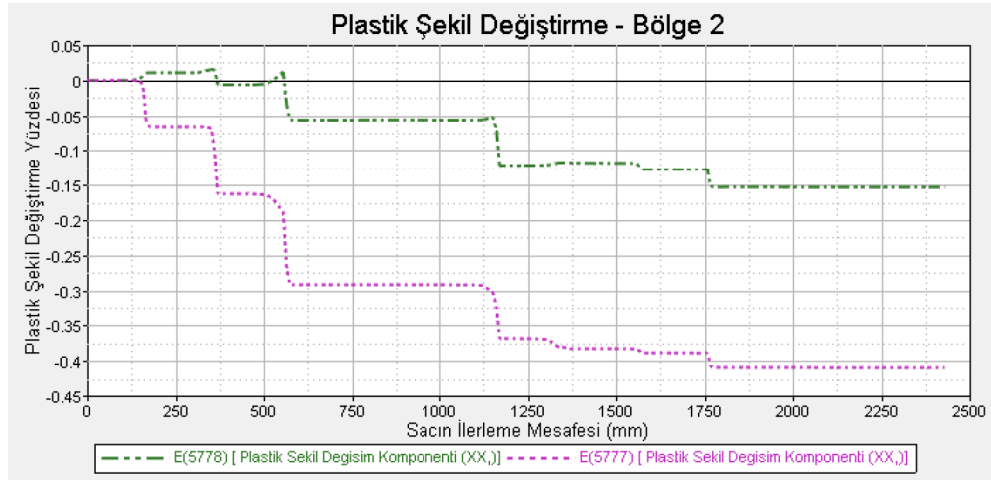
4.1.2.2. Bölge 2'ye Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

Şekil 4.15'de görülen 2 numaralı bölgede YZ düzleminde iç yarıçap elemanı (5778) ve dış yarıçap elemanı (5777) üzerinde orantılı uzamalar görülmüştür. Bu tip bükümlerde dış yarıçap elemanı üzerinde gerçekleşen plastik şekil değişimlerinin iç eleman üzerinde gerçekleşenlerden daha fazla olmasını bekleriz. Şekil 4.12'ye bakıldığında dış yarıçapta gerçekleşen incelmeler bölge 1 ve bölge 3'te bulunan duvara doğru ilerlemiştir. Bunun sonucunda da iç ve dış elemanın YZ düzlemindeki uzaması dengeli kalabilmiştir.

Şekil 4.16 üzerinde bulunan X doğrultusunda ise dış yarıçap elemanı (5777) üzerindeki uzamaların iç yarıçap elemanı (5778) üzerindeki uzamalardan daha çok olduğu görülmektedir. YZ düzleminde gerçekleşen uzamaların eşit kalması sebebiyle dış eleman üzerinde oluşan reaksiyon sonucunda X doğrultusunda uzaması daha fazla olmuştur.



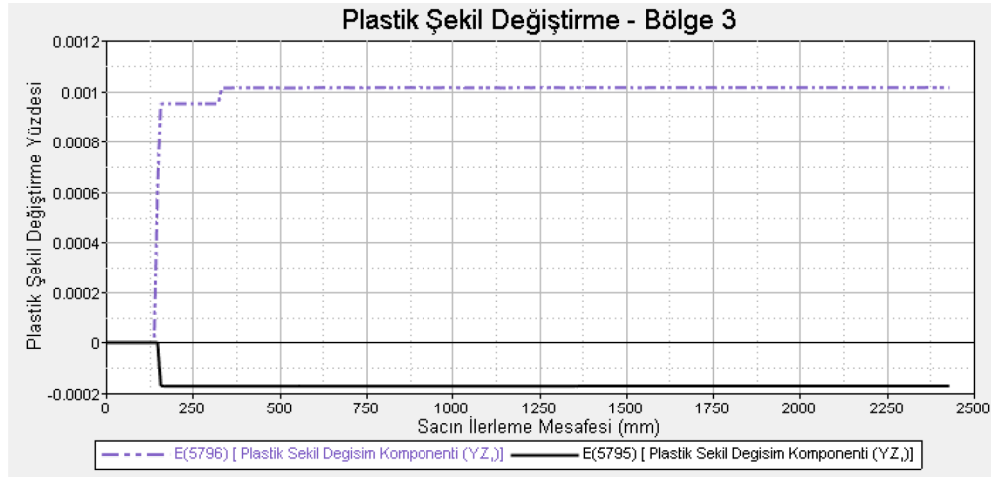
Şekil 4.15 Bölge 2'ye Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişirmeler



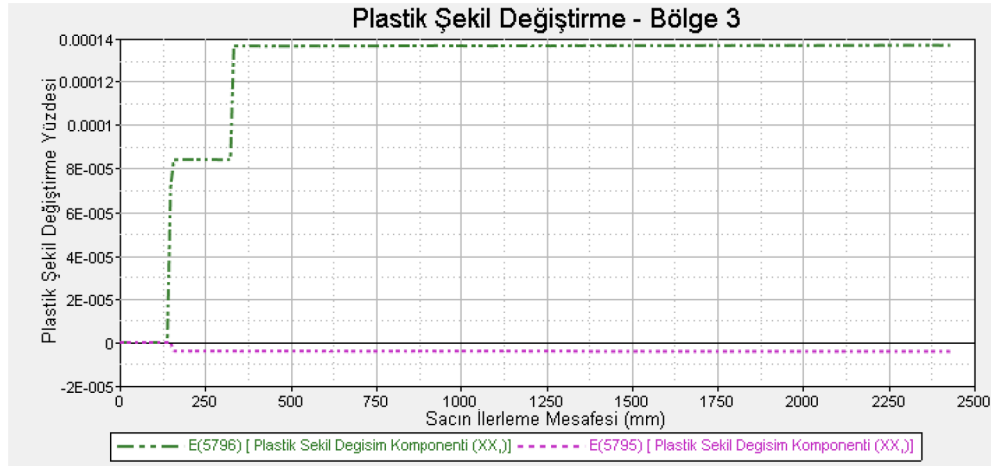
Şekil 4.16 Bölge 2'ye Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

4.1.2.3. Bölge 3'e Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

Şekil 4.17'de görülen 3 numaralı bölgede iç yan duvarda bulunan elemanın (5796) YZ düzleminde ilk üç istasyonda uzaması sonrasında kararlı hale gelmiştir. Bunun sonucunda da X doğrultusunda kısılmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.18). Gerçekleşen uzama yüzdelerinin küçük olması sebebiyle herhangi bir hata tipi öngörülmektedir.



Şekil 4.17 Bölge 3'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişirmeler

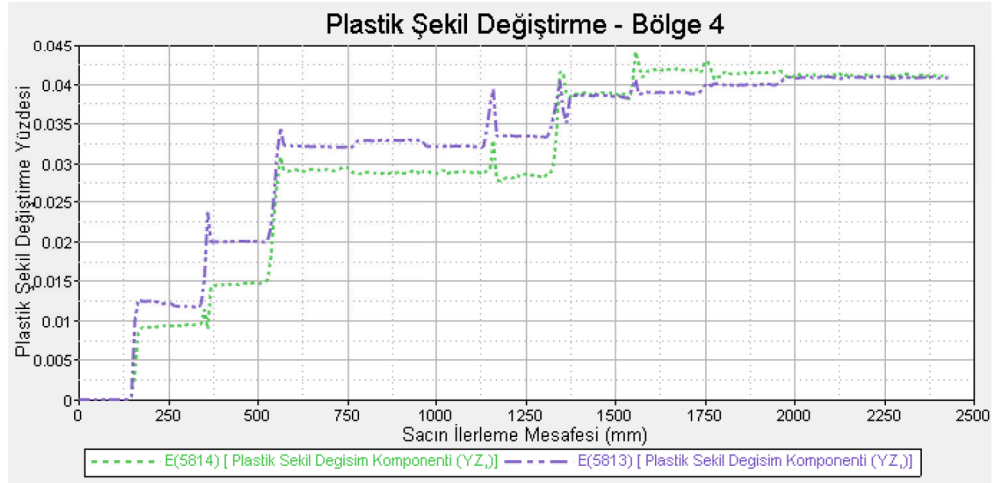


Şekil 4.18 Bölge 3'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

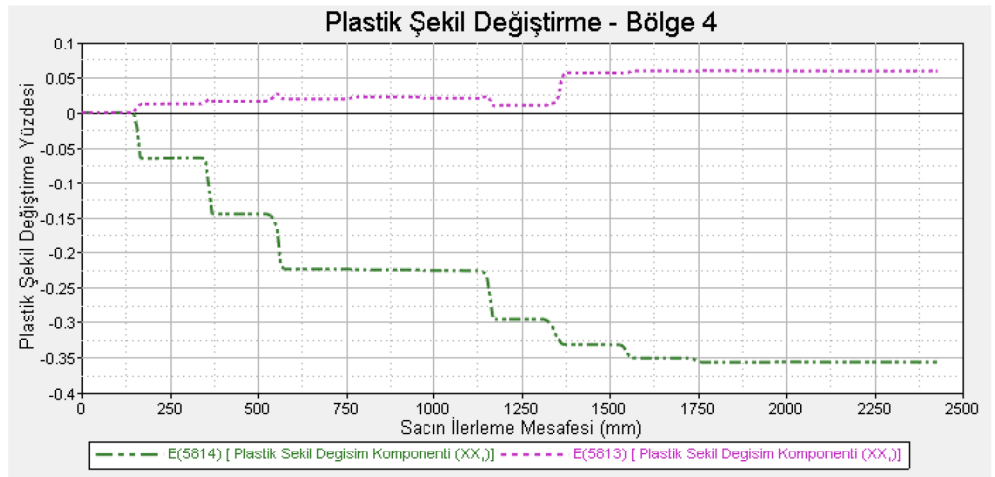
4.1.2.4. Bölge 4'e Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

4 numaralı bölgedeki iç (5813) ve dış (5814) yarıçap elemanları üzerinde gerçekleşen bükümler sonrasında YZ doğrultusunda uzamalar gerçekleşmiştir (Şekil 4.19). Bükümün büyük bir açı taraması sebebiyle bütün istasyonlar içerisinde uzamaların gerçekleştiği görülmektedir.

YZ düzlemindeki uzamaların sonucunda X doğrultusunda dış yarıçap elemanları (5814) üzerinde uzamalar gerçekleşirken iç yarıçap elemanları (5813) üzerinde ise kısaltmalar gerçekleşmiştir (Şekil 4.20). Bunun sonucunda 4 numaralı bölgedeki bükümün etkisi olarak Y etrafında eğilme (bow) beklenmektedir.



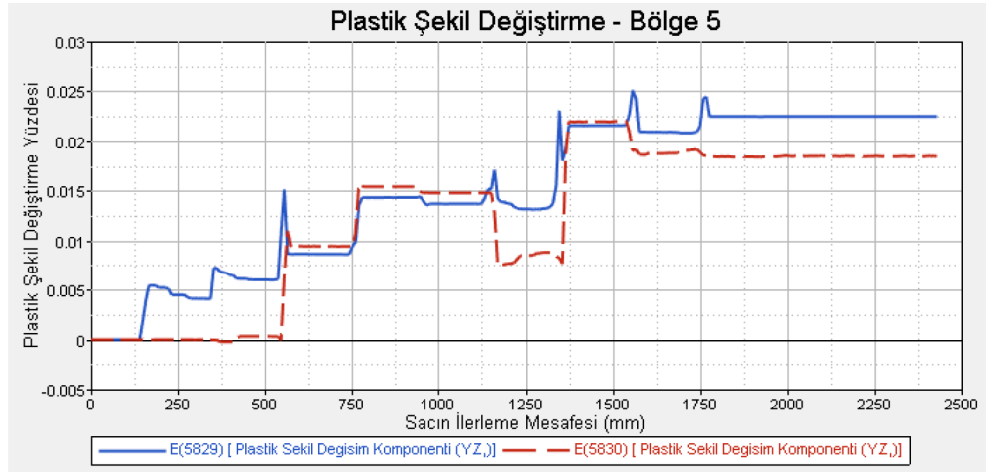
Şekil 4.19 Bölge 4'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişirmeler



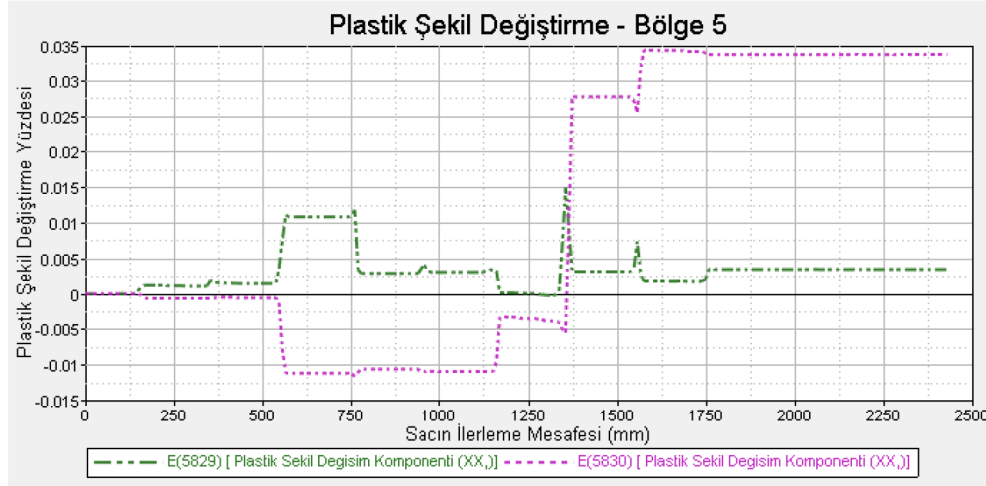
Şekil 4.20 Bölge 4'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

4.1.2.5. Bölge 5'e Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

5 numaralı bölgedeki etekte YZ düzleminde uzamalar iç (5829) ve dış (5830) elemanlarda orantılı olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.21). X doğrultusunda ise dış elemanlarda kısaltmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.22). Bunun sonucu olarak büküm eteğinin, başlangıç ve bitiş noktalarında açılması beklenmektedir.



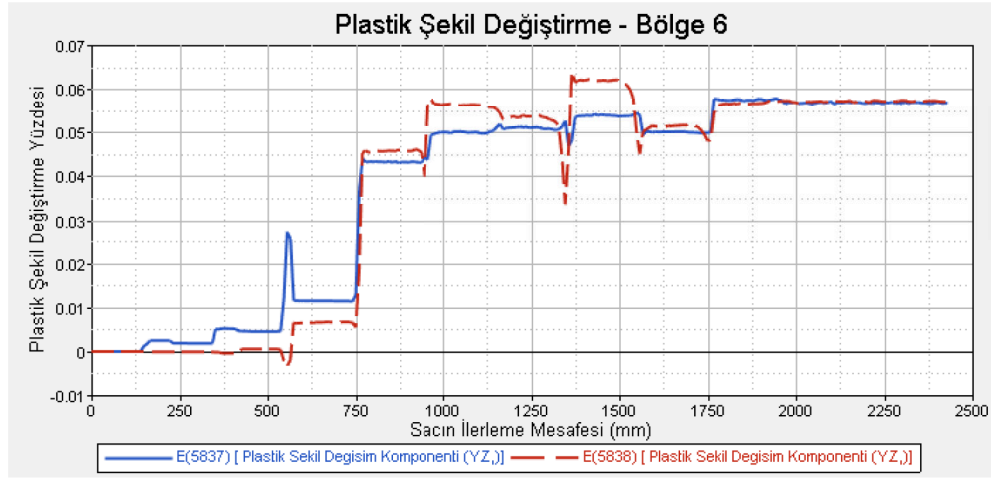
Şekil 4.21 Bölge 5'e Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişimleri



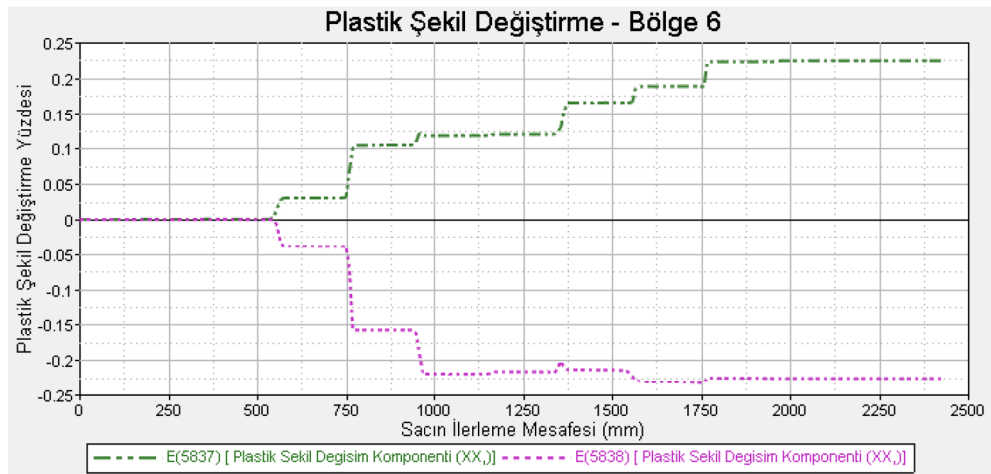
Şekil 4.22 Bölge 5'e Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişimleri

4.1.2.6. Bölge 6'ya Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

Bölge 6'da YZ düzlemindeki iç (5837) ve dış (5838) elemanların uzamaları birbirine yakın olarak gerçekleşmiştir. Ancak makaralar arasındaki şekil değişimlerine dikkat edildiğinde dış eleman (5838) YZ düzleminde oldukça daralarak incelendiği görülmektedir (Şekil 4.23). Bu daralmanın sonucu da X doğrultusundaki uzamasına yansımıştır. İç eleman (5837) ise tam tersi şekilde X doğrultusunda daralmıştır. Aradaki daralma yüzdesinin büyük olması sebebiyle kesitin 7 numaralı bölgesinde bulunan etekte içe doğru kapanmalar beklenmektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.23 Bölge 6'ya Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değişirmeler



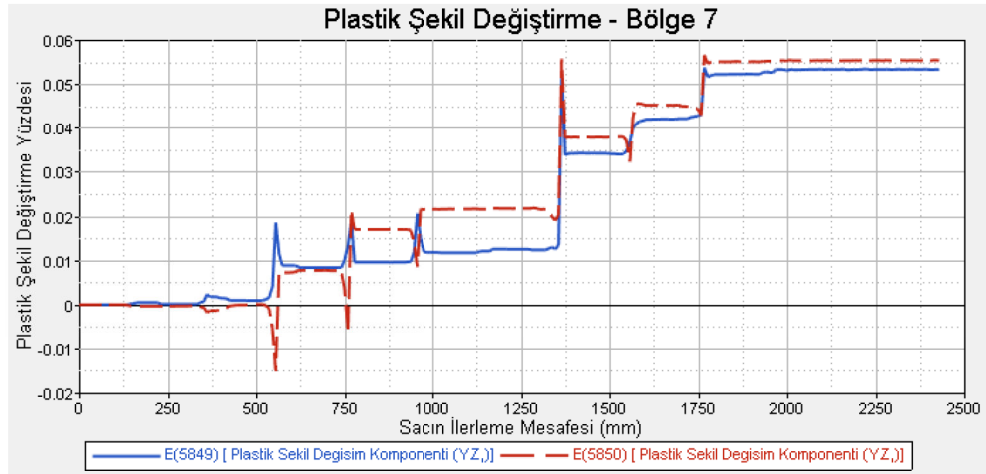
Şekil 4.24 Bölge 6'ya Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

4.1.2.7. Bölge 7'ye Ait Plastik Uzamaların Değerlendirilmesi

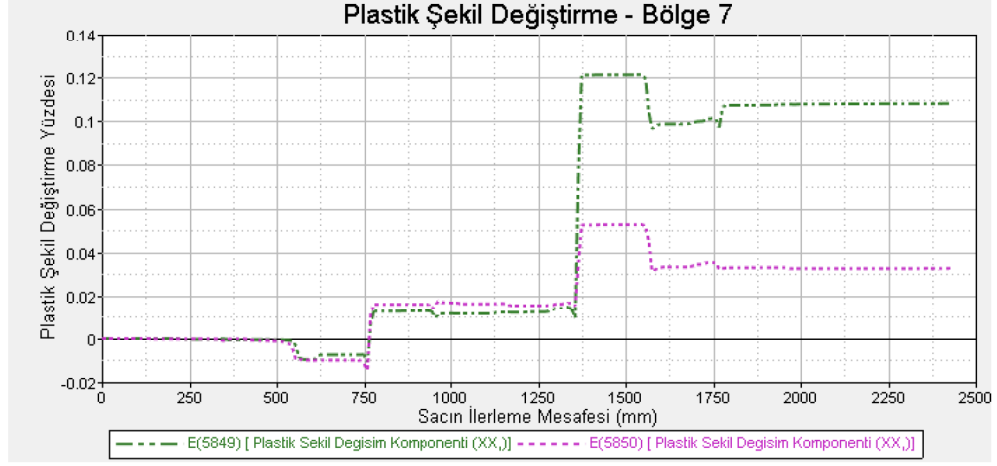
Roll forming prosesi itibariyle en kritik uzamaların gerçekleştiği yer, en dış bölgede bulunan eteklerin uzamasıdır. Gerçekleşen uzamalar sebebiyle profil üzerindeki temel hata tipleri ve kesite dair etkiler genellikle bu bölgede yoğunlaşmaktadır.

Şekil 4.25 üzerinde bulunan 7 numaralı bölge incelendiği zaman YZ düzleminde iç (5849) ve dış (5850) elemanlarda uzamalar ara istasyonlar haricinde eş değer gerçekleşmiştir. Şekil 4.26'deki X doğrultusunda ise uzamalar özellikle 8 numaralı istasyondan (mesafe 34) itibaren agresif bir şekilde artmıştır. Bu noktada en büyük etkilerden biri, YZ düzleminde gerçekleşen uzamaların toplam etkisinin eteğe yığılması sebebiyle sac açınının genişliğinin uzamasıdır.

Makara ile arada sıkışan sac YZ düzleminde de daha fazla uzayamayacağı için X düzleminde şekil değiştirmiştir. Gerçekleşen şekil değiştirme mekaniği sonrasında eteğin içeri doğru kapması beklenmektedir.



Şekil 4.25 Bölge 7'ye Ait YZ Düzlemindeki Plastik Şekil Değiştirmeler



Şekil 4.26 Bölge 7'ye Ait X Doğrultusundaki Plastik Şekil Değişirmeler

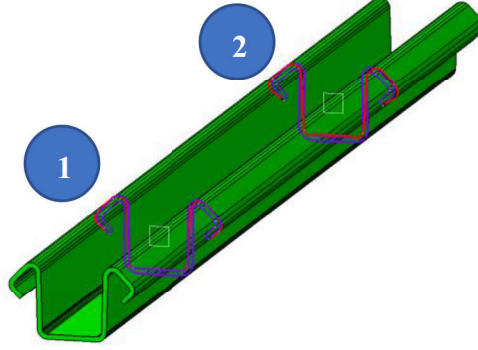
4.2. Geri Yaylanma Verilerinin Korelasyonu

Geride yaylanmalar, şekil verme kalıplarının oluşturduğu kuvvetin kaldırılması sonrasında iş parçası üzerinde oluşan geometrik değişimlerdir. Roll forming operasyonu esnasında makaradan çıkan sac üzerinde oluşan geride yaylanmalar, parçanın arzu edilen şekilden uzaklaşmasına sebep olacaktır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken, geride yaylanmayı önlemek için verilecek olan aşırı bükümlerin, ilgili bükümün son istasyonuna bırakılmak yerine ardışık istasyonlara dağıtılarak oluşacak lokal yüksek plastik şekil değişirme enerjisi oluşumunun önlenmesidir.

Gerçekleştirilen simülasyonun rijitlik matris çözümünün açık (explicit) olması sebebiyle simülasyon sonucunda iç kuvvetler dengeye ulaşmamaktadır. Bunun sonucu olarak da parça üzerinde oluşacak olan geride yaylanmalar görülemez. Şekil verme operasyonu sonucunda oluşan iç kuvvetlerin denkleğinin sağlanması için açık (explicit) olan çözümün kapalı (implicit) çözüme dönüştürülmesi gerekmektedir. Böylelikle iç kuvvetlerin profil üzerindeki etkisi serbest kalarak parça öngörülen şekil değişimlerini gerçekleştirebilecektir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları sonrasında, kullanılan makara geometrileri üzerinden bir prototip hat imal edilmiştir. Bu hatta imal edilen profillerin, lazer tarama metodu ile 10mm aralıklarla kesitleri ölçülmüş ve CAD ortamına aktarılmıştır.

Sonuç kıyaslamasında nominal kesit geometrisi, simülasyon sonuçları ve profil kesitleri üst üste bindirilmiştir. Aralarındaki korelasyonun sağlanması için 2 farklı yerden kesit alınarak kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.27).

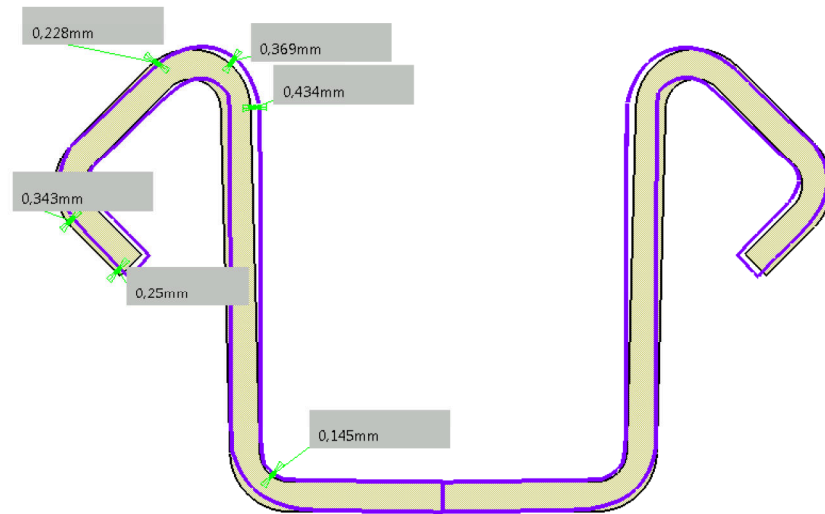


Şekil 4.27 Profil Üzerinden Kesit Ölçümleri Alınan Yerlerin Gösterimi

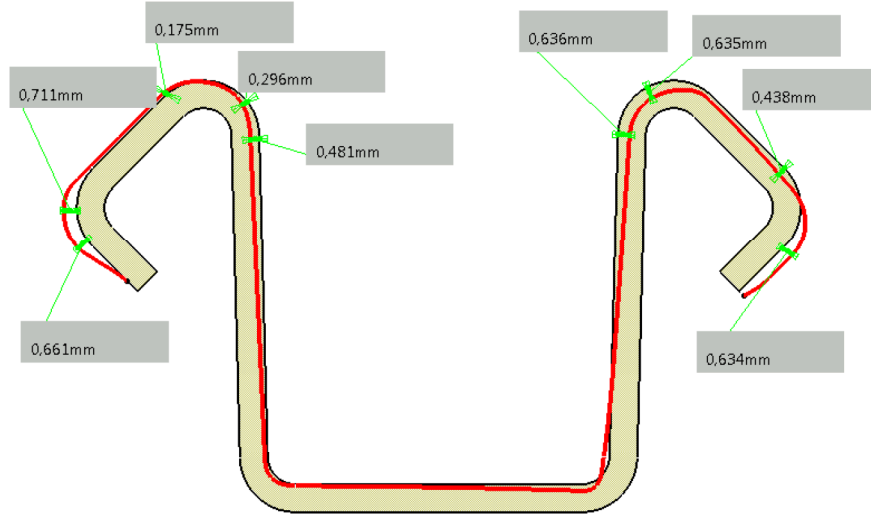
Kesitin simetrik olması sebebiyle simülasyonda sadece yarısı modellenmiştir. Ancak fiziksel profil proses itibarıyla tam olarak üretilmiştir. Bu sebeple simülasyon sonuçlarının ZX düzleminde simetrisi alınmıştır.

4.2.1. Gerçekleştirilen Ölçümlere Ait Kesit Detayları

Şekillerde gösterilen kesitlerde sarı dolu kesitler orijinal CAD datayı, mavi çizgiler simülasyon sonuçlarını ve kırmızı çizgiler de tarama sonuçlarını göstermektedir (Şekil 4.28-32).

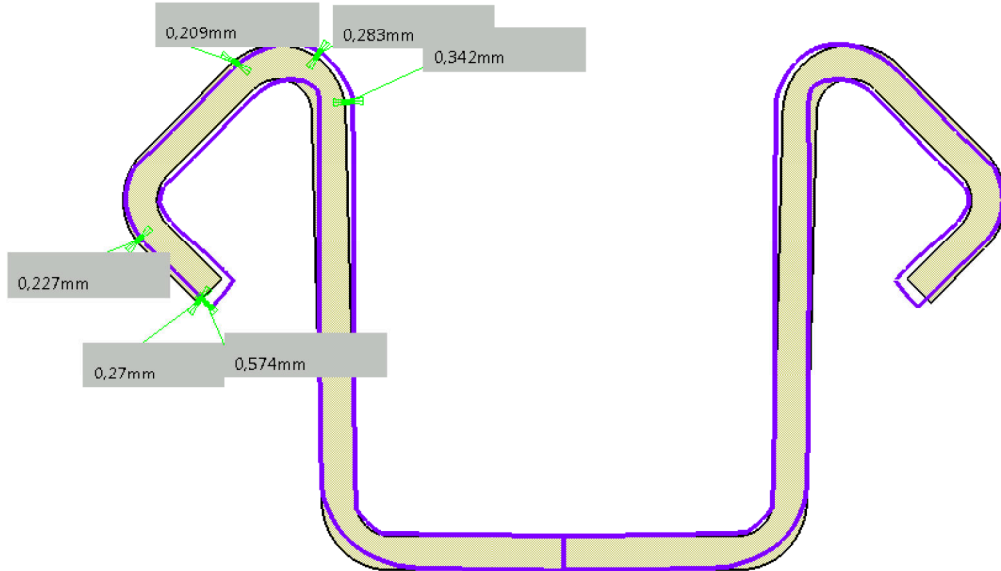


Şekil 4.28 Kesit 1 - Simülasyon Kesit İncelemesi

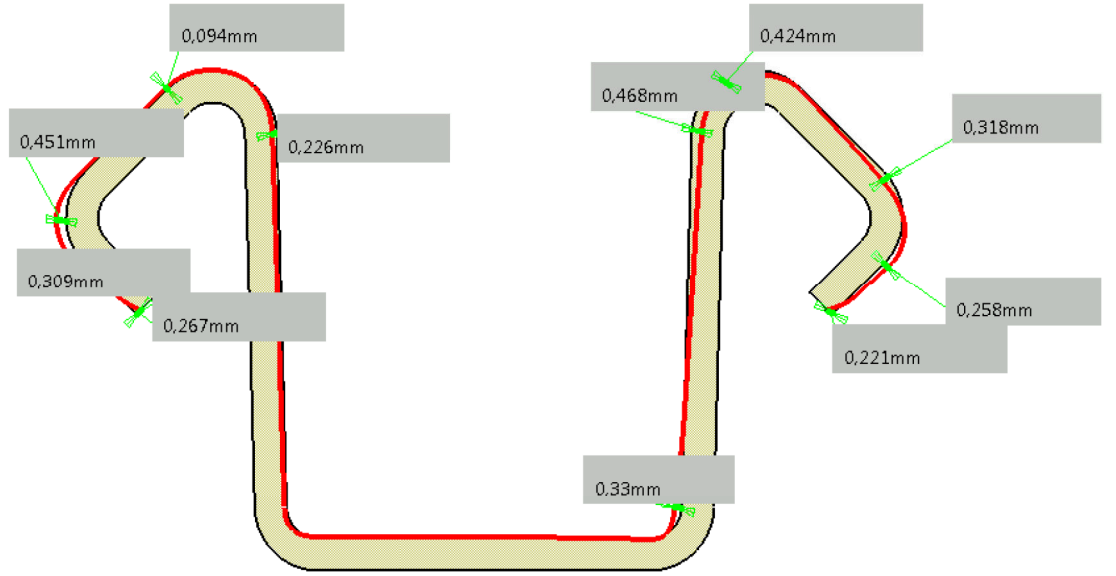


Şekil 4.29 Kesit 1 - Prototip Parça Kesit İncelemesi

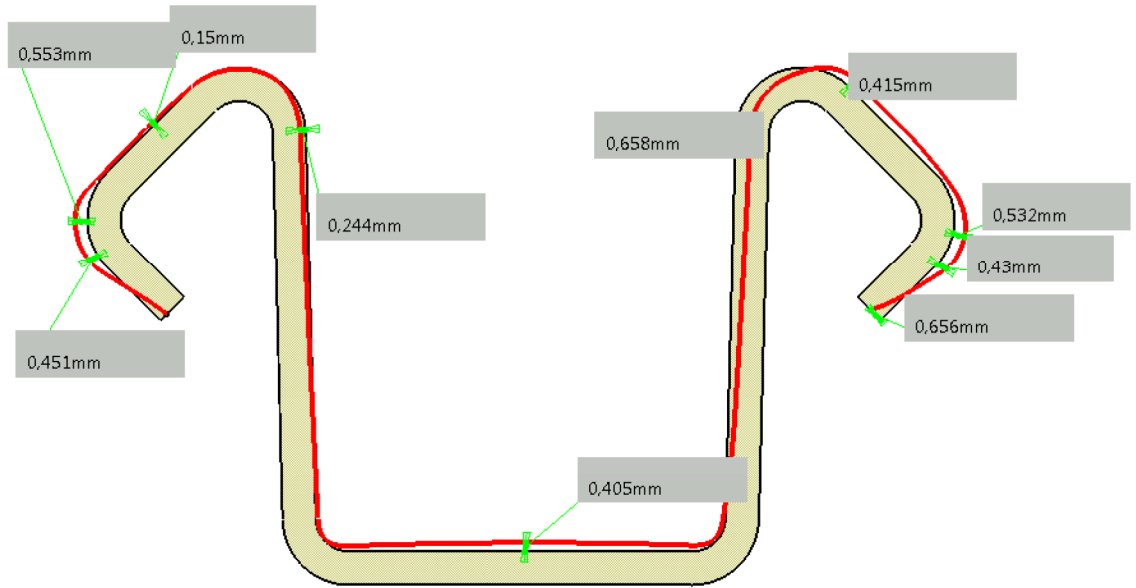
Simülasyonun simetrik gerçekleşmesi sebebiyle yanal eğilme ve burulma gibi agresif hata tipleri ile karşılaşılmamıştır. Ancak fiziksel parça üzerinde bu hata tipleri görülmüştür. Sonrasında gerçekleştirilen detaylı incelemeler ile hat üzerinde ayar problemleri olduğu tespit edilerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır.



Şekil 4.30 Kesit 2 - Simülasyon Kesit İncelemesi



Şekil 4.31 Kesit 2 - Prototip Parça Kesit İncelemesi

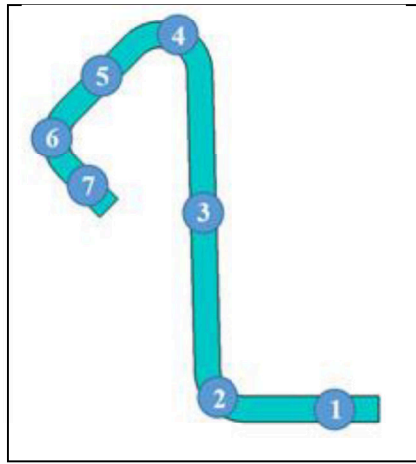


Şekil 4.32 Prototip Kesitin Ortasından Alınan Kesit Ölçümü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Prototip hat üzerinde gerçekleştirilen üretimlerde kullanılan istasyonlardaki ayar problemlerinden dolayı kesim uçlarındaki açılmalar (flaring) üzerine sağlıklı veriler elde edilememiştir. Bu sebeple çalışmalar sonucunda elde edilen en uygun profil üzerinden, kesitte gerçekleşen farklılıklar irdelenmiştir. Yorumlanan bölgeler Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Kesit Üzerindeki Bölgeler



BÖLGE 1
BÖLGE 2
BÖLGE 3
BÖLGE 4
BÖLGE 5
BÖLGE 6
BÖLGE 7

Prototip kesit incelendiğinde, 1 numaralı bölge Şekil 4–29 ve Şekil 4–31 orijinal data üzerindeki düzlemde bulursa da ve Şekil 4–32 incelendiğinde, 0,405mm’lik düzlemde bir uzaklaşma görülmektedir. Ancak 4 numaralı bölgenin üst hizasında herhangi bir +Z doğrultusunda şekil değişimi görülmemektedir. Bu veriler ışığında simülasyon sonuçları incelendiğinde de benzer plastik uzamalar görülmektedir. 1 numaralı bölge üzerinde alt düzlemdeki elemanlarda X doğrultusunda uzamalar gerçekleşirken üst düzlemdeki elemanlarda kısaltmalar gerçekleşmiştir. Bu sebeple kesit içerisinde orta düzlemde görülen potluklar oluşmuştur.

Dikey düzlem olan 3 numaralı bölge incelendiğinde, orijinal CAD data ile hem simülasyon hem de prototip düzlemleri küçük hatalar ile örtüşmektedir. 2 numaralı bölgedeki yarıçapta oluşan plastik şekil değişimlerin, yarıçap bölgesinden düz bölgelere doğru kayması sebebiyle uzamalar YZ ve X düzleminde homojen olarak dağılabilmektedir. Böylelikle dikey düzlem üzerinde 3 numaralı büküm kaynaklı herhangi bir etki ile karşılaşılmamıştır.

Kesitin makaralar içerisindeki yerleşiminde de görüldüğü üzere (Şekil 4.11-12), sac açılımı YZ düzleminde uzamıştır. Bu uzama sebebiyle de makara içerisinde sıkışan sac, etek bölgesinde potluk yaparak içe doğru eğilmiştir. Gerçekleşen uzamalar prototip kesit yüzey tarama sonuçlarında da görülmektedir. Dış etek, referans yüzeyden içeri doğru 0,656mm'ye kadar sapmıştır.

5 numaralı bölgede YZ düzlemindeki uzamalar sebebiyle bölgenin boyunda uzama meydana gelmiştir. Bu uzamalar sebebiyle dış yarıçap bölgesi 0,711mm kadar dışa doğru uzamıştır.

Elde edilen bulgular ışığında çalışma değerlendirildiğinde, roll forming prosesi diğer proseslerde de olduğu gibi iş parçası üzerinde gerçekleşen plastik uzamaların yerleri ve değerleri ile kurulacak doğru ilişkinin hata tiplerini önceden fark ederek önlemeyi mümkün kılabilir. Ancak piyasadaki diğer paket programlara kıyasla bu hata tiplerini öngörebilmek için prosese ait tecrübe olmazsa olmazdır.

KAYNAKLAR

- Abvabi A., Rolfe B., Hodgson P.D., Weiss M., 2015.** The Influence Of Residual Stress On A Roll Forming Process, *International Journal of Mechanical Sciences*, 101-102, 124–136.
- Duggel N., 1995.** Process Simulation of Roll Forming and Roll Pass Design, *MSc. Thesis*, Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University, Ohio
- Ferreira P. B. F., 2016.** Roll Forming - A Study On Machine Deflection By Means Of Experimental Analysis And Numerical Developments, *MSc. Thesis*, Mechanical Engineering, University of Porto, Portugal.
- George H. T., 2006.** Roll Forming Handbook. Taylor & Francis, U.S., 583 pp.
- Güner A., 2007.** Assessment Of Roll-Formed Products Including The Cold Forming Effects, *MSc. Thesis*, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Middle East Technical University, Türkiye.
- Hellborg S., 2007.** Finite Element Simulation of Roll Forming, *MSc. Thesis*, Department of Management and Engineering, Sweden Institute of Technology, Sweden.
- Ji-long Y., Ying-bing L., Da-yong L., Ying-hong P., 2005.** Simulation of Roll Forming With Dynamic Explicit Finite Element Method, *American Institute of Physics*, 0-7354-0265-5/05
- Keeler S., Kimchi M., 2014.** Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0, World Auto Steel, U.S.
- Kasaeia M. M., Naeini M. H., Azizi T. R., Tehrani M. S., 2013.** 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.
- Kiuchi, M., Abe K., Onodera R., 1995.** Computerized Numerical Simulation of Roll-Forming Process. *Annals of the CIRP*, Vol 44/1/195.
- Lindgren, M., 2006.** Cold Roll Forming Of A U-Channel Made Of High Strength Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 186 77–81.
- Nagamachi T., Nakako T., Nakamura D., 2011.** Effects of Roll Diameter and Offset on Sectional Shape of Square Steel Pipe Processed by Roll Forming, *Materials Transactions*, Vol. 52, No. 12. 2159 – 2164.
- Nam J. B., 2013.** Development of New Auto Steels and Application Technology, China Automotive Steel Conference, China
- Panton S.M., Duncan J.L., Zhu S.D., 1996.** Longitudinal And Shear Strain Development In Cold Roll Forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 60 219-224.
- Panton S. P., 1987.** Computer Aided Form Roll Design, *Ph.D. Thesis*, The University Of Aston, Birmingham, England
- Rossi B., Degée H., Boman R., 2013.** Numerical Simulation Of The Roll Forming Of Thin-Walled Sections And Evaluation Of Corner Strength Enhancement, *Finite Elements in Analysis and Design*, 72 13-20.
- Saffe S. N. M., Nagamachi T., Ona H., 2014.** Residual Stress Around Cut End Of Hat Steel Channel By Roll Forming, *ICTP 2014*, 81 239 – 244.
- Simha C. H. M., 2016.** Modelling Springback of Bent Hydroformed Dual-Phase Steel Tubes, *Great Designs in Steel 2016*, Autosteel, U.S.
- Weber H., 2014.** Advances in Roll Forming Ultra-High-Strength Car Body Components, *Great Designs in Steel 2014*, Autosteel, U.S.
- Wiebenga J.H., Weiss M., Rolfe B., van den Boogaard A.H., 2012.** Product Defect Compensation By Robust Optimization Of A Cold Roll Forming Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 213 978– 986.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdar DOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA / 1987
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi
Lisans : Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi / Makine Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

Proje Mühendisi – Yarış Kabin A.Ş. / 12.2010 - 03.2012
R&D Engineer – Rollmech Automotive / 09.2013 - 05.2016
R&D Engineer – Martur Automotive / 06.2016 - Günümüz

İletişim (e-posta) : serdar_dogan@msn.com

Yayımları :

Doğan S., 2015. Araç Kayar Kapıları için Geliştirilen Mekanizma Prototipinin 3D Yazıcı ile Üretilmesi, *OTOSEM 2015*, 252 49-62.

Doğan S., Güven C., Karpat F., Yılmaz T., Doğan O., 2014. Experimental Verification and Finite Element Analysis of Automotive Door Hinge, *IMECE 2014*, 39295.

Şengüenalp H., Doğan S., 2014. Ön Menteşe Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Ve Dinamik Testler İle Doğrulanması / OTEKON 2014.