

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KALINLIKLARDAKİ SAÇLARIN ÜRETİLMESİ İÇİN**  
**SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ**

**Oğuzmert ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Makine Teorisi ve Kontrol Programı

Danışman  
Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Temmuz, 2019

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KALINLIKLARDAKİ SAÇLARIN ÜRETİLMESİ İÇİN SİSTEM  
GELİŞTİRİLMESİ**

Oğuzmert ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Teorisi ve Kontrol Programı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof.Dr. Rahmi GÜÇLÜ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Recep BURKAN

İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Dr.Öğr. Üyesi Meral BAYRAKTAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

---

---

---

Danışmanım Prof.Dr. Rahmi GÜÇLÜ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Farklı Kalınlıklardaki Sacların Üretilmesi İçin Sistem Geliştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Oğuzmert ŞAHİN

İmza

*Aileme*

## TEŐEKKÜR

---

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sũrecinde değerli zamanını ayırıp bilgi ve tecrũbelerini benimle paylaőan saygıdeğer danışman hocam Prof.Dr. Rahmi GũLũ'ye, çalıőmaların yũrũtũlmesinde imkanlarını kullandığım ve çalıőmalarımızı destekleyen Yıldız Kalıp A.Ő.'nin kurucusu Sn. Cemil YILDIZ'a; çalıőmalarda katkı ve tecrũbelerinden yararlandığım desteklerini esirgemeyen amirlerim Sn. Ensar YILDIRIM, Halit ÇEBİ, Yavuz KELEŐ ve Mert ONAN ile çalışma arkadaőlarım Sn. Serkan SAATIOğLU, Ahmet ŐNAL, Selahattin ŐİMŐEK, Ali MERCAN, Cemil ŐZDEMİR ve İsmail ŐZDEN'e; simũlasyon çalışmalarına olan katkılarından dolayı NETFORM Genel Mũdũrũ Sn. Canderim ŐNDER'e; hayatımın her evresinde bana destek olan ve bir an olsun yardımlarını esirgemeyen annem Nebahat ŞAHİN, ablam Serap ŞAHİN ve babam Rıza ŞAHİN'e sonsuz teőekkũrlerimi sunarım.

Oğuzmert ŞAHİN

# İÇİNDEKİLER

---

<b>SİMGE LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>KISALTMA LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Giriş.....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	3
1.3 Bulgular.....	3
<b>2 Haddelme Yöntemi ve TRB Uygulamaları .....</b>	<b>4</b>
2.1 Haddelme Yöntemi.....	4
2.2 Hadde Makinelerinde Merdane Düzenleri .....	6
2.3 Farklı Kalınlıklardaki Sacların Üretimi (Tailored Blanks) .....	9
2.3.1 Patchwork Blanks (PB).....	10
2.3.2 Tailor Welded Blanks (TWB) .....	11
2.3.3 Tailor Heat Treated Blanks (THTB).....	13
2.3.4 Tailor Rolled Blanks (TRB).....	15
2.3.5 Tailor Rolled Blanks Uygulamaları (TRB) .....	17
2.4 Sac Parçaların Şekillendirilebilirlik Analizleri .....	20
<b>3 Hesaplama Yöntemi .....</b>	<b>23</b>

3.1	Haddeleme Parametreleri.....	23
3.1.1	Giriş ve Çıkış Kalınlıkları.....	23
3.1.2	Tarafsız Eksen .....	23
3.1.3	Ortalama Akma Gerilmesi.....	24
3.1.4	Haddelemede Sürtünme Sınırı.....	25
3.1.5	Haddeleme Basıncı ve Hadde Kuvveti .....	26
3.2	Hadde Yükünün Hesaplanmasında Kullanılan Metotlar.....	29
3.3	Parametrelerin Belirlenerek Merdanelerin Tasarlanması.....	29
<b>4</b>	<b>Simülasyon ve Deneysel Çalışmalar.....</b>	<b>31</b>
4.1	TRB ile İlgili Çalışmalar.....	31
4.2	Simülasyon Çalışmaları.....	32
4.2.1	Haddeleme İşleminin Simüle Edilmesi .....	32
4.2.2	Mesh Yapısının Oluşturulması ve Yapısal Analiz.....	35
4.2.3	Şekillendirilebilirlik Analizi .....	35
4.3	Deneysel Çalışmalar .....	38
4.3.1	Haddeleme Kuvvetinin Prototip Üretim ile Doğrulanması.....	38
4.3.2	Prototip Üretim ve Ölçüm Çalışmaları.....	39
4.3.3	Punta Kaynak Kalitesinin Ölçümü .....	43
4.3.4	Çekme Testi Sonucu.....	44
<b>5</b>	<b>Sonuçlar ve Öneriler .....</b>	<b>46</b>
	<b>Kaynakça .....</b>	<b>48</b>
	<b>Tezden Üretilmiş Yayınlar .....</b>	<b>51</b>

## SİMGE LİSTESİ

---

$Y_{ort}$	Ortalama akma değeri
$t_0$	Ezme miktarı
$t_ç$	Malzeme çıkış kalınlığı
$t_g$	Malzeme giriş Kalınlığı
$t_{max}$	Maksimum ezilme değeri
$v_ç$	Malzeme çıkış hızı
$v_d$	Merdane dönüş hızı
$v_g$	Malzeme giriş hızı
$w_ç$	Malzeme çıkış genişliği
$w_g$	Malzeme giriş genişliği
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\varepsilon$	Gerinim değeri
$F$	Haddeleme kuvveti
$K$	Mukavemet katsayısı
$L$	Kontak uzunluğu
$N$	Merdane dönüş hızı
$P$	Motor gücü
$R$	Merdane yarıçapı
$T$	Moment değeri
$n$	Pekleşme üsteli
$p$	Hadde basıncı
$s$	İleri kayma miktarı



## KISALTMA LİSTESİ

---

DP	Dual Phase (Çift Fazlı)
FLC	Forming Limit Curve (Şekillendirme Sınır Eğrisi)
FLD	Forming Limit Diagram (Şekillendirme Sınır Diyagramı)
PB	Patchwork Blanks (Yama Tipi Saclar)
THTB	Tailor Heat Treated Blanks (Bölgesel Isıl İşlemlı Saclar)
TRB	Tailor Rolled Blanks (Bölgesel Haddelenmiş Saclar)
TWB	Tailor Welded Blanks (Lazer Kaynaklı Saclar)

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 2.1</b>	Haddeleme yöntemi .....	4
<b>Şekil 2.2</b>	Haddeleme yoluyla üretilen ürünler.....	5
<b>Şekil 2.3</b>	Geleneksel İkili (a), tersinir 2'li (b) ve 3'lü(c) hadde merdane düzenlerinin şematik gösterimleri .....	7
<b>Şekil 2.4</b>	Destek ve iş merdaneleri kullanılan 4'lü merdane (a) ve Sendzimir tip merdane düzenlerinin (b) şematik gösterimleri.....	8
<b>Şekil 2.5</b>	Ardışık olarak 4'lü merdanelerden oluşan ve kademeli ezme yapan tandem merdane düzeni .....	8
<b>Şekil 2.6</b>	Farklı kalınlıktaki sac parçaların üretim teknikleri .....	9
<b>Şekil 2.7</b>	Patchwork blanks yönteminin uygulama hazırlık aşamaları.....	11
<b>Şekil 2.8</b>	Ağırlık azaltmaya yönelik TWB yöntemiyle üretilen parçaların araç üzerindeki konumları.....	12
<b>Şekil 2.9</b>	TWB yöntemi kesit görünüm .....	13
<b>Şekil 2.10</b>	6016 Al alaşımının geleneksel uygulama ve THTB uygulaması ile üretilmesi.....	14
<b>Şekil 2.11</b>	TRB uygulamasının proses akışı.....	16
<b>Şekil 2.12</b>	TRB örnek uygulamalar .....	18
<b>Şekil 2.13</b>	Hadde açıklığının kontrol edilerek farklı geometrik kesitlerde parçaların üretilmesi.....	19
<b>Şekil 2.14</b>	Kontrol sistemi yardımıyla yapılan geleneksel, yukarı yönlü ve aşağı yönlü haddelemeyle oluşturulan kesit profiller .....	20
<b>Şekil 2.15</b>	Şekillendirme sınır eğrisi.....	21
<b>Şekil 2.16</b>	Şekillendirilmiş parçanın üzerindeki dağlanmış bölgelerin deformasyonuna göre örnek gerilme dağılımı.....	22
<b>Şekil 2.17</b>	Şekillendirme sınır diyagramında (FLD) bulunan şekillendirme bölgeleri.....	22
<b>Şekil 3.1</b>	Ortalama akma değeri .....	25
<b>Şekil 3.2</b>	Hadde basıncının gösterimi.....	26
<b>Şekil 3.3</b>	Hadde basıncının tarafsız eksene göre değişimi .....	28
<b>Şekil 3.4</b>	Haddeleme giriş ve çıkışı.....	30
<b>Şekil 4.1</b>	Simülasyon modeli.....	33
<b>Şekil 4.2</b>	Simülasyon sonucu kalınlık değişimi.....	33
<b>Şekil 4.3</b>	Hadde kuvvetinin zamana bağlı değişim grafiği .....	34
<b>Şekil 4.4</b>	Moment değerinin zamana bağlı değişimi.....	34

<b>Şekil 4.5</b>	Merdanelerin mesh yapısı.....	35
<b>Şekil 4.6</b>	Merdanelerin deformasyon sonucu değerleri.....	36
<b>Şekil 4.7</b>	Tanımlanan yeni malzeme kartı.....	36
<b>Şekil 4.8</b>	Eski versiyon max gerilme sonucu .....	37
<b>Şekil 4.9</b>	Yeni versiyon max. gerilme sonucu.....	37
<b>Şekil 4.10</b>	Eski versiyon incelme sonucu.....	37
<b>Şekil 4.11</b>	Yeni versiyon incelme sonucu .....	37
<b>Şekil 4.12</b>	Eski versiyon şekillendirilebilirlik sonucu .....	37
<b>Şekil 4.13</b>	Yeni versiyon şekillendirilebilirlik sonucu .....	37
<b>Şekil 4.14</b>	Prototip kuvvet uygulama çalışması .....	38
<b>Şekil 4.15</b>	Ezilmiş ve ezilmemiş bölgenin makro görüntüleri.....	38
<b>Şekil 4.16</b>	Sistem tasarımı .....	39
<b>Şekil 4.17</b>	Ana merdane talaşlı üretim .....	40
<b>Şekil 4.18</b>	Ezme merdanesi talaşlı üretim.....	41
<b>Şekil 4.19</b>	Kardan şaft parçası talaşlı üretim .....	41
<b>Şekil 4.20</b>	Gövde alt plakası talaşlı üretim .....	41
<b>Şekil 4.21</b>	Ana taşıyıcı gövde parçası talaşlı üretim .....	41
<b>Şekil 4.22</b>	Sistemin montajlanarak prototip üretime hazır hale getirilmesi .....	42
<b>Şekil 4.23</b>	3D boyutsal ölçüm sonucu .....	42
<b>Şekil 4.24</b>	Punta kaynak test raporu .....	43
<b>Şekil 4.25</b>	Punta kaynak test numuneleri.....	44
<b>Şekil 4.26</b>	Çekme testi cihazı .....	44
<b>Şekil 4.27</b>	Çekme numuneleri .....	45
<b>Şekil 4.28</b>	Malzemenin haddelme yönleri.....	45

## TABLO LİSTESİ

---

<b>Tablo 3.1</b> Parametrelerin belirlenmesi .....	29
<b>Tablo 4.1</b> DP600 mekanik özellikleri .....	32
<b>Tablo 4.2</b> DP600 kimyasal kompozisyonu .....	32
<b>Tablo 4.3</b> Önemli parçaların üretim adımları .....	40
<b>Tablo 4.4</b> Çekme Testi sonuçları.....	45

## **Farklı Kalınlıklardaki Sacların Üretilmesi İçin Sistem Geliştirilmesi**

Oğuzmert ŞAHİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof.Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Otomotiv sektöründe yakıt tüketimini düşürmeye yönelik ağırlık azaltma çalışmaları son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Artan rekabet ortamında ülkemizde mevcut üretim tekniklerine ek olarak ağırlık azaltmaya yönelik yeni üretim teknolojileri de kullanılmaya başlanmıştır. Geçmişte tek parça ve sabit kalınlıkta üretilen araç gövde parçaları günümüzde farklı kalınlıklarda birleştirilerek veya farklı kalınlıklarda tek parça olarak üretilmektedir. Böylece, parçalar bölgesel anlamda farklı mekanik özelliklerde üretilerek mukavemet kaybı yaşanmadan araç toplam ağırlığı azaltılabilmektedir. Bu çalışmada, binek araçlarda kullanılan ön şasi parçasının üretimine yönelik bir sistem geliştirilmiştir. Darbe sönümlenme özelliği bulunan ve mevcut durumda, özel bir lazer kaynak yöntemiyle (Tailor Welded Blanks – TWB) farklı kalınlıktaki DP600 sacların birleştirilmesiyle üretilen bir parçanın özel bir haddeleme yöntemiyle (Tailor Rolled Blanks – TRB) tek parça üretimi üzerinde çalışılmıştır. TRB yöntemi, haddeleme prosesiyle uygulanan bir yöntemdir. Parçaya özel tasarlanan bu proses ile, tek parça halindeki sac malzeme haddeleme yoluyla bölgesel olarak inceltirilerek farklı kalınlıklı ve mekanik özellikte bir yapı elde edilmesi amaçlanmıştır. Sistem tasarımında, haddeleme işleminin literatür araştırması yapılarak prosesin genel ilkeleri

uygulanmıştır. Gerekli hadde kuvveti simülasyon çalışmaları ile tespit edilmiştir. Simülasyon sonucu çıkan ürünün retilibilirlik fizibilitesi yapılmıştır. Üretimin doğrulanmasıyla sistem tasarımı tamamlanmış ve hadde kuvvetinin merdanelere etkisi sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiştir. Sanal ortamda doğrulan bu sistemin imalatı yapılmış ve ürün fiziksel olarak elde edilmiştir. Elde edilen ürün üzerinden alınan numunelere çekme, boyutsal ölçüm ve kaynak testleri yapılarak simülasyon çalışmaları doğrulanmıştır. Ülkemizde kullanımına rastlanmayan TRB yönteminin uygulanması ile TWB yönteminin maliyetleri ve kaynaklı yapının dezavantajları ortadan kaldırılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Haddeleme, hadde makineleri, sac para, tailored blanks, tailor rolled blanks

# **System Development for Production of Different Thickness Sheets**

Oğuzmert ŞAHİN

Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Advisor: Prof.Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Weight reduction efforts to reduce fuel consumption in the automotive sector have gained more importance in recent years. As a result of increasing competition in the automotive sector, new production technologies have been used to reduce weight in addition to existing production techniques in our country. In the past, vehicle body parts produced in one piece and same thickness can now be combined in different thicknesses and produced in one piece. Thus, the parts can be produced with local different mechanical properties and the total weight of the vehicle can be reduced without loss of strength. In this study, a system has been developed for the production of the front chassis part used in passenger cars. In the current situation, a damping piece produced by combining the different thickness of DP600 sheets with tailor welded blanks (TWB) method has been tried to produced single piece by tailor rolled blanks (TRB) method. TRB method is a method applied by rolling process. With this process designed specifically for the part, it is aimed to obtain a structure with different thickness and mechanical properties by thinning one piece of sheet material by local rolling. In the system design, the general principles of the process have been applied by making literature review of the rolling process. The required rolling force was calculated theoretically and confirmed by simulation studies. The feasibility of the resulting product was made. The system design was

completed with the verification of the production and the effect of the rolling force on the rollers was examined by using finite element analysis. This system, which was confirmed in a virtual environment, was manufactured and the product was obtained physically. Tensile, dimensional measurement and welding tests were performed on the samples obtained and the simulation studies were verified. With the implementation of the TRB method, which is not used in our country, the costs of the TWB method and the disadvantages of the welded structure can be eliminated.

**Keywords:** Flat Rolling, flat rolling machines, sheet metal, tailored blanks, tailor rolled blanks



### 1.1 Literatür Özeti

Haddeleme yöntemi, iki döner merdanenin arasından geçirilen malzemelerin, merdanelerin radyal kuvveti yardımıyla ezilerek plastik şekil verilmesi işlemidir. Haddeleme yönteminde temel amaç hem malzemenin daha küçük bir kesit haline getirilmesi hem de malzeme yapısındaki boşlukların azaltılması veya giderilmesidir. Böylece çelikhanede dökülen ham bloklar, haddeler arasından geçirilerek istenilen iç ve dış düzgünlükte ve teknikte kullanılabilir formlarda şekilli kesitler haline getirilir [1]. Seri üretime uygun bu yöntem sıcak veya soğuk olarak gerçekleştirilebilir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde uygulanan sıcak haddeleme işlemi, kaba toleranslarda ve büyük pasolarla yapılır. Sıcak haddeleme yoluyla yassı, kütük gibi ara ürünler ile sac, levha, çubuk, boru, ray gibi son ürünler de üretilebilir [2]. Soğuk haddeleme işlemi ise düşük toleranslarda ve hassas yüzey elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler soğuk şekillendirilmiş sacları otomobilden ev eşyalarına ve ofis mobilyalarına kadar her türlü dış panel parçaları için ideal ürün haline getirir [3].

Haddeleme işleminde kullanılan hadde tezgahları ihtiyaca göre farklı tasarımlara sahip olabilir. Bu makinelerin genel yapısı incelendiğinde tahrik grubu, güç aktarma grubu, ana şasi grubu, baskı grubu ve merdane grubu olmak üzere beş ana gruptan meydana geldikleri görülmektedir. Makine imalatında kullanılan standart talaşlı işleme operasyonları, kaynaklı birleştirmeler, ısıl işlemler ve hassas ölçüler için taşlama işlemleri hadde makinalarının imalatında da kullanılmaktadır. Hadde makinalarında üretimin en zahmetli kısmı ise merdanelerin üretimidir. Merdaneler üretilecek olan parçanın yüzey kalitesine doğrudan etki eder. Merdanelerin yüzey kalitesinin yanında uzun süreli ağır çalışma koşullarına da dayanıklı olması istenir. Hadde makinaları merdane düzenlerine göre sınıflandırılmakta ve ikili, üçlü, dörtlü olabildiği gibi tasarlanan prosese göre yirmili merdane düzeninde olabilmektedir.

Günümüzde geleneksel haddeleme tezgahlarından farklı olarak otomotiv sektörünün gelişen ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik farklı hadde tezgahları geliştirilmektedir.

Otomotiv sektöründe kullanılan yeni nesil çelik malzemelerde ihtiyaç görülen en önemli özellikler mukavemet ve hafifliktir. Araçların kaza anında yolcu güvenliğini sağlayabilmesi güvenlik kafesinin mukavemetine bağlıyken, sürüş esnasında harcanan yakıt miktarı malzemenin hafifliğine bağlıdır. Artan rekabet ortamıyla birlikte kullanılan çelik malzemelerde mukavemet ve hafiflik ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve bu durum yeni üretim teknolojilerini de beraberinde getirmektedir. Günümüzde aracı hafifletmek ve kaza anında malzemelerin darbeyi sönümleyebilmesini sağlamak amacıyla farklı özellikteki, kalınlıktaki veya kaplamadaki malzemeler ayrı ayrı üretilerek lazer kaynağıyla birleştirilebilmektedir [4]. Tailor Welded Blanks (TWB) olarak bilinen bu yöntemle üretilmiş malzemeler ülkemizde otomotiv sac parça üreticileri tarafından tercih edilebilmektedir. Yapının iki farklı parçadan oluşması, kaynaklı yapının ısı etkisi gibi faktörler TWB yönteminin dezavantajlarının başında gelmektedir. Yurtdışında ileri sac şekillendirme teknolojileri arasında yer alan Tailor Rolled Blanks (TRB) yöntemi ise TWB yöntemi yerine kullanılabilir. Bu yöntem özel tasarım haddeleme sistemleri yardımıyla uygulanabilmektedir. Hadde merdane yapısı veya sistemin uygulama şekli değiştirilerek, farklı kalınlığa sahip sac parçaları tek parça olarak elde etmek mümkündür.

TRB yöntemi uygulanan sac üzerinde deformasyona neden olmaktadır. Sac malzemedeki farklı kalınlıkta bir yapı elde etmek amacıyla yapılan bu işlem sacın iç yapısında da muhakkak ki değişikliklere yol açacaktır. Uzayan tane yapısı sacın uzama özelliğini büyük oranda düşürmekteyken çekme dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Yöntemin bu özelliği konunun başında bahsedilen hafiflik ve mukavemet özelliklerini karşılamaktadır. Ortaya çıkan uzama özelliğinin azalması ise şekillendirilebilirliğe doğrudan engel oluşturmaktadır. Sac parçaların üretim metodunda, parça formuna göre bazı durumlarda derin form verme operasyonu kullanılmakta ve sacın uzama özelliği ön plana çıkmaktadır. Bilinen TRB yönteminde uygulama sonrası sacın mekanik özelliklerini yeniden kazandırmak amacıyla

tavlama işlemi uygulanabilir. Böylece farklı kalınlıklarda tek parça sac üretmek mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, ülkemizde kullanımına rastlanmamış olan yöntemin uygulanabileceği yeni tasarım bir hadde makinesi üzerine çalışılmıştır. Literatür çalışmalarından faydalanılarak, haddeleme prosesinin prensiplerine göre sistem tasarımı yapılmıştır. Haddeleme işlemi simüle edilerek hadde kuvveti ve momenti gibi sistemin karakteristik özellikleri belirlenmiş ve sistem tasarımı üzerinden sonlu elemanlar metodu kullanılarak zorlanması muhtemel merdane kısımlarının mesh yapısı oluşturulmuştur. Gerekli kontak bölgelerinin bağlantıları tanımlanmış ve merdanelerin yük altındaki esneme miktarı incelenmiştir. Merdane ve yataklardaki zorlanma bölgeleri tespit edilmiş ve tasarım güncellemeleriyle malzeme seçimi yapılmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

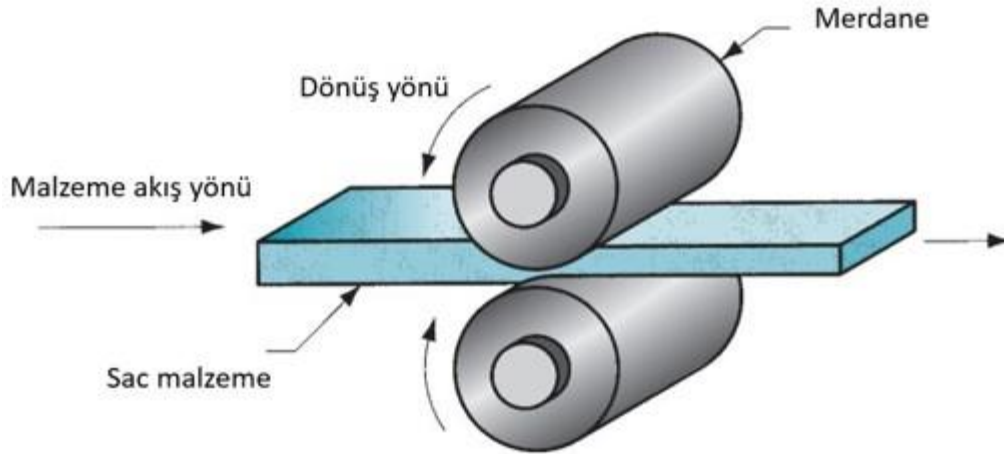
Binek araçlarda kullanılan ön şasi kolu parçasının tek parça üretilmesine yönelik sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, mevcutta TWB yöntemiyle kaynaklı birleştirilerek üretilen parçanın TRB yöntemiyle haddelenerek tek parça elde edilmesi sağlanacaktır. Çalışma sonrası elde edilecek prototip ürün, ülkemize ithal edilen mevcut ürünün yerini alabilecektir. Bu yöntem ile kaynaklı yapının ısı etkileri ortadan kaldırılacaktır. Ayrıca, parçadaki keskin geçişli bir yapı yerine, radyüslü bir yapı elde edilerek çarpışma esnasında parçanın güvenlik performansı arttırılacaktır.

## **1.3 Bulgular**

Farklı kalınlıklardaki sacların üretiminde kullanılan TRB yönteminin araç ön şasi kolu parçasının tek parça olarak üretiminde kullanılması düşünülmüş ve proses tasarımı ve simülasyon çalışmalarıyla üretilebilirliği analiz edilmiştir. Hadde sonrası deformasyon sertleşmesi dolayısıyla malzemenin mekanik özelliklerinin değişeceği öngörülmüş ve bu durumun parça şekillendirilmesine etkisi irdelenmiştir.

### 2.1 Haddeleme Yöntemi

Haddeleme, malzeme kalınlığının, karşılıklı iki silindir tarafından uygulanan sıkıştırma kuvvetleri ile azaltıldığı bir deformasyon işlemidir. Rulolar, malzemeyi aynı anda çekmek için Şekil 2.1’de gösterildiği gibi döner. Şekilde gösterilen temel işlem, bir dikdörtgen kesitin kalınlığını azaltmak için kullanılan yassı haddelemedir. Bu yöntem kullanılarak çelik levhalar üretilebildiği gibi tel ve tel ürünleri, çubuk, I profil, ray gibi farklı geometrilerde ürünler elde edilebilmektedir [3].

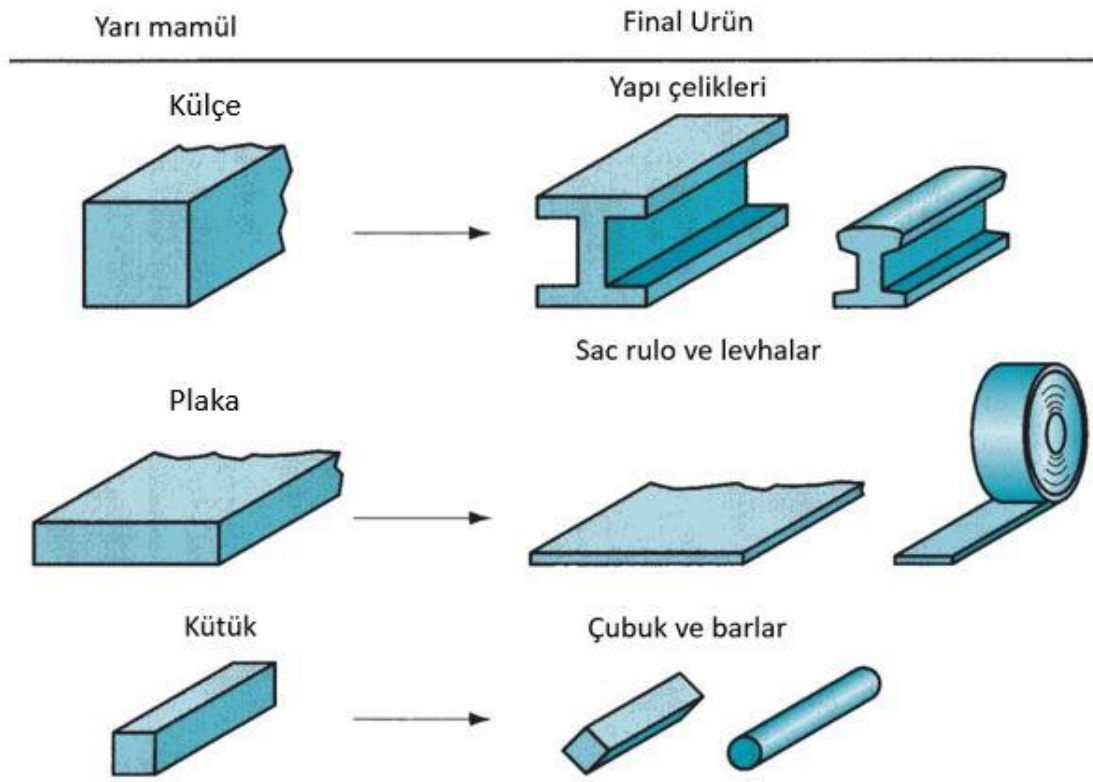


**Şekil 2.1** Haddeleme yöntemi

Tipik haddeleme sistemleri uygulama sıcaklığına göre sıcak haddeleme, soğuk haddeleme veya ılık haddeleme olarak uygulanabilir. Ergime sıcaklığının yarısının üzerinde yapılan hadde işlemi sıcak haddeleme olarak tanımlanırken bu sıcaklığın altında yapılan haddeleme işlemleri soğuk haddeleme olarak tanımlanır. Başlangıçta düşük sonrasında yüksek olacak şekilde bölünmüş bir sıcaklık aralığına sahip hadde prosesleri ise ılık haddeleme olarak tanımlanmıştır. Haddeleme sıcaklığı, haddelenen malzemenin mekanik ve metalurjik özelliklerini

değiştireceğinden izlenmesi gereken bir parametredir. Bazı durumlarda seçilen prosesin etkisiyle istenen ürün elde edilemeyebilmektedir [5].

Haddeme işlemleri büyük yatırımlar gerektiren bir üretim tesisi gerektirir. Üretilen ürüne göre farklı üretim hatları kullanılmaktadır. İngot veya sürekli döküm halinde haddemenin ana malzemesi olarak tesise giren malzemeler sıcak haddeme işlemleri uygulanması sonrası ara mamüle (plaka, külçe, kütük) dönüştürülür. Ardından Şekil 2.2’de görülen ürüne göre plakadan levha, sac ve şerit; külçeden ray, profil ve kütükten de tel ürünleri ve çubuk formlar elde edilerek final ürün üretilmiş olunur.



**Şekil 2.2** Haddeme yoluyla üretilen ürünler

Sıcak haddelenmiş levhaların daha fazla düzleştirilmesi ve daha sonraki levha metal işlemlerine hazırlanması için genellikle soğuk haddeme işlemleri gerçekleştirilir. Soğuk haddeme metali güçlendirir ve hassas kalınlık toleransı sağlar. Ek olarak, soğuk haddelenmiş levhanın yüzey kalitesi aynı şekilde sıcak haddelenmiş üründen daha üstündür. Bu özellikler, soğuk haddelenmiş sacları, şeritleri ve ruloları, dış

paneller ve otomobillerden ev aletlerine ve ofis mobilyalarına kadar tüm ürün parçaları için ideal kılar.

Normal şartlarda oda sıcaklığında yapılan soğuk haddeme işlemi, genel olarak erime noktasının üçte birinden daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bu şartlar altında malzemede yeniden kristalleşme meydana gelmez. Deformasyonun gerçekleştiği sıcaklık, nihai özelliklerin önemli bir belirleyicisidir. Temel olarak soğuk haddeme işleminde ana amaçlar:

1. Metal kalınlığını istenen seviyede azaltmak
2. Gerilme sertleşmesi ile haddelenmiş metallerin mukavemetini artırmak
3. Ürünün boyutsal tutarlılığını iyileştirmek

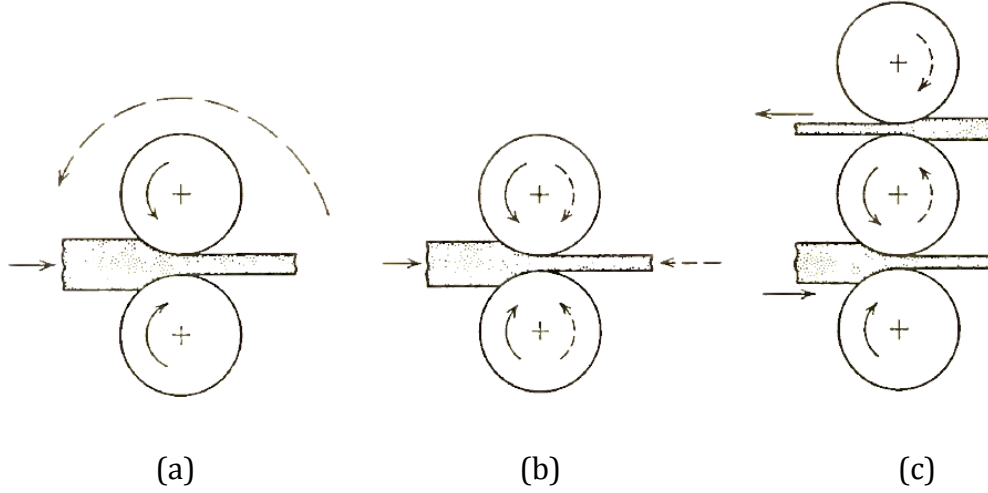
Soğuk haddelenmiş malzemenin yüzey kalitesi genellikle sıcak haddelenmiş üründen daha üstündür. Soğuk haddeme sırasında, gerilme sertliği ile elde edilen ürünün mukavemeti artma eğilimindedir, ancak sünekliği azalır. Bu nedenle, soğuk haddelenmiş malzemenin iç gerilmelerini gidermek için, bazen soğuk işlemden sonra ürünün ısı işlem görmesi istenebilir. Soğuk haddemenin dezavantajları, yüksek maliyetli ağır ekipmanların kullanımı ve kullanılan ekipmanların aşınma sonucu ortaya çıkan bakım maliyetleridir [5].

## **2.2 Hadde Makinelerinde Merdane Düzenleri**

Hadde makineleri genel olarak merdanalar, yataklamalar, şasi grubu, ayar dişlileri ve tahrik grubundan oluşmaktadır. Ezme işlemi esnasında hadde kuvveti yüksek mertebelere ulaşabildiğinden hadde makinesi, rijit bir konstrüksiyona ve güçlü bir tahrik motoruna sahip olmalıdır. Ardışık hadde makinelerinin çalıştığı büyük tesislerin kurulumu için bu durumun milyonlarca liralık yatırım maliyetinin yanında yoğun bir mühendislik çalışması gerektirdiği bilinmektedir.

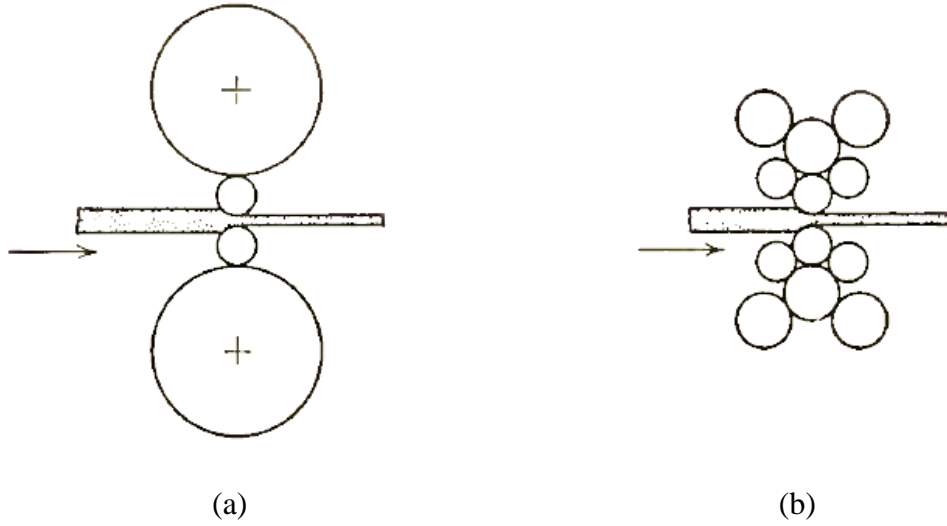
Haddeme prosesleri büyüklüğü, hadde mamülü ve çalışma tarzı gibi özellikleri bakımından ele alındığında farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu proseslerdeki hadde makineleri de kullanım amacına göre farklılık göstermektedirler. Ancak geleneksel olarak hadde tezgahları merdane düzenlerine göre sınıflandırılmaktadır. En yaygın kullanım alanına sahip hadde makineleri Şekil 2.3.a'da görülen ikili merdane düzenine sahip olanlarıdır. Bu makineler birbirine zıt yönde dönen iki

merdaneden oluşur. Bu sisteme benzer ancak ters yönde de çalışabilen ikili hadde tezgahları da mevcuttur (Şekil 2.3.b). Başka bir çözüm ise Şekil 2.3.c'de görüleceği üzere birinci ve üçüncü merdanenin tahrik edilip ortadaki merdanenin sürtünme yardımıyla çalıştığı üçlü merdaneli sistemlerdir.



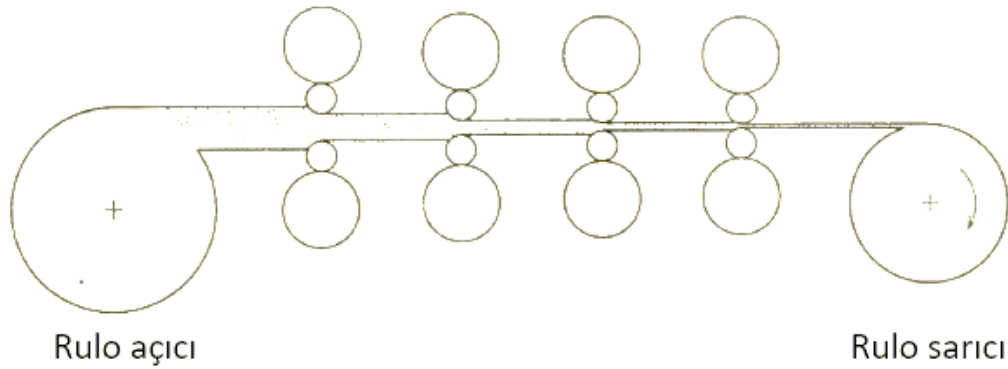
**Şekil 2.3** Geleneksel ikili (a), tersinir ikili (b) ve üçlü(c) hadde merdane düzenlerinin şematik gösterimleri

Hadde merdanelerinin yüksek güç ihtiyacını düşürmek amacıyla düşük çaplı iş merdaneleri kullanılabilir. Bu durumda sistemin mukavemeti ve rijitliğinin sağlanması amacıyla iş merdaneleri büyük çaplı merdaneler ile desteklenmelidir. Bu tip sistemlerin en geleneksel hali Şekil 2.4.a'da görülen dörtlü merdane düzenidir. Bu sistem yardımıyla ince sac levhalar hassas toleranslarda üretilebilmektedir. Dörtlü merdane düzenindeki merdanelerin ikişer adet destek merdanesiyle desteklendiği kompleks merdane sistemleri de mevcuttur (Şekil 2.4.b). İnce sac lar ve folyolar için tasarlanmış Sendzimir tipi olarak bilinen hadde makineleri kompleks merdane sistemlerinin modifikasyonu sonucu üretilmiştir.



**Şekil 2.4** Destek ve iş merdaneleri kullanılan dörtlü merdane (a) ve Sendzimir tip merdane düzenlerinin (b) şematik gösterimleri

Yüksek adetlerde ve paso değerlerinde üretim yapabilmek amacıyla dörtlü merdane sistemlerinin ardışık kullanıldığı tandem hadde prosesleri de mevcuttur (Şekil 2.5). Her bir hadde makinesi istasyon olarak adlandırılabilir. Bu istasyonlarda her bir silindir grubunun hızı, birbirini izleyen her istasyonun sacı önceki istasyonun teslim hızına eşit bir hızda alması için senkronize edilir. Rulo sarıcı ve toplayıcı makaralar, sadece istasyonları besleme ve son ürünü sarma işlevini yerine getirmekle kalmaz, aynı zamanda, rulo için bir ön gerginlik sağlar [6].

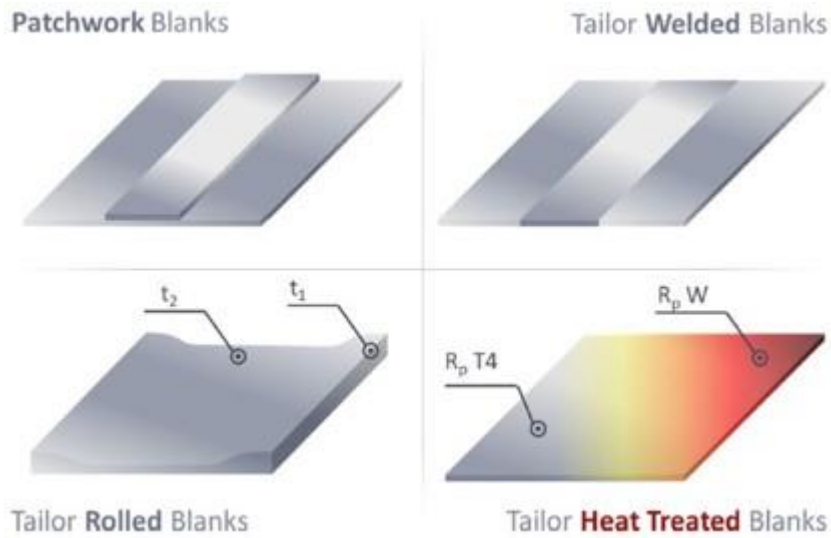


**Şekil 2.5** Ardışık olarak 4'lü merdanelerden oluşan ve kademeli ezme yapan tandem merdane düzeni



## 2.3 Farklı Kalınlıklardaki Sacların Üretimi (Tailored Blanks)

Geçmişten günümüze motorlu araç ağırlıklarının konfor ve güvenlik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla eklenen bileşenlerle birlikte artma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Artan araç ağırlığı ise yakıt tüketimini arttırmakta ve enerji sarfiyatına sebep olmaktadır. Bunun yanında ağırlık azaltmak amacıyla kalınlığı azaltılmış yüksek mukavemetli sacların kullanımıyla, parçaların yük taşıma, enerji sönmüleme ve çarpışma performansları artmıştır [7-8]. Sönmüleme kabiliyeti olan mukavemetli ve hafif parçalar kesit boyunca her bölgede eşit kalınlıkta üretilmekteydi [9]. Gelişen teknolojiyle birlikte kalınlığı azaltılmış yüksek mukavemetli saclar Şekil 2.6'da görülen ve "Tailored Blanks" olarak bilinen yöntemlerle bölgesel olarak farklı kalınlıklarda veya mukavemet özelliklerinde üretilmektedir [10]. Tailored Blanks yöntemini kullanmanın temel nedenleri, artan güvenlik taleplerini karşılamak için mekanik özellikleri geliştirirken, üretilen parçanın toplam ağırlığının azaltılmasını sağlamaktır. Buna ek olarak, montajda kullanılan toplam parça sayısını azaltmak veya malzeme kullanımını optimize etmek için de tailored blanks yöntemiyle üretilmiş saclar kullanılabilir. Bilinen 4 yöntem ile farklı kalınlıklardaki saclar elde edilebilir:



**Şekil 2.6** Farklı kalınlıklardaki sac parçalarının üretim teknikleri

1. Patchwork Blanks (PB) – Yama Tipi Saclar
2. Tailor Welded Blanks (TWB) – Lazer Kaynaklı Saclar

3. Tailor Heat Treated Blanks (THTB) – Bölgesel Isıl İşlemlı Saclar
4. Tailor Rolled Blanks (TRB) – Bölgesel Haddelenmiş Saclar

### **2.3.1 Patchwork Blanks (PB)**

Patchwork blanks yönteminde ana fikir, açınım sacını bölgesel ve daha küçük boyutta bir sac takviyesiyle güçlendirmektedir. Otomotiv endüstrisinde bu fikir çok geleneksel bir uygulama gibi gözükse de, patchwork blanks yöntemi form verme operasyonundan önce uygulandığından dolayı geleneksel yöntemlerden ayrılmaktadır. En yaygın birleştirme tekniğı lazer veya punta kaynağı kullanılarak yapılmaktadır. Her iki teknik birlikte de uygulanabilir. Ayrıca, iki kaynak yöntemi de yapıştırıcılar ile birlikte uygulanabilmektedir [11] (Şekil 2.7). Patchwork Blanks yönteminin avantajları:

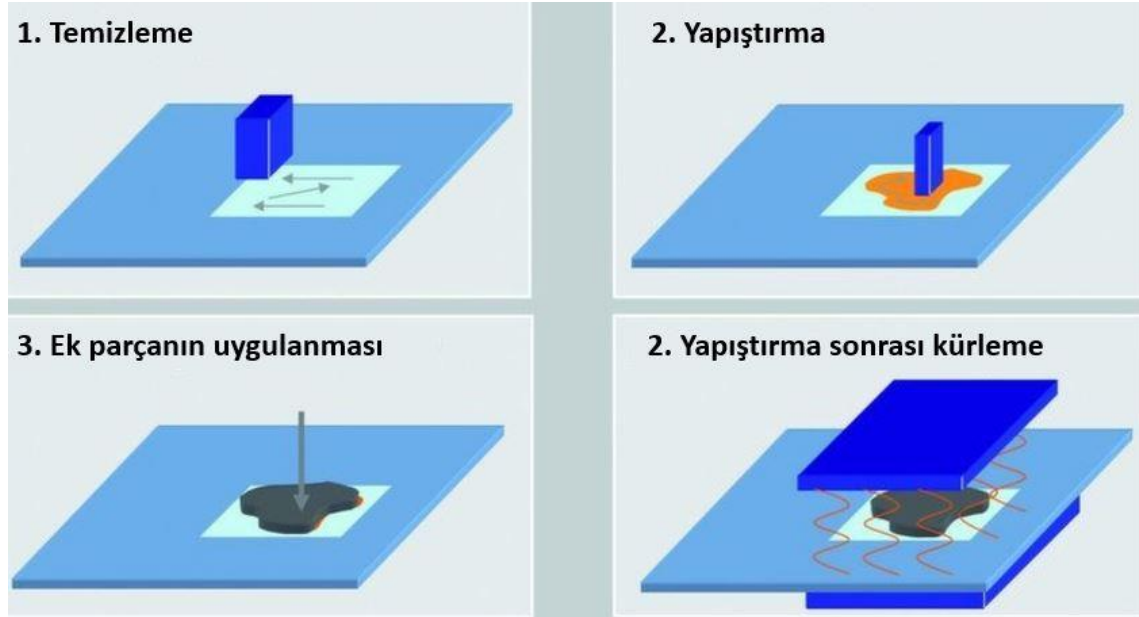
1. Farklı tip malzemeler istenilen boyutta uygulanabilmektedir.
2. Bitmiş parçanın montajını kolaylaştırır, montaj doğruluğı yüksektir.
3. Çok küçük alanlara uygulanabilmektedir.
4. Yapıştırıcı kullanıldığında titreşim sönümlleme performansı yüksektir.
5. Diğer tekniklere kıyasla daha ucuzdur.

şeklindeyir. Yöntemin dezavantajları ise:

1. Bölgesel güçlendirme veya süneklığı arttırma amacıyla malzeme eklemek gerekmektedir. Bu durum ağırlık ve hacim artışına neden olduğundan, ağırlık azaltmada önemli bir avantaj sağlamamaktadır.
2. Yapıştırıcılar kullanılmazsa çatlak korozyonu meydana gelebilmektedir.
3. Yapıştırıcıların kullanımı için iyi bir yüzey hazırlanması gerekmektedir.

Patchwork Blanks yöntemi, iki farklı teknikle uygulanabilir. Birinci teknikte form verme operasyonunun hem öncesinde hem de sonrasında kaynak uygulaması yapılırken ikinci teknikte ise sadece form verme öncesi takviye parça kaynak edilmektedir. Birinci teknikle daha güvenli bir yapı elde edilirken, ikinci teknikte üretim süresi daha kısadır. Patchwork blanks yönteminde hatalar genellikle takviye parça sınırlarında ortaya çıkar ve katılığın ani değışiminden kaynaklı çatlak başlangıçları görülebilmektedir. Araç gövdesinde patchwork blanks için yaygın

olarak kullanılan uygulamalar kapılar, zeminler, menteşeler, sütunlar, raylar vb. parçalardır [12].



**Şekil 2.7** Patchwork blanks yönteminin uygulama hazırlık aşamaları

### 2.3.2 Tailor Welded Blanks (TWB)

İki veya daha fazla farklı kalınlıklarda, kalitede veya kaplama özelliğindeki sacların üretiminde kaynak yöntemi kullanılarak yapılan işlem “Tailor Welded Blanks” olarak bilinir [13]. Yüksek miktarda üretimlerde lazer kaynak yöntemi ağırlıklı olarak tercih edilirken birleştirme tekniği olarak sürtünme kaynağı ve ezme dikiş kaynağı yöntemleri de kullanılabilir. TWB yöntemiyle üretilmiş parçalar Şekil 2.8’de görülen araç zemin komponentlerinde [14], B-Sütununda (B-Pillar) [15], ön ve arka taşıyıcılarda [16] ve kapı iç panellerinde [17-18] kullanılmaktadır. TWB uygulamalarında ezme dikiş kaynağı daha az kesim doğruluğu gerektirir ve yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilir. Buna karşın lazer kaynak yöntemi daha dar bir kaynak dikişi üretmekle birlikte, ısıdan küçük bir bölgenin etkilenmesini sağlar (Şekil 2.9). Ayrıca, malzemelerin örtüşmesi gerekmediğinden ağırlık azaltma konusunda lazer kaynak yöntemi daha iyi performans gösterir ve kavisli kaynak dikişleri de uygulanabilir [19]. Sürtünme kaynağı ise alüminyum gibi kaynağı uygun olmayan malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Kaynak



TWB yönteminin avantajları:

1. Geleneksel parçaların ağırlığı azaltılabilmektedir.
2. Farklı kalınlık, kaplama ve türdeki malzemeler birleştirilebilmektedir.
3. Ağırlık azaltılarak yapısal dayanım ve çarpışma performansının artışı sağlanabilmektedir.
4. Doğru malzemeyi doğru yerde kullanarak pahalı malzemedan tasarruf edilebilmektedir.

Yöntemin dezavantajları ise,

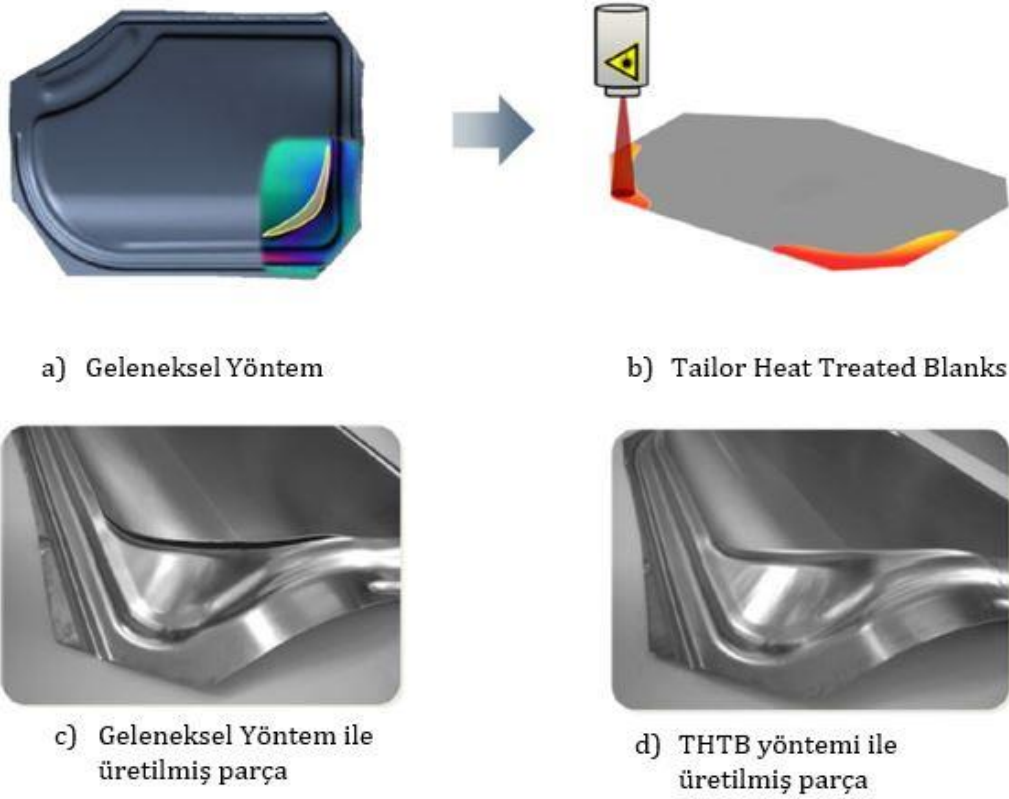
1. Ekipman yatırımı maliyetlidir
2. Yeni tasarım bir form kalıbı gerektirir.
3. Ani kalınlık geçişleri çarpışma performansını olumsuz etkilemektedir.

Yüzey kalitesi dış görünüm parçalar için uygun değildir.

### **2.3.3 Tailor Heat Treated Blanks (THTB)**

Bu işlem türünde ana düşünce sac üzerinde farklı mekanik özellikleri ısıl işlem yoluyla elde etmektir. Isıl işlem lokal olarak kontrol edilmektedir. Tailor heat treated blanks yöntemi birçok farklı metot ile uygulanabilmekte ve şirketler kendi çözümlerini sunabilmektedir. Geleneksel bir doğrudan sıcak şekillendirme işleminde sac malzemeler önce yüksek sıcaklıklarda (homojen bir şekilde ısıtılır) östenitlenir ve sonra eşzamanlı olarak şekillendirilip soğutulularak tamamen martenzitik bir mikro yapı elde edilebilir. THTB konvansiyonel proseslere benzer, ancak lokal bölgelerin ısıtılması veya soğutması sıcaklık kontrolü altındadır. Bu nedenle tüm bölümü martenzite dönüştürmek yerine, yalnızca istenen bölümler martenzite dönüştürülür [20]. Bilinen metotlarda THTB için iki farklı çözüm mevcuttur [21]. Bu çözümlerden birincisi, malzemenin homojen olarak östenitleştirilip, soğutma hızının belli bölgelerde kontrol edilerek değiştirilmesiyle farklı mekanik özelliklere sahip parça elde edilmiş olunur. Bu yöntem Al-Si kaplamalı çelikler için uygundur. Çünkü kaplamalı çeliklerde kaplama özelliğinin korunması homojen bir ısıtma prosesiyle mümkündür. İkinci çözüm ise bölgesel ısıtma yapılarak parça üzerinde lokal östenitleştirilmiş bölgeler oluşturmakla uygulanmaktadır (Şekil 2.10). Belli bölgeleri oda sıcaklığında tutulan sac parça

şekillendirme sonrası bölgesel olarak farklı mekanik özelliklere sahip olacaktır. Sonuç olarak şekillendirme işlemi soğuk koşullarda gerçekleştirilmiş olacaktır.



**Şekil 2.10** 6016 Al alaşımının geleneksel uygulama ve THTB uygulaması ile üretilmesi

Tailor Heat Treated Blanks yönteminin soğuk koşullara göre uygulandığı düşünülerek başlıca avantajlarını aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sıcak şekillendirme yöntemindeki gibi ısıya dayanıklı bileşenler ve taşıma sistemleri gerektirmez.
2. Isıl işlem lokal ve geçici olarak form verme işleminden ayrılabilir.
3. Diğer birleştirme yöntemlerindeki gibi ön hazırlık gerektirmez.

Yöntemin dezavantajları ise,

1. Yöntem diğer Tailored Blanks yöntemlerindeki gibi kalınlık geçişi sağlamadığından ağırlık azaltma sağlamamaktadır.
2. Sadece mekanik özelliklerde farklılık sağlamaktadır.

3. Kaplamalı saclarda bölgesel ısıtmanın etkisiyle kaplamada hasar ortaya çıkabilir.

#### **2.3.4 Tailor Rolled Blanks (TRB)**

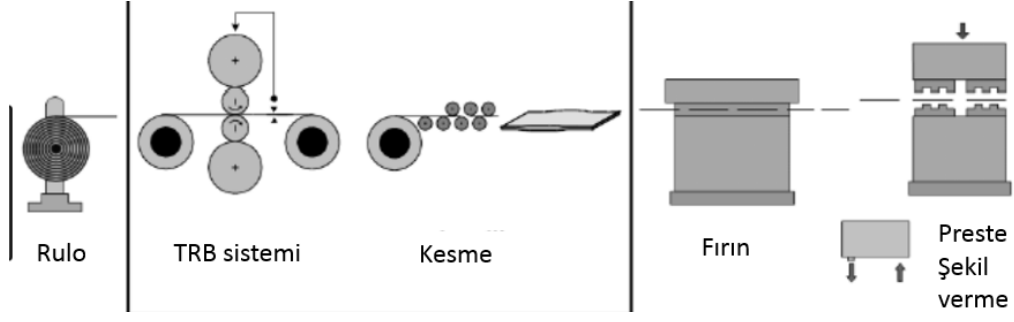
Haddeleme yöntemi kullanılarak bölgesel ezmelerin yapılması suretiyle ortaya çıkan ve farklı kalınlıklardaki sacların tek parça üretilmesini sağlayan yöntem ise "Tailor Rolled Blanks (TRB)" olarak bilinir. Bu çalışmada Tailor Rolled Blanks yöntemi uygulaması bir haddeleme sistemi üzerinde çalışılmıştır.

Tailor Rolled Blanks yöntemi kaynaklı birleştirmelerdeki keskin kalınlık geçişleri yerine ince ve kalın bölge arasında yumuşak bir geçiş sağlamaktadır. Böylece form verme aşamasında yüksek gerilme bölgeleri oluşmayacaktır. Haddeleme yönteminin uygulanmasıyla oluşturulan inceltme bölgelerinde proses limitleri dahilinde hadde açıklığı değiştirilerek farklı kalınlık değerleri elde edilebilir [22]. Bu yöntemle üretilen parçalar kaynak dikişi içermeyeceğinden dış panel parçalarda kullanıma uygun kaliteli bir yüzey sağlamaktadır. Üretim maliyetleri, kalınlık geçişlerinin sayısından bağımsızdır, ancak haddeleme açıklığı farklı ölçülerde ayarlanabildiğinden haddeleme sistemi, kaynaklı birleştirmelere göre komplekstir.

TRB yönteminde parçaların lokal olarak ezilmesi, ezilen bölgelerde farklı mekanik özelliklerin ortaya çıkmasına (gerinim sertleşmesine de bağlı olarak) neden olmaktadır. Bu durum üretim esnasında şekillendirebilirlik davranışlarını (incelme, yırtılma, geri yaylanma vb.) etkilemektedir.

TRB yönteminde esnek haddeleme sistemlerinin kalınlık kontrolü önemlidir. Bu sistemlerde kalınlık çıkan parça üzerinden ölçülerek gözlenebilir. Sisteme kalınlık ayarı için kapalı kontrol (closed-loop control) bir sistem eklenerek çıkış kalınlığı kontrol edilebilir. Hirt ve arkadaşlarına göre, en ekonomik geçiş eğimi 100 mm uzunluğunda 1 mm kalınlık farkıdır [23].

Haddeleme işleminden sonra, sac levhalar bir proses zinciri ile işlenerek (haddeleme – doğrultma ve kesme – ısıtma işlem – şekillendirme) üretilir. Şekil 2.11'de örnek bir proses yer almaktadır. TRB saclarının ısıtma işlemi, değişen kalınlıktaki bölgelerde farklı malzeme özelliklerine yol açar [23].



**Şekil 2.11** TRB uygulamasının proses akışı

Kopp ve arkadaşları çelik malzemeden imal edilmiş sac levhaların TRB uygulaması sonrası şekillendirme davranışını derin çekme testleri ile test etmişlerdir. Uzun geçiş bölgelerinin daha az kırılmaya neden olduğunu bulmuşlardır. Ek olarak, kalınlık geçişlerindeki yükseklik farklarını telafi etmek için özel tasarım pot çemberi geliştirmişlerdir. Sac levha ile pot çemberi arasındaki gelişmiş temasın daha az kırılmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kalınlık geçişine göre adapte edilmiş pot çemberiyle yapılan şekillendirme deneyleri sonucunda geçişin uzunluğunun, yönünün ve konumunun şekillendirme limit oranı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını öne sürmüşlerdir. Burada çatlama ve boyunlamalardan kaynaklı hata riski görülmemiştir [24]. Meyer ve arkadaşları, çekme derinliğine bağlı olarak zayıflayan bölgeleri sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Özellikle derin çekme prosesinde parçaların kalınlık dağılımı değişebilmekte ve inceme bölgeleri oluşabilmektedir. Bu nedenle haddeme işlemi için istenen kalınlık dağılımı, TRB uygulaması ve şekillendirme prosesi için sayısal olarak tespit edilmelidir [25]. Kopp ve arkadaşları, TRB yöntemini LS-DYNA kullanarak ve kabuk elemanlarla sistemi modelleyerek simüle etmişlerdir. Kabuk eleman kalınlığını gerçek eleman kalınlığına ayarlamak için özel bir takım geliştirmişler ve aynı kalınlıkta olanlar alt gruplara bölmüşlerdir. Bu alt gruplar aynı zamanda en kalından en inceye interpole edilmiş farklı malzeme özelliklerine sahiptiler [24]. Chatti ve arkadaşları, endüstriyel ortaklarla işbirliği yaparak TRB yöntemiyle haddelenmiş kompleks parçaların ileri şekillendirme uygulaması için fizibilitesini yapmışlardır. Çalışmada, her biri birer sürekli kalınlık geçişi olan iki kalınlık geçişi bulunan bir motor traversi üretmek için esnek haddeme, hava bükme, lazer kaynağı ve profil bükme işlemlerinden oluşan proses zinciri kullanmışlardır. Parçalar çelik X5CrNi1810



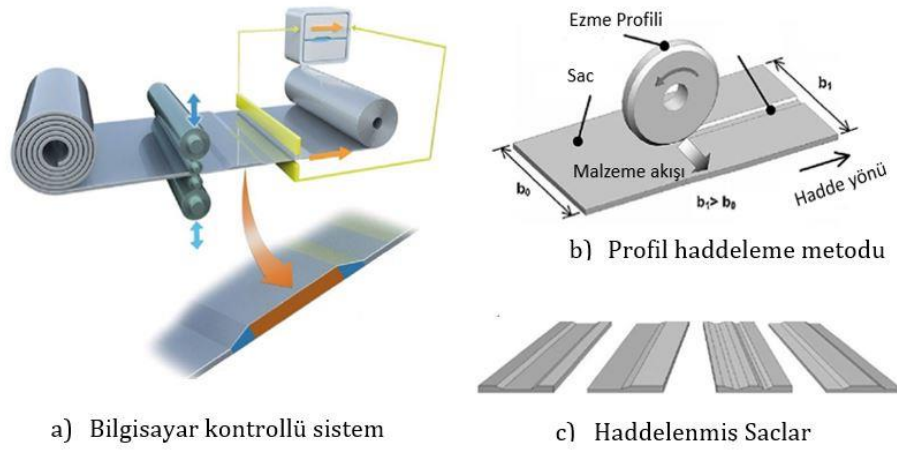
malzemeden imal edilmiştir. Çarpışma tasarımı ve optimizasyonunu sonlu elemanlar simülasyonu ile gerçekleştirmişlerdir. Profil bükme işlemi için değişken elemanlara sahip özel bir bükme aleti geliştirmişlerdir [26]. Hirt ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kalın ve ince bölgelerin farklı geri yaylanmasını, kalıp elemanlarının lokal olarak zımbaya doğru hareket ettirilmesiyle telafi edebilmişlerdir. Hareket miktarını, her malzeme için akış eğrileri yardımıyla belirlenen malzeme özellikleri ve kalınlık değeri ile tanımlamışlardır [23]. Ayrıca profil bükme işleminin, kalınlık dağılımının neden olduğu homojen olmayan şekillendirme davranışı konusunda iyileştirilmesi öngörülmüştür. Chatti ve arkadaşları tüm profil uzunluğu boyunca sabit eğilme yarıçapı sağlamak amacıyla bir rulo ayarı yapmışlardır. Ayarlama değerlerini, kalın ve ince alanlar için deneysel olarak belirlemişlerdir. Geçiş alanlarında ise doğrusal olmayan bir rulo ayarı uygulamışlardır. Üretilen parçaları yarı statik bileşen testi (motor traversi) ve düşme testi (crash box ve motor traversi /crash box kompleksi) ile test etmişlerdir. Testlerin sonuçlarını, geleneksel yöntemlerle üretilmiş parçaların sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. TRB yöntemiyle haddelenmiş profillerde, %13,5'lik bir ağırlık düşüşü ve yapısal davranışta bir iyileşme görmüşlerdir. Ayrıca, çarpma kutuları bükülme kuvvetini %48 daha fazla absorbe ederken, % 15.9 daha az ortalama deformasyon göstermiştir [26].

### **2.3.5 Tailor Rolled Blanks Uygulamaları (TRB)**

Geçmiş yıllarda haddeleme sistemleri genellikle plaka, şerit, sac levha gibi malzemelerin üretiminde kullanılmakta ve eşit kalınlıkta, yüzey kalitesi yüksek malzemeleri yüksek performansla üretmek amaçlanmaktaydı. 1960'lardan itibaren bilgisayar sistemleri haddeleme makinelerine entegre edilmeye başlanmış ve hadde açıklığı kontrol edilebilen makineler geliştirilmiştir. Şekil 2.12'de örnekleri bulunan haddeleme makinelerinin farklı kalınlıklardaki saclarda kullanılabilmesi amacıyla bilgisayar kontrolü veya özel tasarım hadde makineleri geliştirilmiştir.

Özel TRB uygulamalarıyla ilgili LIU X. değişken açıklıklı merdaneler metodunu kullandığı çalışmasında bilgisayar kontrolü yardımıyla, hidrolik bir sistem ile hadde açıklığını değiştirerek farklı kalınlıkta sac parçaların üretilebileceğini açıklamıştır.

Hadde açıklığının haddeleme esnasında değiştirilmesi, Şekil 2.13'te görüleceği gibi, standart TRB yöntemine göre karmaşık bir sistem gerektirmektedir [27].

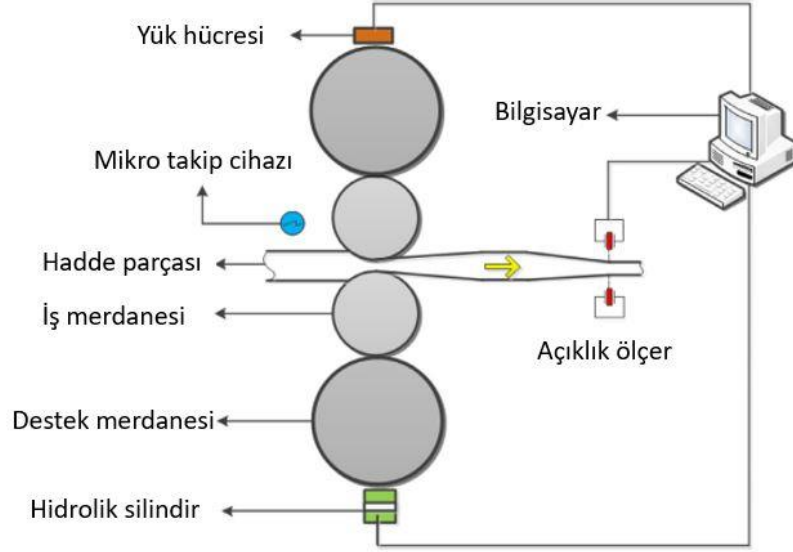


**Şekil 2.12** TRB örnek uygulamalar

Hadde açıklığının değiştirildiği bu yöntem kullanılarak 3 farklı tip üretim yapılabilir.

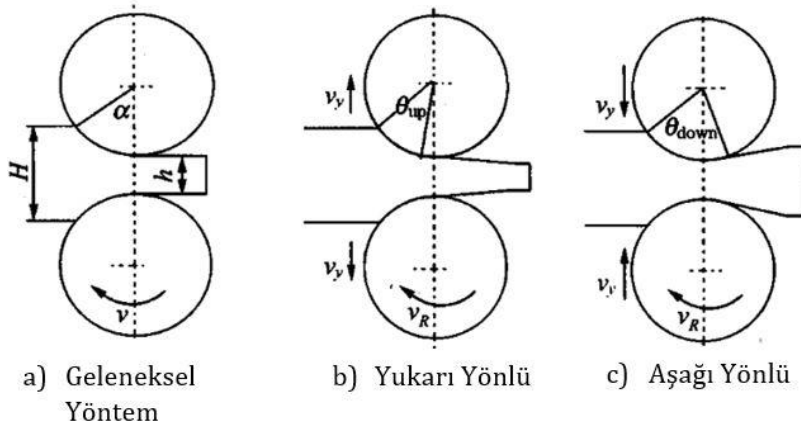
1. Tek geçiş ile tek parça üretim
2. Periyodik tek geçiş ile çok parça üretim
3. Çoklu geçiş bölgeleri oluşturularak tekli veya çoklu üretimler

Kontrol sistemi yardımıyla Şekil 2.14'te görülen farklı profillerde (a), (b) ve (c) üretimler yapılabilirken, kontrol sistemi olmadan yapılan uygulamalarda merdane tasarımı üretilecek parçaya özel tasarlanmakta ve olası yeni parça üretimlerinde merdanelerin revize edilmesi gerekmektedir. Bilgisayar kontrollü TRB uygulamalarında en büyük avantaj prosesin farklı parçalara uygulanabilir olmasıdır.



**Şekil 2.13** Hadde açıklığının kontrol edilerek farklı geometrik kesitlerde parçaların üretilmesi

TRB yöntemiyle üretilmiş sacların çarpışma performansında iyileşmenin gözlenmesiyle Lu R. ve arkadaşları bu yöntemle üretilmiş saclardan elde edilmiş farklı kalınlıktaki boruların (Tailor rolled tubes) çarpışma güvenliği ve kırılma analizi üzerine çalışmışlardır. Eksenel olarak değişen kalınlığa sahip özel haddelenmiş boruları başarılı bir şekilde üretmek için yeni yöntem hadde açıklığının değiştirilebilmesi teknolojisini kullanmışlardır. Mikroyapı gözlemi ve mekanik testler ile, farklı kalınlık konumlarında tane büyüklüğü ve özelliklerinde belirgin farklılıklar gözlemlemişlerdir. Bu yeni yapının optimize edilmiş geometrik dağılımını belirlemek için çarpışma değeri problemlerine çok amaçlı bir optimizasyon tekniği uygulamışlardır. Optimize edilmiş tasarımın enerji emiliminin iki ön çarpışma koşulunda %16,2 ve % 6,71 arttığını ve ağırlığın % 12,9 azaldığını gözlemlemişlerdir [28].

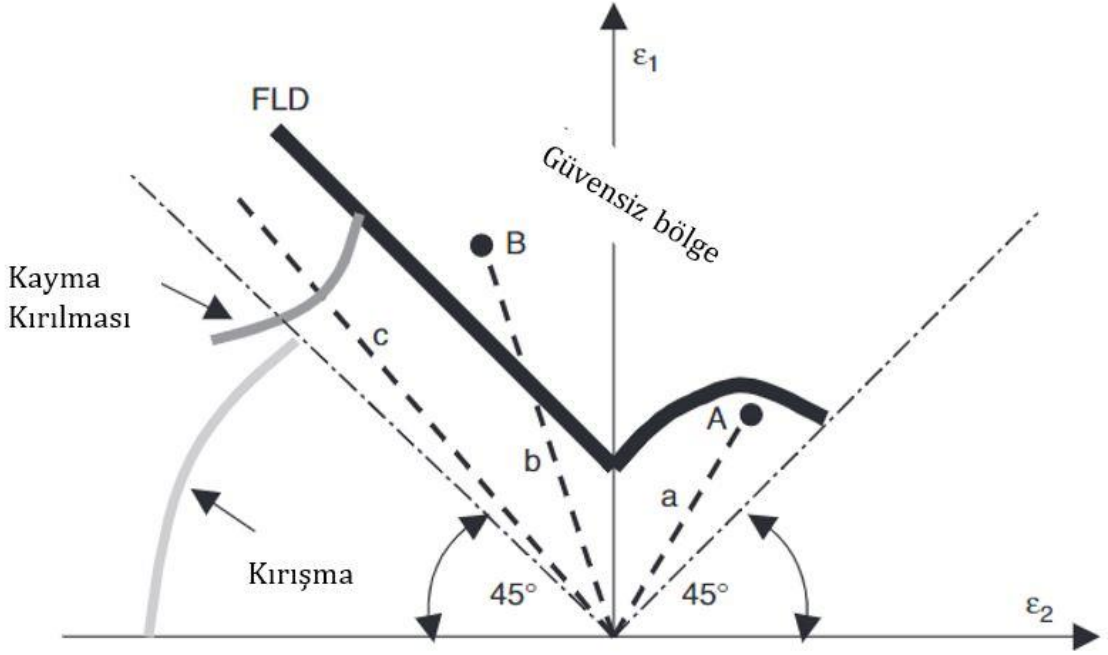


**Şekil 2.14** Kontrol sistemi yardımıyla yapılan geleneksel, yukarı yönlü ve aşağı yönlü haddelemeyle oluşturulan kesit profiller

## 2.4 Sac Parçaların Şekillendirilebilirlik Analizleri

Metal şekillendirme simülasyonunda, bilgisayar ve özel bir yazılım yardımı ile sac şekillendirme simüle edilebilir. Simülasyon, parçaların kırışması, incilmesi veya yırtılması gibi hataların ve problemlerin oluşumunu erken aşamalarda tespit ederek önlem almayı mümkün kılar. Bu şekilde, prototip testleri yapmak için gerçek kalıplar üretmek gerekli değildir. Her sac parçayı geliştirmek ve optimize etmek amacıyla şekillendirme simülasyonu kullanılabilir. [29]

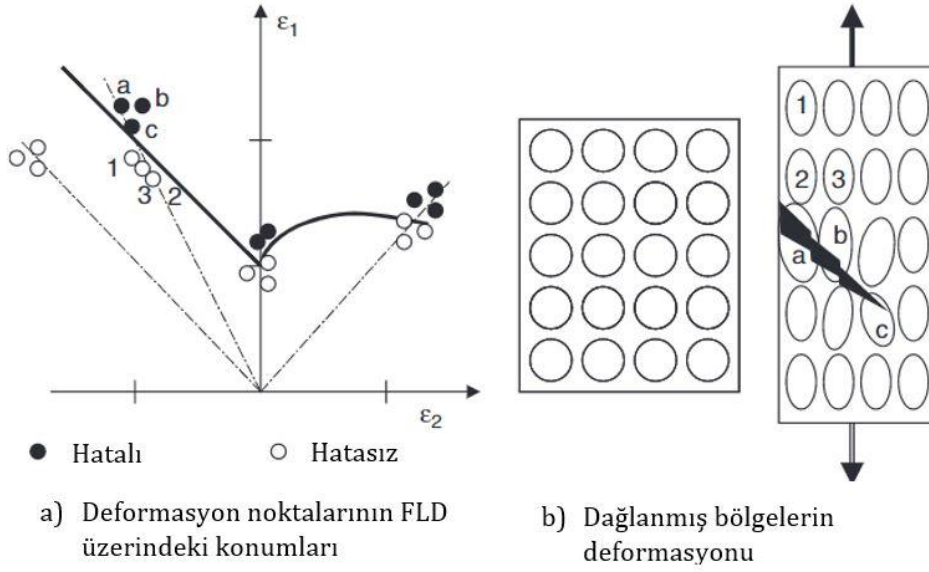
Malzemelerin şekil alma kabiliyetini (şekillendirme limitini) gösteren grafiğe forming limit diagram (FLD) adı verilir. Şekil 2.15’de görülen örnek bir diyagram üzerinde ‘a’ yolu boyunca malzeme iki taraflı gerildiğinde ‘A’ noktasına kadar herhangi bir hata öngörülmemektedir. Bununla birlikte ‘b’ yolu boyunca ‘B’ noktasına kadar gerilme yolunun ardından şekillendirme sınırına ulaşıldığında hatalar meydana gelecektir. Malzemelerin minör ve majör gerilmeler altında boyun verdiği değerler limit sınırlarını belirlemektedir ve boyun verme bölgeleri hata olarak tanımlanmaktadır [30].



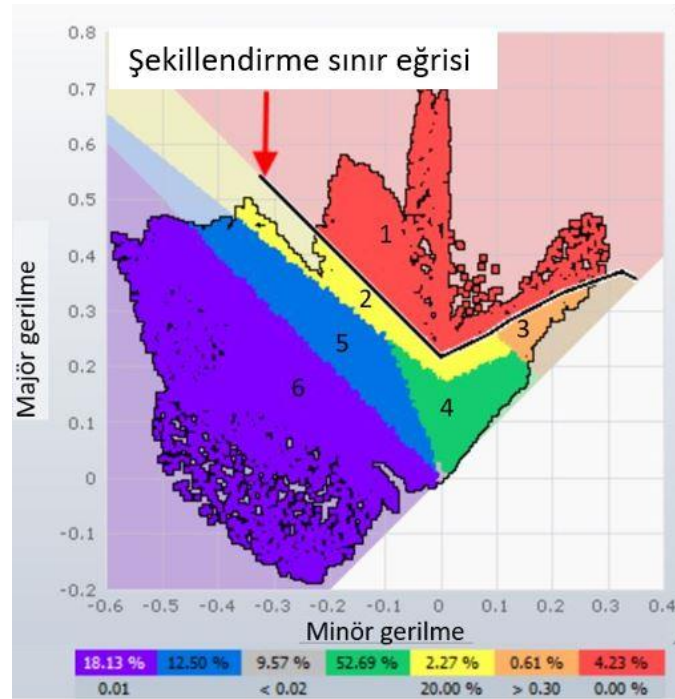
**Şekil 2.15** Şekillendirme sınır eğrisi

FLD üzerinde şekillendirme sınırını oluşturan eğri şekillendirme sınır eğrisi (forming limit curve - FLC) olarak adlandırılır. Malzemelerin FLC'leri genellikle ISO 12004-2: 2008 standardını izleyen Nakazima ve Marciniak testleri ile belirlenir. Majör gerilme, gerilmenin meydana geldiği maksimum yön olarak belirlenir. Minör gerilme ise major eksene diktir. Majör gerilme grafiğin dikey eksenin her zaman pozitif değerler alırken, minor gerilme ise yatay ekseninde pozitif veya negatif olabilmektedir [31].

FLD sadece form verme operasyonunda oluşabilecek maksimum gerilmeleri ölçmek amacıyla değil, şekil verilmiş bir sac malzeme üzerinden ölçüm almak amacıyla da kullanılabilir. Şekil 2.16'da görülen form verme öncesi malzeme üzerine daireler şeklinde elektrokimyasal dağlama yapılarak minör ve majör gerilmeler ölçülebilir. Gerilme altında haritalandırılmış daire şeklindeki yapılar elipslere dönüşerek deformasyon meydana gelir. Bu gerilme halleri FLD üzerine işlenerek parçanın en kritik alanları belirlenebilir. Boyun verme gerilmesi değerlendirilirken, farklı kaynaklar tarafından sağlanan aynı malzemenin FLC'lerinin belirgin farklılıklar gösterdiği görülmüştür [30]. Bazı durumlarda ise hata faktörü sadece boyun verme değil Şekil 2.15'de görüleceği 'c' yolu boyunca gerilme yolunda kayma kırılması sonucu kırışma şeklinde meydana gelebilir.



**Şekil 2.16** Şekillendirilmiş parçanın üzerindeki dağlanmış bölgelerin deformasyonuna göre örnek gerilme dağılımı



**Şekil 2.17** Şekillendirme sınır diyagramında (FLD) bulunan şekillendirme bölgeleri

Şekil 2.17'de görülen FLD diyagramı üzerinde FLC'nin renklendirmeler bölgelere göre 1 - yırtılma, 2- riskli, 3 - incelme, 4 - güvenli, 5 ezilme, 6 - kırışma durumlarından birini ifade eder.

### 3.1 Haddeleme Parametreleri

#### 3.1.1 Giriş ve Çıkış Kalınlıkları

Bu çalışmada kullanılan hadde prosesi levhaların, şeritlerin ve plakaların (genişliğin kalınlıktan daha büyük olduğu dikdörtgen kesitli iş parçaları) haddelenmesini içerir. Standart yapılan yassı haddeleme işleminde, iş parçası iki rulo arasında ezilerek kalınlığı hadde açıklığına göre başlangıç halinden daha düşük seviyelere indirilir.

$$t_0 = t_g - t_ç \quad (3.1)$$

Burada  $t_0$  ezme miktarını (mm),  $t_g$  malzeme giriş kalınlığını (mm) ve  $t_ç$  malzeme çıkış kalınlığını (mm) ifade eder. Kalınlık azalmasının yanında haddeye giren malzeme hacmi ile haddeden çıkan malzeme hacmi birbirine eşit olmalıdır. Bu düşünceden yola çıkılarak aşağıdaki formülasyon elde edilebilir.

$$t_g w_g L_g = t_ç w_ç L_ç \quad (3.2)$$

Bu formülasyonda  $w_g$  giriş malzeme genişliğini (mm),  $L_g$  giriş malzeme uzunluğunu (mm),  $w_ç$  çıkış malzeme genişliğini (mm) ve  $L_ç$  ise çıkış malzeme boyunu (mm) ifade etmektedir. Giriş ve çıkış malzeme hacimlerinin eşitliği, benzer şekilde giriş ve çıkış toplam malzeme hızları da aşağıdaki formülasyon ile eşitlenebilir.

$$t_g w_g v_g = t_ç w_ç v_ç \quad (3.3)$$

Bu formülasyonda  $v_g$  malzeme giriş hızını (mm/sn) ve  $v_ç$  çıkış malzeme hızını ifade etmektedir.

#### 3.1.2 Tarafsız Eksen

Haddeleme işleminde malzemenin ezilme esnasında merdaneyle olan kontak yüzeyi önemli bir parametredir. Bu parametre  $L$  ile tanımlanacaktır. Merdanelerin her biri  $R$  yarıçapında ve merdane dönüş hızları  $v_d$  ile tanımlanacaktır. Merdane dönüş hızı

giriş malzeme hızı  $v_g$ 'den büyük iken, çıkış malzeme hızı  $v_ç$ 'den bir miktar küçük olmalıdır. Haddelme koşulu olarak malzeme akışının sürekliliği ancak bu şekilde sağlanabilmektedir.

$$v_g < v_d < v_ç \quad (3.4)$$

Haddelme esnasında kontak yüzeyinde bir çizgi boyunca malzeme ilerleme hızı ile merdane dönüş hızı birbirine eşit olmaktadır. Kaymanın olmadığı bu çizgi haddelmede tarafsız eksen (neutral point) olarak bilinmektedir. Tarafsız eksenin sağ ve sol bölgelerinde, merdane ile iş parçası arasında kayma ve sürtünmeler meydana gelmektedir. Merdaneler ile iş parçası arasındaki kayma miktarı haddelmede bilinen bir tanım olan ileri kayma miktarı olarak bilinmekte ve bu değer aşağıdaki formülasyon ile tanımlanmaktadır:

$$s = \frac{v_ç - v_d}{v_d} \quad (3.5)$$

Burada s değeri ileri kayma miktarını,  $v_ç$  malzeme çıkış hızını (mm/sn),  $v_d$  merdane dönüş hızını (mm/sn) ifade etmektedir.

Malzemenin gerçek gerilme değeri giriş ve çıkış kalınlığına göre gerçekleşen deformasyon miktarıyla alakalıdır.

$$\varepsilon = \ln \frac{t_g}{t_ç} \quad (3.6)$$

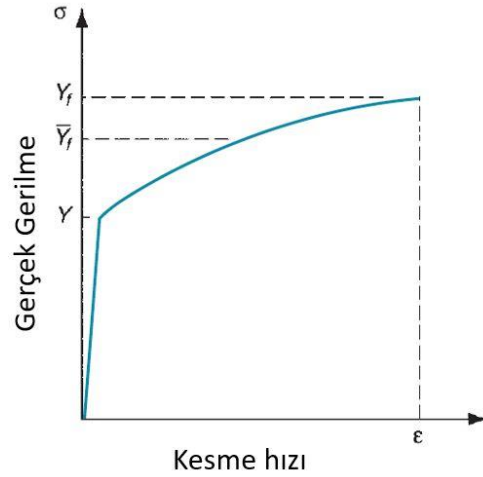
### 3.1.3 Ortalama Akma Gerilmesi

Malzemenin gerçek gerinim değeri sacların haddelenmesi esnasında ortalama akma gerilmesi değerine bağlı olarak tanımlanabilir. Ortalama akma gerilmesi, gerinim başlangıcından deformasyon sırasında oluşan son (maksimum) değere kadar gerilme-gerinim eğrisi, üzerindeki gerilmenin ortalama değeridir. Gerilme-gerinim eğrisi, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Ortalama akma gerilmesi değeri aşağıdaki formülasyon yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Y_{ort} = \frac{K\varepsilon^n}{1+n} \quad (3.7)$$





**Şekil 3.1** Ortalama akma değeri

Bu formülasyonda  $Y_{ort}$  ortalama akma değerini (Mpa, N/mm<sup>2</sup>),  $K$  malzemenin mukavemet katsayısını (Mpa, N/mm<sup>2</sup>),  $\epsilon$  malzemenin gerinim değerini,  $n$  ise pekleşme üstelini ifade etmektedir. Ortalama akma değeri haddeleme işlemi için gerekli kuvvet ve güç değerlerinin hesaplanmasında ana ortalama değer olarak baz alınır.

### 3.1.4 Haddelemede Sürtünme Sınırı

Haddeleme işlemi esnasında iş parçası ile hadde merdaneleri arasında yuvarlanmaya bağlı olarak sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünme kuvveti, malzemeler arasındaki sürtünme katsayısının haddeleme işi için gerekli kuvvet ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Tarafsız eksenin giriş bölümünde sürtünme kuvveti tek bir yönde iken, çıkış tarafında ise bu yönün tam tersi yönündedir. Birbirine zıt bu kuvvetler eşit miktarlarda meydana gelmemektedir. Tarafsız eksenin giriş tarafında sürtünme kuvveti daha büyük olmakla birlikte net kuvvet işi merdaneler arasından geçmeye zorlar. Durum bu şekilde olmasaydı, haddeleme işlemi mümkün olmazdı.

Buna göre haddelenebilecek maksimum inceltme miktarı aşağıdaki formülasyon ile hesaplanabilmektedir.

$$t_{max} = \mu^2 R \quad (3.8)$$

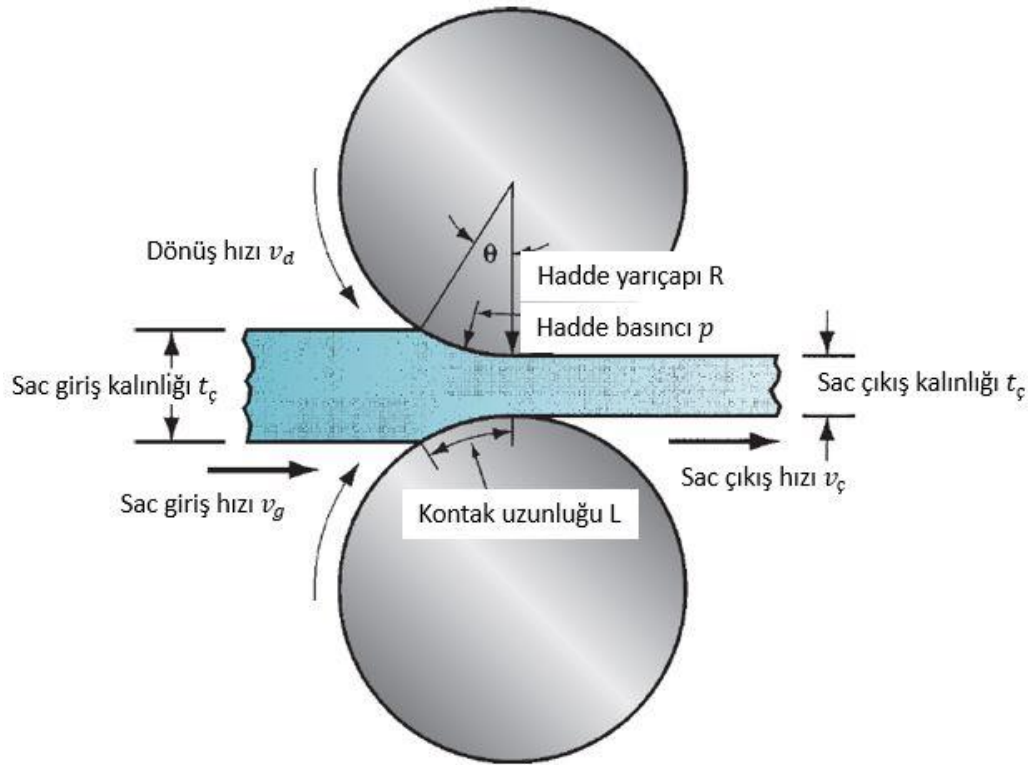
Bu formülasyona göre  $t_{max}$  maksimum inceltme miktarını (mm),  $\mu$  sürtünme katsayısını ve  $R$  ise bir ezme merdanesinin yarıçapını ifade etmektedir.

Formülasyona göre sürtünme katsayısının sıfıra yakın olduğu bir proste haddeleme işlemi yapabilmek mümkün olmamaktadır.

Sürtünme katsayısı haddeleme esnasında yağlama, iş parçası ve merdane malzemelerinin cinsi, çalışma sıcaklığına bağlıdır. Soğuk haddeleme için bu değer 0.1 ile 0.2 arasındayken sıcak haddelemede 0.4 değerine kadar çıkabilmektedir. Ayrıca sıcak haddelemede yapışma problemi meydana gelebilmektedir. Özellikle yüksek alaşımli çeliklerde meydana gelen malzemenin kontak yüzeyine yapışması durumunda sürtünme katsayısı 0.7'ye kadar çıkabilmektedir.

### 3.1.5 Haddeleme Basıncı ve Hadde Kuvveti

Haddeleme işleminin gerçekleştirilmesi için yeterli bir sürtünme miktarı oluşturulduğunda, iki silindir arasındaki baskıyı meydana getirebilmek için gerekli merdane kuvveti, Şekil 3.2'de gösterilen birim rulo basıncının merdane kontak yüzeyi temas alanı üzerine integre edilmesiyle hesaplanabilir. Buna göre,



Şekil 3.2 Hadde basıncının gösterimi

$$F_{haddede} = w \int_0^L p dL \quad (3.9)$$

Burada  $F$  merdane kuvvetini (N),  $w$  haddelenen iş parçası genişliğini (mm),  $p$  hadde basıncını (Mpa),  $L$  iş parçası ile merdane arasındaki kontak yüzey uzunluğunu (mm) ifade etmektedir. Yapılan işlemden, nötr noktanın her iki tarafı ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Kontak yüzeyi üzerinde merdane basıncı her noktada aynı olmamaktadır. Bu farklılık, Şekil 3.3'de gösterilen eğri üzerinden anlaşılabilir. Haddeleme basıncı tarafsız ekseninde maksimuma ulaşır ve her iki yandan giriş ve çıkış noktalarına doğru ilerler. Sürtünme miktarının artışıyla, giriş ve çıkış kalınlık değerlerine göre maksimum basınç artar. Sürtünmenin azalmasıyla, tarafsız eksen, giriş yönünde net bir çekme kuvveti elde etmek için girişten çıkışa doğru ilerler. Diğer yandan, düşük sürtünmenin olduğu durumda iş parçası merdaneler arasında haddelenmeden kayıp geçecektir. Denklem 3.9'daki sonuçlar ortalama akma mukavemetine göre aşağıdaki formülasyona indirgenebilmektedir.

$$F_{haddede} = Y_{ort} w L \quad (3.10)$$

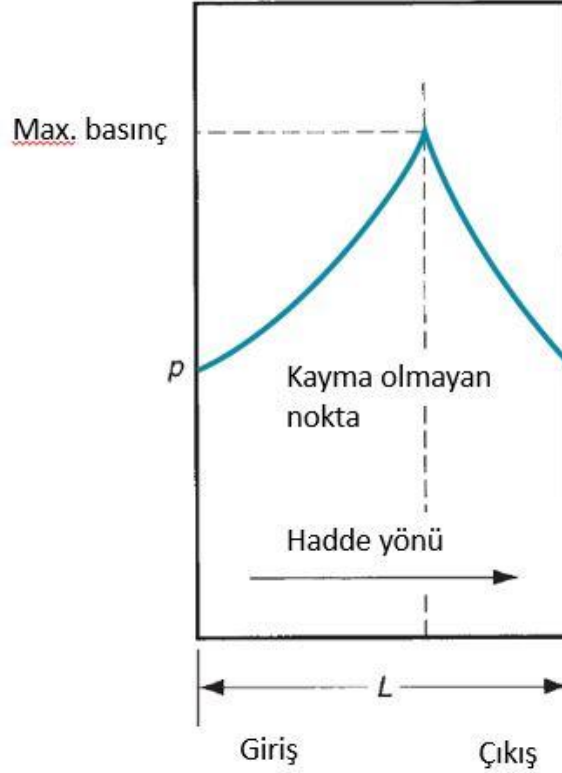
Bu formülasyonda  $Y_{ort}$  ortalama akma değerini (Mpa) ifade ederken,  $wL$  çarpımı ise iş parçası – merdane arasındaki kontak yüzey alanını ifade etmektedir. Hadde kuvvetinin hesaplanabilmesi için kontak yüzey alanının bilinmesi gerekir. Kontak yüzey alanı, hadde basıncını belirleyen parametre olup merdane yarıçapına bağlıdır. Merdanelerin kontak yüzeyi, silindirlerin elastik deformasyonu ve yanal yayılma olmadan daireseldir. Kontak uzunluğu yaklaşık olarak aşağıdaki formülasyon ile hesaplanabilir [23]:

$$L = \left[ R(t_{giriş} - t_{çıkış}) - \frac{(t_{giriş} - t_{çıkış})^2}{4} \right]^{1/2} \approx \sqrt{R(t_{giriş} - t_{çıkış})} \quad (3.11)$$

Haddeleme işlemi için gerekli moment kuvveti, iş parçası merdaneler arasında geçerken haddeleme kuvvetinin, iş parçası üzerinde merkezlendiği varsayılarak yaklaşık olarak hesap edilebilir. Hadde kuvveti kontak yüzeyinin tam ortasına uygulandığı varsayıldığında moment değeri,

$$T = 0,5 F L \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $T$ , her bir merdaneyi çevirebilmek amacıyla gerekli moment değerini ifade eder.



**Şekil 3.3** Hadde basıncının tarafsız eksene göre değişimi

Haddeleme işlemi için gerekli motor kuvveti, moment değeri ve istenen hat hızına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. İstlenen hat hızına göre açısal hız değeri,

$$\omega = 2\pi N \quad (3.13)$$

Bu formülde  $N$  değeri merdanelerin dakikadaki dönüş hızını (dev/dk),  $\omega$  ise merdanelerin açısal hızını (rad/sn) ifade eder. Güç, silindirlere bir moment uygulanarak ve yataklardaki sürtünme kuvvetlerinin üstesinden gelecek şekilde ezme gerilimi vasıtasıyla uygulanır. Dönen sistemlerde güç değeri moment ile açısal hızın çarpımı sonucu elde edilir. Her iki milin de tahrik edildiği bir hadde prosesi için güç değeri

$$P = 2\omega T \quad (3.14)$$

$$P = 2\pi N F L \quad (3.15)$$

Burada  $P$  değeri hadde motor gücünü (J/s, W),  $N$  döndürme hızını (dev/dk),  $F$  haddeleme kuvvetini (N) ve  $L$  kontak uzunluğunu (m) ifade etmektedir.

### 3.2 Hadde Yükünün Hesaplanmasında Kullanılan Metotlar

Soğuk haddelene yönteminde kullanılan hadde yükünün belirlenmesi amacıyla önerilen metotlar;

1. Ekelund Metodu
2. Siebel Metodu
3. Korolev Nikolayevski Metodu
4. Geliştirilmiş Friction-Hill Computer Modeli

Bu metotların ilk 3'ü, 1999 yılında Hakan B. tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında alüminyum alaşımlarının soğuk haddelenmesi prosesi için birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada yöntemlerin farklı alaşımlar için farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve buna bağlı olarak tek bir yöntemin en iyi sonuç veren yöntem olarak belirlenmesi mümkün olmamıştır [32]. Bu çalışmada en doğru sonuca ulaşılabilmesi amacıyla SIMUFACT yazılımı kullanılarak ezilecek sac parçanın sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, buna bağlı olarak kuvvet ve moment değerleri yüksek doğrulukta elde edilmiştir.

### 3.3 Parametrelerin Belirlenerek Merdanelerin Tasarlanması

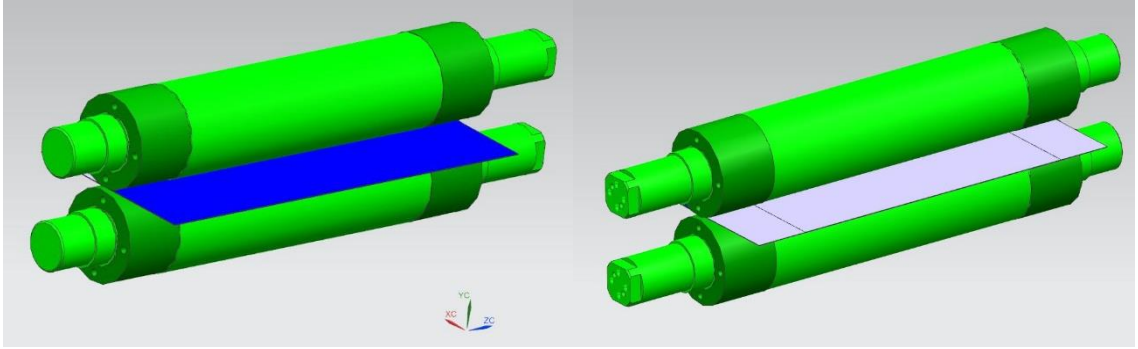
Yapılan teorik hesaba göre öncelikle  $\epsilon$  değeri 2,3 mm giriş ve 1,8 mm çıkış kalınlığı alınarak, Denklem 3.6'ya göre 0,245 birim şekil değiştirme olarak belirlenmiştir. DP600 için  $K=972,9$  MPa ve  $n=0,15$  alınarak Denklem 3.7'ye göre ortalama akma gerilmesi ve diğer parametreler değerler elde edilmiştir. Parametreler Tablo 3.1'de görülmektedir.

**Tablo 3.1** Parametrelerin belirlenmesi

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Merdane Çapı	R	308	mm
Giriş Kalınlığı	$t_g$	2,3	mm
Çıkış Kalınlığı	$t_ç$	1,8	mm
Ezilen uzunluk	w	184	mm

Sürtünme Katsayısı	$\mu$	0,12	-
Kontak uzunluğu	L	8,77	mm
Ortalama akma değeri	$\sigma_{ort}$	685,12	MPa
Birim uzama değeri	$\epsilon$	2,3	-
Pekleşme üsteli	n	0,15	-

Hadde merdaneleri Şekil 3.4'te görüleceği üzere malzemenin açınım sacının sağ ve sol taraflarından ezme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımda bir 1.7224 Çelik malzemeden seçilmiş ana muylu üzerine sağ ve sol bölgelerden 1.2379 Çelik iki adet ezme merdanesi yerleştirilmiştir. Kamalı bağlantı yardımıyla muyludaki döndürme kuvveti ezme merdanelerine aktarılmaktadır.



**Şekil 3.4** Haddeleme giriş ve çıkışı

**4.1 TRB ile İlgili Çalışmalar**

Ağırlıklı olarak otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Yıldız Kalıp A.Ş firması araç gövdesi üzerinde bulunan sac parçalarının ve kalıplarının, detay ve kaynaklı kompleler olmak üzere üretimlerini gerçekleştirmektedir. Ağırlık azaltma tekniklerinin geliştirilmesiyle mevcutta TWB yöntemiyle yurtdışından getirilen sac parçalar kalıplarda şekillendirilerek üretim yapılmaktadır. İthal olarak yurtdışından getirilen bu malzemeler, Bölüm 2.3.2’de anlatıldığı üzere TWB yönteminin pahalılığı dolayısıyla üretim maliyetlerini arttırmaktadır. TWB yöntemiyle üretilmiş sacların şekillendirilmesiyle elde edilen ve Yıldız Kalıp A.Ş.’nin mevcut üretim yönteminde bulunan ön şasi kolu bir parçasının, TRB yöntemiyle üretilmesine yönelik sistem tasarımı planlanmıştır. Binek araçlarda kullanılan ön şasi kolu birbirine lazer kaynağı ile kaynaklanmış şekilde kalınlıkları farklı iki adet DP600 sac metal parçadan oluşmaktadır. Parçanın farklı kalınlıklarda yapılmasının nedeni olası bir araç kazası anında kalınlığı az olan parçanın katlanarak deforme olması ve darbenin sönmülmesini sağlaması iken kalın olan parçanın da iskeleti korumasıdır. TWB yöntemindeki ani kalınlık geçişleri ve lazer kaynağı ısısının etkileri dolayısıyla parçanın çarpışma performansı azalmaktadır. TWB yöntemi yerine TRB yönteminin uygulanmasıyla hem üretim maliyeti azaltılacak hem de kaynaklı yapı ortadan kaldırılacaktır.

Ülkemizde, TRB yönteminin uygulaması örneğine rastlanmamıştır. Yurtdışında ise bilgisayar kontrollü bir hadde sistemi yardımıyla bölgesel inceltmeler yapabilen TRB uygulamaları mevcuttur. TWB yönteminden gelen maliyetleri ve dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla Yıldız Kalıp A.Ş. bünyesinde TRB yöntemi uygulamasına yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Ön şasi kolu parçasının üretimine yönelik tasarlanacak hadde makinesinin öncelikle merdane tasarımı ve haddeleme kuvvetine yönelik simülasyon çalışmaları yapılmıştır. SIMUFACT

programı yardımıyla yapılan simülasyonlar ile hadde kuvvetleri belirlenmiştir. Simülasyon sonucuna göre gerekli güç tahrik sistemi seçilmiştir. Sistem tasarımı kısmında güç iletimi olarak kayış-kasnak sistemi hesaplamaları ve kardan şaftının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Zorlanması muhtemel yataklamalar ve merdanelerin SIMCENTER STRUCTURES yazılımı yardımıyla sonlu elemanlar modeli oluşturularak sınır şartları belirlenmiştir. Belirlenen sınır şartlarına göre haddeleme kuvvetleri ilgili bölgelere uygulanmıştır. SIMUFACT yazılımında haddeleme işleminin simüle edilmesi sonrası elde edilen ürünün datası AUTOFORM yazılımına aktarılmıştır. Autoform malzeme kartında sacın yeni halindeki mekanik özellikleri proje öncesi yapılmış olan fizibilite çalışmalarına göre tanımlanmıştır. AUTOFORM yazılımında haddeleme sonrası sac malzemenin kırılma, incelleme ve geri yaylanma miktarları incelenerek şekillendirilebilirliği analiz edilmiştir.

## 4.2 Simülasyon Çalışmaları

### 4.2.1 Haddeleme İşleminin Simüle Edilmesi

SIMUFACT programı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında hadde merdaneleri rijit kabul edilerek DP600 malzeme merdaneler arasından geçirilmiştir. Haddeleme öncesi DP600 malzemenin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.1** DP600 mekanik özellikleri

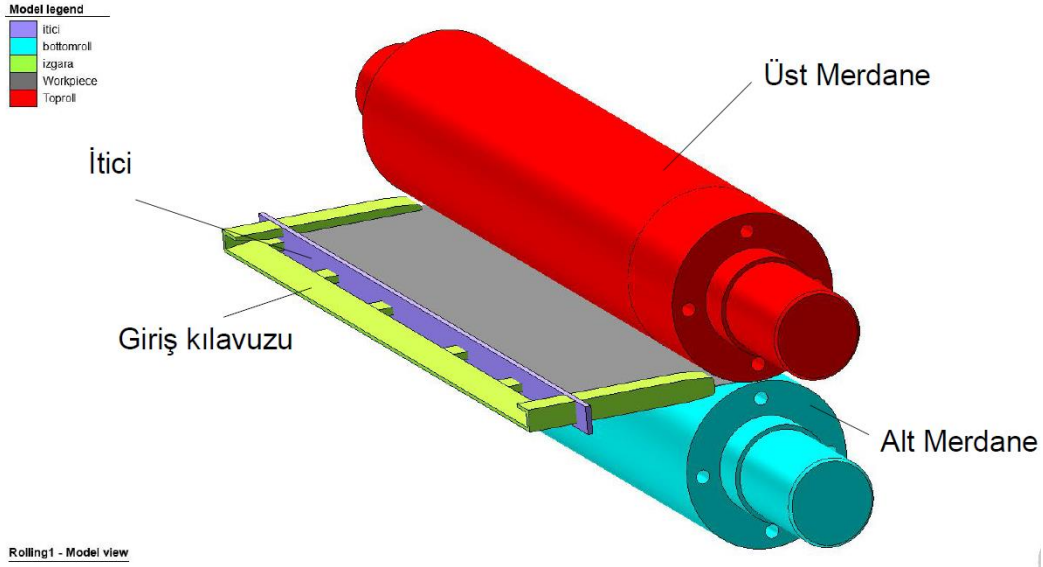
Malzeme kalitesi	Test yönü	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme dayanımı (Mpa)	Uzama miktarı (%) min
DP600	Boyuna	400	640	23
	Enine	390	650	22

**Tablo 4.2** DP600 kimyasal kompozisyonu

Malzeme kalitesi	C	Si	Mn	P	S
DP600	0.10	0.25	1.70	0.02	0.005
	Al	Cr+Mo	Nb+Ti	V	B
	0.040	0.50	0.02	0.002	0.003

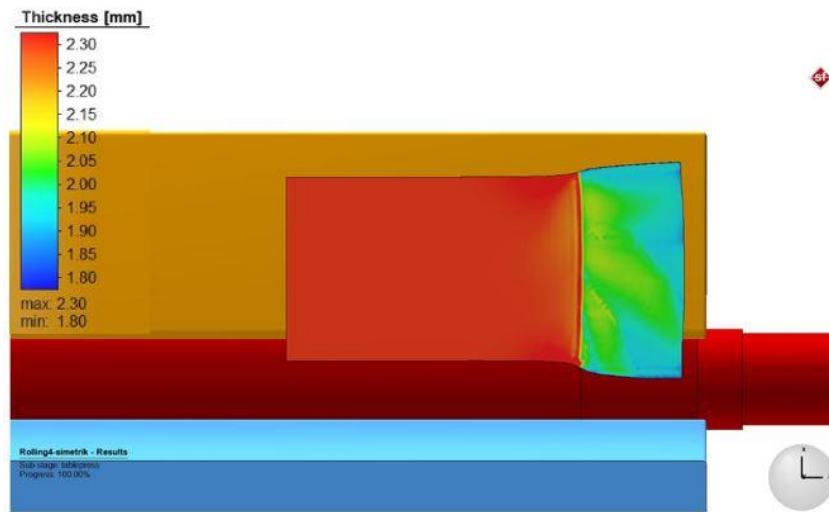


Şekil 4.1'de görülen simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bu modelde, sacın ilerleme hızından daha düşük bir hızda itici bir düzlem kullanılarak sacın merdaneler tarafından kapılması sağlanmıştır. Eleman boyutu 14 mm olan hexahedral mesh tipi kullanılmıştır. Eleman sayısı 9100 adettir.



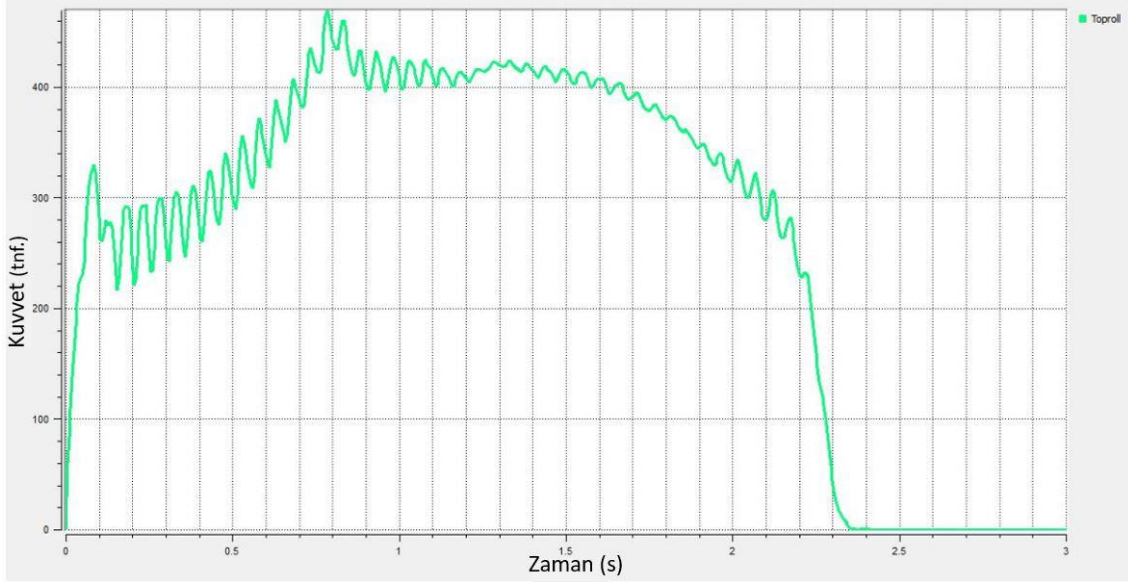
Şekil 4.1 Simülasyon modeli

Simülasyon sonrası Şekil 4.2'de görüleceği üzere sacın incelme miktarının 1,9 mm ile 2,05 mm arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu değer parça üretilebilirliğinde bir sorun teşkil etmemekle birlikte ayarlanabilen merdane açıklığı yardımıyla istenen değerlere düşürülebilmektedir.



Şekil 4.2 Simülasyon sonucu sac kalınlığı ölçümü

SIMUFACT programı ile yapılan simülasyonda hadde kuvveti ve momentinin zamana bağlı değişimi, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Tarafsız eksenin olduğu bölgede kuvvet maksimum noktasına ulaşmış ve bu değer simülasyon çalışmasında 4750 kN olarak bulunmuştur.



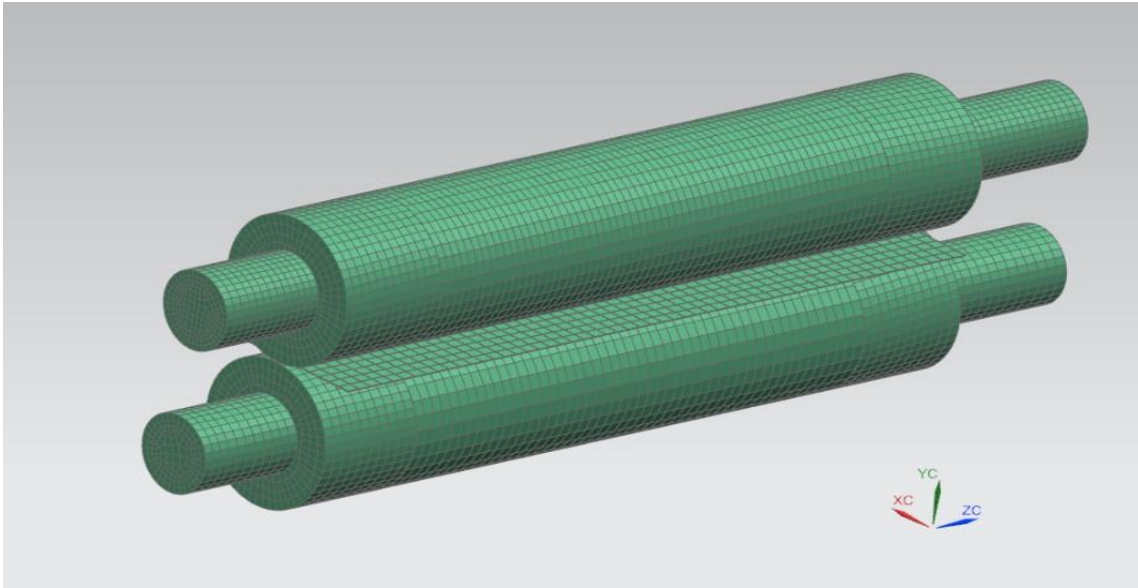
**Şekil 4.3** Hadde kuvvetinin zamana bağlı değişim grafiği



**Şekil 4.4** Moment değerinin zamana bağlı değişimi

#### 4.2.2 Mesh Yapısının Oluşturulması ve Yapısal Analiz

SIMCENTER STRUCTURES yazılımı kullanılarak ezme merdaneleri ve ana merdanelerin, Şekil 4.5'te görülen mesh yapısı oluşturulmuştur. Merdaneler yataklama bölgelerinden sabitlenerek sınır şartları belirlenmiştir. Ezme merdaneleri ile ana merdane arasındaki kontak yüzeyleri tanımlanmış ve kuvvetler ezme bölgelerinden uygulanmıştır. Ana merdane malzemesi 1.7224 Çeliği ve ezme merdane malzemesi 1.2379 Çeliği seçilmiştir.



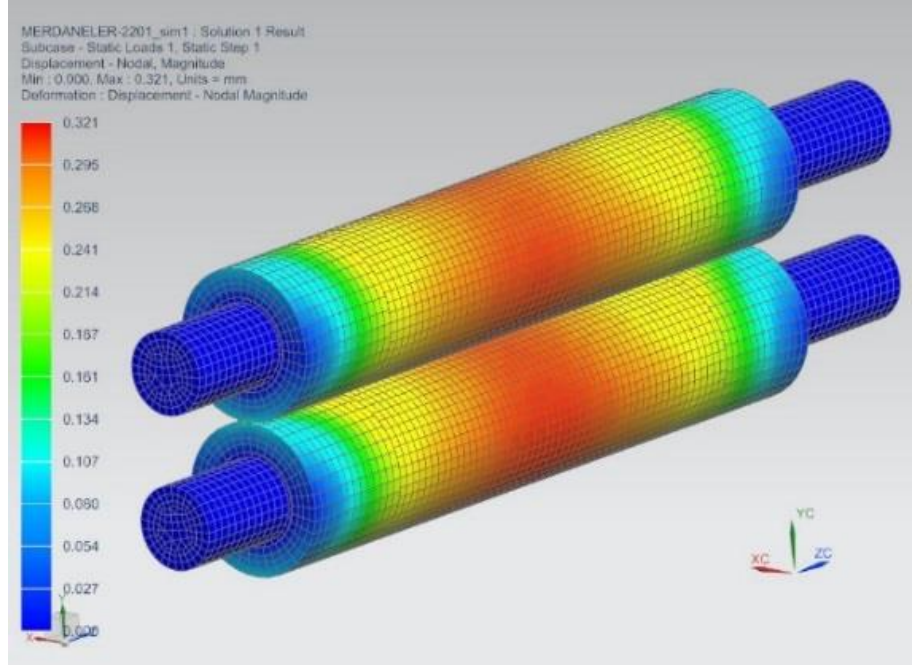
**Şekil 4.5** Merdanelerin mesh yapısı

Simülasyonda gözlenen 4750kN değerindeki kuvvet ezme bölgelerinden sisteme uygulanmıştır. Şekil 4.6'da görüleceği üzere uygulamada maksimum deformasyonun orta bölgelerde 0.3 mm civarında iken, ezme bölgelerinde yaklaşık 0.1 mm olduğu görülmüştür.

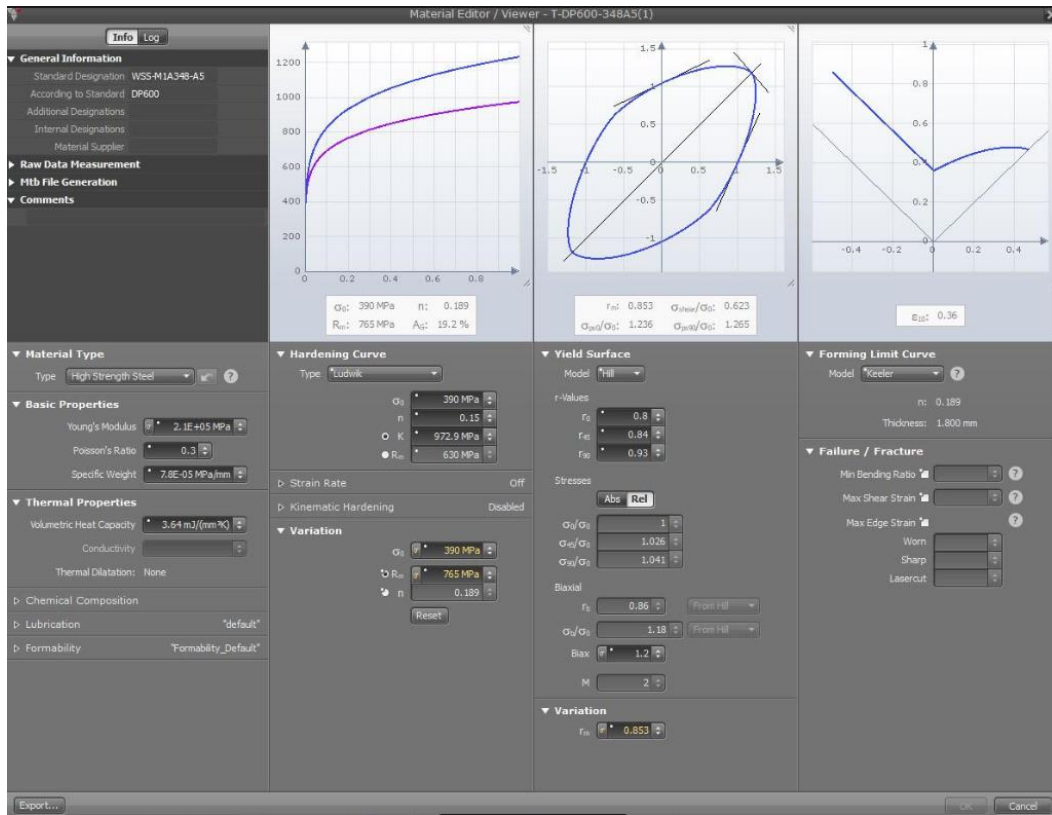
#### 4.2.3 Şekillendirilebilirlik Analizi

Haddeleme işlemi sonrasında elde edilen ürünün şekillendirme davranışları AUTOFORM yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Parçanın hadde sonrası mekanik özellikleri fizibilite çalışmaları ve literatür bilgileri incelenerek ön analiz yapılmış, parçanın fiziksel üretimi sonrasında çekme testi yardımıyla elde edilen değerler üzerinden analizler doğrulanmıştır. Bu analizlere göre başlangıç durumundaki

AUTOFORM kütüphanesinde yer alan malzeme kartı değiştirilerek Şekil 4.7'de görülen yeni malzeme kartı tanımlanmıştır.

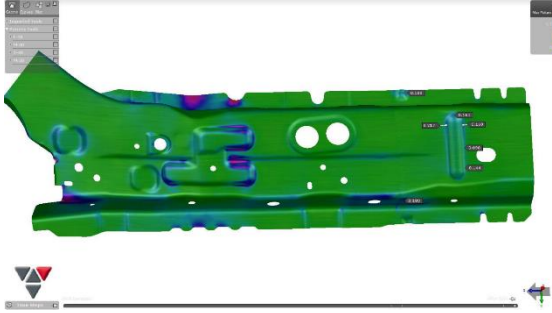


Şekil 4.6 Merdanelerin deformasyon sonucu değerleri

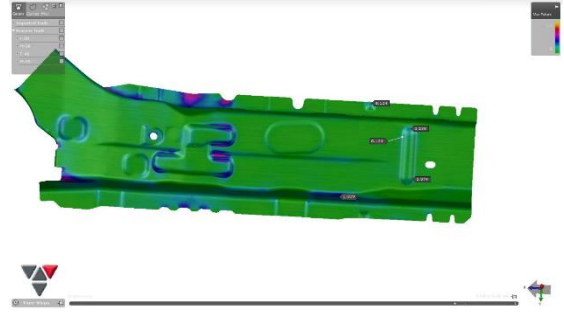


Şekil 4.7 Tanımlanan yeni malzeme kartı

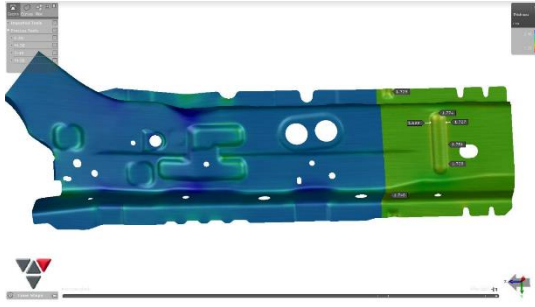
Yapılan şekillendirilebilirlik, gerilme ve incelme analizlerine göre parça tolerans değerleri içerisinde üretilebilmektedir. Eski ve yeni durum karşılaştırmalı olarak, Şekil 4.8 – 4.13'te verilmiştir.



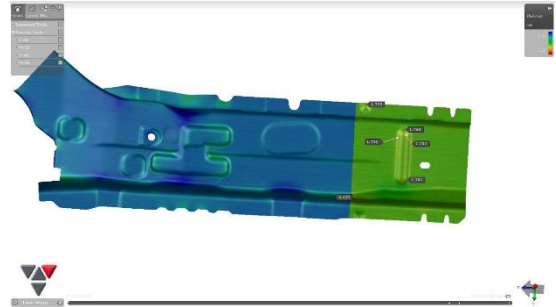
**Şekil 4.8** Eski versiyon max. gerilme sonucu



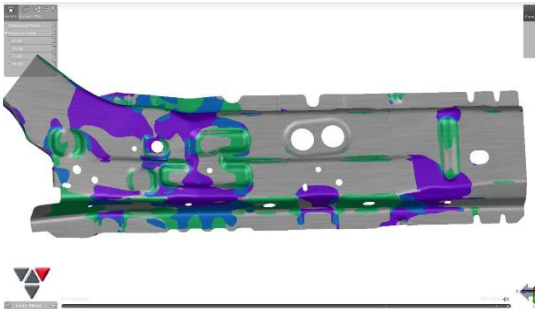
**Şekil 4.9** Yeni versiyon max gerilme sonucu



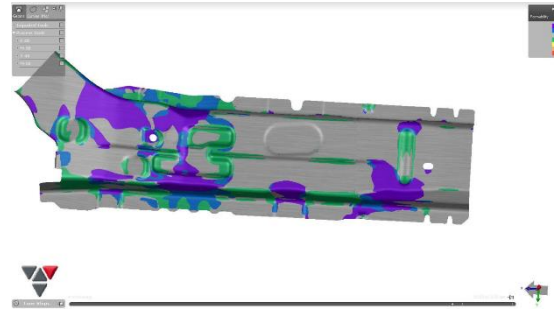
**Şekil 4.10** Eski versiyon incelme sonucu



**Şekil 4.11** Yeni versiyon incelme sonucu



**Şekil 4.12** Eski versiyon şekillendirilebilirlik sonucu



**Şekil 4.13** Yeni versiyon şekillendirilebilirlik sonucu

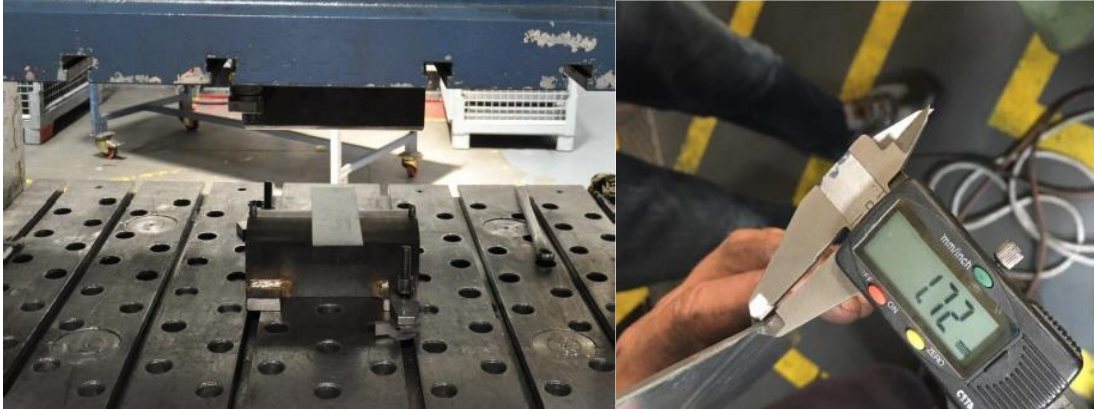
TWB eski versiyon ve TRB yeni versiyon parçanın malzeme kartları tanımlanarak iki farklı şekillendirilebilirlik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde şekillendirilebilirlik, max. min. gerilme değerleri, incelme miktarları incelenmiştir.

Haddeleme sonrası parçanın artan mukavemet değeri ve azalan uzama özelliğine rağmen güvenli bir şekilde form alabildiği görülmüştür.

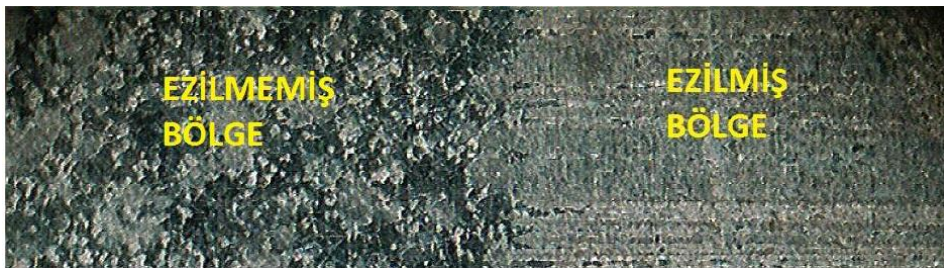
### 4.3 Deneysel Çalışmalar

#### 4.3.1 Haddeleme Kuvvetinin Prototip Üretim ile Doğrulanması

Haddeleme kuvveti sistem tasarımı için en belirleyici unsurdur. Maliyeti yüksek motor, redüktör, kardan şaft ve kayış kasnak sistemi gibi elemanların seçimi, sistemin emniyetli çalışabilmesi gibi unsurlar haddeleme kuvvetine bağlıdır. Simülasyonda elde edilen verinin doğrulanması amacıyla, Şekil 4.14'de görülen prototip bir kalıp hazırlanarak 400 tonluk hidrolik pres altında hadde kuvveti çizgisel olarak DP600 malzemeye uygulanmış ve ezilme miktarı incelenmiştir. Kuvvet uygulamasında kalıpların radyüs değerleri tasarlanan merdaneler ile aynı ölçüde (308 mm) tutulmuştur. 2,3 mm sac malzemenin ezilme sonrası, kumpas yardımıyla ölçümü yapılarak nihai kalınlık değeri incelenmiştir. Ayrıca, ezilmiş ve ezilmemiş bölgelerin 40x optik mikroskop yardımıyla ezilme öncesi ve ezilme sonrası makro görüntüleri alınmıştır (Şekil 4.15).

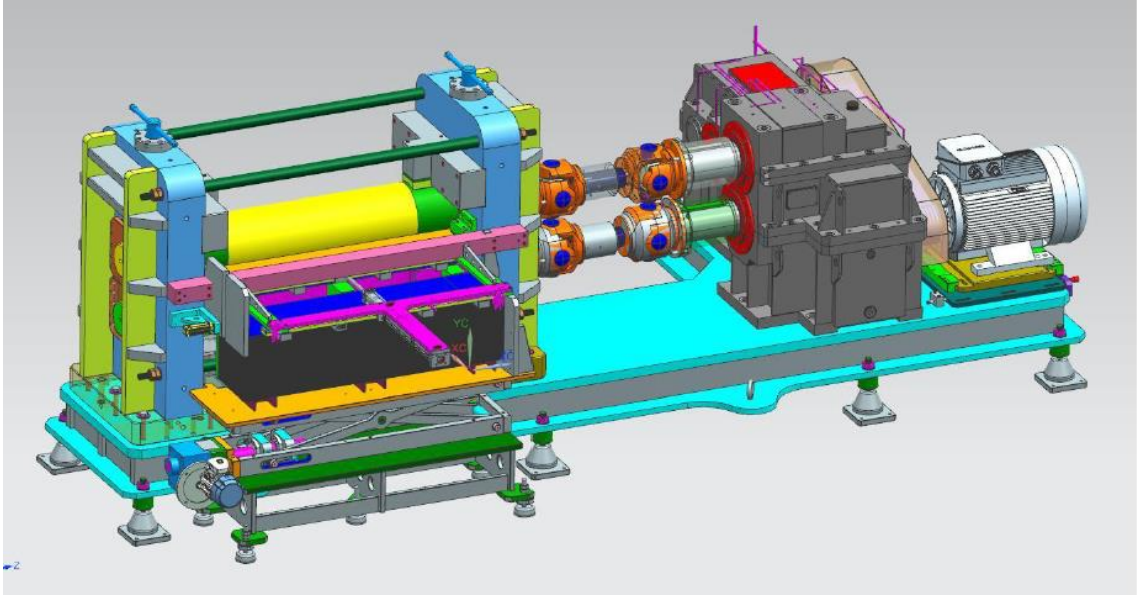


Şekil 4.14 Prototip kuvvet uygulama çalışması



Şekil 4.15 Ezilmiş ve ezilmemiş bölgenin makro görüntüleri

Kuvvetin doğrulanması sonrası birlikte sistem tasarımı yapılarak ¼retime hazır hale getirilmiştir (şekil 4.16).



**şekil 4.16** Sistem tasarımı

#### 4.3.2 Prototip ¼retim ve ¼lç¼m Çalışmaları

Haddeleme makinesinin tasarımının tamamlanmasıyla birlikte imalat s¼reçleri başlatılmıştır. Hadde kuvvetlerini karşılayacak uygun boyutta standart rulman bulunamadığından s¼rt¼nmeli yatak sistemiyle çalışılması tercih edilmiştir. S¼rt¼nmeli yatakların güvenli çalışabilmesi amacıyla yağlama kanalları tasarıma eklenmiştir. Bu s¼reçte makinenin en önemli ve ¼retimi zahmetli kısımları merdanelerdir (şekil 4.17). Ezme merdaneleri ve kardan şaft parçalarına (şekil 4.18 - 4.19) işleme sonrası ısıl işlem uygulanmıştır. G¼vde parçalarının da ¼retimi şekil 4.20 - 4.21'de g¼sterilmiřtir. Makine ¼retiminde önemli g¼r¼len parçaların malzeme cinsleri ve işlem adımları Tablo 4.3'de verilmiştir. Parçaların montaj işlemleri tamamlanarak sistem prototip parça ¼retimine hazır hale getirilmiştir. (şekil 4.22)

**Tablo 4.3** Önemli parçaların üretim adımları

Tanımı	Malzeme Cinsi	1. Adım	2. Adım	3. Adım	4. Adım
Ezme merdanesi	1.2379	Kaba işleme	Tel erezyon	Isıl işlem	Taşlama
Merdane Mili	4140 (1.7224)	Kaba işleme	Hassas işleme	Isıl işlem	Taşlama
Kardan şaft parçaları	8620, 4140	Kaba işleme	İsteğe bağlı ısıl işlem	Taşlama, Hassas işleme	-
Şasi parçaları	Ck45	Kaba işleme	Hassas işleme	-	-



**Şekil 4.17** Ana merdane talaşlı üretim





**Şekil 4.18** Ezme merdanesi talaşlı üretim



**Şekil 4.19** Kardan şaft parçası talaşlı üretim



**Şekil 4.20** Gövde alt plakası talaşlı üretim

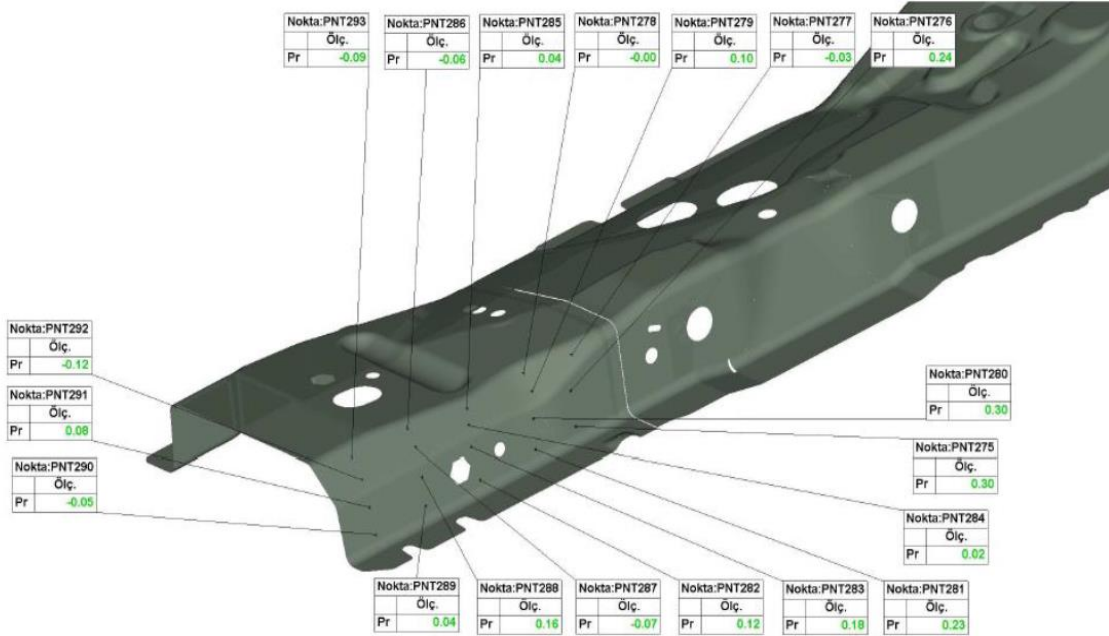


**Şekil 4.21** Ana taşıyıcı gövde parçası talaşlı üretim



**Şekil 4.22** Sistemin montajlanarak prototip üretime hazır hale getirilmesi

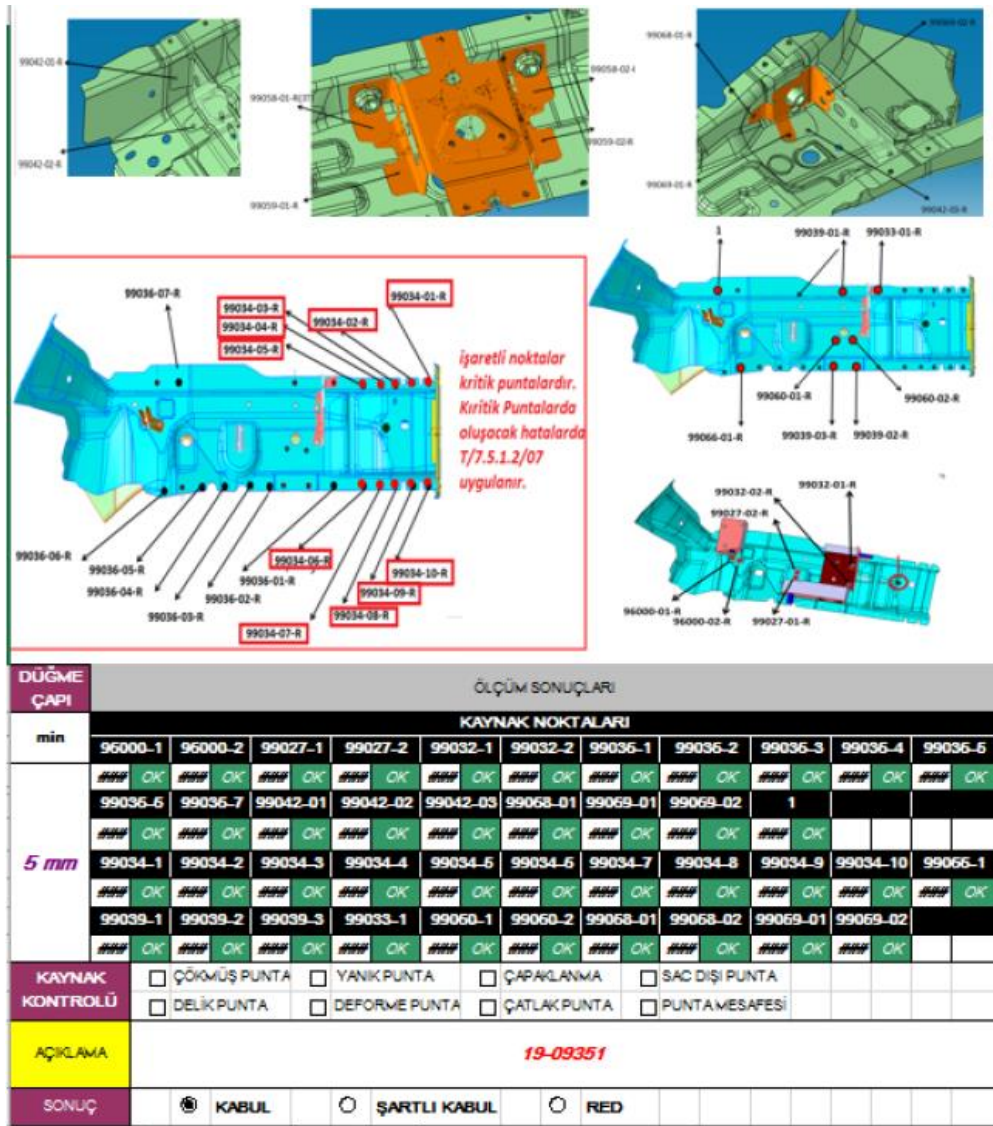
Yıldız Kalıp bünyesinde CMM 3 boyutlu ölçüm cihazında, TRB yöntemiyle üretilen parçaların kalıpta şekillendirilmesi sonrası boyutsal ölçümleri yapılmıştır. Özellikle geri yaylanma konusunun incelendiği ölçümlerde sonuçlar Şekil 4.23'de tolerans limitlerinde görülmüştür.



**Şekil 4.23** 3D boyutsal ölçüm sonucu

### 4.3.3 Punta Kaynak Kalitesinin Ölçümü

Haddeleme sonrası kalınlığı azaltılan parça mevcut duruma göre farklı kalınlık değerleri alabilmektedir. Bu durum diğer parçalara montaj edilen ön şasi kolu parçasının punta kaynak testine tabi tutulmasını zorunlu kılmaktadır. Zira darbe sönümlenme ve güvenlik parçası olarak araçta bulunan bu parçada tüm punta kaynaklarının doğru yapılması gerekmektedir ve istenmektedir. Bu amaçla Yıldız Kalıp firmasında (tear down) koparma testleri yapılarak punta kaynağı çekirdek çapları ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.24'deki gibi raporlanmıştır. Şekil 4.25'de numunelerin görseli yer almaktadır.



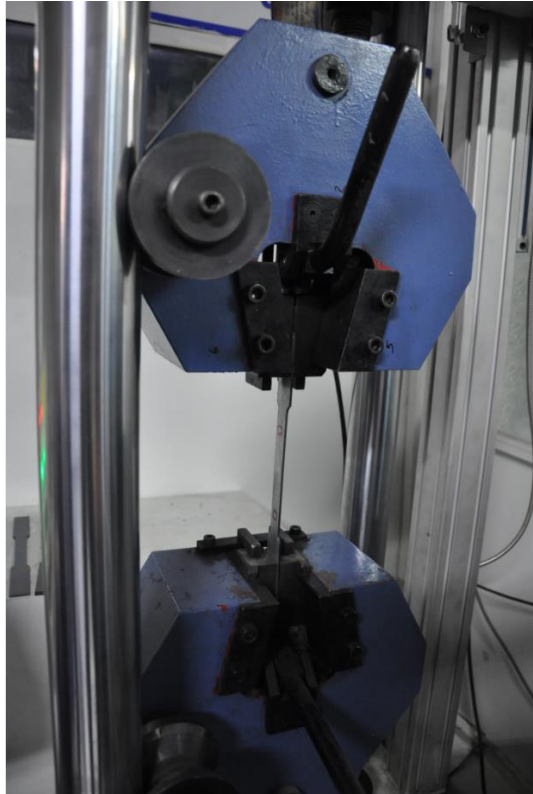
Şekil 4.24 Punta kaynak test raporu



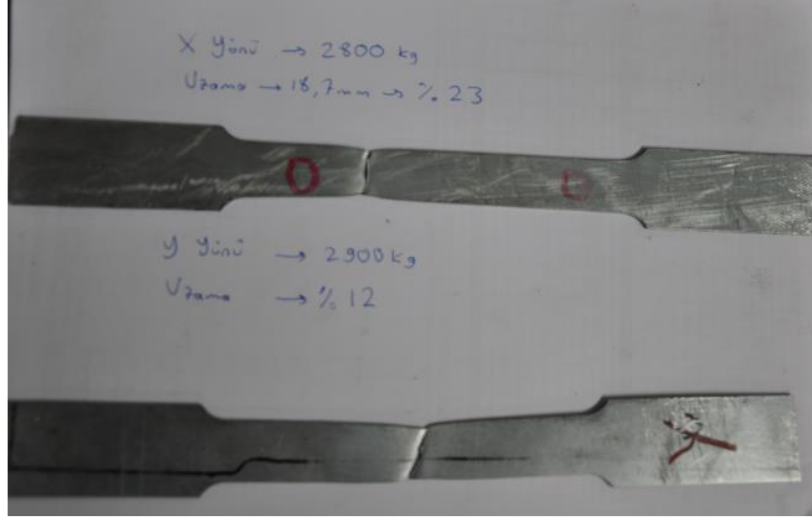
**Şekil 4.25** Punta kaynak test numuneleri

#### 4.3.4 Çekme Testi Sonucu

Haddelenmiş numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla Şekil 4.26'de görülen çekme cihazı ile Şekil 4.27'de görseli bulunan numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Cihaz Yıldız Kalıp bünyesinde üretilmiş ve kalibrasyon çalışmaları ISO 7500-1 standardına uygun olarak yapılmıştır.



**Şekil 4.26** Çekme testi cihazı

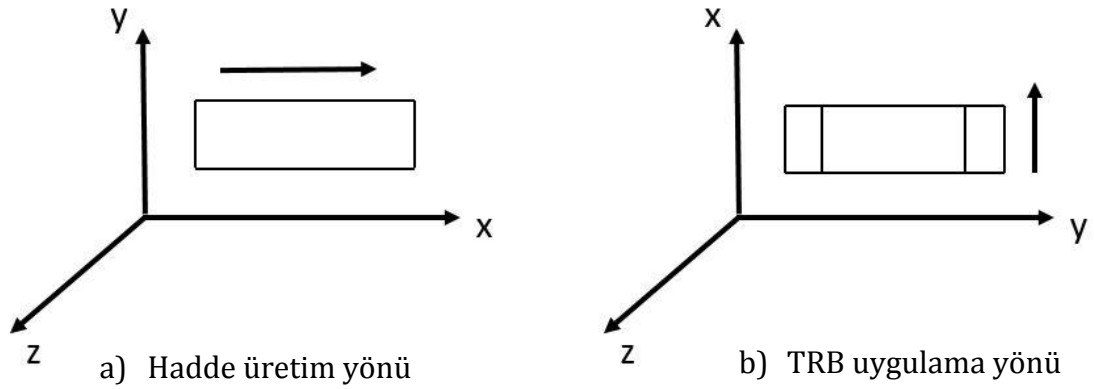


**Şekil 4.27** Çekme numuneleri

Çekme testi sonucunda bulunan değerler Tablo 4.4'te verilmiştir. Malzemenin üretim durumundaki hadde yönü ve TRB yönteminin uygulandığı yönler Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.4** Çekme Testi Sonuçları

Malzeme	Kalınlık	Kuruluş	Çekme	Uzama
DP600, ref (Y)	1.8 mm	Yıldız Kalıp A.Ş	686 MPa	%20
DP600, hadde (Y)	1.8 mm	Yıldız Kalıp A.Ş	748 MPa	%12
DP600, hadde (X)	1.8 mm	Yıldız Kalıp A.Ş	722 MPa	%23



**Şekil 4.28** Malzemenin haddeleme yönleri

Otomotiv sektöründe günden güne yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmaktadır. Araçlarda hafiflik ve mukavemeti birarada sağlayabilen malzemeler yeni üretim teknikleriyle üretilmekte ve ülkemizde sac parça üretimi yapan firmalar tarafından ithal edilmektedir. Bu çalışma kapsamında ülkemizde kullanılmayan hafifletme teknolojilerinin karşılaştırılması yapılarak üstünlükleri ve zayıflıkları ortaya çıkarılmıştır.

TRB yönteminin uygulanabileceği TWB yöntemiyle üretilip Yıldız Kalıp A.Ş. bünyesinde şekillendirilen bir parça için özel tasarım hadde merdaneleri geliştirilmiştir. Yapılan tasarımlar simüle edilerek haddeleme işleminin yapılabileceği simetrik bir tasarım seçilmiştir. Bu tasarımın simüle edilmesi sonucu karşılaşılabilecek; sac kalınlığı değişimi, yataklama kuvvetleri, deformasyon değeri gibi unsurlar belirlenmiştir. Yapılan çalışmaya bağlı olarak;

1. Oluşan kuvvetlere uygun merdane ve motor seçimi yapılmıştır. Bu sistem kullanılarak prototip üretimler gerçekleştirilmiştir.
2. Haddeleme simülasyonu sonucu üretilen sacın, AUTOFORM yazılımı ile şekillendirilebilirlik analizi yapılmış ve kalınlık değişimine bağlı olarak parçanın üretilebilirliği konusunda sorun görülmemiştir.
3. Parça simülasyonlarında asimetrik bir tasarım için yapılan denemelerde parçadaki burulma miktarının üretime engel olacak seviyelerde olduğu, bu nedenle simetrik tasarımın tercih edilebilir olduğu görülmüştür.
4. Deformasyon miktarının orta bölgede yoğunlaşması üretimin kalitesini etkilememektedir.
5. Kenar bölgelerde meydana gelen yaklaşık 0.1 mm'lik esneme ise sacın prototip üretimlerinde istenen ezme miktarının sağlanamamasına neden olması halinde merdane açıklığı azaltılarak problemin önüne geçilebilir olduğu görülmüştür.

Mevcut durumda TWB yöntemiyle üretilmiş birçok malzeme yurtdışından alınıp Yıldız Kalıp A.Ş. gibi sac parça üreticileri tarafından şekillendirilmektedir. Bu yöntemin üretim maliyetleri gözönüne alınarak, aynı parçanın farklı bir üretim tekniği olan TRB yöntemiyle üretilmesi konusu çalışılmıştır. Haddeleme yöntemiyle bölgesel inceltme sağlanarak uygulanan bu yöntemin parçada çekme mukavemeti değerini deformasyon sertleşmesine bağlı olarak %10 arttırdığı gözlenmiştir.

Haddeleme sonrası sac malzeme kalıpta şekillendirilerek boyutsal ölçüme hazırlanmıştır. Yapılan ölçümlerde kalınlık değerinin kenar bölgelere doğru 1,9 ile 2,05 mm aralığında olduğu görülmüştür. Parça, diğer montaj parçaları ile punta kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş ve ultrasonik test cihazı (tahribatsız) ile incelenmiştir. Punta kaynaklarının çekirdek çapları, kalınlık değişimi dikkate alınarak uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan koparma testleri (tahribatlı) ile de bu sonuçlar doğrulanmıştır.

Yurtdışı TRB uygulamaları incelendiğinde parçaya özgü merdane tasarımı yerine bilgisayar kontrollü sistemlerin tercih edildiği bilinmektedir. Çalışmanın devamı olarak kontrol sistemlerinin üretim prosesine entegre edilmesi konusu çalışılabilir görünmektedir.

- [1] Ensari, C., Kayalı, E.S., (1986). Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul,
- [2] Aran, A., Demirkol, M., (1994). “Plastik Şekil Verme Teknolojisi-İmal Usulleri 2 Ders Notları”.
- [3] Groover, M., (2008). Fundamentals of Modern Manufacturing, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., Massachusetts.
- [4] Li, J., (2010). The Effect of Weld Design on the Formability of Laser Tailor Welded Blanks, Master’s Thesis, University of Waterloo, Canada.
- [5] Lenard, J. G., (2014). Primer on Flat Rolling, 2nd ed., Oxford, UK, p. 1.
- [6] Dieter, E. G., (1961). Mechanical Metallurgy, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] Abramowicz, W., Wierzbicki, T., (1989). “Axial crushing of multicorner sheet metal columns,” J. Appl. Mech, 56(1):113-118.
- [8] Wierzbicki, T., Abramowicz, W., (1983). “On the crushing mechanics of thin walled structures,” Journal of Applied Mechanics, 50(4a):727-734.
- [9] Alghamdi, AAA., (2001). “Collapsible impact energy absorbers: an overview,” Thinwalled Structures, 39:189-213.
- [10] Guangyong, S., Huile, Z., Guoxing, L., Jianwen, G., Junjia, C., Qing, L., (2017). “An experimental and numerical study on quasi-static and dynamic crashing behaviors for tailor rolled blank (TRB) structures,” Materials and Design, 118:175–197.
- [11] Merklein, M., Johannes, M., Lechner, M., Kuppert, A., (2014). “A Review on tailored blanks—production, applications and evaluation,” Journal of Materials Processing Technology, 214(2):151-164.
- [12] Thyssenkrupp patchwork blanks (26.05.2019).  
[https://www.twbcompany.com/2016/wpcontent/themes/twb\\_2016/assets/pdfs/PatchworkBlanks\\_en.pdf](https://www.twbcompany.com/2016/wpcontent/themes/twb_2016/assets/pdfs/PatchworkBlanks_en.pdf)
- [13] Zadpoor, A.A., Sinke, J., Benedictus, R., (2007). “Mechanics of tailor welded blanks: an overview” Key Engineering Materials, 344: 373–382.



- [14] Hariharan, K., Kalaivani K., and Balachandran G., (2012). "Foil optimization in tailor welded blank of an automotive floor component," *Materials and Manufacturing Processes*, 27(9): 936-942.
- [15] Pan, F., Ping Z., and Yu Z., (2010). "Metamodel-based lightweight design of B pillar with TWB structure via support vector regression," *Computers & Structures*, 88.1-2: 36-44.
- [16] Pan, F., Ping Z., (2011). "Lightweight design of vehicle front-end structure: contributions of multiple surrogates," *International journal of vehicle design*, 57:124-147.
- [17] Shin, J.K., Lee, K.H., Song, S.I., Park, G.J., (2002). "Automotive door design with the ULSAB concept using structural optimization," *Struct Multidisciplinary Optimization*, 23:320-327.
- [18] Xu F.X., Sun G.Y., Li G.Y., Li Q., (2013). "Crashworthiness design of multi components tailor-welded blank (TWB) structures," *Struct Multidisciplinary Optimization*, 48(3): 653-667.
- [19] Miyazaki, Y., Sakiyama, T., Kodama, S., (2007). "Welding techniques for tailored blanks," *Nippon Steel Technical Report* 95: 46-52.
- [20] George R., Bardelcik, A., and Worswick, M.J., (2012). "Hot forming of boron steels using heated and cooled tooling for tailored properties," *Journal of Material Processing Technology*, 212(11): 2386-2399.
- [21] Kragt O., Koroschetz C., Jönsson L.-O., Eman J., Sandlund E., (2016). "Advanced manufacturing of locally graded components for lightweight car body design," *Advanced High Strength Steel Press Hardening*, 3: 301-313.
- [22] Meyer, A., Wietbrock, B., Hirt, G., (2008). "Increasing of the drawing depth using tailor rolled blanks - numerical and experimental analysis," *International Journal of Machine Tools Manufacture*, 48: 522-31.
- [23] Hirt, G., Abratis, C., Ames, J., Meyer, A., (2005). "Manufacturing of sheet metal parts from tailor rolled blanks," *Journal for Technology of Plasticity*, 30: 1-12.
- [24] Kopp, R., Wiedner, C., Meyer, A., (2005). "Flexibly rolled sheet metal and its use in sheet metal forming," *Advanced Materials Research*, 6-8: 81-92.

- [25] Meyer, A., Wietbrock, B., Hirt, G., (2008). "Increasing of the drawing depth using tailor rolled blanks – numerical and experimental analysis,". International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48: 522–531.
- [26] Chatti, S., Heller, B., Kleiner, M., Ridane, N., (2002). "Forming and further processing of tailor rolled blanks for lightweight structures," Advanced Technology of Plasticity, 2: 1387–1392.
- [27] Liu, X., (2011). "Prospects for variable gauge rolling technology, teory and application," Journal of Iron and Steel Research, 18(1), 1-7.
- [28] Lu, R., Gao, W., Hu X., Liu, W., Li, Y., Liu, X., (2018). "Crushing analysis and crashworthiness optimization of tailor rolled tubes with variation of thickness and material properties," International Journal of Mechanical Sciences, 136: 67-84.
- [29] Autoform metal şekillendirme simülasyonu (25.05.2019).  
<https://www.autoform.com/en/glossary/metal-forming-simulation/>
- [30] Centeno, G., Martínez-Donaire, A.J., Morales-Palma, D., Vallellano, C., Silva, M.B., Martins, P.A.F., (2015). "Novel experimental techniques for the determination of the forming limits at necking and fracture," Materials and Machining Research and Development, Elsevier, 1-24.
- [31] Den, Uijl, N.J., Carless, L.J., (2012). Advanced Metal-Forming Technologies for Automotive Applications, Elsevier, 28-56.
- [32] Baykal, H., (1999). Alüminyum Alaşımlarının Soğuk Haddelenmesinde Yük Hesabı Metotlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

# Tezden Üretilmiş Yayınlar

---

**İletişim Bilgisi:** oguzmertsahin@gmail.com.tr

## **Konferans Bildirileri**

1. Şahin, O., Güçlü, R., Yıldırım, E., "Farklı Kalınlıklardaki Sac Parçaların Üretilmesi için Tasarlanan Hadde Makinasının Yapısal Analizi," 4. Uluslararası Mimarlık Mühendislik ve Tasarım Kongresi, İstanbul, 23-24 Nisan 2019