

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TRAKTÖR EMNİYET ÇERÇEVESİ ÜRETİMİNDE
KULLANILAN YAPISAL SAC MALZEMELERİN
ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT SÜZEN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TRAKTÖR EMNİYET ÇERÇEVESİ ÜRETİMİNDE
KULLANILAN YAPISAL SAC MALZEMELERİN
ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE ANALİZİ

YÜKSEK LISANS TEZİ

MURAT SÜZEN

Jüri Üyeleri : Dr.Öğ.Üy.Ziya AKSOY (Tez Danışmanı)

Dr.Öğ.Üy.İlker EREN

Prof.Dr.Habib KOCABIYIK

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Murat SÜZEN tarafından hazırlanan “TRAKTÖR EMNİYET ÇERÇEVESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAPISAL SAC MALZEMELERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 13.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr.Öğ.Üy. Ziya AKSOY

Üye
Dr.Öğ.Üy. İlker EREN

Üye
Prof.Dr.Habib KOCABIYIK


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**TRAKTÖR EMNİYET ÇERÇEVESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN
YAPISAL SAC MALZEMELERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN SONLU
ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MURAT SÜZEN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞ.ÜY. ZİYA AKSOY)**

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

Endüstrinin farklı alanlarında ihtiyaçları karşılamak amacı ile ürünler tasarlanmakta ve imal edilmektedir. Şekillendirilmiş sac metal levhaların kullanımı alanları artan ihtiyaçlar karşısında giderek gelişmektedir. Otomotiv, uçak ve savunma sanayi gibi yüksek teknoloji kullanan endüstrilerden, basit form verilmiş parçaları kullanan endüstrilere kadar farklı teknolojik seviyedeki uygulamalarda yer almaktadır. Bükme ile şekil verme operasyonu en sık kullanılan ve en temel sac metal şekillendirme yöntemlerinden birisidir. Bükme operasyonu; parça geometrisi, üretim adedi, malzeme özelliği gibi temel seçimlere göre değişiklik göstermektedir. Ürünler ortaya çıkarılırken daha önce kazanılmış tecrübeler ve bazı sınırlamalar göz önüne alınarak tasarım ve imalat yapılmaktadır. Tasarım ve imalat sınırlandırmaları göz önünde bulundurularak yapılan tasarımların imal edilmesi sırasında, öngörülemeyen başka problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerin önceden görülüp önlem alınması için mühendislik çalışmaları ve yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. İmalatın deneme yanılma yöntemiyle yapılması zaman ve maddi kayıplar oluşturabilmektedir. Bilgisayarların tasarım, üretim ve mühendislikte kullanılması ile; hataların erkenden fark edilmesi, problemin çözümünde kolaylık sağlaması ve en önemlisi zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilmesinde etkilidir. Analizde kullandığımız Autoform yazılımı sac metal parçaların plastik deformasyon ile şekil verme işleminde, sonuçların önceden tahmin edilmesi ve gerekli değişikliklerin yapılmasında aktif olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada; Farklı malzeme özelliğindeki parçalar için Autoform program kullanılarak derin çekme operasyonu sonuçları incelenmiştir. Aynı şartlar altında DC03 malzeme ve DC05 malzeme yapısında olan sac parçanın derin çekme sonuçları analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre belirlenen geometri için DC05 malzemenin DC03 malzemeden daha başarılı sonuçlar verdiği ve kullanılabilirliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Sac şekillendirme, sonlu elemanlar yöntemi, form verme, derin çekme, soğuk şekillendirme.

ABSTRACT

**ANALYSIS OF THE FORMATION OF STRUCTURAL SHEET
MATERIALS USED IN TRACTOR SAFETY FRAMEWORK
PRODUCTION WITH THE FINITE ELEMENT METHOD
MSC THESIS
MURAT SÜZEN
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. ZİYA AKSOY)**

BALIKESİR, JUNE 2019

Products are designed and manufactured to meet the needs of different areas of the industry. The use of formed sheet metal is increasingly evolving in response to increasing demand. It is involved in various technological applications ranging from high-tech industries such as automotive, aircraft and defense industries to industries using simple form components. Bending is one of the most commonly used and most basic sheet metal forming methods. Bending has a different operation method according part geometry, production quantity, material properties. Design and manufacturing were done by taking into consideration the previous experiences and some limitations for the production. Designs of manufacturing and manufacturing constraints are taken into consideration, while other unforeseen problems can arise. Engineering studies and approaches are needed to anticipate these problems. The trial and error method of the manufacturing process can cause time and financial losses. Using computers in design, production and engineering; it is effective in detecting errors early, facilitating the solution of the problem and, most importantly, avoiding time and cost losses. The Autoform software used in the analysis is actively used to predict the results and make the necessary changes in the shaping of sheet metal parts by plastic deformation. In the study; The results of deep drawing operation analysis made by Autoform program for different materials. Under the same conditions, DC03 material and DC05 material deep drawing results have been analyzed. According to the results of this analysis, it was determined that DC05 material yielded more successful results than DC03 material and its usability was higher.

KEYWORDS: Sheet metal forming, finite element method, forming, deep drawing, cold forming.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | v |
| TABLO LİSTESİ | vii |
| SEMBOL LİSTESİ..... | viii |
| ÖNSÖZ..... | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Demir ve Çeliğin Gelişimi | 2 |
| 1.1.1 Demir Cevheri Tarihçesi..... | 2 |
| 2. İMALAT YÖNTEMLERİ..... | 5 |
| 2.1 Talaşlı İmalat | 6 |
| 2.1.1 Delme..... | 7 |
| 2.1.2 Kesme | 7 |
| 2.1.3 Tornalama | 8 |
| 2.2 Talaşsız İmalat Yöntemleri..... | 9 |
| 2.2.1 Döküm | 9 |
| 2.2.2 Bükme | 10 |
| 2.2.2.1 V-kalıpta bükme..... | 12 |
| 2.2.2.2 U-Kalıpta Bükme | 13 |
| 2.2.2.3 Kenar Büküm | 14 |
| 2.2.3 Çekme | 15 |
| 2.2.3.1 Sığ Çekme | 16 |
| 2.2.3.2 Derin Çekme | 16 |
| 2.2.3.3 Çekme İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar ve Sebepleri..... | 18 |
| 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ..... | 21 |
| 3.1 FormingSuite | 23 |
| 3.2 DynaForm..... | 23 |
| 3.3 Autoform | 24 |
| 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... | 26 |
| 5. MALZEME SEÇİMİ VE ANALİZ | 29 |
| 5.1 DC03 Sac Malzeme | 29 |
| 5.2 DC05 Sac Malzeme | 30 |
| 5.3 Analiz İçin Gerekli Parçanın Belirlenmesi..... | 30 |
| 5.3.1 Parça Modellenmesi..... | 31 |
| 5.3.2 Parçanın Programa Tanıtılması..... | 32 |
| 5.3.3 Analiz İçin Hassasiyetin Belirlenmesi..... | 33 |
| 5.3.4 Operasyon Yönü ve Çalışma Eksenini Konumlandırılması | 34 |
| 5.3.5 Analizde Parça Konumlandırma Bilgileri..... | 35 |
| 5.3.6 Eksen Takımının Belirlenmesi..... | 38 |
| 5.3.7 Malzeme Bilgisinin Tanıtılması..... | 39 |
| 5.3.8 Operasyonların Tanıtılması..... | 41 |
| 5.3.9 Parçanın Çekme Yüzeyinin Oluşumu..... | 42 |
| 5.3.10 Parça Açınım Ölçülerinin Belirlenmesi..... | 43 |
| 5.3.11 Kalıpların Tanımlanması | 44 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.3.12 | Analiz Çözüm Kalitesinin Belirlenmesi | 45 |
| 5.3.13 | Kalıp Elemanlarının 3 Boyutlu Modellenmesi | 48 |
| 6. | DENEYSEL SONUÇLAR | 49 |
| 7. | SONUÇ VE ÖNERİLER | 52 |
| 8. | KAYNAKLAR..... | 54 |
| 9. | EKLER..... | 61 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1: Üretim yöntemlerine göre demir-çelik üretimi [5]..... | 3 |
| Şekil 2.1: İmal usulleri [9]..... | 6 |
| Şekil 2.2: Talaşlı imalat [9]..... | 7 |
| Şekil 2.3: Delme işlemi [10]..... | 7 |
| Şekil 2.4: Kesme işlemi [11]..... | 8 |
| Şekil 2.5: Tornalama işlemi [10]..... | 8 |
| Şekil 2.6: Örnek bir torna tezgahı [12]..... | 9 |
| Şekil 2.7: Döküm [13]..... | 10 |
| Şekil 2.8: Bükme operasyonları [16]..... | 10 |
| Şekil 2.9: Plastik şekil verme [16]..... | 11 |
| Şekil 2.10: Bükme bölgesi geometrisi [14]..... | 11 |
| Şekil 2.11: Bükme işleminde tarafsız eksen kayması ve kesit çarpılması [15]..... | 12 |
| Şekil 2.12: V-büküm aşamaları [20]..... | 13 |
| Şekil 2.13: U-büküm prosesi [22]..... | 13 |
| Şekil 2.14: Kenar büküm [23]..... | 14 |
| Şekil 2.15: CNC abkantın kısımları ve eksenlerinin şematik görünümü [24]..... | 14 |
| Şekil 2.16: Form verme operasyon örneği [25]..... | 15 |
| Şekil 2.17: Eksantrik pres (Mekanik) [26]..... | 15 |
| Şekil 2.18: Yayla çalışan aşağı tutuculu çekme kalıbı [27]..... | 18 |
| Şekil 2.19: Çekme işleminde oluşan hatalar [25]..... | 20 |
| Şekil 3.1: 1980'li yıllarda tasarımdan seri imalata geçiş süreci [29]..... | 22 |
| Şekil 5.1: Plastik deformasyon limit eğrisi..... | 29 |
| Şekil 5.2: Kaynaklı olarak imal edilen model..... | 30 |
| Şekil 5.3: Sac parçanın kullanım yerinin modellenmesi..... | 31 |
| Şekil 5.4: Derin çekmeye uygun modellenen parça..... | 31 |
| Şekil 5.5: Autoform açılış sayfası genel görünümü..... | 32 |
| Şekil 5.6: Parçanın programa tanıtılması..... | 33 |
| Şekil 5.7: Operasyon yönünün tanıtılması..... | 34 |
| Şekil 5.8: Parçanın işlem yüzeyinin belirlenmesi..... | 35 |
| Şekil 5.9: Parçanın konumlandırılması..... | 36 |
| Şekil 5.10: Eksen takımının belirlenmesi..... | 39 |
| Şekil 5.11: Swift/ Hockett-Sherby Metodu ile elde edilen sonuçlar..... | 40 |
| Şekil 5.12: Uzamaya göre incelleme oranı grafiği..... | 40 |
| Şekil 5.13: Operasyonların belirlenmesi..... | 41 |
| Şekil 5.14: Operasyonların tanıtılması..... | 42 |
| Şekil 5.15: Çekme yüzeyinin oluşturulması..... | 43 |
| Şekil 5.16: Açınım ölçülerinin belirlenmesi..... | 44 |
| Şekil 5.17: Süzdürme çubuklarının konumlandırılması..... | 45 |
| Şekil 5.18: Analiz FLD diyagramı..... | 46 |
| Şekil 5.19: DC03 malzeme analiz sonucu..... | 47 |
| Şekil 5.20: DC05 malzeme analiz sonucu..... | 47 |
| Şekil 5.21: Basit kalıp modellemesi..... | 48 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.1: İmalatta kullanılan çift etkili hidrolik pres [49]. | 49 |
| Şekil 6.2: Kalıbın prese bağlanması. | 50 |
| Şekil 6.3: Derin çekme işleminde kalıp görüntüsü. | 50 |
| Şekil 6.4: DC03 malzeme üretim sonucu. | 51 |
| Şekil 6.5: DC05 malzeme üretim sonucu. | 51 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1: Dünya demir üretimi ve rezervi (milyon ton) [6]. | 3 |
| Tablo 1.2: Ülkelere göre demir-çelik üretimi, 2016 [5]. | 4 |
| Tablo 1.3: Sektörlere göre küresel çelik kullanımı [5]. | 4 |
| Tablo 2.1: Çekme işleminde oluşan hatalar ve sebepleri [25]. | 18 |
| Tablo 5.1: DC03 malzeme kimyasal özellikleri. | 29 |
| Tablo 5.2: DC05 malzeme kimyasal özellikleri. | 30 |

SEMBOL LİSTESİ

- b** : Parça genişliği
- c** : Zimba ile kalıp arasındaki boşluk
- C** : w/t oranına bağlı katsayı
- E** : Elastisite (Young) Modülü
- K** : Geri yaylanma faktörü
- L** : AB yayının uzunluğu
- ln** : Nötr eksen uzunluğu
- lb** : Sacın bükülecek kısmının bükmeden önceki uzunluğu
- n** : Pekleşme üsteli
- Pv** : V bükme kuvveti
- R** : Bükme yarıçapı
- Rd** : Kalıp yarıçapı
- Rp** : Zimba yarıçapı
- t** : Sac kalınlığı
- T** : Düzeltme Faktörü
- V** : Poisson oranı
- w** : Kalıp ağız genişliği
- y** : AB yayının nötr eksene uzaklığı
- ϵ : Birim şekil değiştirme
- $\Delta\theta$: Geri yaylanma açısı
- θ : Bükme açısı
- θ_g : Geri yaylanma açısı

$\theta_g(0)$: Haddelemeye paralel yöndeki geri yaylanma açısı

$\theta_g(90)$: Haddelemeye dik yöndeki geri yaylanma açısı

ρ : Nötr eksen yarıçapı

σ : Gerilme

σ_{ak} : Akma mukavemeti

$\sigma_{ç}$: Çekme mukavemeti

CE : Konsept değerlendirme

CE+ : İleri Konsept değerlendirme

FV : Son doğrulama

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sn. Dr.Öğr.Üyesi Ziya AKSOY'a, lisans öğrenimimden bu zamana bana birçok konuda destek veren, mesleki bilgi ve tecrübeleri ile bana her zaman yardımcı olan Sn Dr. Kayhan ÇALIŞKAN'a çok teşekkür ederim.

Kalıp analizlerinde ve uygulamalarda, sınırlı vakitlerine rağmen ilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Yarış Kabin ve Yarış Otomotiv çalışanlarına da teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, bana her konuda destek veren eşim Yeliz SÜZEN'e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Şekillendirilmiş sac metal levhaların kullanımı alanları artan ihtiyaçlar karşısında giderek gelişmektedir. Otomotiv, uçak ve savunma sanayi gibi yüksek teknoloji kullanan endüstrilerden, basit form verilmiş parçaları kullanan endüstrilere kadar farklı teknolojik seviyedeki uygulamalarda yer almaktadır. Amerika'da 1980'de yapılan bir araştırmaya göre bir evde ortalama 100.000 adet metal parça bulunmaktadır. Bu araştırma sonuçları sac metal parçaların ticari önemini göstermektedir [1].

Gelişen dünya ve Türkiye şartlarında artan talep doğrultusunda diğer sektörlerde olduğu gibi sac metal şekillendirme sektörü de proses iyileştirmeleri ve geliştirmelerine ihtiyaç duymaktadır. 1970'li yılların sonlarından itibaren büyük otomotiv firmaları sonlu eleman analizlerini sac metal şekillendirmede denemeye başlamışlar. Başlangıçta temel araştırma konusu yırtılma ve marullaşmanın ortaya çıkıp çıkmadığını incelemişlerdir. Günümüzde ise simülasyonlarla yapılan araştırmaların temel hedefi sacı şekillendirecek kalıpların tasarlanmasıdır. Ancak bu konuda başarılı olabilmek için, sonlu elemanlar ağının iyi oluşturulmasına, sınır şartlarının iyi belirlenmesine, iş parçası malzemesinin doğru modellenmesine ve şekillendirme sınır eğrilerinin tam olarak bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır [2].

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan paket programlarda analiz doğru kurgulandığında gerçeğe oldukça yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Hataların henüz tasarım aşamasındayken çözümlenmesi, prototiplerin hatalı üretim oranını düşürerek maliyetleri azalmaktadır. Böylece daha kısa zamanda doğru ürün elde etme çalışmalarına önemli katkı sağlanmaktadır.

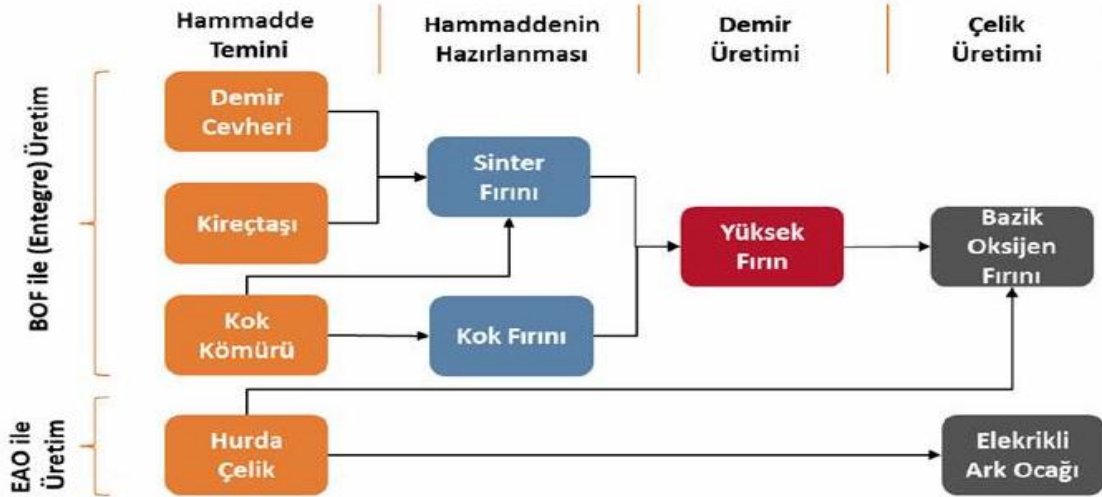
1.1 Demir ve Çeliğin Gelişimi

1.1.1 Demir Cevheri Tarihçesi

Demir doğada bileşik halinde bulunur. Çeliğin hammaddesi olup endüstriyel olarak önemlidir. Gelişen teknoloji içinde demir çelik endüstrisi önemli bir yere sahiptir. Bir ülkenin demir-çelik üretimi ve tüketimi o ülkenin ekonomik gücüyle ve gelişmişliği ile yakından ilgilidir. Demirin ilk kullanımına dair işaretler; mızrak uçları, bıçak ve süs eşyası şeklinde olup Sümerlere ve eski Mısırlılara kadar (yaklaşık MÖ 4000 yılları) dayanmaktadır. Çin’de Zhou hanedanının son yıllarına doğru (MÖ 550), oldukça gelişmiş ocak teknolojisi nedeniyle yeni bir demir üretim yöntemi ortaya çıkmış ve Çinliler dökme demir (veya pik demir) üretmeyi başarmışlardır [3].

Orta çağ dönemine kadar demirci ocakları üretim sisteminde değişiklik olmamıştır. MS 10. yüzyılda su değirmeninin kullanılmaya başlanması demir üretiminde bir devrim yapmıştır. Suyun yarattığı güç cevher yataklarına yakın olmaktan daha önemli bir hâle gelmiştir. 1740 yılında ilk sıvı çelik üretimi yapılmış. 1856 yılında seri çelik imalatı başlamıştır. Almanya’da bu proses ancak 19. yüzyılın başında kullanılmaya başlanmıştır. Çeliğin hazneli fırında işlenmesi bir ön ergitme operasyonuydu ve burada karbürleşmiş, yani “kaynaştırılmış” çelik ergitiliyor ve sıvı hâle getiriliyordu. Seri çelik imalatı 1856’da, Henry Bessemer tarafından başlatılmıştır [4].

Demir, önce yalnızca askeri amaçlı kullanılmış, bunu ev eşyaları ve günlük hayatta kullanılan öteki araçlar izlemiştir. Bıçak, testere, zincir vb. aletler demircilerin atölyesinden çıkmaya başlamış, bu arada makas da icat edilmiştir. Bir süre sonra mücevherler de demirden imal edilmeye başlanmıştır [3].



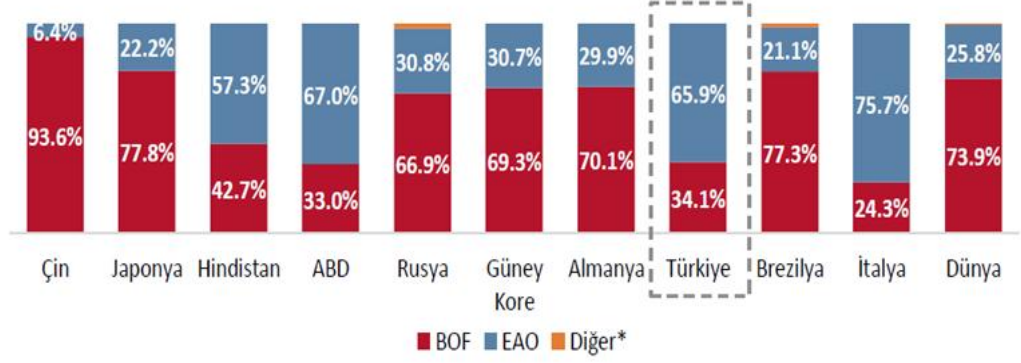
Şekil 1.1: Üretim yöntemlerine göre demir-çelik üretimi [5].

Demir; yeryüzünde en çok Çin, Japonya, Hindistan, ABD, Rusya, Güney Kore ve Almanya üretilmektedir. Ülkemizde modern anlamda demir-çelik üretimine yönelik ilk girişimler Cumhuriyet döneminde başlamış ve ilk demir-çelik tesisi de 1932 de Kırıkkale’de kurulmuştur. Yassı ürün üretmek amacı ile 1965 yılında Erdemir (Ereğli Demir Çelik) tesisleri kurulmuş olup kapasitesi günümüzde yıllık 3 milyon tonu geçmiştir [3].

Tablo 1.1: Dünya demir üretimi ve rezervi (milyon ton) [6].

| | | | |
|----------------------|----------------|----------------|------------|
| 1. Çin | 808.370 | 798.785 | 1.2 |
| 2. Japonya | 104.772 | 105.134 | -0.3 |
| 3. Hindistan | 95.618 | 89.027 | 7.4 |
| 4. ABD | 78.619 | 78.845 | -0.3 |
| 5. Rusya | 70.800 | 70.900 | -0.1 |
| 6. Güney Kore | 68.567 | 69.670 | -1.6 |
| 7. Almanya | 42.082 | 42.676 | -1.4 |
| 8. Türkiye | 33.163 | 31.517 | 5.2 |
| 9. Brezilya | 30.212 | 33.256 | -9.2 |
| 10. Ukrayna | 24.221 | 22.968 | 5.5 |
| 11. İtalya | 23.341 | 22.018 | 6.0 |
| 12. Tayvan | 21.570 | 21.370 | 0.8 |
| 13. Meksika | 19.002 | 18.225 | 4.3 |
| 14. İran | 17.895 | 16.146 | 10.8 |
| 15. Fransa | 14.633 | 14.984 | -2.3 |
| 16. İspanya | 13.654 | 14.845 | -8.0 |
| 17. Kanada | 12.672 | 12.473 | 1.6 |
| 18. Polonya | 8.939 | 9.198 | -2.8 |
| 19. Belçika | 7.686 | 7.257 | 5.9 |
| 20. Birleşik Krallık | 7.581 | 10.964 | -30.5 |
| Toplam | 1.628.5 | 1.615.4 | 0.8 |

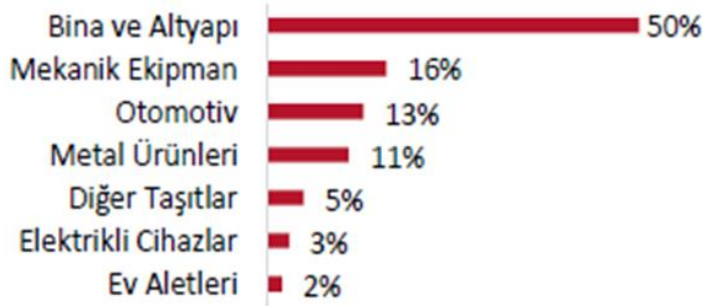
Tablo 1.2: Ülkelere göre demir-çelik üretimi, 2016 [5].



*EAO: Elektrik ark ocaklı tesisler *BOF: Entegre tesisler *Diğer: Siemens Martin firmı ile üreten tesisler

Dünyada çelik kullanımının sektörlere göre durumu Tablo 1.3'te verilmiştir. Buna göre çelik en yaygın inşaat ve altyapı çalışmalarında kullanılmaktadır.

Tablo 1.3: Sektörlere göre küresel çelik kullanımı [5].

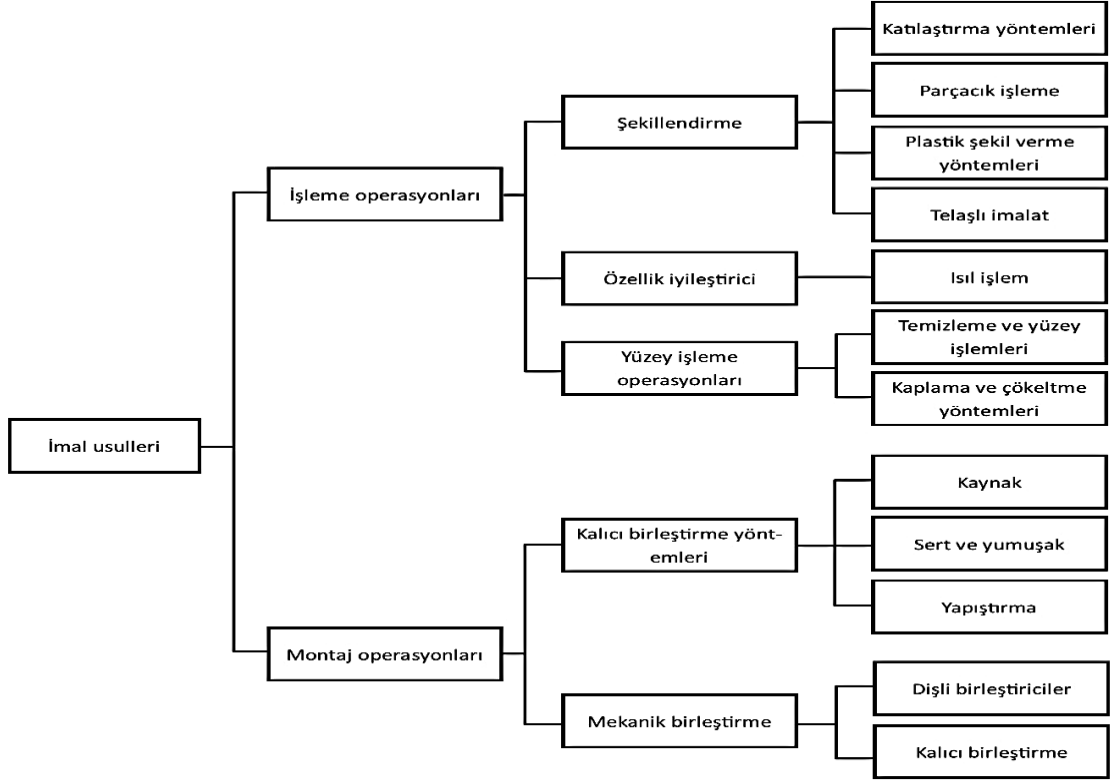


Üretim yöntemlerinin gelişmesi sac metalin kullanım alanlarında gelişime yol açmıştır. Artan ihtiyaç doğrultusunda bilgisayar destekli yazılımın gelişmesi farklı ülke ve şirketlerin katılımı ile sağlanmıştır. Bu gelişen yazılımlara Autocad, Solidworks, Catia, Ansys örnek olarak verilebilir.

2. İMALAT YÖNTEMLERİ

Talaşlı imalat yöntemleri, malzemedan talaş kaldırmak suretiyle malzemeye şekil verilen yöntemdir. Bu yöntemlerde giren ürün ve çıkan ürün arasında kütle kaybı söz konusudur. En genel yaklaşımda, talaşlı imalat yöntemleri; tornalama, frezeleme, delik delme, kesme, planya-vergelleme ve taşlama olmak üzere alt sınıflara ayrılır [7]. Talaşsız imalat yöntemlerinde (sıvama, dövme, döküm vb.) işlenen parçadan talaş kaldırılmaz. Bunun yerine genel olarak malzemenin mekanik özelliklerinden yararlanılarak şekil verme işlemi yapılır (Şekil 2.1).

Talaşsız imalat yöntemleri işlenecek malzemenin fiziksel durumuna göre; sıcak imalat yöntemleri ve soğuk imalat yöntemleri olarak temelde iki alt kategoriye ayrılır. Sıcak imalat yöntemlerinin başlıcalarına; döküm, sıcak dövme, sıcak çekme, sıcak haddeleme, kaynak ve boğaz sıvama örnek olarak gösterilebilir. Soğuk imalat yöntemlerinde ise soğuk haddeleme, sıvama, derin çekme, soğuk dövme, soğuk çekme metotları örnek olarak gösterilebilir. Burada belirtilen sıvama yöntemi hem sıcak şekil vermeye hem de soğuk şekil vermeye örnek olarak gösterilebilir. Günümüzdeki makine endüstrisinde kullanılan ürünlerin birçoğu tek bir imalat yöntemiyle üretilmemektedir. Talaşlı ve talaşsız imalat yöntemlerinin belirli bir sıra ile kullanılması sonucu ortaya çıkmaktadır [8].



Şekil 2.1: İmal usulleri [9].

2.1 Talaşlı İmalat

Parça üzerinden, sertliği daha yüksek bir kesici takım yardımıyla, küçük parçacıklar halinde malzeme (talaş) koparılarak yapılan şekillendirme işlemleridir. Aşağıdaki gibi 7 aşamadan oluşur.

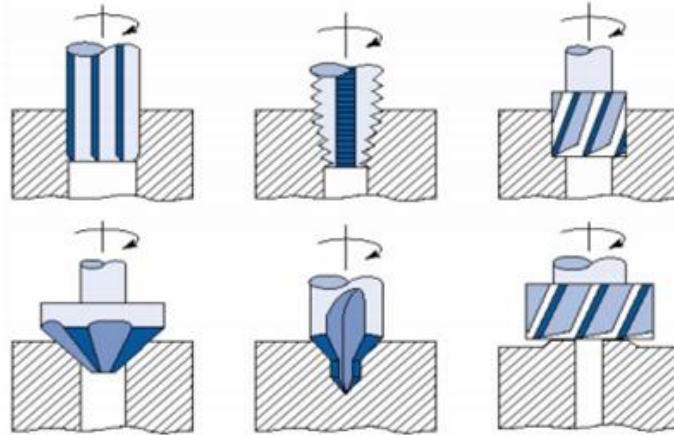
- Delme
- Kesme
- Tornalama
- Frezeleme
- Planyalama ve Vargelleme
- Broşlama
- Taşlama



Şekil 2.2: Talaşlı imalat [9].

2.1.1 Delme

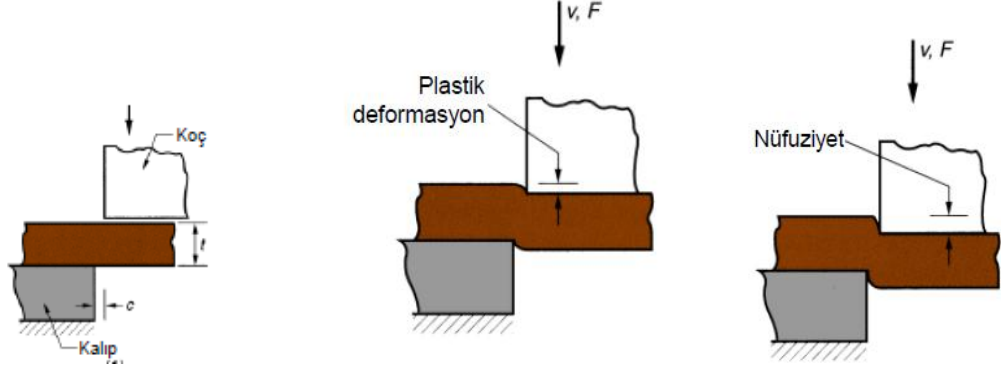
İş parçası üzerinden kesici takım ile delik delme işlemidir ve matkap ile uygulanır. Şekil 2.3'te delmeyle ilgili işlemler yer almaktadır.



Şekil 2.3: Delme işlemi [10].

2.1.2 Kesme

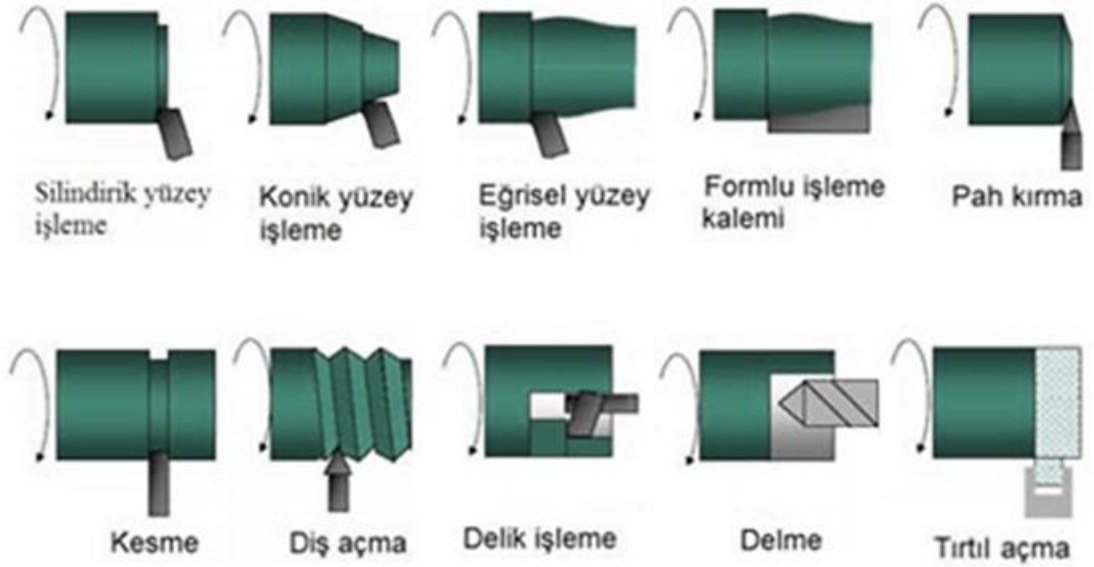
Kesme işlemi; iki kesici kenar arasında parçanın sıkıştırılarak koparılması ile gerçekleştirilir. Kesme aşamaları Şekil 2.4'te yer almaktadır.



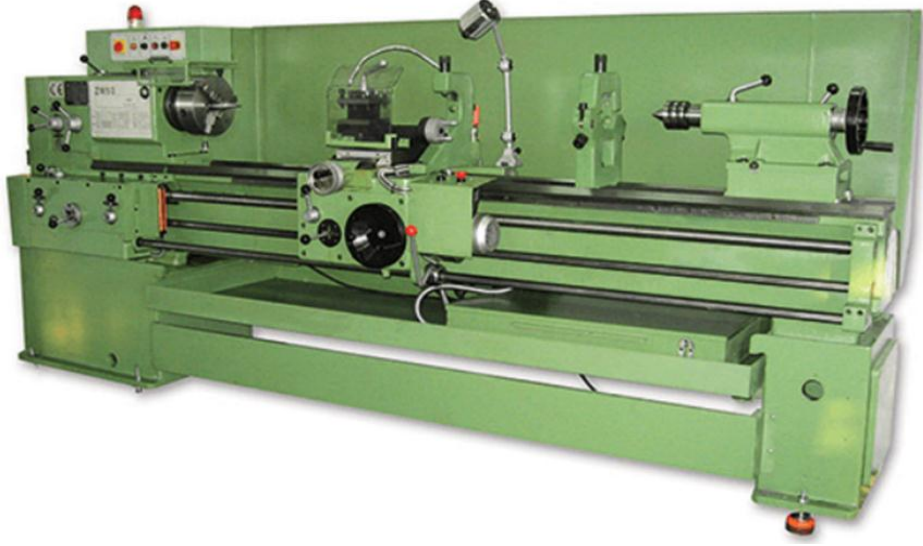
Şekil 2.4: Kesme işlemi [11].

2.1.3 Tornalama

Kendi eksenini etrafında dönen iş parçası üzerinden, uygun açıda bilenmiş kesiciler yardımıyla talaş kaldırma işlemidir (Şekil 2.5). Torna makinası adı verilen özel tezgahlarda uygulanır. Şekil 2.6’da örnek bir tornalama tezgâhı yer almaktadır.



Şekil 2.5: Tornalama işlemi [10].



Şekil 2.6: Örnek bir torna tezgahı [12].

2.2 Talaşsız İmalat Yöntemleri

Malzemelerin plastik deformasyona uğrayarak şekil değiştirmesi işlemidir. Malzeme miktarında azalma olmadan, parçanın dışarıdan uygulanan kuvvetlerin etkisi ile şekil değiştirme işlemidir. Üretilcek olan parçanın istenilen yüzey kalitesi, yıllık üretim miktarı, malzeme özellikleri üretim yöntemini etkileyen faktörlerdir. Talaşsız imalat yöntemleri genel olarak 3 ana başlık altında toplanabilir.

1. Döküm
2. Plastik Şekil Verme
3. Kaynak

2.2.1 Döküm

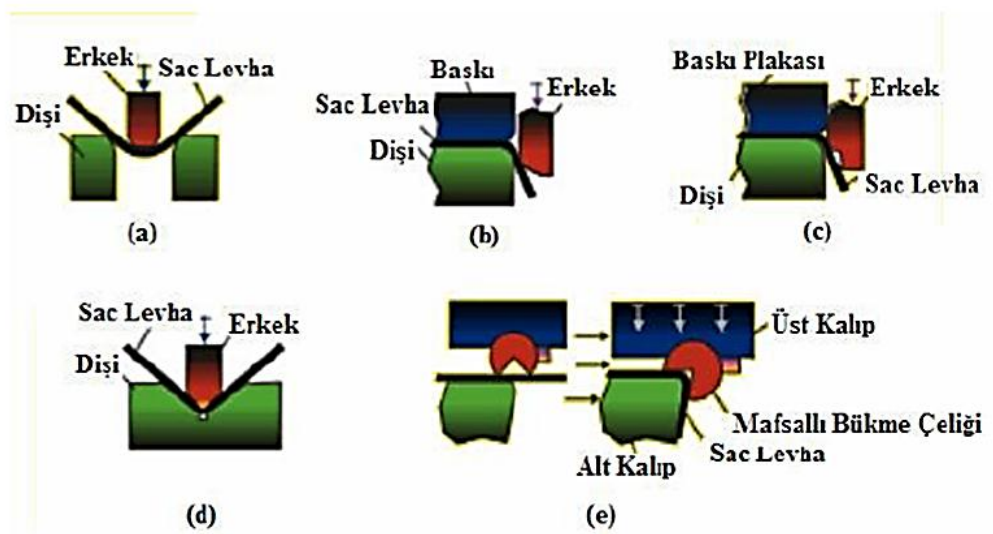
İstenilen geometrik şekilde parça elde edebilmek için malzemenin eritilmesi ve yeni halini alan malzemenin kalıp yardımı ile yeni şeklinin verilmesi işlemidir. Seri imalatta fiyat olarak avantaj sağlar, farklı geometrik yapıdaki parçaların üretimi sağlanır. Malzeme kalınlığının ince olması durumunda imalatı zorlaştırır ve tane yapısı nedeni ile kontrolü zordur.



Şekil 2.7: Döküm [13].

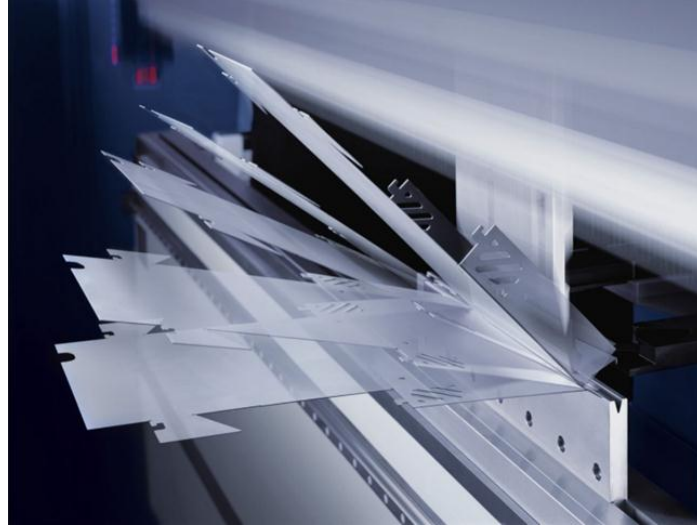
2.2.2 Bükme

Bükme, doğrusal bir eksen etrafında malzemeye kalıcı bir eğrilik verilmesi ile yapılan şekil değiştirme işlemidir [14]. Sac malzeme kalınlığının diğer boyutsal parametrelere göre genellikle küçük kaldığı bu yöntemde, malzemenin tamamı yerine sadece belirli bir bölgesinde plastik deformasyonla karşılaşmaktadır. Başlı başına bir yöntem olmakla birlikte, diğer bazı şekillendirme yöntemlerinde de bükme esaslı şekillendirme adımları ile karşılaşmak mümkündür (Şekil 2.8) [15].



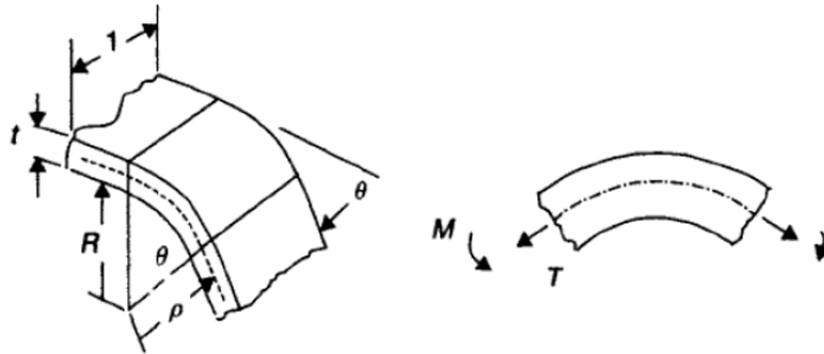
Şekil 2.8: Bükme operasyonları [16].

a) Serbest bükme b) Kenar bükme c) Çift etkili bükme d) Ezerek bükme e) Döndürerek bükme



Şekil 2.9: Plastik şekil verme [16].

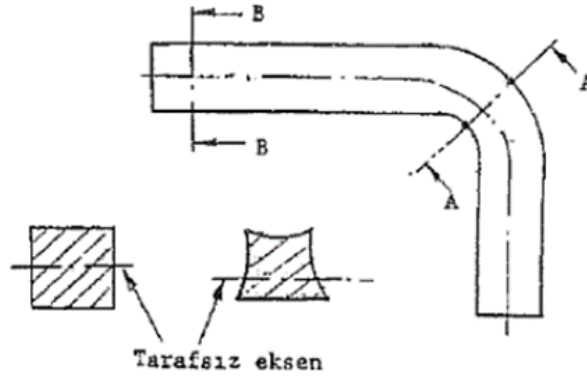
Sac malzemelerin bükme operasyonunda karşılaşılan bükme geometrisi aşağıdaki şekil gibi elde edilmektedir. Burada sac malzeme kalınlığı t , sac malzeme genişliği 1 , bükme açısı θ , bükme yarıçapı R , ve tarafsız eksen yarıçapı ρ ile ifade edilmektedir (Şekil 2.10) [14].



Şekil 2.10: Bükme bölgesi geometrisi [14].

Bükme kesitinde parçanın ortasından geçtiği düşünülen ve şekillendirme işlemi ile birlikte konumunda ve şeklinde değişiklik meydana gelen eksen tarafsız eksen olarak adlandırılmaktadır. Sac malzemeye bükme momenti uygulanması ile birlikte, tarafsız eksen iç yüzeye doğru kayarak tarafsız eksen yarıçapı değeri küçülmektedir [15]. Malzemenin etkisi altında kaldığı bükme momenti etkisiyle, sac malzemenin iç yüzeyindeki liflerde basma oluşurken tarafsız eksenin dış kısmında kalan liflerde çekme gerilmeleri oluşmaktadır ve bu gerilmeler sac malzemenin iç yüzeyindeki liflerin boyunda kısalma, dış yüzeydeki liflerin boylarında ise uzama

oluşturmaktadır [17]. Bükme sırasında, sac malzemede meydana gelen şekil değiştirme incelendiğinde tarafsız eksenden uzaklaştıkça şekil değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.11) [14]. Operasyon sırasında iç yüzeye doğru yaklaşan tarafsız eksen dolaysı ile dış yüzeydeki birim şekil değişimleri daha fazla olmaktadır. Plastik deformasyonda hacim sabitliği korunduğundan parçanın kalınlığında değişim olmaktadır. Ancak, kalınlıklar çok küçük olduğundan, sac malzemelerde tarafsız eksen kayması genellikle ihmal edilmektedir [17]. Bükme işlemi V kalıpta büküm ve U kalıpta bükme olarak ayrılır.



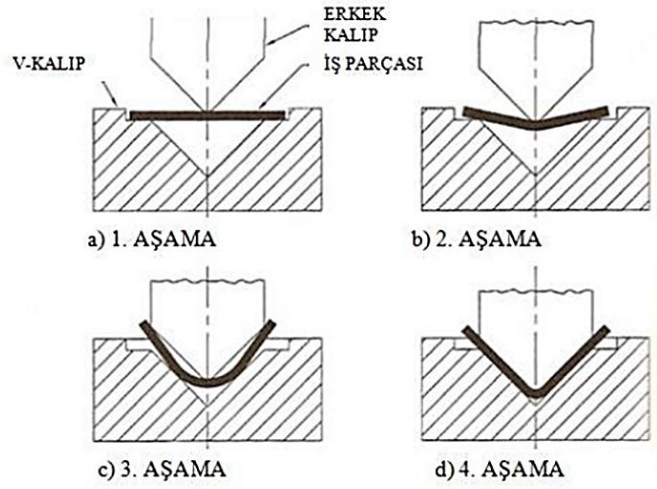
Şekil 2.11: Bükme işleminde tarafsız eksen kayması ve kesit çarpılması [15].

2.2.2.1 V-kalıpta bükme

Abkant pres kullanılarak, seri imalattaki az sayıdaki parçanın büküm operasyonu için en yaygın kullanım alanına sahip olan büküm yöntemlerinden biridir [18]. Bu işlem sırasında, erkek kalıp malzemeye bükme eksenini boyunca temas etmekte ve bu teması koruyarak parçayı şekillendirmektedir (Şekil 2.12) [19]. V-kalıpta bükme işlemi 2 operasyondan oluşur. İlk operasyonda erkek kalıp sac malzemeye temas ederek parçanın kalıp yüzeyine teğet pozisyona gelene kadar devam eder. İkinci operasyonda ise zımba tarafından malzemenin kalıp şeklini alması için kuvvet uygulanması ile şekil değiştirmesi yöntemidir.

V-kalıpta şekillendirilen parçanın geometrisi, kalıbın geometrisi ile doğrudan ilişkilidir. Malzeme, erkek kalıp yardımı ile kalıp içerisinde şekil değiştirmeye zorlanmaktadır [19].

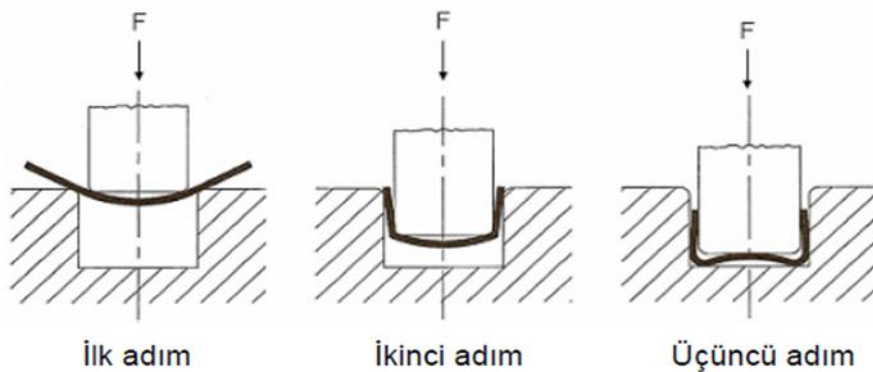
V-kalıpta bükme operasyonunun yapılabilmesi için gerekli olan yük miktarı, kalıbın hareket mesafesi ve parçanın büküm radyüsüne göre değişmektedir [20].



Şekil 2.12: V-büküm aşamaları [20].

2.2.2.2 U-Kalıpta Bükme

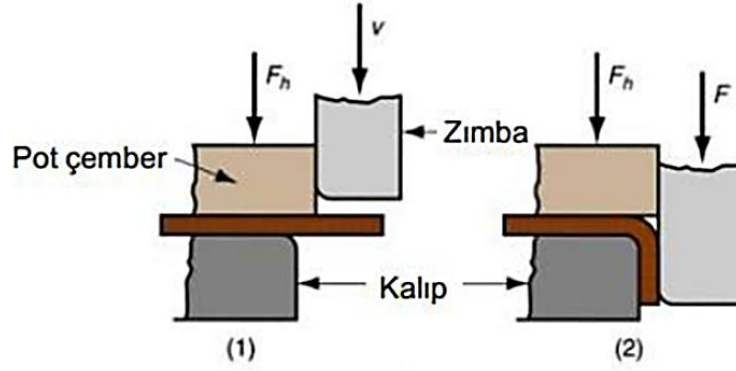
Bir kalıp kullanılarak U şeklinde parçalar üretmek amacı ile yapılan bükme işlemidir. V kalıp ile ortak noktaları çok fazladır. U büküm operasyonunda parçanın ölçüleri, malzeme yapısı, kalıp açıklığı, kalıp derinliği operasyon kalitesini belirleyen faktörlerdendir [20]. Aynı bükme acısında, U-kalıp ve V büküm karşılaştırıldığında, U kalıpta bükmede karşılaşılan şekil değişim miktarı daha fazla olmaktadır [21].



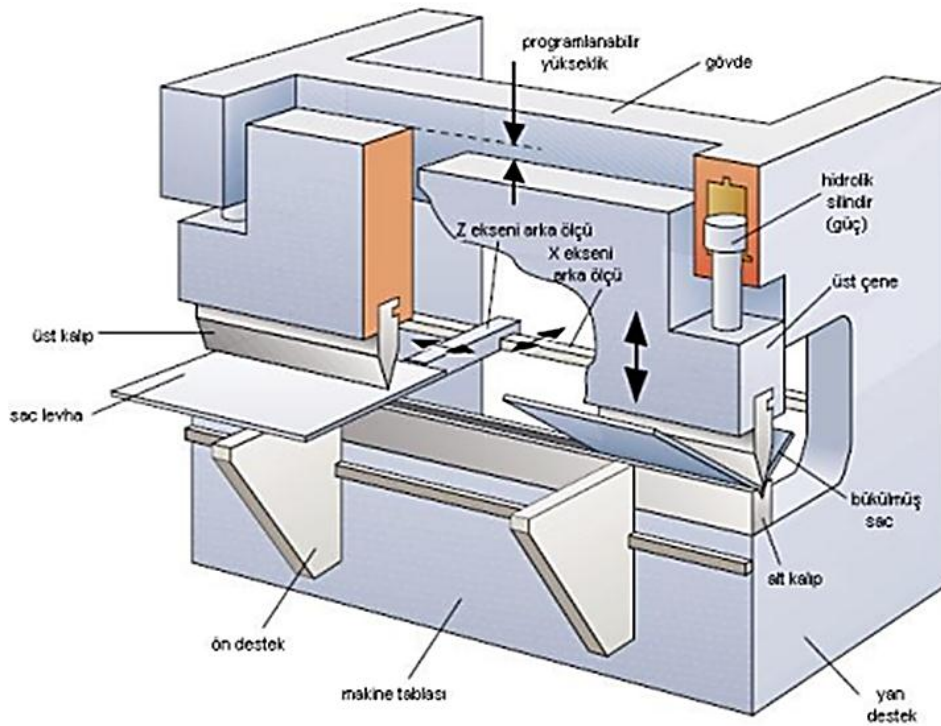
Şekil 2.13: U-büküm prosesi [22].

2.2.2.3 Kenar Büküm

Kenar bükümde birden fazla yükleme vardır. Bu yöntemde ilk önce alt kalıp üst kalıp tarafından sıkıştırılarak sacın sabitlenmesi işlemi yapılır. Daha sonra bükme için ikinci olan erkek kalıp saca kuvvet uygulayarak büküm işlemini tamamlar [23].



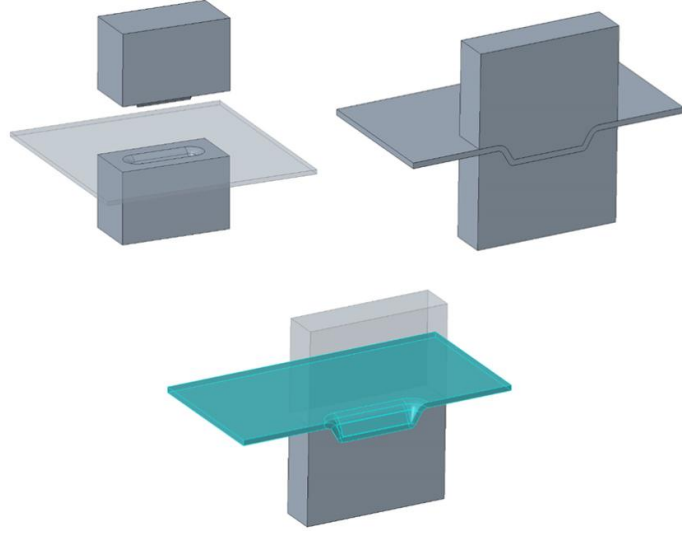
Şekil 2.14: Kenar büküm [23].



Şekil 2.15: CNC abkantın kısımları ve eksenlerinin şematik görünümü [24].

2.2.3 Çekme

Düz plakaların çekme kalıbı denilen donanımlarla pres altında form verilerek kap şeklini alması işlemine “çekme” ismi verilmektedir. Çekme işlemi en çok uygulanan sac metal şekillendirme yöntemlerinden birisidir ve elde edilecek ürün çeşitliliği çok fazladır. Genel uygulamalarda düz levhanın form verilmesi ile oluşur. Mekanik ya da hidrolik olarak oluşturulan baskı altında, malzeme üzerinde çekme geriliminin oluşturduğu plastik şekil değiştirme sonucu saca şekil verilir. Sac kalınlığında belli bölgelerde bir miktar incelme meydana gelmektedir [25]. Çekerek biçimlendirme işlemi sığ ve derin çekme olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.16: Form verme operasyon örneği [25].



Şekil 2.17: Eksantrik pres (Mekanik) [26].

2.2.3.1 Sığ Çekme

Sığ Çekme işlemi sadece çekme yüksekliğinin az olduğu durumda yapılan ve sadece bir operasyon ile tamamlanan işlemdir.

2.2.3.2 Derin Çekme

Seri imalata geçiş sürelerinin kısaltılması, deneme yanılma yönteminin en aza indirilmesi, doğru ürüne en kısa sürede kaliteli olarak ulaşma çabası ile birlikte sac malzeme şekillendirme proseslerinden olan derin çekme prosesi gelişmiş ve makineleşmiştir. Bilgisayar destekli yazılım yardımı olmadan, parçaların tek operasyonda şekil verme operasyonunun yapılması, sac malzeme kalınlığındaki incelmenin eşit dağılımı, oluşabilecek potlukların önüne geçilmesi, geri esnemenin önceden tahmin edilip kalıpta yapılabilecek iyileştirmelerin önceden planlanması gibi gereksinimler çözüm bulamamaktaydı.

Sac malzemenin özellikleri; cinsi, alaşım elementleri, üretim yöntemi, ısı işlem ve şekillendirme sırasında uygulanan sıcaklık değerlerine malzeme özelliklerini belirleyen kavramların başında gelmektedir. Farklı uygulamalarda malzeme seçiminde genellikle üretilecek parça için gerekli olan özellikler ve malzemenin şekillendirilebilirlik özellikleri arasındaki etkileşim göz önüne alınmalıdır. Preslerde yapılabilecek operasyonlar sıcak ve sıcak şekil verme operasyonları olarak ana gruplara ayrılır. Tahrik sistemlerine göre hidrolik ve mekanik olarak 2'ye ayrılır.

Hidrolik Pres: Yağ basıncı ile çalışan hidrolik presler, form verme, kıvrırma, düzleme gibi işlemler için kullanılır. Sac şekillendirme operasyonlarında yaygın olarak kullanılır. Derin çekme işlemi ise çekme yüksekliğinin fazla olduğu ve sadece bir tek operasyonda sonuçlandırmadığımız operasyonlar için belirtilir.

Çekme Operasyonunda tasarım aşağıda belirtilen maddelere göre yapılır:

- Çekilecek parça çekme yüksekliği
- Çekilecek malzeme kalınlığı

- Çekilecek parça ebatları
- Üretilen parça sayısı
- Kullanılacak pres tipi
- Kalıp malzemesinin cinsi
- Üretilen parça tolerans hassasiyeti

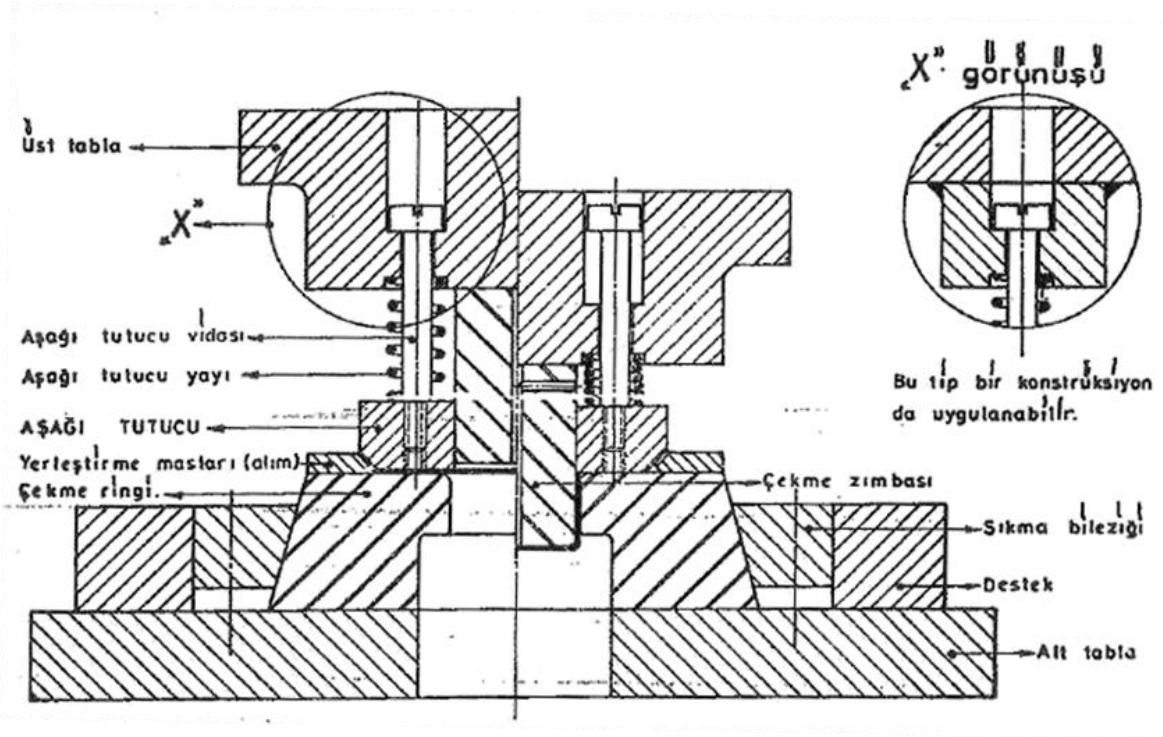
Çekme kalıpları genel olarak gruplandırıldığında 2 ana gruptan oluşur.

1. Aşağı Tutucusuz (Baskı parçasız)
2. Aşağı Tutuculu (Baskı parçalı)

Aşağı tutucusuz çekme kalıpları boydan boya itmeli basit çekme kalıbı olarak adlandırılır. 4 mm sac kalınlığının üstünde ve sığ form yüksekliğindeki parçalar için tercih edilir.

Aşağı tutuculu çekme kalıpları ise genellikle 2.5 mm'den daha ince sac parçaların çekme işleminde kullanılmaktadır. Form derinliği yüksek ve parça yüzeyinde deformasyonun az olması durumunda uygulanmaktadır. Tutucular sayesinde parçanın çekme operasyonu sırasında tutucular tarafından sıkıştırılıp ortaya çıkması muhtemel olan yüzeydeki kırışıklıkların mümkün olduğu ölçüde aza indirgenmesini sağlar. Parçanın kalıpta sıkılmasını sağlayan bu tutucular dört farklı tipten oluşmaktadır [27].

- Sabit aşağı Tutucular
- Yay, lastik, basınçlı veya sıvı ile hareket ettirilen aşağı tutucular
- Mekanik aşağı tutucular
- Hidrolik sistem ile hareket ettirilen tutucular



Şekil 2.18: Yayla çalışan aşağı tutuculu çekme kalıbı [27].

2.2.3.3 Çekme İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar ve Sebepleri

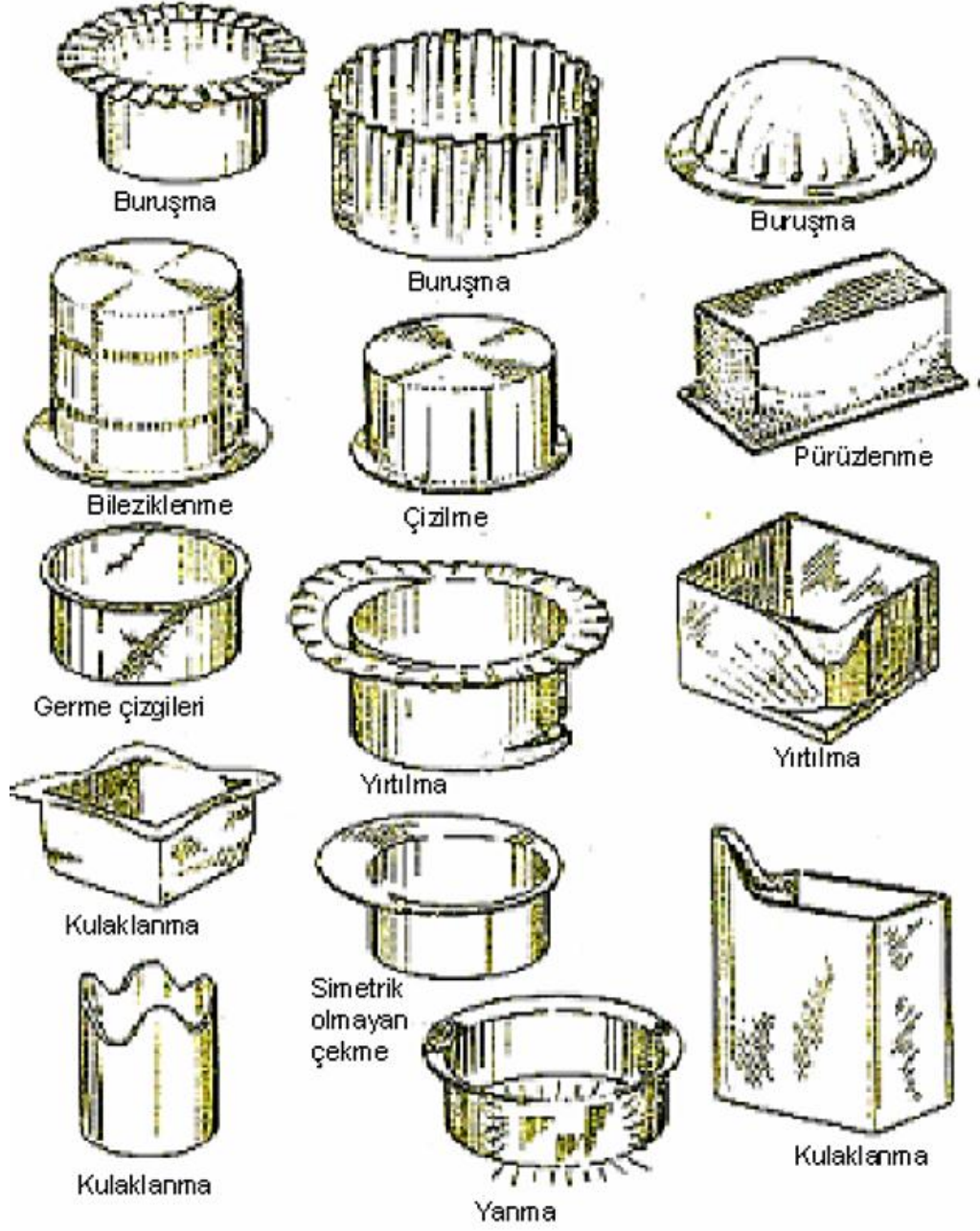
Çekme işleminde parça yüzey kalitesinde ve form yapılması gereken parçada kusurlar oluşabilir. Çekme işlemi sırasında oluşan muhtemel hata ve sebepleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Çekme işleminde oluşan hatalar ve sebepleri [25].

| Hata | Tahmini Sebep |
|---------|---|
| Buruşma | Uygunsuz baskı plakası kuvveti |
| | Baskı plakası kuvvetinin tüm yüzeylerde eşit olmaması |
| | Baskı plakası yüzeyinin düzgün olmaması |
| | Sac malzeme kalitesinin düşük olması |
| | Kalıp kavisinin çok büyük olması |
| | Çekme boşluğunun çok büyük olması |
| | Malzeme yüzeyinin kirli veya çapaklı olması |
| | Aşırı baskı plakası kuvveti |

Tablo 2.1: (devamı).

| | |
|---|---|
| Parçada yırtılma veya kırılma | Kalıp kavisinin çok küçük olması |
| | Zimba kavisinin çok küçük olması |
| | Çekme boşluğunun çok küçük olması |
| | Presin veya kalıbın eksenden kaçık olması |
| | Uygunsuz veya eksik yağlama |
| | Sac malzeme kalitesinin düşük olması |
| | Pres hızının çok yüksek olması |
| | Çekme oranının çok yüksek olması |
| | Kalıp veya baskı plakası üzerinde oluşan çizik veya çentikler |
| | Malzeme akışını önleyen keskin köşeler |
| Düzensiz Çekme | Çekme boşluğunun uygun olmaması |
| | Presin veya kalıbın eksenden kaçık olması |
| | Sac malzemenin kalıp içerisine uygun yerleştirilmemesi |
| | Uygunsuz yağlama |
| Parça kenarlarında yırtılma veya dalgalanma | Çekme boşluğunun uygun olmaması |
| | Fazla yağlama |
| | Kalıp kavisinin çok büyük olması |
| | Eşit olmayan baskı kuvveti |
| | Kalıp kenarlarının dışa esnemesi |
| Parçanın dip kısımlarında pürüzlenme | Sac malzeme kalitesi |
| | Baskı plakasının yetersiz olması |
| | Baskı plakası üzerinde yağ birikmesi |
| | Hava çıkışının olmaması |
| | Parçadaki uygunsuz esneme |



Şekil 2.19: Çekme işleminde oluşan hatalar [25].

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt bölgelere (problemlere) ayrılarak, her birinin kendi içinde çözülmesiyle tüm çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Bu çalışmada, plastik şekil değiştirme sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Bu seçiminin nedenleri arasında, bu yöntemin çok farklı malzeme ve çok çeşitli temas tanımlama imkanları sunması yer almaktadır. Böylece şekillendirme işleminin doğasını oldukça fazla değişken ile benzetim yapma imkânı sağlanmış olur [28].

Sonlu elemanlar analizi, 1940'lı yıllarda yayınlanmaya başlayan makale dizisi ile kurulan sonlu elemanlar yönetimi tarafından oluşturulan teorik temelden geliştirilen bir simülasyon konseptidir. Bu konsept ile kısmi diferansiyel denklemler için sınır değer problemlerine yaklaşık çözümler bulmak için sayısal teknikler olarak oluşturulan sonlu elemanlar analizi, bir problem alanının daha küçük parçalara bölünerek ve hata fonksiyonunu en aza indirerek çalışmak üzere kurgulanmıştır.

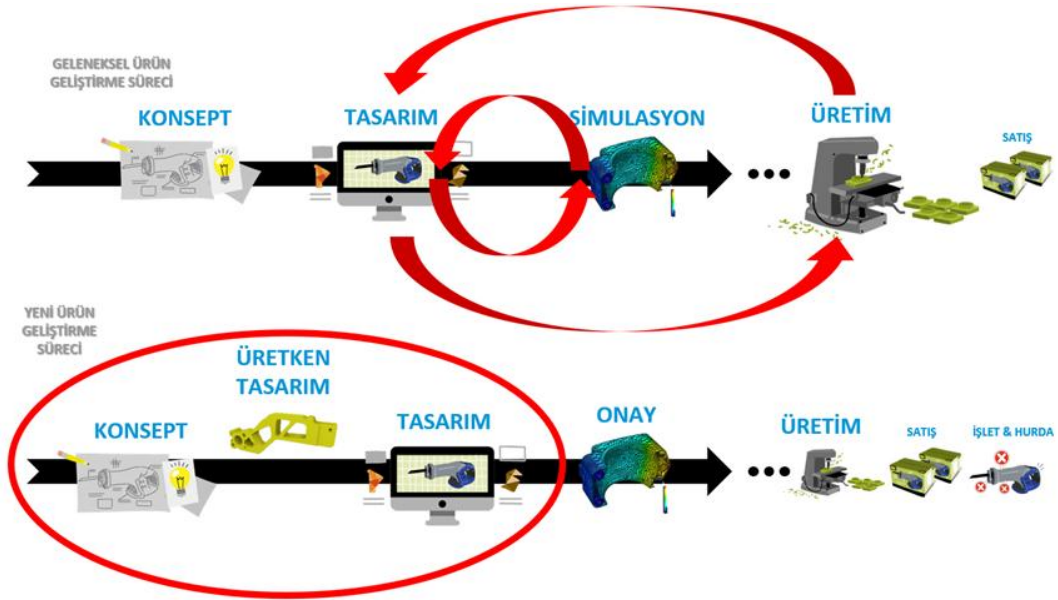
Parça ve kalıp üretimine başlamadan önce tasarım aşamasında sayısal analiz programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim için gerekli operasyonların belirlenmesi ve modelin bu operasyonlar sonucunda üretilebilme davranışının olası problemlerinin önceden görülebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Oluşabilecek gereksiz iş gücü kayıplarının görülmesi, parçanın istenilen kalite standartlarında olması için optimizasyon yapılmaktadır.

Bilgisayar destekli yazılımın getireceği yararlar aşağıda kısaca belirtilmiştir.

- ✓ Daha kısa tasarım ve deneme zamanları
- ✓ Daha düşük mühendislik, kalıp ve deneme maliyeti
- ✓ Tüm sac parça imalat prosesini analiz ederek prosesin doğru olması
- ✓ Sac parçanın imalattan sonra kalitesinin korunması (kalınlık dağılımı)
- ✓ Verilen tekliflerin daha güvenli ve tutarlı olması

1980'li yıllarda yaklaşık 40 ay süren ürün stil, tasarım, geliştirme ve seri imalata geçiş süresi, bilgisayar destekli yazılımın kullanılması ile birlikte yapılan geri bildirimler ile sonuç görerek alınması gereken kararların sürecin tamamlanmasını beklemeden görüp önlem alınması ile birlikte 18 ay gibi zamana düşürülmüştür. Maliyet ve zaman tasarrufunun sağlanabilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır.

Sac metal kalıpcılığında bulunan yöntemleri etkileyen en önemli faktörlerden biride kalıp ve prestir. Dişi ve erkek olarak hazırlanan kalıpların en az masrafla ve doğru olarak üretilmesi rekabetçi piyasa koşullarında önemli faktördür. Hazırlanan kalıplarla form verilen sac malzeme plastik deformasyona maruz kalarak şekil değiştirmesi sağlanmaktadır. Parçanın kullanım yerinde oluşacak problemlerin önlenmesi için analiz yapılmaktadır. Bu analizler plastik deformasyon sonucu sac parçada oluşabilecek yırtılma, buruşma, fazla incelme ya da form şeklini alamaması gibi problemlerin önceden görülüp önlem alınmasını sağlamaktadır. Bu durumlar kalıp ve operasyon tasarımındaki problemlerden dolayı oluşmaktadır [29]. Sac metal parçaların şekillendirilmesi, kalıpların hazırlanması, maliyet vb. gibi unsurları analiz eden birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir.



Şekil 3.1: 1980'li yıllarda tasarımdan seri imalata geçiş süreci [29].

3.1 FormingSuite

Sac metal parçaların proses ve kalıp tasarımı ile maliyet ve fizibilite analizine yönelik kullanılması için ortaya çıkarılan yazılımdır. Ürün için devreye alma süresini kısaltma ve maliyet azaltma çalışmalarına destek vermektedir.

FormingSuite, sac metal şekillendirme proses tasarımıdaki dört ana süreç kapsamında kullanılabilen analiz programıdır. Süreçler kendilerine özel çözüm modülleri ile kullanılabilir [30].

- Maliyet hesaplama
- Parça tasarımı
- Proses planlama
- Kalıp tasarımı

3.2 DynaForm

Kullanım alanı daha geniş ve kapsamlıdır. Devrilme simülasyonu, Patlama simülasyonu, Sac metal şekillendirme örnek olarak kullanıldığı alanlarda belirtilebilir. Metal alanında DynaForm adında ayrı modülü ile kullanılmaktadır. DynaForm programının kullanım alanları incelendiğinde;

- Derin çekme
- Sıvama
- Prograsif şekillendirme
- Hidroforming
- Boru bükme
- Kenetleme
- Germe

- Kesme
- Delme
- Kalıp transferi
- Prograsif kalıp prosesleri modellenenebilir.

Programın diğer kabiliyetleri incelendiğinde;

- ✓ Kesme ve yerleştirme
- ✓ Parça taslağı ve maliyet tahmini
- ✓ Kalıp tasarımı
- ✓ Birleştirici geliştirme, pot çemberi geliştirmesi
- ✓ Sac metal şekillendirme, boru bükme ve hidroforming alanı
- ✓ Derin ekme ve esnetme simülasyonu
- ✓ Kademeli kalıp hattı ve transfer kalıp hattı simülasyonları
- ✓ Kesme izgisi hesaplaması
- ✓ Malzeme değerlendirmesi
- ✓ Geri yaylanma ve geri yaylanma düzeltmesi
- ✓ Kuvvet hesaplaması
- ✓ Kalıp yapısal bütünlüğü
- ✓ Sac malzeme transferi
- ✓ Fire azaltma

Programda ayrıca kullanılan işlem hızı ve kolaylığı sağlayan, problem çözümünde gelişmiş geri bildirim sağlayan modüllerde mevcuttur [31].

3.3 Autoform

Sac metal şekillendirme ve kalıp endüstrisine özel olarak geliştirilen yüksek doğrulukla ve güvenilir sonuçlar veren yazılım çözümüdür. Bilgisayar destekli yazılım programları sayesinde güvenilirlik artar, maliyetler azalır, sac metal parça prosesleri hakkında kısa sürede daha kapsamlı olarak örnekler gözükür ve bilgi birikimi artar. Sorunsuz üretilecek, imalat sırasında oluşabilecek hataların önceden

tahmin edilmesini sağlayan program sayesinde yüksek kalitede ürün çıkaracak kalıp tasarımı yapılabilir.

Endüstriyel pratik bilginin sac metal Şekillendirme tecrübesi ile birleştirilerek uygulandığı programda prosesin her adımı incelenir ve uygun değer seviyede ayarlanabilir [32]. Kullanım alanları incelendiğinde;

- Teklif aşamasında daha güvenli bilgi
- Üretim aŐamalarının iyileŐtirilmesi
- Kalıp tasarımı
- Geri yayanma bilgisi
- Kuvvet hesaplaması
- Kalıp geliŐtirmesi
- Maliyet azaltması
- Geri yayanma ve telafisi dahil proses ve kalıpların doğrulmasını ve prosesin maksimum kararlılığını sağlar
- Standart bilgisayarlarda çalıŐabilir, küçük iŐletmeler için uygundur
- Derin ekme, bükme, tleme, kesme ve kamlı operasyonun hassas simülasyonu
- Şekillendirme kararlılığına göre proses deđiŐkenliđinin etkisini inceleyebilme
- Kalıp ve parça kalitesini arttırır

Firmalara getirdiği yararlar incelendiğinde;

- ✓ Daha kısa tasarım ve deneme zamanı
- ✓ Tasarım aşamasında öngörü yapılması ve sonradan oluşacak büyük değişikliklerin nlenmesi
- ✓ Proses tanımlama ve kabaca kalıp yüzeylerinin oluşturulması
- ✓ Daha az mühendislik ve kalıp devreye alma zamanı
- ✓ Tecrübeye dayalı platformdan bilimsel platforma geçiş
- ✓ Rekabet avantajı
- ✓ Yeni rn devreye alma işleminde güven ve kolaylık sağlamaktadır.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Wang ve ark., serbest ve kalıpla bükme işlemlerini uygulayarak U kalıp, V kalıp ve sıyırma kalıplarının simülasyonu için Bend isimli programı geliştirmişlerdir. Simülasyon ile deneysel sonuçları karşılaştırarak farklılıkları araştırılmıştır [33].

Yuan tarafından yapılan bir çalışmada, plastik deformasyona uğrayan malzeme, uygulanan yükün iptal edilmesi ile malzeme içinde oluşan elastik gerilmelerin yeniden dağılması sonucu geri yaylanmanın azaltılması üzerine çalışılmıştır. Mühendislik çalışmaları sonucu kompozit sac malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ile bu malzemelerde oluşan geri yaylanmanın çözümü için matematiksel model ile çözüm araştırılmıştır [34].

Forcellese ve ark., V kalıpta 90 derecelik bükme işlemini sonlu elemanlar metodu ile analiz etmişlerdir. Bu analizde alüminyum alaşımlı sac kullanılmıştır [35].

Zhang ve Shi çalışmalarında, temel sorun olan geri yaylanma üzerine çalışılmıştır. Bükme ile şekil verme prosesinde yaygın olarak gözükten geri yaylanma problemini etkileyen 3 temel kaynağın malzeme, parça geometrisi ve imalat süreci olduğunu belirlemişlerdir. Parça için belirlenen yüksek mukavemetli malzemelerde geri yaylanmanın arttığı belirlenmiştir [36].

Yang ve ark., çalışmalarında, geçmişte tasarımların sonucunda oluşan parçaların çıkan hatalar sonucunda düzenlemesi için deneme yanılma yöntemi kullanılmaktaydı. Kalıp elemanları ve proses iyileştirmeleri deneme yanılma yöntemi ile belirlenmekteydi [37].

Yenice çalışmasında, basit çubuk veya düzlem bükme teorisini kullanan modellerin serbest hata tahmini sağlamadığını belirlemiştir. Son zamanlarda ise bilgisayar teknolojisinin de ilerlemesiyle, sac metal şekillendirme yöntemleri tecrübe edinmeden önce sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz edilebilmektedir [16].

Arslan çalışmasında, bükme ve levha metal şekillendirme işlemlerinden iş parçasında birçoğu deformasyon, gerilme, kalıntı gerilmeleri ve gerinim dağılımı ile ilgilenen sonlu elemanlar modellemesinde çeşitli çalışmalar olduğunu ifade etmiştir [38].

Narasimhan ve Lovell çalışmasında, explicit ve implisit sonlu elemanlar yöntemini birleştirerek geri esnemenin tespit edilmesi çalışmasını yapmışlardır. Bu yöntemin prototip kalıp sayısını azalttığı belirlenmiştir [39].

Chou ve Hung çalışmalarında, U-kanal bükme operasyonunda karşılaşılan geri yaylanmayı azaltma tekniklerini sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Bu çalışmada implisit problemlerinin çözümü için sonlu elemanlar analizi ve optimizasyon programı kullanılmıştır. Geri esneme probleminin çözümünde optimizasyon programının etkili olduğu belirlenmiştir [40].

Esat ve ark., farklı kalınlıktaki 2000 ve 6000 seri alüminyum malzemelerin farklı kalıp açılarında oluşan geri yaylanma değerlerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Kalınlık arttıkça geri yaylanmanın azaldığını görmüşlerdir. Akma mukavemetinin arttıkça geri yaylanmanın arttığını belirtmişlerdir [41].

Chan ve ark., çalışmalarında, V bükme işlemi uygulanan alüminyum sac malzemenin farklı kalıp ve panç değerlerinde değişimini sonlu elemanlar yazılımı ile belirlemişlerdir [42].

Xu ve ark., U bükme prosesinde oluşan geri esnemeyi etkileyen faktörleri sonlu elemanlar analiz programı ile incelemişlerdir [43].

Ling ve ark., sac parçaların L bükme prosesinde oluşan geri esnemenin ABAQUS programı kullanılarak yapılan analiz sonucunu incelemişlerdir. Yapılan analizler neticesinde geri esnemeyi etkileyen faktörleri kanıtlamışlardır [44].

Meinders ve ark., sonlu elemanlar programları kullanılarak yapılan analizler ile, geri esneme tahmini, telafisi ve geri esnemenin en aza indirgenmesine çalışmışlardır. Parça üzerinde oluşturulan ağ miktarının analiz sonucuna etkilediği

belirlenmiştir. Ağ miktarının artırılması ile analiz sonucunun gerçek sonuçlara daha fazla yaklaştığı belirlenmiştir [45].

Asgari ve ark., çalışmasında iki farklı çeliğin geri esneme sonuçlarını DynaForm ve AutoForm sonlu elemanlar yazılımları kullanarak belirlemişler ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Elastisite ve katsayısı değiştirilerek bu değerlerin geri esneme üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçların incelenmesi ile Autoform programının gerçek sonuçlara daha fazla yaklaştığı belirlenmiştir [46].

Yu yapmış olduğu çalışmada, U kanal bükme operasyonu yapılan TRIP çeliğinin Ls-Dyna sonlu elemanlar analiz programında modelleyerek analiz etmeye çalışmıştır. Çalışmalarda elastisite modülünün değişken kullanılmasının gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiğini belirlemiştir [47].

Özdemir çalışmasında, modüler serbest V bükme kalıbında belirlenen paslanmaz çelik ve DKP malzemenin geri yaylanmasının deneysel olarak tespitini ve sonlu elemanlar yöntemi ile tahminini yapmıştır [48].

5. MALZEME SEÇİMİ VE ANALİZ

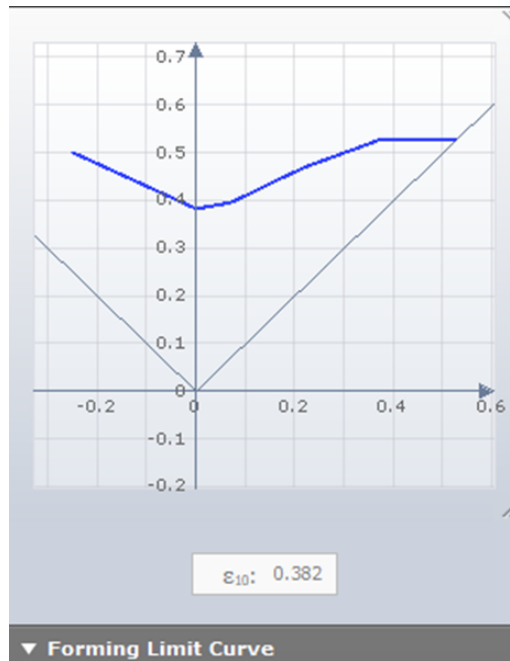
5.1 DC03 Sac Malzeme

Analizi yapılan imalat parçasının tasarım aşamasında malzemesi DC03 üretim standardı “En10130 kalınlığı 2 mm” olarak belirtilen derin çekmeye uygun sac malzeme belirlenmiştir. Belirlenen malzeme sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. DC03 deney örneğinin mekanik özellikleri ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar Ek A’da verilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen değerler analiz yapılan programa işlenerek sonuçlar gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1: DC03 malzeme kimyasal özellikleri.

| C (%) | Mn (%) | P (%) | S (%) |
|-------|--------|-------|-------|
| 0.1 | 0.45 | 0.035 | 0.035 |

“DC03 Malzeme Plastik Deformasyon Eğrisi” için farklı test sonuçlarına göre değerler değişebilmektedir. Bu testlerden bazıları; Ghosh , Hockett- Sherby, Swift/ Hockett-Sherby deneyleridir.



Şekil 5.1: Plastik deformasyon limit eğrisi.

5.2 DC05 Sac Malzeme

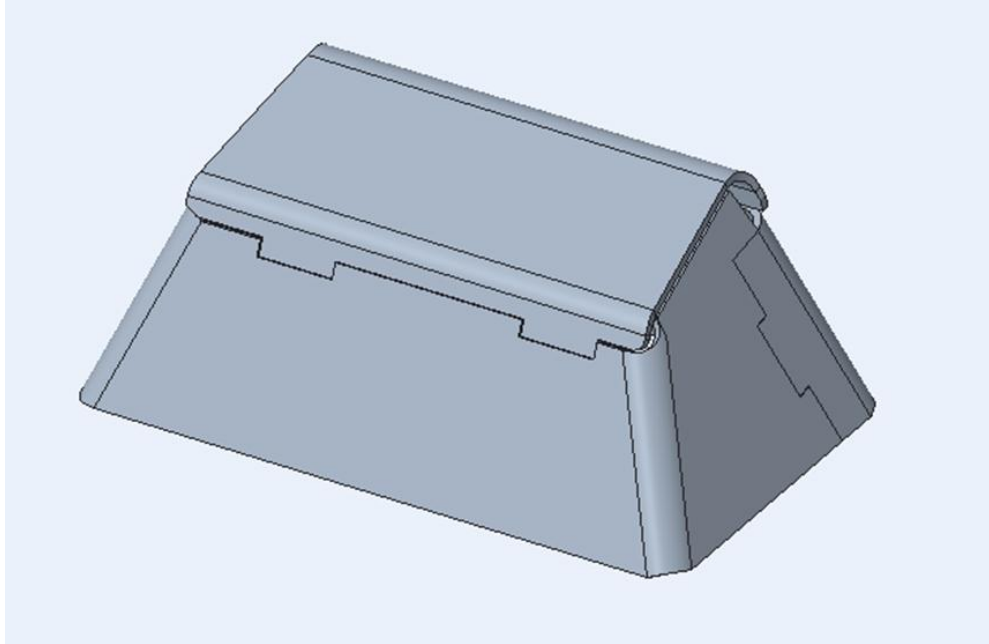
DC05 Malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 5.2’de belirtilmiştir. DC05 deney örneğinin mekanik özellikleri ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar Ek B’de verilmiştir.

Tablo 5.2: DC05 malzeme kimyasal özellikleri.

| C (%) | Mn (%) | P (%) | S (%) |
|-------|--------|-------|-------|
| 0.02 | 0.085 | 0.009 | 0.009 |

5.3 Analiz İçin Gerekli Parçanın Belirlenmesi

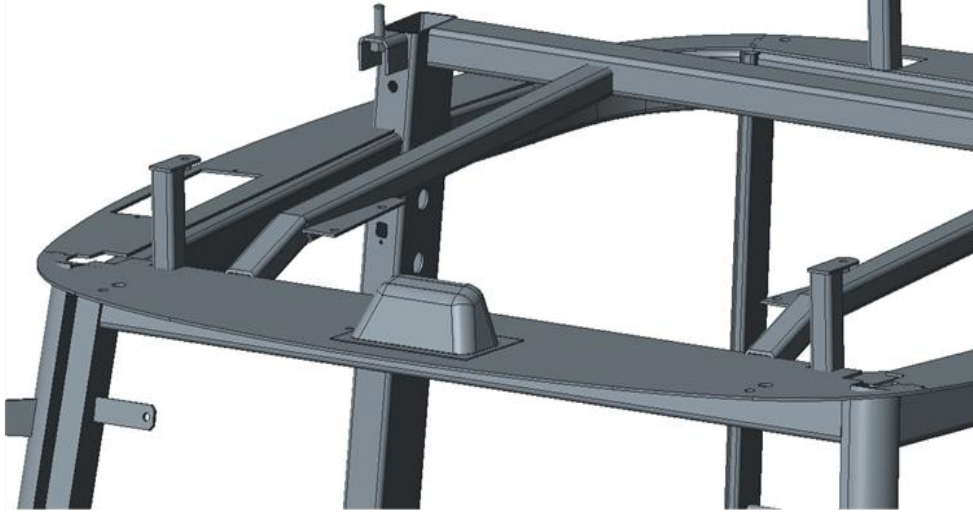
Traktör emniyet kabininde kullanılan sac parça kaynaklı imal edilmektedir. Kullanım yeri dolayısı ile görsel önemi olan parça kalite olarak problemlere yol açmakla birlikte birim fiyat olarak hedef fiyatın üzerinde üretilmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda kalıp yatırımı yapılarak parçanın derin çekme olarak üretilmesi kalite olarak uygunsuzlukların önüne geçilmesi ve hedef fiyata ulaşılmasını sağlamaktadır.



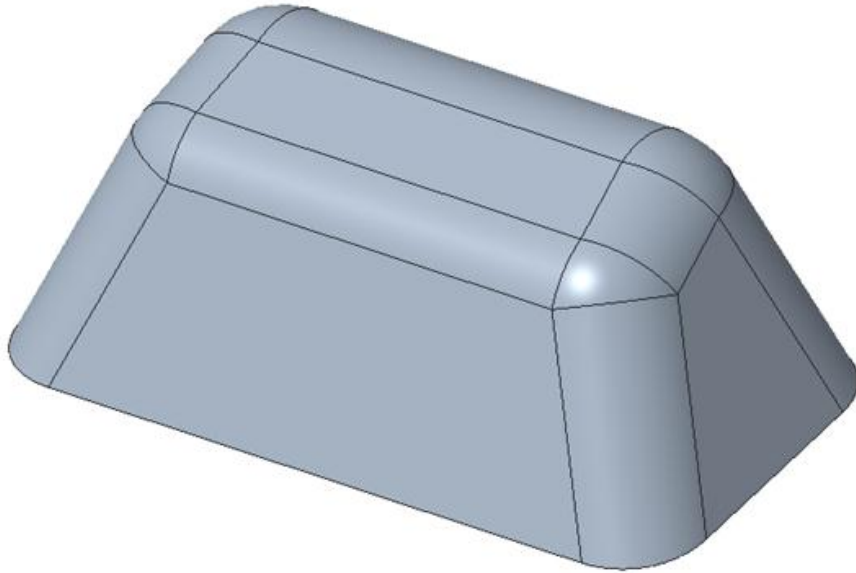
Şekil 5.2: Kaynaklı olarak imal edilen model.

5.3.1 Parça Modellenmesi

Parça modellenmesi Creo paket programı kullanılarak yapılmıştır. Parçanın kullanılacağı yzey tanımlandıktan sonra sac parçanın kısıtlamaları tanımlanarak parça derin çekme operasyonuna uygun olarak yzey halinde modellenmiştir (şekil 5.3). Çizilen yzey katı modele çevrilmiştir (şekil5.4).



şekil 5.3: Sac parçanın kullanım yerinin modellenmesi.

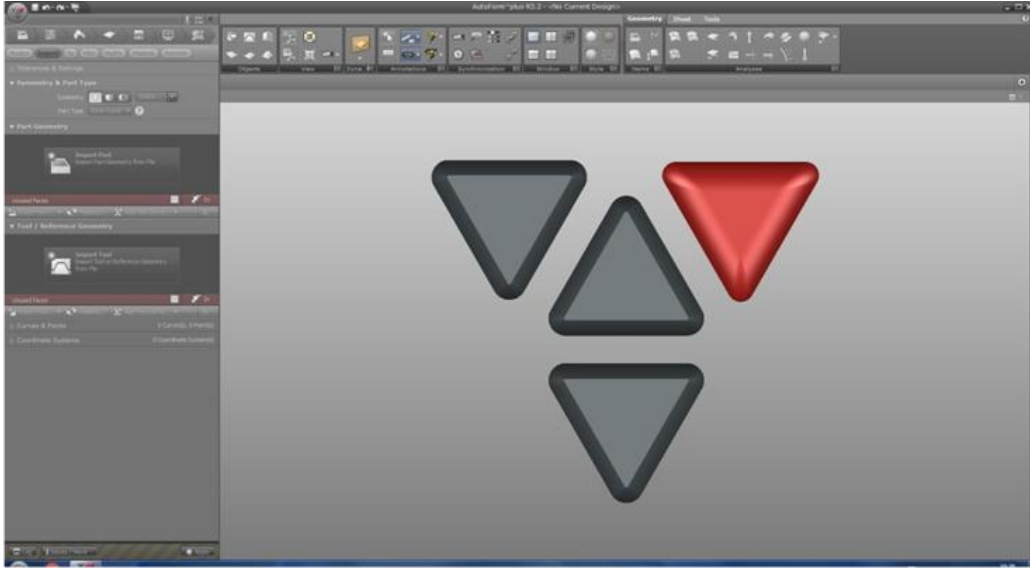


şekil 5.4: Derin çekmeye uygun modellenen parça.

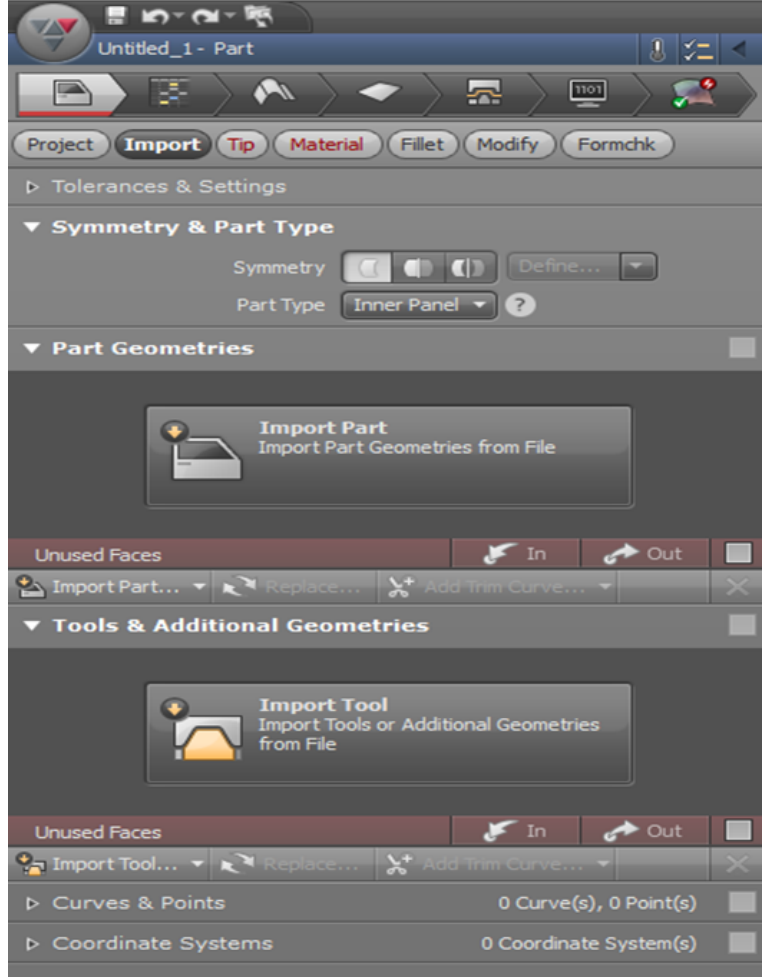
5.3.2 Parçanın Programa Tanıtılması

Autoform yazılımı kullanılarak analizler yapılmış, tasarımlar program verileri ile şekillenmiştir. Analizin daha kolay takip edilmesi ve verilen özelliklerinin analiz sonucunda belirtilmesi kısmında parça ile ilgili bilgiler programa tanıtılmıştır.

Parts segmesinin alt kısmında Project bölümü bulunmaktadır. Bu bölümden Proje adı, firma bilgileri, iletişim bilgileri gibi bilgiler eklendiğinde analiz sonucuna göre bildirilen bilgiler ışığında sonuç raporu çıktısı alınabilmektedir. Program başlatıldıktan sonra analiz için yeni analiz başlat komutuna istinaden parça ya da kalıp yüzey verisi belirlenmektedir.



Şekil 5.5: Autoform açılış sayfası genel görünümü.



Şekil 5.6: Parçanın programa tanıtılması.

5.3.3 Analiz İçin Hassasiyetin Belirlenmesi

Parça yüzeyinin programa tanıtılmasından sonra parçanın analiz programı tarafından kabul edilirken belirlenmesi gereken tolerans değerleri analiz sonucunu etkilemektedir. Analiz yapısına göre genel olarak kabul edilmiş değerler mevcuttur.

Stitching Distance; Sonlu elemanlar olarak alınan parçanın mesh yapısında bulunan üçgen arasında olabilecek en fazla açıklık. 0.1mm değeri kabul edilmiştir.

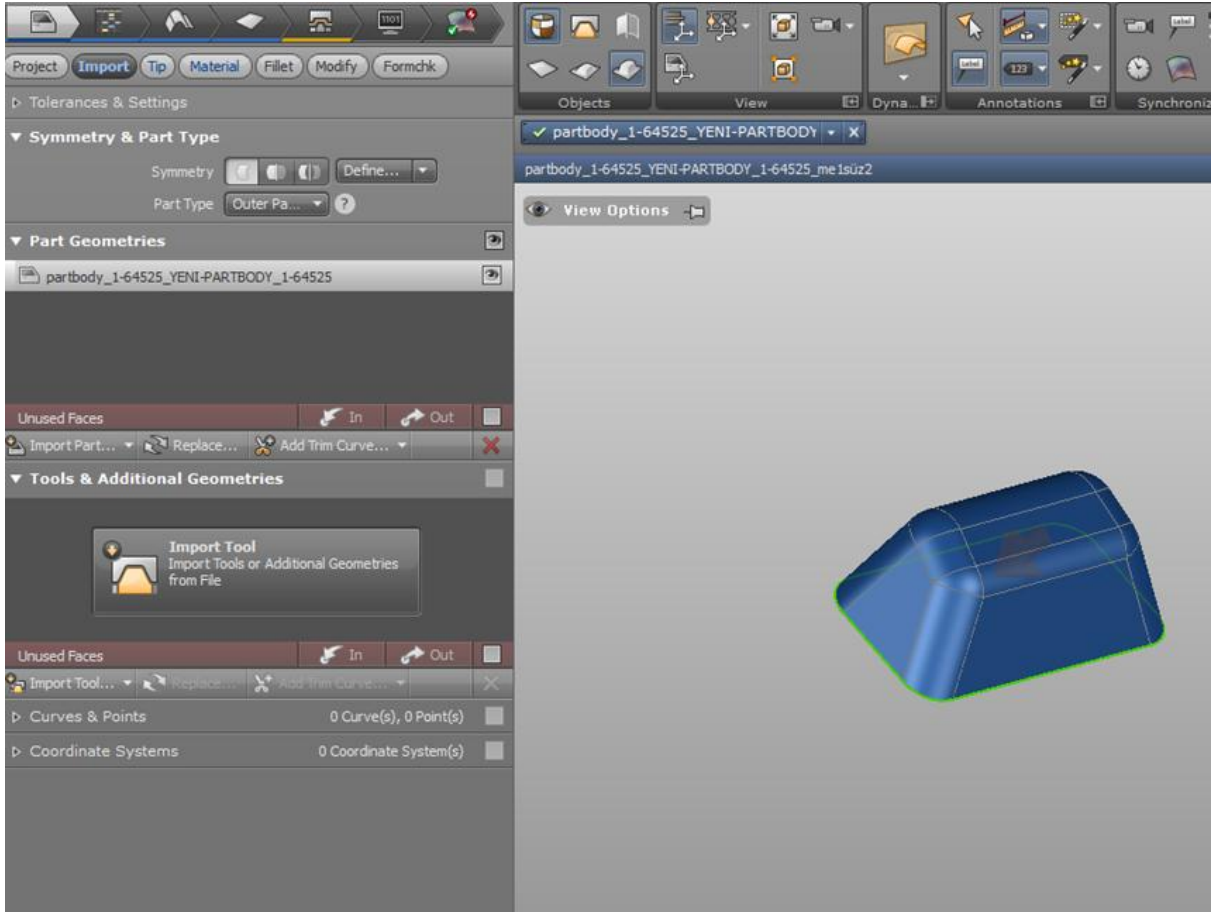
Meshing Tolerance; Mesh yapısı ile parça geometrisi arasında verilebilecek en fazla sapma miktarıdır. 0.05 mm değeri kabul edilmiştir.

Max side Lenght; Mesh için atılabilecek en uzun üçgen kenarıdır. 10 mm değeri kabul edilmiştir.

Bu değerler daha küçük değerler kabul edilebilir ancak bu analiz süresini uzatır ve parça geometrisine göre gereksiz yapı oluşturur. Yukarıda belirtilen değerler Autoform tarafından genel kabul görmüş değerlerdir. Bu değerleri her analiz programında değiştirebiledeğimiz gibi programın standartlar kısmından da kalıcı olarak değiştirilebilir ve istenirse bu değişiklik kalıcı olabilir.

5.3.4 Operasyon Yönü ve alışma Eksenini Konumlandırılması

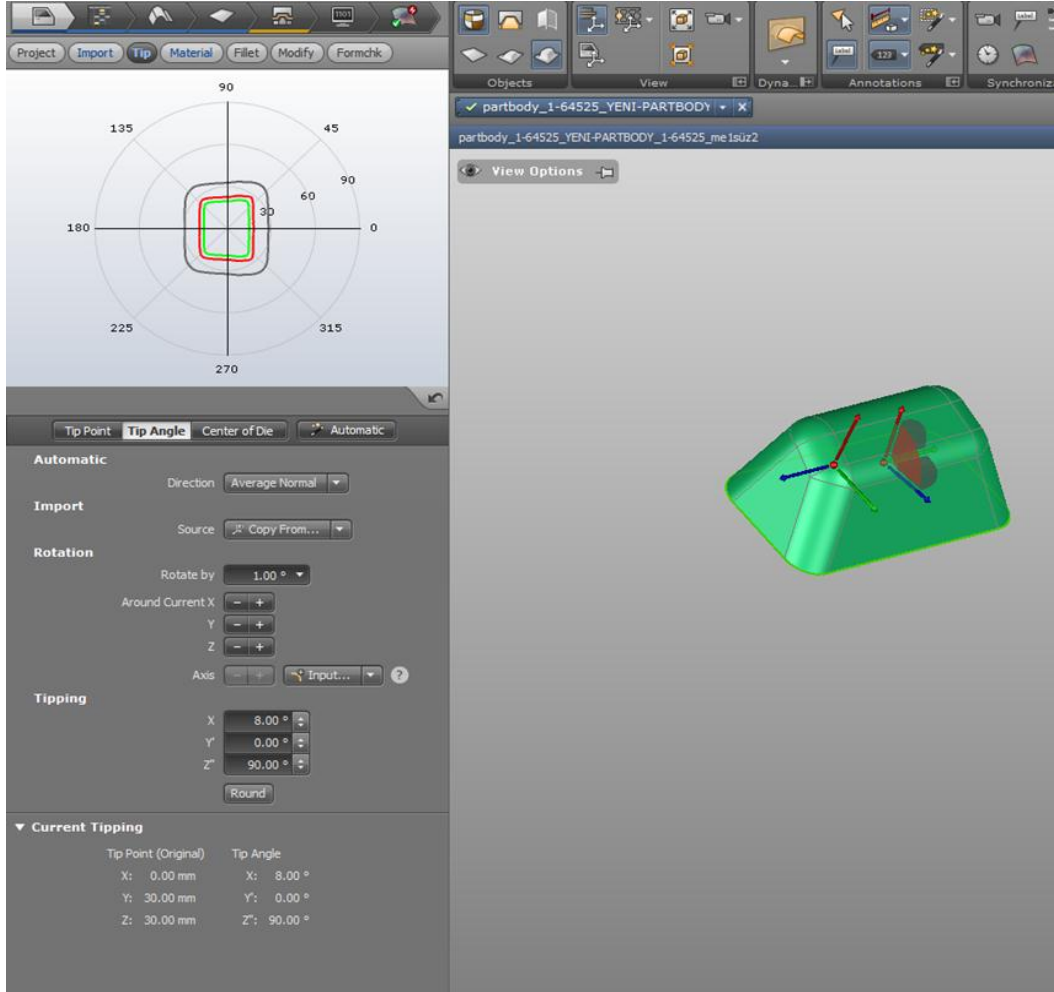
Parça programa eklendiğinde belirtilen ok yönü sac kalınlığının yönünü belirtir. Bu yönü değiştirmek mümkündür. Mavi renk her zaman st yüzeyi gri renk alt yüzeyi, yeşil renk kesim hattını belirtir.



şekil 5.7: Operasyon yönünün tanıtılması.

5.3.5 Analizde Parça Konumlandırma Bilgileri

Parçanın analiz aşamasında form alma durumuna göre konumlandırılması işlemidir. Yüzeylerin form alabilme açılarına ve konumuna göre ayarlanarak en uygun değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Ters açı olması durumunda program belirlenen değerlere göre uyarı renklendirmesi yapmaktadır ve oluşan uygunsuzlukların telafi edilmesi beklenmektedir.



Şekil 5.8: Parçanın işlem yüzeyinin belirlenmesi.

Parça ya da kalıp pozisyonlaması yapılabilir, 3 farklı yöntem ile yapılabilir. Autoform 3 tane eksen tutar bunlar;

1. Parça eksen
2. Kalıp eksen
3. Global eksen

Otomatik Pozisyonlandırma: Parça geometrisinden sonuca gidilecek ise Die designer modülü kullanılır.

Manuel Pozisyonlandırma: Kişinin manuel belirlemesi ile kullanılan modüldür.

Pozisyonu Kopyalama: Cad datadan alınmış yüzeylerin tanıtılmasıdır.

Tip komutu kullanıldıktan sonra parça geometrisi eksen içinde gösterilir. Burada parça merkezi orijine ne kadar yakın ise parça merkezinin negatiften o kadar uzak olduğunu belirtir.



Şekil 5.9: Parçanın konumlandırılması.

Backdraft Limits: Ters açı limitleri demektir.

Safe: Güvenlik, 3 dereceye kadar olan açıları güvenli kabul eder.

Maginal: Sarı renkle uyarı verir negatif e en yakın olan alandır.

Undercut: -10 dereceye kadar ters açı olan yerdir.

Rounding: Yuvarlama değerleridir.

Position: Parça yer değiştirme ölçüsüdür.

Rotation: Döndürme açısıdır.

Inclination: Eğim açısıdır.

Press Flow: Sac akış yönüdür. Kalıba nerden sürüleceği buradan belirtilmelidir. Hadde yönü çekme yönüne zıt ise sonuçlar değişmektedir.

Euler Rotation: Parametrelerin nasıl yazılması gerektiğinin seçildiği bölgedir.

Symmetry ve Part Type: Parçanın sadece yarısının çözülmesi ancak çözümün tamamında gözükmemesi ya da parçanın sağ sol olarak üretileceği durumda bildirilmesi gereken yerdir. Simetri ekseni buradan seçilir.

Half Input: parçanın simetri ekseni kabul edilerek çözüm yapılır. Simetri ekseninden direkt parça kopyalanır ve araya mesafe verilemez.

Half Input Symmetrical: Simetri ekseni seçilerek parça sağ sol olarak belirlenir.

Half Input, Double Attached: parçanın simetri ekseni ile düzlem arasına mesafe verilir ve arası program tarafından örülmüş olarak çalışma yapılır.

Simetri tanımı kesinlikle bu bölümde yapılmalıdır eğer kalıp prosesleri tanımlanır ise tekrar simetri kısmına dönülmesi mümkün değildir çünkü tam parçaya göre proses plan yapılmıştır.

Part Type: iç panel ya da dış panel olduğunun belirtildiği yerdir.

Part Geometries: Autoform programında 2 çeşit analiz yapmak mümkündür.

Elimizde kalıp datası yok parça datası var ise; Die Design modülünü kullanarak parça programa eklenir, parçanın her şeyi Autoform programında geliştirilir. Die Design modeli yok ise cad datasında kalıp geliştirilerek Autoform programına eklenir bunun içinde "Import Tool" komutu kullanılarak Autoform programına eklenir.

Curves ve Points: Cad datasında yapılmış olan kesme eğrilerinin programa tanıtılarak analizin yapılması için belirlenmesi gereken modellemedir.

Coordinate Systems: Cad datasında eksen takımları oluşturuldu ise bu belirlemelere göre analizin yapılması sağlanır. Eksen takımı import ederken cad datasında çizgi atmak gerekli ve bunların boylarının da en uzun Z eksenini sonra Y eksenini ve X eksenini olmalıdır. Bunun nedeni Autoform programına aktarıldığında yönlerin doğru algılanmasıdır.

5.3.6 Eksen Takımının Belirlenmesi

Tip point başlığının altında 3 adet komut bulunmaktadır. Bunlar;

Automatic: Center of Gravity seçili ise parçanın ağırlık merkezine ağırlık merkezine eksen takımı gelir.

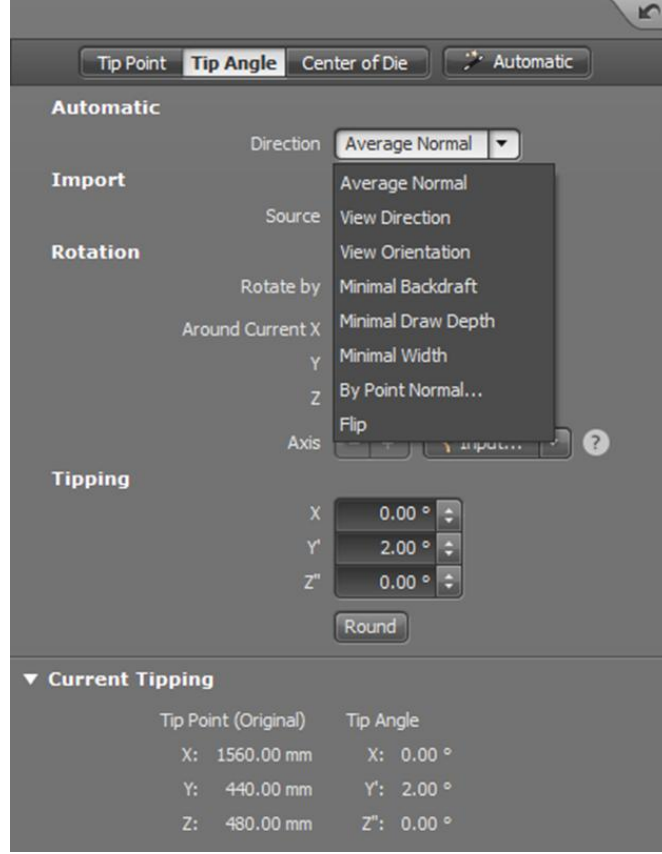
Center of Bounding Box: parçanın dış ölçülerine göre belirlenen yeni kutu ölçülerinin ağırlık merkezine eksen takımı gelir.

Import: Eklenen eksen takımının kullanılmasını belirtir. Eğer cad datada yapıldı ise kullanılır.

Tip Angle komutunda hızlı pozisyonlama ile ilgili seçenekler mevcuttur. Yüzeyler seçilip “Average Normal” komutu kullanılır ise seçilen yüzeyler eksene dik olarak konumlandırılır. Bu eksen çalışma yani kalıp eksenidir. Bu komut ile baktığımız doğrultuya çevirme, en az negatif kalıp çıkış yüzeyleri vs. gibi yüzeyler seçilebilmektedir. Bu komutlardan en önemlileri;

- Minimum Backdraft; En az ters açılı pozisyonudur.
- Minimum Draw Depth; Parçanın en derin yerine göre pozisyonlanmış halidir. Parçanın en derin ve yüzeyi arasındaki mesafeyi en aza indirmektedir.

Center of Die: Kalıp eksenini demektir. Kalıp tasarımcısı ayrı eksenlerde çalıştı ise bu komut kullanılabilir.



Şekil 5.10: Eksen takımının belirlenmesi.

5.3.7 Malzeme Bilgisinin Tanıtılması

Seçilen malzeme sabit kalınlık olarak bildirilir ancak programda farklı kalınlıklarda haddelenmiş sac kalınlığı analizi de yapabilmektedir. Bu işlemi “Costant” ve “Rolled” kısmından yapılabilmektedir. “Costant” Sabit kalınlıklı sac ve “Rolled” Haddelenmiş farklı kalınlıkta malzemedir. Eğer parça üstüne başka parça eklenip bunların kaynak operasyonu sonrasında kalıp operasyonunda analiz etme imkânı da mümkündür. Otomotiv sanayinde bu operasyon çok sık görünmektedir. Ana parça üstüne mukavemet sacı eklenmektedir.

Çalışmamızda; DC03 ve DC05 2 mm saclar analiz edilecektir. Malzeme secimi yapılırken eğer mekanik form verme ile hidrolik form verme operasyonlarında farkı görmek istersek malzeme secim bölgesinde bulunan “Strain rate” komutu aktif edilerek hıza göre şekil değişimi dikkate alınarak analiz yapılır. Bu komut aktif edilse tek değer kabul edilir ve hıza göre değişim kabul edilmez.

▼ **Hardening Curve**

Type

Swift

ϵ_0

m

C

Hockett-Sherby

σ_i

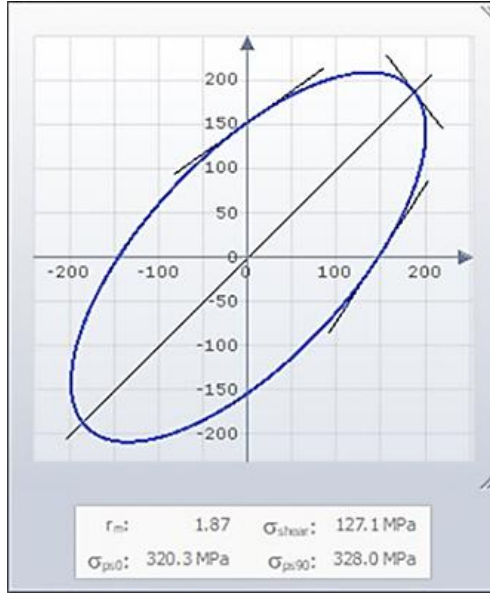
σ_{sat}

a

p

α

Şekil 5.11: Swift/ Hockett-Sherby Metodu ile elde edilen sonuçlar.

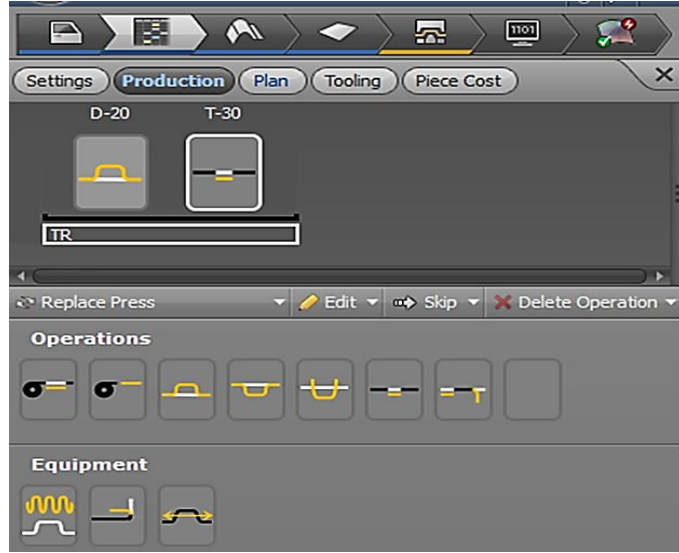


Şekil 5.12: Uzamaya göre incelme oranı grafiği.

R_m : Anizotropi katsayısıdır. 1'den düşük olduğunda sac yumuşar. R0, R45 ve R90 derecelerinde sac çekilerek elde edilen katsayılar formül ile hesaplanmaktadır. Parça malzeme bilgisi tanıtıldıktan sonra proses tasarımını geçmeden parçada oluşan keskin köşe problemleri incelenebilmektedir. Bu sırada belirtilen değişiklikler parçaya uygulanmaz.

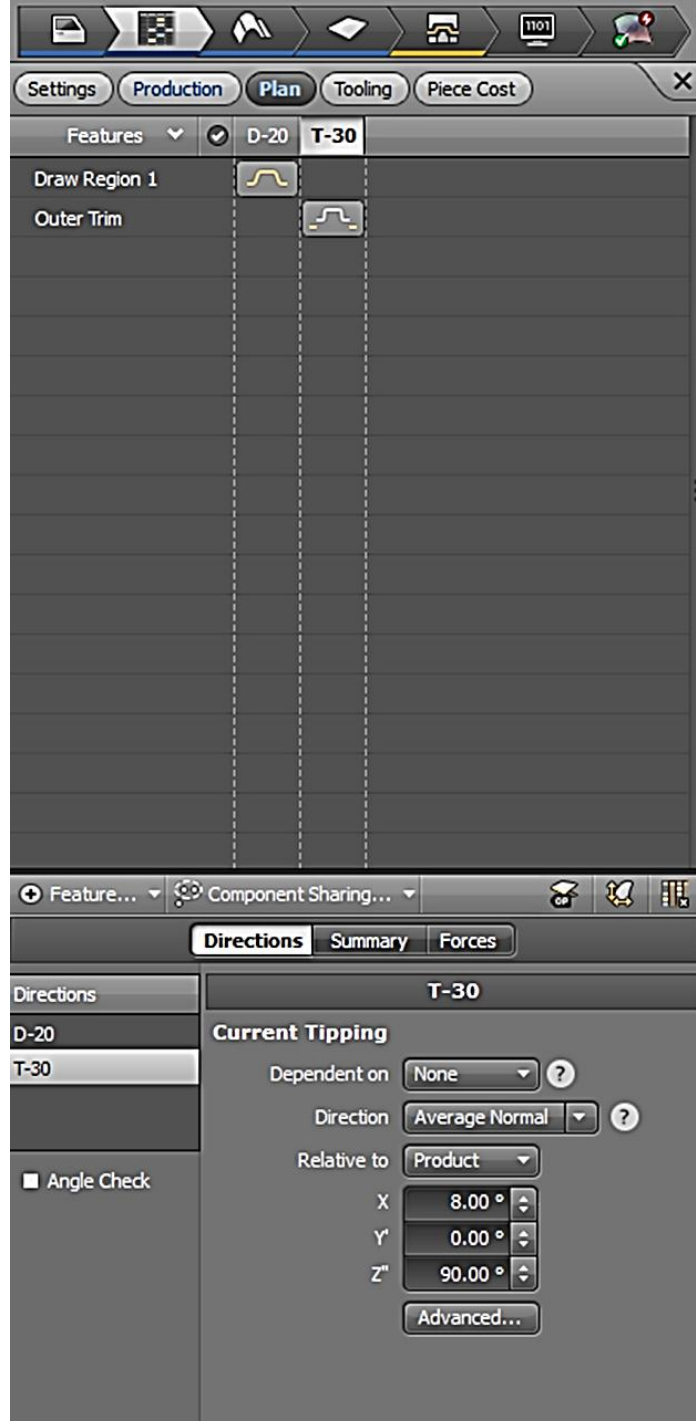
5.3.8 Operasyonların Tanıtılması

Parçaya uygulanacak olan prosesin önceden belirlenerek proses dizaynının tanımlanmasıdır. Analizde yapılan tasarım form verme ve kesme işlemidir.



Şekil 5.13: Operasyonların belirlenmesi.

Analiz sonucunda eğer geri esneme kontrol edilmek istenirse operasyonlar kısmından bu kontrol sağlanır. Tasarımı yapılan parçamızın üretim adımı derin çekme ve lazer kesme olarak belirlenmiştir. Operasyonlar programa istenilen yapıda tanıtılmıştır.

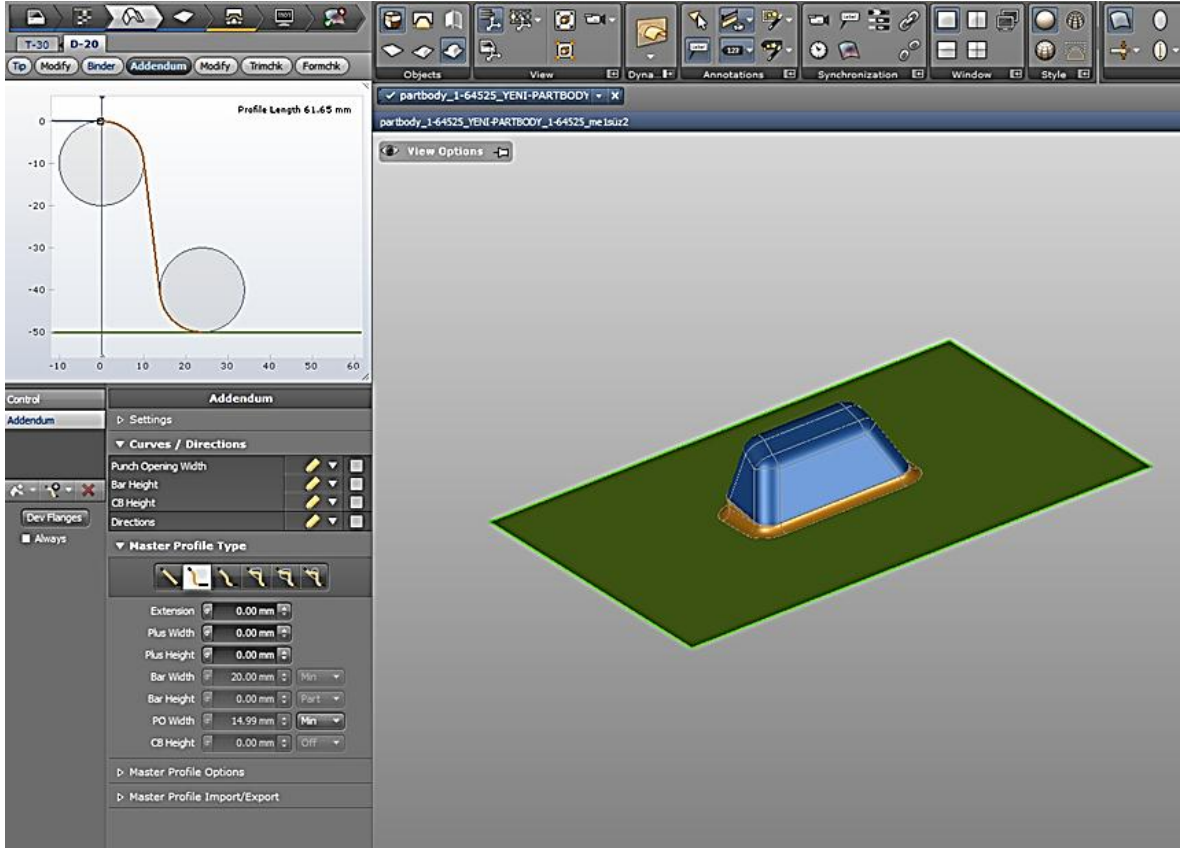


Şekil 5.14: Operasyonların tanıtılması.

5.3.9 Parçanın Çekme Yüzeyinin Oluşumu

Modellenen parçanın çekme yüzeyi ile arasındaki formun belirlenmesi operasyonudur. Geçişlerin tip ve konumlandırılması, geçiş ölçülerinin belirlenmesi sağlanır.

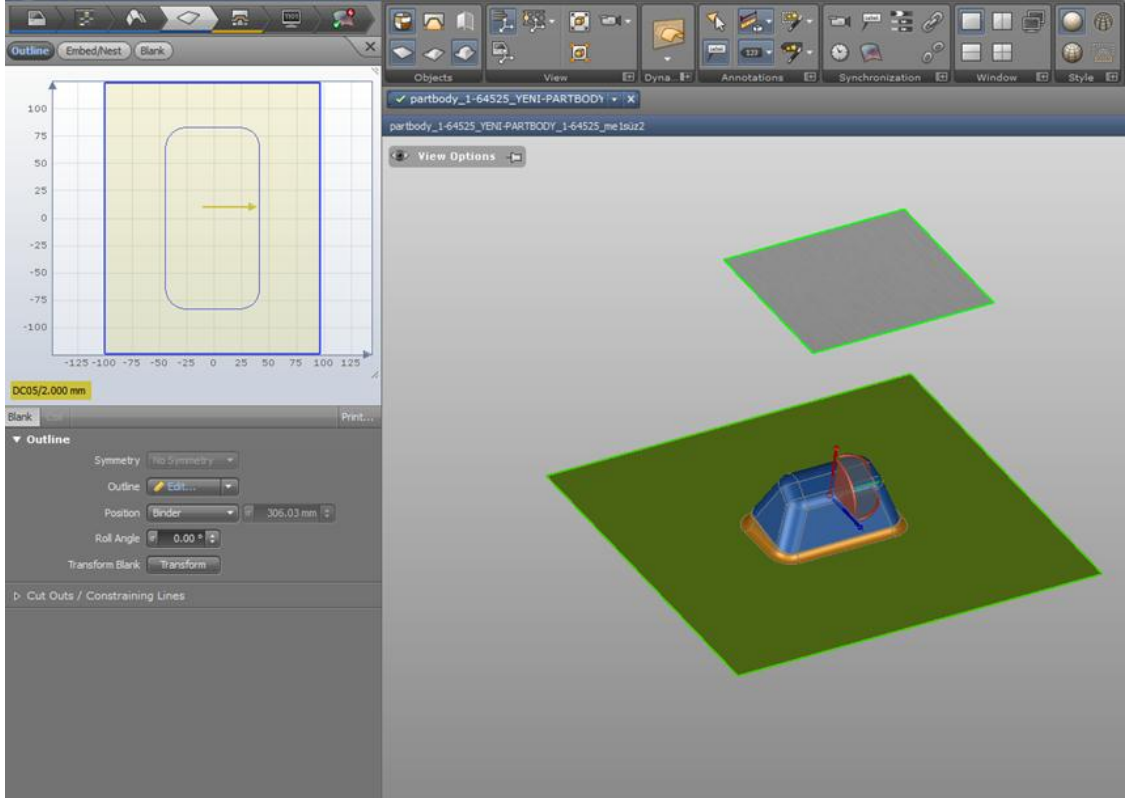
Lazer kesim operasyonundan dolayı parça ve çekme yüzeyi arasında pay verilmiştir. Geçiş yüzeyinin parça çekme formuna etkisinin en iyi yönde olması için en iyi deneme yapılmıştır. Geçiş büküm değerlerinin belirlenmesi, geçiş tiplerinin belirlenmesi istenilen kalıp yüzeyi, geçiş formu gibi değerlere göre değiştirilebilmektedir.



Şekil 5.15: Çekme yüzeyinin oluşturulması.

5.3.10 Parça Açınım Ölçülerinin Belirlenmesi

Form verilmiş modelin açınım ölçülerinin hesaplanıp ön maliyet ve kesim alanının belirlenmesi sağlanır. Parçanın en uygun dış ölçüsü belirlenmiştir.

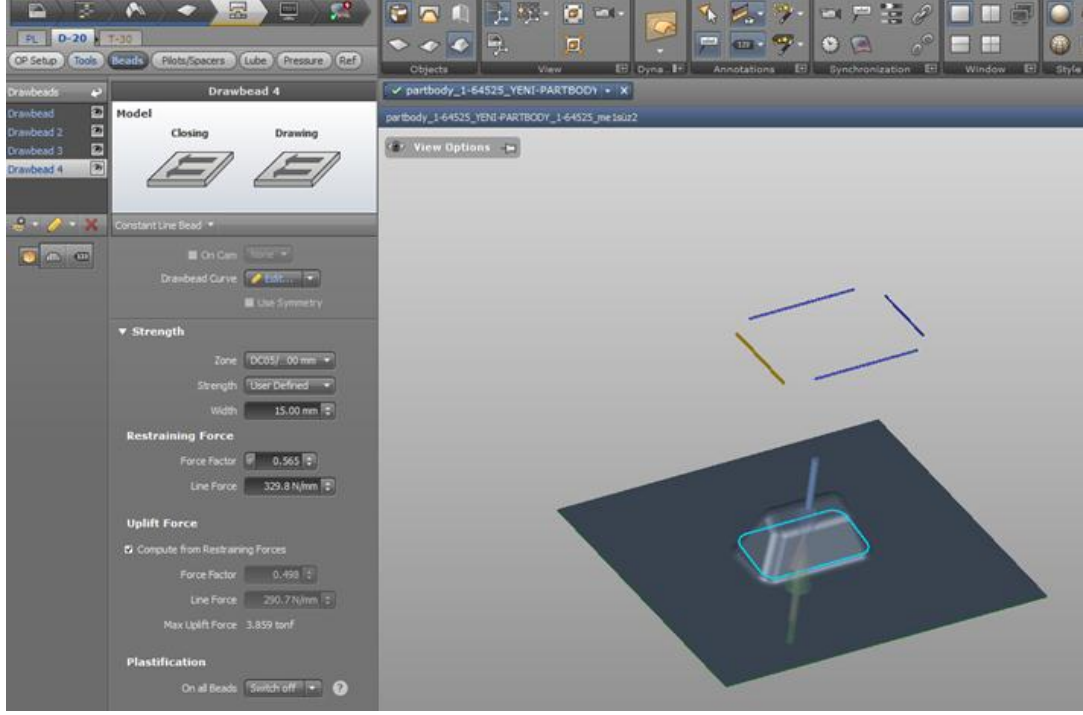


Şekil 5.16: Açınım ölçülerinin belirlenmesi.

Sacın hadde yönü analiz için ve operasyon için çok önemlidir. Analizi etkileyen bu bilginin değişimi sağlıklı analiz yapmak için önemli bir faktördür. Hadde yönün değiştirilemediği durumda şablon içinde değişim yapılarak form verme operasyonu için uygun şartlar sağlanmış olmaktadır.

5.3.11 Kalıpların Tanımlanması

Tanımlaması yapılan proses bilgilerine göre parçanın imalat işleminin analiz programına tanımlanmıştır. Derin çekme ve kesme işlemine göre tanımlanan kalıpların operasyon sırasında istenilen bilgileri belirlenerek ön görülen bölgelere süzdürme çubukları eklenmiştir. Kesim operasyonunda kalıp yada lazer kesim olacağı belirtilerek analiz kısmına geçilmiştir.

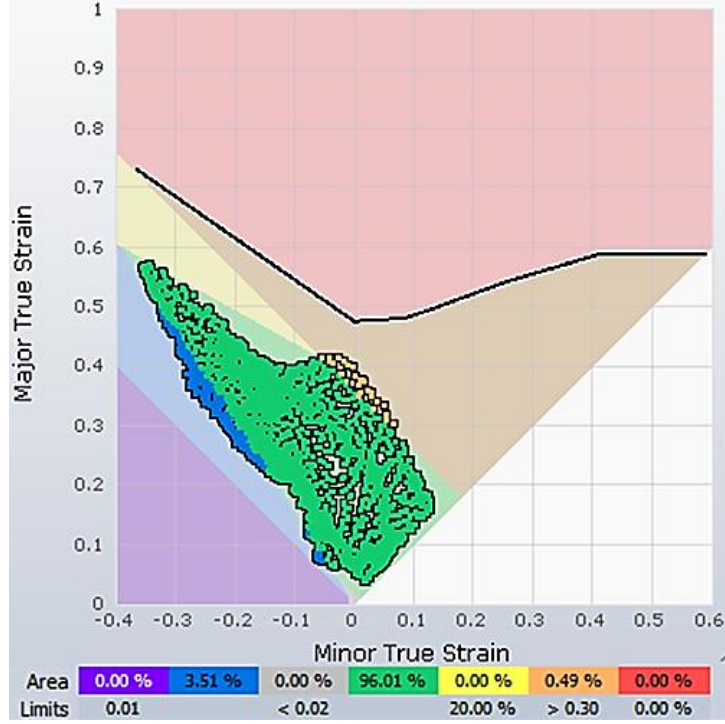


Şekil 5.17: Süzdürme çubuklarının konumlandırılması.

5.3.12 Analiz Çözüm Kalitesinin Belirlenmesi

Belirlenen analiz adımlarına göre aynı malzeme kalınlığına sahip iki farklı malzeme için aynı operasyon ve kalıp yapısı ile derin çekme analizi ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Analiz programının vereceği sonucun uygulamaya en fazla yakınsama yapması için FV kalite çözümleme yapılmıştır. CE en kısa yoldan sonucun gözükmesini sağlar ancak bu değerler güvenilir değildir. CE+ orta kademe analiz sonucu olarak görülür. FV en kaliteli ve doğru sonuç için kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarında görmek istediğimiz parametreler de seçilmelidir. Bu değerler analiz sürecini etkilemektedir. Yapılan analizde tüm sonuçların kontrol edilmesi sağlanmıştır. Parçanın analiz sonucu incelenmeye başladığında FLD diyagramı referans alınmıştır ve analizler bu grafik eşliğinde yönlendirilmiştir. En fazla parça gerilmesi ve en az gerilme tablosu ile analiz değerlendirilmiştir.



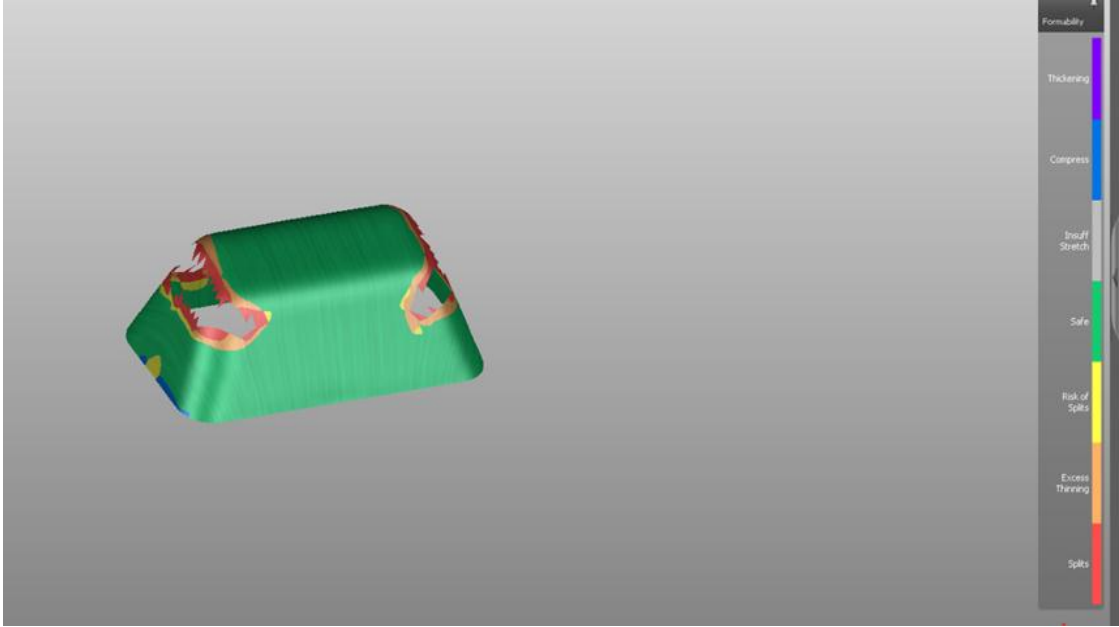
Şekil 5.18: Analiz FLD diyagramı.

Sac parça çekilmeye başladığında incelme bölgesinden uzaklaşarak ters tarafından kısımla olmaktadır. Uzama Majör kısmında kısımla minör kısmından incelenmektedir. Diyagramdan kalınlık bilgisi de incelenmektedir. FLD diyagramında bu bilgiler gösterilir. FLD diyagramında gösterilen siyah eğri Plastik deformasyon eğrisidir. Eğer bu eğrinin üstünde kalan kısım olur ise parçada yırtılma olduğunu göstermektedir. Plastik gerilim çıktısı da bu verilerin tamamlanmasında önemli rol oynamaktadır. Analizde kabul edilen limit değerimiz %3 tür. Bu değerin altında olan bölgeler yeterince gerilememiş olarak kabul edilir ve form almadığını belirtir. Form alma değeri incelendiğinde renklendirme yapılan kısımda gözükürken gri bölgelerin ne kadar etkili olup parçanın gerilmesi ve form almasının ne kadar etkili olduğunun inisiyatifini almada bu bildirim kullanılır. Analiz sonucunda gösterilen renklendirme parça ile ilgili bilgileri göstermektedir ve renk anlamları;

- Mor bölge: Kalınlaşma riski olan bölgedir.
- Mavi bölge: Kırışma riski olan bölgedir.
- Kırmızı Bölge: Yırtılma olan bölgedir.
- Turuncu Bölge: Yırtılma riski olan bölgedir.
- Sarı Bölge: İncelme riski var
- Gri bölge: Yeterli gerilim olmayan bölgedir.

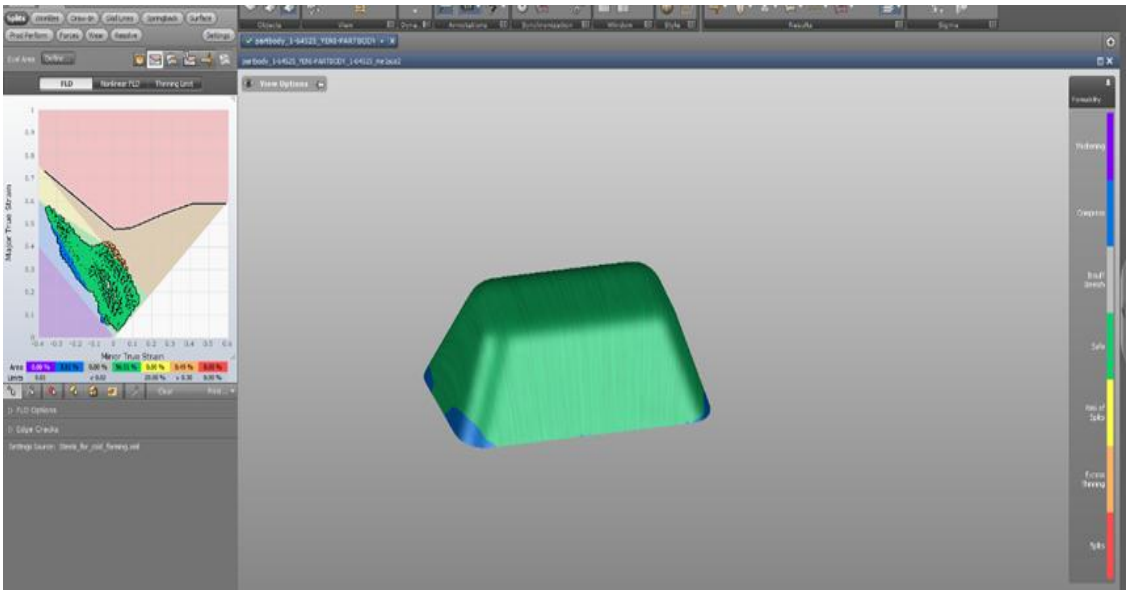
➤ Yeşil bölge: Güvenli olan bölgelerdir.

DC 03 malzeme ile yapılan analiz sonucunda parça üzerinde yırtılmalar, incelmeler mevcuttur. Parça kalınlığı incelendiğinde üretim ve malzeme için uygun değerler oluşmamaktadır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: DC03 malzeme analiz sonucu.

Aynı değerler kullanılarak DC 05 malzeme ile yapılan analiz sonucunda parçanın form alabilirliği ve operasyonlar sonrası çıktıları üretim için uygun değerleri karşılamaktadır (Şekil 5.20).

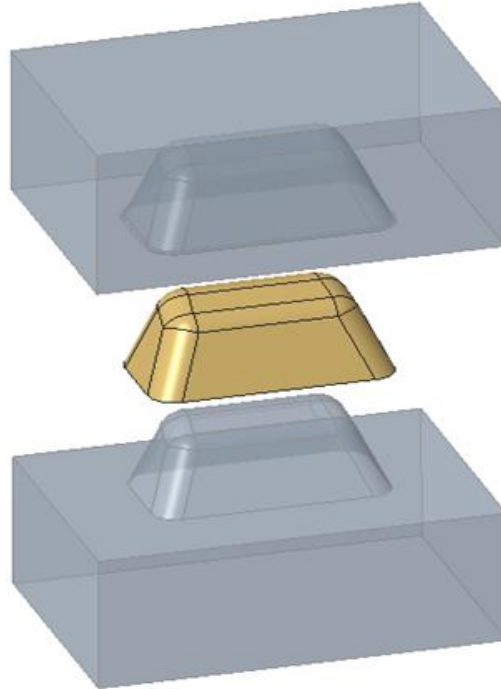


Şekil 5.20: DC05 malzeme analiz sonucu.

Sonuçların üretim ile karşılaştırması yapılarak incelenmiş ve analizlerin doğruluğu Kabul edilmiştir. Aynı kalıp şartları altında 2 farklı malzemenin aynı şartlar altındaki yapısal farklılar sonucu form alabilirliğinin farklı olduğu deneysel olarak belirlenmiştir.

5.3.13 Kalıp Elemanlarının 3 Boyutlu Modellenmesi

Kalıp elemanların modellenmesi CREO paket programı kullanılarak elde edilen katı model parça resimlerinin yüzey modellemeye çevrilmesi, “.step” uzantılı olarak kaydedilmesi ve AUTOFORM analiz programında açılmasıyla sağlanmıştır. Sac malzemenin modellenmesi esnasında; kalıba ait, kalıp boyutları, zımba kavisli, kalıp kavisli, çekme derinliği, kalıp boşluğu gibi bütün özellikler göz önüne alınmıştır. Sac parçaya ait modeller bu şekilde hazırlanıp yüzey modelleme komutlarıyla yüzeye çevrildikten sonra “.iges” uzantılı olarak kaydedilmiştir. AUTOFORM paket programında oluşturulmuş olan modeller çağrılmıştır. Koordinat sistemi olarak CREO koordinatları kullanılmıştır.



Şekil 5.21: Basit kalıp modellemesi.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Modellemesi ve analizi yapılan parçanın analizden çıkan veriler ile birleştirilerek kalıp imalatı gerçekleştirilmiştir. Çift etkili hidrolik preste uygulama yapılmıştır. Kalıp imalatında 4140 ıslah çeliği kullanılmıştır. 4140 ıslah çeliği Krank mili, krank kolları, aks mili ve kovan gibi süneklik değeri yüksek olan parçalarda, otomobil ve uçak yapımında, dişli ve çark yapımında, inşaat ve ziraat makinalarında, takım tezgahlarında, cıvata, somun ve saplama gibi benzeri parçalarda kullanılır. Aynı zamanda yüzey sertleştirmeye uygun bir malzemedir. Yüksek tokluk özelliği gösteren bir çeliktir.



Şekil 6.1: İmalatta kullanılan çift etkili hidrolik pres [49].



Şekil 6.2: Kalıbın prese bağlanması.



Şekil 6.3: Derin çekme işleminde kalıp görüntüsü.



Şekil 6.4: DC03 malzeme üretim sonucu.



Şekil 6.5: DC05 malzeme üretim sonucu.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sac metal şekillendirme yöntemlerinden derin çekme metodunun deneysel ve sayısal incelemesi yapılmıştır. Aynı kalınlık, kalıp ve operasyon ile farklı malzeme yapısındaki parçanın derin çekilmesi sonucu ortaya çıkan sonuçlar incelendi ve karşılaştırılmıştır. Deneylerde derin çekme prosesinde yağın olarak kullanılan DC03 ce DC05 sac malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin şekillendirilebilirlik ve çekme değerlerinin tanımlanması için deney yapılmıştır ve ortaya konan değerler kullanılmıştır. Deney örneklerinin fiziksel özellikleri sabit tutularak, malzeme özelliği değiştirilmiştir. DC03 ve DC05 deney örneği form alabilme, inceme değerlerine göre Autoform yazılımı analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. DC03 otomotiv sacının mekanik özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla Çekme Testi ve Erichsen Testi yapılmıştır. Çekme testinde akma mukavameti 182,19 MPa, çekme dayanımı 301,27 MPa olarak bulunmuştur. Şekil değiştirme sertleşmesi üssü 0,21 olarak elde edilmiştir.
2. DC05 otomotiv sacının mekanik özelliklerinin ve ŞSD'nın tespit edilmesi amacıyla Çekme Testi ve Erichsen Testi yapılmıştır. Çekme testinde akma mukavameti 176,5 MPa, çekme dayanımı 296,2 MPa olarak bulunmuştur. Şekil değiştirme sertleşmesi üssü 0,20 olarak elde edilmiştir.
3. Sac malzeme üzerinde oluşan bu çizgi ve kırışıklıkların, malzemelerin çekilebilirliklerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır.
4. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme değişkenlerinin, sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizler ile elde edilen veriler karşılaştırıldığında, modelle ile deneylerin uyduğu görülmektedir.
5. Sac malzemenin hadde yönü ile analizlerde belirtilen hadde yönü incelenmiş ve hadde yönüne direkt etki ettiği gözlemlenmiştir.

Sonlu elemanlar analizi için geliştirilen bu modellerin, tecrübe ile imalata geçiş sırasında ön görülemeyen hataların ve geliştirmelerin daha önceden belirlenerek operasyonun ve modellerin üretime geçmeden önce, pratik

uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür. Zaman tasarrufu, maliyet iyileştirmeleri ve hata olasılığının azalmasını sağlayacaktır.

- ✓ Süzdürme çubuğu, sac parçanın daha fazla gerilmesini sağlayarak parçanın istenilen form almasını sağlamıştır.
- ✓ Yırtılma ve kırışıklık oluşması öngörülen bölgeler için düzenleme yapılarak parçanın üretim esnasında ortaya çıkabilecek olan hataların önüne geçilmiştir.
- ✓ Malzeme yapısının çekme operasyonuna direk etki ettiği belirlenmiştir.
- ✓ Hadde yönünün operasyona etki ettiği görülmüştür.

Sac-metal kalıpcılığında maliyeti etkileyen en önemli faktörün malzeme maliyeti olduğu görülmüştür. Proses esnasında uygulanacak olan operasyon değerlerinin deneme yanılma yöntemi ile belirlenmesi hata yapma olasılığının artmasına dolayısı ile para ve zaman kaybına yol açmaktadır. Uygulanacak olan işleme en uygun değerlerin önceden belirlenebilmesi ve bu parametreler yardımı ile elde edilecek sonuçlara ilişkin tahminlerin görülmesi hata yapma olasılığını en aza indirerek para ve zaman kaybını en aza indirecektir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan bütün çekme parametrelerinin, sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analizleri sonucunda, çekme deneyleriyle ölçülen çekme kuvvetleri, çekme oranları ve et kalınlıklarındaki değişimlerin, geliştirilen modelle hesaplanan değerler ile çok yakın olduğu belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için geliştirilen bu modellerin, pratik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür. Kullanılan analiz programlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, AutoForm yazılımının diğer yazılımlara oranla malzeme özelliklerine ve et kalınlığındaki değişim oranlarına bağlı olarak oluşan deformasyonlara kullanıcı müdahalelerine daha fazla müsaade ettiği, çekme parametrelerinin seçiminde ise daha pratik ve kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır.

8. KAYNAKLAR

- [1] Koçar, O., Karayel, D., Eldoğan, O. “Tersine Mühendislik Yaklaşımı Kullanarak Sac Metalin Şekillendirme Sınır Diyagramının Belirlenmesi”, *Akademik Platform*, 538-547, (2013).
- [2] Uğur, A., “Metal Sacların Şekillendirilmesinin Bilgisayar Yöntemiyle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, (2012).
- [3] Tuncel, S., Ari, N. and Yoleri, B. (2017). *Dünya'da ve Türkiye'de Demir*. Ankara.
- [4] "Demir ve çelik üretiminin kısa bir tarihçesi [online]", (10 Aralık 2018), <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/86/demir-ve-celik-uretiminin-kisa-bir-tarihcesi.html>.
- [5] Budak, B. (2018). *Sektörel Görünüm: Makine*. Ankara: Makine İmalat Sanayii Dernekleri Federasyonu.
- [6] "Dünya Ham Çelik Üretimi [online]", (10 Haziran 2019), <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/2016-yilinda-dunya-ham-celik-uretimi-08-oraninda-artti-793.html>
- [7] Akkurt, M. (2006). *Makine Bilgisi*. Ankara: Birsen Yayınevi.
- [8] Gün, B., “Sıvama Yöntemleri ve Sıvama Makinası Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, (2007).
- [9] Çelebi, S., “İmalat işlemleri ders notu [online]”, (10 Ocak 2019), http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/77897/30766/imalat_i%C5%9Flemleri_1.pdf, (2015).
- [10] Kapti, A. O., “Kalıpcılık tekniği ders notu [online]”, (1 Şubat 2019), <http://docplayer.biz.tr/6609936-Kalip-turleri-sakarya-universitesi-makine-disligi-bolumu-kalipcilik-teknigi-ders-notu-doc-dr-akin-oguz-kapti-soguk-yoluklu-cold-runner.html>.
- [11] Gülmez, T. (2011). *İmalat usulleri ders notu*. İstanbul.

- [12] "Yuwe ZM50 universal torna tezgahı [online]", (5 Şubat 2019), <https://www.tezmaksan.com.tr/yuwe-zm50-universal-torna-tezgahi-urundeta-y-784>.
- [13] Cerit, A. A., "Plastik şekil verme yöntemleri ders notu [online]", (2 Mart 2019), <https://docplayer.biz.tr/11082690-Uretim-yontemleri-ve-imalat-teknojojileridokum-yontemleri-doc-dr-fehmi-nair-erciyes-universitesi-makine-muhendisligi-bolumu.html>.
- [14] Marciniak, Z., Duncan, J. L. and Hu, S. J. (2002). *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Oxford : Butterworth-Heinemann.
- [15] Erhuy, C. G., "Soğuk Haddelenmiş Düşük Karbonlu Çelik Sacların Şekillendirilebilirlik Özelliği ve Mekanik Karakteristikleri,", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı , İstanbul, (2001).
- [16] Yenice, M., "Bükme ile Şekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2006).
- [17] Schey, J. E. (1999). *Introduction to Manufacturing Processes 3rd ed.* New York: McGraw-Hill Education.
- [18] Wang, J., Verma, S., Alexander, R. "Springback control of sheet metal air bending process", *Journal of Manufacturing Processes*, 10 (1), 21-27, (2008).
- [19] Turan, S. E., "Düz Kenar Bükme ve Döner Kalıpla Kenar Bükme İşlemlerinin Geri Yaylanma Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).
- [20] Lange, K. (1985). *Handbook of Metal Forming*. New York: McGraw-Hill.
- [21] Tunplåt, A. B. (1996). *Sheet Steel Handbook: Design and Fabrication in High Strength Sheet Steel*. Göteborg: SSAB Tunplåt AB.
- [22] Suchy, I. (1998). *Handbook of Die Design*. McGraw-Hill Education.
- [23] Karataş, E., "Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sac Metalin Büküm Şekillerine Göre Deformasyonunun İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, (2009).
- [24] Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). *CNC Abkantta Bükme*. Ankara.

- [25] Gürün, H., “Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Bulanık Mantık ile Tahmini”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, (2008).
- [26] "CDCS P81 Serisi [online]", (17 Mart 2019), <http://www.dirinler.com.tr/c-tipi-eksantrik-presler/cdcs-p81-serisi#gallery-1>.
- [27] Ataşımşek, S. (1977). *Sac Metal Kalıpcılığı- Özel Basım*. Bursa: Milli Eğitim Yayınevi.
- [28] Kahraman, M., “Levha Malzemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Geri Esnemesinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2008).
- [29] "Tasarımdan seri imalata geçiş [online]", (2 Nisan 2019), <https://www.autodesk.com/>.
- [30] "Forming Suite [online]", (13 Nisan 2019), <http://www.netformmetal.com/yazilimlar/fti-formingsuite>, (2016).
- [31] "Metal şekillendirme [online]", (30 Nisan 2019), <https://bias.com.tr/12/31/metal-sekillendirme/dynaform-sac-sekillendirme.php>.
- [32] "Autoform [online]", (21 Mart 2019), <http://www.grupotomasyon.com.tr/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=4&id=56&id2=299>.
- [33] Wang, C., Kinzel, G., Altan, T., “Process simulation and springback control in plane strain sheet bending”, *Sheet Metal and Stamping Symposium*, SAE Special Publications, OH., USA 1993.
- [34] Yuan, W. Y. D., “Generalized solution for the prediction of Springback in laminated strip”, *Journal of Materials Processing Technology*, 61 (3), 254-264, (1996).
- [35] Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., Micari F., “The evaluation of springback in 3D stamping and coining processes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 108-112, (1998).
- [36] Zhang, L., Shi, M.F., “Issues Concerning Material Constitutive Laws and Parameters in Springback Simulations”, *International Congress & Exposition*, United States, 1999.
- [37] Yang, M., Manabe, K. I., and H., N., “Development of real-time process control system for precision and flexible V-bending with an on-line database”, *J. Mater. Process Technol.*, 60 (1), 249-254, (1996).

- [38] Arslan, B., “Geri Esnemenin Sac Parçaları Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).
- [39] Narasimhan, N., and Lovell, M., “Predicting Springback in Sheet Metal Forming: An Explicit to Implicit Sequential Solution Procedure”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 33 (1), 29-42, (1999).
- [40] Chou, I., Hung C., “Finite Element Analysis and Optimization on Springback Reduction”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39 (3), 517-536, (1999).
- [41] Esat, V., Darendeliler, H., Gokler, M.I., “Finite element analysis of springback in bending of aluminium sheets”, *Materials and Design*, 23 (2), 223-229, (2002).
- [42] Chan, W. M., Chew, H.I., Lee, H.P., Cheok, B.T., “Finite element analysis of spring-back of V-bending sheet metal forming processes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148 (1), 15-24, (2004).
- [43] Xu, W. L., Ma, C. H., Li, C. H. “Sensitive factors in springback simulation for sheet metal forming”, *Journal of Materials Processing Technology*, 151 (3), 217-222, (2004).
- [44] Ling, Y. E., Lee, H. P., and Cheok, B. T., “Finite element analysis of springback in L-bending of sheet metal”, *Journal of Materials Processing Technology*, 168 (2), 296-302, (2005).
- [45] Meinders, T., Burchitz, I. A., Bonte, M. H. A., “Numerical Product Design: Springback Prediction, Compensation and Optimization”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48 (5), 499-514, (2008).
- [46] Asgari, S. A., Pereira, M., Rolfe, B.F., Dingle, M., Hodgson, P.D., “Statistical Analysis of Finite Element Modeling in Sheet Metal Forming and Springback Analysis”, *Journal of Materials Processing Technology*, 203 (1-3), 129-136, (2008).
- [47] Yu, H. Y., “Variation of elastic modulus during plastik deformation and influence on springback”, *Materials and Design*, 30 (3), 846-850, (2009).
- [48] Özdemir, A., “Sac metal ürünlerde geri esneme miktarının deneysel ve sonlu elemanlarla tespiti, yapay sinir ağlarıyla tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,
Ankara, (2010).

- [49] "Deep drawing presses [online]", (10 Ocak 2019), <http://www.hursanpres.com.tr/en/hidrolik-derin-cekme-presi-7765-24p.htm>.

EKLER

9. EKLER

EK A. DC03 Malzeme Özellikleri

| BORÇELİK ÇELİK SANAYİ TİCARET A.Ş. | | TEST SERTİFİKASI | | | | | | | | | | | | | | Sertifika No : 32960 | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------------------------------------|----------|--------|-----------------------|------------------|------------------|-------------|---------------|--------------------|--------------|------|------|---------|------------|----------------------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ata Mah. 125 Nolu Sokak No: 1 16601 Gemlik-Bursa/TURKEY Phone No:30-224-2804000 FaxNo:30-224-5130130 | | İlgili Test Standı EN 10204 3.1 | | | | | | | | | | | | | | Sipariş No : | | | | | | | | | |
| MÜŞTERİ : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÜRÜN TANIMI | | | | | | | | | | MEKANİK ÖZELLİKLER | | | | | | | | KİMYASAL ANALİZ | | | | | | | |
| No | Bobin / Levha No | Döküm No | Standart | Kalite | Net Tonaj (Ton) | Kalınlık (mm) | Genişlik (mm) | Boy (mm) | Akma N/mm2 | Çekme N/mm2 | Uzama (%) | r | n | Sertlik | Test Açısı | %C | %Si | %S | %P | %Mn | %Al | %Cr | %Ni | %Ti | %Nb |
| 1 | - | 1303850 | EN 10130 | DC03 | 13,470 | 2.00 | 1430.0 | 0,0 | 221 | 311 | 38,0 | 2,43 | 0,19 | 48 HRB | 90 | 0,0014 | 0,0120 | 0,0082 | 0,0140 | 0,1150 | 0,0470 | 0,0160 | 0,0070 | 0,0400 | 0,0001 |
| | | | | | total: 13,470 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * Test Açısı : -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Görsel ve Ebatsal OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Bend Test : OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * Bu Sertifika ile yukarıda verilen Değerlerin Doğruluğunu ve Standartlara uygunluğunu teyit ederiz. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

BORÇELİK Form No: F30.15-46 Rev.: 1

