

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAMAK DÖKÜM KALIBINDA GELİŞTİRME VE ÜRÜN ANALİZLERİ

İHSAN GÖKHAN ALAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muhammet Murat Tahir ALTINBALIK

EDİRNE-2025

İHSAN GÖKHAN ALAN'ın hazırladığı “ZAMAK DÖKÜM KALIBINDA GELİŞTİRME VE ÜRÜN ANALİZLERİ” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği**. Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):

İmza

Prof. Dr. Muhammet Murat Tahir ALTINBALIK

.....

Prof. Dr. Yılmaz ÇAN

.....

Doç Dr. Ümit HÜNERLİ

.....

Tez Savunma Tarihi: 08/01/2025

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Muhammet Murat Tahir ALTINBALIK

Tez Danışmanı

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....
Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

08/01/2025

İhsan Gökhan ALAN

İmza

Yüksek Lisans Tezi

ZAMAK DÖKÜM KALIBINDA GELİŞTİRME VE ÜRÜN ANALİZLERİ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Günümüzde büyük firmalar, seri üretim sırasında çeşitli yöntemler izlemektedirler. Bu yöntemlerden birisi de zamak döküm ile parça imalatıdır. Daha çok orta kayıt, cam ve kapı sektöründe bulunan, yerine göre küçük yerine göre hacimli parçaların üretimi için tercih edilen bir yöntem çeşitidir.

Döküm sırasında parçaların belirlenen geometrilerinin elde edilebilmesi için, belirlenen teknik ölçüler üzerinden kalıp imalatları gerçekleştirilmektedir. Yapılan kalıplar ilk olarak deneme aşamasına girmekte ve test edilmektedir. Kalıptan çıkan ürünler gerekli şartları yerine getirdiği takdirde seri üretime başlamaktadır. Fakat bazı kalıplarda bazen tasarımsal, duruma göre fiziksel, çevresel ve buna benzer etmenlerden dolayı hatalar ortaya çıkabilir. Bu tez çalışmasında üretim parkurunu yavaşlatan ve parça geometrisinden dolayı sıkıntı oluşturan bir ürün ele alınmıştır. İlk olarak parçanın üzerinde yapılacak olan değişikliklere karar verilmiştir. Belirlenen parametreler üzerinden parçanın eski hali ile yeni halinin karşılaştırılması analiz programları yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Ürünün ve kalıbın optimizasyonu sağlanmıştır.

Yıl : 2025

Sayfa Sayısı : 125

Anahtar Kelimeler : Yüksek basınçlı döküm, Zamak, Sıcak kamaralı sistem, CAD, Isıl işlem, Korozyon.

Master Thesis

IMPROVEMENT of ZAMAC DIE CAST MOLDS AND PRODUCT ANALYSIS

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

Today, large companies follow various methods during mass production. One of these methods is the production of parts with zamak die casting. It is a type of method preferred for the production of parts that are mostly in the middle register, glass and door sectors, and which are small compared to their places, but rather bulky.

In order to obtain the determined geometries of the parts during casting, mold manufacturing is carried out over the determined technical dimensions. The molds made first enter the trial phase and are tested. If the products coming out of the mold meet the necessary conditions, mass production starts. However, in some molds, errors may occur due to design, depending on the situation, physical, environmental and similar factors. In this thesis, a product that slows down the production track and causes problems due to part geometry will be discussed. First, the changes to be made on the part were decided. The comparison of the old and new state of the part over the determined parameters was carried out with the help of analysis programs. Optimization of the product and the mold was achieved.

Year : 2025

Number of Pages : 125

Keywords : High pressure die casting, Zamac, Hot chamber system, CAD, Heat treatment, Corrosion.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez aşamasının başladığı günden itibaren yanımda bulunan ve bu süreçte hiçbir konuda yardım etmekten çekinmeyen, engin bilgilerini bana samimiyet ve saygı doğrultusunda etik bir şekilde aktaran, beni titizlikle yönlendiren saygı değer danışman hocam Sn. Prof. Dr. Muhammet Murat Tahir ALTINBALIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel uygulamalarımda her türlü imkanından faydalandığım ve halen bünyesi içerisinde çalışmaktan gurur duyduğum İNTER-PLAST PLASTİK DOĞRAMA AKSESUARLARI SAN.VE TİC. A.Ş sahibi Hakan ÜNDEŞ'e, tez çalışmalarını sahada ve bilgisayar ortamında gerçekleştiren bana her türlü yardımı sağlayan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen kalıphane müdürü Mustafa ÖĞMEN'e ve her türlü desteği sağlayan Satılmış Altın'a teşekkürleri borç bilirim.

Son olarak, yalnız bu çalışmamda değil, hayatımın her alanında daima desteğini gördüğüm ve benim için hiçbir fedakarlığı yapmaktan bir an olsun geri durmayan aileme sonsuz minnet ve şükranlarımla...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. Talaş Kaldırma Yöntemi ve Talaşlı İmalat	1
1.1.1. Delme	1
1.1.2. Freze	2
1.1.3. Torna	2
1.2. Aşındırıcı işlemler	2
1.3. Plastik Şekli Verme.....	2
1.3.1. Kütle Deformasyon Yöntemi	3
1.3.1.1. Dövme	3
1.3.1.2. Haddeleme.....	3
1.3.1.3. Ekstrüzyon	3
1.3.1.4. Çekme	4
1.4 Levha Biçimlendirme Yöntemi.....	4
1.4.1. Kesme.....	4
1.4.2. Eğme Bükme.....	4
1.4.3. Derin Çekme	5
1.5. Kaynak	5
1.6. Döküm.....	5
BÖLÜM 2	7
DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	7
2.1. Harcanabilir Kalıp Yöntemleri.....	7
2.1.1 Kum Kalıba Döküm	7
2.1.2. Hassas kalıba döküm.....	9
2.1.3. Alçı Kalıba Döküm	10
2.2. Harcanamaz (Sürekli) Kalıp Yöntemleri	11
2.2.1. Kokil Kalıba Döküm	11

2.2.2. Savurma (Santrifüj) Döküm.....	12
2.2.3. Yüksek Basınçlı Döküm	13
2.2.3.1. Yüksek Basınçlı Döküm İşlem Adımları	15
BÖLÜM 3	21
YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM MAKİNELERİ	21
3.1. Sıcak Kamara Döküm Makineleri.....	22
3.2. Soğuk Kamara Döküm Makineleri	24
3.3. Yüksek Basınçlı Dökümde Alaşımların Teorik Katılaşması	25
3.3.1. Heterojen Çekirdeklenmeye Sahip Alaşımlar	25
3.4. Kalıp Boşluğu Dolma Süresi.....	25
3.5. Kalıp Boşluğu Hacmi.....	26
3.6. Erimiş Sıvının Dolma Akış Hızı	26
3.7. Yolluk Girişleri	26
BÖLÜM 4	28
YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM MALZEMESİ OLARAK ZAMAK	28
4.1. Alaşımlar ve Üretim Teknolojileri	30
4.2. Mikroyapılar.....	32
4.3. Pencere Sektöründe Zamak Alaşımının Yeri.....	32
BÖLÜM 5	35
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	35
BÖLÜM 6	40
ZAMAK ENJEKSİYON KALIP ELEMANLARI.....	40
6.1. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığın Tanımı.....	40
6.1.1. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Sınıflandırılması	40
6.1.2. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Avantajları	41
6.1.3. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Dezavantajları.....	41
6.2. Metal Enjeksiyon Kalıp Elemanları	41
6.2.1. Dışı Taraf Bağlantı Çeliği	42
6.2.2. Dışı Çelik	42
6.2.3. Yolluk.....	43
6.2.4. Ana Yolluk Flanşı	43
6.2.5. Dışı Lokma.....	43
6.2.6. Soğutma Kanalları.....	43
6.2.7. Kolon.....	44
6.2.8. Erkek Plaka	44
6.2.9. Erkek Lokma.....	44

6.2.10. İtici Pimleri	44
6.2.11. Geri İtici Pimleri	44
6.2.12. Yuvarlak Destekler	44
6.2.13. Yaylar	45
6.2.14. Erkek Arka Plaka	45
6.2.15. Burçlar	45
6.3. Yolluk Kavramı	45
6.3.1. Yolluk Tasarımı	48
6.3.2. Yolluk Çeşitleri	48
6.3.2.1. Kenar Fan Yolluk	48
6.3.2.2. Disk Yolluk	49
6.3.2.3. Halka Yolluk	49
6.3.2.4. Tünel Yolluk (Muz Yolluk)	50
6.3.2.5. Yolluk Çekicilerinin Sayısı ve Yerleşimi	52
6.4. Hava Cepleri	53
BÖLÜM 7	55
REVİZYON ÇALIŞMALARI	55
7.1. Revizyon Çalışmaları ve Amaçları	55
7.2. Revizyonlu Kalıp Tasarımı ve Orjinal Kalıp ile Karşılaştırılması	56
7.2.1. Duvar Kalınlığının İnceltilmesi Amacıyla İtici Taraf Çekirdeği Revizyonu	56
7.2.2. Maça Pimleri Revizyonu	58
7.2.3. Üründe Meydana Gelen Deformasyonların Giderilmesi Amacıyla Tırnak Kısımlarında Yapılan Revizyon	61
7.3. Revizyonlu Kalıp Parçalarının Tasarımı	63
7.3.1. Ocak Tarafı	63
7.3.1.1. Ocak Tarafı Çekirdeği	64
7.3.2. İtici Tarafı	65
7.3.2.1. İtici Pim Plakası	65
7.3.2.2. İtici Tutucu Plaka	65
7.3.2.3. Yeşil Yaylar	66
7.3.2.4. Yuvarlak Destekler	66
7.4. Revizyonlu Kalıp İmalatı	67
7.4.1. Kalıp Çeliğinin Seçilmesi	67
7.4.2. Çeliğe Uygulanacak Olan İşlemler	67
7.4.2.1. Kalıp Çeliğinin Taşlanması	68

7.4.2.2. Kalıp Çeliğinde Bağlantı Elemanlarının Delikleri Delinmesi	68
7.4.2.2.1. Rayba	68
7.4.2.2.2. Freze	69
7.4.2.2.3. CNC Freze.....	70
7.4.2.1.4. Dalma Erozyon.....	70
7.4.3. Ocak Tarafı İmalatı	72
7.4.3.1. Ocak tarafı çeliği imalatı.....	72
7.4.3.2. Ocak tarafı çekirdeği imalatı	73
7.4.4. İtici Taraf İmalatı	73
7.4.4.1. İtici Taraf Çeliği İmalatı.....	74
7.4.4.2. İtici taraf Çekirdeği İmalatı	75
7.4.4.3. Maçaların İmalatı	75
7.4.4.4. İtici Plakası – İtici Destek Plakası İmalatı	76
7.4.4.5. Erkek Parça İmalatı	76
7.4.4.6. Yuvarlak Destekler.....	77
7.4.4.7. Yeşil Yay.....	77
BÖLÜM 8	79
SONUÇLAR	79
8.1. Duvar İnceltme Revizyonu Sonuçları	79
8.1.1. Duvar İnceltme Revizyonunun Ekonomik Sonuçları	80
8.1.2. Duvar İnceltme Revizyonunun Mekanik Sonuçları	80
8.2. Maça Pimleri Revizyonu.....	90
8.3. Tırnak Kısımlarında Yapılan Revizyona Ait Sonuçlar	91
8.4. Duvar Revizyonu Karşılatırmalı Gösterimi	98
8.5. Tırnak Revizyonu Karşılatırmalı Gösterimi.....	100
BÖLÜM 9	102
TARTIŞMA	102
KAYNAKLAR	104
EKLER.....	108
EK A	108
İZİN VE TAAHHÜT BELGESİ.....	108
ÖZGEÇMİŞ	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	: Santigrad Derece
g / cm ³	: Gram / santimetre küp
g	: Gram
mm ²	: Milimetre kare
mm ³	: Milimetre küp
cm / m	: Santim / metre
N / mm ²	: Newton / milimetre kare
J	: Joule

Kisaltmalar

HPDC	: High Pressure Die Casting
BHN	: Brinell sertlik değeri
CAD	: Computer Aided Drawing
CAM	: Computre Aided Manufacturing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kum Kalıba Döküm	9
Şekil 2.2. Hassa Kalıba Döküm	10
Şekil 2.3. Kokil Kalıba Döküm	12
Şekil 2.4. Savurma (Santrifüj) Döküm	13
Şekil 2.5. Yüksek Basıncılı Döküm Makinesi.	16
Şekil 2.6. Tipik Bir Soğuk Oda HPDC Döngüsü.	17
Şekil 2.7. Yükek Basıncılı Döküm Grafiği	18
Şekil 2.8. Yüksek Basıncılı Döküm Etmenleri	19
Şekil 3.1. Soğuk kamara enjeksiyon makinesi.....	21
Şekil 3.2. Sıcak Kamara Döküm Makinesi.....	23
Şekil 4.1. Çinko – Alüminyum faz diyagramı	31
Şekil 4.2. Zamak Külçesi	34
Şekil 6.1. Metal Enjeksiyon Kalıp Elemanları.....	42
Şekil 6.2. Yolluk Kısımları	46
Şekil 6.3. Geri Çekişli Yolluk.....	47
Şekil 6.4. Kenar Fan Yolluk	48
Şekil 6.5. Şemsiye Yolluk Girişi 90°'lik Açılı.....	49
Şekil 6.6. Halka Yolluk.....	50
Şekil 6.7. Tünel Yolluk.....	50
Şekil 6.8. Sivri Konik Tünel Tünel Kapısı	51
Şekil 6.9. Parçada Muz Yolluk	51
Şekil 6.10. Kıvrımlı Tünel Yolluk	52
Şekil 6.11. İticilerin Yerleştirilmesi	53

Şekil 6.12. Yolluk ile Sıkıştırılmış Yolluk Burcu	53
Şekil 6.13. Hava Cepleri ve Yolluk	54
Şekil 7.1. Orijinal Kalıp İtici Taraf Çekirdeği Tasarımı	57
Şekil 7.2. Revizyonlu Kalıp İtici Taraf Çekirdeği Tasarımı	57
Şekil 7.3. Orijinal Ürün Kalıbı İtici Taraf Çeliği Tasarımı.....	58
Şekil 7.4. Revizyonlu Ürün Kalıbı İtici Taraf Çeliği Tasarımı	58
Şekil 7.5. Orijinal Kalıba Ait Maça Tasarımı	59
Şekil 7.6. Revizyonlu Kalıba Ait Maça Tasarımı	59
Şekil 7.7. Orijinal Maça Pimi Tasarımı	60
Şekil 7.8. Revizyonlu Maça Pimi Tasarımı	60
Şekil 7.9. Orijinal Pim Maça Üzerinde Görünüşü	61
Şekil 7.10. Revizyonlu Pim Maça Üzerinde Görünüşü	61
Şekil 7.11. Orijinal Tırnak Tasarımı	62
Şekil 7.12. Revizyonlu Tırnak Tasarımı	62
Şekil 7.13. Revizyonlu Tırnak Tasarımı	63
Şekil 7.14. Ocak Tarafı Çekirdek Tasarımı	64
Şekil 7.15. Tırnakların Çıkabilmesi İçin Parça İşlenmesi	64
Şekil 7.16. İtici Pim Plakası Tasarımı.....	65
Şekil 7.17. İtici Tutucu Plaka Tasarımı	66
Şekil 7.18. Yeşil Yay	66
Şekil 7.19. Yuvarlak Destegın Kalıp Montajındaki Yeri.....	66
Şekil 7.20. Taşlama Makinesi.....	68
Şekil 7.21. Rayba İşleminde Kullanılan Matkap Ucu.....	69
Şekil 7.22. Freze Makinesi	69
Şekil 7.23. CNC ve Kalıp Parçası.....	70

Şekil 7.24. Revizyonlu Kalıp Üretimi Sırasında Kullanılan Dalma Erozyon.....	71
Şekil 7.25. Orijinal – Revizyonlu Parça Dalma Erozyon Modelleri.....	72
Şekil 7.26. Revizyonlu Parça Ocak Tarafı.....	72
Şekil 7.27. Ocak Tarafı Çeliği	73
Şekil 7.28. Ocak Tarafı Çekirdeği	73
Şekil 7.29. Revizyonlu Kalıp İtici Taraf.....	74
Şekil 7.30. İtici Taraf Çeliği	74
Şekil 7.31. İtici Taraf Çekirdeği	75
Şekil 7.32. Maçalar	75
Şekil 7.33. İtici Pim Plakası ve İtici Destek Plakası.....	76
Şekil 7.34. Erkek Parça.....	76
Şekil 7.35. Yuvarlak Destekler	77
Şekil 7.36. Yeşil Yay	78
Şekil 8.1. Solidworks Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	82
Şekil 8.2. ANSYS Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	83
Şekil 8.3. Solidworks Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	85
Şekil 8.4. ANSYS Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	86
Şekil 8.5. Solidworks Burulma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası.....	88
Şekil 8.6. ANSYS Burulma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	89
Şekil 8.7. Revizyonsuz Ürün	90

Şekil 8.8. Revizyonlu Ürün.....	90
Şekil 8.9. Tırnak Kısımında Meydana Gelen Deformasyon.....	91
Şekil 8.10. Solidworks Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası.....	93
Şekil 8.11. ANSYS Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	94
Şekil 8.12. Solidworks Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası.....	96
Şekil 8.13. ANSYS Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası	97
Şekil 8.14. Basma Testi Sonuçları	98
Şekil 8.15. Çekme Testi Sonuçları.....	99
Şekil 8.16. Burulma Testi Sonuçları	99
Şekil 8.17. Basma Testi Sonuçları	100
Şekil 8.18. Çekme Testi Sonuçları.....	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Zamak İçerisinde Bulunan Elemenler	29
Çizelge 4.2. Zamak 5 Mekanik Özellikleri	34
Çizelge 6.1. Metal Enjeksiyon Kalıpları Sınıflandırılması.....	40
Çizelge 8.1. Orijinal çalışma parçası ağırlık bilgileri	79
Çizelge 8.2. Revizyonlu çalışma parçası ağırlık bilgileri	79

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar hep bir araştırma geliştirme ve üretim içerisinde olmuşlardır. Zamanın ilerlemesi ve teknolojinin gelişmesi, ihtiyaçların farklılık göstermesi, aynı zamanda üretimin farklı yönlere çekilebilmesi ile değişik üretim yöntemleri doğmuştur. Bu yöntemleri sınıflandırmak istersek:

- Talaş Kaldırma
- Plastik şekil verme
- Kaynak
- Döküm

1.1. Talaş Kaldırma Yöntemi ve Talaşlı İmalat

Endüstride birçok alanda talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler malzemeden talaş kaldırma yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu süreçler üç ana başlık altında incelenebilmektedir: Delme, frezeleme ve torna.

Aşındırıcı işlemler: Endüstride sıklıkla kullanılan yöntemler; taşlama, honlama, lepleme, raybalama ve broşlamadır.

1.1.1. Delme

Delme işlemi, talaş kaldırma işlemleri arasında en basitidir. İş parçasına bir delik açmak, iş parçasında bir yerin içini boşaltmak istendiği durumda delme işlemi yapılmaktadır. Delme işleminde kesici uç sabit ya da hareketli konumdadır. Aynı şekilde iş parçası sabit ya da hareketli olabilir. Torna, freze gibi işlemler delme bazlı talaş kaldırma işlemleridir.

1.1.2. Freze

Freze, iş parçasını rotasyon halinde dönen bir dişli yardımı ile kesilmesi işlemidir. Bu işlem için birkaç kesme kenarı bulunan, kesici takım olarak adlandırılan ekipmanlar kullanılır. Freze aynı zamanda diğer yöntemlere göre işlem yelpazesi olarak daha geniştir.

1.1.3. Torna

Torna tezgahı iki çeşit olarak piyasada bulunabilmektedir. Bunlar yatay ve dikey tornadır. Bu iki çeşit dışında revolver, çap, çok milli torna tezgahları da bulunmaktadır. Yatay eksenli torna tezgahı fener milinin yatay ekseninde dönme hareketi yaptığı tezgahdır. Dikey torna tezgahında milinin düşey eksen etrafında hareket yaptığı tezgahdır. Yatay eksenli tezgahın asıl olarak farkı büyük çaplı ve ağır parçalarda kullanılmasıdır. Özel durumlar dışındaki parçaların büyük bir çoğunluğu yatay torna tezgahında işlenmektedir. (Patel vd., 2020)

1.2. Aşındırıcı işlemler

Aşındırıcı işlemler, malzemenin üzerinde talaşları kaldırabilmek için kesici takımlar ile yüksek hızda yapılan işlemlerdir. Bu yöntemde aşındırıcı tanecikler kullanılmaktadır. İmalatın son adımı olarak nitelendirilmektedir. Sert yüzeyleri yumuşatmak ve pürüzsüzleştirmek için kullanılır.

Endüstride kullanılan bazı aşındırıcı işlemler şu şekildedir:

- Taşlama
- Honlama
- Broşlama
- Lepleme
- Raybalama

1.3. Plastik Şekli Verme

Metal ya da alaşım olan malzemelerin katı fazda hacimlerinde değişiklik olmadan sabit kalması sağlanarak kalıcı şekil verme işlemi olarak bilinmektedir. (Esener, 2015)

İki farklı yöntemde gözlemlenmektedir:

Kütle deformasyon yöntemi:

- Dövme
- Haddeleme
- Ekstrüzyon
- Çekme (Tel, çubuk, boru)

Levha biçimlendirme yöntemi:

- Kesme
- Eğme, Bükme
- Derin çekme

1.3.1. Kütle Deformasyon Yöntemi

1.3.1.1. Dövme

Bilinen en eski şekillendirme yöntemidir. En eski yöntem olmasında rağmen en çok verim alınan ve yapılması en avantajlı yöntemlerden olarak bilinmektedir. (Esener,2015)

1.3.1.2. Haddeleme

Haddeleme işlemi metal iş parçasının enine kesitinin azaltılmasıdır. Deformasyon yöntemi ya da alan yöntemi ile bir metal iş parçasının şekillendirilmesi işlemidir. Haddelemede iki adet birbirine zıt yönde dönen merdane kullanılmaktadır. Haddeleme yapılacak parça dönen merdanelerin arasından geçecektir. Dönme kuvvetinden kaynaklı olarak bir sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünme kuvveti barı ısıtmak ve içerisinden geçen iş parçasını çekmek için kullanılmaktadır. (Esener, 2015)

1.3.1.3. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon bir sıkıştırma işlemidir. Kütük halde bulunan metal, bir kalıp deliğinden akmaya zorlanır. Zorlama işlemi sıkıştırma ile gerçekleştirilir. Bu işlem için en iyi örnek dış macununu, dış macunu tüpünden sıkmaktır. Avantajları olan bir yöntemdir. Bunları sıralayacak olursak;

- Özellikle sıcak ekstrüzyon kullanılarak çeşitli ve karmaşık geometriler elde etmek mümkündür.
- Soğuk ekstrüzyon ile elde edilmiş ürünlerin tanecik bazında yapıları ve mukavemet özellikleri iyidir.
- Ekstrüzyon yöntemi ile elde edilmiş ürünlerde ölçü olarak tutarlılık daha fazladır.
- Neredeyse hiç atık malzeme oluşturmaz
- Bunun yanında ekstrüde parçada bir şart bulunmaktadır. Bu da parçanın üniform olması gerekliliğidir. Uniform özellik parçanın uzunluğu boyunca korunmalıdır. (Giles vd., 2005)

1.3.1.4. Çekme

Çubuk çekme yöntemi kalın kesiti olan bir telin kesitinin küçültülmesi yöntemidir. Bu yöntemde malzeme bir kalıp içerisinde geçirilerek kesit daraltma ve biçimlendirme yapılır. Bu yöntemin en büyük avantajı yüksek yüzey kalitesi elde edebilmek ve çok hassas ölçülerde çalışabilmektir. (Esener, 2015)

1.4 Levha Biçimlendirme Yöntemi

1.4.1. Kesme

Kesme düzlemine, metalin ayrılmasını sağlayacak seviyede kesme kuvveti uygulanarak iş parçasına şekil değiştirme uygulamasıdır. Kesme, bağımsız halde ters yöne ilerlemekte olan kesici takımın iş parçasını birbirinden ayırmasıdır. İş parçasının levha halinde olması gerekmektedir. Yapılan işlem sonucunda ortaya bir çapak ya da ek bir malzeme ortaya çıkmamaktadır. (Helimergin, 2020)

1.4.2. Eğme Bükme

Tüm sac metal şekillendirme işlemleri bir miktar bükme içermektedir. Bükme, sac şekillendirmede en sık karşılaşılan işlemdir. İçinde derin çekme, flanşlama, şişirme gibi işlemler de söz konusudur. (Tan, 1994)

1.4.3. Derin Çekme

Bir malzeme çekme, basma veya burulmaya maruz kaldığında plastik deformasyona uğrayabilmektedir. Uygulanan yüklerden dolayı oluşan eğilme gerilmeleri akma dayanımını aşar ve bu durum malzemenin şeklini kalıcı olarak değişmesi anlamına gelmektedir. Metal şekillendirme proseslerinde malzemeler istenilen şekli elde etmek için aletlerle kasıtlı bir şekilde, plastik olarak deforme etkisi altında bırakılır. Sac şekillendirme yöntemlerinden biri olan derin çekme özellikle otomotiv, havacılık, denizcilik endüstrilerinde ve hatta pişirme kapları ve içecek kutuları üretiminde kullanılmaktadır. (Dal, 2019).

1.5. Kaynak

Kaynak, parçaları bir arada tutmak için yüksek ısı kullanılan ve ısıtma işleminden sonra ısıtılan bölgenin soğutulması ile füzyon tepkimesinin ortaya çıkmasına neden olan işlemdir. Genellikle metalleri ve termoplastikleri birleştiren bir imalat şeklidir. Kaynak asıl olarak bakıldığında ana metali eritmeyen lehimleme ve sert lehimleme gibi daha düşük sıcaklıkta uygulanan tekniklerden farklıdır. Basınç, bir kaynak oluşturmak için ısı ile veya tek başına kullanılabilir. Kaynak ayrıca dolgu metallerini ve erimiş metalleri kirlenmeye, oksitlenmeye karşı korumak adına bir kalkan görevi görmektedir. Kaynak yöntemi yapılış şekli ve kullanım alanlarının uygunluğundan dolayı büyük yapılarda, köprülerde ve gemi imalatı gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

Diğer birleştirme yöntemleri ile kıyaslandığı zaman kaynaklı yapılar hafiftir. Aynı zamanda kaynak yapısından dolayı ortaya çıkan yapılar daha güçlüdür ve ucuzdur. Kaynak teknolojisinin içinde yüzden fazla süreç bulunmaktadır. Kaynak teknolojisinin alt sınıfları olarak adlandırılan bu kısımlar kaynak yapılacak bileşenlerin tasarımlarında büyük ölçüde esneklik sağlamaktadır.

Kaynak katma değerli bir imalat sürecidir. Bu işlem montajda son adım olduğu gibi yapısal performansta da ana rolü oynamaktadır. (Fernández, 2008).

1.6. Döküm

Döküm, erimiş metalin yüksek basınçla metal kalıplara enjekte edilmesiyle farklı karmaşık ürünlerin dökülmesini içerir ve erimiş metalin su püskürtülerek veya başka bir

yöntemle katılaştırılmasından sonra tekrar kullanılabilir. Dökülen ürün kalıplardan çıkarılır. Çok az işleme veya hiç işleme yapılmadan dökülen ürün, yüksek mukavemet ve diğer gelişmiş mekanik özellikler taşıyarak kullanıma hazır hale gelir. Dökümünün en önemli avantajları, bir kalıbın çok sayıda döküm ürünü üretmek için kullanılabilmesi ve her bir döküm için desen hazırlanmasına gerek olmadığından zamandan tasarruf sağlanmasıdır. Kalıplar, erimiş metalin basıncıyla şeklini gereksinime göre ayarlayabilecek şekilde düzenlenmiştir.



BÖLÜM 2

DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Döküm yöntemleri birçok farklı yöntemin kullanılması ve zaman içerisinde geliştirilmesi sonucunda günümüz halini almıştır. Bunun yanında eski döküm metotları hala kullanılmaktadır. Döküm yönteminin seçilmesinde elde edilecek olan ürünün şekli, ağırlığı, ilk yatırım maliyeti, işçilik gibi durumlara göre değişiklik göstermektedir.

Döküm yöntemleri kullanılan yönteme göre iki ana başlık altında incelenebilir. Bu yöntemler harcanabilir kalıp ve harcanamaz kalıp yöntemleridir.

Harcanabilir kalıp yöntemleri; kum kalıba döküm, hassas kalıba döküm, alçı kalıba döküm, kokil kalıba döküm.

Harcanamaz(sürekli) kalıp yöntemleri; döküm, yüksek basınçlı döküm, savurma döküm, sürekli kalıba döküm. (Schaub, 2018)

2.1. Harcanabilir Kalıp Yöntemleri

Harcanabilir kalıba döküm, kalıbın geçici olduğu ve bir defada birden fazla ürün üretilmeyen yöntemlerdir. Kum kalıba döküm, hassa kalıba döküm ve alçı kalıba döküm yöntemleri bu yönteme dahildir (Velluvakkandi, 2009).

2.1.1 Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm yöntemi, çok eski bir yöntemdir. Buna rağmen pratik ve yapımı açısından kolay olduğundan dolayı oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Kum kalıba döküm büyük ürünleri aynı şekilde kalın et payına sahip ürünlerin üretilmesi mümkündür. Kum kalıba döküm yöntemi bir seri üretim yöntemidir. Aynı kum ve kalıbın defalarca kullanılabilmesinden dolayı oldukça ekonomiktir.

Kum kalıba döküm işleminde kullanılan bazı kalıp elemanları mevcuttur. Kalıp iki yarıdan oluşmaktadır. Kalıbın içine erimiş halde alaşım doldurulması gerektiği için bu alaşımın girişinin sağlanacağı bir boşluk olması gerekmektedir. Bu yapı yolluk girişidir,

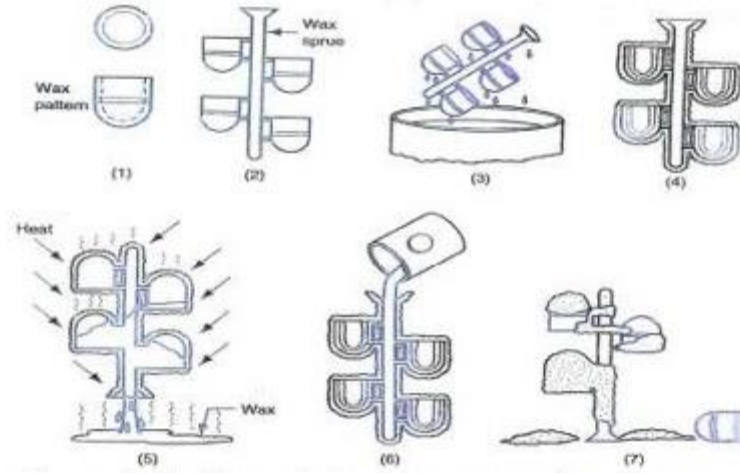
erimiş olan alaşım yolluktan geçtikten sonra kalıp boşluğuna dolmaktadır. Geçit içerisinden akan erimiş haldeki alaşım kalıp boşluğuna dolmaya başlar. Daha sonrasında ürünün elde edilebilmesi için kalıp soğumaya bırakılır. Ardından kalıp yarıları birbirinden ayrılır ve içerisinde bulunan ürün ortaya çıkartılır. Kum kalıba döküm işleminin yapılaş aşamalarını sıralayacak olursak:

- Ürünün tasarlanması
- Kalıp ve maçaların yapılması
- Metalin eritilmesi ve enjekte edilmesi
- Dökülen metalin soğutulması ve katılaştırılması
- Dökümün ek parçalardan ayrılması ve kalite kontrol

Döküm kalıbında yapılan boşluk, döküm sonucu elde etmek istediğimiz ürüne ait bir kopyadır. Maça yardımıyla parça üzerinde bulunan delikler, boşluklar ya da farklı geometriler oluşturulur. Çekirdek olarak adlandırılan kısım kalıptan ayrı olarak hazırlanır. Kalıbın hazneleri içerisine yerleştirilmektedir. Daha sonrasında etrafı kum ile sıkıştırılır ve sabitlenir. Çekirdek yapılması süreci, normal kalıp yapma sürecinden farklıdır. Kum kalıba döküm yönteminde, modern enjeksiyon makinelerinde olduğu gibi sıcaklık ve basınç ayarlamaları yapılamadığından dolayı ürünlerde enjeksiyon sırasında metalin hızlı aktığı durumlarda kalıp içerisinde türbülans meydana gelebilir. Bu istenmeyen bir durumdur. Çünkü hızlı akan erimiş halde bulunan alaşım soğuma işlemine geçtiği zaman gözenekli bir yapı oluşturacaktır. Gözenekli yapı parçanın mukavemetinin düşük olmasına yol açar. Aynı şekilde kum kalıba döküm sırasında kullanılan kumun yanması ya da kumun uygun olmaması gibi durumlar enjeksiyon sırasında hata çıkmasına sebep olabilmektedir. (Merten, 2012)

donmasından sonra mumsu yapının ayrılması gerekmektedir. Bunun için titreşim gücü kullanılır. Kalıbın üzerinde bulunan mumsu yapı kalıptan arındırılır. Geriye sadece ürünler kalmaktadır. Ürünler yolluktan ayrıldıktan sonra döküm işlemi tamamlanmış haldedir.

- Alaşım ilk olarak seramik bir kalıpta eritilir.
- Yüksek frekanslı bir elektrik akımı ve çevresinde manyetik bir alan oluşturulur.
- Oluşan elektrik akımı sayesinde alaşım ısınır.
- Isınan alaşım kalıp içerisinde dökülür ve kalıbın soğumasına izin verilir.
- Daha sonrasında önceden kabuk ile kaplanmış olan parçalar temizlenir ve yolluktan ayrılır. (Eljack, 2005)



Şekil 2.2. Hassa Kalıba Döküm (Eljack, 2005)

2.1.3. Alçı Kalıba Döküm

Kalıplar, Paris alçısı olarak da adlandırılan bir alçı sıvadan yapılmaktadır. Paris alçısı mimarlık, süsleme ve özellikle de kalıplama sektörlerinde kullanılan bir alçı çeşididir. Döküm kalıbının yapılabilmesi için ilk olarak bir adet alüminyum kalıp hazırlanmaktadır. Bu alüminyum model, döküm işlemi yapılmadan önce fırınlarda kurutulması gereken birden fazla tek kullanımlık kalıp üretmek için aracı görev görmektedir. Alçı gerekli işlemleri gördükten sonra önce el aletleri ile, kalan kalıntılar ise yüksek basınçlı su ile temizlenmektedir. Kalıp son haline gelmeden önce birtakım

işlemler geçer. Bunlar arasında alçının güçlenmesi ve asıl formunu kazanması için yaşlandırma ve özel ısıt işlemler yer almaktadır. (Schaub, 2018)

2.2. Harcanamaz (Sürekli) Kalıp Yöntemleri

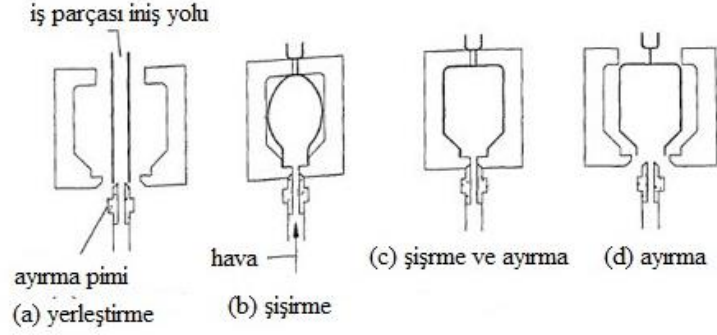
Harcanmayan kalıba döküm, kalıcı kalıbın kullanıldığı yerdir. Bu teknik, alüminyum, magnezyum, çinko veya bakır bazlı alaşımlar gibi demir içermeyen malzemelerin dökümünü içerir. Kullanılan farklı yöntemlerden bazıları kokil kalıba döküm, savurma döküm ve yüksek basınçlı dökümdür. (Velluvakkandi, 2009)

Döküm, erimiş halde bulunan bir metalin katılaşmasına izin vermek için farklı bir malzemeden yapılmış haznenin içerisine dolmasıdır. Döküm işlemi sırasında farklı alaşımlar eriyik halde kullanılmaktadır. Erime sıcaklığına ulaşmış ve faz değiştirmiş olan alaşım, katı halden sıvı hale dönmüştür ve akışkan haldedir. Akışkan halde bulunan alaşım kalıbın içerisine enjekte edilir. Sonrasında kalıbın içerisinde bir katılaşma işlemi başlar. Katılaşma işleminin devamında, kalıp yarıları ayrılır ve ürün yolluktan ayrılarak hazır hale getirilir. Bu üretim yöntemlerinde kalıp çelikten ya da çelik benzeri alaşımlardan üretilmektedir. Kalıpların bu tarz alaşımlardan üretilmesinin sebebi yüksek sıcaklıklara ve deformasyona karşı dayanıklı olmasından kaynaklanmaktadır.

2.2.1. Kokil Kalıba Döküm

Kokil kalıba döküm yöntemi, yerçekimi basınçlı dökümü olarak da bilinmektedir. Şekil 2.3'te klasik bir sürekli kalıba döküm kalıbı gösterilmiştir. Ürünün oluşması için hazırlanmış olan kalıp gözü, erimiş alaşımın dolması için giriş kısmı, yolluk, mengene ve enjeksiyon sırasında ortaya çıkan havanın atılması için hava cepleridir. Bu proses işleyişinde erimiş halde bulunan alaşım, yalnızca yer çekimi etkisi altında kalarak kalıba dökülmektedir. Erimiş halde bulunan alaşım kalıp boşluğuna dolması için başka bir dış kuvvet uygulanmaz. Kalıp atılmadan ya da yeniden yapılmadan defalarca kullanılabilir. Kalıplar yoğun, ince taneli, ısıya dayanıklı dökme demir, çelik, bronz, grafit gibi refrakter malzemelerden yapılır. Refrakter malzemeler ateşe karşı dayanıklı malzemeler olarak bilinmektedir. Genelde kum kalıp ile döküm yönteminde olduğu gibi yatay ya da dikey ayırma hatları ile tasarlanabilir. Kokil kalıba döküm yönteminde kalıp duvarlarının kalınlıkları 15 mm'den 50 mm'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir. Daha kalın kalıp duvarları dökümden daha fazla ısıyı uzaklaştırabilir. Kokil kalıba döküm yöntemi ile

üretilecek olan ürünlerin adetlerinin en az 3.000 – 10.000 aralığında olması gerekmektedir. Aksi taktirde bu üretim yöntemi ile yapılacak olan üretimler karlı durumda olmayacaktır. (Thomas, 2001)



Şekil 2.3. Kokil Kalıba Döküm (Kunchithapatham, 1996)

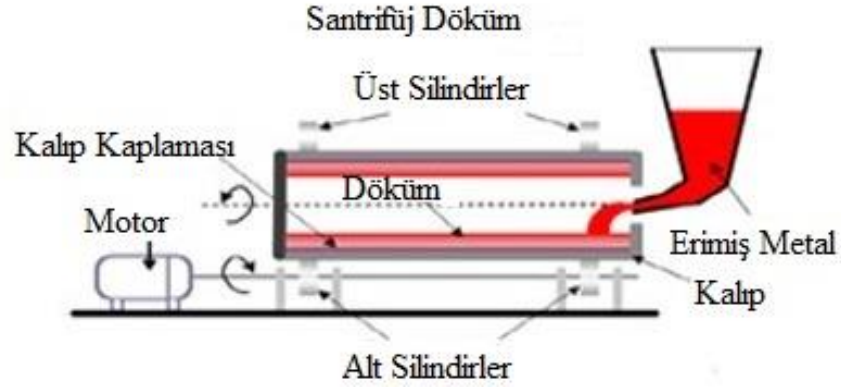
2.2.2. Savurma (Santrifüj) Döküm

Erimiş metalin yüksek hızda (200-1000 rpm aralığında) döndürülen kalıba dökülmesi ve merkezkaç kuvvetinin erimiş metali kalıp boşluğunun dış bölgelerine dağıttığı döküm işlemidir. Santrifüj döküm çeşitleri şu şekilde sıralanabilir:

- Gerçek santrifüj döküm
- Yarı santrifüj döküm
- Santrifüj döküm

Savurma döküm işleminde, erimiş halde bulunan alaşım, boru şeklinde bir parça üretmek için dönen kalıbın içerisine enjekte edilir. (Genelde boru şeklinde içi boş silindirik yapılar üretilir)

Şekil 2.4'te kalıbın içerisine doldurulan sıvı haldeki alaşım, serbest halde bulunan merdane yardımı ile dönmeye başlar. Diğer bir merdanenin tersine hareket ile kalıp dönme etkisine maruz kalır. Bu hareket sayesinde sıvı halde bulunan erimiş alaşım, kalıbın içerisinde, kalıbın yüzeylerine yapışacak şekilde savrulur.



Şekil 2.4. Savurma (Santrifüj) Döküm (Singh vd., 2014).

Bazı durumlarda kalıbın dönmesi işlemi, erimiş halde bulunan sıvı kalıba enjekte edilmeden başlayabilir. Kalıp dikey ekseninde dönebileceği gibi aynı şekilde yatay ekseninde de dönme işlemi gerçekleştirebilir. Uzunluk ve dış çap kalıp boşluğu boyutlarına göre sabit değerler halindeyken iç çap kalıbın içerisine enjekte edilecek olan erimiş alaşımın miktarına göre değişmektedir. Kalıp parçaları olarak borular, erimiş alaşımın ulaştırılması için tüpler, kalıp burçları ve bağlantı elemanları kullanılmaktadır.

Savurma döküm ile üretilebilecek ürün özellikleri ise şu şekilde örneklendirilebilir:

- Yüksek kaliteli ürünler
- Hatasız döküm
- Malzeme tasarrufu

Düzgün fiziksel özelliklere sahip aynı zamanda ince tanecikli yapıda ürünler elde edilmesi şekilden sıralanabilir.

2.2.3. Yüksek Basıncılı Döküm

Yüksek basınçlı döküm, endüstride en yoğun şekilde kullanılan üretim yöntemidir. Bunun sebebi döküm yönteminin magnezyum ve çinko bazlı alaşımlarda çok yüksek verimlilikte yapılabilmesi olmasıdır. Döküm işlemi sırasında kullanılan alaşımlar ve bu alaşımların ana elementlerinden dolayı üretime, dar tolerans aralığında çalışmaya, seri üretim ile yüksek yüzey kalitesine sahip ürünler elde edilmesine, yüzey işlemi olarak uygulanabilecek olan kaplama boyama gibi işlemlerin yapılmasına izin verdiği için tecih

edilmektedir. Bu süreçte yüksek basınçlı döküm için, alaşımın yapısına göre farklı makineler kullanılmaktadır. Ana hatlar olarak döküm makinesi üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm makinenin potasının bulunduğu ocak kısmı, ikinci olarak ürünün üretileceği kalıp kısmı ve son olarak mengene kısmıdır. Döküm prosesi sırasında kalıba ait itici ve ocak tarafı olarak adlandırılan yarı taraflar döküm makinesinin hareketli ve sabit taraflarına yerleştirilir. Yüksek basınçlı döküm prosesinin en iyi açıklaması, erimiş halde bulunan metalin hidrolik sistem yardımı ile kalıpta bulunan boşluklara dolması, ürünün ortaya çıkma sürecinde meydana gelen havanın kalıptan atılması şeklinde anlatılabilir. Kalıp malzemeleri olarak imalat çelikleri kullanılmaktadır. Bu çeliklerin en önemli özellikleri, yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi, tokluk değerleri ve aşınma direncinde yüksek olmasıdır. Bu durumlar kalıbın ömrünü uzatmaktadır. Kalıp yapma süreci oldukça uzun ve ustalık gerektiren bir süreçtir. Aynı zamanda kalıp yapımı sırasında kullanılacak olan kalıp elemanlarının maliyeti olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek basınçlı döküm ana başlık altında iki farklı makine yardımı ile yapılabilmektedir. Bunlar sıcak kamara enjeksiyon makinesi ile döküm ve soğuk kamara enjeksiyon makinesi ile dökümdür. (Pires de Oliveira, 2018)

Yüksek Basınçlı döküm 1800'li yılların ortasına kadar uzanmaktadır. Döküm işlemi için en çok kullanılan metaller Mg, Al ve Zn ana merkezlidir. Basınçlı döküm elde edebileceğimiz yüksek mekanik özelliklerden dolayı üreticiler arasında oldukça popüler bir yöntemdir. (Kalkan, 2016).

- Çok dar tolerans aralığına sahip ürünler üretilmektedir.
- Ürün üretim süreleri düşük olduğundan dolayı seri üretime uygundur
- İnce et kalınlığına sahip ürünlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır.
- Açılı ve radius bulunan ürünlerin üretilmesini kolaylaştırmaktadır.

Ürün üzerinde bulunan ve üretimi zorlaştıran kısımlar kalıba bazı parçalar eklenerek kolayca halledilebilir. Parçalar kolayca entegre edilebilir. Üretim sırasında ortaya çıkan fazlalık gibi görünen yolluklar, hava cepleri, çapaklar geri dönüşüme ve eritilerek yeniden kullanılmaya uygundur. (Hirz, 2019)

Dezavantajları

- İlk yatırım olarak maliyetli bir yöntemdir. Kalıpların ve ekipmanların fiyatları oldukça yüksektir. Bundan dolayı endüstride dökümü otomatikleştirmeye

yönelik işlemler geliştirilmiştir. Örnek olarak makinede baskı sırasında yağlama işleminin otomatik olması, çıkan parçaların üzerinde bulunan ek kısımlarından otomasyon sistemi yardımı ile ayrılması.

- Yüksek basınçlı dökümü de en çok karşılaşılan hatalardan bir tanesi gözenekliliktir. Gözenekli ürünler çoğu zaman kullanıma uygun değildir. Bazı durumlarda döküm işleminden sonra yapılması gereken ek proseslerde örneğin kaynak ya da yüzey işlemleri gibi, ürünün kullanılmasını engelleyecektir.
- Aynı şekilde çok yüksek sıcaklıklarda meydana gelen bir işlem olduğundan dolayı ürünlerin üzerinde mikro ölçüde çatlaklar oluşabilmektedir.
- Bazı geometrilerin üretimi zordur.
- Çok büyük et kalınlığına sahip parçalar üretilmemektedir.

Yüksek basınçlı döküm demir dışı metallerden, özellikle çinko, bakır, alüminyum, magnezyum, kurşun, kalay ve kalay bazlı alaşımlardan yapılır. (Hirz, 2019)

2.2.3.1. Yüksek Basınçlı Döküm İşlem Adımları

Yüksek basınçlı döküm dört ana başlık altında incelenebilmektedir. Bu başlıklar kalıbın hazırlanması, enjeksiyon, ürünün oluşması ve ek parçalardan ayrılmasıdır.

Enjeksiyonun gerçekleşeceği makinenin seçiminde kullanılacak olan alaşım büyük önem taşımaktadır. Yüksek basınçlı dökümde enjeksiyon üç ana fazdan oluşmaktadır. Birinci faz, ilk olarak erimiş halde bulunan alaşım, pota içerisinde bulunan piston yardımıyla kalıbın içine dolması olayıdır. Bu fazda piston hızı ve dolaylı yönden olarak da sıvı halde bulunan alaşımın akış hızının iyi hesaplanması gerekmektedir. Akış hızının iyi ayarlanamadığı durumlarda kalıp içerisine dolan alaşım ikinci faza olması gerekenden daha hızlı bir geçiş yapmaktadır. Hızlı akışın olduğu durumlarda kalıp içerisnde türbülans oluşması söz konusudur. Kalıp içerisine dolmuş olan sıvı haldeki alaşım kalıp boşluğunun her tarafını kaplamaktadır. Beklenildiği üzere sıvı içerisine girdiği boşluğun şeklini almaktadır ve karşılaştığı engellere çarpıp durmaktadır. Çarpma durumu önemlidir. Çünkü hızlı bir çarpışma sonucunda sıvı halde bulunan alaşımda bir dalgalanma söz konusu olacaktır. Bu durumun engellenebilmesi en önemli konu yolluk tipi ve yolluk tasarımıdır. Yolluk tasarımının önemine değinecek olursak; yolluk enjeksiyonda kalıp boşluklarının beslenmesini sağlayan yapıdır. Yolluk uzunluğunun

uygun olmadığı durumlarda enjeksiyon normalden uzun sürmektedir. Uzun süreler, verimliliği düşürecektir. Yolluklar ve kalıp gözlerinin birleştiği bir kısım bulunmaktadır. Bu kısımlar yolluk giriş olarak adlandırılmaktadır. Yolluk girişlerinin genişlikleri ve çapları önemlidir. Sonuç olarak erimiş halde bulunan sıvı bu kısımlardan dolmaktadır. Yolluk girişlerinin ölçüleri normalden dar olması çevirim süresinin uzaması anlamına gelmektedir. Aynı şekilde geniş olması da türbülanslı bir akış oluşmasına sebep verecektir. (Minetola, & Lanzoni, 2021)



Şekil 2.5. Yüksek Basınçlı Döküm Makinesi (Deshmukh vd., 2021).

Kalıbı enjeksiyona hazırlama işlemi kalıp boşluklarına yağ püskürtülerek gerçekleştirilir. Kalıp üzerine püskürtülen yağ çok önemli bir rol oynamaktadır. Kalıbın hem sıcaklığının kontrol altında tutulmasını yani yüksek sıcaklıklarda yapılan bir işlem olduğundan dolayı soğutma suyu ile kalıbın ısısının korunmasını aynı zamanda ürünün kalıptan rahat çıkmasını sağlamaktadır. Kalıp yağlandıktan sonra enjeksiyona hazır hale gelmektedir.

Kalıp gözlerine dolan erimiş haldeki metal katılaşana kadar basınç korunur. Bir kalıpta birden fazla boşluk olabilir. Bundan dolayı itici pimlerinin ittirip ürünlerin kalıptan kurtulduğu kısımda birden fazla ve farklı ürün elde edilebilir. Şekil 2.6’da soğuk kamara enjeksiyon makinesinin çalışma sırası gösterilmektedir.

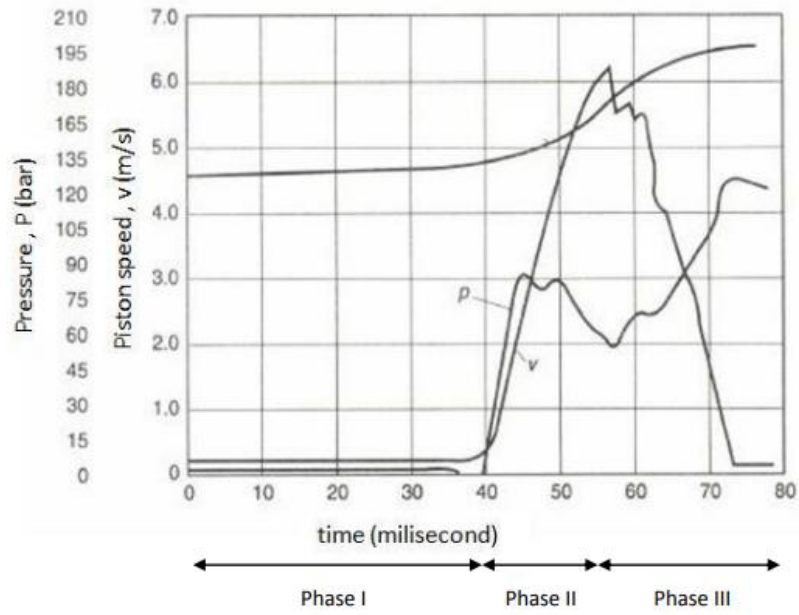


Şekil 2.6. Tipik Bir Soğuk Oda HPDC Döngüsü (Lordan, 2021)

Enjeksiyon işleminin uygun sürelerde gerçekleşmesi gerekmektedir. Enjeksiyonun gereğinden hızlı olmasının yaratacağı en büyük sorun, ürün içerisinde hava boşluklarının kalmasıdır. Bu durumu engellemenin en uygun yolu, kalıp üzerinde uygun geometride hava ceplerinin açılmasıdır.

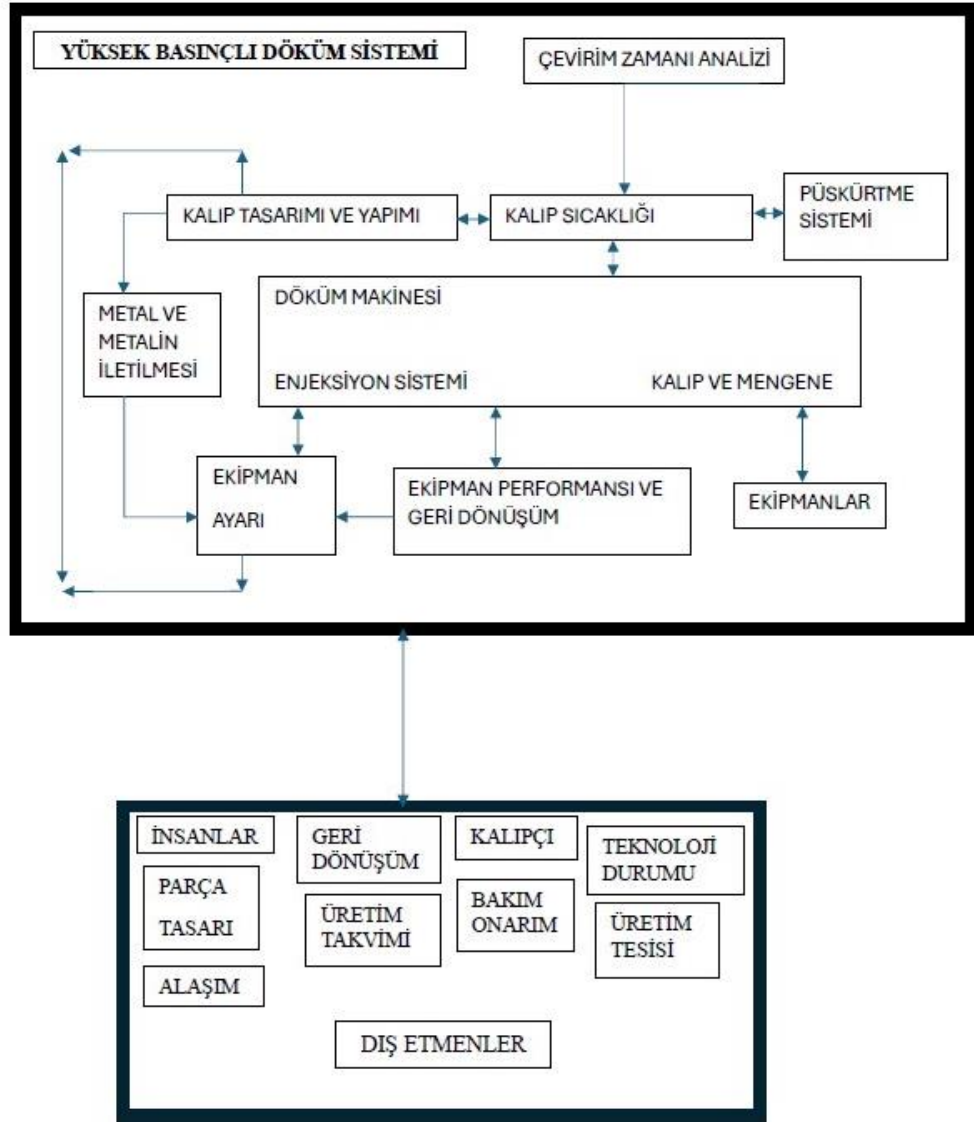
Yüksek basınçlı döküm işleminin diğer proseslerden farkı erimiş halde bulunan alaşımın üzerine yüksek sıcaklık ve yüksek basınç uygulanmasıdır. Aşağıdaki diyagramda yüksek basınçlı döküm prosesine ait, hız-basınç diyagramı görülmektedir (Okçu,2011)

Şekil 2.7’de Enjeksiyon sırasında piston hızını ve döküm parçasına uygulanan basıncı göstermektedir.



Şekil 2.7. Yükek Basınçlı Döküm Grafiği (Okçu, 2011)

Sıcak kamara enjeksiyon makinelerinde döküm süresini kısaltmak için erimiş halde bulunan alaşım, döküm makinesine yakın olarak bulunmaktadır. Bu durum her ne kadar enjeksiyon süresini azaltsa ve avantajlı gibi gözükse bile erimiş halde bulunan alaşımın makineye yakın bulunması, olası bir hata makineye hasar verebileceği gibi enjeksiyon sisteminin bozulmasına da sebebiyet verebilmektedir. Soğuk kamaralı enjeksiyon makinelerinde durum sıcak kamara makinelerine göre daha farklıdır. Sıvı halde bulunan metalin olduğu pota makineden ayrı bir yerdedir. Enjeksiyon sırasında kullanılacak olan metal potaya otomatik bir kol ya da operatörün kullandığı kepçe yardımı sayesinde taşınmaktadır. Soğuk kamara enjeksiyon makineleri, sıcak kamaralara göre daha yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışabilmektedir. Şekil 2.8’de yüksek basınçlı döküme etki eden etmenler gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yüksek Basınçlı Döküm Etmenleri (Blondheim, 2021)

Fakat makineler ne kadar birbirinden farklıda olsa döküm prosesi ikisi içinde aynıdır. Kalıba hava tutulması olası çapakların ve istenmeyen parçaların kalıp üzerinde kalmasını engelleyecektir. Yolluk, hava cebi ve fazladan meydana gelen metal kesitler tekrar kullanılmak üzere eritilir. (Pires de Oliveira, 2018)

Enjeksiyon işleminde potanın doldurulması ve potadan kalıp içine erimiş alaşım dolması yavaş gerçekleşmektedir (nispeten). Bunun nedeni eğer piston hızlı ya da kontrolsüz bir şekilde enjeksiyon işlemini gerçekleştirirse pota içerisinde dalgalanma meydana gelebilir. Bu dalgalanmaya bağlı olarak sıvı halde bulunan alaşım etrafa püskürebilir. Buraya kadar olan kısım birinci hareket aşaması olarak (doldurma öncesi

aşama) adlandırılmaktadır. Piston hızının uygun olmadığı durumlarda çıkacak olan üründe yapısal bozukluklar meydana gelebilir. Uygun hızlarda gerçekleştirilen enjeksiyon da ürünlerde oluşabilecek olan gözeneklilik gibi durumlar ortadan kaldırılmaktadır. İkinci aşamada (kalıp doldurma aşaması) piston erimiş halde bulunan alaşımı hızla kalıbın içine doldurmaktadır. İkinci aşama genelde ilk aşamaya göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Üçüncü aşama (final aşaması) erimiş halde olan alaşımın kalıp boşluklarına dolmasından itibaren hemen başlamaktadır. Bu aşama yoğunlaştırma aşaması olarak da geçmektedir. Bu aşamada erimiş halde bulunan alaşım, kalıp boşluklarına artık dolmuştur ve bu aşamadan sonra katılaşma başlayacaktır. (Minetola & Lanzoni, 2021)

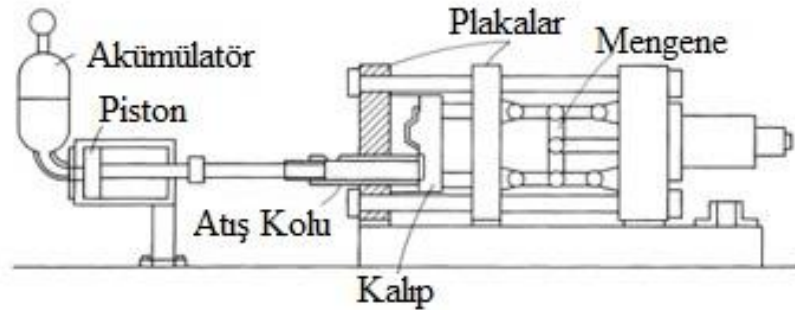


BÖLÜM 3

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM MAKİNELERİ

Yüksek basınçlı döküm makineleri genellikle kalıp kapatma sırasındaki güç kapasitesine göre derecelendirilmektedir. Kalıp yarılarını sıkıştırmak için ortaya çıkan kuvveti belirtmek için ton birimi kullanılmaktadır. Şu anda endüstride iki adet enjeksiyon makinesi kullanılmaktadır: sıcak kamara (hazneli), soğuk kamara (hazneli) makineler. Bu iki makinede yatay enjeksiyon makinesidir. Her iki makinede itici ve ocak taraflarına sahiptir. Ocak tarafı olarak adlandırılan bölge makinenin cinsine göre direkt olarak makine sabit plakasının önünde ya da ayrı bir haznede eriyik halde dışarıda bir fırın içerisinde bulunur. (Okçu, 2011)

Basınçlı döküm makinelerinin altında temel olarak üzerine monte edilen ve kalıbı destekleyen çelik plakalardan oluşan üç adet hareketli plaka vardır. Birinci plaka doğrudan makinenin tabanına takılır ve kalıp ile mengene arasına koyulur. Hareketli plaka makinenin ortasındadır. Arka ve sabit plakaların arasından kayarak açılıp kapanır. Arkada bulunan plaka ise mengeneye monte edilmiştir. Arka plakanın diğer tarafı ise hidrolik sistem ile doldurulmuştur. Bu plakalar, döküm işlemi sırasında hem yüksek basınç altında hem de yüksek sıcaklıkla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bundan dolayı plakalar makinenin en hassas bölümleridir.



Şekil 3.1. Soğuk kamara enjeksiyon makinesi (Okçu, 2011)

Bağlantı elemanı olarak kullanılan parçalar, plakaların konumlarının sabitlenmesinden, aynı zamanda hareket etmesini sağlamaktan sorumludurlar. Bu bağlantı elemanları kolon olarak adlandırılmaktadır. Genellikle döküm makinelerinde simetrik olarak monte edilmiş dört adet kolon bulunmaktadır. Enjeksiyon ilk gerçekleştiği sırada kuvvet en yoğun ve güçlü haldedir. Kuvvet azaldıkça aradaki kalıplara ait yarılar açılır. Modern endüstride kullanılmakta olan yüksek basınçlı döküm makineleri güçlerini genellikle elektrik motorlarından almaktadır. Hidrolik sıvı, makine üzerinde bulunan valfler vasıtasıyla hareket ettirilerek elektrik enerjisini, hareket enerjisine dönüştürür. Güç üniteleri yüksek basınçlı döküm makinelerinin olmazsa olmazıdır. Bir basınçlı döküm makinesinde en az iki adet hidrolik pompa bulunmaktadır. Hidrolik pompalar gerekli parçanın hareketini ve aynı zamanda enjeksiyon işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan hareketin sağlanması için makine içerisinde dolaşan sıvıya basınç uygularlar.

Sıcak kamara enjeksiyon makinelerinde erimiş halde bulunan sıvının enjekte edilmesini sağlayan s şeklinde kaz boynu adı verilen bir mekanizma bulunmaktadır. Bu mekanizma erimiş metalin içerisinde bulunmaktadır. Bundan dolayı bu mekanizmanın bulunduğu ortama elverişli olması ve zaman içerisinde aşınmayan bir yapıda olması gerekmektedir. Piston, erimiş halde bulunan sıvının içerisinde daldırılmış halde ve zemine doğru yönlendirilmiş şekilde bulunmaktadır. Piston yukarı hareket ettiğinde sıvı halde bulunan metal kaz boynu olarak adlandırılan yapının içerisine dolmaya başlar, ardından piston aşağıya doğru hareket eder ve yüksek bir basınç ile erimiş metali kaz boynundan kalıbın içerisine enjekte edilmektedir. (Lordan, 2021)

3.1. Sıcak Kamara Döküm Makineleri

Sıcak kamara enjeksiyon makineleri kaz boyunlu makineler olarak da adlandırılmaktadır. Enjeksiyonun başlangıç aşamasında makinenin pistonu yukarıya doğru çekilir ve erimiş halde sıvının bulunduğu potada, erimiş alaşımın kaz boynuna dolması için bir açıklık oluşturulur. Açılan boşluktan erimiş alaşım kalıbın içerisine dolmaya başlar. Hidrolik sistemler yardımı ile kaz boynuna dolmuş olan erimiş haldeki alaşım enjeksiyon kalıbının içerisine dolmaya zorlanmaktadır. Sıcak kamara enjeksiyon makinelerinde potanın direkt olarak sabit makine yarisının arkasında bulunması hızlı çevirim yapabilme özelliğini ortaya çıkartmaktadır. Fakat avantajları olduğu gibi bu

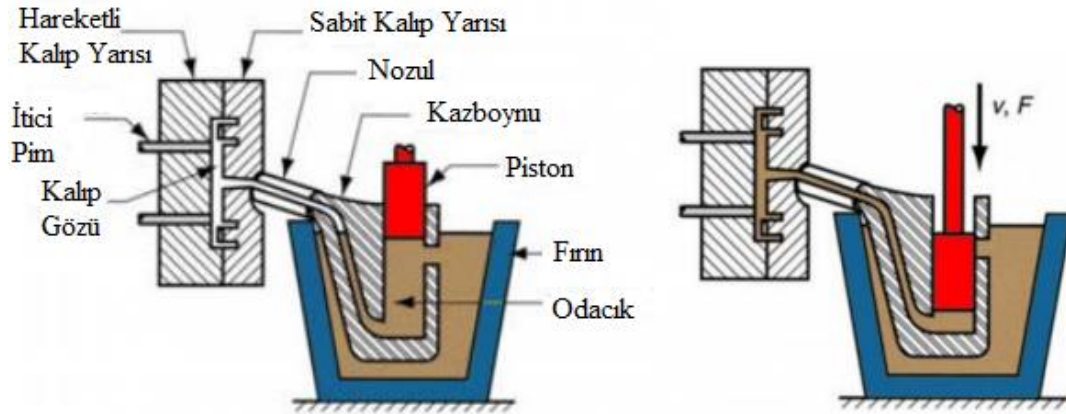
sisteminde dezavantajları bulunmaktadır. En büyük iki dezavantajını düşünecek olursak bunları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Erime noktası yüksek metallerin kullanılamaması
- Alüminyumun erimiş halde bulunduğu havuzda içinde bulunduğu ortamdaki demirin bir kısmını alması nedeniyle kullanılamamasıdır.

Alüminyum bu döküm makinesine uygun olmadığından genellikle çinko, kalay ve kurşun bazlı alaşımlar kullanılmaktadır. Alüminyum dökümünün sıcak kameralı enjeksiyon makinelerinde gerçekleştirilememesi sebebi erime sıcaklığının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Alüminyum metalinin erime sıcaklığı 660 °C'dir.

Yüksek erime noktasına sahip alaşımların bu makinelerde kullanılması, makine elemanlarının hasarlanmasına sebep olmaktadır. (Eljack, (2005).

Hizalama plakası olarak da bilinen sabit bir plaka kalıbı hizalamak amaçlı bulunmaktadır. Hizalama plakasında bulunan meme çapındaki delik sayesinde, erimiş halde bulunan alaşımın akışını sağlayacak bağlantı yapılmaktadır. Bu plaka enjeksiyon makinesinde, erimiş alaşımın bulunduğu kısma yakın tarafa sabitlenir. Sabit planın oldukça önemli bir görevi vardır çünkü kaz boyun, bu plaka ile birleştirilir. Aynı şekilde enjeksiyon sırasında erimiş metalin kalıp boşluklarına dolmasını sağlayan nozul de bu sabit plakaya yerleştirilmeli ve merkezlenmiş olmalıdır. Soğuk kamara enjeksiyon makinelerinde olduğu gibi bu makinelerde de kolonlar bulunmaktadır. Kalıba ait plakalar ve bölgeler kolonlar üzerinde hareket etmektedir. Şekil 3.2'de sıcak kamara enjeksiyon makinesine ait yapı görülmektedir. (Pires de Oliveira, 2018)



Şekil 3.2. Sıcak Kamara Döküm Makinesi (Groover, 2007)

Döküm işleminin gerçekleşebilmesi için, döküm makinesinin açılmış ve hazır halde bulunması gerekmektedir. Enjeksiyon işleminde kullanılacak olan sıvı alaşımın belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir. Belirli sıcaklığa ulaşmamış olan sıvı alaşım döküm sırasında hatalara sebebiyet verecektir. Bundan sonraki işlem ısınmış eriyik halde bulunan alaşımın kaz koynuna aktarılmasıdır. Piston yukarıya doğru hareket ederek soğuk kamara enjeksiyon makinesinde de olduğu gibi bir boşluk oluşturur. Bu boşluk sayesinde erimiş halde bulunan sıcak alaşım kalıp boşluklarına dolmak üzere yüksek basınç ile yukarı doğru yükselir. En önemli nokta olarak bu aşamada kalıp komple kapalı halde bulunmalıdır. Birinci faz olarak adlandırılan durumda piston yukarı kalkmaktadır ve erimiş halde bulunan sıvı alaşımın kaz boynuna dolmasına izin vermektedir. Hemen bu işlemin gerçekleşmesinin ardından piston tekrar aşağıya iner ve kaz boynunda bulunan metali 1000 ile 5000 psi arasında değişen bir basınç ile kalıbın kapalı olduğu konumda, kalıpta bulunan boşluklara püskürtür. Kalıbın içerisindeki boşluklar tamamen erimiş halde bulunan alaşım ile dolduktan sonra, katılaşma süreci başlamaktadır. Katılaşma tamamen gerçekleştikten sonra makine üzerinde bulunan hareketli plakalar yardımı ile kalıp yarıları birbirinden ayrılırlar fakat daha enjeksiyon bitmemektedir. Piston, katılaşma tamamlanana kadar ve döküm kalıbın içerisinde katılaşana kadar basınç altında yani piston 'aşağı' konumda tutulmaktadır. Katılaşma işlemi gerçekleştikten sonra kalıp yarıları birbirinden ayrılır ve piston tekrar eski pozisyonuna çekilir. Döküm sonucunda elde edilmek istenen parça kalıbın itici pimler ile donatılmış tarafında kalmaktadır. Bu noktada kalıp üzerinde kalan döküm parçası, kalıp üzerinde itici pimler yardımı ile ya da manuel olarak ayrılabilir. Bundan sonraki aşamada kalıba ait kısımlar mengene tarafında bulunan sabit plakanın kalıbın hareketli plakasını hareket haline geçirmesi ve kalıp yarılarının kapatılması sonucu ikinci enjeksiyon işlemi gerçekleşir. Kalıp içerisine erimiş halde bulunan metali dolması, mengenenin açılıp ürünün itici pimler yardımı ile düşmesi ve kalıp yarılarının tekrar kapatılması aslında bakılacak olduğunda enjeksiyon işleminin tamamıdır. Bütün bu durum bir çevirim olarak adlandırılmaktadır. (Yalçinkaya, 2006).

3.2. Soğuk Kamara Döküm Makineleri

Sıcak kamaralı prosese göre en farklı özellik bağımsız ocak ve enjeksiyon sistemidir. Erimiş metal hazneye kepçe yardımıyla manüel veya otomatik olarak iletilir. Erimiş

metal, kalıbın içerisine enjeksiyon pistonunun itelemesi ile ilerler. Bu prosedür erimiş metal ile enjeksiyon grubunun oldukça az temas etmesini sağlar. Soğuk kamaralı proses alüminyum ve bakır tabanlı alaşımların dökülmesi için uygundur ve bu sistemle çelik dökümde yapılabilmektedir. (Yalçınkaya, 2006)

3.3. Yüksek Basıncılı Dökümde Alaşımların Teorik Katılaşması

Yüksek basınçlı döküm prosesinde kullanılan alaşımların sıvı halden katı hale geçerken oluşan katılaşmadır. (Sadeghi, 2015)

3.3.1. Heterojen Çekirdeklenmeye Sahip Alaşımlar

Sabit sıcaklıkta en düşük serbest enerjiye sahip olma durumu termodinamik olarak kararlılık durumudur. Katılaşma işleminin gerçekleşebilmesi için itici bir kuvvete ihtiyaç vardır. Çekirdeklenmenin itici gücü termal aşırı soğumadır. Katılaşma için itici güç, katı halin serbest enerjisi ile arasındaki fark ile ifade edilebilir.

Aşırı soğuma işlemi enjeksiyon sırasında yeni yüzeyler oluşmasını sağlayacak kadar büyük ve hızlı olmalıdır.

Yüksek basınçlı döküm ile sürekli kalıba döküm yöntemleri birbirine çok benzemektedir. Enjeksiyon sırasında nispeten soğuk olarak nitelendirilebilecek olan kalıba temas eden erimiş metal sıvılaşma sıcaklığının altında korunur. Kalıp duvarına yakında bulunan erimiş metalin, erimiş yüzeydeki radyasyon ile ısı kaybından dolayı termal olarak aşırı soğuduğuna dair teoriler bulunmaktadır. (Okçu, 2011)

3.4. Kalıp Boşluğu Dolma Süresi

Metalin katılaşması işlemi, kalıp boşluğu erimiş halde bulunan metal kalıp boşluğuna temas ettiği anda başlayacaktır. Doldurma süreleri döküm kalınlığına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Parametrelerine bakacak olursak; proses sonucu çıktı olarak alınacak olan ürünün duvar kalınlıkları, parçanın en ince kısmına ait et kalınlığı, parçanın derinliği, genişliği gibi unsurlar sıralanabilmektedir.

- Kalıp boşluğunun sıcaklığı (Genellikle alaşımlar için 150-320 °C)
- Alaşımın enjeksiyon sıcaklığı (Genellikle alaşımlar için 620-720 °C)
- Katılaşma aralığı (Tabandaki her alaşım için değişir)

Dolum süresini etkileyen diğer etmenler, üretilecek parçanın minimum et kalınlığı, kalıbın içerisine erimiş halde girecek olan alaşımın sıcaklığı, minimum akış sıcaklığı, kalıp yüzeyinin (boşluklarının) sıcaklığı, izin verilen katı fraksiyon yüzdesi ve birim değiştirme faktörüdür. (Kuyumcu & Haktanır, 2023)

3.5. Kalıp Boşluğu Hacmi

Kalıp boşluğu, dökümün kendi hacmi ile son parçayı oluşturmaya bile yüksek basınçlı döküm prosesi için kullanılması gerekli olan, yolluk, hava cepleri gibi bütün parçaların toplamını ifade etmektedir. Kalıp boşluğu hacminin hesaplanabilmesi için kalıp üzerinde bulunan bütün yapılar göz önüne alınmalıdır.

3.6. Erimiş Sıvının Dolma Akış Hızı

Alaşım hacminin kalıp boşluğuna aktarılması için, mevcut sürede ve parça kalınlığı dikkate alındığında enjeksiyon için kullanılacak olan erimiş metalin yolluklardan geçerken bir akış hızı mevcuttur.

Döküm sırasında metale belirli bir hız kazandırmak için metale uygulanan basınç, pistonun yüzeye uyguladığı kuvvete bağlıdır.

Boşluktan geçen bir metalin hızı için, döküm makinasının sisteminde akışa karşı bir direnç oluşmaktadır. Bu akışa karşı oluşan direncin yenilebilmesi için bir basınç ihtiyacı duyulmaktadır. (Lanzoni, 2021)

3.7. Yolluk Girişleri

Yolluk girişleri kalıp gözleri ile bağlantılı olan kısımlardır, bu bölgeler önem teşkil etmektedir. Çünkü erimiş halde bulunan hammadde buradan kalıp boşluklarına dolacaktır. Yolluk giriş ölçüsünün uygun olmadığı kalıp tasarımlarında, enjeksiyon sonucunda elde edilen ürünlerde hatalar gözlemlenecektir. Kalıp gözüne girecek olan hammaddenin miktarı buradan ayarlanmaktadır. Bir anda çok hammadde girmesi istenmeyen bir durum olduğu gibi az hammadde girişinin de olması çevirim süresini uzatacağından dolayı bize negatif bir durum olarak yansımaktadır. Yolluk girişinin teorik hesaplanmasına yardımcı olması için bir formül bulunmaktadır. Bu formülde bazı bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenler:

- Kalıp gözü içerisine dolacak olan ürün miktarı
- Doldurma süresi
- Yoğunluk
- Yolluk girişinden geçen hammaddenin hızı

Bahsedilen parametreler enjeksiyon sırasında farklı durumlara etki etmektedir. Enjeksiyon ile üretilcek olan ürünün bazı özellikleri istenmektedir. Bu istekler enjeksiyondaki parametrelere göre değişiklik göstermektedir. (Aksel, 2008).

- Döküm kalınlığı
- Alaşımın türü bileşimine göre kalınlığı belirler
- Döküm türü ve gerekli minimum kalite standart
- Basınç sızdırmazlığı ve yüksek mekanik direnç
- Temiz bir yüzey görünümü elde etmek

BÖLÜM 4

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM MALZEMESİ OLARAK ZAMAK

Zamak alaşımı ailesinin geliştirilmesi 1930'lu yıllara dayanmaktadır. Zamak alaşımını geliştirmeye yönelik çalışmalar New Jersey Zinc Company tarafından yürütülmüştür. Zamak alaşımının geliştirilmesi kurşun elementinin içerisinde bulunduğu ürünlerde meydana gelen hataları giderme ihtiyacından doğmuştur. Kurşun elementinin tam olarak saflaştırılamamasından dolayı ürünlerde yüzeysel çukurlaşma olarak başlayan bir hata meydana gelmekteydi. Bu hata daha ilerleyen dönemlerde parçanın tamamen tanecikler arası korozyonun oluşmasına kadar giden bir hal almaktadır. Zamak aynı zamanda çinko elementinin saflaştırılması ve daha iyi bir hale gelmesi için yapılan uğraşlar sonucunda ortaya çıkmıştır. Zamak alaşımının adı, birincil elementleri olan Çinko, Alüminyum, Magnezyum ve Bakır, kelimelerinin Almancadan kısaltmalarıdır. Zamak ailesinde tüm alaşımlarda, ağırlıkça %4,0 Alüminyum bileşiminin ortak karakteristiğine sahiptir. (Gobien, 2010)

Güncel olarak piyasa en yaygın olarak kullanılmakta olan zamak hammaddesi, zamak 3'tür. Zamak ailesinde farklı zamak türleri bulunmaktadır. Bunları sıralayacak olursak; zamak 2, zamak 3, zamak 5, zamak 8 ve zamak 27 olarak sıralanabilmektedir. Endüstriyel piyasada en yaygın olarak zamak 3 ve zamak 5 kullanılmaktadır. Zamak 2 kullanılmasına rağmen küçük ölçeklerde üretilmektedir. Alaşımların kimyasal özellikleri, içerisinde bulundurdıkları element miktarları farklılık göstermektedir. Zamak alaşımları düşük maliyet, yüksek mukavemet ve sertlik aynı zamanda sürekli üretime uygunluk gibi avantajları mevcuttur. Zamak her ne kadar bu iyi özelliklere sahip olsa da yüksek sıcaklıklara dayanamaması bu alaşımın en zayıf özelliği olarak görülmektedir. Yıllar boyu süren çalışmalar sonucunda zamak elementinde iyileştirmeler yapılabilmektedir. Alüminyum'un ağırlığının %'sini arttırarak hem de Al, Ba, Co, Cu, Mg, Ni gibi diğer alaşım elementlerinin daha küçük ilaveleri yoluyla çinko bazı alaşımların özellikleri iyileştirilebilmektedir. Daha güncel araştırmalara bakacak olursak 1991 yılında General Motors tarafından patenti alınmış olan ACuZinc alaşımları ve Bilimsel Araştırma

Konseyi tarafından ortaklaşa geliştirilen üçlü bir ötektik alaşım ile sürtünme direnci için en çok arzu edilen iki alaşım elementi olarak Al ve Cu'ya yönelmektedir. (Gobien, 2010)

İşlenebileceği en yüksek sıcaklıkta işlenmekte olan alaşımlarda sürünme direnci oldukça önemli bir parametredir. Sürünme direnci, malzemenin akma dayanımı altında kalan kuvvetlere uzun süre maruz kalması ile uğradığı deformasyondur. Bu davranışa sürünme adı verilmektedir. Sürünme malzemenin zamana bağlı deformasyonu olarak da bilinmektedir. Sürünme direnci her ne kadar önemli olsa da enjeksiyona uygunluk açısından en uygun alaşımlar yüksek akışkanlık ihtiyacını karşılayabilenlerdir. Zamak içerisinde bulunan elementler çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Zamak İçerisinde Bulunan Elementler

ELEMENTLER (% ağır)	ZA - 3	ZA - 5	ZA - 8	ZA - 12	ZA - 27
Al	3.5-4.5	3.5-4.3	8.0-8.8	10.5-11.5	25-28
Cu	0.25 max	0.75-1.25	0.8-1.3	0.5-1.2	2-2.5
Mg	0.02-0.05	0.03-0.08	0.015-0.03	0.015-0.03	0.01-0.02
Fe (max)	0.1	0.1	0.075	0.075	0.075
Pb(max)	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
Cd(max)	0.004	0.004	0.006	0.006	0.006
Sn(max)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Zn	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

Çinko, demir, alüminyum ve bakırdan sonra dünyadaki en popüler dördüncü metaldir. 2018 yılında küresel olarak çinko arzı 13,4 milyon tonluk değerden, taleplerin artması doğrultusunda 13,77 milyon tona yükselmiştir. Üretim sırasında kullanılan çinko miktarı kadar geri dönüştürülen çinko da bulunmaktadır. Geri dönüştürülen çinko oranının %20 – 40 aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Fakat endüstriyel olarak seri üretime en uygun yöntem olan HPDC (High Pressure Die Casting) uygulamasında, elementlerin safsızlığından meydana gelen hatalardan dolayı birinci üretim çinko kullanmak çoğu zaman ilk tercih olmuştur.

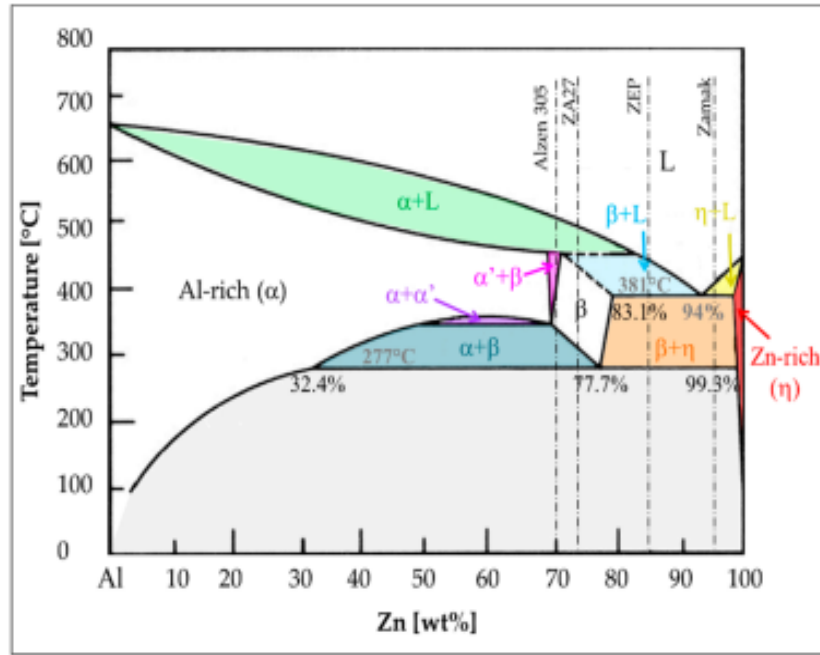
Genel olarak endüstriyel sektörde kullanılan çinkonun yaklaşık olarak yarısı galvanizleme alanında korozyon önleme aracı olarak kullanılmaktadır. Çinko elementinin diğer bir önemli uygulama aracı olarak kullanıldığı alan ise diğer kaplamalar veya pirinç, bronz, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında alaşım elementi olarak kullanılması yer almaktadır. Çinko aynı zamanda kimya, ilaç, kozmetik, boya, kauçuk ve tarım endüstrilerinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda çinko biyolojik olarak parçalanabilen yeni bir metal olarak demir ve magnezyuma alternatif olarak bu araştırma sahasında yer

bulmaktadır. Dünya çinkosunun %15'i çinko bazlı alaşımların üretiminde ana metal olarak kullanılmaktadır. Bazı çinko bazlı metaller piyasada dövme alaşımları, yassı halde haddelenmiş, tel çekirilmiş, ekstrüzyon ve dövme ürünler halinde mevcuttur. Bu formlarda bulunan çinko bazlı alaşımlar inşaat alanında çatı kaplama, borular, oluklar, el feneri reflektörleri, lamba parçaları benzeri ürünlerin üretimi için kullanılmaktadır. Çinko bazlı alaşımlar, genel olarak dökümhanelere uygun ve çekici gelen birçok özellik öne sürmektedir. Çinko bazlı alaşımlar düşük erime sıcaklığına sahiptir. Düşük enerji tüketimi ve uzun kalıp ömrü ile yüksek akışkanlık özelliğine sahiptirler. Yüksek akışkanlıklara sahip olmaları çok ince hatların bile üretilmesine olanak sağlamaktadır. Çinko alaşımları bakır alaşımlarına eşdeğer ya da daha iyi özelliklere sahip mekanik karakteristiklere sahiptirler. Bunun yanında çinko bazlı alaşımların kaplanabilme özellikleri oldukça iyidir. Kaplama ve boyama proseslerine elverişli olmasından dolayı ağırlıklı olarak otomotiv, hırdavat, elektrik/elektronik cihazlar, kıyafet, oyuncak, spor, süs eşyaları gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. (Uğur,1998).

4.1. Alaşımlar ve Üretim Teknolojileri

Günümüzde dökümhanelerde kullanılmakta olan 25'ten fazla alaşım çeşidi bulunmaktadır. Bu alaşımlardan ticari açıdan en uygun olanları uluslararası standartlarda belirtilmektedir.

Alüminyum'un çinko içerisinde oldukça önemsenecek bir çözünürlüğü bulunmaktadır. 381 °C'de ötektik faz oluşturduğu için ilave edilmektedir. Ötektik faz, faz diyagramı üzerinde mümkün olan maksimum sayıda fazın bir arada dengede olduğu noktadır. Bu noktaya ulaşıldığı zaman fazlardan bir tanesi ortadan kalkana kadar sıcaklık korunur. Aynı zamanda ötektoid alaşımın oda sıcaklığında olağanüstü uzama sergilediği gözlemlenmiştir. Bu davranış süperplastik davranış olarak adlandırılmaktadır. Süperplastiklik bir malzemenin belli sıcaklık ve deformasyon hızlarında boyun vermeden (akmadan) çok fazla şekil değiştirebilme özelliğidir. Şekil 4.1'de çinko – alüminyum faz diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Çinko – Alüminyum faz diyagramı (Pola vd., 2020)

Bakır elementi çinko bazlı alaşımlara çekme mukavemeti, sertlik ve aşınma direncinin yanında sürünme davranışı açısından performansı arttırmak için eklenmektedir. Çekme mukavemeti, bir malzemenin gerilmesine ve çekilmesine izin verildiği durumlarda kırılmadan önce dayanabileceği maksimum gerilim olarak tanımlanmaktadır. Aşınma direnci, bir malzemenin tekrarlayan sürtünme, kayma veya kazıma gibi mekanik eylemler yoluyla yüzeyinde giderek artan hacim kaybına karşı gösterdiği direnç yeteneğidir. Çinko bazlı alaşımlarda Magnezyum elementi taneler arası korozyonu önlemek için kullanılmaktadır. Günümüzde alaşımlarda kullanılan çinkonun saflığı her ne kadar yüksek olsa da magnezyum elementinin kullanılması gerekmektedir.

Alaşımların miktarına bağlı olarak piyasada bulunan çinko bazlı elementler sıcak veya soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemleri ile imal edilir. Çinko bazlı alaşımların %90-95'lik kısmı düşük erime sıcaklığından dolayı sıcak kamara enjeksiyon makinesi ile işlenmektedir. Çinko alaşımlarının, soğuk kamara ile işlenmesi sırasında çatlak oluşumu riski ve yaşlandırma sertleşmesinin sınırlı etkinliği nedeniyle mekanik özelliklerini iyileştirmek için genellikle soğuk işleme veya ısıtma işlemi tabii tutulmasına dikkat edilmelidir. Yaşlandırma sertleşmesi aynı zamanda bilinen adı ile çökelme sertleşmesi, metallere ve alaşımlarına mukavemet kazandırmak için kullanılan

bir ısıtma işlemi türüdür. Güçlendirme işlemi için yabancı katı maddelerden veya çöktürmelerden yararlandığı için bu adı almaktadır. ZA27 veya AlCuZinc10 durumunda olduğu gibi taşıyıcı elemanların miktarı arttığında, erime sıcaklığındaki ve enjeksiyon sisteminde reaksiyona girme durumundan dolayı soğuk kamara enjeksiyon makinesi ile kullanılması gerekmektedir. (Pola, Tocci & Goodwin 2020)

4.2. Mikroyapılar

Çinko döküm alaşımları her zaman ana alaşım elementi olarak alüminyum içerir. Bundan yola çıkarak Zn-Al diyagramına uygun üç kategoriye ayrılabilir. Ötektik altı (Örnek olarak Zamak), ötektik üstü (Örneğin ZA12) ve ötektoid üstü alaşımlar. Ötektik altı karışımlar, ticari olarak Zamak olarak bilinen sıcak kamara enjeksiyon makinelerinin üretimi için uygun alaşımlar olduğundan dolayı endüstriyel alanda en çok tercih edilenler arasındadır. (Pola vd., 2020)

4.3. Pencere Sektöründe Zamak Alaşımının Yeri

Zamak alaşımının en yaygın olarak kullanıldığı sektörlerden bir tanesi pencere sektörüdür. Pencere sektöründe kullanılan bağlantı elemanları, takozlar, ispanyoletler, karşılıklar bazı durumlarda çok ufak ölçülerde ve çok dar tolerans aralığında olması gerekmektedir. Bu durumdan kaynaklı zamak pencere sektörü için uygundur. Pencere sektörü oldukça geniş bir sektördür. Bundan dolayı üretimler genel olarak seri üretim bazlı olduğu görülmektedir. Zamak seri üretime uygunluğu ve yüksek basınçlı dökümde kullanım uygunluğundan dolayı çok uygundur. Kısa çevrim süresi ve zamak alaşımının yüksek basınçlı döküm prosesine uygunluğu çok iyi bir ikili oluşturmaktadır.

Zamak pencere sektöründe çok uzun süredir kullanılmaktadır. Dünya üzerinde bulunan bölgelere göre ürünlerde kullanılması istenen zamak çeşidi farklılık gösterebilmektedir. Avrupa daha çok zamak 5 kullanmayı tercih ediyorken, Amerika ve okyanus ötesi kıtalarda zamak 3 tercih edilmektedir.

Basınçlı döküm düşünüldüğünde Zamak 3 genellikle ilk tercihtir. Arzu edilen fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki mükemmel denge, üstün dökülebilirlik ve uzun vadeli boyutsal kararlılık, çok önemli özellikler olarak çıkmaktadır. Kuzey Amerika döküm endüstrisinde neredeyse %70'lik Zamak 3 oranı ile çalışmaktadır. Bu nedenle,

basınçlı döküm kaynaklarından en yaygın olarak temin edilebilen alaşımdır. Zamak 3 aynı zamanda kaplama, boyama işlemleri için de mükemmel bitirme özellikleri sunar. Diğer çinko alaşımlarının basınçlı döküm açısından derecelendirildiği "standarttır".

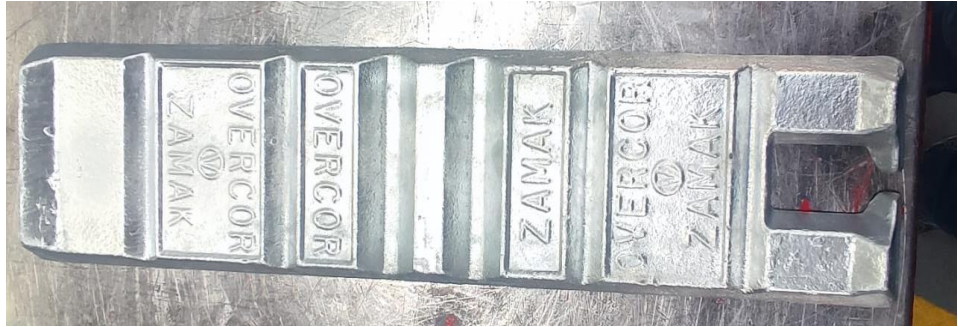
Zamak 5, zamak 3'e göre daha güçlü ve daha serttir. Bununla birlikte, ikincil bükme, perçinleme, dövme veya kıvrıma işlemleri sırasında şekillendirilebilirliği etkileyebilecek süneklikteki bir azalma ile yumuşatılmıştır. Zamak 5, %1 oranında bakır ilavesi içerir. Zamak 3 ile arasında bulunan mekanik farklılıkların en büyük sebebi bu elementtir. Alaşımın, Avrupa'da yaygın olarak kullanılma sebebi, zamak 3'e göre geliştirilmiş sürünme performansı sergilemesidir. Zamak 3'ün geniş bulunabilirliği nedeniyle, malzeme belirleyicileri genellikle zamak 5'i kullanmak yerine tasarımlarında değişikliğe gitmeyi tercih ederler. Özellikle, ekstra bir çekme performansı ölçümüne ihtiyaç duyulduğunda, zamak 5 alaşımlı dökümler tavsiye edilmektedir. Zamak 5 aynı şekilde üstün kaplama özelliğine sahiptir.

Maksimum çekme dayanımı konusunda zamak 5, zamak 3 ve zamak 7'ye göre daha yüksek bir değere sahiptir. Çekme dayanımı bir malzeme kopuncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak adlandırılmaktadır. Akma dayanımında yine aynı şekilde zamak 5, zamak 3 ve zamak 7'ye göre daha yüksek bir değer sahiptir. Akma dayanımı, kuvvet ile malzemenin plastik şekil değiştirmeye başladığı anda gözlemlenen gerilme değeridir. Bu durum zamak 5'in zamak 3 ve zamak 7'ye göre daha mukavemetli olduğunu göstermektedir. Zamak 5, zamak 2 ile neredeyse çoğu değerde aynı noktada buluşmaktadır. Fakat zamak 2, zamak 5 alaşımına göre daha güçlüdür. Ancak her ne kadar bu durum iyi gibi görünse de piyasa değeri olarak zamak 2, zamak 5'e göre pahalıdır. Zamak 2 alaşımına ait mukavemet değeri zamak 3 alaşımı, aynı zamanda zamak 5 alaşımına göre daha içinde bulunan bakır oranından dolayı daha yüksek bir değere sahiptir. İçerisinde bulunan %3'lük bakır oranından kaynaklı olarak zamak 3'e göre %20'lik mukavemet artışı meydana gelmektedir. Fakat içerisinde bulunan bakır her ne kadar mukavemet artışı sağlasa da aynı zamanda parçayı gevrekletirmekte ve kırılanaştırmaktadır. Bundan kaynaklı olarak zamak 2 çok yüksek mukavemet gerektiren parçalarda kullanılmakta fakat orta kayıt olarak nitelendirilen bağlantı elemanlarının üretilmesinde uygun değildir. Çizelge 4.2'de zamak 5'e ait mekanik özellikler bulunmaktadır.

Çizelge 4.2. Zamak 5 Mekanik Özellikleri (Tilbaldi, 2021)

Döküm Sıcaklığı Aralığı	°C	405-425
Donma Sıcaklığı Aralığı	°C	379-388
Katılaşma	cm/m	1,17
Çekme Oranı	mm/mm	0,006
Termal İletkenlik	W/m.°C	108,9
1 Derece Sıcaklık İçin Termal Genleşme	-	28×10^{-6}
Çekme Mukavemeti (20°C'de)	N/mm ²	328-270
Uzama (20°C'de)	2 inch için %	Tem.13
Darbe Dayanımı (20°C'de)	J	54-65
Sertlik	BHN	92-80

Şekil 4.2’de bir zamak külçesi görülmektedir. Zamak külçeleri üzerinde hangi firmadan alındığı, hangi alaşım olduğu gibi ibareler bulunmaktadır. Zamak külçesi standartlara uygun bir şekilde üretilmekte ve bir adet külçe 8 kg olmaktadır. Uç kısmının, genel zamak külçesinden farklı olmasının sebebi numune alınmasını kolaylaştırmaktır.



Şekil 4.2. Zamak Külçesi

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aydın (2020), tez çalışmasında zamak 5 hammadmesini kullanarak numune çalışma parçaları elde etmiştir. Zamak parçalarını 3 farklı parametre ile 3 farklı seviyede incelemiştir. Bu incelemeleri yaparken Taguchi metoduna göre L9 ortogonal dizisini kullanmıştır. Tez çalışmasında Frech marka W-125 model döküm makinasını kullanmıştır. Üretilen numuneleri kıyaslamak için ilk olarak çekme testi yapılmıştır. Daha sonrasında ise sertlik testi yapılmıştır. Bulgular daha sonradan tablo haline getirilmiştir. Taguchi metoduna göre tablolar hazırlanmıştır. Tez çalışmasında zamak 5 hammaddesi ile üretilmek istenen bir parçanın enjeksiyon sırasında optimum değerleri bulunmuştur. Tez çalışması sırasında Anova paket programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Anova programı ile parçanın çekme mukavemeti ile enjeksiyon fazları arasındaki ilişki belirlenmiştir. Aydın yaptığı tez çalışmasında numunelerden optimum değerlerin elde edilmesin parçaların sertlik değerlerinin öne çıktığı parametrelerde enjeksiyonun ikinci fazının önemli olduğunu ortaya çıkartmıştır. Aydın yaptığı çalışmasında parçanın sağlamlık parametresi olarak sertlik değerini almıştır.

Özçelik (2004), yaptığı çalışmasında alüminyum alaşımının yüksek basınçlı dökümün ele almıştır. Yaptığı çalışmada ilk olarak Catia V5 paket programı kullanılacak alüminyum HPDC (High Pressure Die Casting) kalıbının tasarımını gerçekleştirmiştir. Tez çalışmasında alüminyumun tarihçesinden anlatmaya başlamıştır. Kalıp tasarımı sırasında kullanılması gereken hesaplamalar ve en optimum değerler belirlenmiştir. Enjeksiyon kalıbının üretimi için yolluk hesabı, yollukların önemi, çevirim süresi ve hesaplamaları yapılmıştır. Ardından kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılmış olan hesaplamalara göre bu tez çalışmasına göre de ilerlemeler kaydedilmiştir.

Akhil vd. (2017), yaptıkları çalışmalarında yüksek basınçlı döküm adına kullanılacak olan bir kalıba yollu tasarımı yapmanın öneminden bahsetmiştir. Yolluk tasarımına başlamanın adım adım yapılması gerektiğini ve bunun nedenlerini

açıklamıştır. İlk olarak enjeksiyon unsuru olarak ortaya çıkacak olan ürüne erimiş halde bulunan metalin nereden dolacağına karar vermek gerektir. Daha sonrasında parçanın geometrisine göre yolluk tasarımı yapılacaktır. Bu çalışma özelinde çevrim süresinin ne kadar olması gerektiği ve bu değere yolluk tasarımının etkisinden bahsedilmiştir. Yanlış yolluk tipi seçimi kaynaklı olarak enjeksiyon sırasında kalıp gözlerine dolan hammadde de eksik olabilmektedir, eksik olmasında kaynaklı olarak nihai üründe hatalar meydana gelebilir. Örneğin tez çalışmasında da bahsedildiği üzere sıvı halde bulunan metalin ilk girdiği yer ile en son tam dolum gerçekleştiği anda oluşan üründe meydana gelen hatalar olabilmektedir. Hata sadece üründe de meydana gelmemektedir. Yanlış yolluk seçiminden kaynaklı olarak enjeksiyon sırasında kalıp gözlerinde türbülans meydana gelebilir. Bundan dolayı da çıkan son ürünlerde porozite, akış izleri gibi hatalar meydana gelmektedir.

Kupilli vd. (2024), yaptıkları çalışmalarında bir adet dişli kutusu için yüksek basınçlı döküm kalıbı tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışmalarında ilk olarak yüksek basınçlı döküm hakkında genel bir bilgi vermişlerdir. Önemli olan nokta yüksek basınçlı dökümde enjeksiyonda ürünün kalıbın o bölgesine yürüyebilmesi için et kalınlığı en az 1,5 – 2 mm olmalıdır. İlk olarak dişli kalıbının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kalıp üretimi için kullanılması uygun görülen çelik ADC-12'dir. Enjeksiyon kalıbı alüminyumdan imal edilecektir. Bunun yanında yaptıkları çalışmalarında makinenin özelliklerinden de bahsetmişlerdir. Daha sonrasında makine tonajı hakkında, baskı alınacak ürün hakkında bilgiler verilmiştir. Bir sonraki adım olarak yolluk tasarımı anlatılmıştır. Kapıların ve yollukların tasarımı hesaplanması ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu formüller tez çalışmasında da kullanılmıştır. Kupilli ve Praveen yapıları çalışmalarında analizleri hesaplamak ve yorumlamak için ANSYS analiz programını kullanmışlardır. Enjeksiyon ile elde edilecek olan parçanın özellikleri bir tablo haline getirilmiştir. Yapıkları çalışma sonucunda HPDC kalıbını elde etmişlerdir. Ve elde edilen maksimum gerilme $31,72 \times 106 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Malzemenin akma dayanımı $2,76 \times 108 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Sharma (2021), yaptığı çalışmada yüksek basınçlı döküm prensibi ile çalışacak olan bir kalıbın metodolojisinden bahsetmiş ve açıklamasını yapmıştır. Yaptığı çalışmada makine tonajı, piston boy seçiminin nasıl yapılacağını, kapı boyutunun hesaplanmasını ve tasarlanmasını, doldurma zamanı hesaplamasını, conta kalınlığı, enjeksiyon makinesi parametreleri validasyonu, 2. Faz piston hızı, 1. Faz piston hızı,

yoğunlaşma basıncı, baskı mesafesi, kapıdan giren eriyik hızı, birinci faz uzunluğu ve son olarak yoğunlaşma fazı uzunluğu hesaplamaları yapılacaktır. Hesaplamalarına ilk olarak parça ağırlığı ve ön görülen hacmini koyarak başlamıştır. Hava cepleri hesaplarıken mevcut alanın %10 – 15’lik bir kısmı hesaba katılmaktadır. Hesaplamalarında yukarıda bahsedilen parametrelerin hesabını yapmıştır aynı zamanda enjeksiyon prosesinden bahsetmiştir. Bahsi geçen hesaplamalar kalıp tasarımında kullanılmıştır.

Rajasekar vd. (2018), yaptığı çalışmada yüksek basınçlı döküm için bir parça tasarımını ve ardından geliştirmesini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında alüminyum alaşımının yüksek basınçlı dökümünü ele almışlardır. Yaptığı çalışmada döküm için kullanılacak olan makinenin tonaj ve güç hesaplamalarını yapmıştır. Bunun yanında enjeksiyon sırasında ortaya çıkan hataların açıklamasında da bulunmuştur. LM20 ve LM6 alaşımlarının kıyaslamasını yapmıştır. Özellikle korozyon direnci olarak LM20 alaşımı korozyon direnci olarak daha kötüdür. Daha sonrasında makine kapasitesini hesaplarken piston gücünde hesaplanmıştır. Hava cepleri ve kalıp içerisinde akan hammaddenin hesaplanması yapılmıştır. Kalıp çekirdeklerine ait tasarımlardan bahsedilmiş olup itici ve ocak tarafının tasarımı yapılmıştır. Çalışma boyunca genel yaklaşım olarak yapılan yakınsamalar, E6’dan tasarlanmış olan üst gövdelerin değerlerinin bulunması. PQ2 grafiğinin kullanılıp hesaplamaların yapılması ile E6 üst gövdesinin kalıp tasarımını değiştirmeyi böylece oluşabilecek olan termal çatlakların ve kabuklarda meydana gelen hataların engellenmesini ön görür.

Dabhole vd. (2019), yaptıkları çalışmalarında ürün içerisinde bulunan hava boşluklarından dolayı reddedilen bir yüksek basınçlı döküm ürününün geliştirmesini yapmaktadır. Çalışmalarında analiz yöntemi olarak paket programın yanı sıra neden – neden analiz yöntemini de kullanmışlardır. Paket program olarak Magmasoft kullanılmıştır. Ürün içerisinde meydana gelen hava boşluklarının asıl sebebini yüksek hızda akan eriyik haldeki hammadde olduğunu söylemiştir. Dabhole ve arkadaşları çalışmalarında Amerikan Dökümcüler Derneğinin el kitabından faydalanmış ve dökümde meydana gelen hava boşluklarının kaynaklarının bu kitapta belirtilen esaslara göre bulmuşlardır. Hatayı tanımlamak içinde olabilecek nedenleri, piston sisteminde sıkışabilecek olan hava, yanlış ya da eksik kapı tasarımı, eriyik metalde meydana gelen türbülans gibi parametreler belirlenmiştir. Deneme çalışması için 100 adet baskı ele alınmıştır. Enjeksiyonda düşük hızda gerçekleşen faz için değerler Minilab programı ile

hesaplanmıştır. Çalışmada proses parametreleri tablolar yardımı ile gösterilmiştir. Çalışmada magmasoft yardımı ile akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşen analizler sonucunda üründe porozite meydana gelebilecek yerler keşfedilmiştir. Yapılan neden – neden analizi sonucunda eriyik hammaddenin giriş yapacağı kapıların ufak olduğu ve besleme sistemi / yolluk sisteminin tasarımının yetersiz olduğu görülmüştür. Bu çalışmada meydana gelen gaz porozitesi akış kaynaklı porozite olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmadan özellikle doldurma zamanı hesaplanması alınmıştır ve tez çalışmasında kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kalıptan çıkan ürünlerde akışı hızından meydana gelen türbülans ile meydana gelen porozite tespit edilmiştir. Kalıp tasarımında buna göre revizyona gidilmiştir. Toplamda 717 adet ürün kontrol edilmiş ve 33 adet üründe hata tespit edilmiştir. Yapılan revizyon sonucunda hata oranı %4.06'ya düşürülmüştür.

Bandane vd. (2022), yapıkları çalışmalarında tek gözlü bir yüksek basınçlı döküm kalıbı için CAD programları kullanılacaktır. Yaptıkları çalışmalarında basınçlı döküm yöntemi ile geleneksel döküm yöntemlerini kıyaslamışlardır. Malzeme planlamasının, proses planlamasının, montaj süreçlerinin nasıl olacağı hakkında bilgi verilmiştir. Yüksek basınçlı döküm yönteminin diğer yöntemlere göre neden tercih edildiği yaptıkları çalışmada anlatılmıştır. Enjeksiyon ile üretilecek olan ürünün akış şemasını oluşturmuştur.

Koçyiğit vd. (2023) yaptıkları bilimsel çalışmalarında ICP analizleri ile zamak hammaddelerinin yapıları incelenmiştir. Alaşımların ağırlıkça %0,01 ve %0,03 Ti içerdiğini tespit etmişler. Alaşım numuneleri eritilip tekrardan geri dökülen zamak hammaddelerinden üretilmiştir. Yeniden döküm işlemini 650 °C'de gerçekleştirmişlerdir. %0.03 Ti içeren alaşım Al miktarından dolayı ötektik Zn-Al bileşimine yakın bir yapıya sahiptir. Al içeriğindeki artıştan dolayı alaşımın mikro yapısında daha düşük sıvılaşma ve daha az dendrit oluşumu gözlenmiştir. Alaşımın zaman içerisinde bükülme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Alaşımın sertliği, akma dayanımı ve bükülme dayanımı hesaplanmıştır. Koçyiğit ve Çamurlu yapıkları çalışmalarında Ti elementinin zamak-5 hammaddesine eklenmesi ile alaşımın mikroyapısında meydana gelen değişimler, sertliği ve bükme dayanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Araştırmaları sonucunda Ti elementi eklenmiş olan zamak bükülme direncinin ana alaşıma göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmadan çıkarılan sonuç olarak Ti-

Al modifikasyonu uygulanmış olan zamak alaşımlarının daha yüksek sertlik ve dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Pinto vd. (2024), yaptıkları çalışmalarında zamak döküm kalıbının geliştirilmesini ve validasyonunu ele almıştır. Yaptıkları çalışmalarında kalıpta meydana gelebilecek hataları ilk olarak teorik bir şekilde belirlemişlerdir. Topladıkları başlıklar şu şekildedir; kalıp içerisinde akan erimiş metalin akış rejimi, enjekte edilmekte olan hammaddenin hızı ve basıncı, kalıp tasarım sistemi, hava cepleri ve kalıbın soğutma sistemidir. Yapıkları çalışmayı başlıklar altında toplamışlardır. Hava cepleri ile ilgili hesaplamalarında alüminyum-çinko bazlı alaşımlarda boşluk derinliğinin 0.1016mm olmasının uygun olacağını hesaplamışlardır. Enjeksiyon kalıbında kapı tasarımı yapılacak bölgelerde özellikler türbülans oluşmasını engelleyecek bir tasarım yapılmıştır. Kapı ve havalandırma hesaplamaları yapıldıktan sonra sıra kalıp geliştirilmesindedir. Bu aşamadan önceki durumlarda yapılan çalışmada yolluk ve havalandırma boşluklarının boyutları arttırılmıştır. Elde edilen optimum durumlara göre konumları belirlenmiştir. Yapılan iyileştirmeler ve yollukların yerinin doğru şekilde tayin edilmesi sonucunda enjeksiyonda meydana gelen türbülans belirli oranda azalmıştır. Pinto ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında çevrim süresinin ve akış karakteristiğinin gözeneklilik ile bağlantılığı olduğu teoriyi destekler niteliktedir. Türbülansın azalması, sıvı halde akan metalin hızının azalması ile meydana gelmektedir. Bu durum sayesinde daha laminar bir akış oluşur. Daha laminar bir akış ise daha düşük Reynold sayısı demektir. Pinto ve arkadaşları yaptıkları çalışmada üründe meydana gelen porozite hatasını ortadan kaldırmak için iki adet hipotez ortaya koymuştur. İlk olarak erimiş hammaddenin hızının azaltılması ikinci olarak ise havalandırma ve yolluk bölgelerinin tasarımlarının değiştirilmesidir. Bu durumda kalıpta revizyon yani geliştirme yapılarak ikinci hipotezi kabul etmek daha mantıklı olacaktır ifadesini kullanmışlardır.

BÖLÜM 6

ZAMAK ENJEKSİYON KALIP ELEMANLARI

Gelişen sektör ve seri üretim yöntemlerinde dolayı farklı proseslere ait farklı kalıplar kullanılmaktadır. Sunulan tezde HPDC (High pressure die casting) kalıpları anlatılmaktadır. Sunulan tezde kullanılan makine bir sıcak kamara enjeksiyon makinesidir

6.1. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığın Tanımı

Genellikle metal veya metal alaşımlarının sıvı hâle getirilip uygun bir kalıba dökülerek şekillendirilmesi işlemidir. Soğutma sürecinden sonra sıvı alaşım katılaşarak, kalıptaki şekli alır ve son ürün elde edilir. Seri üretime uygun olmasından dolayı günümüzde birçok sektörde kullanılabilmektedir.

6.1.1. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Sınıflandırılması

Döküm işlemi birçok sektöre hitap etmektedir. Bu durumdan kaynaklı olarak üretilecek olan ürünler farklılık göstermektedir. Üretim koşulları, üretim şekilleri ve yöntemleri, üretim adetleri, üretilecek parçanın şekli ve kullanılacak hammadde gibi birçok parametre kalıp tasarımını etkilemektedir. Etkileyen etmen durumlar ışığında uygun bir kalıp seçimi yapmak önem içerir. Metal enjeksiyon kalıplarının sınıflandırılmış hali çizelge 6.1’de listelenmiş halde bulunmaktadır.

Çizelge 6.1. Metal Enjeksiyino Kalıplarının Sınıflandırılması

METAL ENJEKSİYON KALIPLARI	
Kalıp Türüne Göre	Kullanılan Malzemeye Göre
Sıcak Kamara Metal Enjeksiyon Kalıpları	Çelik Tabanlı Metal Enjeksiyon Kalıpları
Soğuk Kamara Metal Enjeksiyon Kalıpları	Alüminyum Tabanlı Metal Enjeksiyon Kalıpları
	Çinko Tabanlı Metal Enjeksiyon Kalıpları

6.1.2. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Avantajları

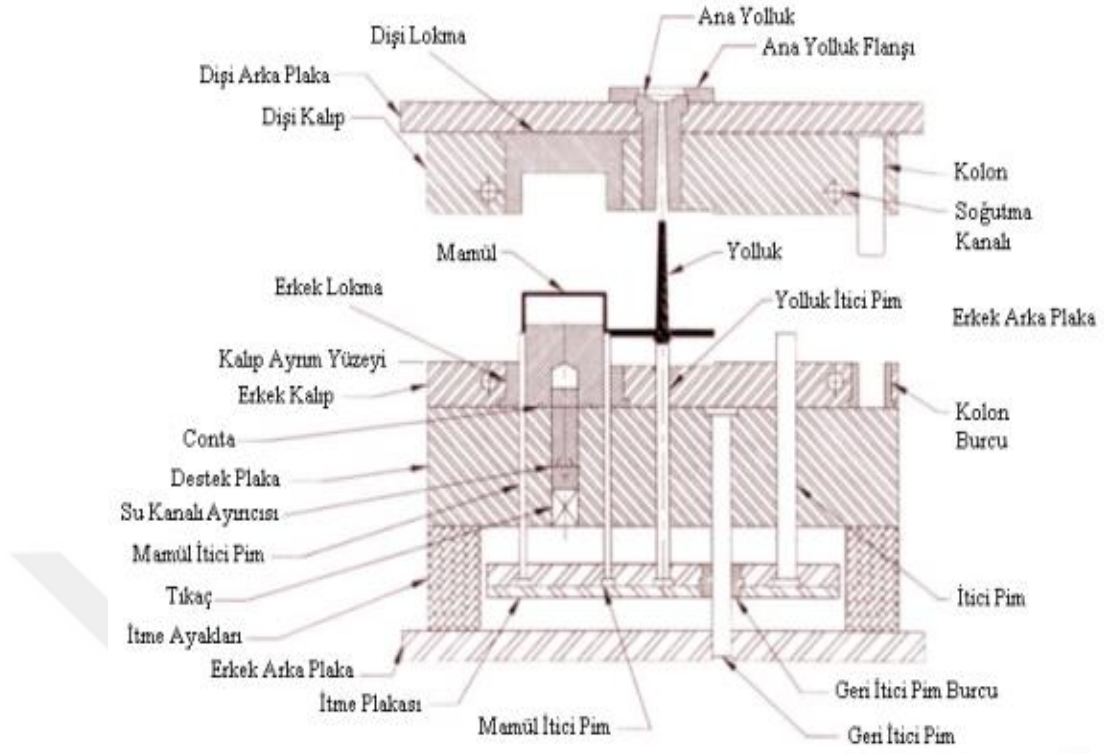
Seri üretim yöntemi olduğundan dolayı makineye bağlanan kalıp çok uzun süre çalışabilmekte ve yüksek adetlerde üretim yapmaktadır. Kalıp yapıldıktan sonra tasarımı dikkat edilen noktalar doğrultusunda çok büyük maliyetlere yol açmadan kalıp tamiri gerçekleştirilmektedir. Enjeksiyon ile elde edilen ürünlerin yüzey kalitesi yüksek olduğundan yüzey işlemlerine izin vermektedir. (Özdemir, 2020).

6.1.3. Metal Enjeksiyon Kalıpcılığının Dezavantajları

Avantajları kadar dezavantajları da bulunan bir sektördür. Enjeksiyon kalıplarının yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı olması gerekmektedir. Bundan dolayı kalıpların imalatı sırasında özel çelikler kullanılmaktadır. Kalıp imalatı maliyetli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek basınçlı döküm kalıplarının kullanılacağı makineler yüksek güce sahip makineler olmalıdır. Makine gücüne ve diğer özelliklerine bağlı olarak maliyeti de artmaktadır. Bundan dolayı bu prosesin ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Kalıpcılık oldukça karmaşık ve zor bir iştir. Bundan dolayı bir kalıbın üretilmesi geometrinin karmaşıklığına ve işçiliğin zorluğuna göre uzun sürmektedir. (Özdemir, 2020)

6.2. Metal Enjeksiyon Kalıp Elemanları

Kalıp üretiminin en önemli kısmı, kalıp ile üretilmek istenilen ürünün düzgün ve doğru bir şekilde işlenmesi aynı zamanda kalıp içerisinde bulunan diğer yardımcı elemanları doğru seçilmiş olması gerekmektedir. Bir kalıp birçok farklı elemandan meydana gelmektedir. Şekil 6.1’de kalıp örneği bulunmaktadır. Kalıp erkek ve dişi taraftan oluşmaktadır. Aynı zamanda kalıp içerisinde çeliklerin birbirine bağlı durmasını sağlayan bağlantı elemanları, geri stop pimleri, ürünün kalıp gözünden çıkmasını sağlayan itici pimler ve yaylar gibi birçok farklı eleman bulunmaktadır. Bu elemanların görevleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 6.1. Metal Enjeksiyon Kalıp Elemanları (Özyiğit, 2005)

Ocak tarafı ürünün dış tarafında ya da ürünün estetik görünüşünün meydana geleceği kısımdır. Bunun yanında itici taraf ise ürünün bütün önemli kısımlarının bulunduğu ve asıl ürünün işlendiği bölümdür. Kalıp elemanları hakkında bilgi verirken ilk olarak dışi kalıp tarafı anlatılacaktır.

6.2.1. Dışi Taraf Bağlantı Çeliği

Enjeksiyon makinesinde bağlantı sırasında dışi ve erkek tarafların makineye bağlanması gerekmektedir. Bu bağlantının sağlanabilmesi görev kalıbın en dışındaki çeliklere kalmaktadır. Bu çeliğin üzerinde çeliğin makineye bağlanması için meme deliği ve üzerinde bulunan aynı zamanda bağlantıların sağlam olması için uygun ölçülerde delinmiş bağlantı delikleri bulunmaktadır.

6.2.2. Dışi Çelik

Elde etmek istenen ürünün, estetik kısmının oluşturulduğu bölümdür. Bağlantı çeliğinin içerisine ek bir çekirdek olarak işlenebileceği gibi aynı zamanda direkt çelik

üzerine de işlenebilmektedir. Fakat bu durumun bazı dezavantajları mevcuttur. Kalıpta meydana gelen bir hata eğer geri dönülemeyecek kadar büyük ise çeliğin baştan işlenmesi gerekmektedir. Bu ekstradan bir maliyetin açığa çıkmasıdır. Aynı zamanda torna, freze ve cnc gibi tezgahlarda çalışmak için belirli bir alan bulunmaktadır. Çelikler, çekirdek halde işlenen çekirdeğe göre büyük olduğundan dolayı işleme sırasında zorluklar meydana gelecektir.

6.2.3. Yolluk

Enjeksiyon karmaşık bir olaydır. Kalıp üzerinde yapılan işleme sırasında parça tek bir tarafa işlenmemektedir. Parça hem dişi hem erkek tarafta uygun ayırım çizgisine göre ayrılmıştır. Yolluk da aynı şekilde tasarlanmaktadır. Enjeksiyon sırasında, enjeksiyon makinesinin pota kısmında bulunan piston hızlı bir şekilde erimiş sıvıyı enjekte etmektedir. Erimiş halde bulunan sıvı ilk olarak yolluk girişlerinden yolluğun içerisine dolmaktadır. Buradaki işlem önemlidir ve aynı zamanda ürüne göre yolluk seçimi de farklılık göstermektedir.

6.2.4. Ana Yolluk Flanşı

Yolluk işlendiği zaman erimiş halde bulunan metalin kalıbın içerisine girmesini sağlayan ana yol olarak tabir edilebilir.

6.2.5. Dişi Lokma

Dişi taraf çeliğinin içine geçmesi için işlenmiş parçadır. Dişi taraf çekirdeği olarak da bilinir. Ürünün dış kısımlarını oluşturacaktır.

6.2.6. Soğutma Kanalları

Kalıpta enjeksiyon sırasında çok yüksek sıcaklıkta erimiş metal geçmektedir. Bu yüksek sıcaklık ve hızda bulunan metal kalıp üzerinde termal çatlaklara sebep olabilir. Bu istenmeyen bir durumdur çünkü kalıpta meydana gelecek bir hata oldukça maliyetli olacaktır. Bunun yanında uygun soğutma kanalları bulunmayan kalıplarda baskı sırasında üretilen ürünlerde hatalar meydana gelecektir. Yüksek sıcaklıktan dolayı kullanılan hammadde yanabilir.

6.2.7. Kolon

Kalıp yarılarının kapandığı zaman erkek tarafta açılmış olan kolon burçlarının içerisine yerleşmektedir. Kalıp yarılarının birbirine tam olarak kapanmasını ve kenetlenmesini sağlamaktadır.

Dişi plakanın yanında kalıpta asıl olay erkek plakada meydana gelmektedir. Bundan dolayı erkek plakada bulunan eleman sayısı ve eleman çeşitliliği dişi plakaya göre daha fazladır.

6.2.8. Erkek Plaka

Üzerinde itici pimlerin bulunduğu ve ürünün enjeksiyon sonrasında kalıpta kaldığı kısımdır. Aynı zamanda kalıp yarılarından hareketli olan kısımdır.

6.2.9. Erkek Lokma

Aynı şekilde dişi kısımda olduğu gibi erkek plakada da işlenecek kısım direkt olarak çeliğin üzerine ya da çeliğe geçmeli olarak ayrı bir çekirdek içerisinde işlenebilmektedir.

6.2.10. İtici Pimleri

Sıvı halde bulunan metal kalıbın içerisine enjekte edilmektedir. Erimiş halde bulunan sıvı kalıp yarıları açılmadan önce katılaşmaya başlamaktadır. Katılaşma süresi bittikten sonra kalıp yarıları açılır ve ürün ortaya çıkar. Ürünün itici taraftan kurtulması ve yere düşmesi gerekmektedir. Bunu sağlayanlar itici pimlerdir. Enjeksiyonun başladığı ve ürünün yere düştüğü ana kadar geçen süre ise çevirim süresi olarak adlandırılmaktadır.

6.2.11. Geri İtici Pimleri

Kalıpta bulunan pimlerin geri çekilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda plakaların bağlanmasını sağlamaktadır.

6.2.12. Yuvarlak Destekler

Enjeksiyonlar yüksek hız ve sıcaklıkta meydana gelmektedir. Bu yüksek hızda erimiş metal direkt olarak kalıba girdiğinde itici tarafa hasar vermemesi için yuvarlak

destekler koyulmaktadır. Bu destekler silindir haldedir. Aynı zamanda kalıp tasarımına göre itici tutucu plakanın arkasında bulunabilmektedir. Enjeksiyon sırasında mengenenin itirme kuvvetine maruz kalan plakanın deforme olmasını engellemek için kullanılmaktadır.

6.2.13. Yaylar

Genelde destek plakalarına ya da geri stop pimlerinin etrafında bulunmaktadırlar. Kalıpta yüksek hızdan dolayı bir yamulma meydana gelmektedir. Bu yamulmanın plakayı kırmaması ve esnemesini sağlamak için yaylar koyulmaktadır. Yaylar genelde piyasada renklerine göre sarı, yeşil ve mavi olarak adlandırılmaktadır. Yayların her birinin esneme oranı farklıdır ve ürünün büyüklüğü, enjeksiyon sırasında kullanılacak olan makinenin gücüne göre farklılık göstermektedir.

6.2.14. Erkek Arka Plaka

Enjeksiyon makinesine bağlanacak olan kalıbın hareketli kısmının makineye bağlanmasını sağlayan plakadır.

6.2.15. Burçlar

Erkek tarafın kapanma hareketi yaptığı sırada, dişi tarafta bulunan kolonların içine girdiği ve kalıp yarılarının tam olarak kapanmasını sağlayan parçadır.

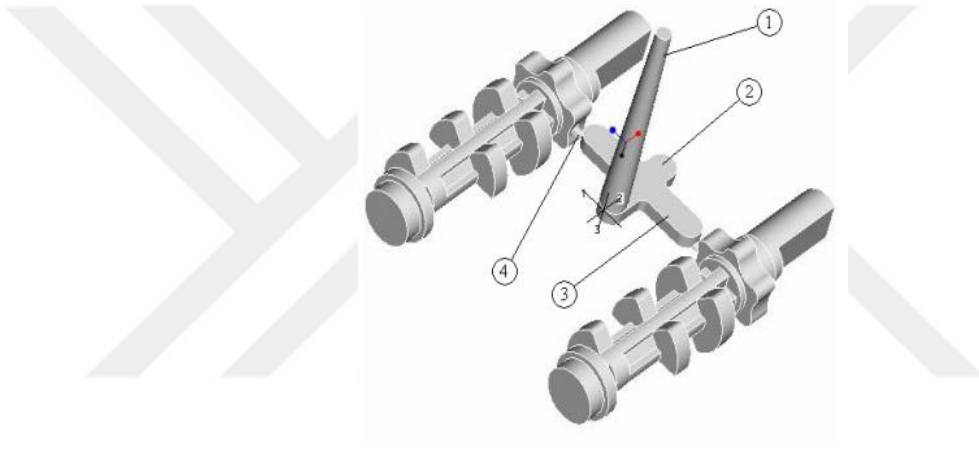
6.3. Yolluk Kavramı

Yolluk sistemleri bir parçanın ana hatlarının oluşturulmasında oldukça önemli rol oynamaktadır. Bunun sebebi erimiş halde bulunan alaşımın direkt olarak bu sistem içinden kalıp gözlerine dolacak olmasıdır. Yolluk tasarımını en optimum şekilde yapılması gerekmektedir. Yolluk içerisinde bulunacak olan erimiş alaşım miktarı, alaşımın akış hızı önemli rol oynamaktadır. Yolluk sisteminden bazı beklentiler vardır.

Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler;

- Kavite en az birleşme hattı oluşumu ile dolmalı
- Akışı zorlaştıran engeller mümkün olduğu kadar az olmalı
- Toplam ağırlık içindeki payı mümkün olduğu kadar az olmalı

- Kalıptan kolay çıkartılabilmeli
- Parça görünüşü etkilenmemeli
- Uzunluk, basınç, sıcaklık ve malzeme kayıplarını minimum düzeyde tutacak şekilde teknik açıdan mümkün olduğu kadar kısa olmalı
- Donma zamanı tutma basıncının etkili olabilmesi için parçanınki ile aynı veya biraz daha fazla olmalı
- Yolluk sistemi çevrim zamanını etkilememeli veya çok az etkilemeli
- Parça girişi en kalın parça kesitinden yapılmalı
- Girişin yeri jetting olayını önleyecek şekilde seçilmeli



Şekil 6.2. Yolluk Kısımları (Özyiğit, 2005)

Yolluk şekli ve geometrisi aynı zamanda erimiş halde bulunan hammaddenin kalıp gözlerine girmesini sağlayacağı gibi, erimiş hammaddenin soğumasında da rol alacaktır.

Yollukların asıl amacı erimiş alaşımın kalıp gözlerine dolmasını sağlamaktır. Bu dolma işleminin en uygun şekilde gerçekleşmesi için uygun yolluk tasarımı gerekmektedir. Eğer uygun yolluk tasarımı yapılabilirse bütün kalıp gözleri aynı zamanda ve eş basınç altında dolacaktır. Dolma işlemi sonrasında parçalar soğuyacağı ve katılaşacağı için yolluk parça üzerinde kalır. Yolluk parça üzerinde iz yapmamalıdır.

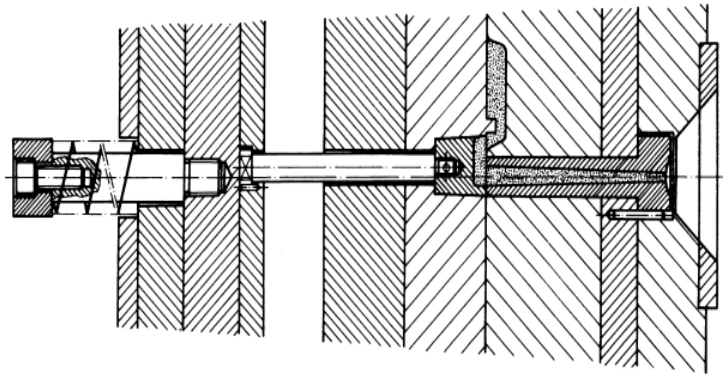
Yolluk kapısı her zaman kalıplanmış parçanın en kalın bölümüne yerleştirilmelidir. Uygun boyut sağlandığında, tutma basıncı, kalıplanmış parçanın katılaşığı tüm süre boyunca etkili kalabilir ve soğutma sırasındaki hacim daralması, boşluğa zorlanan ilave malzeme ile telafi edilir. Hiçbir boşluk veya çöküntü izi oluşmaz.

Yolluk kapısının çapı kalıplanmış parçadaki konumuna bağlıdır. Yolluktaki erimiş metalin en son katılaşması için kalıplanmış parçanın kesit kalınlığından biraz daha büyük olması gerekir. Ancak daha kalın olmamalıdır çünkü bu durumda erimiş metal çok geç katılaşır ve soğuma süresini gereksiz yere uzatır.

Amerikan standart yolluk burçları, yaklaşık 2,4°'ye eşdeğer olan, bir feet ölçü başına 1/2 inçlik düzgün bir konikliğe sahiptir. Nozula doğru olan delik, nozulun karşılık gelen deliğinden daha geniş olmalıdır. Bu gereksinimler karşılanmazsa üst uçta alttan kesikler oluşur. Dökümün ayrılma özellikleri büyük ölçüde konik deliğin yüzey kalitesine de bağlıdır. Yarıçapı r_2 olan döküm ve döküm arasında keskin bir çentik oluşturulması, enjeksiyon sırasında malzemenin kalıba doğru şişmesine izin verilmesi için yolluk tabanında keskin bir çentik oluşturulması tavsiye edilir.

En ince işçilik ile işlenmiş bile olsa enjeksiyon sonrasında parça üzerinde izler kalabilmektedir. Yolluğun, ürünün montajından sonra kapatılacak bir konuma yerleştirilmesi denenebilir. Bu genellikle pratik olmadığından, döküm parçasına içeriden veya daha sonra fark edilemeyecek bir noktadan ulaşacak şekilde yolluğa bir dönüş sağlanabilir.

Bu tür yeniden yönlendirilmiş yollukların ek avantajı püskürtmenin önlenmesidir. Malzeme önce karşı duvara çarpar ve oradan boşluğu doldurmaya başlar. Burada yolluk giderme yöntemi olarak işleme de gereklidir. Yolluk kapısının başka bir ilginç çeşidi Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Bu, parçanın yanal geçişine izin veren kavisli bir yolluktur.



Şekil 6.3. Geri Çekişli Yolluk (Altunbaş vd., M 2011)

6.3.1. Yolluk Tasarımı

Yolluk tasarımının kalıptan elde edilecek olan ürüne direkt etkisi olduğundan dolayı, uygun ve kaliteli ürün için en önemli parametrelerdendir. Yolluk tasarımında dikkat edilen hususlar bulunmaktadır. Bunların başında yolluğun çok uzun olmaması ve mümkün olduğunca az radiuslu olması istenmektedir. Yolluk tasarımı üretilecek ürüne göre farklılık göstermektedir. Tasarım aşamasında yapılan analizler ve kalıp tasarımcısının tecrübesine bağlı olarak enjeksiyonun uygun şekilde gerçekleşmesini sağlayacak yolluk kalıbın üzerine işlenmektedir.

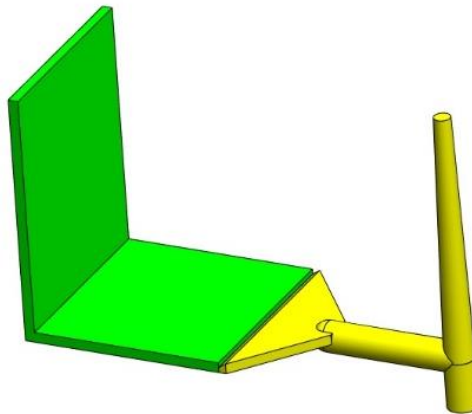
6.3.2. Yolluk Çeşitleri

Enjeksiyon için zaman içerisinde kullanılabilecek değişik yolluk stilleri geliştirilmiştir. Yolluk çeşitlerini sıralayacak olursak;

- Kenar – fan yolluk
- Disk yolluk
- Halka yolluk
- Tünel yolluk (muz yolluk)

6.3.2.1. Kenar Fan Yolluk

Kenar yolluk öncelikle geniş yüzeyli ve ince duvarlı parçaların kalıplanmasında tercih edilen bir yolluk yöntemidir. Şekil 6.4’te görülmektedir.



Şekil 6.4. Kenar Fan Yolluk

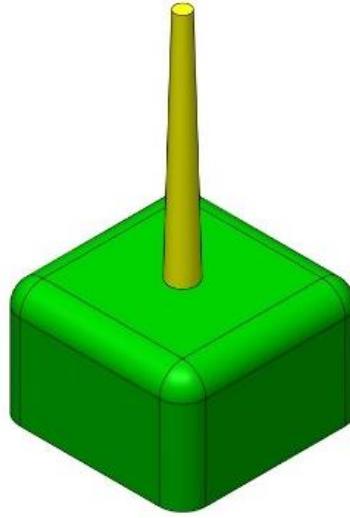
Tüm genişlik boyunca paralel yönlendirme. Kısacası parçanın bir kenarı boyunca yolluğun olması durumudur. Her durumda akış yönünde ve enine yönde eşit çekme oranı bulunmaktadır. Malzemenin düzgün ve homojenik bir enjeksiyon işlemi için gereklidir. Parça yüzeyinde yolluk izi görünmez.

Yolluktan ayrılan malzeme ilk olarak boşluğu dar bir alan üzerinden yolluk sistemine bağlayan uzatılmış bir dağıtım kanalına girer. (Altunbaş vd., 2011)

6.3.2.2. Disk Yolluk

Disk kapısı, silindirik kesitin tamamının eşit şekilde doldurulmasını sağlar. Disk düzlemsel dairesel bir şekle sahip olabilir veya genellikle 90° konik bir koni ve erimiş metalin kalıplanmış parçanın daha büyük çapına eşit şekilde dağıtır. Bu, örgü çizgilerinin ortadan kaldırılması avantajına sahiptir.

Şekil 6.5'te şemsiye yolluk gösterilmektedir. Burada kullanılmış olan yolluk 90 derecelik açı ile çalışma parçasına giriş yapmaktadır. (Altunbaş vd., 2011)



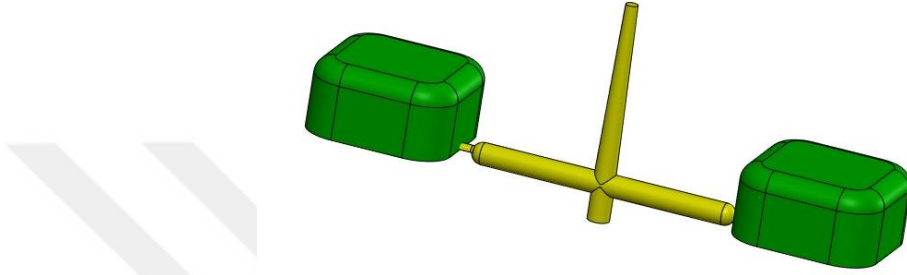
Şekil 6.5. Şemsiye Yolluk Girişi 90°'lik Açı

6.3.2.3. Halka Yolluk

Uzunluğu nedeniyle çekirdeğin her iki ucundan desteklenmesini gerektiren silindirik parçalar için bir halka giriş kapısı kullanılan yolluk tarzıdır. Erimiş metal ilk önce yolluktan geçerek parçaya bir toprakla bağlanan halka şeklinde bir kanala geçer. Dar

kesitli kısım, dolum esnasında kısıcı görevi görmektedir. Böylece, önce halka şeklindeki kapı malzeme ile doludur. Daha sonra malzeme boşluğa girer.

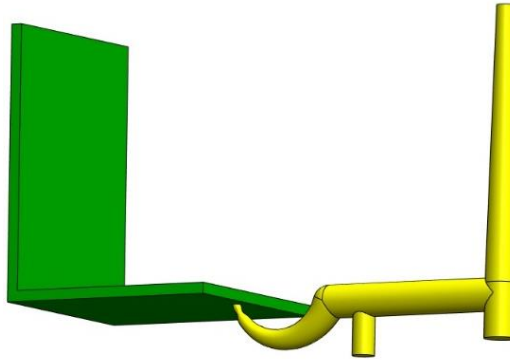
Bu geçidin özel avantajı çekirdeğin her iki uçtan da desteklenmesinin mümkün olmasıdır. Bu, nispeten uzun silindirik parçaların (uzunluk/çap oranı 5/1'den büyük) eşit duvar kalınlığıyla kalıplanmasına olanak tanır. Şekil 6.6'de halka yolluk tasarımı bulunmaktadır.



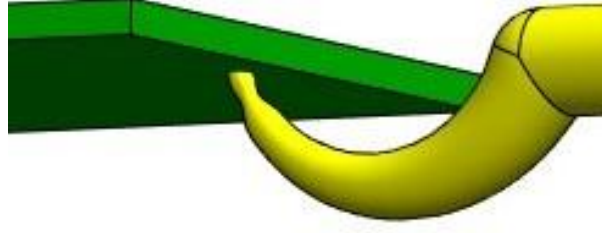
Şekil 6.6. Halka Yolluk

6.3.2.4. Tünel Yolluk (Muz Yolluk)

Otomatik olarak çalıştırılabilen, tek ayırma hattına sahip, kendinden ayrılan tek yolluk sistemi olarak kabul edilir. Parça ve itici, ayırım çizgisi boyunca aynı düzlemededir. Boşluk duvarına eğik bir açıyla frezelenen tünel benzeri delik, boşluk ile tünel arasında keskin bir kenar oluşturur. Tünel deliği kesik koni şeklinde veya sivri uçlu olabilir. Şekil 6.7'da tünel yolluk açıklanmaktadır. Şekil 6.8'da tünel yolluk detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



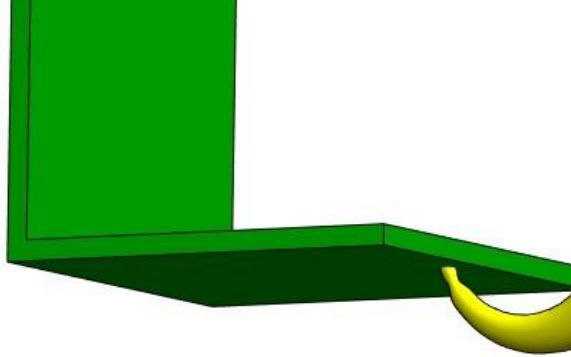
Şekil 6.7. Tünel Yolluk



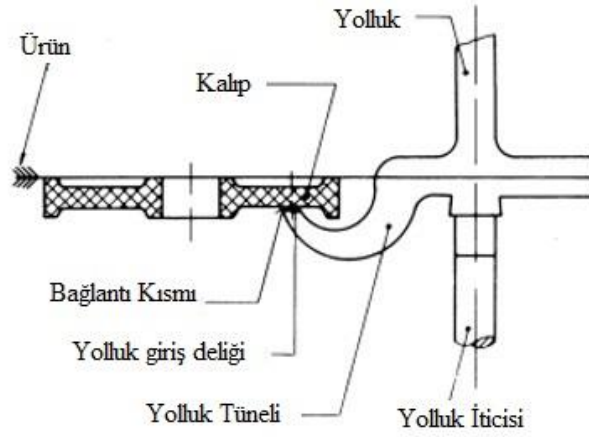
Şekil 6.8. Sivri Konik Tünelli Tünel Kapısı

İkinci form daha yavaş donar ve daha uzun tutma basıncı süresine izin verir. İşleme özellikle ucuzdur.

Kırılgan malzemelerde, kalıbın açılması sırasında kaçınılmaz olarak bükülmesi nedeniyle yolluğun kırılma riski vardır. Bu nedenle, fırlatma sırasında daha sıcak, daha yumuşak ve daha elastik kalması için kızak sisteminin daha ağır hale getirilmesi tavsiye edilir. Şekil 6.9’de parça üzerinde muz yolluk gösterilmektedir. Şekil 6.10’de muz yolluk elemanları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 6.9. Parçada Muz Yolluk



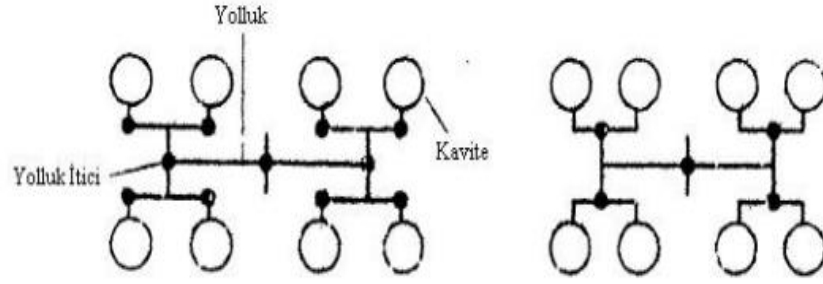
Şekil 6.10. Kıvrımlı Tünel Yolluk (Zhang, S. H., & Danckert, J. 1998).

Tünel, hareketli kalıp yarısındaki maçaya işlenir. Kapak ve parçanın ayrılması, ejektör sisteminin hareketi ile kalıp açıldıktan sonra gerçekleşir. Kavisli tünel kapısı da aynı sisteme göre çalışmaktadır. (Altunbaş vd., 2011)

6.3.2.5. Yolluk Çekicilerinin Sayısı ve Yerleşimi

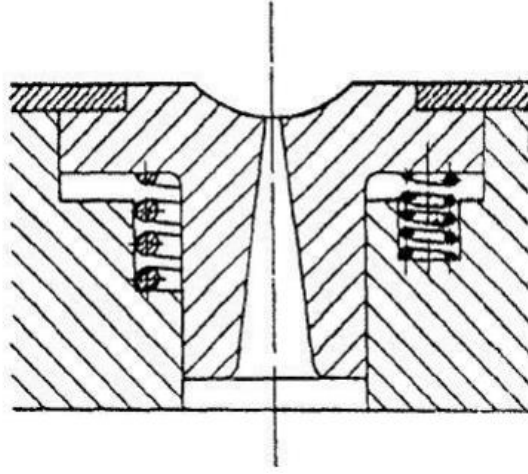
Yolluk çekici tasarımı tamamen kullanılacak olan alaşıma göre değişmektedir. Bir tasarımcı, yolluk çekici tasarımı gerçekleştiriyorken bunu en optimum şekilde dizyan etmelidir. Bunun sebebi tamamen maliyeti düşük tutabilmektir. Yolluk çekicisinin koyulabilmesi için kalıp çeliği üzerinde yerleştirme deliği açılması gerekmektedir. Kalıp üzerinde fazladan açılacak olan her delik, kalıp çeliğini zayıflatmaktadır. Yolluk çekicinin olduğu kısımdan erimiş halde ve yüksek sıcaklıkta alaşım geçiş yapacaktır. Yüksek sıcaklıktan kaynaklı olarak kalıpta bu bölgeler normalden daha fazla ısınacaktır. Kalıp üzerinde termal çatlakların oluşmaması için bu bölgelerden soğutma için kullanılacak olan soğutma suyunun geçtiği kanallar bulunmaktadır.

Yolluk çekicisinin sayısı fazla olduğu durumlarda, uygun bir soğutma kanalı tasarımı yapılmamaktadır. Yolluk çekici tasarımı ve sayısı aynı şekilde optimum bir alaşım akışının olması için önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 6.11’de homojen dağılıma sahip yolluk tasarımı görülmektedir. (Kamber, 2003)



Şekil 6.11. İticilerin Yerleştirilmesi (Koyun, 2005)

Yolluk girişini yolluk burcundan ayıran ancak daha az kullanılan bir başka yöntem de Şekil 6.12’te gösterilmiştir. Yolluk burcu bir yay tarafından sıkıştırılmaktadır. Kalıp dolduktan sonra enjeksiyon ünitesi, yolluk burcundan ayrılır ayrılmaz yay veya yaylar yolluk burcunu geriye doğru iterek yolluk girişinden ayrılmasını sağlamaktadır. (Altunbaş, Alkan & Ay, 2011)



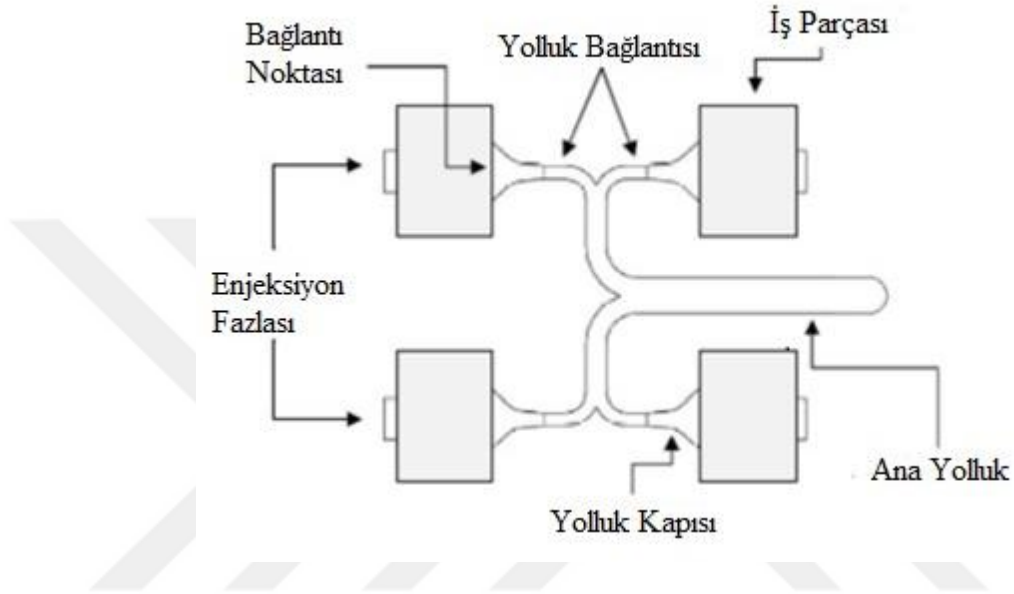
Şekil 6.12. Yolluk ile Sıkıştırılmış Yolluk Burcu (Koyun, 2005)

6.4. Hava Cepleri

Hava cepleri, bileşenlerin kalıp boşluğundaki son dolum noktalarında bulunan ve kalıp boşluğuna giren ilk erimiş metali alma işlevine sahip olan bölgelerdir. Kalıp boşluğuna giren ilk metal, oksitler ve diğer yabancı maddeleri içerdiğinden düşük kaliteli bir metal olarak kabul edilir. Ayrıca enjeksiyon işlemi sırasında kalan havanın tahliye edilmesi için bir geçiş görevi de görür. Hava ceplerinin stratejik olarak yerleştirilmesi,

katılaşma sırasında metal büzülmesinin telafi edilmesine yardımcı olur ve ayrıca kalıptaki soğuk bir alana ısı eklenmesine yardımcı olur. Hava cepleri bağlantılı olarak, enjeksiyon işlemi boyunca havanın kalıptan tahliye edilmesini sağlayan havalandırma bölgeleridir.

Şekil 6.13'te optimum bir hava cebi ve yolluk tasarımı görülmektedir. (Altunbaş vd., 2011)



Şekil 6.13. Hava Cepleri ve Yolluk (Pires de Oliveira, 2018)

BÖLÜM 7

REVİZYON ÇALIŞMALARI

7.1. Revizyon Çalışmaları ve Amaçları

Sunulan tez çalışması endüstride pratik karşılığı bulunan özgün bir tez çalışmasıdır. Üretim parkurunu yavaşlatan bir kalıp üç farklı açıdan revize edilerek makine parkurunun hızlanması ve daha kaliteli ürün elde edilmesi amaçlanmıştır. Seri üretim yapılan firmalarda süre çok önemli bir parametredir. Ortaya çıkan hatalarda kalıbın makineden ayrılması ve tamir edilmesi gerekmektedir. Tamir sırasında geçen süre içerisinde makine üretim yapmayacağı için makine parkurunu ve üretimi sıkıntıya sokmaktadır. Yapılacak olan revizyon çalışmaları üretim sırasında daha önceden ortaya çıkan hataları azaltmayı amaçlamaktadır.

Çalışma parçasının, enjeksiyon sonrası itici taraftan ayrılan üründe düşmeden kaynaklı deformasyon gözlemlenmektedir. Aynı zamanda enjeksiyon sırasında ürünün yüzeyinde hava kabarcıkları oluşmaktadır. Çalışma parçasının daha ekonomik olması ve maliyetini düşürülmesi adına ağırlığının hafifletilmesi amaçlanmaktadır. Yapılması planlanan revizyonlar üç başlık altında açıklanmıştır:

- Çalışma parçasının yıllık üretim miktarı bir milyon adet olarak belirlenmiştir ancak normalde tam çalışma zamanında bu sayı iki milyonun üzerindedir. Ürünün yapılan çalışmalardan önceki ağırlığının düşürülmesi ve parça başına olan maliyetin azalması hedeflenmektedir. Çalışma parçasının hafiflemesinin üretim süresini de kısaltması hedeflenmektedir. Üretim süresinin kısalması ve makinenin daha çabuk bir sonraki kalıba geçmesi sağlanarak makine parkurunun esnekliği amaçlanmaktadır.
- Enjeksiyon belirli bir hız ve sıcaklık altında gerçekleşmektedir. Kalıbın tasarımı sırasında en önemli nokta yolluk tasarımıdır. Yolluk tasarımının uygun olması kalıp gözlerine girişlerin, giren ürün miktarının doğru hesaplanıp optimum bir tasarım yapılması amaçlanmaktadır. Enjeksiyon

sırasında kullanılan alaşım, makine ve çevresel etmenlerden dolayı sorunlar görülebilir. Çalışma parçasında meydana gelen hata, enjeksiyon sırasında ortaya çıkan havanın atılamamasıdır. Kalıba tasarım sırasında hava cepleri uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Kalıp dört gözlü ve büyük olduğundan dolayı havayı atma konusunda ek kısımlara ihtiyaç duymaktadır. Maçalarda bulunan pimlerin üzerine, aşındırıcı işlem yardımı ile ufak bir kanal açılması ve havanın bu kanaldan atılması hedeflenmektedir. İçerisinde hava kalmış ürünler sorun oluşturmaktadır. İçerisinde hava kalan ürünlerde porozite problemi baş göstermektedir.

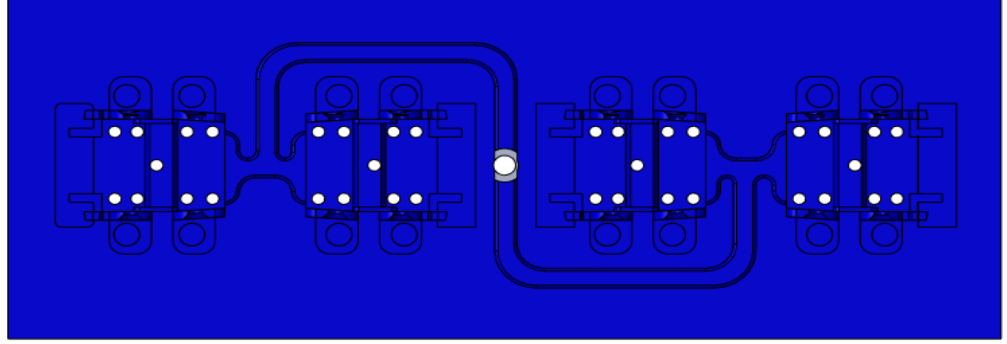
- Ürünün enjeksiyon sırasında zemine temasından dolayı tırnak kısımlarında deformasyon oluşmaktadır. Ağırlık merkezinden kaynaklı olarak çalışma parçası, kalınlığın diğer bölgelere göre daha az olduğu yerin üstüne düşmektedir. Deformasyon durumunun engellenmesi için tahrip olan bölgenin kalınlığının artırılması işlemi yapılması planlanmaktadır. Deformasyona uğrayan ve kesitin ince olduğu bölümde kalınlık arttırılmıştır.
- Ürün dışında kalıbın tasarımı da değişmektedir. Üretimde daha önceden meydana gelen hatalar sonucunda kalıbın bazı parçaları sabit olmaktan çıkmış ve geçmeli olarak kalıba monte edilebilecek parçalar halinde tasarlanmıştır. Kalıbın itici tarafında bulunan ve çalışma parçasının revizyona uğrayacak olan tırnak kısımları kalıba ekleme olan erkek parçalar yardımı ile elde edilecektir.

7.2. Revizyonlu Kalıp Tasarımı ve Orjinal Kalıp ile Karşılaştırılması

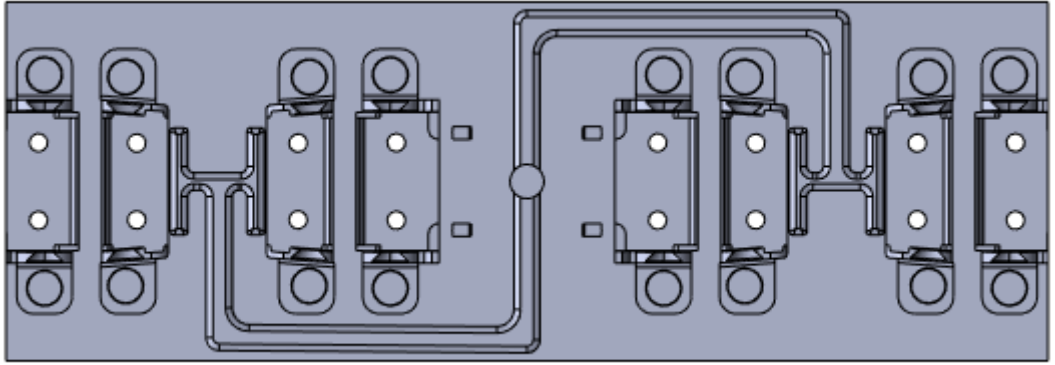
7.2.1. Duvar Kalınlığının İnceltilmesi Amacıyla İtici Taraf Çekirdeği Revizyonu

Duvar kalınlığının inceltmesi ile ürün genelinde ağırlık olarak bir hafifleme olması amaçlanmaktadır. Bunun sebebi hafifleme doğrultusunda daha az alaşım kullanılacak olmasıdır. Aynı zamanda üretim süresi daha kısa olacağından dolayı toplam maliyetlerin azalması hedeflenmektedir. Çalışma parçasında duvar kalınlığının inceltileceği kısım kalıbın çekirdeğine denk gelmektedir. Bu durum ürünün itici tarafında bulunan çeliğin revizyona uğraması anlamına gelmektedir. Çalışma parçasına ait revizyonlu kalıp itici taraf çekirdeği ve çekirdeğin içinde bulunduğu çelik parçalarda değişiklik yapılacaktır. Şekil 7.1’de orijinal kalıbın itici taraf

çekirdeği, şekil 7.2’de revizyonlu kalıbın itici taraf çekirdeğine ait tasarımlar bulunmaktadır.



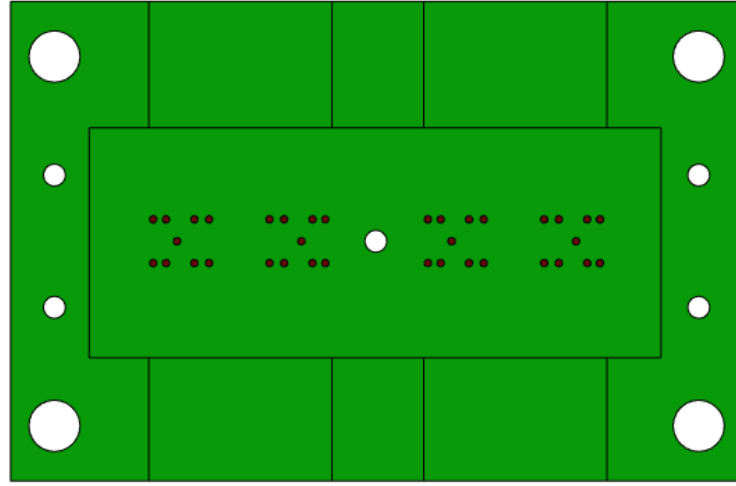
Şekil 7.1. Orijinal Kalıp İtici Taraf Çekirdeği Tasarımı



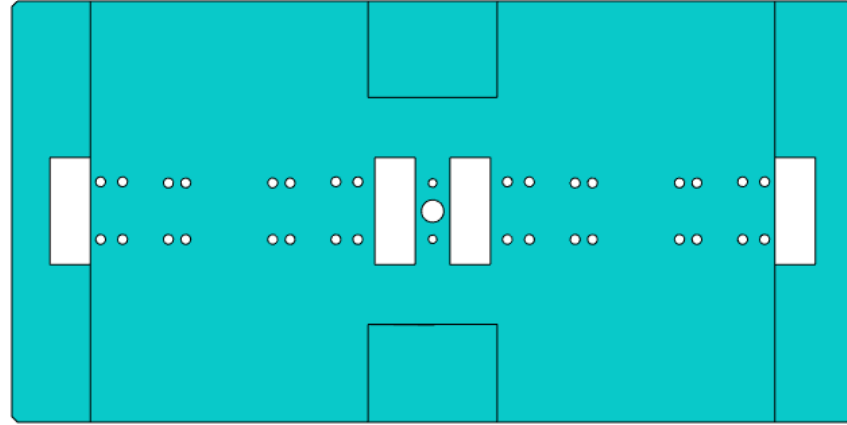
Şekil 7.2. Revizyonlu Kalıp İtici Taraf Çekirdeği Tasarımı

İtici taraf çekirdeğinde de değişiklik olmuştur. Kalıbın itici taraf çeliğine, erkek parçaların eklenmesinden dolayı boyu kısalmıştır. Ama asıl değişiklik duvar kısımlarında olan incelmeden dolayı kalıp çeliğinin içindedir. Kalıp çeliğinin geometrik tasarımı değişmiş ve yeniden imal edilmesi planlanmıştır.

Kalıba erkek parçalar ekleneceğinden dolayı, kalıbın itici taraf çeliğinin tasarımı değişmektedir. Bundan dolayı kalıba ait itici taraf çelikleri tekrardan tasarlanmıştır. Şekil 7.3’te orijinal ürüne ait kalıbın itici taraf çeliği, şekil 7.4’te revizyonlu ürüne ait kalıbın yeni itici taraf kalıp çeliği tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Orijinal Ürün Kalıbı İtici Taraf Çeliği Tasarımı



Şekil 7.4. Revizyonlu Ürün Kalıbı İtici Taraf Çeliği Tasarımı

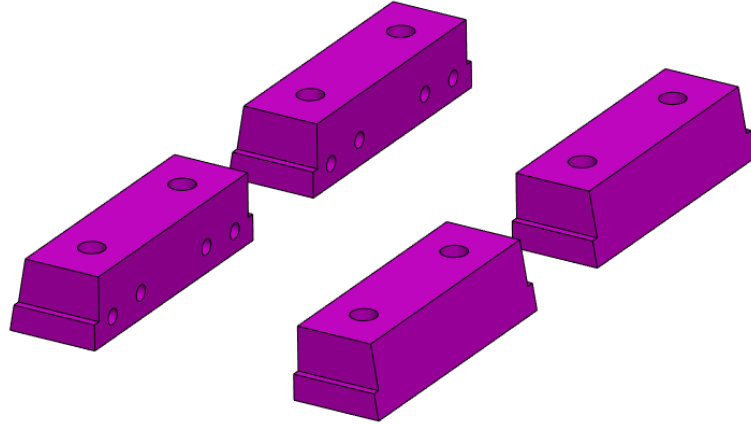
7.2.2. Maça Pimleri Revizyonu

Enjeksiyon sırasında gaz açığa çıkmaktadır. Bu gazlar farklılık gösterebilmektedir. Enjeksiyon sırasında hava, parça içinde bulunması istenmeyen bir gazdır. Her ne kadar kalıp tasarımı sırasında dikkat edilse ve aynı şekilde enjeksiyonu gerçekleştirmek için uygun ortam sağlansa bile bazı durumlarda hava, kalıbın içersinden atılamamaktadır. Bunun sonucunda hava kabarcıkları ortaya çıkmaktadır. Kalıp tasarımında hava cepleri ve yolluk tasarımı optimum bir şekilde tasarlanmıştır. Fakat buna rağmen enjeksiyon sırasında hava boşluğu bulunan ürünler ortaya çıkmaktadır. Bu durumun önlemek için maça pimlerinin üzerine 0.1 mm'lik kanallar açılmıştır. Bu işlem ile enjeksiyon sırasında atılamayan havanın atılması amaçlanmaktadır. Pimler maçaların

üzerinde bulunmaktadır. Maça elemanı kalıpta, parça üzerinde elde etmek istenen delik/boşluk bölgelerini ortaya çıkartan kalıp elemanıdır. Çalışma parçasında yan yüzeylerde 4.4 mm çapında delikler bulunmaktadır. Deliklerin açılması ucu 4.4 mm çapında olan pimler aracılığı ile gerçekleştirilecektir. Şekil 7.5'te orijinal kalıba ait maça, şekil 7.6'de revizyonlu kalıba ait maça tasarımı bulunmaktadır.



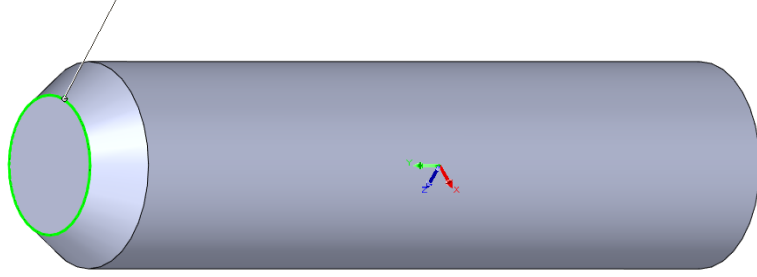
Şekil 7.5. Orijinal Kalıba Ait Maça Tasarımı



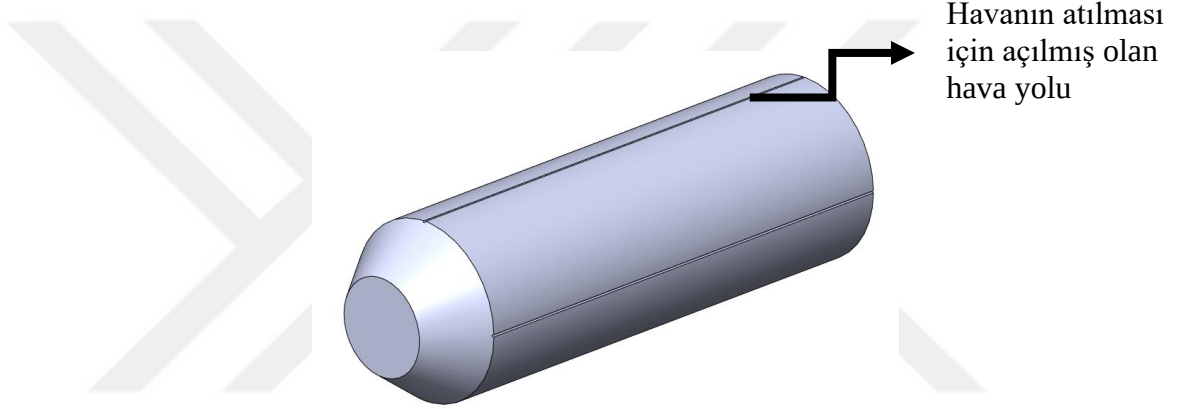
Şekil 7.6. Revizyonlu Kalıba Ait Maça Tasarımı

Revizyon asıl olarak kullanılacak pimlerde yapılmıştır. Şekil 7.5 ve 7.6'da bulunan maçalar bir ara elemandır. Şekil 7.7'da orijinal, 7.8'da revizyonlu pim tasarımı

bulunmaktadır. Revizyonlu pimde, enjeksiyon sırasında ortaya çıkan havanın atılması için pim üzerinde 0.1 mm derinliğinde hava yolu açılmış hali gösterilmektedir.

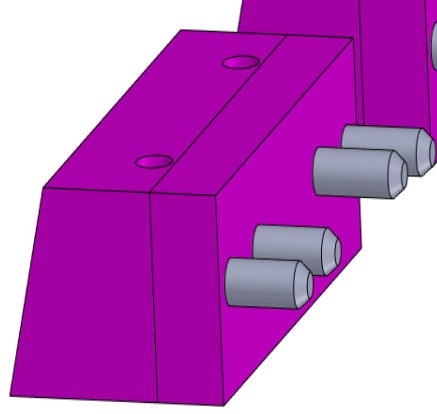


Şekil 7.7. Orijinal Maça Pimi Tasarımı

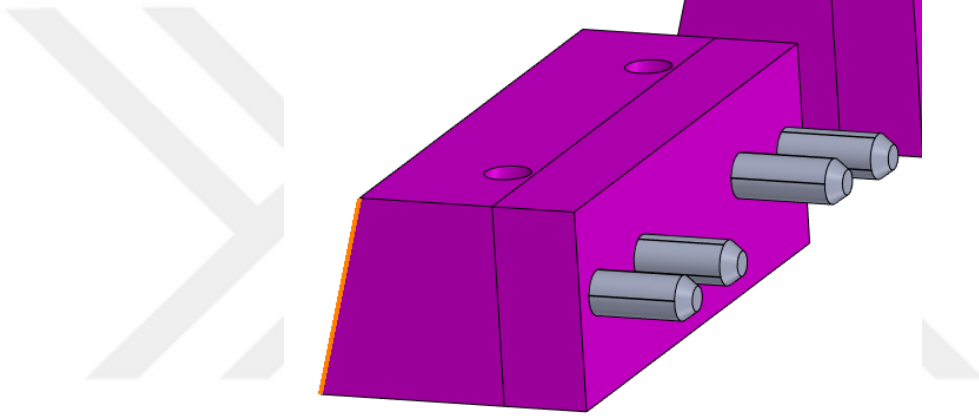


Şekil 7.8. Revizyonlu Maça Pimi Tasarımı

Pimler maçalara yerleştirilerek çalışmaktadır. Bundan dolayı maça üzerinde bulunan boşluklara bir adet maçaya dört adet pim gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Şekil 7.9’de orijinal pim maça üzerine koyulmuş halde görünüşü bulunmaktadır. Şekil 7.10’de revizyonlu pim maça üzerine koyulmuş halde görünüşü bulunmaktadır.



Şekil 7.9. Orijinal Pim Maça Üzerinde Görünüşü



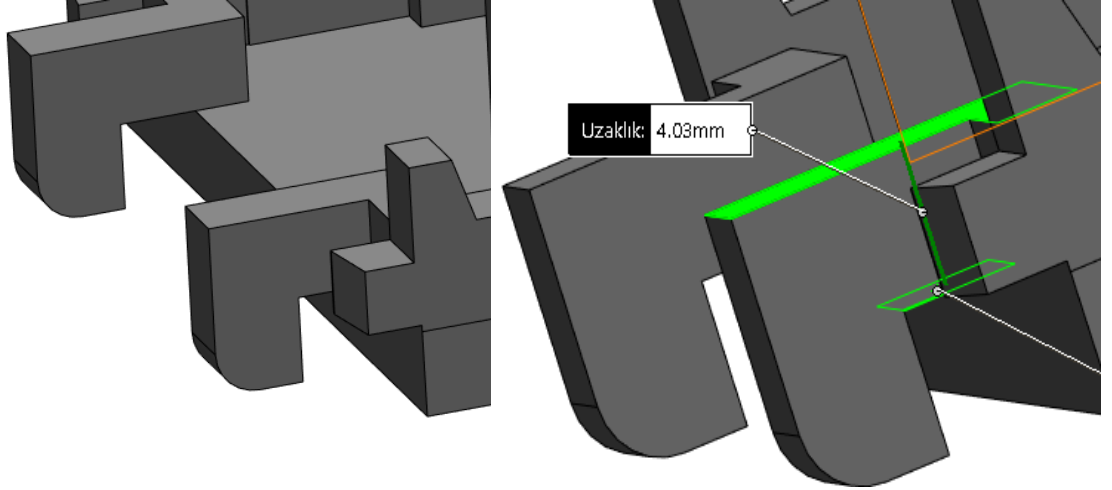
Şekil 7.10. Revizyonlu Pim Maça Üzerinde Görünüşü

Maçalar kalıp üzerine yerleştirilmektedir. Maçaların arkasında bulunan ve açılı olarak kesilmiş kısım ocak tarafında bulunan kısım enjeksiyon işlemi gerçekleştiği sırada itici taraf ile ocak tarafı birleştiğinde tam kenetlenmenin olması için yapılmıştır.

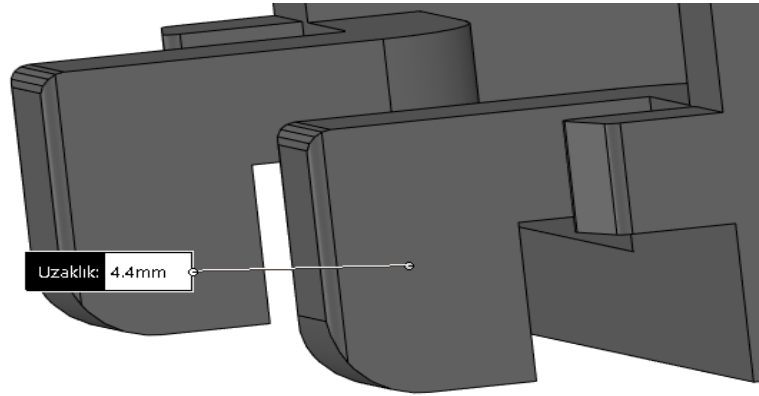
7.2.3. Üründe Meydana Gelen Deformasyonların Giderilmesi Amacıyla Tırnak Kısımlarında Yapılan Revizyon

Tez çalışma parçasına ait kalıp, yüksek basınçlı döküm kalıbıdır. Yüksek basınçlı döküm seri üretime uygunluk ve kullanılan alaşımın en verimli olduğu üretim yöntemidir. Enjeksiyonun sıcak kameralı döküm makinesinde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Kalıp tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken bir husus kalıbın içinde gömülü olan kısımların, kalıptan ayrılma halinin zor olmasıdır. Keski köşeli hatlar yerine radius ile

şekillendirilmiş hatlar tercih edilmektedir. Bunun en büyük sebebi enjeksiyon sırasında ürünün, kalıp üzerinden kolay ayrılmasını sağlamaktır. Makine otomatik olarak çalışmaktadır. Ürünün otomatik olarak düştüğü sırada, çalışma parçasının tırnak kısmının üstüne düştüğü gözlemlenmiştir. Tırnak kısmındaki kalınlık yeterince uygun olmadığından dolayı istenmeyen deformasyonlar meydana gelmektedir. Deforme olmuş tırnaklara sahip ürünlerin kullanılması mümkün değildir. Pencere sektöründe çalışma parçasında bulunduğu gibi bulunan tırnakların kullanım amacı kilitleme yapmaktır. Profilde gireceği yer belli olan bu tırnaklar tolerans dışında ölçü ve tolerans dışında deformasyona uğrarsa kullanılamaz. Bu durumu önlemek için tırnak kısmında düşme anında ilk temasa geçen kısmın kalınlığı arttırılmaktadır. Şekil 7.11’te orijinal tırnak tasarımı ve şekil 7.12’te revizyonlu tırnak tasarımı bulunmaktadır.



Şekil 7.11. Orijinal Tırnak Tasarımı



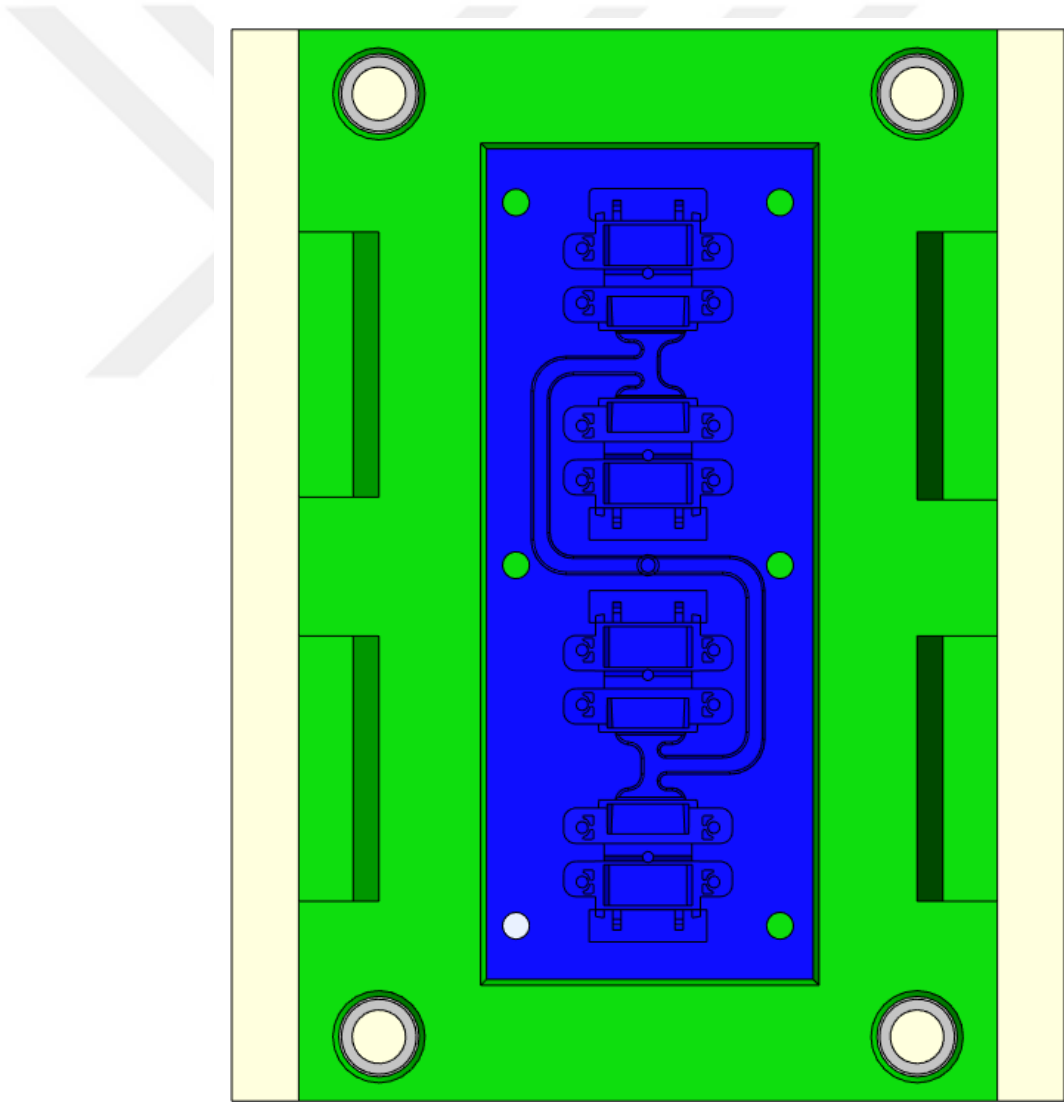
Şekil 7.12. Revizyonlu Tırnak Tasarımı

Yapılacak revizyon çalışması ile 100 adet baskıda çıkan 20 adet fire oranının düşürülmesi amaçlanmaktadır.

7.3. Revizyonlu Kalıp Parçalarının Tasarımı

7.3.1. Ocak Tarafı

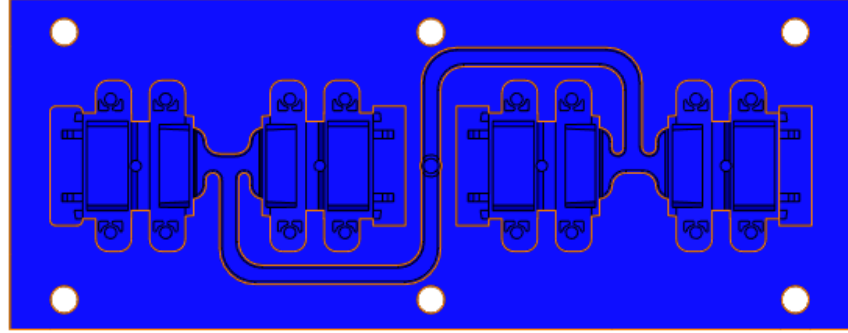
Ocak tarafı şekil 7.13'te gösterildiği gibidir. Ocak tarafı, bir adet makine bağlama plakası, bir adet ocak tarafı çeliği, ocak tarafı çekirdeği, 4 adet burç ve itici taraf üzerinde bulunan maçaları kitlemeye yardımcı olacak uzantılardan oluşmaktadır. Ocak tarafı çekirdeği, parçanın dış tarafını oluşturacak olan kısımdır.



Şekil 7.13. Revizyonlu Tırnak Tasarımı

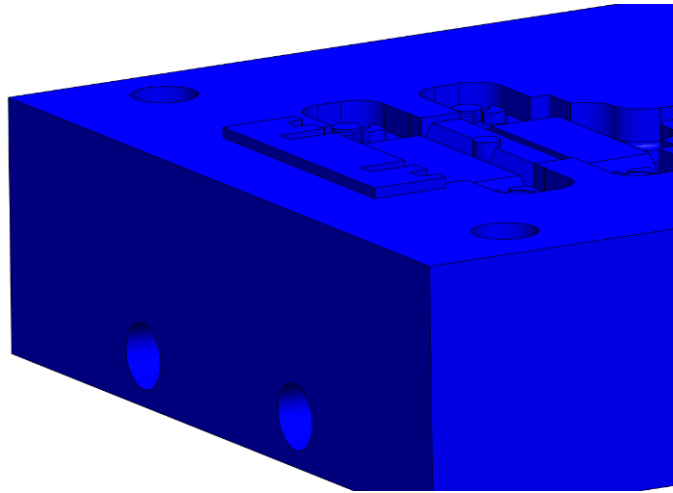
7.3.1.1. Ocak Tarafı Çekirdeği

Ocak tarafında bulunan çekirdek çalışma parçasının dış kısmını oluşturacak aynı zamanda enjeksiyonun gerçekleşeceği bölümdür. Sıvı halde bulunan metal ilk olarak yolluk ucu kısmından bu bölgeye dolacaktır. Şekil 7.14'te ocak tarafı çekirdek tasarımı görülmektedir.



Şekil 7.14. Ocak Tarafı Çekirdek Tasarımı

Tırnak kısımlarında meydana gelecek olan revizyondan dolayı itici tarafa erkek parçalar konulacaktır. Ocak tarafında tırnakların tam olarak oluşmasını sağlayacak bölge ocak tarafıdır. Ocak tarafında tırnakların yükseliğine eş değer olarak kalıp üzerinde 'alıştırma' olarak adlandırılan bölgeler işlenmiştir. Şekil 7.15'te ocak tarafındaki alıştırma tasarımı bulunmaktadır.



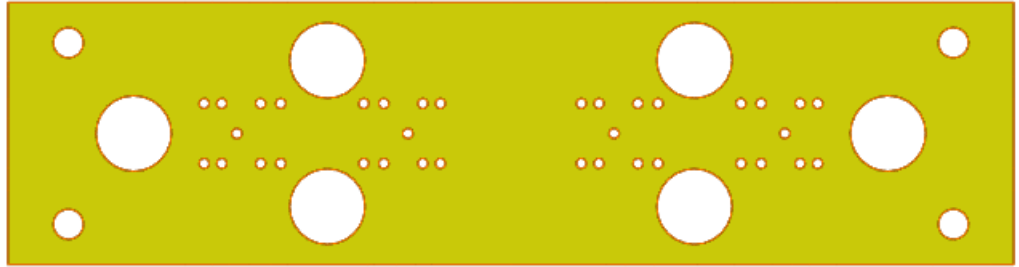
Şekil 7.15. Tırnakların Çıkabilmesi İçin Parça İşlenmesi

7.3.2. İtici Tarafı

Enjeksiyonun asıl olarak kalıbın hareketli kısmında gerçekleşmektedir. Enjeksiyon işlemi gerçekleştikten sonra çalışma parçası kalıbın hareketli kısmında kalacaktır. Daha sonrasında hareketli kısımda bulunan pimler yardımı ile kalıptan ayrılacaktır. Enjeksiyon sırasında parçanın asıl kısımlarını oluşturan bölüm, itici taraf olduğundan dolayı daha büyük bir yapıya ve ocak tarafına göre daha karmaşık bir geometriye sahiptir. İtici tarafında bulunan kısımları sıralayacak olursak; itici taraf çeliği, itici taraf çekirdeği, maçalar, geri stoplamalar, kolonlar, destek takozları, itici pim plakası, itici tutucu plaka, yayalar, yuvarlak desteklerdir.

7.3.2.1. İtici Pim Plakası

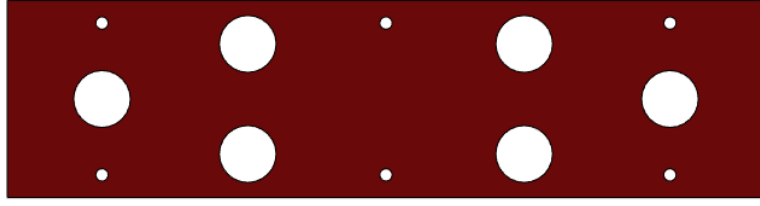
İtici tarafta bulunan pimlerin üzerinde bulunduğu çelik plakadır. Şekil 7.16’da itici pimlerinin ve daha sonradan koyulacak olan yuvarlak desteklerin aynı zamanda bağlantı deliklerinin delinmiş halde olduğu şekli görülmektedir. İtici pimlerin bulunduğu plakanın boyu ve genişliği çekirdek ile aynı ölçülerde olmak zorundadır.



Şekil 7.16. İtici Pim Plakası Tasarımı

7.3.2.2. İtici Tutucu Plaka

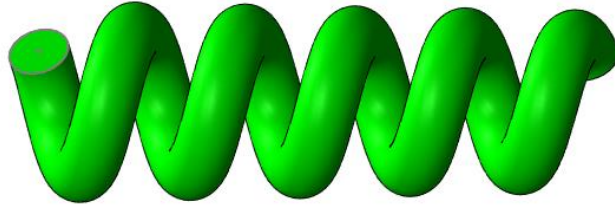
Enjeksiyon işlemi yüksek basınçta gerçekleşir. Bunda çelikten yapılmış olan kalıbı deforme etmemesi için itici pimlerin bulunduğu plakaya destek plakası kullanılmaktadır. Şekil 7.17’de itici tutucu plaka görülmektedir. İtici tutucu plaka, itici pim plakası ve itici taraf çekirdeği ile aynı ölçülerde olmak zorundadır.



Şekil 7.17. İtici Tutucu Plaka Tasarımı

7.3.2.3. Yeşil Yaylar

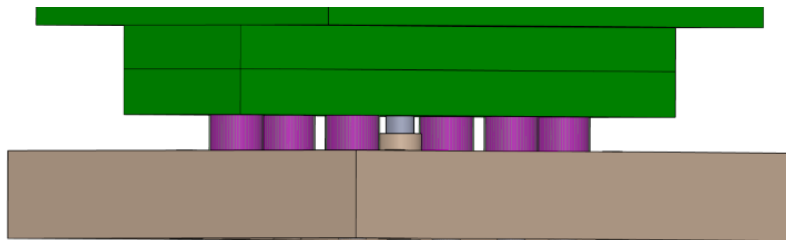
Kalıpcılık endüstrisinde yaylar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bunun sebebi kalıbı yüksek kuvvetler altında deformasyona karşı korumaktır. Şekil 7.18’de kullanılması planlanan yeşil yay tasarımı bulunmaktadır. Yaylar genellikle destek kolonlarının etrafını saracak şekilde kullanılmaktadır. Bunun sebebi mukavemeti arttırmak ve kalıbın plakasını daha dayanıklı bir hale getirmektir.



Şekil 7.18. Yeşil Yay

7.3.2.4. Yuvarlak Destekler

Çalışma parçasında deformasyon riski oldukça yüksektir. Bundan dolayı yayların desteği ve yuvarlak desteklerin yardımı ile itici tutucu plakalar güçlendirilmektedir. Şekil 7.19’da yuvarlak destek tasarımı görülmektedir.



Şekil 7.19. Yuvarlak Desteğin Kalıp Montajındaki Yeri

7.4. Revizyonlu Kalıp İmalatı

Revizyon tasarımının uygun bulunması üzerine revizyonlu kalıp imalatı gerçekleştirilecektir. Kalıp tasarımında izlenen yol aşağıdaki sıra ile anlatıldığı gibidir.

7.4.1. Kalıp Çeliğinin Seçilmesi

Kalıp imalatı sırasında sıradan çelikler kullanılmamaktadır. Sıcaklığa dayanıklı, mukavemeti yüksek, gerekirse sertleştirilmiş, ısıl işlem görmüş çelikler seçilmektedir. Çelik seçimi sırasında çeliklerin kodlarından yararlanılmaktadır. Kalıp tasarımında 1.2344 kodlu imalat çeliği kullanılacaktır. Maçaların yapımı aşamasında da 1.2344 kodlu imalat çeliği kullanılacak fakat ısıl işlem görmüş olacaktır. Maçalar, kalıba nazaran ufak parçalar olduğundan dolayı daha fazla deforme olma olasılıkları bulunmaktadır. Buna önlem olarak çeliğin ömrünün uzatılması amaçlanmaktadır.

1.2344, yüksek basınçlı döküm sistemleri içerisinde kalıp imalatı için en çok tercih edilen çeliktir. Bu çeliğin tercih edilme sebebi, yüksek mukavemetli olması, rahat şekil alabilmesi ve işlenebilmesi ve maliyetli olmamasıdır.

7.4.2. Çeliğe Uygulanacak Olan İşlemler

Çelik kullanıma hazır olması için bazı işlemlere tabi tutulacaktır. Bu işlemler:

- Taşlama
- Delme
- CNC freze ile işleme
- Elektro erozyon ile işleme olarak sıralanabilir

Taşlama önemli proseslerden bir tanesidir. Daha sonrasında kalıp çelikleri üzerinde konulacak olan bağlantı elemanlarının yerlerine göre, bağlantı elemanı deliklerinin delinmesi işlemi, çekirdeklerin koyulması için kalıp çeliklerinin içinin şekillendirilmesi, burç ve kolonların yerleştirilebilmesi, yüksek kalitede delik delme işlemi yani raybalama yapılmaktadır. Enjeksiyon kalıbının iç geometrisinin işlenmesi sadece freze veya CNC freze ile yapılmamaktadır. Revizyonlu kalıpta elde edilmek istenen ölçülerin tam olarak elde edilebilmesi için CNC Freze işlemi sonrasında dalma erozyon (elektro erozyon) ile parçalara son rutuşlar verilmektedir.

7.4.2.1. Kalıp Çeliğinin Taşlanması

Çeliğin taşlanmasını sebeplerini sıralayacak olursak;

- Yüzeyin pürüzsüz halde olmasını sağlamak amacı ile taşlama işlemi yapılması gerekmektedir. Çeliğin pürüzsüz olmadığı ve çapaklı olduğu bir durumda enjeksiyon sırasında üretilen üründe yüzey hataları görülecektir.
- Doksan derece olmayan bir kalıp çeliği parçası, diğer çelik ile tam üst üste gelmeyecektir. Kalıp yarılarının tam olarak kapanmaması durumu oluşacaktır.

Şekil 7.20’de taşlama işlemi sırasında kullanılmış olan taşlama makinesi görülmektedir. Bu makinede bir adet hareketli halde bulunan zımparalı döner parça çelik üzerinde yatay düzlemde, verilmiş olan pasoya göre talaş kaldırma işlemi yapmaktadır.



Şekil 7.20. Taşlama Makinesi

7.4.2.2. Kalıp Çeliğinde Bağlantı Elemanlarının Delikleri Delinmesi

Enjeksiyon sırasında kullanılacak olan çelik tek bir parça olarak makine üzerine yerleştiriliyor olsa da kalıp yarıları birbirinden farklı bileşenler içermektedir. Bağlantı elemanlarının yerleştirilebilmesi için kalıp üzerinde, bağlantı elemanları için yer açılması gerekmektedir. Bu işlemler içinde raybalama, freze ile delme ve CNC freze ile delme en sık kullanılanlarıdır.

7.4.2.2.1. Rayba

Rayba işlemi kalıp yapımı aşamasında bağlantı elemanlarının yerleştirileceği delikleri, yüksek kaliteli bir şekilde elde etmek için kullanılan talaş kaldırma işlemidir.

Rayba işlemi sonucunda pürüzsüz, yüksek kalitede delik elde edilmektedir. Rayba matkap ucuna verilen isimdir. Normal matkap uçlarına nazaran daha büyük çaplara sahip olmaktadır. Şekil 7.21’de rayba işleminde kullanılan rayba matkap ucu görülmektedir.



Şekil 7.21. Rayba İşleminde Kullanılan Matkap Ucu

7.4.2.2.2. Freze

Freze talaş kaldırma işlemidir. Freze, raybaya göre delik kalitesi biraz daha düşük deliklerin elde edilmesinde pratik bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Şekil 7.22’te freze makinesi bulunmaktadır.



Şekil 7.22. Freze Makinesi

7.4.2.2.3. CNC Freze

Kalıp imalatı uzun bir süreçtir. Teknolojinin ilerlemesi, endüstrinin gelişmesi sonucunda yeni talaş kaldırma makineleri ortaya çıkmıştır. Bu makinelerden en pratik olan ve en çok işe yarayanlardan bir tanesi CNC frezedir. CAM programları aracılığı ile çalışan ve yazılmış olan G kodu aracılığı ile çalışma parçasının üzerinde işlemi yapılmasını sağlayan makineler olarak tanımlamak mümkün olacaktır. Kalıp tasarımcısı tarafından belirlenmiş olan ölçüler dahilinde çekirdeğin, kasa içerisine oturtulması için işlemlere başlanır.

CNC Freze kullanımı sırasında CAM programlarından yararlanılmaktadır. CAM kısaltmasının anlamı 'Computer Aided Manufacturing'dir. Şekil 7.23'te revizyonlu kalıbın çeliğinin CNC frezede işlenme hali verilmektedir.



Şekil 7.23. CNC ve Kalıp Parçası.

7.4.2.1.4. Dalma Erozyon

CNC freze üretim sürecini hızlandıran bir makine olsa da bazı durumlarda parça geometrisinden dolayı matkap uçlarının kullanılamayacağı kısımlar bulunmaktadır. Bu gibi durumlarda dalma erozyon kullanılmaktadır.

Burada yapılan işlem sırasında diğer talaş kaldırma proseslerinden farklı olarak matkap uçları değil tersine mühendislik yardımı ile elde edilmiş olan parçanın bakırdan modeli kullanılmaktadır. Dalma erozyonlarda bakır kullanılmasının sebebi iletkenliğinin yüksek olmasıdır. Makine çalışma prensiplerine bakacak olursak: destek parçasına bağlanmış olan bakır model verilen paso üzerinden çalışma parçasının üzerine matkap uçları ile müdahale edilemeyen kısımlara etki etmektedir. Buradaki asıl amaç ürünün üzerinde bulunan raiduslu ve kıvrımlı kısımları oluşturmaktır. Şekil 7.24'te kalıbın işlenmesi amacıyla kullanılmış olan dalma erozyon görülmektedir.



Şekil 7.24. Revizyonlu Kalıp Üretimi Sırasında Kullanılan Dalma Erozyon.

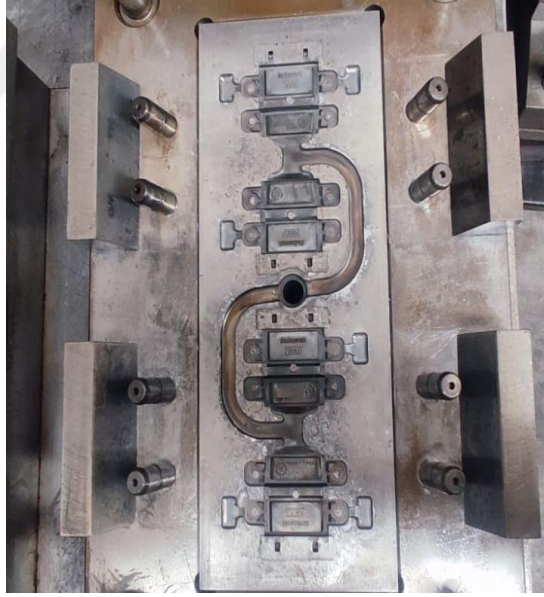
Şekil 7.25'te ise dalma erozyon için yapılmış olan modeller görülmektedir.



Şekil 7.25. Orijinal – Revizyonlu Parça Dalma Erozyon Modelleri

7.4.3. Ocak Tarafı İmalatı

Ocak tarafının parçaları olarak; ocak tarafı çeliği, ocak tarafı çekirdeği, kolonlardır. Şekil 7.26’de ocak tarafının görüşünü gösterilmektedir.



Şekil 7.26. Revizyonlu Parça Ocak Tarafı

7.4.3.1. Ocak tarafı çeliği imalatı

Ocak tarafını asıl oluşturacak olan kısımdır. Daha önceden CNC freze ile yapılmış işleme sonucunda, çekirdeğin içine oturmasını sağlamak için boşluk bulunmaktadır. Makinenin sabit plakasına bağlıdır. Şekil 7.27’de ocak taraf çeliği görseli bulunmaktadır.



Şekil 7.27. Ocak Tarafı Çeliği

7.4.3.2. Ocak tarafı çekirdeği imalatı

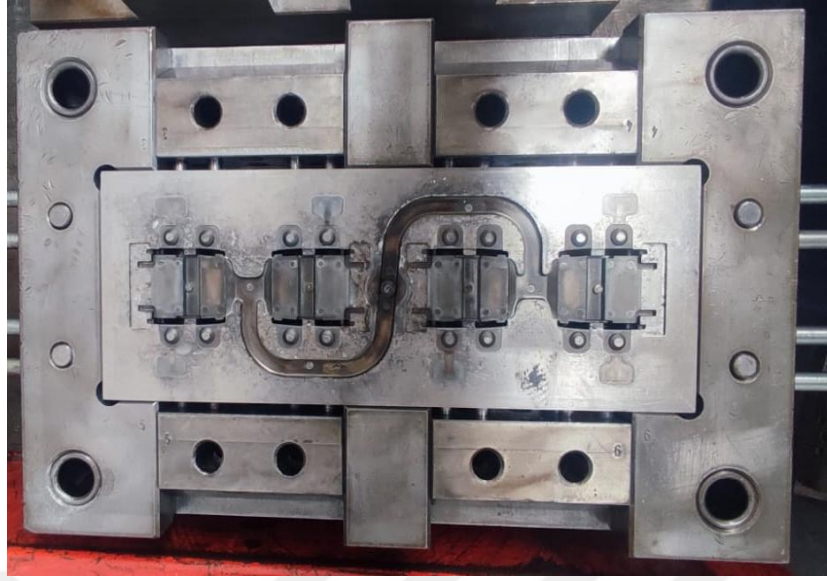
Ocak tarafı, çalışma parçasının üretimini sağlamak ve farklı durumlarda oluşabilecek olan hataların önüne geçebilmek adına ayrı bir çelikten imal edilecektir. Şekil 7.28’de ocak tarafına ait çekirdek görülmektedir.



Şekil 7.28. Ocak Tarafı Çekirdeği

7.4.4. İtici Taraf İmalatı

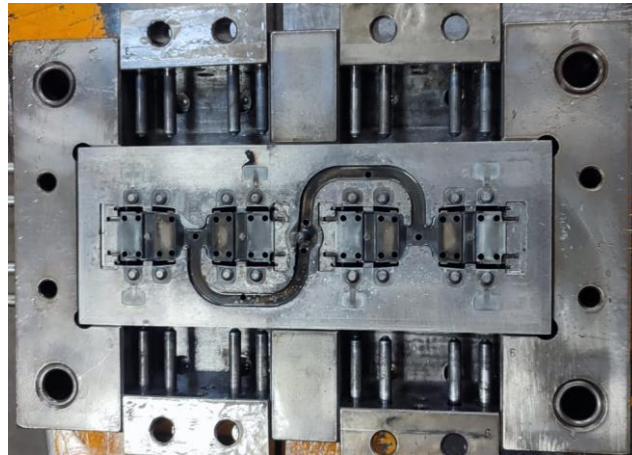
İtici taraf; itici taraf kasa çeliği, itici taraf çekirdeği, itici taraf destek plakası, destek takozları, maçalar ve erkek parçalardan oluşmaktadır. Şekil 7.29’da itici taraf görülmektedir.



Şekil 7.29. Revizyonlu Kalıp İtici Taraf

7.4.4.1. İtici Taraf Çeliği İmalatı

İtici taraf çeliği, itici taraf çekirdeğinin içerisine yerleştirilmesi için önceden işlenmiş parçadır. Erkek parçaların kullanılabilmesi için kalıbın o bölgelesinin tamamen boş bırakılması gerekmektedir. Erkek parça kullanılmasının sebebi daha sonradan enjeksiyon sırasında meydana gelebilecek olan hataları ortadan kaldırmak ve maliyeti azaltmaktır. Kullanılan çelikler ise yine 1.2344 imalat çeliği olup 52 HRC sertliğindedir. Ocak tarafı ile birleşmesi ve kalıp yarılarının kenetlenmesi için üzerinde kolonlar bulunmaktadır. Şekil 7.30’de itici taraf çeliği görülmektedir.



Şekil 7.30. İtici Taraf Çeliği

7.4.4.2. İtici taraf Çekirdeği İmalatı

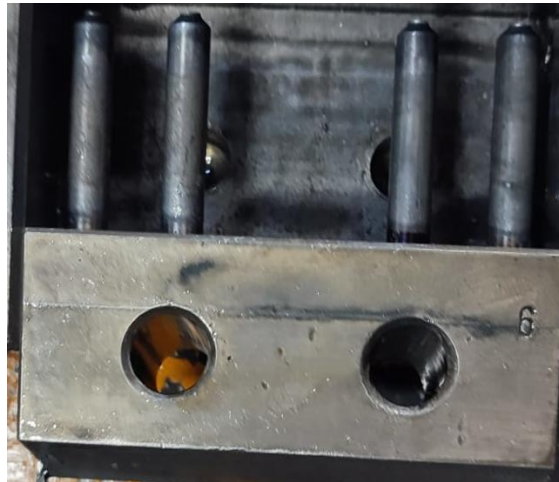
İtici taraf, çeliğin işlenmesi ile boş bir hale gelmektedir. Bunun sebebi çekirdeğin yerleştirilebilmesi için gerekli alanın elde edilmesidir. Çalışma parçasının ana hatlarını, kalan kısımlarını oluşturacak olan bölge itici kısımdır. Şekil 7.31’de itici taraf çekirdeğinin şekli görülmektedir



Şekil 7.31. İtici Taraf Çekirdeği

7.4.4.3. Maçaların İmalatı

Maçalar itici taraf çeliğinin üzerinde boş bırakılmış kısımlara uygun olarak imal edilmiştir. Maçalar üzerinde kullanılan pimler revizyonlu pimler olacaktır. Şekil 7.32’te maçalar gösterilmektedir.



Şekil 7.32. Maçalar

7.4.4.4. İtici Plakası – İtici Destek Plakası İmalatı

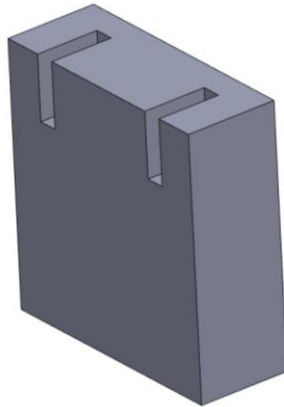
İtici plakası aynı şekilde üzerinde itici pimlerin bulunduğu parçadır. İtici pimlerinin sayısı, kalıp tasarımcısına bağlı olmaktadır. Ürünün enjeksiyon sonrasında tam olarak elde edilebilmesi ve kalıptan ayrılması için bu önemlidir. Şekil 7.33 itici pim plakası ve itici destek plakasının görseli görülmektedir.



Şekil 7.33. İtici Pim Plakası ve İtici Destek Plakası

7.4.4.5. Erkek Parça İmalatı

Orijinal kalıp tasarımında, çalışma parçasının tırnak kısımlarını elde etmek için direkt kalıp üzerine çıkıntılar konulmuştur. Revizyonlu kalıp tasarımında tırnak kısımlarında çok fazla hata meydana geldiğinden dolayı bu kısımlar geçme ‘erkek’ parça olarak tasarlanmıştır. Erkek parça tırnak kısımlarının direkt olarak elde edilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 7.34’te erkek parça görülmektedir.



Şekil 7.34. Erkek Parça

Erkek parçalar, kalıp dört gözlü olduğundan dolayı dört adet olarak hazırlanmıştır. Parçalar itici taraf üzerinden daha önce boşaltılmış olan kısımlara monte edilecektir.

7.4.4.6. Yuvarlak Destekler

Enjeksiyon sırasında kullanılacak olan kalıbın büyüklüğü birçok parametreyi etkilemektedir. Çalışma parçası gibi büyük kalıplarda deformasyon riski oldukça yüksektir. Bundan dolayı yayların desteği ve yuvarlak desteklerin yardımı ile itici tutucu plakalar güçlendirilmektedir. Şekil 7.35'te yuvarlak destekler görülmektedir.

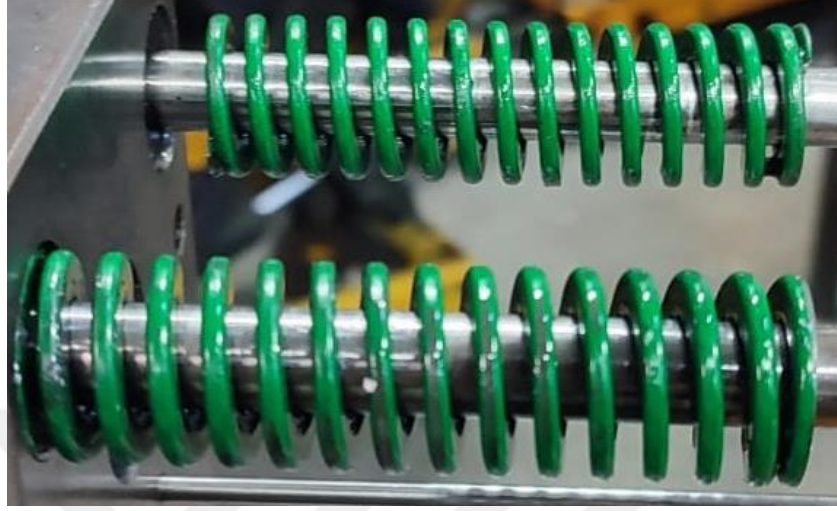


Şekil 7.35. Yuvarlak Destekler

7.4.4.7. Yeşil Yay

Enjeksiyon sırasında plakaların üstüne binen yükün dağıtılması ve kalıbın zarar görememesi için olabildiğince önlem alınmaktadır. İtici tutucu plakalarda kullanılan yaylar gelen yüksek hızın ve basıncın itici pimlerini kırmasını engellemektedir. Endüstride kullanılan yay seçiminde hafif, orta veya ağır yükleme etkisi altında kalacak yayın serbest uzunluğunun, çalışma mesafesinin altı katı olması amaçlanmaktadır. Daha ağır yük altında kalacak yaylar için bu mesafe sekiz kat fazlaya kadar çıkabilir. Bundan dolayı yeşil yay kalıp tasarımına en uygun olandır. Şekil 7.36'de kalıpta bulunan yeşil yay gösterilmektedir. Kullanılacak yayın yeşil endüstriyel yay olmasının sebebi, diğer yaylara göre daha üstün özellikler göstermesidir. Endüstriyel yeşil yay 250⁰C sıcaklığa kadar deforme olmadan çalışabilmektedir. Yapılacak olan yüklemenin boy oranına göre

%5'lik minimum ön yüklemeye kadar kaldırma toleransı bulunmaktadır. Bu iki özellik yeşil yayı diğer yayların önüne çıkartmaktadır.



Şekil 7.36. Yeşil Yay

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Gerçek ticari bir parçanın kalıp revizyonu sonucunda yeni geometrili parçanın orijinal parça ile kıyaslanmasına ait analiz grafikleri bu bölümde anlatılmaktadır. Yapılan revizyonların amaçları, çalışma parçasının üzerine olan mekanik etkileri ve fiziksel etkileri gösterilmiştir. Mekanik etkiler, parça müşterisinin talebi doğrultusunda çekme, basma ve burulma testleri olacak şekilde belirlenmiştir. Yükleme değeri olan 2000 Newton müşteri firmanın maksimum yük talebi olup, analizler sonucunda ortaya çıkan maksimum gerilme ve yer değiştirmelerden öte parçanın kırılmaması öncelikli beklentidir. Bu testler pencere sektöründe imal edilmiş bir parçanın test edilmesinde standarttır. Yapılan revizyonlar birbirinden bağımsız olup birbirlerini etkilemedikleri için sonuçlar bir bütün halinde değil her revizyonun etkisini ayrı ayrı gösterildiği biçimde aşağıda sunulmuştur.

8.1. Duvar İnceltme Revizyonu Sonuçları

Yapılan duvar inceltmesi revizyonundan kaynaklı olarak çalışma parçasının kütle, hacim ve yüzey alanında değişiklik meydana gelmiştir. Orijinal parçanın ağırlık bilgileri çizelge 8.1’de, revizyonlu parçanın ağırlık bilgileri çizelge 8.2’de verilmektedir.

Çizelge 8.1. Orijinal Çalışma Parçası Ağırlık Bilgileri

Yoğunluk	6,7 g/cm ³
Kütle	70.14 g
Hacim	10627.98 mm ³
Yüzey Alanı	9749.69 mm ²

Çizelge 8.2 Revizyonlu Çalışma Parçası Ağırlık Bilgileri

Yoğunluk	6,7 g/cm ³
Kütle	49.65 g
Hacim	7523.25 mm ³
Yüzey Alanı	9392.18 mm ²

8.1.1. Duvar İnceltme Revizyonunun Ekonomik Sonuçları

Yüksek basınçlı dökümde soğuma çok önemli bir rol oynamaktadır. Enjeksiyonun %70’lik kısmı soğuma, %30’luk kısmı döküm olarak hesaplanmaktadır. Orijinal parçanın teorik çevirim süresi 13 saniyedir. Revizyon olduktan sonra teorik çevirim süresi 8 saniyeye düşmüştür. Enjeksiyon işleminin tam olarak gerçekleşme süresi 15 saniyedir. Yapılan hesaplama sonucu elde edilen değerler bölüm 3.4’te verilmiş olan 3.3 formülü ile hesaplanmıştır.

Yapılan duvar inceltme revizyonu sonucu çalışma parçasında beklendiği gibi hafifleme meydana gelmektedir. Bu hafiflemenin hem mekanik özelliklere hem de maliyete etkileri olmaktadır. Çalışma parçası duvar inceltme revizyonu yapılmadan önce 70.14 gramdır. Revizyon yapıldıktan sonra yeni parça 49,65 gram ölçülmüştür. Üretim bir günde 10 saat sürmektedir. 10 saatlik üretim üzerinden 13 saniyelik çevrim süresinde toplamda bir yılda 2.126.769 adet ürün üretilebilmektedir. Çevrim süresinin 8 saniye olduğu yeni revizyonlu ürün üretimi durumuna, günlük saat 10 saatlik üretim üzerinden bir yılda 3.456.000 adet üründür. Bu hesaba göre yılda 1.329.231 adet ürün fazladan üretilebilir. Revizyonlu ve orijinal ürün arasında 20 gr fark bulunmaktadır. 3.456.000 adet üründe toplam 69.120 kg hammadde karı elde edilmiş olacaktır. Londra metal borsasına göre Zamak hammaddesinin bir ton miktarının alış fiyatı 3.091 \$ ‘dır. 69 ton zamak için toplamda 213.650 \$ malzeme kazancı mümkün görünmektedir.

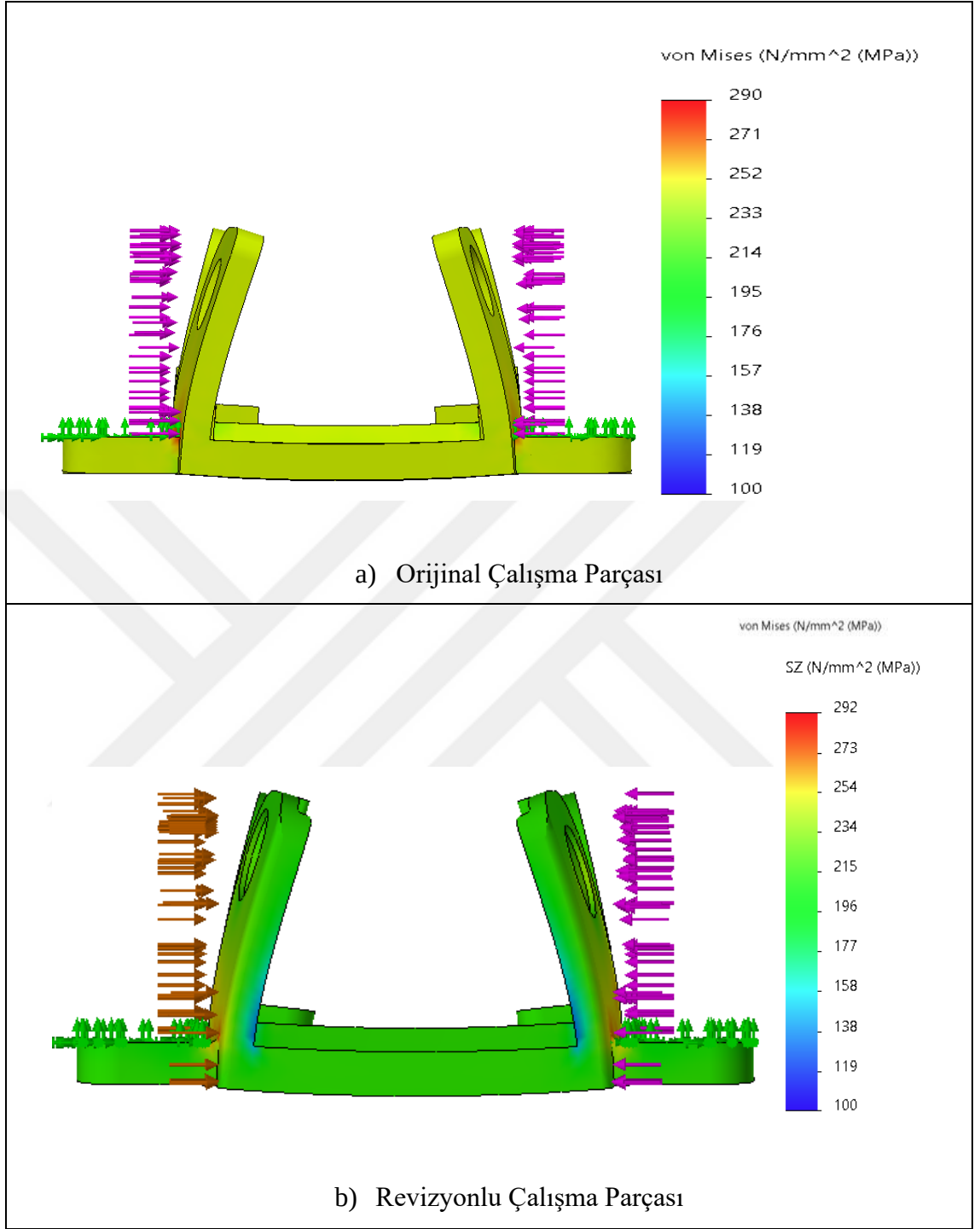
8.1.2. Duvar İnceltme Revizyonunun Mekanik Sonuçları

Parça üzerinde yapılan duvar inceltme revizyon çalışmasının mali açıdan etkisi olduğu kadar mekanik özelliklere de etkileri vardır. Bu farklılıklar Solidworks ve ANSYS katı modelleme programlarında parçalar ele alınarak ayrı ayrı incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Analizler parça üzerinde alıcı tarafından talep edilen bölgeye 2000 N yük etki edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Analizlerde parçaya çekme, basma ve burulma testleri uygulanmıştır. Duvar inceltme revizyonunun etkilerini anlamak için sadece duvar inceltme revizyonu yapılmış ve revizyon yapılmamış parça çekme, basma ve burulma testleri uygulanacak şekilde analiz edilmiştir.

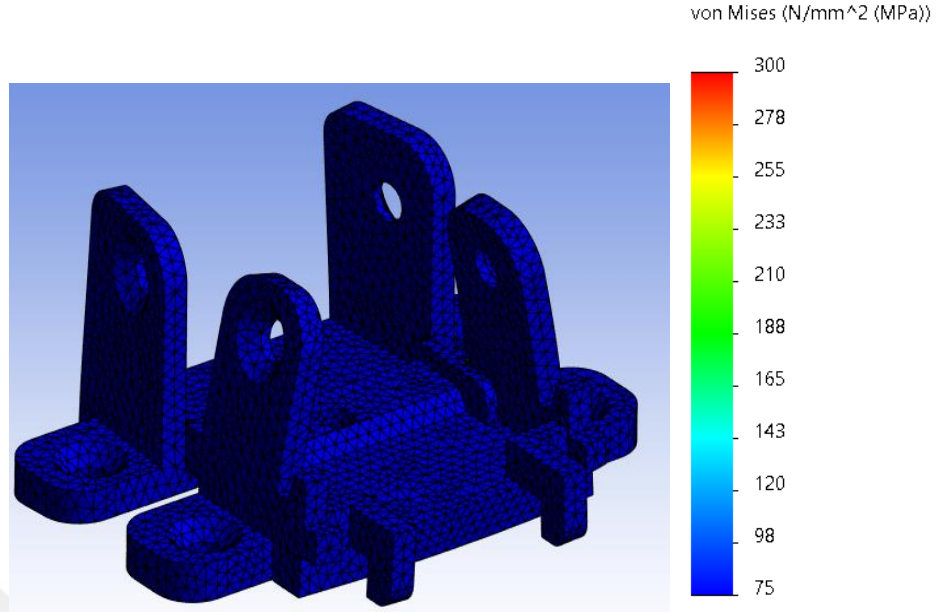
Şekil 8.1’de Solidworks paket programı kullanılarak yapılan basma testi sonuçlarına göre orijinal ve revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum

Von-Mises gerilmeleri görülmektedir. Şekil 8.1 a’da orijinal çalışma parçasının renk skalası incelendiğinde maksimum gerilmenin taban ile kulak bölgesinin birleşme yerinde ve 290 MPa olduğu görülmektedir. Şekil 8.1 b’de ise revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi yine aynı noktada ve 292 MPa’dır. Bu çalışma parçasında öncelikli amaç talep edilen yük etkisi altında parçanın kırılmamasıdır. Özellikle revizyonlu parçanın Solidworks analizi incelendiğinde gerilmenin, revizyonsuz parçaya göre çok aşırı yüksek olmadığı ve parçanın kırılmadığı görülmektedir. Böylece duvar inceltme revizyonlu parçanın basma testini başarıyla geçtiği açıktır.

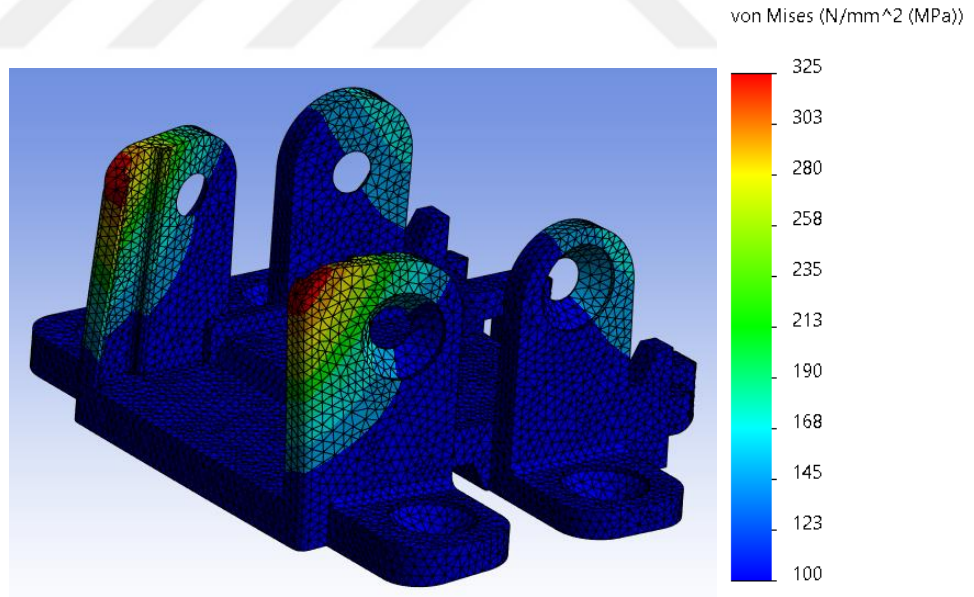
Şekil 8.2’de ise ANSYS programı kullanılarak yapılan basma testi sonuçları her iki (orijinal-revizyonlu) çalışma parçası için sunulmaktadır. Beklendiği üzere programların analiz farklılıklarından dolayı, maksimum gerilme bir miktar yüksek çıkmış olsa da fark maksimum %10 civarındadır. Programlar arasında maksimum gerilme noktasının farklı olması sebebi; ANSYS paket programının bir analiz programı, Solidworks programının ise bir tasarım programı olmasından kaynaklanmaktadır. ANSYS programında yapılan meshleme işlemi ve analiz işlemi daha ayrıntılıdır. Her iki paket program üzerinden yapılan analizler de parçaların kırılmadığı gözlenmektedir. Özellikle şekil 8.2 b incelendiğinde revizyonlu çalışma parçasının ANSYS basma testini de başarı ile geçtiği görülmektedir.



Şekil 8.1. Solidworks Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası



a) Orijinal Çalışma Parçası

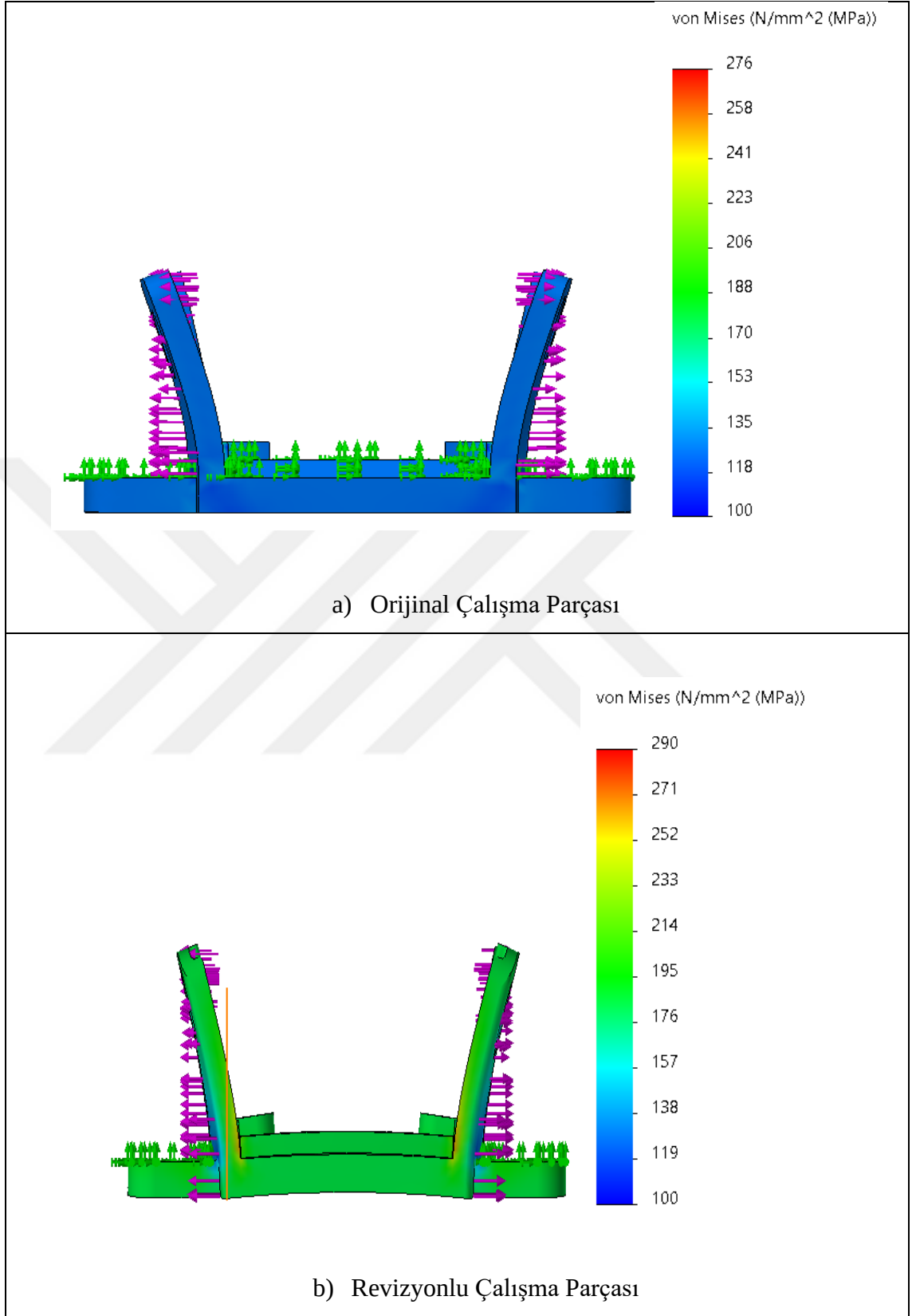


b) Revizyonlu Çalışma Parçası

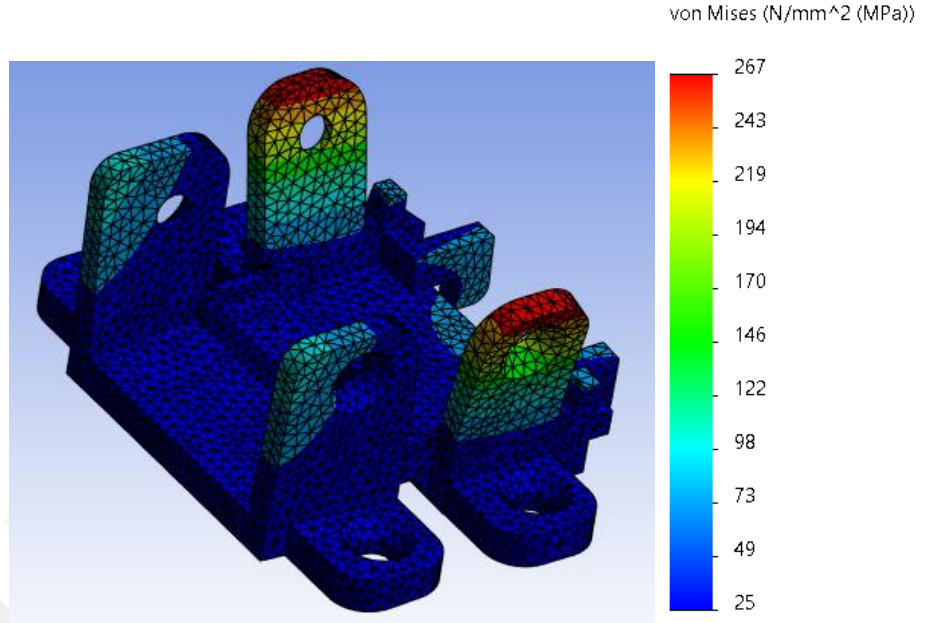
Şekil 8.2. ANSYS Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

Şekil 8.3'te Solidworks paket programı kullanılarak yapılan çekme testi sonuçlarına göre orijinal ve revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmeleri görülmektedir. Şekil 8.3 a'da orijinal çalışma parçasının renk skalası incelendiğinde maksimum gerilmenin taban ile kulak bölgesinin birleşme yerinde ve 276 MPa olduğu görülmektedir. Şekil 8.3 b'de ise revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi yine aynı noktada ve 290 MPa'dır. Öncelikli amaç, basma testinde olduğu gibi talep edilen yük etkisi altında parçanın kırılmamasıdır. Özellikle revizyonlu parçanın Solidworks analizi incelendiğinde gerilmenin, revizyonsuz parçaya göre çok aşırı yüksek olmadığı ve parçanın kırılmadığı görülmektedir. Böylece duvar inceltme revizyonlu parçanın basma testinde olduğu gibi, çekme testinde de başarılı bir şekilde geçtiği görülmektedir.

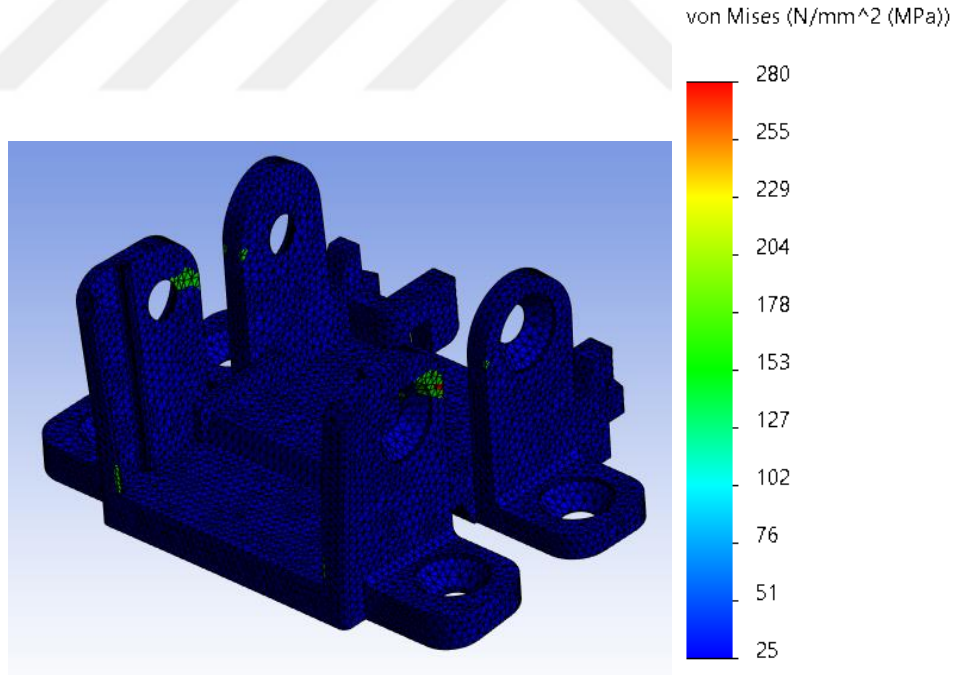
Şekil 8.4'te ise ANSYS programı kullanılarak yapılan çekme testi sonuçları her iki (orijinal-revizyonlu) çalışma parçası için sunulmaktadır. Yapılan revizyon çalışması sonucunda parçanın mekanik özellikleri değişmektedir. Basma testinde bulunan verilerin tersine, çekme testinde bulunan gerilmeler ANSYS programında daha düşük olarak karşımıza çıkmaktadır. Orijinal-revizyonlu parça arası fark %20 civarındadır. Her iki paket program üzerinden yapılan analizlerde parçaların kırılmadığı gözlenmektedir. Şekil 8.4'a da parçada orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi kulak bölgesinin uç kısmında olduğu görülmektedir. Şekil 8.4 a'da çıkan sonuçlara göre orijinal parçanın maksimum çekme Von-Mises gerilmesi 267 MPa. Şekil 8.4 b'de meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi kulak kısımlarında vidaların içine girmesi için açılmış olan deliklerin havşa kısmında olduğu görülmektedir. Şekil 8.4 b'de revizyonlu parçanın maksimum çekme Von-Mises gerilmesi 280 MPa'dır.



Şekil 8.3. Solidworks Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası



a) Orijinal Çalışma Parçası

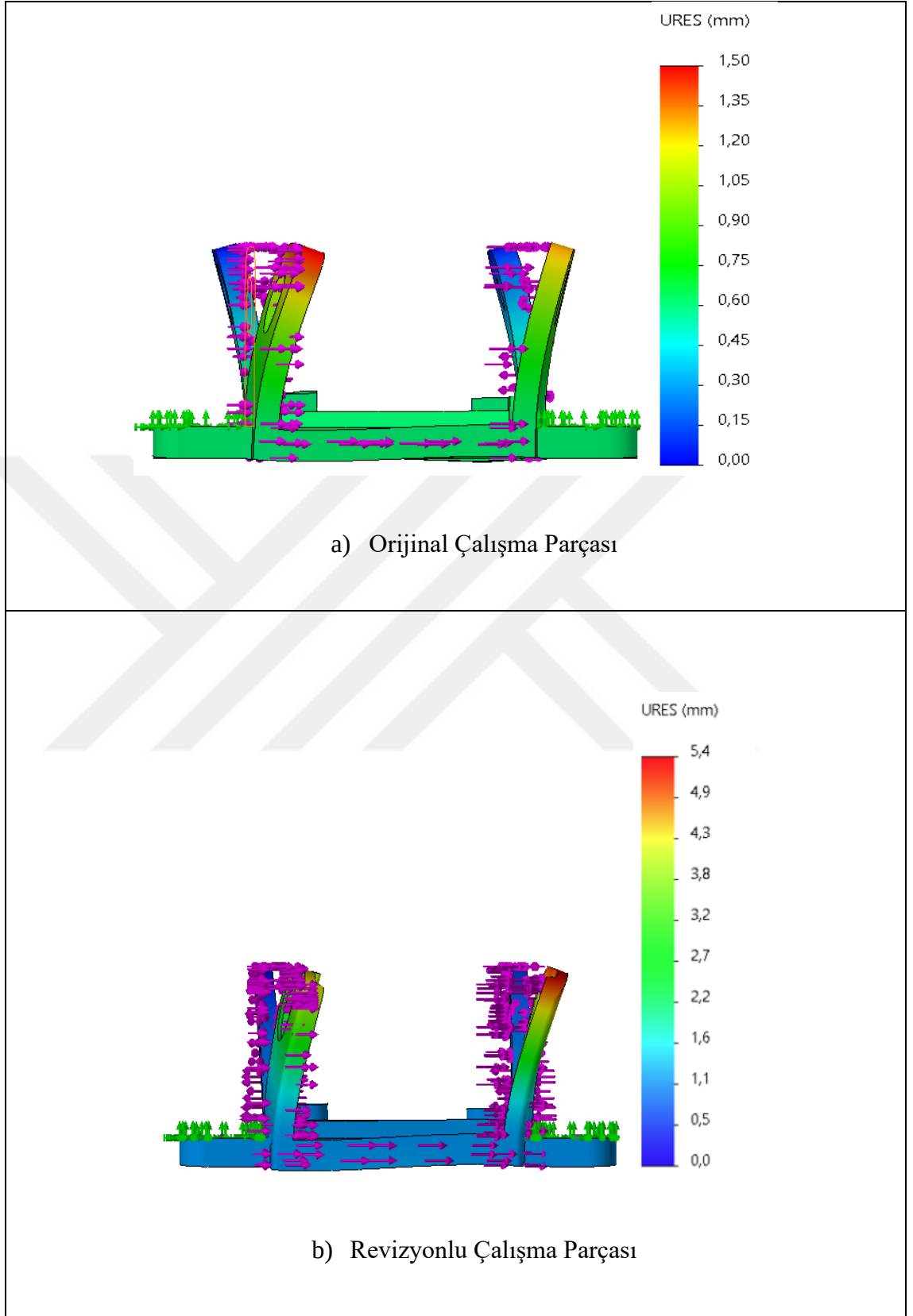


b) Revizyonlu Çalışma Parçası

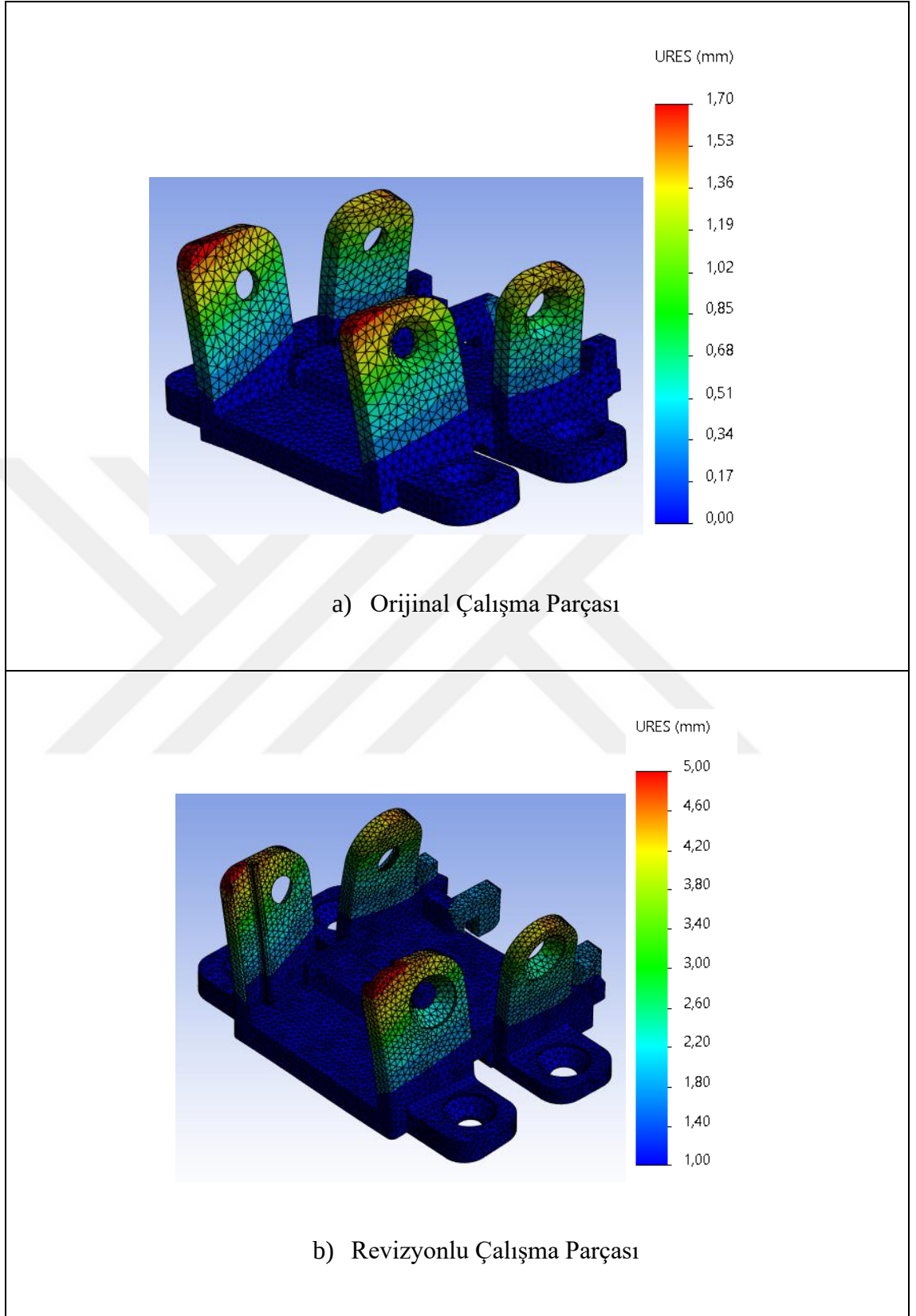
Şekil 8.4. ANSYS Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

Şekil 8.5'te Solidworks paket programı kullanılarak yapılan burulma testi sonuçlarına göre orijinal ve revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirmeler görülmektedir. Şekil 8.5 a'da orijinal çalışma parçasının renk skalası incelendiğinde maksimum yer değiştirmenin parçada uç noktalarda meydana geldiği görülmektedir. Orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme 1.50 mm'dir. Şekil 8.5 b'de ise revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme görülmektedir. Maksimum yer değiştirmenin meydana geldiği bölge aynı şekilde çalışma parçasının kulak kısımlarının uç noktalarında olduğu görülmektedir. Revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme ise 5.4 mm'dir. Daha önce olan testlerde söylendiği gibi asıl amaç çalışma parçasının kırılmaması ve yapılan revizyonlardan sonra kullanılmaya devam edilmesidir. Çalışma parçasında bir kırılma meydana gelmediğinde dolayı burulma testini geçmiştir ve yapılan boşaltma revizyonu başarılıdır.

Şekil 8.6'da ise ANSYS programı kullanılarak yapılan burulma sonuçları her iki (orijinal-revizyonlu) çalışma parçası için sunulmaktadır. Burulma testi sonuçlarında her iki paket program arasında farklılıklar bulunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan fark %5 olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8.6 a'da meydana gelen maksimum yer değiştirme Solidworks paket programında olduğu gibi kulak kısımlarının uç bölgesindedir. Şekil 8.6 a'da çıkan sonuçlara göre orijinal parçanın maksimum yer değiştirmesi 1.70 mm, revizyonlu parçanın maksimum yer değiştirmesi 5 mm'dir. Yapılan testler sonucunda çalışma parçasının kırılmadığı ve kullanıma uygun olduğu gözlenmiştir. Özellikle şekil 8.6 b, incelendiğinde kırılma durumu olmamasından dolayı yapılmış olan boşaltma revizyonunu başarılı olduğu gözler önüne serilmektedir.



Şekil 8.5. Solidworks Burulma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası



Şekil 8.6. ANSYS Burulma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

8.2. Maça Pimleri Revizyonu

Üretimde meydana gelen fire oranının düşürülmesi ve hata olmadan üretimin gerçekleştirilebilmesi için maça pimlerinde revizyon yapılması tasarlanmıştır. Revizyonlu kalıp imal edilirken maça üzerinde kullanılacak olan pimlerde 0.1 mm'lik hava atması için kanal açılmıştır. Revizyonun test edilebilmesi için 100 adet ürün baskısı alınmıştır. 100 adet ürün baskısında revizyondan önce %20'lik hata payı bulunmaktadır. Yapılan maça pimi revizyonu sonucunda 100 adet baskıda hata payı %13'e düşürülmüştür. Şekil 8.7'de hatalı ürün gösterilmektedir. Şekil 8.8'de revizyon yapıldıktan sonra elde edilen düzgün ürün görülmektedir.



Şekil 8.7. Revizyonsuz Ürün



Şekil 8.8. Revizyonlu Ürün

8.3. Tırnak Kısımlarında Yapılan Revizyona Ait Sonuçlar

Çalışma parçasının tırnak kısımları deformasyona maruz kaldığı için sıkıntılı bir durumdadır ve revizyon yapılması tez planlamasına dahil edilmiştir. Yapılan revizyonun öncelikli amacı fire oranının düşürülmesidir. Tırnak kısımlarında yapılan revizyonda tırnaklara radius eklenmiş ve tasarım bu şekilde yapılmıştır. Bu değişikliğin yapılmasının sebebi parçanın kalıptan çıkarken sıyırma etkisine maruz kalmaması ve rahat bir şekilde çıkmasıdır. Geometrisi değişen tırnakların ana parçaya etkisi yoktur ancak tırnak geometrisi değişiminin tırnakların orjinal mukavemetine etkilerini incelemek amacıyla aşağıdaki analizler yapılmış ve sonuçlar gösterilmektedir. Bölüm 7.1’de detaylı biçimde açıklanan tırnak revizyonlarının başarılı şekilde gerçekleştirildiğinin anlaşılması amacıyla parçalara çekme ve basma testleri analizi yapılmıştır. Tırnak kısımlarında meydana gelen deformasyon hatası şekil 8.9’da gösterilmiştir. Çalışma parçasında meydana gelen deformasyonun tam olarak incelenmesi için 100 adet ürün baskısı alınmıştır. 100 adet baskı sonucunda deforme olmuş ürün miktarı %17 olarak belirlenmiştir.

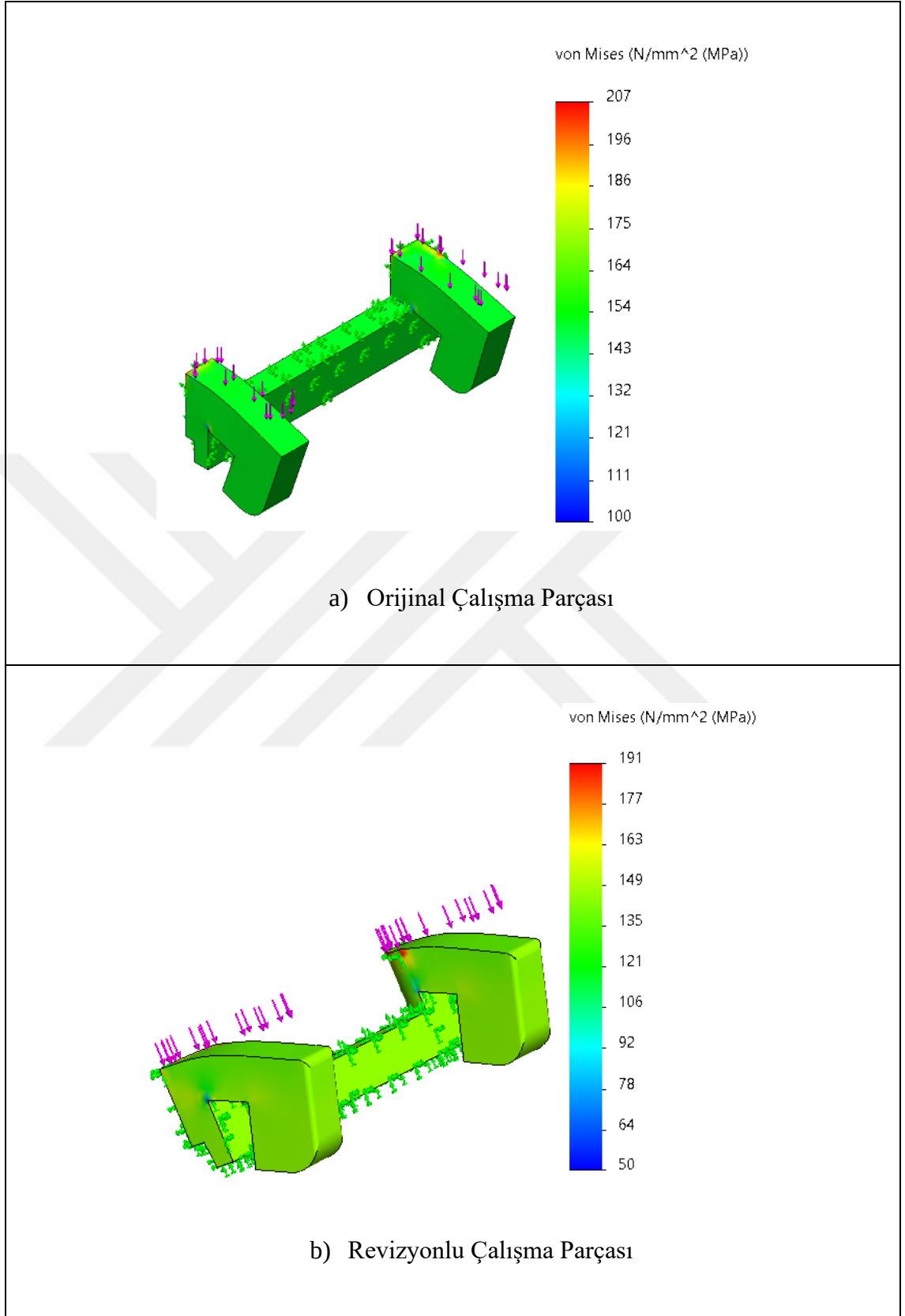


Şekil 8.9. Tırnak Kısımında Meydana Gelen Deformasyon

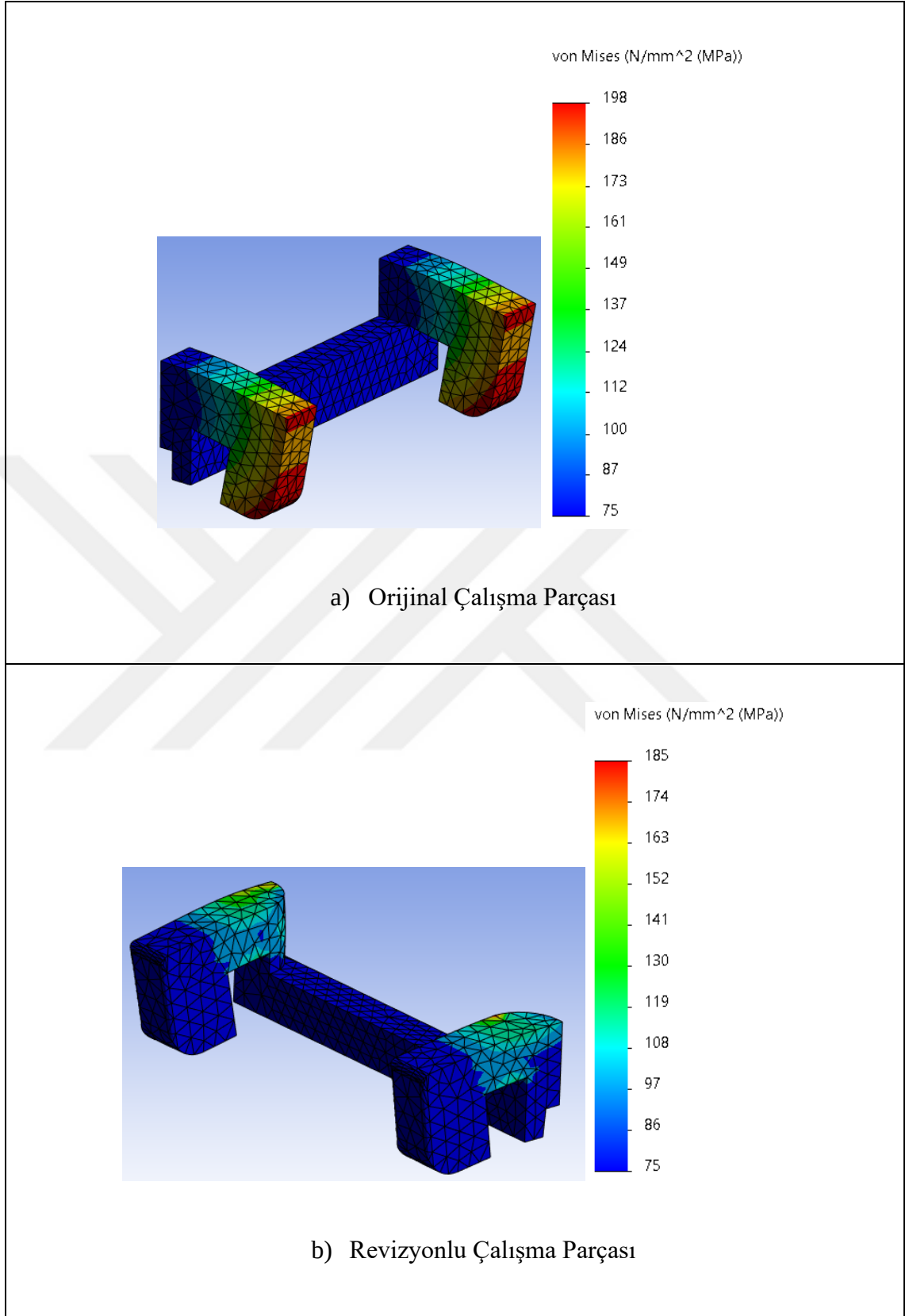
Şekil 8.10’da Solidworks paket programı kullanılarak yapılan basma testi sonuçları görülmektedir. Yapılan revizyon ile asıl amaçlanan tırnak kısımlarını güçlendirmek ve deforme olmasını engellemektir. Bundan dolayı tırnak bölgesinde bir kalınlaştırılma işlemi yapılmıştır. Yapılan revizyondan dolayı, orijinal parçadaki iç

gerilmelerin daha yüksek olması beklenmektedir. Çıkan sonuçlar bunu doğrular niteliktedir. Şekil 8.10 a'da orijinal çalışma parçasının renk skalası incelendiğinde maksimum Von-Mises gerilmesinin, parçada uzantı kısmı ile tırnakların uç kısmının birleşim noktasında olduğu görülmektedir. Şekil 8.10 a'da orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 207 MPa'dır. Şekil 8.10 b'de ise revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi direkt olarak tırnak kısmının parça ile birleşim noktasında olduğu görülmektedir. Şekil 8.10 b'de revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 191 MPa olarak karşımıza çıkmıştır. Yapılan revizyon çalışması ile asıl istenen deformasyonların azalması ve daha güçlü tırnakların elde edilmesidir. Solidworks paket programı üzerinden elde edilen sonuçlar üzerinden söylenecek olursa yapılan revizyon başarılıdır. Revizyonlu çalışma parçasında iç gerilmeler daha azdır. Yapılan tırnak revizyonu başarılıdır.

Şekil 8.11'de ise ANSYS paket programı kullanılarak yapılan basma sonuçları her iki (orijinal-revizyonlu) çalışma parçası için sunulmaktadır. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan fark %15 olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8.11 a'da çıkan sonuçlara göre orijinal parçanın maksimum Von-Mises gerilmesi tırnak kısımlarının en ucunda gerçekleşmektedir. Şekil 8.11 a'ya göre orijinal tırnaklarda meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 198 MPa'dır. Şekil 8.11 b'de maksimum Von-Mises gerilmesi direkt olarak tırnak ve parçanın birleşim yerinde olan üst yüzdedir. Şekil 8.11 b'de revizyonlu parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 185 MPa'dır. Yapılan testler sonucunda revizyonlu parçanın maksimum Von-Mises gerilme değeri orijinal parçadan daha düşük çıkmıştır. Von-Mises gerilmesi düşük olduğundan dolayı revizyonlu tırnak daha mukavemetidir. Yapılan revizyon başarılıdır.



Şekil 8.10. Solidworks Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

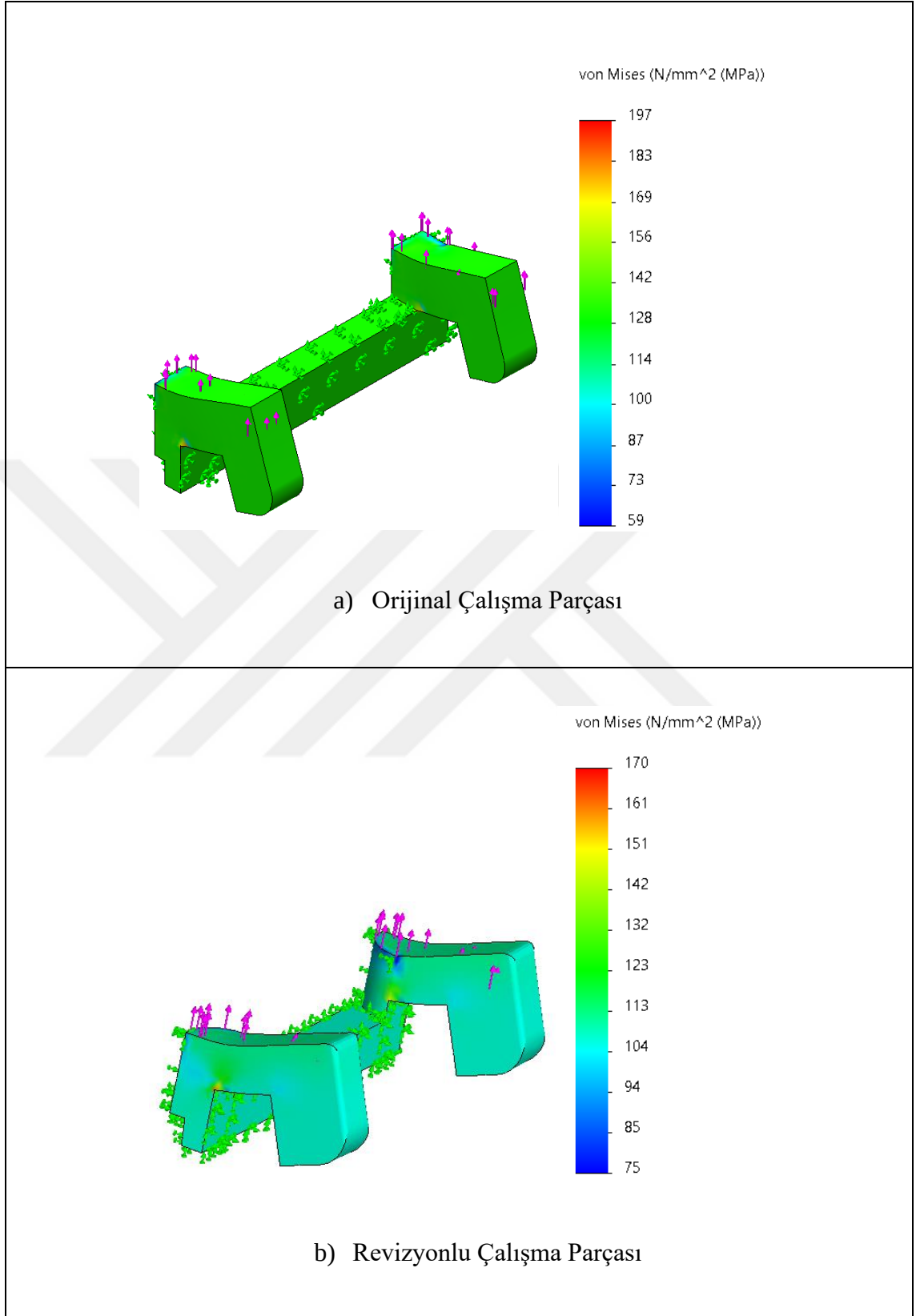


Şekil 8.11. ANSYS Basma Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

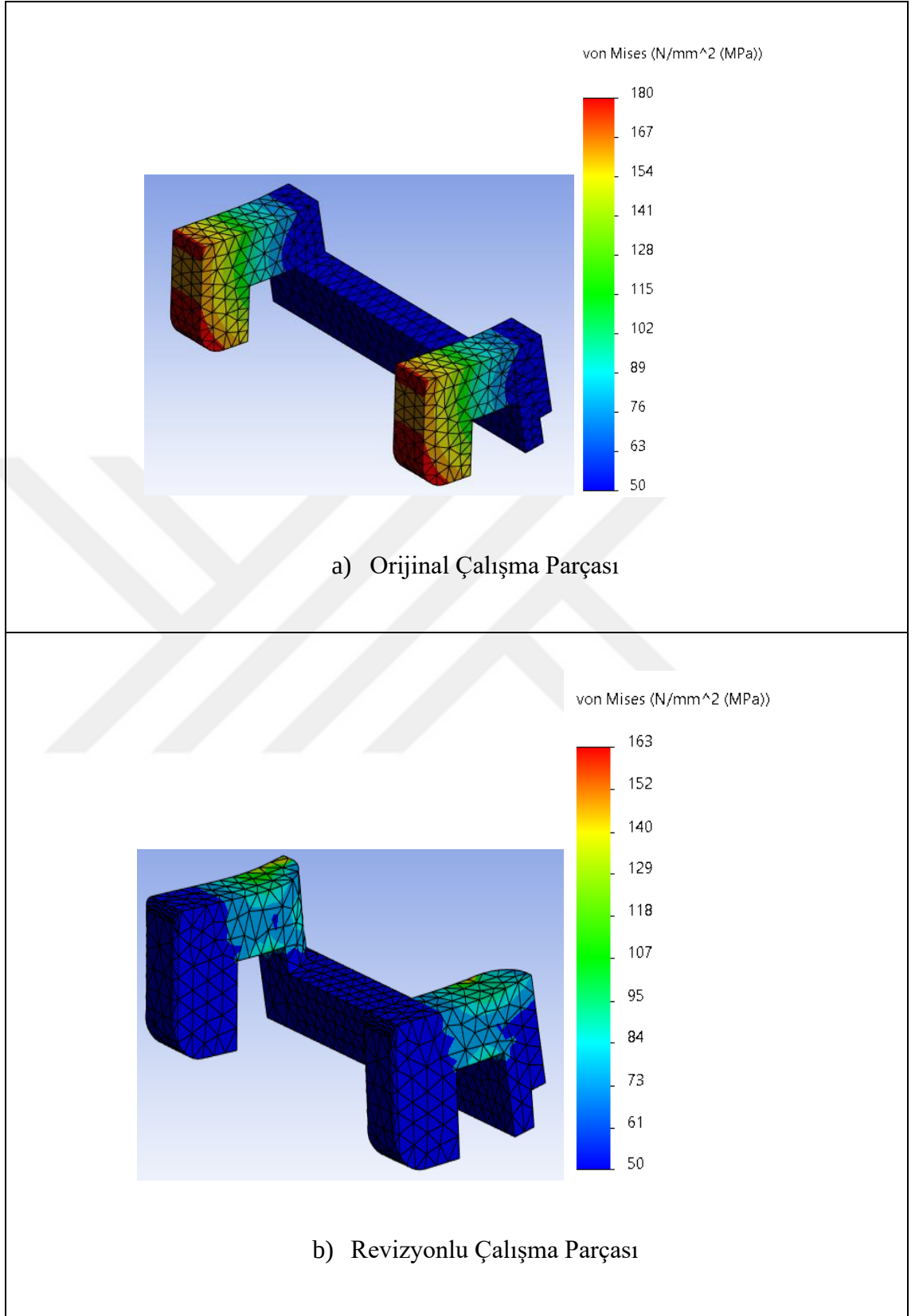
Şekil 8.12’de Solidworks paket programı kullanılarak yapılan çekme testi sonuçları görülmektedir. Şekil 8.12 a’da orijinal çalışma parçasının renk skalası incelendiğinde maksimum Von-Mises gerilmesinin, parçada tırnak kısımlarının alt bölgesi ile parçanın birleşim yerinde olduğu görülmektedir. Şekil 8.12 a’da orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 197 MPa’dır. Şekil 8.12 b’de ise revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises orijinal parça ile aynı yerde olduğu görülmektedir. Şekil 8.12 b’de revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 170 MPa olarak karşımıza çıkmıştır. Yapılan revizyon çalışması ile asıl istenen deformasyonların azalması ve daha güçlü tırnakların elde edilmesidir. Solidworks paket programı üzerinden elde edilen sonuçlar üzerinden bakıldığında yapılan revizyon başarılıdır. Revizyonlu çalışma parçasında iç gerilmeler daha azdır. Yapılan tırnak revizyonu başarılıdır.

Şekil 8.13’te ise ANSYS programı kullanılarak yapılan çekme testi sonuçları farklılıklar tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan fark %10 olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8.13 a’da çıkan sonuçlara göre orijinal parçanın maksimum Von-Mises gerilmesi tırnak kısımlarının en ucunda gerçekleşmektedir. Şekil 8.13 a’ya göre orijinal tırnaklarda meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 180 MPa’dır. Şekil 8.13 b’de maksimum Von-Mises gerilmesi tırnak ile parçanın birleşim yerinde ve alt yüzeyde kalmaktadır. Şekil 8.13 b’de revizyonlu parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 163 MPa’dır. Yapılan testler sonucunda revizyonlu parçanın maksimum Von-Mises gerilme değeri orijinal parçadan daha düşük çıkmıştır. Von-Mises gerilmesi düşük olduğundan dolayı revizyonlu tırnak daha mukavemetlidir. Yapılan revizyon başarılıdır.

Revizyonlar yapıldıktan sonra tekrar 100 adet baskı alınıp ürünlerin deformasyon kontrolü yapılmıştır. Orijinal parçada tespit edilmiş olan %17’lik hata %5’e düşürülmüştür.



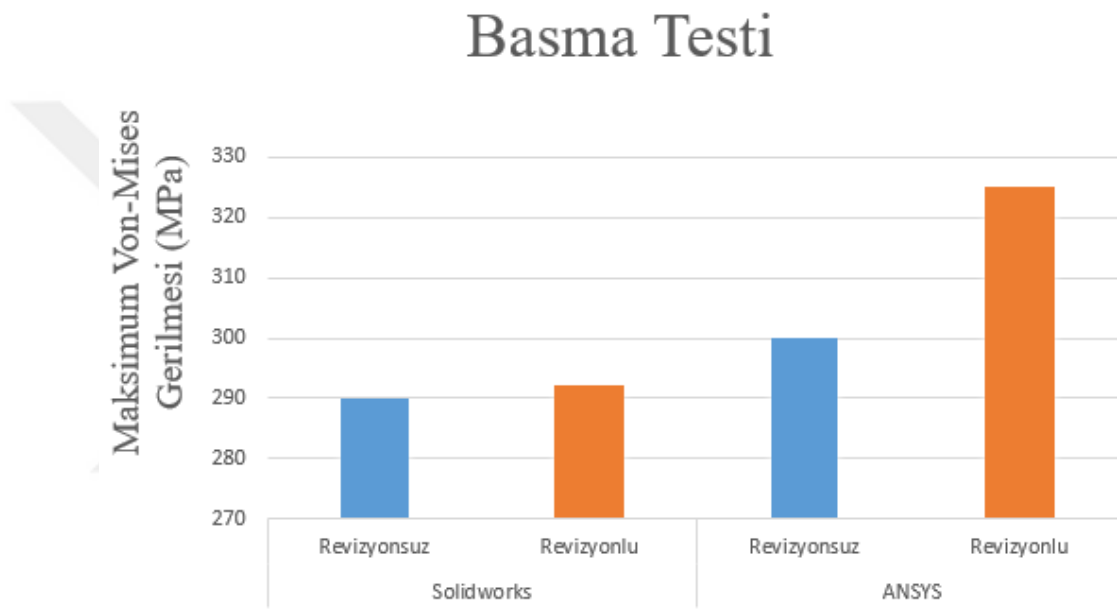
Şekil 8.12. Solidworks Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası



Şekil 8.13. ANSYS Çekme Testi Sonuçları a) Orijinal Çalışma Parçası, b) Revizyonlu Çalışma Parçası

8.4. Duvar Revizyonu Karşılatırmalı Gösterimi

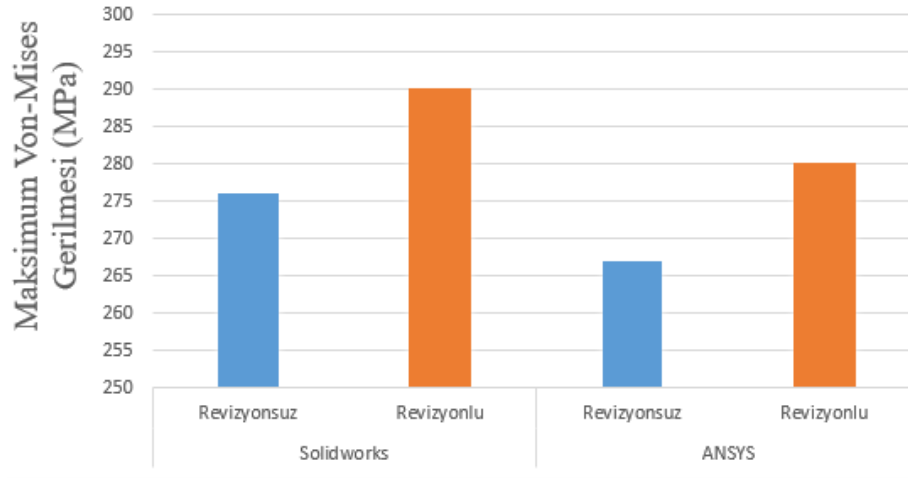
Analizler iki paket program üzerinden yapılmıştır. Solidworks üzerinden yapılmış basma testi sonuçlarında orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 290 MPa, revizyonlu çalışma parçasında 292 MPa'dır. ANSYS paket programı üzerinden yapılan basma testi sonuçlarında orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 300 MPa, revizyonlu parçada ise 325 MPa'dır. Şekil 8.14'te değerler gösterilmiştir.



Şekil 8.14. Basma Testi Sonuçları

Şekil 8.15'te duvar revizyonu yapılmış revizyonlu ve orijinal parçanın çekme testi sonuçları gösterilmiştir. Solidworks üzerinden yapılmış olan çekme testi sonuçlarına göre orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 276 MPa, revizyonlu parçada ise 290 MPa'dır. ANSYS üzerinden yapılan analizler de orijinal çalışma parçasından meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 267 MPa, revizyonlu parçada ise 280 MPa'dır.

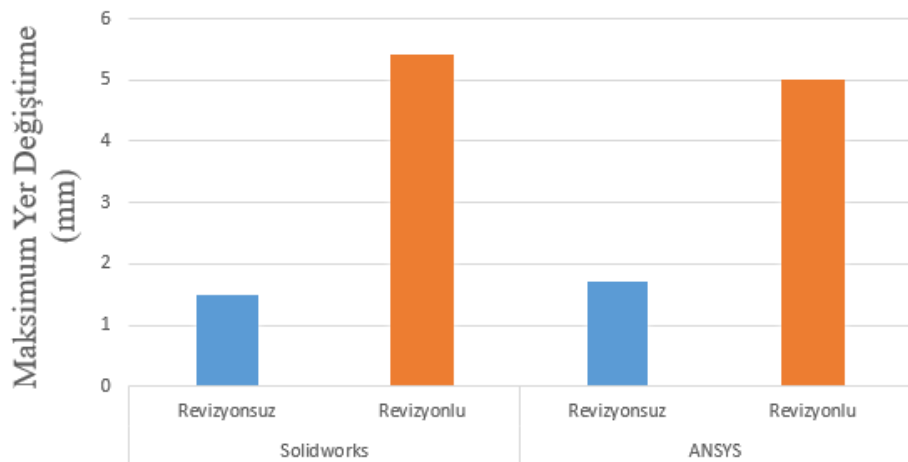
Çekme Testi



Şekil 8.15. Çekme Testi Sonuçları

Şekil 8.16'te duvar revizyonlu yapılmış revizyonlu parça ve orijinal parçanın burulma testi sonuçları gösterilmiştir. Yapılan burulma testi sonuçlarına göre Solidworks paket programına göre orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme 1.50 mm, revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme ise 5.4 mm'dir. ANSYS paket programında yapılan burulma testine göre revizyonsuz çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme 1.7 mm, revizyonlu çalışma parçasında meydana gelen maksimum yer değiştirme ise 5 mm dir.

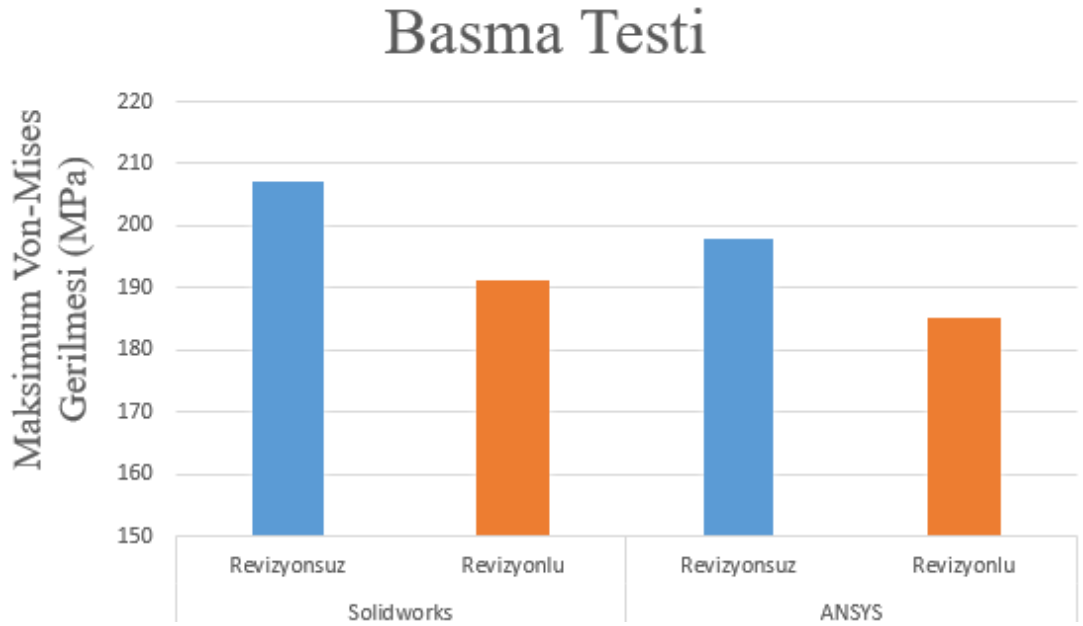
Burulma Testi



Şekil 8.16. Burulma Testi Sonuçları

8.5. Tırnak Revizyonu Karşılatırmalı Gösterimi

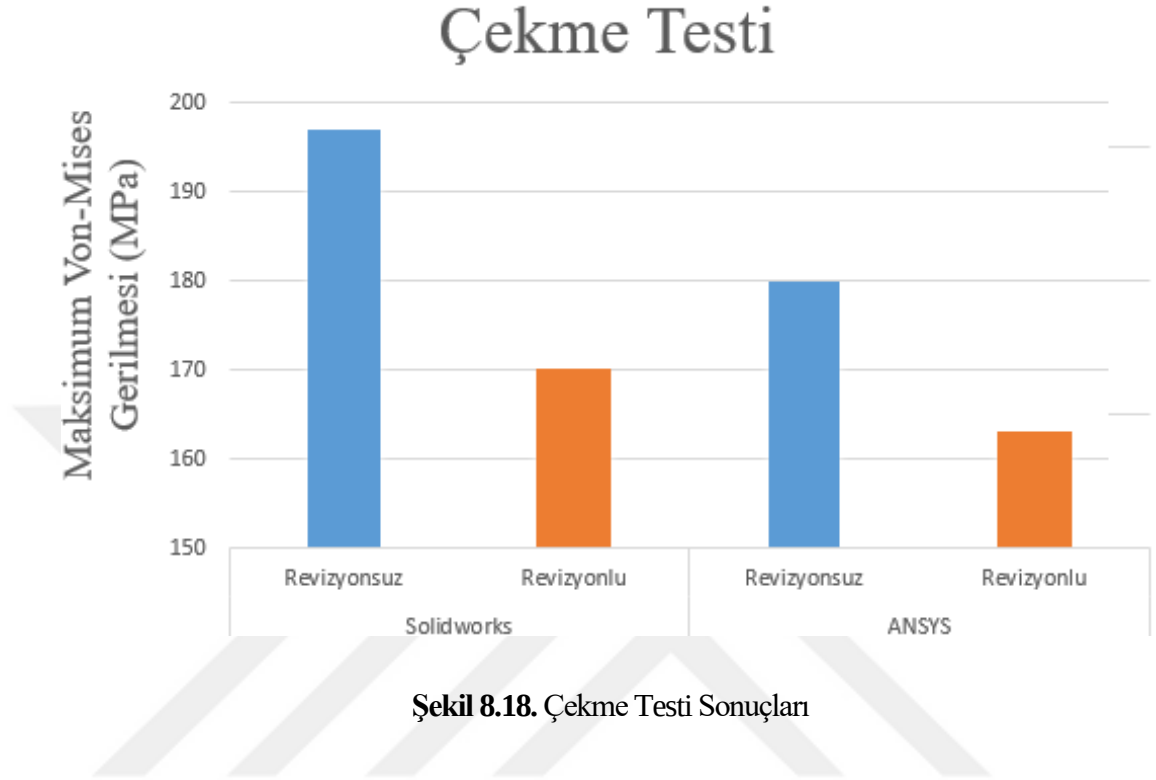
Şekil 8.17’de tırnak kısımlarında revizyon yapılmış parça ve orijinal parçanın basma testi sonuçları gösterilmiştir. Yapılan basma testi ile çalışma parçasının tırnak kısmında meydana gelen mekanik değişimler gösterilmiştir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, yapılan tırnak revizyonu olumludur ve ürünlerde meydana gelen düşmeden kaynaklı deformasyon engellenmiştir. %17’lik hata oranı, %5’e düşürülmüştür. Solidworks üzerinden yapılan basma testi ile orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 207 MPa, revizyonlu çalışam parçasında ise 191 MPa olarak karşımıza çıkmaktadır. ANSYS üzerinden yapılan analizler de orijinal parçanın maksimum Von-Mises gerilmesi 198 MPa, revizyonlu parçanın ise 185 MPa olarak bulunmaktadır.



Şekil 8.17. Basma Testi Sonuçları

Şekil 8.18’de tırnak kısımlarında revizyon yapılmış parça ve orijinal parçanın çekme testi sonuçları gösterilmiştir. Yapılan çekme testi ile çalışma parçasının tırnak kısmında meydana gelen mekanik değişim gösterilmiştir. Solidworks üzerinden yapılan analiz sonucu çekme testinde orijinal parçanın maksimum Von-Mises gerilmesi 197 MPa, revizyonlu parçanın ise 170 MPa olarak bulunmaktadır. ANSYS paket program üzerinden yapılmış olan analizler ile orijinal çalışma parçasında meydana gelen

maksimum Von-Mises gerilmesi 180 MPa, revizyonlu parçada ise 163 MPa olarak bulunmaktadır.



BÖLÜM 9

TARTIŞMA

Sunulan çalışmada, tezin içinde de bahsedildiği üzere ticari bir firmanın üretim bandı içinde yer alan ve yıllık üretim adedi 1.000.000'un üzerinde olan gerçek bir parçanın revizyonu üzerine olmuştur. Tezin planlama aşamasında makine parkurunu engelleyen ve üretimi yavaşlatan bir kalıp tespit edilmiştir. Üretim sırasında meydana gelene hatalar sıralanmış ve bu hataları en aza indirmek aynı zamanda maliyeti azaltmak amacıyla üç adet revizyon yapılması kararlaştırılmıştır. Belirlenen revizyonlar; ürünün duvar kısmında inceltme yapılması ve ürün ağırlığının hafifletilmesi, ürünün kalıbında bulunan maça pimlerinin üzerinde hava yolu açılması ve son olarak üründe meydana gelen yüksek oranda deformasyonun engellenmesi için ürünün tırnak kısmı geometrisinin değiştirilmesidir. Mevcut durumda ürünün orijinal halinin çalışmakta olduğu bir kalıp bulunmaktadır. Revizyonlu kalıp için ilk olarak, kalıp tasarımı CAD programı yardımı ile tasarlanmıştır. Daha sonradan üretim aşamaları takip edilerek, tasarlanmış olan kalıp imal edilmiştir.

Yapılan duvar inceltme revizyonlu ile parça başına 20 gram malzeme tasarrufu elde edilmiştir. Aynı zamanda çevrim süresinde 5 saniyelik bir azalma söz konusu olmuştur. Revizyondan önceki çevrim süresinin 13 saniye olduğu durumdan 8 saniyeye düşmüştür. Çevrim süresinin 13 saniye olduğu durumda yıllık 2.126.769 adet ürün üretilebilir iken 8 saniye olduğu durumda yılda 3.456.000 adet ürün üretilebileceği ortaya konulmuştur. Revizyonlu ve orijinal ürün arasında 20 gr fark bulunmaktadır. Bu da yaklaşık 69 ton malzeme kazancı olup yıllık yaklaşık 215.000 \$ malzeme kazancı elde etmek mümkündür.

Duvar inceltme revizyonu yapılan çekme basma testleri sonuçlarında orijinal parçada meydana gelen maksimum von mises gerilmelerinin, revizyonlu parçaya göre daha düşük olduğu görülmüştür. Solidworks üzerinden yapılan basma testine orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi revizyonlu parça için 290 MPa, orijinal parça için 292 MPa'dır. Çekme testi sonucunda revizyonlu parçanın maksimum

Von-Mises gerilmesi 290 MPa, orijinal parçanın 276 MPa'dır. Burulma testi sonucunda revizyonlu parçada meydana yer değiştirme 5.4 mm, orijinal parçada ise 1.5 mm'dir. Test çalışmaları ANSYS üzerinden tekrar gerçekleştirilmiştir. Yapılan basma testi sonucunda orijinal çalışma parçasında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 300 MPa, revizyonlu çalışma parçası için 325 MPa'dır. Çekme testi sonucunda orijinal parçada meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 276 MPa, revizyonlu parçada ise 290 MPa'dır. Burulma testi sonuçları Solidworks sonuçları ile aynıdır. Daha yüksek gerilmelere rağmen parçanın kırılmadığı görülmüştür ve buradaki asıl amaç yapılan revizyonlara rağmen parçanın kırılmamasıdır. Çıkan sonuçlar ışığında revizyonlu parça kullanılabilir. Yapılan maça pimi revizyonu ile fire oranının düşürülmesi amaçlanmıştır. 100 adet baskıda %20'lik hata payı %13 olarak güncellenmiştir.

Ürünün tırnak kısmında yapılan revizyon ile tırnak kısımlarının daha sağlam olması amaçlanmıştır. Solidworks üzerinden analiz çalışmaları sonucunda revizyonlu tırnak parçalarında meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi basma testinde 191 MPa'dır. Orijinal tırnak parçasında basma testi sonucu ortaya çıkan maksimum Von-Mises gerilmesi 207 MPa'dır. Çekme testi sonucunda revizyonlu parçanın maksimum Von-Mises gerilmesi 170 MPa, revizyosuz parçanın 197 MPa olduğu bulunmuştur. Aynı analizler ANSYS üzerinden de gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda orijinal tırnak parçasında basma testi ile meydana gelen maksimum Von-Mises gerilmesi 198 MPa, revizyonlu tırnak parçasında 185 MPa'dır. ANSYS üzerinde yapılan çekme testi ile revizyonlu parçada olan maksimum Von-Mises gerilmesi 163 MPa'dır. Orijinal parçanın çekme testi sonucu maksimum Von-Mises gerilmesi 180 MPa'dır. Yapılan çekme – basma deneyi sonucunda revizyonlu parçanın tırnak kısmının orijinal parça tırnak kısımlarına göre daha yüksek dayanımlı olduğu görülmüştür. Orijinal parça daha hafif, daha az fire oranlı ve tırnak kısımları daha dayanımlı bir tasarıma sahiptir.

KAYNAKLAR

- Aksel, L. (2008). *Metal enjeksiyon kalıplarında yolluk tasarımı* (Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalât ve Konstrüksiyon Anabilim Dalı). Konya
- Altunbaş, F., Alkan, F., & Ay, M. (2011). *Hacim kalıp tasarımı ve uygulama* (Bitirme tezi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü). İstanbul.
- Bartlett, L. (2017). *A preliminary study of using plastic molds in injection molding* (Master's thesis, The Ohio State University, Graduate School).
- Blondheim, D. J., Jr. (2021). *System understanding of high pressure die casting process and data with machine learning applications* (Doctoral dissertation, Colorado State University, Department of Systems Engineering)
- Dal, S. R. (2019). *Analysis of wrinkling in deep drawing processes* (Master's thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences).
- De Chiffre, L., Tosello, G., Píška, M., & Muller, P. (2008). Investigation on capability of reaming process using minimal quantity lubrication. *Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark & Brno University of Technology, Brno, Czech Republic*.
- Deshmukh, P., Pathan, N., Niphade, M., Parse, M., & Patil, R. S. (2021). *High pressure die casting cold chamber process*. Matoshri College of Engineering and Research Center.
- Eljack, B. (2005). *Improvement of metal casting techniques in the Sudan* (Doctoral dissertation, Department of Mechanical Engineering, University of Khartoum, Faculty of Engineering and Architecture).
- Esener, E. (2015). *Plastik şekil verme proseslerinde form ve şekillendirme hatalarının telafi edilmesi* (Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı).

- Fernández, A. J. P. (2008). *Mechanical properties of hybrid laser-MIG welding and spot welding on lap joint* (M.Sc. thesis, Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Division of Manufacturing Systems Engineering).
- Gobien, J. M. (2010). *Creep properties of a zinc-aluminum die-casting alloy as a function of grain size* (Doctoral dissertation, North Carolina State University, Graduate Faculty, Materials Science and Engineering).
- Giles, H. F., Jr., Wagner, J. R., & Mount, E. M., III. (2005). *Extrusion: The definitive processing guide and handbook*. Crescent Associates, Inc. & EMMOUNT Technologies.
- Groover, M. P. (1995). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (p. 262). Prentice Hall. Adapted by permission of Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Helimergin, F. (2020). *Yüksek mukavemetli sacların hassas kesme yöntemiyle kesme parametrelerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı). Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuri Şen.
- Hirz, M. (2019). *Die casting technology – Present and future in automotive applications* (Master's thesis, Graz University of Technology, Institute of Automotive Engineering, Master's degree program in Production Science and Management).
- Kalkan, İ. H. (2016). *Al-Si yüksek basınç döküm alaşımlarında Fe intermetaliklerinin kalıp ömrüne etkisi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Kuyumcu, A. M., & Haktanır, Y. (2023). *Design and optimization of runner and gating systems in high pressure casting and sand casting for an aluminum alloy valve cover. International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, e-ISSN: 2146-9067.
- Koyun, Ç. (2005). *Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine

Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı). Danışman: Yrd. Doç. Dr. E. Muharrem Boğoçlu.

Lanzoni, G. (2021). *Simulation and validation of high-pressure die casting of an electric motor housing for automotive application* (Master's thesis, Politecnico di Torino, Course of Automotive Engineering). Supervisor: Prof. Paolo Minetola.

Lordan, E. (2021). *Casting integrity of high-pressure die-castings* (Doctoral dissertation, Brunel University London, Department of Mechanical and Aerospace Engineering).

Merten, E. (2012). *Sand casting of metals* (Department of Materials Science & Engineering, University of Washington).

Minetola, P., & Lanzoni, G. (2021). *Simulation and validation of high-pressure die casting of an electric motor housing for automotive applications* (Master's thesis). POLITECNICO DI TORINO.

Patel, H., & Chauhan, I. A. (2020). *A study on types of lathe machine and operations: Review*. Dairy Engineering Department, SMC College of Dairy Science, Anand Agricultural University, Anand, Gujarat, India.

Pires de Oliveira, S. R. (2018). *High pressure die casting of Zamak alloys* (Master's thesis, Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).

Pola, A., Tocci, M., & Goodwin, F. E. (2020). *Review of microstructures and properties of zinc alloys* (Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Brescia, Via Branze).

Sadeghi, M. (2015). *Optimization of product parts in high pressure die casting process* (Licentiate thesis, No. 197). Mälardalen University, School of Business, Society and Engineering.

Sahar, F. (2007). *Çelik tel takviyeli Zamak 5 alaşımının mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Schaub, H. (2018). *Comparison of different aluminium casting processes from an environmental perspective: Case study on plaster mould castings produced in Mid*

Sweden (Master's thesis, Mid Sweden University, Ecotechnology and Sustainable Building Engineering).

Singh, C., Dar, Y. A., Malhotra, D., & Sharma, D. (2014). *Study of centrifugal casting of cast iron rolls and its problem formulation at India Factory, Malerkotla, Punjab (India)*. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(6).

Tan, Z. (1994). *Analysis and modelling of plastic bending processes* (Doctoral dissertation, Technical University of Denmark). Public defense at Luleå University of Technology, May 10, 1994. Opponent: Professor Tarras Wanheim

Tibaldi, E. (2021). *Analysis and optimization of zinc alloys die casting process*. Politecnico di Torino, Department of Mechanical and Aerospace Engineering.

Thomas, B. G. (2001). *Continuous casting of steel* (Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign).

Uğur, A. (1998). *Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen Zn-Al alaşımlarının mikroyapıları ile mekanik korozyon özelliklerine alaşım elementi etkisi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Velluvakkandi, N. (2009). *Developing an effective die cooling technique for casting solidification* (Master's thesis, Auckland University of Technology, School of Engineering).

Zhang, S. H., & Danckert, J. (1998). *Development of hydro-mechanical deep drawing*. *Journal of Materials Processing Technology*, 83(1–3), 14–25.

EKLER

EK A

İZİN VE TAAHHÜT BELGESİ

EGE PROFİL
TİCARET VE SANAYİ A.Ş.

TEKNİK RESİM TALEP FORMU

Tarih: 22/02/2023

Tez çalışmasında kullanılmak üzere teslim alınmış olan, 13.19.7 kodlu ortakayı bağlantı parçasının, bilgisayar ortamında çizilmiş olan teknik resimlerinin, 3. şahıslara karşı muhafaza edeceğimi ve bu teknik resimleri, tez çalışması faaliyetlerimin dışında kullanmayacağımı taahhüt ve garanti ederim .

Aksi durumda doğacak olan tüm maddi ve manevi kayıpların karşılayacağımı beyan eder, bu konudaki hukuksal anlaşmazlık durumunda İzmir mahkemelerinin yetkili olacağını kabul ederim.

TESLİM ALAN	ÜRÜN GELİŞTİRME DEPARTMANI
İsim/İmza	İmza

ÖZGEÇMİŞ

Eğitim hayatına Şehit Namık Tümer İlkokulunu da başlamıştır. Ortaöğretim hayatını Balıkesir Mehmetçik Ortaokulunda bitirmiştir. Lise hayatını Balıkesir Cumhuriyet Anadolu Lisesinde gerçekleştirmiştir. 2015 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girmiş 2021 yılında mezun olmuştur. 2021 tarihinde Trakya Üniversitesi bünyesinde Tezli Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2025 tarihinde bitirmiştir. İhsan Gökhan ALAN Makine Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.