

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE İMALATTA  
HATALARIN TESPİTİ VE PROSES ŞARTLARININ  
OPTİMİZASYON UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Engin PINAR**

**Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği**

**Programı : Konstrüksiyon**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ**

**HAZİRAN 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE İMALATTA  
HATALARIN TESPİTİ VE PROSES ŞARTLARININ  
OPTİMİZASYON UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Engin PINAR  
(503071208)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Vedat TEMİZ (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr.Mehmet PALABIYIK (İTÜ)  
Doç.Dr. Özgen ÇOLAK (YTÜ)**

**HAZİRAN 2010**



## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmamda tavsiye ve önerilerini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Vedat Temiz'e teşekkür ederim. Ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca sürekli yanımda olan ve maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2010

Engin Pınar  
(Makina Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                        | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                 | v    |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                              | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                | ix   |
| ÖZET.....                                         | xi   |
| SUMMARY .....                                     | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                    | 1    |
| 2. PLASTİK MALZEMELER.....                        | 3    |
| 2.1 Takviye Dolgu Ve İlave Maddeler .....         | 5    |
| 2.2 Sık Kullanılan Termoplastikler .....          | 6    |
| 2.2.1 Akrilonitril butadien stiren (ABS) .....    | 6    |
| 2.2.2 Polistiren (PS) .....                       | 6    |
| 2.2.3 Polimetil metakrilat (PMMA).....            | 6    |
| 2.2.4 Polivinil Klorür (PVC).....                 | 6    |
| 2.2.5 Polipropilen (PP).....                      | 7    |
| 2.2.6 Poliasetal (POM).....                       | 7    |
| 2.2.7 Poliamid (PA) .....                         | 7    |
| 2.2.8 Polietilen (PE).....                        | 8    |
| 2.3 Plastiklerin Mekanik Özellikleri .....        | 8    |
| 2.4 Plastiklerin Termal Özellikleri .....         | 10   |
| 3. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ.....                | 13   |
| 3.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi .....             | 13   |
| 3.1.1 Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi ..... | 13   |
| 3.1.2 Kalıp.....                                  | 14   |
| 3.1.3 Kapatma ünitesi.....                        | 15   |
| 3.1.4 Kontrol ünitesi.....                        | 15   |
| 3.2 Enjeksiyon Makinesi Spesifikasyonları .....   | 16   |
| 3.3 Plastik Enjeksiyon Çevrimi .....              | 16   |
| 3.4 Plastik Enjeksiyon Kalıbı .....               | 17   |
| 3.4.1 Kalıp boşluğu .....                         | 17   |
| 3.4.2 Erkek kalıp .....                           | 17   |
| 3.4.3 Dişi kalıp .....                            | 18   |
| 3.4.4 Yolluk sistemi .....                        | 18   |
| 3.4.4.1 Soğuk yolluk sistemi.....                 | 20   |
| 3.4.4.2 Sıcak yolluk sistemi.....                 | 23   |
| 3.4.5 Soğutma sistemi .....                       | 24   |
| 3.4.6 İtici sistem .....                          | 27   |
| 3.4.6.1 Pim ve bıçak iticiler.....                | 28   |
| 3.4.6.2 Sıyrıcı plakalı iticiler .....            | 28   |
| 3.4.6.3 Havalı itici.....                         | 28   |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.6.4 Valf başlıklı iticiler .....                                    | 28        |
| 3.4.7 Temel tasarımına göre kalıp tipleri .....                         | 29        |
| 3.4.7.1 İki plakalı kalıplar .....                                      | 29        |
| 3.4.7.2 Üç plakalı kalıplar .....                                       | 29        |
| 3.4.7.3 Sıyırıcı levhalı kalıp .....                                    | 30        |
| 3.4.7.4 Parçalı kalıplar .....                                          | 30        |
| 3.4.7.5 Katlı kalıplar .....                                            | 30        |
| 3.4.7.6 Hareketli maçalı kalıplar .....                                 | 31        |
| 3.4.7.7 Vida mekanizmalı kalıplar .....                                 | 32        |
| <b>4. ENJEKSİYON KALIPLAMADA TASARIM ESASLARI .....</b>                 | <b>33</b> |
| 4.1 Malzeme Seçimi .....                                                | 33        |
| 4.2 Nominal Et Kalınlığı .....                                          | 34        |
| 4.3 Kalıpta Çekme .....                                                 | 35        |
| 4.4 Çıkma Açısı (Eğim Açısı) .....                                      | 37        |
| 4.5 Kaburgalar (Federler) .....                                         | 38        |
| 4.6 Göbekler .....                                                      | 38        |
| 4.7 Delikler .....                                                      | 39        |
| 4.8 Yuvarlatmalar .....                                                 | 40        |
| <b>5. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDE İMALAT HATALARI.....</b>            | <b>41</b> |
| 5.1 Yanık İzleri.....                                                   | 41        |
| 5.2 Akış İzleri .....                                                   | 42        |
| 5.3 Birleşme İzleri .....                                               | 42        |
| 5.4 Eksik Ürün.....                                                     | 43        |
| 5.5 Parçanın Dişi Kalıpta Kalması .....                                 | 44        |
| 5.6 Çapaklı Ürün .....                                                  | 44        |
| 5.7 Yüzeyde Çöküntü Oluşması .....                                      | 45        |
| 5.8 Çarpılma .....                                                      | 46        |
| 5.9 Hızlı Akış İzi .....                                                | 46        |
| 5.10 Boşluklar.....                                                     | 47        |
| <b>6. PROSES ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI .....</b>          | <b>49</b> |
| 6.1 UYGULAMA.....                                                       | 50        |
| 6.1.1 Parça imalatında kullanılan enjeksiyon makinesi özellikleri ..... | 50        |
| 6.1.2 Parçanın hammaddesi özellikleri .....                             | 51        |
| 6.1.3 En iyi giriş bölgesi analizi.....                                 | 52        |
| 6.1.4 Uygun proses parametrelerinin belirlenmesi.....                   | 55        |
| 6.1.5 Soğutma - Doldurma - Ütüleme - Çarpılma (CFPW) Analizi .....      | 56        |
| 6.1.6 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi .....                       | 58        |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                        | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                   | <b>75</b> |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Bazı plastikler için elastiklik modülü değerleri..... | 9  |
| Çizelge 2.2 : Bazı plastiklerin DTUL ve VST değerleri .....         | 11 |
| Çizelge 2.3 : Bazı plastiklerin bozulma sıcaklık değerleri .....    | 12 |
| Çizelge 2.4 : Bazı plastiklerin termal özellikleri .....            | 12 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Plastil malzemelerin sınıflandırılması.....                                   | 4  |
| Şekil 2.2 : Termoplastiklerin zincir yapıları.....                                        | 4  |
| Şekil 2.3 : Amorf ve kristalin malzemelerin $T_g$ ve $T_m$ değerleri değişim grafiği..... | 10 |
| Şekil 3.1 : Enjeksiyon makinası ana bölümleri.....                                        | 13 |
| Şekil 3.2 : Vida bölümleri [3].....                                                       | 14 |
| Şekil 3.3 : Enjeksiyon ünitesi birimleri.....                                             | 14 |
| Şekil 3.4 : Hidro-mekanik kapatma sistemi[3].....                                         | 15 |
| Şekil 3.5 : Enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi.....                                  | 17 |
| Şekil 3.6 : Plastik enjeksiyon kalıbı parçaları[3].....                                   | 18 |
| Şekil 3.7 : Yolluk sistemi elemanları.....                                                | 19 |
| Şekil 3.8 : Yolluk kesit tipleri.[3].....                                                 | 19 |
| Şekil 3.9 : Direk yolluk girişi.....                                                      | 20 |
| Şekil 3.10 : Kenar yolluk girişi.....                                                     | 21 |
| Şekil 3.11 : Fan yolluk girişi.....                                                       | 21 |
| Şekil 3.12 : Film yolluk girişi.....                                                      | 22 |
| Şekil 3.13 : Diyafram yolluk girişi.....                                                  | 22 |
| Şekil 3.14 : Halka yolluk girişi.....                                                     | 22 |
| Şekil 3.15 : Tünel yolluk girişi.....                                                     | 23 |
| Şekil 3.16 : İğne yolluk girişi.....                                                      | 23 |
| Şekil 3.17 : Sıcak yolluk sistemi elemanları.[3].....                                     | 24 |
| Şekil 3.18 : Laminer ve türbülanslı akış.....                                             | 25 |
| Şekil 3.19 : Soğutma kanalları ve parça arasındaki mesafe değerleri.[3].....              | 26 |
| Şekil 3.20 : Dengeli su kanalı dağılımı.....                                              | 26 |
| Şekil 3.21 : Soğutma kanalı bağlantı tipleri.[3].....                                     | 26 |
| Şekil 3.22 : Baffled ve bubbler soğutma kanal tipleri.....                                | 27 |
| Şekil 3.23 : İtici pimler ile parça çıkarılması.[3].....                                  | 27 |
| Şekil 3.24 : İki plakalı kalıp.[3].....                                                   | 29 |
| Şekil 3.25 : Üç plakalı kalıp.[3].....                                                    | 29 |
| Şekil 3.26 : Sıyırıcı plakalı kalıp[3].....                                               | 30 |
| Şekil 3.27 : Parçalı kalıp.[3].....                                                       | 30 |
| Şekil 3.28 : Katlı kalıp.[3].....                                                         | 31 |
| Şekil 3.29 : Hareketli maçalı kalıp[3].....                                               | 31 |
| Şekil 3.30 : Vida mekanizmalı kalıp.[3].....                                              | 32 |
| Şekil 4.1 : Proses şartlarının çekmeye etkisi.....                                        | 36 |
| Şekil 4.2 : Amorf ve kısmikristalinlerin çekme miktarı grafikleri[3].....                 | 37 |
| Şekil 4.3 : Kalıp konikliği tanımlamaları[3].....                                         | 38 |
| Şekil 4.4 : Kaburga tasarımında dikkat edilecek noktalar.....                             | 38 |
| Şekil 4.5 : Uygun göbek tasarımları.....                                                  | 39 |
| Şekil 4.6 : Çentik faktörü köşe yuvarlatma değeri değişim grafiği.....                    | 40 |
| Şekil 5.1 : PA ( %30 GF) üründe oluşan yanık izi.....                                     | 42 |
| Şekil 5.2 : Soğuk birleşme izleri.....                                                    | 43 |
| Şekil 5.3 : Eksik ürün oluşumu.....                                                       | 43 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.4 : Çapaklı ürün. ....                                                        | 45 |
| Şekil 5.5 : Çöküntü izleri .....                                                      | 45 |
| Şekil 5.6 : Hızlı akış meydan gelen parça.....                                        | 46 |
| Şekil 5.7 : İçerisinde vakum boşlukları oluşan parça. ....                            | 47 |
| Şekil 6.1 : Y profil ek-muf montajı.....                                              | 50 |
| Şekil 6.2 : Ek-muf parça boyutları.....                                               | 50 |
| Şekil 6.3 : TPP20AJ01BK PVT diyagramı. ....                                           | 52 |
| Şekil 6.4 : En iyi yolluk giriş bölgesi analizi.....                                  | 53 |
| Şekil 6.5 : Alt gövde için yolluk tasarımı. ....                                      | 54 |
| Şekil 6.6 : Üst gövde için yolluk tasarımı.....                                       | 54 |
| Şekil 6.7 : “Molding Window” analiz sonucu .....                                      | 55 |
| Şekil 6.8 : Soğutma süresi analizi.....                                               | 56 |
| Şekil 6.9 : Soğutma kanalları tasarımı .....                                          | 57 |
| Şekil 6.10 : Ütuleme profili grafiği.....                                             | 57 |
| Şekil 6.11 : Alt gövde de et kalınlığı dağılımı .....                                 | 58 |
| Şekil 6.12 : Dolum süresi analizi .....                                               | 59 |
| Şekil 6.13 : Kaynak izleri analizi.....                                               | 59 |
| Şekil 6.14 : Hava boşlukları analizi. ....                                            | 60 |
| Şekil 6.15 : Dolum sonrası basınç değerleri .....                                     | 60 |
| Şekil 6.16 : Ütuleme sonrası basınç değerleri.....                                    | 61 |
| Şekil 6.17 : Akış sırasında eriyik sıcaklık değişimi .....                            | 62 |
| Şekil 6.18 : Parça donma süresi dağılımı.....                                         | 62 |
| Şekil 6.19 : Kapama kuvveti değerleri.....                                            | 63 |
| Şekil 6.20 : % çöküntü değerleri.....                                                 | 64 |
| Şekil 6.21 : Hacimsel çekme değerleri .....                                           | 64 |
| Şekil 6.22 : Soğutma kanalları sıcaklık dağılımı .....                                | 65 |
| Şekil 6.23 : Soğutma sonrası kalıbın erkek ve dişi kısmındaki sıcaklık dağılımı. .... | 66 |
| Şekil 6.24 : Çarpılma analiz sonuçları. ....                                          | 66 |
| Şekil 6.25 : 2. Ütuleme profili. ....                                                 | 67 |
| Şekil 6.26 : 2. Ütuleme sonrası basınç değerleri.....                                 | 68 |
| Şekil 6.27 : 2. Parça donma süresi dağılımı.....                                      | 68 |
| Şekil 6.28 : 2. % çöküntü değerleri.....                                              | 69 |
| Şekil 6.29 : 2. Hacimsel çekme değerleri .....                                        | 69 |
| Şekil 6.30 : 2. Çarpılma analiz verileri. ....                                        | 70 |
| Şekil 6.31 : Üst gövde çarpılma analizi sonuçları. ....                               | 71 |

# **PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE İMALATTA HATALARIN TESPİTİ VE PROSES ŞARTLARININ OPTİMİZASYON UYGULAMASI**

## **ÖZET**

Bu çalışmanın amacı plastik parçaların enjeksiyon yöntemi ile imalatında ortaya çıkabilecek hataların analiz programı yardımıyla önceden tespiti ve bir uygulama ile proses şartlarının optimizasyonu yapılarak hataların giderilmesidir.

Yedi bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde plastik parça tasarımından enjeksiyon yöntemi ile imalatına kadar olan süreç kısaca özetlenmiştir.

İkinci bölümde plastik malzemelerin yapısından bahsedilerek imalatı etkileyen fiziksel, mekanik ve termal özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Enjeksiyon ile imalatla sıklıkla kullanılan bazı termoplastiklerin kullanım alanları ve özellikleri belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde plastik enjeksiyon prosesinin nasıl gerçekleştiği açıklanmıştır. Plastik enjeksiyon makinasının hangi kısımlardan oluştuğu ve bu kısımlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Plastik kalıplarını oluşturan birimler ve kullanılan sistemler örneklenmiştir.

Dördüncü bölümde enjeksiyon ile kalıplamada tasarım esasları üzerinde durulmuştur, dikkat edilmesi gereken noktalar ve uygun tasarımın ne şekilde olması gerektiği örneklerle gösterilmiştir.

Beşinci bölümde enkesiyon prosesi sırasında oluşabilecek hammadde, parça tasarımı, kalıp tasarımı ve proses parametresi kaynaklı hataların neler olabileceği ve bu hataların hangi yöntemler kullanılarak nasıl giderileceği açıklanmıştır.

Altıncı bölümde inşaat sanayinde kullanılan bir ek-muf plastik parçasının “Autodesk Moldflow Insight” programı kullanılarak plastik enjeksiyon analizi yapılmıştır. Ortaya çıkabilecek problemler saptanarak proses şartları optimizasyonun nasıl gerçekleştirileceği gösterilmiştir.

Son bölümde enjeksiyon analizi sonrası ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilerek plastik parça imalat sürecinde kullanılacak enjeksiyon analizi programının proses parametrelerinin optimizasyonunda fonksiyonel bir araç olduğu ve plastik parça hatalarını önleyerek kaliteyi ve verimliliği arttırdığı saptanmıştır.



# **PRODUCTION FAULTS IN PLASTIC INJECTION MOLDING METHOD AND APPLICATION OF PROCESSING CONDITIONS OPTIMIZATION**

## **SUMMARY**

The main subject of this thesis is to discover the potential faults that may occur while manufacturing with injection molding and also to find out an application that may solve the faults with optimizing process conditions.

This thesis composed of seven sections. In the first section, manufacturing of the plastic product with injection molding is summarized.

In the second section, the physical, mechanical and thermal structure of plastic materials that affect manufacturing conditions is explained. The application areas and characteristics of plastic injection method and thermo-plastics that are often preferred in manufacturing are emphasized.

The plastic injection process is explained, in the third section. The pieces of plastic injection machine are introduced and main typical information about these pieces are provided.

In the fourth section, mainly the designing fundamentals of injection molding are discussed, and the points that should be considered and the appropriate design methods are explained with examples.

In the fifth section, the faults of material, piece design, mould design and process parameters that may occur during the injection process are defined, and the methods that can be used to solve these faults are explained.

In the sixth section, a plastic injection analysis of Y type joint that used in construction, is made by using the programme of “Autodesk Moldflow Insight”. The potential faults are determined and the methods how can the process conditions are optimized are shown.

In final section, with evaluating the results that coming up after plastic injection analysis, injection analysis programme which will be used in plastic part manufacturing process is determined that it is a functional tool at process parameters' optimization and increasing the efficiency and quality while fixing plastic part faults.



## 1. GİRİŞ

Plastik parça imalat teknolojisindeki hızlı gelişim ve değişimler ile plastik ürün kullanımı günümüzde artmıştır. Plastik malzemelerin seri imalata yatkın olmaları ve amaca uygun şekilde optimize edilebilmeleri her geçen gün önemlerini daha fazla arttırmaktadır.

Plastik ürün imalatında kullanılan teknolojilerin başında plastik enjeksiyon yöntemi ve enjeksiyon kalıpları gelmektedir. Plastik parçaların seri imalatında amaç yüksek kalite ve düşük maliyet ile verimliliği sağlamaktır. Verimliliğin yüksek seviyelerde tutulabilmesi için imalatta, plastik hammadde seçimi, parça tasarımı, kalıp tasarımı ve enjeksiyon işlemi önem kazanmaktadır.

Bir plastik ürünün meydana gelmesinde süreç parça tasarımıyla başlamaktadır. Plastik parça tasarımı yapılırken tasarımcı parçanın fonksiyonelliğine, işletme şartlarına ve maliyetine göre hangi hammaddeyi kullanacağını belirlemelidir. Bir sonraki adım plastik parçanın enjeksiyon makinasında basılacağı kalıbın tasarımıdır. Günümüzde plastik kalıpları proses verimliliğini arttırıcı bir çok elemandan oluşmaktadır, burada önemli olan kalıp maliyetlerini çok yükseltmeden verimli bir imalat süreci geçirecek şekilde kalıbın tasarlanmasıdır. Plastik parça imalatında son adım tasarlanan parça ve kalıba göre plastik enjeksiyon makinasının seçimidir. Plastik enjeksiyon makinası özellikleri maksimum proses şartlarını sağlayabilecek şekilde seçilmektedir.

Plastik ürünün tasarımından imaline kadar geçen süreçte bu dört etkenin birbirleriyle etkileşim içerisinde oldukları göz ardı edilmemelidir. Ürün kalitesinde istenen değerlere ulaşılabilmesi ve minimum maliyet için süreç içerisinde ortaya çıkabilecek problemlerin önceden tespit edilmesi, nedenlerinin bilinmesi ve alınabilecek önlemler hakkında tecrübeli olmak gerekmektedir. Plastik hammadde seçimi, parça tasarımı, kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametreleri arasındaki etkileşimden kaynaklanan problemlerin önceden giderilebilmesi için günümüzde bilgisayar destekli programlara başvurulmaktadır. Bu programların başında enjeksiyon işleminin simülasyonunu gerçekleştiren, imalat sırasında oluşacak parça, kalıp veya

proses bazlı hataların belirlenmesi ve çözümü için kullanılan enjeksiyon kalıbı akış analizi programları gelmektedir.

Bu tez çalışmasında plastik parçaların enjeksiyon yöntemi ile imalatında ortaya çıkabilecek hataların ciddi zaman kayıplarına ve maddi kayıplara yol açmadan analiz programı yardımıyla önceden tespiti ve proses şartlarının optimizasyonunu yapılarak hataların giderilmesiyle imalat verimliliğın arttırılması amaçlanmıştır.

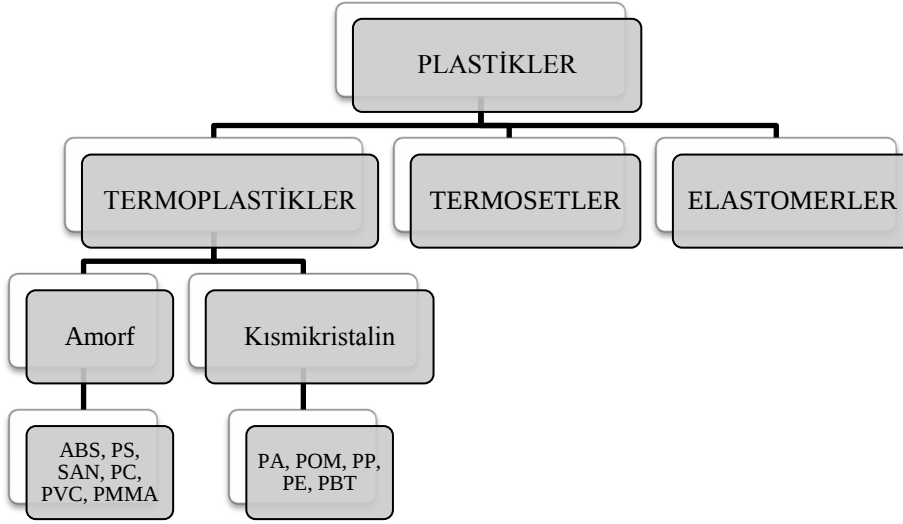
## 2. PLASTİK MALZEMELER

Uygun maliyetli bir malzeme olan plastik, birçok tasarım engelini de aşabildiği için gündelik kullanımda ve teknolojik yeniliklerde sıklıkla tercih edilen bir malzeme olmuştur. Çevremize baktığımızda, elimizdeki cep telefonundan, evimizdeki bilgisayara; ulaşım aracı arabalardan, yüksek teknoloji uçaklara; alışveriş poşetlerinden, ameliyathane ekipmanlarına kadar her alanda plastikleri görebiliriz. Plastik malzemelerin bu kadar yaygın olmalarının sebepleri çok yönlü kullanıma yatkın, hafif, güvenli, dayanıklı, ve düşük maliyetli olmalarıdır.

Plastiklerin avantajlarını sıralayacak olursak; plastikler genellikle ekstra işleme gerek kalmadan karmaşık parça geometrilerinin kalıplanabilmesini sağlarlar. Metal ve seramiklere göre düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen dayanım/yoğunluk oranları iyidir. Yüksek korozyon direnci ve düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptirler. Hacimsel bazda genellikle plastiği imal etmek için, malzemelerin çalışma sıcaklıklarının metallerden daha düşük olması nedeniyle, daha az enerjiye gerek duyulmaktadır. Bazı plastiklerin ışığı yansıtması ve saydam olması ile camla rekabet eder hale gelmiştir. Plastiklerin özellikleri amaca uygun şekilde optimize edilebilmektedirler.

Plastik tanımını yaparken monomer ve polimer terimlerini beraber incelemek gerekir. Monomer, birbirine kovalent bağlarla bağlanarak daha büyük moleküller oluşturabilen küçük bir moleküldür. Polimer ise birden çok monomerin birbirine kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşan büyük moleküldür. Monomer moleküllerinin polimer moleküllerine dönüştürülmesi işlemine polimerizasyon denir. Plastikler, monomerlerin zincir halkaları gibi kendi aralarında birbirlerine eklenerek oluşturduğu makro-moleküllerden meydana gelen sentetik malzemelerdir [1].

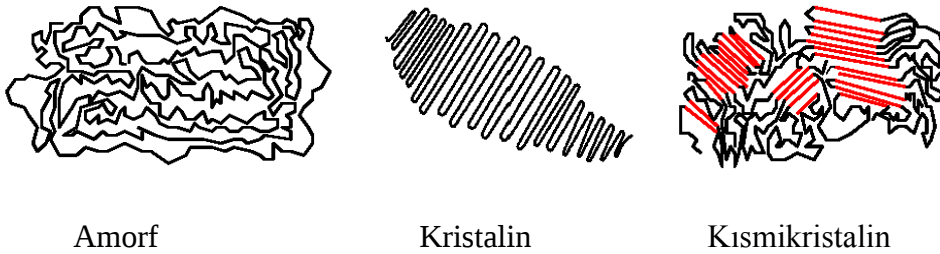
Genel olarak plastikler 3 ana gruba ayrılır, bunlar; Şekil 2.1’de görüldüğü üzere termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir.



**Şekil 2.1 :** Plastik malzemelerin sınıflandırılması

Termoplastikler, moleküller arası bağlarla birbirine bağlanmış dallı veya lineer makromolekül zincirlerinin oluşturduğu plastiklerdir. Termoplastikler, ısıtıldığı zaman eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir. Isıtma soğutma çevrimlerinden sadece fiziksel değişime uğrarlar, geri dönüştürülebilir plastiklerdir. Bir kere eritildikten sonra enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi yaygın kullanılan tekniklerle hemen hemen her türlü şekilde kalıplanabilirler.

Üretimde ya da kalıplama esnasında eriyik halden soğutulan termoplastik polimerler kolaylıkla kristal yapıyı kuramazlar. Çünkü polimer zincirinin çokça kıvrılan ve büzülen yapısını, düzenli bir yapıya sokup, polimerin kristal oluşturması için yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Termoplastikleri oluşturan kristalleşebilen zincirler ise tam anlamıyla mükemmel bir kristal yapı kuramaz bunun yerine hem amorf hem de kristal yapıyı barındıran kısmikristalin yapıyı oluştururlar. Şekil 2.2’de termoplastiklerin zincir yapıları görülmektedir.



**Şekil 2.2 :** Termoplastiklerin zincir yapıları

Kristalin yapıda bulunan polimerler kimyasallara karşı mükemmel direnç gösterirler, erime sıcaklıkları belirgindir. Amorf yapıya sahip polimerlerin boyutsal stabiliteleri yüksektir, yoğunlukları düşüktür, darbeye karşı dirençlidirler, geniş bir erime sıcaklık aralığına sahiptirler [1].

Termosetler, kritik bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve tekrar ısıtıldığında yumuşamayan polimerlerdir. Isıtma soğutma çevrimlerinde kimyasal değişime uğrarlar. Termosetler ve elastomerler birbirini takip eden çapraz bağların çokluğu sayesinde birbirinden ayrılırlar. Elastomerler termosetlere göre daha az çapraz bağlı moleküllerden oluşmaktadırlar. Çapraz bağları sayesinde gevrek, yüksek ısıya dayanıklı, geri dönüşümü olmayan malzemeler elde edilir. Bu malzemelerin molekülleri sadece moleküller arası kuvvetlerle değil aynı zamanda atomsal bağlarla birbirine bağlanmışlardır.

## **2.1 Takviye Dolgu Ve İlave Maddeler**

Farklı özellikler elde etmek veya mevcut özellikleri geliştirmek için polimerler çeşitli yöntemlerle modifiye edilirler, bunların başında takviye dolgu maddeleri gelmektedir. Plastiklere katılan dolgu maddeleri; pekiştirici ve dayanım arttırıcılar, renklendiriciler, plastikleştiriciler, yağlayıcı ve işlemeyi kolaylaştıranlar, antistatik katkılar, ultraviyole ışınım dengeleyiciler, antioksidanlar ve yanmayı önleyiciler olarak gruplandırılabilirler [3].

Plastiklerin yapıları dolgu maddesi kullanılarak ciddi şekilde değiştirilebilir. Birçok plastik maddede temel formül katkı maddeleriyle değiştirilerek kullanılır. Cam elyafı katkısı plastiğe iyi kimyasal direnç ve ısı direnç sağlar, darbe dayanımını ve sertliğini artırır. Karbon elyafı katkısı iyi elektriksel ve ısı iletkenlik sağlar, sertlik ve çekme dayanımını artırır.

Metalik oksitler plastiğe sertlik, ısıya karşı direnç ve elektriksel iletkenlik verir. Ayrıca, kırılmaya karşı direnç ve termal iletkenlik sağlarken viskoziteyi de artırır. Alüminyum ve bakır, işlenebilirlik, çarpma direnci, ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Çinko katılmış polimerlerle iyi kaplama yapılır, korozyon direnci çok iyidir.

Silisyum hafifliğin istendiği durumlarda kullanılır. Silikatlar polimerlerin sertliğini artırır ve plastiğin kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırır. Kalsiyum karbonat ucuz maliyet ve parlaklık için kullanılır. Kaolin iyi elektriksel özelliklik sağlar. Talk elektriksel yalıtkanlığı artırır, ısı ve neme karşı direnç sağlar ve imal edilebilirliği kolaylaştırır.

## **2.2 Sık Kullanılan Termoplastikler**

### **2.2.1 Akrilonitril butadien stiren (ABS)**

Elektrikli süpürge kabini, mutfak robotu gövdeleri, kontrol panelleri, buzdolabı kapı sapları, panolar, gösterge paneli gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Düşük maliyete üstün mekanik mukavemet özellikleri, düşük sıcaklıklarda bile darbe dayanımı, kimyasal direnç, sertlik, rijitlik, kolay proses edilebilirlik, güzel görünüm, çeşitli renkte kolay üretim özellikleri ile avantaj sağlamaktadır.

### **2.2.2 Polistiren (PS)**

Paketleme ve koruma ürünleri, tükemez kalem, atılabilir içecek kutuları, radyo ve televizyon kabinleri, buzdolabı iç gövdeleri, buzdolabı yiyecek kutuları gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Mükemmel boyut ve termal kararlılık, optik saydamlık ve nem emme özelliği ile ön plana çıkmaktadır. İyi dielektrik özellik gösterir ve kimyasallara karşı direnci bazı organik malzemeler dışında iyidir.

### **2.2.3 Polimetil metakrilat (PMMA)**

Reklam panoları, otomobil reflektörleri, lensler, ev ve büro ışıklandırması, banyo küvetleri gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Çok iyi optik özelliklere sahiptir ve dayanımı yüksektir. Saydam ve berrak oluşu onu plastikler arasında önemli bir konuma getirmiştir. Mekanik ve termal özellikleri, boyutsal kararlılığı çok iyidir. Gün ışığı ve hava koşullarından etkilenmez.

### **2.2.4 Polivinil klorür (PVC)**

Kablo yapımı, eldiven kaplama, oyuncak, ayakkabı, bot, yalıtıcı, duvar kaplama, yağmur suyu yönlendirme elemanları, ev içi ve büyük çaplı kirli su boruları, hortumlar gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Ucuz ve çevre koşullarına karşı dirençli olmasından dolayı tercih edilmektedir. İyi fiziksel özelliklere sahiptir ve

tiplerine göre esneklik, rijitlik ve kimyasal maddelere direnç gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Mükemmel bir boyutsal kararlılığa sahiptir ve kimyasal özellikleri yüksektir.

### **2.2.5 Polipropilen (PP)**

Otomobil parçaları, oyuncaklar, ev eşyaları, alet tutamakları, sandalye, oturma grupları, şişe kasaları, taraklar, hastahane gereçleri gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Yüksek darbe dayanımına sahiptir. Kristalin özelliği sayesinde yüzey sertliği ve gerilme çatlağı direnci yüksektir. Cam elyafı ve mineral katkıları ile modifiye edilebilir. Neme karşı ve kimyasallara karşı çok iyi direnç gösterir, elektriksel özellikleri çok iyidir.

### **2.2.6 Poliasetal (POM)**

Boyut kararlılığı çok iyi olduğundan hassas parçalarda, dişliler, ölçü aletleri, saat parçaları, pompa pervaneleri, valfler, zincirler ve taşıyıcılar gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Polioksimetilen kimyasal adıyla bilinmektedir. Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri çok iyi bir plastiktir. Dayanıklı, elastik, iyi sürünme direncine sahip, boyut kararlılığı çok iyi ve düşük sıcaklıklarda bile iyi darbe dayanımına sahiptir. Çekme, basma, akma dayanımları, dielektrik özellikleri yüksektir. Nem alma oranı çok düşüktür. Sürünme, yorulma dayanımları çok iyidir ve malzeme sürtünme katsayısı düşüktür.

### **2.2.7 Poliamid (PA)**

Mekanik özelliklerinin yüksek oluşu nedeniyle kam, dişli, kaymalı yatak, hassas parça imalatında kullanılmaktadır. Piyasada naylon olarak bilinmektedir. Sert, yüksek ısı dayanımı, iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri bulunan plastiktir. Aşınma, yorulma, çekme dayanımları çok iyidir; ancak fazla miktarda nem çeker. Cam elyafı katkısıyla özellikleri iyileştirilebilir.

Elde edilmesi sırasında kullanılan diasit ve diaminlerdeki asit sayısına göre farklı sınıfları vardır. PA 6 ve PA 66' nın fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirine çok yakındır. PA 6'nın darbe dayanımı ve çözünme direnci PA 66'dan daha yüksektir ancak, nem alma oranı daha fazladır. PA66'nın sürünmeye karşı direnci çok iyidir. PA nem artışından dolayı %1'e yakın boyut artışına uğrayabilir.

### 2.2.8 Polietilen (PE)

Alçak (AYPE) ve yüksek (YYPE) yoğunluklu olarak üretilmektedirler. AYPE genellikle kablo yalıtımında, film ve ambalajlamada kullanılmaktadır. YYPE ise basınçlı borular, gaz dağıtım boruları, şişe, bidon, beyaz eşya yapımında kullanılmaktadır. AYPE'nin darbe dayanımı ve kimyasal direnci iyi, akış özellikleri çok iyidir. Malzemenin ölçü kararlılığı iyi değildir, yüksek ısı genleşme katsayısı sebebiyle uzun süreli kullanımlar için uygun değildir. Karbon siyahı uyumlu bir plastikleştirici, UV stabilizörü gibi katkı maddeleriyle direnci ve ömrü artırılır. YYPE yüksek kristal özellikleri sayesinde yüksek yoğunluğa, çekme dayanımına, ısı çarpılma sıcaklığına, viskoziteye ve kimyasal dirence sahiptir. Işık ve açık hava koşullarına AYPE gibi dayanıklı değildir.

### 2.3 Plastiklerin Mekanik Özellikleri

Termoplastik malzemelerin mekanik davranışları malzemenin yapı ve fiziksel haline bağlıdır. Termoplastik malzemeler elastik katı maddelerin ve viskoz sıvı maddelerin karakteristiklerini birlikte gösterirler. Gerilmenin etkisi altında hem elastik olarak şekil değiştirirler hem de viskoz olarak akarlar buna malzemenin viskoelastiklik özelliği denir. Viskoelastik malzeme özellikleri zaman, sıcaklık ve şekil değiştirme hızı ile değişirler. Sıcaklık arttıkça malzeme daha elastik bir hale gelir, yani aynı gerilme etkisi altında daha fazla deforme olur. Bir termoplastik malzeme hızlı bir şekil değişimine maruz bırakılırsa aynı miktarda yavaş şekil değişimine uğradığı halden daha gevrek bir davranış gösterir [3].

Bir malzemenin yük altındaki şekil değiştirme miktarını rijitliği gösterir, belirli bir yükte gösterdiği şekil değiştirme ne kadar küçük ise o malzemenin rijitliği daha yüksek olur. Bir plastiğin rijitliğinin ölçüsü elastiklik modülüdür. Çizelge 2.1'de bazı plastikler için elastik modul değerleri verilmiştir.

Plastikler uygulanan sabit bir gerilme altında zamana bağlı bir deformasyon davranışı gösterirler, buna sürünme adı verilir. Bir plastik sabit bir çekme gerilmesine maruz bırakılırsa, malzeme kopma noktasına gelinceye kadar bu gerilme altında şekil değiştirir, bu olay sürünme kopması olarak adlandırılır. Plastik malzemelerle yapılacak konstrüksiyonlar için uzun süreli deney verileri kullanmak

gerekir. Plastik malzemeler kısa süreli kullanımda tok olarak değerlendirilsede zaman içinde gevrekleşme eğilimi gösterirler [3].

**Çizelge 2.1 : Bazı plastikler için elastiklik modülü değerleri**

| Malzeme | E, N/mm2  |
|---------|-----------|
| PE-LD   | 200/500   |
| PE-HD   | 700/1400  |
| PP      | 1100/1300 |
| PVC     | 1000/3500 |
| PS      | 3200/3500 |
| ABS     | 1900/2700 |
| PC      | 2100/2500 |
| POM     | 2800/3500 |
| PA6     | 1200/1400 |
| PA66    | 1500/2000 |
| PMMA    | 2700/3200 |
| PET     | 2600/3100 |
| PBT     | 1600/2000 |

Poisson oranı ( $\nu$ ), tek eksenli bir çekme halinde enine birim şekil değiştirmenin boyuna şekil değişimine oranıdır. Plastik malzemelerde bu oran sabit değildir, zaman, sıcaklık, gerilme ile değişebilir. Poisson oranı, elastiklik modülü (E) ve kayma modülü (G) ile hesaplanabilir (2.1) .

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (2.1)$$

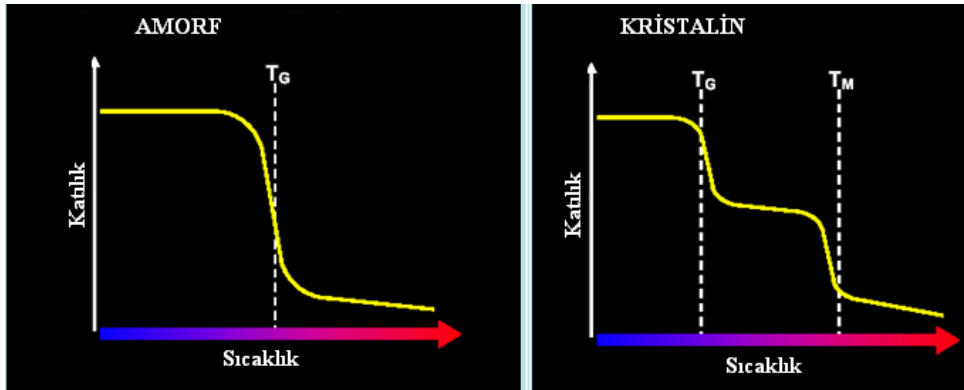
Plastiklerin yoğunluk ve özgül yoğunluk değerlerinin bilinmesi ağırlık, maliyet hesaplarında ve kalite kontrol amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Özgül yoğunluk belli bir hacimdeki plastik malzemenin kütlesinin aynı hacimdeki suyun kütlesine oranı olarak bulunur.

Erime indeksi akışa karşı izotermal direncin bir göstergesidir. Erime indeksi kullanımı kolay ve ucuz bir deney olması sebebiyle aynı polimer ailesi içerisinde farklı polimerleri ayırt etmek ve kalite kontrol amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Deney prosedürüne göre kalıptan 10 dakikada geçen plastik malzeme miktarı olarak tanımlanır. MFR veya MI kısaltmalarıyla ve gr/10dk birimi ile ifade edilir. Düşük molekül ağırlıklı malzemelerin erime indeksi yüksek molekül ağırlıklı malzemelere göre daha yüksektir ve üretimleri daha kolaydır [3].

## 2.4 Plastiklerin Termal Özellikleri

Mekanik davranışlarını ve boyut kararlılığını kabul edilebilir sınırlar içerisinde muhafaza edebilecek malzeme seçiminde parçanın maruz kalacağı işletme koşulları dikkate alınmalıdır. Plastiğin özellikleri, üretim tekniği ve parametrelerin seçimi malzemenin, erime sıcaklığı ( $T_m$ ), camsı hale geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), boyut stabilitesi, ısı iletkenliği, ısı geçirgenliği, özgül ısı, ısı genleşme katsayısı ve bozulma sıcaklığı gibi termal özelliklerinden etkilenir.

Kısmikristalin malzemelerde erime sıcaklığı belirgin bir değerdir. Amorf malzemelerde ise belirgin bir erime sıcaklığı değeri yoktur bunun yerine belirli bir sıcaklık aralığı vermek daha doğrudur. Camsı hale geçiş sıcaklığı, bu değer altında plastiğin cam gibi davrandığı sıcaklık değeri olarak tanımlanır. Bu sıcaklık değeri üzerinde ise plastik ne cam kadar sağlam ve rijit ne de kırılığandır. Amorf termoplastiklerde bu değer daha belirgindir. Camsı hale geçiş özgül hacme ve basınca bağlı olarak erime sıcaklığının altında meydana gelir. Camsı hale geçiş genellikle küçük bir sıcaklık aralığında meydana gelir, bu sıcaklık bölgesinde ısı genleşme katsayısı ve özgül ısı gibi termal özelliklerde değişim gözlenir. Şekil 2.3’de amorf ve kristalin malzemelerin  $T_g$  ve  $T_m$  değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.3 : Amorf ve kristalin malzemelerin  $T_g$  ve  $T_m$  değerleri değişim grafiği

Isıl distorsiyon sıcaklığı da denen plastiğin yük altında deformasyon sıcaklığı (Deflection Temp. Under Load, DTUL), yüksek sıcaklıkta yük taşıma kabiliyetinin bir göstergesidir. Amorf plastiklerde DTUL hemen hemen camsı geçiş sıcaklığı ile çakışmaktadır. Isıl direncin bir başka göstergesi Vicat yumuşama sıcaklığıdır (Vicat Softening Temperature). Plastik numune ısıtma banyosunda sabit bir yüke noktasal olarak maruz bırakılır, iğnenin malzemeyi 1mm deldiği noktadaki sıcaklık Vicat

yumuşama sıcaklığı olarak belirlenir. Çizelgede bazı plastikler için DTUL ve VST değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2 : Bazı plastiklerin DTUL ve VST değerleri**

| Malzeme | Vicat Sof., B Method Tem. °C | DTUL, A yöntemi, °C |
|---------|------------------------------|---------------------|
| PE-HD   | 65                           | 50                  |
| PP      | 90                           | 45                  |
| PVC     | 92                           | 72                  |
| PS      | 90                           | 84                  |
| ABS     | 102                          | 100                 |
| PC      | 138                          | 135                 |
| POM     | 165                          | 140                 |
| PA6     | 180                          | 77                  |
| PA66    | 200                          | 130                 |
| PMMA    | 85                           | 103                 |
| PET     | 190                          | 80                  |
| PBT     | 80                           | 65                  |

Plastikten yapılmış makina elemanından yüksek sıcaklıkta boyut kararlılığı isteniyorsa bozulma sıcaklığı önem kazanmaktadır. Bozulma sıcaklığında molekül zincirlerini oluşturan üniteler arasındaki bağlar kopar ve malzeme yapısı tamamen bozulur. Birçok plastik malzeme için bu sıcaklık değerini tayin eden ana unsur o malzemenin camsı hale geçiş sıcaklığıdır. Camsı duruma geçiş sıcaklığının üzerinde genleşme katsayısı da artmaktadır. Çizelge 2.3’de bazı plastikler için bozulma sıcaklığı değerleri verilmiştir. Boyut kararlılığı ile dikkate alınması gereken başka bir olay büzülmedir. Parçanın çeşitli kısımlarında meydana gelen büzülme farklı soğuma hızlarından, polimer moleküllerin yönlendirilmesinden, farklı cidar kalınlıklarından, akış yönünden veya kuvvetlendirici liflerin varlığından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 2.3 : Bazı plastiklerin bozulma sıcaklık değerleri**

| Plastik Malzeme | Bozulma Sıcaklığı (°C) |
|-----------------|------------------------|
| PP              | 320-400                |
| PC              | 340-440                |
| PVC             | 200-300                |
| PS              | 300-400                |
| PMMA            | 180-280                |
| ABS             | 250-400                |
| PA              | 300-400                |
| PET             | 280-320                |

Bir malzemenin özgül ısısı birim kütlesinin sıcaklığını 1°C arttırmak için gerekli enerji miktarıdır. Amorf plastiklerin özgül ısısı camsı hale geçiş sıcaklığının altında ve üstünde sıcaklıkla lineer bir şekile artar, ancak  $T_g$  sıcaklığı civarında eğride bir süreksizlik oluşur. Özgül ısı değerlerinin sıcaklığa duyarlı olması plastikleri diğer mühendislik malzemelerinden ayırır [3].

Isıl iletkenlik bir malzemenin uzunluğu veya kalınlığı boyunca ısı enerjisi iletme oranıdır. Isı yalıtımı amacıyla kullanılan bu faktör kısmikristalin termoplastiklerde amorf yapıdakilere göre daha iyidir. Plastiklerin düşük ısıl iletkenliğinin dezavantajı işleme sırasında gerekli ısıнын yayılmasını zorlaştırması ve işlemeden sonra soğuma sırasında ortaya çıkmasıdır. Belirli bir sıcaklık aralığı için termoplastikler metallere göre daha fazla boyut değişimine uğrar. Isıl genleşme katsayısı bir birim sıcaklık artışı için söz konusu malzemenin boyutunda meydana gelen değişim miktarının ilk boyuta oranıdır. Isıl genleşme katsayısı özellikle birbirine benzemeyen malzemelerden imal edilmiş makina elemanları birlikte monte edilecekse önem kazanır. Çizelge 2.4’de bazı plastiklerin termal özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.4 : Bazı plastiklerin termal özellikleri**

| Malzeme | Yoğunluk<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Erime<br>Sıcaklığı<br>( $T_m$ , °C) | Camsı<br>hale geçiş<br>sıcaklığı<br>( $T_g$ , °C) | Isıl iletkenlik<br>(10 <sup>-4</sup> cal/<br>s.cm °C) | Özgül Isı<br>(cal/gr<br>°C) | Isıl Geç-<br>irgenlik<br>(10 <sup>-4</sup> cm <sup>2</sup> /s) |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| PP      | 0,9                               | 168                                 | -10                                               | 2,8                                                   | 0,9                         | 3,5                                                            |
| HDPE    | 0,96                              | 134                                 | -110                                              | 12                                                    | 0,9                         | 13,9                                                           |
| PTFE    | 2,2                               | 330                                 | -115                                              | 6                                                     | 0,3                         | 9,1                                                            |
| PA6     | 1,13                              | 260                                 | 50                                                | 5,8                                                   | 0,075                       | 6,8                                                            |
| PET     | 1,35                              | 250                                 | 70                                                | 3,6                                                   | 0,45                        | 5,9                                                            |
| ABS     | 1,05                              | 105                                 | 115                                               | 3                                                     | 0,5                         | 3,8                                                            |
| PS      | 1,05                              | 100                                 | 90                                                | 3                                                     | 0,5                         | 5,7                                                            |
| PMMA    | 1,20                              | 95                                  | 105                                               | 6                                                     | 0,56                        | 8,9                                                            |
| PC      | 1,20                              | 266                                 | 150                                               | 4,7                                                   | 0,5                         | 7,8                                                            |
| PVC     | 1,35                              | 199                                 | 80                                                | 5                                                     | 0,6                         | 6,2                                                            |

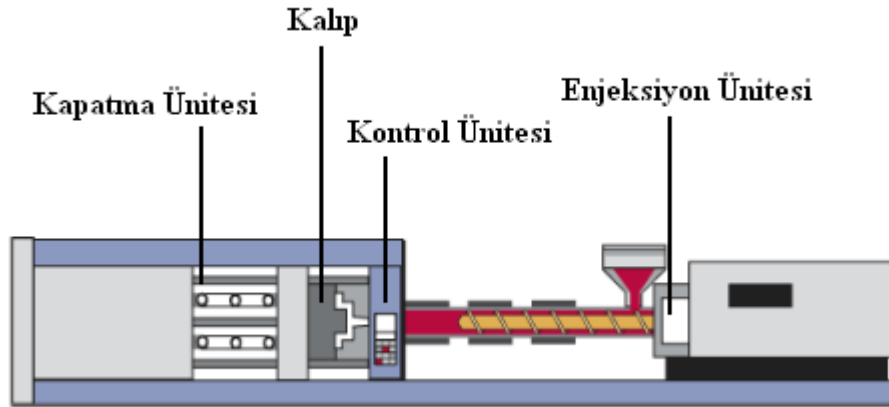
### 3. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

Günümüzde plastik parçaların imalatında kullanılan yöntemlerin başında plastik enjeksiyon yöntemi gelmektedir. Enjeksiyon yöntemi granül halindeki plastik hammaddenin ısı yardımıyla eritilerek kalıplanması ve şekillendirilmesi işlemidir.

Plastik enjeksiyon yöntemi, yüksek hacimlerde karışık şekilli parçaların bir işlem periyodunda hızlı bir şekilde imal edilebilmesi, düşük maliyet, otomasyona uygunluk, son işleme gereksinim duymama, değişik yüzey, renk ve şekillerde parça imali, malzeme kaybının çok az olması, aynı makinede ve kalıpta farklı parçaların basılabilmesi, düşük toleranslarla çalışabilme imkanı gibi konularda avantaj sağlamaktadır.

#### 3.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi

Şekil 3.1’de de görüldüğü üzere enjeksiyon makinası 4 fonksiyonel bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 : Enjeksiyon makinası ana bölümleri

##### 3.1.1 Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi

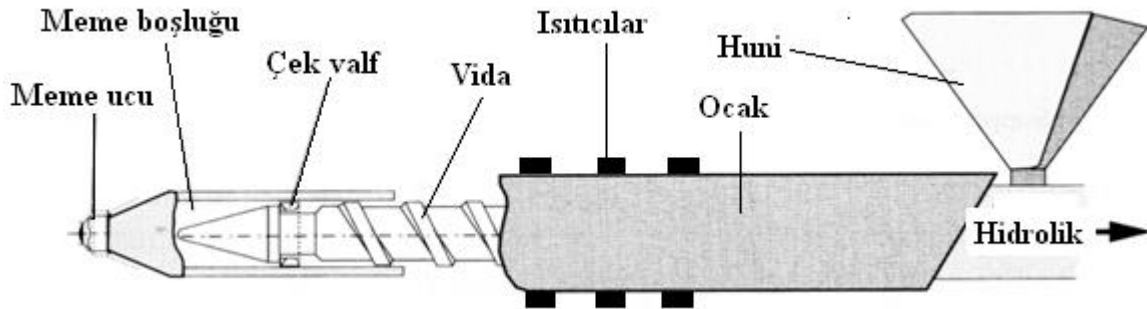
Huni, vida, ısıtıcılar, çek-valf, enjeksiyon memesi, hidrolik silindir ve hidromotordan oluşur. Enjeksiyon ünitesi birimleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Huni, plastik malzemenin düzenli bir şekilde kovana akışını sağlar. Meme, enjeksiyon ünitesinin

yolluk ile temas eden ergimiş hammaddenin kalıba geçtiği son parçadır. Vida, plastik malzemeyi eriten ve kalıba basan makine parçasıdır. Vida Şekil 3.2’de de görüldüğü üzere besleme, sıkıştırma, ölçme olarak 3 bölgeden oluşmaktadır.



**Şekil 3.2 : Vida bölümleri [3]**

İyi bir eritme performansı, kısa sürede malzeme taşınması, katkı maddelerinin homojenliğini sağlayacak şekilde etkili erime, karıştırma ve iletim sonsuz vida mekanizmasından beklenen temel özelliklerdir. Sonsuz vida mekanizmalarının uç kısmına takılan, vidanın enjeksiyon ve tutma safhalarında bir piston gibi hareket etmesini sağlayan ve malzemenin geri akmasını engelleyen parça çek-valftir. Kovan ısıtma sistemi olarak genellikle rezistanslı ısıtıcı bantlar kullanılmaktadır.



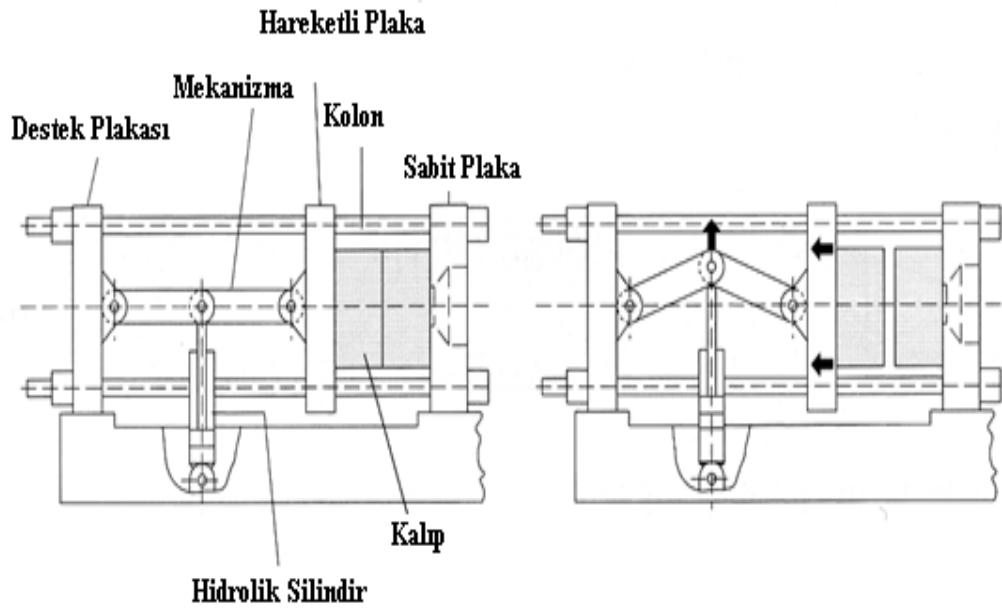
**Şekil 3.3 : Enjeksiyon ünitesi birimleri**

### 3.1.2 Kalıp

Plastik hammaddeye parçanın şeklinin verildiği boşluk bulunan iki veya daha fazla plakadan oluşan sistemdir. Plakaların biri sabit, diğeri aksel yönde hareket etmektedir. Eriyik malzemenin tüm boşluklara homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak, eriyik malzemeye son şeklini vermek, malzemenin üniform ve hızlı şekilde soğumasını sağlamak, ürünün rahatça dışarı çıkmasını sağlamak kalıbın temel görevleri arasındadır.

### 3.1.3 Kapatma ünitesi

Kalıbı kapatıp açmak, yüksek basınçta kalıbın kapalı kalmasını sağlayarak kalıp ayrılma hattında çapak oluşmasını önlemek başlıca görevidir. Mekanik, hidrolik ve hidro-mekanik olmak üzere 3 tip kapatma (mengene) sistemi kullanılmaktadır. Mekanik kapatma sistemlerinde ayarlanabilir vidalı kollar (makas) ile mengene aralığı kontrol edilir ve mekanik sistemin kinematiği ile hareket sağlanır. Hidrolik kapatma sistemlerinde kalıbı açıp kapatma işlemi ve enjeksiyon basıncına karşı gerekli kapatma kuvveti hidrolik silindir ile sağlanır. Hidro-mekanik kapatma sisteminde kapama işlemi hidrolik silindirler, kilitleme ise özel mekanik elemanlarla sağlanır. Şekil 3.4’de hidro-mekanik sistem gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Hidro-mekanik kapatma sistemi [3]

### 3.1.4 Kontrol ünitesi

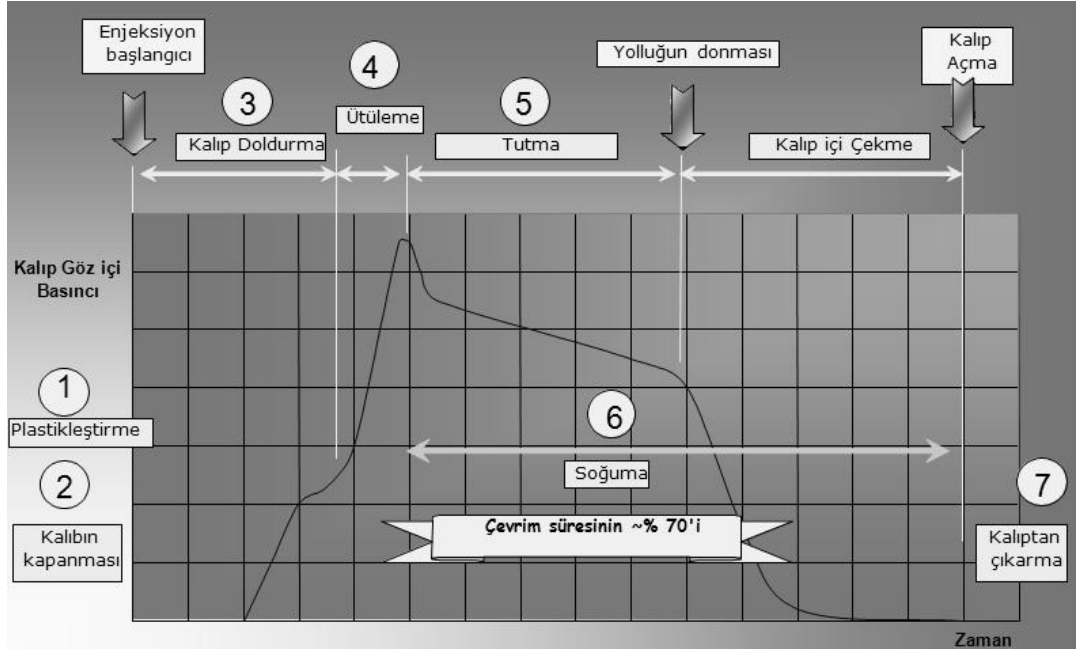
Enjeksiyon tezgahının ve enjeksiyon prosesinin tüm parametrelerini ayarlayan sistemdir. Günümüz enjeksiyon makinelerinde PLC kontrol üniteleri bulunmaktadır. 4 ana enjeksiyon parametresi (sıcaklık, basınç, hız, zaman) doğrudan veya dolaylı olarak buradan kontrol edilebilir.

### 3.2 Enjeksiyon Makinesi Spesifikasyonları

İyi bir kalıp dizaynı ve etkinliği için makine özellikleri ve şekline özen gösterilmelidir. Kalıp dizaynı esnasında, yetersiz makine özelliği bilgisi, daha sonra pahalı kalıp değişikliğine neden olur. Kalıba uygun enjeksiyon makinesi seçiminde; enjeksiyon kapasitesi, maksimum kapama kuvveti, kolon ağırlığı, minimum-maksimum kalıp yüksekliği, makine stroku değerlerine dikkat edilmelidir. Malzemeyi eriten vidanın dış çapı, vida uzunluğunun vida dış çapına oranı, maksimum enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı ve plastikleştirme kapasitesi enjeksiyon makinesinin diğer belirleyici özellikleridir.

### 3.3 Plastik Enjeksiyon Çevrimi

Plastik enjeksiyon çevrimi, plastikleştirme, kalıbın kapatılması, kalıbın doldurulması, ütüleme, tutma, soğutma ve parçanın kalıptan çıkarılması işlemlerinden oluşmaktadır. Toz veya granül haldeki hammaddenin huniye konmasıyla işlem başlar. Vida döndükçe huniden ocağa granül hammadde alınır. Granüller ısıtıcılardan aktarılan ve vida dönme hareketinin yarattığı sürtünme ile ortaya çıkan ısı ile eriyik haline dönüşür, eriyen plastik önde vida boşluğuna ulaşır. Vida boşluğunda biriken plastik vidayı geriye doğru iter ve limit şaltere değmesi ile geri itilme otomatik olarak durur, limit şalter huniden silindire alınan malzeme miktarını ayarlamış olur, plastikleştirme aşaması tamamlanır. Vidanın hidrolik piston tarafından ileri itilmesiyle eriyik plastik kalıp boşluğuna dolar, kalıp gözünü doldurmak için gerekli olan basınç (enjeksiyon basıncı) bu sırada artmaktadır. Yüksek basınçla itilen malzeme kalıp içinde sıkışmaya ve soğumaya başlar bu sırada basınç artmaya devam etmektedir (ütüleme basıncı) çünkü soğuyan plastiğin viskozitesi artmaktadır. Kalıp gözü hemen hemen dolarken veya yolluk girişi donmaya başlarken akışkanlığa direnç oldukça yüksektir ve vida bu oranda basınç veremez. Bu noktada hız kontrolden basınç kontrole geçilir. Bu nokta hızdan basınca geçiş noktası olarak adlandırılır. Parça katılaşırken vida ilave bir basınçla (tutma basıncı) eriyiği basmaya devam eder. Bu sayede kalıpta donmadan ötürü ortaya çıkan çekme telafi edilir. Tutma aşaması yolluk girişi donuncaya kadar devam eder, yolluk donduktan sonra parça kalıp içinde soğumaya devam eder. Yeterince soğuyan parça kalıbın açılmasıyla iticiler yardımı ile dışarı alınır ve enjeksiyon çevrimi tamamlanmış olur. Şekil 3.5’de şematik olarak enjeksiyon prosesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.5 : Enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi**

### 3.4 Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Enjeksiyon kalıpları genellikle çelik bloklardan veya ön işçiliği yapılmış olarak temin edilen standart parçalardan talaş alınarak imal edilirler. Enjeksiyon kalıpları genellikle parça geometrisini oluşturan kalıp boşluğundan, kalıp boşluğuna eriyik plastiği getiren yolluk sisteminden, parçanın dengeli bir şekilde soğumasını sağlayan soğuma kanallarından, parçanın kalıptan ayrılmasını sağlayan itici sistemlerden ve kalıp çalışma yönünden farklı yönlerdeki parça geometrileri için kullanılan maça sistemlerinden oluşmaktadır. Şekil 3.6'da detaylı bir kalıp resmi ve fonksiyonel parçaları gözükmetedir.

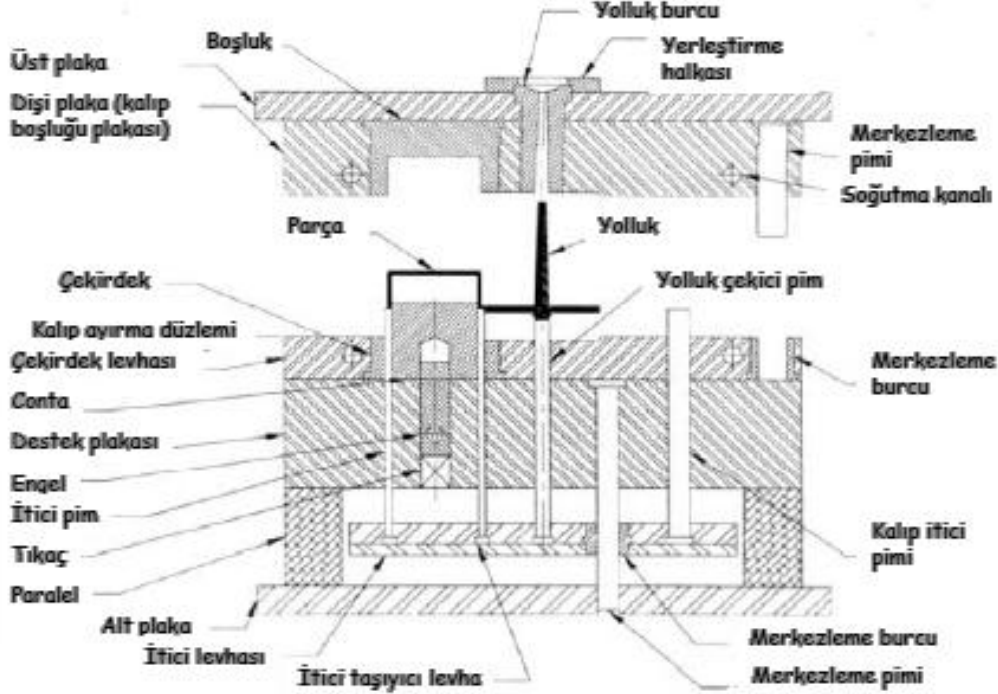
#### 3.4.1 Kalıp boşluğu

Kalıp içerisinde plastiğin gönderildiği ve soğutulduğu kısımdır. Kalıp bir adet boşluktan oluşuyorsa buna tek gözlü kalıp , birden fazla boşluktan oluşuyorsa buna çok gözlü kalıp denir. Kalıp boşluğu oluşturulurken plastik parçanın kalıp içerisinde çekme oranına dikkat edilir buna kalıpta çekme adı verilir.

#### 3.4.2 Erkek kalıp

Kalıbın hareketli kısmının bulunduğu kalıp yarımına erkek kalıp denir. Erimiş polimerin soğuması esnasında, çekme karakteristiğinden dolayı soğuyan baskı,

kalıbın erkek yarısı üzerine çekilir, kalıbın dişi kısmından ayrılır. Bu çekme karakteristikleri parçanın kalıp içerisinden atılması için iticilerin, bu kısımda yerleştirilmesine sebep olur.



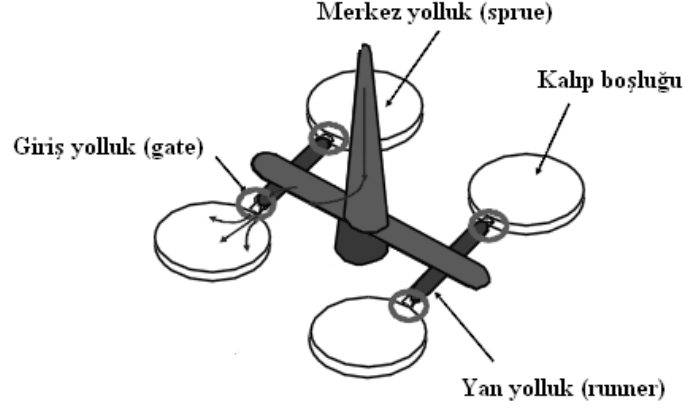
Şekil 3.6 : Plastik enjeksiyon kalıbı parçaları [3]

### 3.4.3 Dişi kalıp

Makinanın hareketsiz plakası üzerine monte edilen kalıp yarısına dişi kalıp denir. Kalıp besleme sistemi genellikle kalıbın dişi kısmının üzerine yerleştirilir çünkü makinanın enjeksiyon ünitesi bu taraftadır.

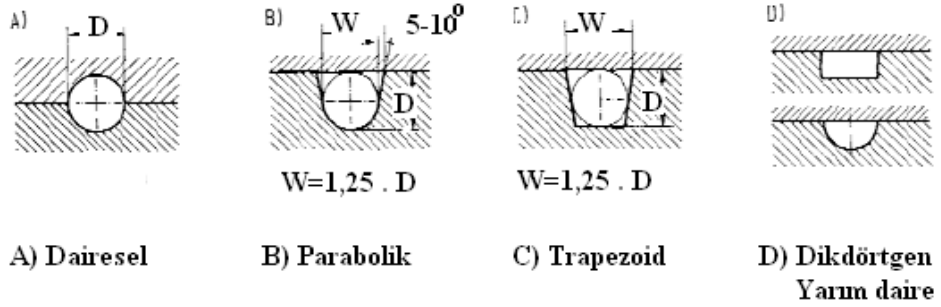
### 3.4.4 Yolluk sistemi

Ergiyik haldeki malzemenin enjeksiyon makinasının memesinden kalıp boşluğuna dağıtımını sağlayan kanallar sistemidir. Yolluk sistemi; merkez yolluk (sprue), tali veya yan yolluklar (runner) ve giriş yolluğundan (gate) oluşmaktadır. Şekil 3.7’de yolluk sistemi elemanları görünmektedir. Ürün kalitesi ve ekonomik sebepler başta olmak üzere yolluk sistemleri; kaynak çizgileri, basınç düşmesi, malzeme kaybı, ürünün kalıptan kolayca çıkması, yolluk sisteminin uzunluğu, parça kesit alanı ile doğrudan ilgilidir.



**Şekil 3.7 : Yolluk sistemi elemanları**

Kalıp içindeki eriyik malzemenin iki veya daha fazla ayrı akış çizgilerinin karşılaşması ve karışması neticesinde parçada kaynak çizgileri meydana gelebilir. Bu sebeple yolluk sistemi uzun kaynak çizgileri meydana gelmeyecek şekilde dizayn edilmeli ve yerleştirilmelidirler. Yolluk sistemi akış direnci minimum olacak şekilde dizayn edilmelidir, böylelikle enjeksiyon basıncı düşürülebilir. Bunun için keskin köşelerin yuvarlatılması ve eğimlendirilmesi gerekir ayrıca büyük kesit alanı farklılıklarından kaçınmak gerekir. Yolluk kesiti kesit basınç düşüşü ve malzeme sarfiyatı dikkate alınarak optimize edilmelidir. Şekil 3.8’de soğuk yolluk kesit tipleri görülmektedir.



**Şekil 3.8 : Yolluk kesit tipleri [3]**

Dairesel kesitli yolluklar, minimum yüzey/hacim oranına sahip olduklarından dolayı ısı kaybını ve basınç düşüşünü minimumda tutarlar. Soğuma hızları da düşük olduğundan, merkezleri en son katılaşmakta ve verimli bir tutma basıncı süreci sağlamaktadır. Fakat bu yolluğun her bir yarısının bir kalıp plakaya işlenmesinin zorluğundan dolayı yapılması pahalıdır. Trapez veya parabolik kesitli yolluk daha basit olarak işlenebilir ve dairesele en yakın özellikleri göstermektedir. Yolluk sisteminin kesiti, yolluk sistemini dışarı atmak için gerekli itici kuvvetlerin üzerine

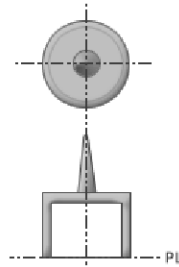
etkisi vardır. Eğimli veya açılı şeklindeki yolluklar, örneğin yarım ve tam yuvarlak veya trapez kesitli yolluklar kalıpta atılması esnasında daha az kuvvete ihtiyaç duyarlar. Dikdörtgensel veya yarı daireler kesitler zayıf dizaynlardır ve basit kalıplarda tercih edilirler.

Yolluk sistemleri soğuk yolluk ve sıcak yolluk olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

#### 3.4.4.1 Soğuk yolluk sistemi

Soğuk yolluk sistemlerinde parça için harcanan malzeme dışında hurda olucak yolluk kısmı içinde malzeme gereklidir. Soğuk yolluk sistemleri genellikle giriş yolluğunun tipine göre adlandırılırlar. Giriş yolluğu, yan yolluktan kalıp boşluğuna geçişi sağlayan kısımdır. Parçanın yolluk sisteminden kolay ve temiz bir şekilde ayrılabilmesi için, giriş yolluğu kesitinin mümkün olduğunca ince olması gerekir. Parçanın şekliyle, dolum hızıyla, hacmiyle alakalı olarak giriş yolluğu dizaynı kullanım yerine göre farklılık gösterir:

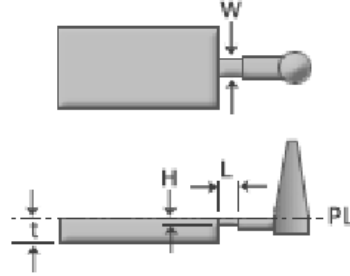
- A. Direk giriş: Tek gözlü kalıplarda veya büyük tek parçalı baskılarda direk besleme yolluk girişi kullanılır. Kesiti yuvarlaktır, yüksek viskoziteli malzemelerde ve et kalınlığı fazla olan parçalarda tercih edilmektedir. Yüksek kalite ve boyutsal kararlılık avantajı sağlar. Son işlem gerektirmesi dezavantaj yaratabilir. Baskıyı kaynak izi oluşturmadan doldurabilmek için direk besleme yolluk girişi parçanın geometrik merkezine yerleştirilir. Genellikle  $2,4^\circ$  lik tepe açısı verilir ve giriş çapı et kalınlığının 1,5 mm fazlası ile 2 katı arasında seçilir [7]. Şekil 3.9'da direk giriş yolluğu profili görülmektedir.



**Şekil 3.9 : Direk yolluk girişi**

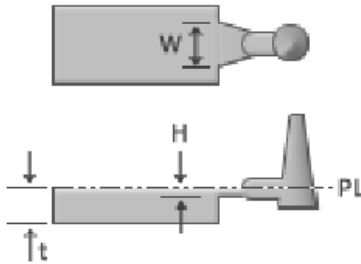
- B. Kenar giriş: En basit yolluk giriş dizaynıdır. Parçaya kalıp ayrılma hattı üzerinden doğrudan kenardan girilir. Kalıp doldurma karakteristiği çok iyi değildir. Yolluk giriş geometrisi, erimiş plastiğin kötü bir şekilde girişte

yayıldığını gösterir. Bazı durumlardaki erimiş plastik kalıp girişindeki akışında hiç yayılmaz, solucan gibi kıvrılarak ve fişkırarak akan plastik, parça içinde kıvrımlar oluşturur bu durumda baskının kuvveti azalır ve parça yüzeyi kötü olur [7]. Şekil 3.10’da kenar yolluk girişi profili gözükmemektedir.



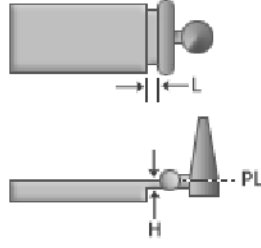
**Şekil 3.10 : Kenar yolluk girişi**

- C. Fan giriş: Kenar yolluk girişinin fan şeklinde genişleyerek parçaya girdiği yolluktur. İnce parçaları doldurmakta kullanılır. Yavaşlatılmış akış hızı ile malzemenin daha iyi yönlendirilmesi sağlanır, giriş bölgesinde daha düşük kesme hızı oluşur, bu sayede minimum akış izi oluşacaktır ve daha uniform malzeme akışı sağlanır. Büyük yolluk giriş alanından dolayı, yolluğun kesilmesi veya koparılması esnasında yolluk giriş izi oluşması problem yaratabilir [7]. Şekil 3.11’de fan yolluk giriş profili gözükmemektedir.



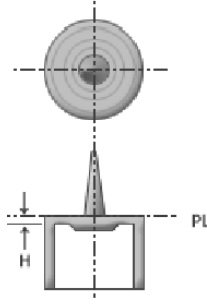
**Şekil 3.11 : Fan yolluk girişi**

- D. Film giriş: Parçanın kenarı gibi bir hat boyunca kalıp boşluğuna dolum yapılmasını sağlar. Düz, et kalınlığı az, cam fiber takviyeli malzemelerin kalıplanması için uygundur. Kaynak çizgileri meydana getirmeme, boşlukları eşit dolurma ve tutma, basınçların uygulanmasında kolaylık sağlama ile yüksek kalite ve hassaslık sağlama gibi avantajları vardır [7]. Şekil 3.12’de film yolluk giriş profili gözükmemektedir.



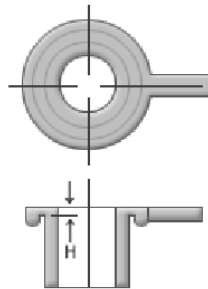
**Şekil 3.12 : Film yolluk girişi**

- E. Diyafram(Disk) girişi: Döner simetrik parçaların imalatında kullanılmaktadır. Bir veya daha fazla noktadan yapılan enjeksiyonla imal edilen parçalarda kaçınılmaz olan kaynak çizgilerinin oluşmasını engeller. Disk formunda bir yolluk atıldığından, yolluk sarfiyatı fazladır. Parça üzerinde yolluk izi oluşur. Yolluk temizleme işçiliği fazladan maliyet gerektirecektir [7]. Şekil 3.13’de diyafram yolluk giriş profili gözükmemektedir.



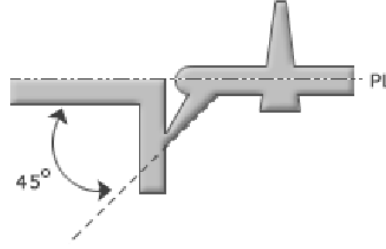
**Şekil 3.13 : Diyafram yolluk girişi**

- F. Halka girişi: Genellikle silindirik ve iç çapı boyutlarının dış çaptan daha önemli olduğu parçalarda kullanılır. Yolluk kısmı önce dişi kalıba açılır ve sonra bunun karşıtı, erkek kısma açılır ve yolluk giriş uzunluğu, bu yolluktan parçaya doğru açılır. Malzeme kalıp boşluğuna dolmaya başlamadan önce bu kanalı doldurur [7]. Şekil 3.14’de halka yolluk giriş profili gözükmemektedir.



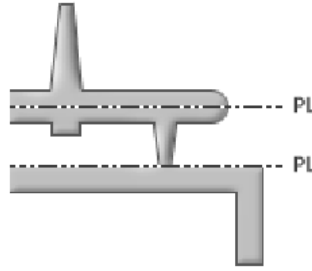
**Şekil 3.14 : Halka yolluk girişi**

G. Tünel giriş: İnce tarafı parçada olan konik şekilli yolluk girişidir. Baskı sonrası yolluğun otomatik olarak kopmasına olanak sağlar. Kalıbın yollukla boşluk arasında kalan parçasının enjeksiyon tarafında olması, yolluğun kalıp açılır açılmaz üründen ayrılmasını sağlar. Bu sistemin esas avantajıdır. Küçük geçit kesit alanlarından dolayı büyük oranda basınç düşüşüne sebep olması ve yolluğun uzun olması dezavantajdır [7]. Şekil 3.15’de tünel yolluk giriş profili görülmektedir.



**Şekil 3.15 : Tünel yolluk girişi**

H. İğne giriş: Üç plakalı kalıplarda kullanılan, yolluğun üründen otomatik olarak ayrıldığı giriş tipidir. Yüksek maliyet gerektiren ve malzeme kaybını arttıran komplike kalıp tasarımları gerektirmektedir [7]. Şekil 3.16’da iğne yolluk giriş profili görülmektedir.

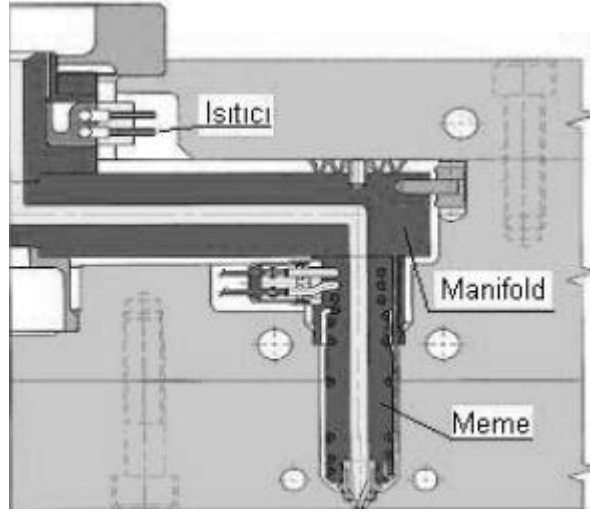


**Şekil 3.16 : İğne yolluk girişi**

#### **3.4.4.2 Sıcak yolluk sistemi**

Sıcak yolluk sistemi, plastik enjeksiyon kalıplarında enjeksiyon makinesinin memesinden kalıp boşluğuna kadar ergimiş plastik malzemeyi sıcaklık kaybı olmadan, minimum basınç kaybı ile hasara uğramadan kontrollü bir şekilde bekletme ve istenildiğinde kalıp gözüne enjekte etme sistemidir. Sıcak yolluk sistemi; sıcaklık kontrol elemanları, sıcaklık kontrol cihazı, ısıtıcılar, sıcak yolluk memesi, sıcak

yolluk dağıtıcısından oluşmaktadır. Şekil 3.17’de sıcak yolluk sistemi elemanları görülmektedir.



**Şekil 3.17 : Sıcak yolluk sistemi elemanları [3]**

Sıcak yolluk sisteminde malzeme kaybı yok denecek kadar azdır, eğer giriş yolluğu sıcak yolluğa dahilse çıkan üründe yolluk parçası kalmaz. Baskı sonra ilave işçiliğe gerek olmadığından işçilikten tasarruf edilmektedir. Kalıp açma mesafesinin kısa olmasından ve yalnızca baskının soğutulması gerektiğinden düşük çevrim süresi sağlanır. Baskı esnasında kalıp doldurma üzerinde polimer akışında çok iyi kontrol olur ve yüksek parça kalitesi elde edilir.

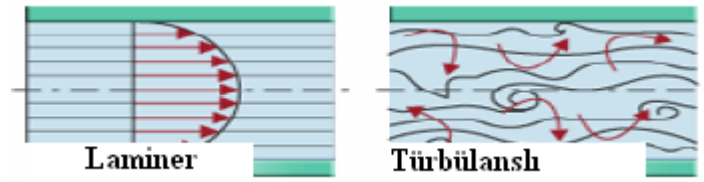
### 3.4.5 Soğutma Sistemi

Enjeksiyon işlemi sırasında kalıp erimiş plastiğin sıcaklığıyla bir süre sonra ısınmaya başlar. Kalıbın ısınması kalıbın çalışma performansını, çevrim süresini ve parça kalitesini etkiler. Kalıp sıcaklığını belirli sıcaklıkta tutmak için kalıp içine açılmış kanallarda soğutma sıvısı akışı sağlamak gerekir. Genelde en basit sistem, kalıbın boydan boya delinmesiyle sağlanan soğutma sistemidir. En etkili kalıp soğutma metotları dişi kalıp ve dalıcı zımba veya maça pimi içerisinde dolaşım yapabilen kanalların açılmasıyla elde edilir.

Parça kalıptan çıkartılabilecek kararlı bir duruma gelene kadar, ısı parçadan uzaklaştırılmalıdır. Bu duruma gelene kadar geçen süreye soğutma zamanı denmektedir. Uzaklaştırılacak ısı eriyiğin sıcaklığına, çıkarma sıcaklığına ve parçanın özgül ısısına bağlıdır. Parça kalitesi, her çevrimdeki sabit sıcaklık profiliyle alakalıdır, ayrıca prosesin verimliliği kalıbın ısı transferiyle değişmektedir, parça ve

kalıp arasındaki ısı transferi ne kadar hızlı gerçekleşirse ekonomik performans o kadar artmaktadır, parça basım süresi azalır, imalat hızı artar [7].

Kalıptan uzaklaştırılan ısı miktarı soğutucu akışkanın hızından etkilenmektedir. Isı transferi akışkanın laminar akıştan türbülanslı akışa geçmesiyle artmaktadır. Laminer akış sırasında, akışkanın sadece kanal çeperlerine yakın olan kısımları kanal çeperleriyle temas halindedir, türbülanslı akışta ise daha fazla akışkan çeperlere temas ederek ısı transferini artırır. Şekil 3.18’de laminer ve türbülanslı akış gösterilmiştir.



**Şekil 3.18 : Laminer ve türbülanslı akış**

Laminer ve türbülanslı akış Reynold sayısına göre belirlenir. Reynold sayısı 2300’den düşük ise laminer akış, 4000’den büyük ise türbülanslı akış gözlemlenir. Kalıp soğutmasında verimli sonuç almak için Reynold sayısının 10000’den büyük olması istenir.

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\eta} \quad (3.1)$$

Re : Reynold sayısı

$\rho$  : Özgöl kütle

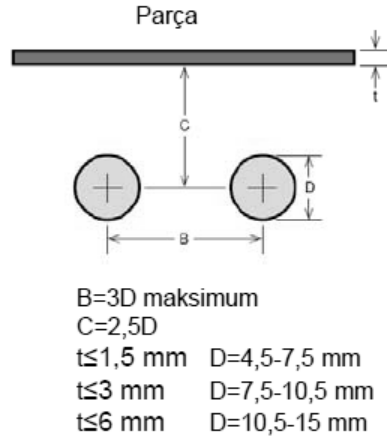
$\eta$  : Dinamik viskozite

V : Akışkanın hızı

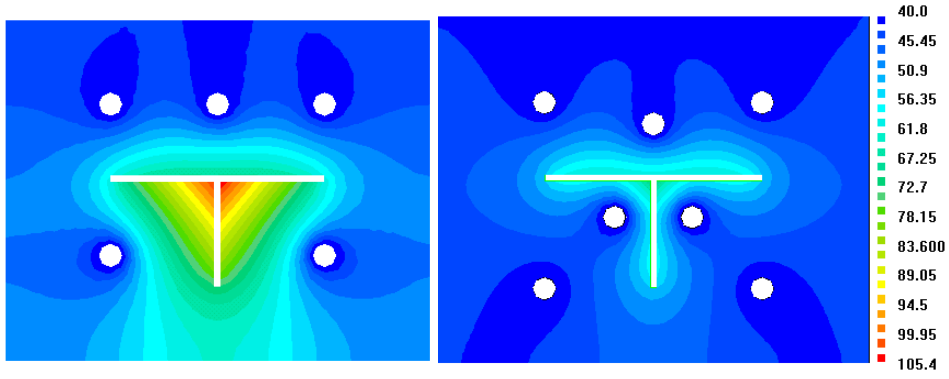
D : Boru çapı

Dişi kalıp veya dalıcı zımba içerisine açılacak soğutma kanalları kalıplama yüzeyinden uygun olan uzaklıkta ve çapta, kalıbın çatlamasına sebep olmayacak şekilde açılmalıdır. Şekil 3.19’da uygun soğutma kanalları ve parça arasındaki mesafe değerleri gösterilmiştir. Dengeli bir soğutma sağlamak için kanallar dikkatli yerleştirilmelidir. Şekil 3.20’de dengeli su kanalı dağılımına bir örnek gösterilmiştir. Kanallar genellikle seri veya paralel bağlantı şeklinde oluşturulmaktadır, geçiş

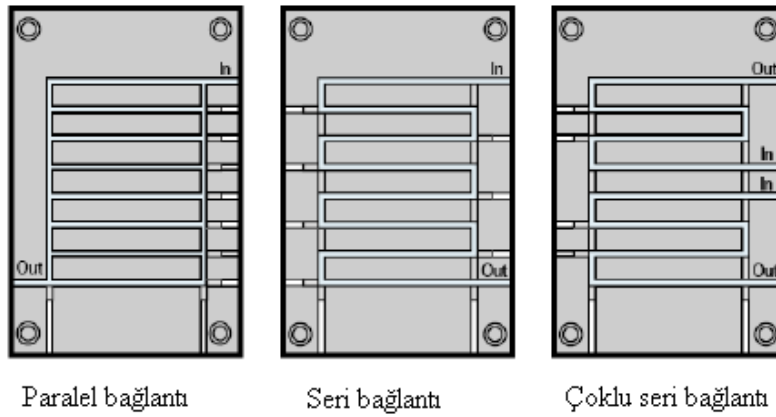
yolları üzerindeki delikler kör tıpa ile kapatılmaktadır. Şekil 3.21’de seri ve paralel bağlantılar örneklenmiştir.



Şekil 3.19 : Soğutma kanalları ve parça arasındaki mesafe değerleri [3]



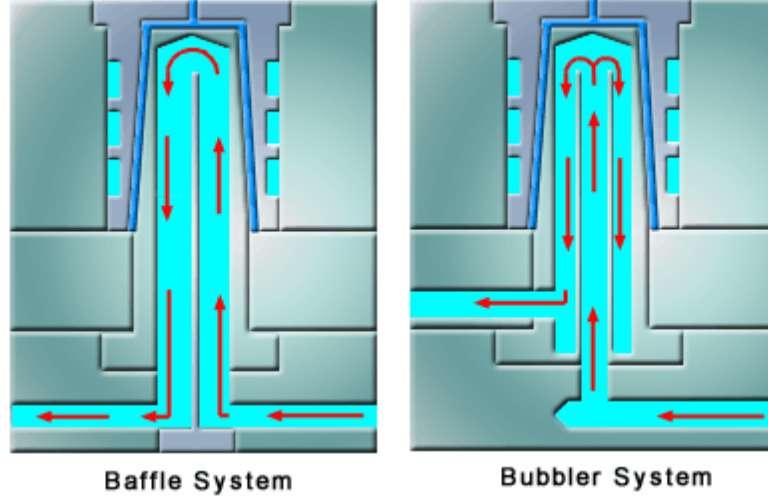
Şekil 3.20 : Dengeli su kanalı dağılımı



Şekil 3.21 : Soğutma kanalı bağlantı tipleri [3]

Erkek tarafın soğutulması genellikle daha zordur çünkü itici pimler, hareketli maçalar gibi detaylar genellikle erkek kalıp tarafındadır. Erkek lokmanın derinliği fazla ise dengeli ve verimli soğutma yapabilmek için Şekil 3.22’de de görülen tıkaçlı

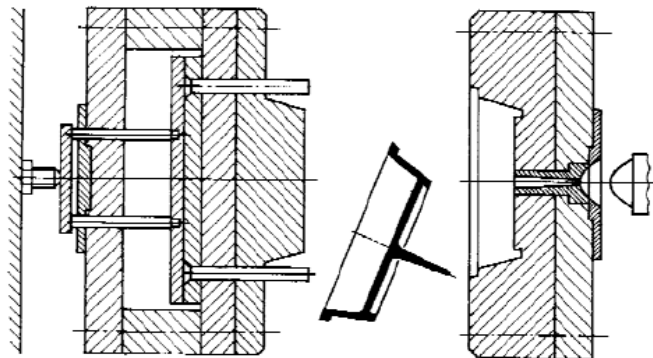
delik sistemi (baffled) veya kabarcıklı sistem (bubbler) kullanılır. Baffle sistemde soğutma deliği ikiye bölünecek şekilde araya plaka takılır ve soğutucu akışkanın bu plakanın üzerinden aşarak diğer tarafa geçmesi sağlanır. Bubbler sistemde ise derin soğutma kanalına boru parça takılır, akışkan içerideki borudan geçerek soğutma kanalından iner yoluna devam eder.



**Şekil 3.22 :** Baffled ve bubbler soğutma kanal tipleri

### 3.4.6 İtici sistem

İtici sistemin fonksiyonu plastik parça soğuduktan sonra kalıptan atılmasını sağlamaktır. İtici ünitesi genellikle kalıbın açılması sırasında mekanik olarak tahrik edilir, bu yöntem yeterli olmadığında ise, işlem pnömatik veya hidrolik olarak tanımlanabilir. Şekil 3.23’de itici pimlerle parça çıkarılması örneklenmiştir.



**Şekil 3.23 :** İtici pimler ile parça çıkarılması [3]

Kalıptan çıkarılacak parçanın dizaynı ve estetik görünüşü itici metodu belirlenirken göz önünde bulundurulmalıdır. İtici sistem tasarımı yapılırken aşağıdaki şartlar dikkate alınmalıdır:

- Parçaya zarar vermeden kalıptan çıkartabilmelidir.
- Parça üzerinde görünür izler bırakmamalıdır.
- Birden çok parçayı kalıptan çıkarırken dengeli bir kuvvet dağılımı sağlamalıdır.
- İtici pimin istenen konuma ayarlanabilmesine imkan vermelidir.
- Soğutma sistemiyle koordineli şekilde çalışma sağlayabilmelidir.

İtici sistemleri uygulanış tiplerine göre sınıflandırılırlar.

#### **3.4.6.1 Pim ve bıçak iticiler**

Ucuz sistemler olduklarından genellikle tercih edilmektedirler. Ufak kesitlerinden dolayı, yüksek miktarda itici kuvveti baskıdaki bir noktaya uygulanır bu sebeple baskı yüzeyinde deformasyon veya iz oluşabilir.

#### **3.4.6.2 Sıyrıcı plakalı iticiler**

Sıyrma halkası parçayı iterek veya çekerek erkek kalıptan dışarı atar, parçanın daha dengeli kalıptan atılması sağlanır. Sıyrıcı plaka boyutları büyük olduğundan itici plakasına salınım yapmıyacak dengeli şekilde bağlanması gerekmektedir.

#### **3.4.6.3 Havalı itici**

İtici veya sıyrıcı plakalara ihtiyaç kalmadığından kalıp oldukça basitleşir, imalat süresi ve maliyet düşer. Büyük ince duvarlı parçaların kalıptan atılmasında kullanılabilir.

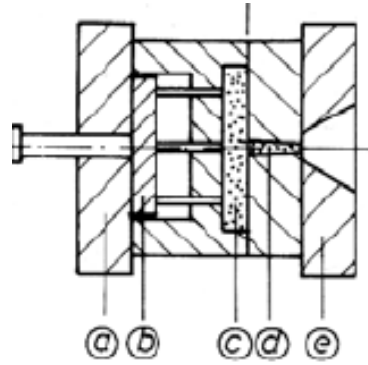
#### **3.4.6.4 Valf başlıklı iticiler**

Valf iticileri, itici kuvvetlerin transferinde daha geniş bir izdüşü alanı sağlar. Düz başlı dizayn ince duvarlı parçaların dışarı atılmaları sonucu şekillerinin bozulmadan dışarı atılmasını temin eder. Esnek yumuşak polimer ve parçaların kalıptan çıkarılmasında tercih edilirler.

### 3.4.7 Temel tasarımına göre kalıp tipleri

#### 3.4.7.1 İki plakalı kalıplar

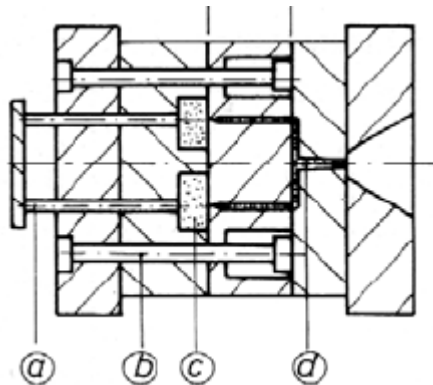
En çok kullanılan enjeksiyon kalıbıdır. Tasarım ve kullanım kolaylığından dolayı tercih edilmektedir, basit çıkıntısız parçalar için uygundur, tek bir kalıp ayırma düzlemine sahiptir, bir yönde açılır. Şekil 3.24’de iki plakalı kalıp ve elemanları görülmektedir, a) hareketli plaka b) itici sistem c) kalıp boşluğu d) yolluk e) sabit plakayı göstermektedir.



Şekil 3.24 : İki plakalı kalıp [3]

#### 3.4.7.2 Üç plakalı kalıplar

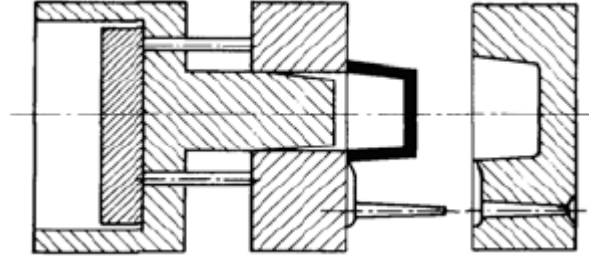
Giriş yolluğu kalıp açılırken parçadan ayrılır, iki kalıp ayırma düzlemi vardır. İlk ayrılma düzlemi ürünün, ikinci ayrılma düzlemi ise yolluğun kalıptan çıkmasını sağlar. İki plakalı kalıba göre daha maliyetlidir. Şekil 3.25’de üç plakalı kalıp gösterilmiştir, a) itici sistem b) sıyrıcı c) kalıp boşluğu d) yolluğu göstermektedir.



Şekil 3.25 : Üç plakalı kalıp [3]

### 3.4.7.3 Sıyrıcı levhalı kalıp

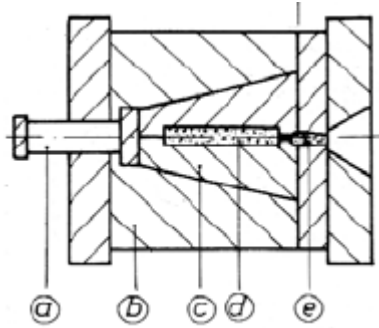
Standart kalıplara benzer, çıkıntısız, silindirik, kova şeklindeki parçalar için uygundur. Parça sıyrıcı levha ile kalıptan çıkarılır. Şekil 3.26’de sıyrıcı levhalı kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : Sıyrıcı plakalı kalıp [3]

### 3.4.7.4 Parçalı kalıplar

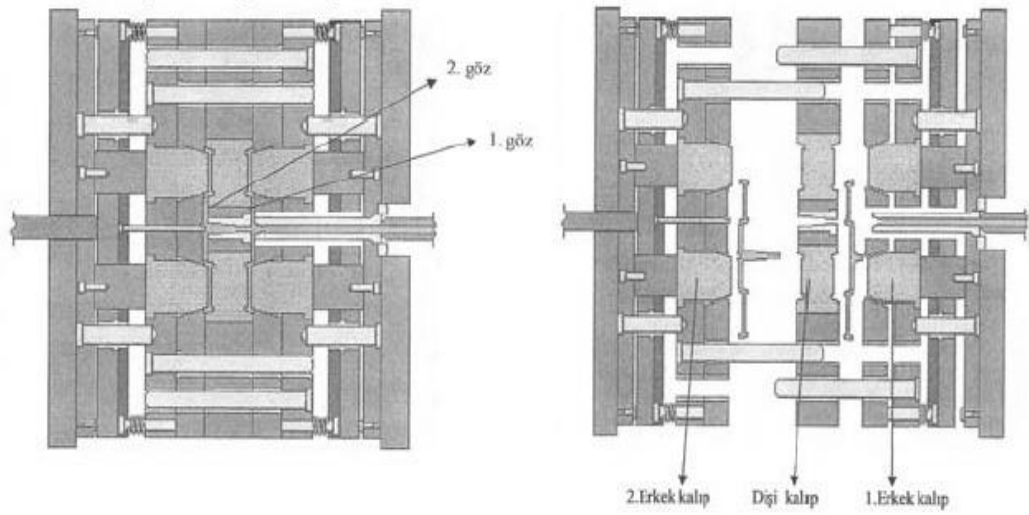
Girinti ve çıkıntı içeren derin parçalar için uygundur. Dişi kalıp içerisinde hareket eden konik parça vardır. Şekil 3.27’de parçalı kalıp örneği ile a) itici sistem b) tutucu blok c) iki parçalı boşluk d) kalıp boşluğu e) yolluk görülmektedir.



Şekil 3.27 : Parçalı kalıp [3]

### 3.4.7.5 Katlı kalıplar

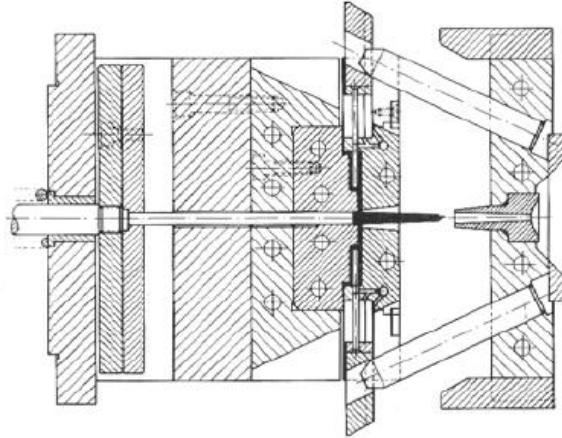
Tek kalıpta, tek çevrim süresinde 2 misli fazla parça imalatı yapılır. İmalat adetleri fazla olan parçalarda düşük birim maliyet sağlanır. Yolluk 2. göze kadar uzanır ve 2. göz dolduktan sonra 1. gözü doldurur. Kalıp plakaları ayrıldığında ortadaki plakaiki erkek parçadan ayrılır. 2. erkek plakadaki mekanik itici plakası yardımı ile ilk parça 1. erkek kalıptaki hidrolik iticilerin yardımı ile 2. parça kalıptan ayrılır. Şekil 3.28’da katlı kalıp sistemi gösterilmiştir.



**Şekil 3.28 : Katlı kalıp [3]**

#### **3.4.7.6 Hareketli maçalı kalıplar**

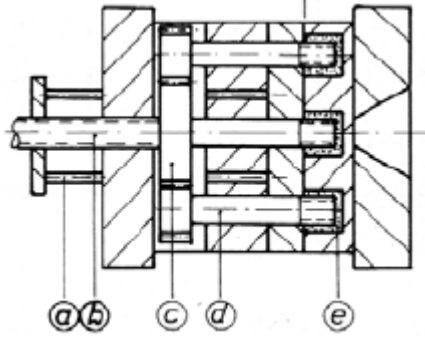
Kalıp açılırken açılı pimler üzerindeki sürgüler geri hareket eder. Parçanın kalıptan dışarı alınmasına engel olan boşluklu, delikli parçalarda kullanılması uygundur. İkincil hareket pnömatik veya hidrolik silindirler vasıtası ile gerçekleştirilir. Şekil 3.29’de hareketli maçalı kalıp örneği gösterilmiştir.



**Şekil 3.29 : Hareketli maçalı kalıp [3]**

### 3.4.7.7 Vida mekanizmalı kalıplar

Parçanın kalıptan çıkması için erkek veya dişi kalıbın dönmesi gerekir. Çapaksız, yüksek kalitede iç ve dış vida dişleri, helis kanalları olan parçalar için uygundur. Şekil 3.30’de vida mekanizmalı kalıp ve a) itici sistem b) kılavuz vida c) dişli d) göbek e) kalıp boşluğu görülmektedir.



Şekil 3.30 : Vida mekanizmalı kalıp [3]

#### **4. ENJEKSİYON KALIPLAMADA TASARIM ESASLARI**

Enjeksiyon kalıplamaya yönelik tasarım yapılırken ürünün performans, görünüş ve ekonomik açıdan beklentileri karşıyalacak şekilde imaline dikkat edilmektedir. Bu sebepten enjeksiyon yöntemiyle imal edilecek bir parça tasarımında dizayn stratejisi aşağıdaki amaçlar doğrultusunda belirlenmelidir:

- a. Parça fonksiyonelliğini maksimize etmek: Gereksiz montaj elemanlarından , zamandan ve ağırlıktan tasarruf ederek parçayı en fazla fonksiyonu yerine getirecek şekilde tasarlamak gerekmektedir.
- b. Malzeme seçiminde optimizasyon: Tasarlanan parçanın fonksiyonelliğine, işletme şartlarına, maliyetteki kısıtlamalara göre en uygun polimer esaslı malzemenin seçilmesi gerekmektedir.
- c. Kullanılan malzeme miktarını minimize etmek: Genellikle yapısal, fonksiyonel, görünüm ve kalıplama gereksinimlerini karşılayacak minimum malzeme hacmi en iyi çözüm olmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilecek tasarımda enjeksiyon işlemi sırasında veya sonrasında problemlerle karşılaşılmasını için tasarımcının parça ve kalıp bazlı dikkat etmesi gereken bazı şartlar bulunmaktadır. Malzeme seçimi, parça et kalınlığı, çıkma açısı, malzeme çekme değerleri, rijitliği sağlamak için parçada tasarlanacak detaylar tasarımcının dikkat etmesi gereken koşulların başlıcalarıdır.

##### **4.1 Malzeme Seçimi**

Enjeksiyonla kalıplanabilir termoplastik malzemelerin çok geniş bir yelpazede ticari olarak hazır bulunması tasarlanan parça için malzeme seçimini güçleştirebilir. Genellikle malzeme seçiminde benzer bir ürün için kullanılmakta olan plastik değerlendirilir. Ayrıca kalıp imalatçıları veya üreticilerinin tavsiye ettiği malzemelerde kullanılabilir. Yeni bir tasarım için malzeme seçiminde aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- a. Sıcaklık: Plastik malzemelerin normal ve aşırı işletme sıcaklıklarına dayanma kabiliyetinin tespit edilmesi gerekmektedir çünkü malzemenin mekanik ve elektriksel özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir.
- b. Çevre: Katı, sıvı veya gaz halde plastiklerle temas halindeki her malzeme için kimyasal uygunluk dataları dikkate alınmalıdır.
- c. Standartlara uygunluk: Bitmiş ürün hakkında bir standart mevcut ise kullanılacak malzemenin bu standartlara uygunluğu araştırılmalıdır.
- d. Montaj: Öngörülen malzemenin montajında bir problemle karşılaşılması için malzemenin montaj işlemlerine uygunluğu kontrol edilmelidir.
- e. Son işlem: İstenen özelliklere ve görünüme sahip ürünün kolaylıkla kalıplanıp kalıplanamayacağının tespiti gerekmektedir. Eğer kalıplanmadan sonra bir son işlem gerekirse bu takdirde maliyetin ne kadar artacağı tespit edilmelidir.
- f. Maliyet: Bir plastik parçanın ekonomikliğini kabaca hesaplamak için kullanılacak malzemenin birim ağırlığının satın alma maliyeti, özgül ağırlığı ve kalıplama zamanının bilinmesi yeterli olacaktır.
- g. Tedarik edilebilirlik: Tasarlanan ürün için gerekli malzeme miktarının sürekli olarak bulunup bulunamayacağının iyi etüt edilmesi gereklidir.

#### **4.2 Nominal Et Kalınlığı**

Plastik parça tasarımında uygun et kalınlığının belirlenmesinde parçanın kullanım ihtiyaçları ve üretim gereksinimleri göz önünde önünde bulunudurulmalıdır. Plastik parçalar kendinden istenen mukavemet şartlarını sağlayacak minimum et kalınlığında tasarlanmalıdırlar bu şekilde malzemedan tasarruf yapılmış olur, enjeksiyon çevrim süresi kısılır ve maliyet azaltılmış olur.

Et kalınlığı parçanın şekil değişimine, çarpımalara, iç gerilmelere fırsat vermeyecek şekilde üniform olmalıdır. Et kalınlığı farklılaşması kaçınılmazsa kalından inceye doğru yumuşak geçişler şeklinde olmalıdır. Parça doldurma parçanın kalın tarafından ince tarafa doğru olmalıdır. Kalın bölümler için akma uzunluğunda bazı sınırlamalar olur çünkü plastik akarken soğumaya başlar, soğurken akma direnci artar, sonuç olarak soğuyup sertleşir ve parçanın tamamen dolmasına engel olabilir.

Seçilen malzemenin kalıp boşluğunu doldurma kabiliyeti malzemelere ait akış diagramlarından belirlenerek et kalınlığı ile arasındaki ilişki gözlenebilir. Akış yolu uzun olan parçalarda et kalınlığının arttırılması gerekebilir, iyi konumlandırılmış birden çok besleme noktası ile bu şart optimize edilebilir. Plastik parçanın et kalınlığı arttırılarak darbe dayanımı iyileştirilebilir bununla birlikte çok fazla et kalınlığı parçayı oldukça rijit hale getirerek esnemeyi engelliyebilir, tasarım sırasında bu şartlar dikkate alınarak optimum et kalınlığı seçilmelidir.

#### **4.3 Kalıpta ekme**

Yüksek ısı genleşme katsayıları nedeniyle kalıplanan plastik malzemeler soğuma aşamasında önemli çekme etkisi gösterirler. Bu nedenle kalıp boşluğu olması gerekenden çekme payı oranında büyük yapılmaktadır. Plastik malzeme türü, parça geometrisi, kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametreleri parçadaki hacimsel çekmeyi etkilemektedir.

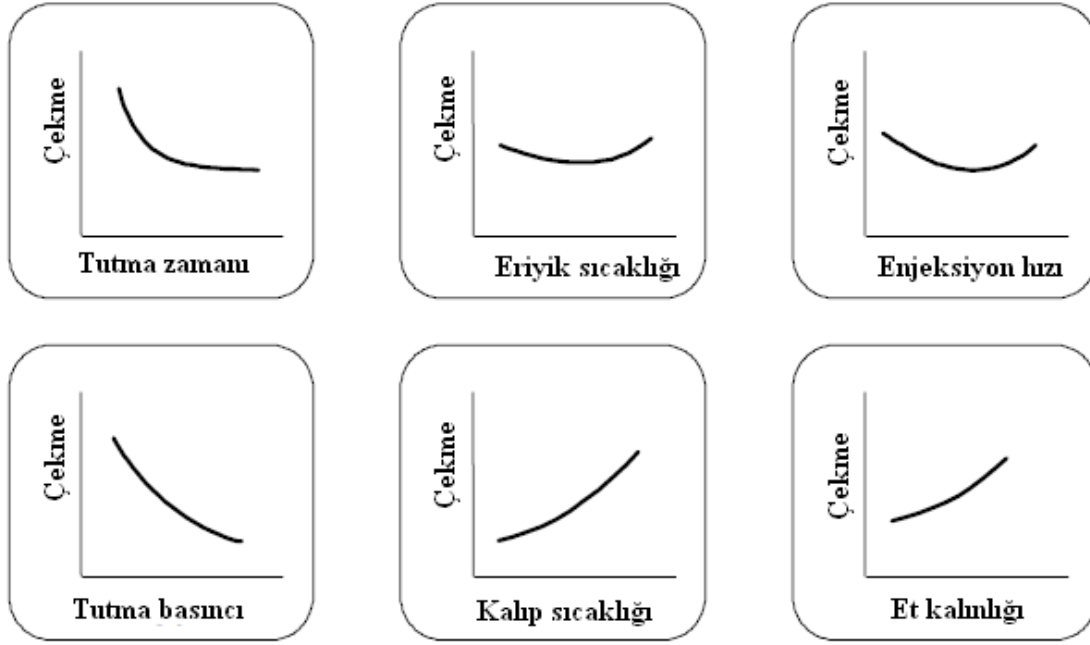
Enjeksiyonla kalıplama sırasında erimiş plastik kalıp boşluğuna düşük basınçta sevk edilir bu esnada kalıp cidarı ile temas eden ergiyik malzeme soğumaya başlar. Plastiğin özgül hacmi sıcaklıkla azaldığı için katılaşmış plastik kalıp içerisinde erimiş olana göre daha az yer işgal eder bunun sonucunda çekme gözlenir.

Plastik malzeme kalıp boşluğunun doldurur doldurmaz hızlı bir basınç yükselmesi meydana gelir. Bu basınç plastiği sıkıştırır. Bir kalıplama çevrimi sırasında kalıp boşluğuna uygulanacak basınç çekmenin kontrolü için belirleyici bir faktördür. Normal koşullarda kalıp basıncı giriş yolluğu donuncaya kadar kalıp boşluğuna tatbik edilir. Plastik malzeme soğumaya ve çekmeye başladıkça kalıp içindeki basınç düşmeye başlar. Sabit kalıp sıcaklıklarında plastik parçanın nihai boyutlarını etkileyen en önemli faktör kalıp boşluğundaki basınçtır.

Erimiş plastiğin sıcaklığı arttıkça viskozitesi düşer ve basıncı o oranda daha iyi iletebilir. Bu durumda daha uç kısımlarda daha yüksek olacak olan basınç artan sıcaklığın etkisini çok azaltır. Genelde kısa yolluk sistemi ve büyük giriş yolluğu olan kalıplarda üretilen plastik parçalarda çekme azaltılır.

Parça kalınlığı çekme miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Doğal olarak parça kalınlığı arttıkça çekme miktarı da artmaktadır. Soğuma sırasında üst kısımlar katılaşırken iç kısımlarda sıcak plastik bulunmakta ve bu da sıcaklık farkından dolayı

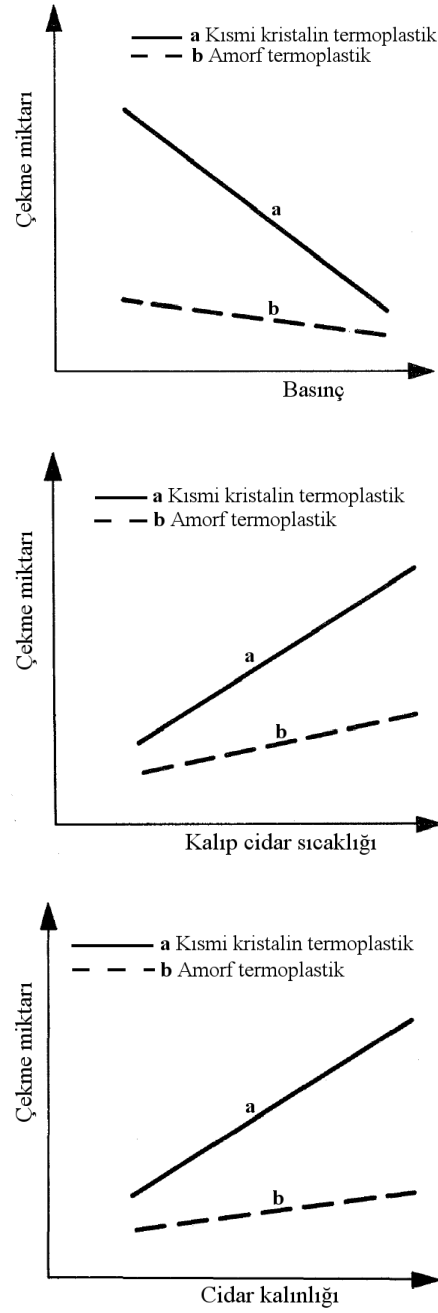
çarpımlara yol açmaktadır. Şekil 4.1’de proses şartlarının çekmeyi nasıl etkilediği grafiklerle gösterilmiştir.



**Şekil 4.1 :** Proses şartlarının çekmeye etkisi

Giriş yolluğu boyutu yolluk ağzındaki malzemenin kalıp içine basıncı iletmesi için katılaşmadan kalması açısından önemlidir. Yolluk ağzındaki sıcaklığın etkisi yolluk boyutu arttıkça azalır. Giriş yolluğunun ebatları kalıplanacak plastik malzemenin özelliklerine ve parça kalınlığına göre değişir.

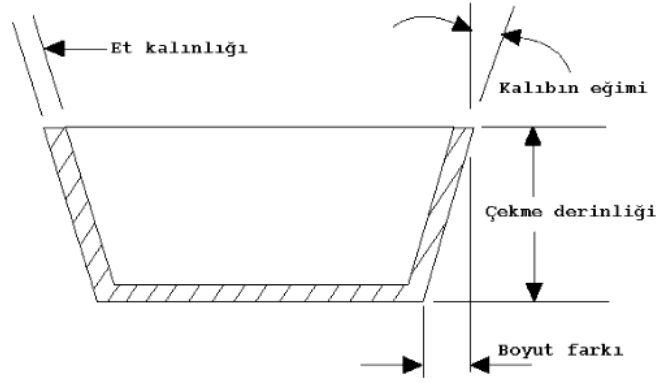
Çarpılma ve iç gerilmelerden uzak bir kalıp üretimi için çekme miktarı kalıp boşluğu içindeki basınca bağlı olduğu için bu boşluk içinde üniform bir basıncı muhafaza etmek önemlidir. Kalıp cidar sıcaklığı ve çekme miktarı arasındaki lineer ilişki de cidar sıcaklığının üniform olması gerektiği sonucunu doğurur. Benzer ifadeler kalıp cidar kalınlığı için de kullanılabilir. Kısmi kristalin termoplastikler ve amorf termoplastikler arasında çekme miktarı bakımından önemli farklılıklar vardır. Şekil 4.2’de amorf ve kısmikristalinlerde basınç, kalıp cidar sıcaklığı ve cidar kalınlığı ile çekmenin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Amorf termoplastiklerle yapılan kalıplamalarda çarpılma tehlikesinin daha az olduğu söylenebilir. Birçok üretici firma kendi ürettikleri plastik hammaddeleri için çekme miktarları değerlerini de yaklaşık olarak vermektedirler.



**Şekil 4.2 :** Amorf ve kısmikristalinlerin çekme miktarı grafikleri [3]

#### 4.4 Çıkma Açısı (Eğim Açısı)

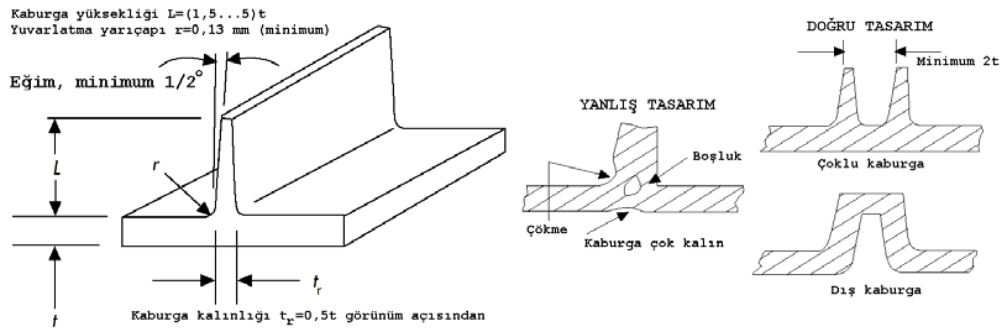
Plastik parçanın kalıptan kolaylıkla çıkarılabilmesi için kalıp çalışma eksenı yönünde kalıp yüzeylerine eğim verilmektedir. Plastik malzemeler kalıpta soğuma esnasında çekmeye maruz kaldıklarından erkek kalıp üzerine sıkışabilirler bu sebeple erkek kalıpta yeteri düzeyde koniklik verilmelidir. Şekil 4.3’de kalıp konikliği ile ilgili tanımlar verilmiştir. Minimum çıkma açısı  $0,5^{\circ}$  olmalıdır, genellikle  $1,5^{\circ}$ - $3^{\circ}$  arası değerler kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 : Kalıp konikliği tanımlamaları [3]

#### 4.5 Kaburgalar (Federler)

Kaburgaların temel görevi parça kalınlığını arttırmadan parçanın rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Uygun yerleştirilmesiyle soğumadan kaynaklı çarpılma problemlerini de azaltabilir. Kaburga dizaynında parçada çökmeler veya çarpılmalar yaşanmaması için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Kaburga kalınlığı parça et kalınlığının %60 - %70 ' i civarında olmalıdır, kaburgalara minimum  $0,5^\circ$  eğim açısı verilmelidir, kaburga boyu parça kalınlığının 1,5–5 katı arasında olmalıdır, kaburga diplerinde yuvarlatmalar yapılmalıdır. Şekil 4.4’de kaburga tasarımında dikkat edilecek bazı durumlar gösterilmiştir.

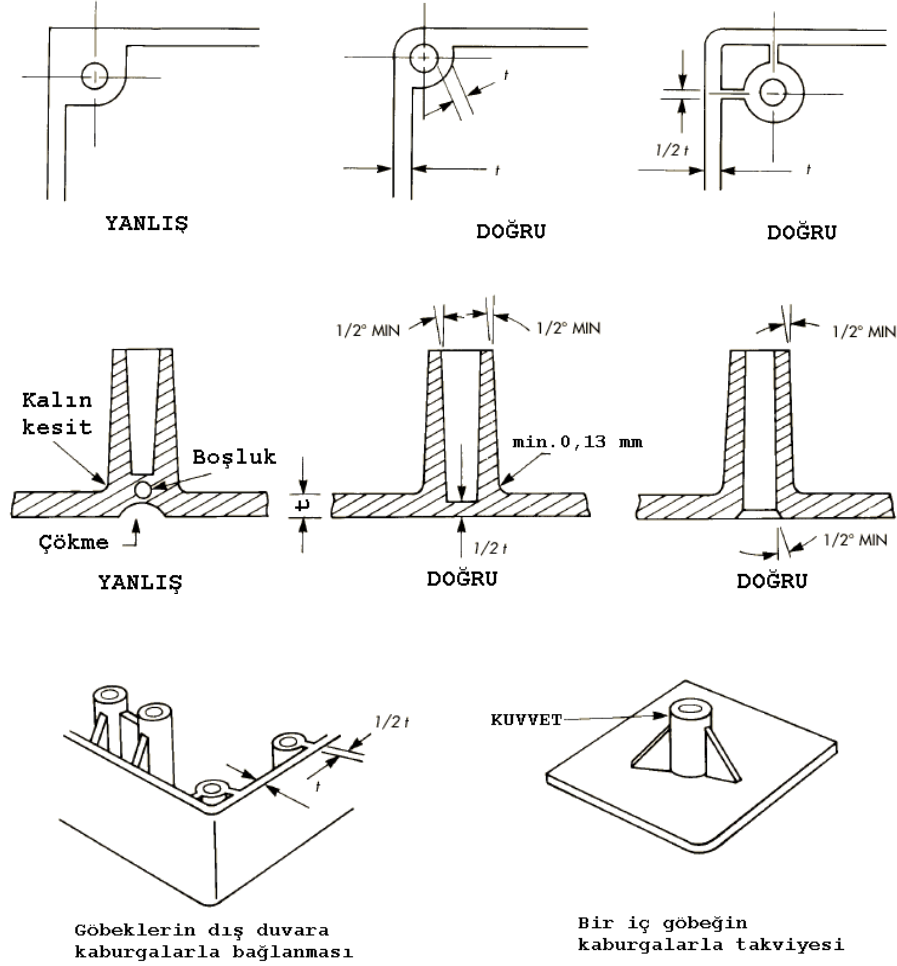


Şekil 4.4 : Kaburga tasarımında dikkat edilecek noktalar [3]

#### 4.6 Göbekler

Montaja uygun plastik parça tasarımında bağlantı elemanın sabitlenmesi için göbekler kullanılır. Kaburga tasarımında dikkat edilen kalınlık, açı gibi parametrelere göbek tasarımında da dikkat edilmelidir. Eksenel kuvvetlerin söz konusu olduğu durumlarda göbekler genellikle kaburgalar ile takviye edilirler. Kalıplama esnasında

insert parça ekleniyorsa, plastik çevresinde oluşacak gerilime karşı koyabilmesi için göbeğin et kalınlığının büyük tutulması gerekebilir. Şekil 4.5’de uygun göbek tasarımları gösterilmiştir.



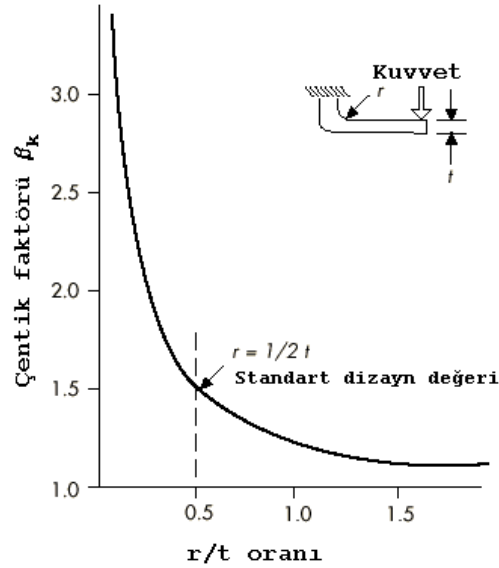
Şekil 4.5 : Uygun göbek tasarımları [3]

#### 4.7 Delikler

Plastik parçada mukavemeti arttırması ve enjeksiyonda homojene bir akışın sağlanması için delikler uygun tasarlanmalıdır. Parça büyük yüklere maruz kalıyorsa delikler genellikle göbeklerle birlikte dizayn edilmektedirler. Birbirine komşu delikler arasındaki ve delik ile kenar arasındaki mesafe en azından deliğin çapı kadar olmalıdır. Kör delikler, tek tarafından tutturulmuş maçalarla oluşturulur. Maçanın uzunluğu, delik çapının iki katı olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

#### 4.8 Yuvarlatmalar

Enjeksiyon ile kalıplamada plastik parçadaki mevcut keskin köşeler ergimiş plastiğin akışını kötü etkiler. Yüksek enjeksiyon basınçlarında keskin köşeler akışı engelleyici etki yaptığından bu noktalarda gerilme yoğunlaşması olur. Parçanın mekanik özellikleri kötüleşir, kalıp aşınması hızlanır ve malzemenin köşe civarında katılaşması esnasında kalıptaki gerilmeler artar. Gerilim yığılmasını engellemek amacıyla iç köşelerde yuvarlatma yarıçapı parça et kalınlığının en az 0,5 katı olmalıdır, dış köşelere ise 1,5 katı olacak şekilde yuvarlatma yapılmalıdır. Keskin kenarların giderilmesi otomatik olarak çentik hassasiyetinden dolayı meydana gelen çatlamları azaltır, ani şok ve darbelere karşı olan toplan direnci artırır. Dönüşlerde et kalınlığı korunursa çekme farkından doğacak çarpımlarda önlenmiş olur. Şekil 4.6'da eğilme zorlanması için yuvarlatma değeri ile çentik faktörü değerinin nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.6 : Çentik faktörü köşe yuvarlatma değeri değişim grafiği

## 5. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDE İMALAT HATALARI

Plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak yapılan parça imalatında meydana gelen hatalar proses öncesinde hammaddenin depolanmasından, proses sırasında enjeksiyon şartlarından, proses sonrasında parçalara son işlem uygulanmasından veya paketlemeden meydana gelmektedir.

Proses sırasında karşılaşılan problemlerin giderilmesi daha karmaşıktır. Hatanın giderilmesi için öncelikle nereden kaynaklandığını çözmek gerekir. Proses sırasında karşılaşılan problemler;

- Makine
- Kalıp
- Çalışma şartları (zaman, sıcaklık, basınç değerleri)
- Hammadde
- Parça tasarımı ile ilgili olabilir.

Enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve hammaddenin performansları yani verimli bir şekilde çalışabilmesi üç ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler; zaman, basınç ve sıcaklıktır. Enjeksiyon prosesi sırasında meydana gelebilecek problemlerin birçoğu bu üç değişkenin doğru şekilde ayarlanması ile giderilebilmektedir.

### 5.1 Yanık İzleri

Kalıp boşluğunu dolduran ergiyik malzeme tarafından sıkışan hava kalıptan tahliye edilmediğinde çok yüksek sıcaklıklardan dolayı plastik malzeme ile oksitlenme reaksiyonuna girer ve yanar bu olaya dizel etkisi denmektedir. Bunun sonucunda parça yüzeyinde siyah veya sarımtırak izler oluşur Şekil 5.1’de %30 cam elyaf takviyeli PA dan imal edilmiş bir parçada yüksek ergiyik sıcaklığından oluşmuş yanık izi görülmektedir. Sıkışan hava kalıbın temas yüzeylerinden, itici pimlerden dışarı çıkmaktadır. Bu bölgeler hava tahliyesine izin verecek şekilde parlatılmadan, kalem izleriyle bırakılmalıdır.



**Şekil 5.1 : PA ( %30 GF) üründe oluşan yanık izi**

Yanık izlerini önlemek için ergiyik giriş sıcaklığını düşürmek, enjeksiyon hızını azaltmak gibi proses şartları değiştirilebilir. Ayrıca parça tasarımında keskin köşelerin yuvarlatılması ve parça yolluk yerinin değiştirilmesi de yanık izlerinin oluşmasını engelliyebilir.

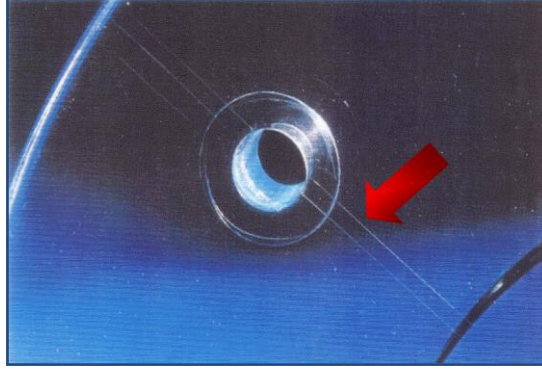
## **5.2 Akış İzleri**

Kalıp boşluğunda ilerleyen ergiyik malzeme geniş bölgelerde hızlı dar bölgelerde daha yavaş şekilde yayılmaktadır. Ergiyik malzeme hareketi sırasında delik oluşturan veya oyuk çıkaran bir objeye değdiğinde türbülans oluşur ve akış bölünür. Oluşan türbülans ile ergiyik malzeme akış yolu boyunca dalgalı bir şekilde akmaya devam eder bunun sonucunda parça yüzeyinde dalgalı bir görüntü oluşur. Akış izi genellikle kalıplanma hatasından oluşur, ayrıca ergiyik sıcaklığını ve enjeksiyon hızını arttırmak akış izlerini engelliyebilir.

Konik besleme ağzından giren ergiyik kalıp duvarına dikey çarptığında da yolluk girişi bölgesinde dalgalı görüntü oluşabilir. Yolluk girişini yandan yapmak veya tünel tipi giriş kullanmak akış izlerini önleyebilir.

## **5.3 Birleşme İzleri**

Birden fazla akış yolunun birleştiği ve kaynaştığı bölgelerde soğuk birleşme izleri oluşabilir. Kalıpta birden fazla yolluk girişi veya akış yolunu ayıran objeler bulunuyorsa, ergiyik malzeme birleşme çizgisi boyunca tam birleşme gerçekleşmeden donuyorsa parça yüzeyinde derin ve uzun soğuk birleşme izleri oluşur. Şekil 5.2’de soğuk birleşme izleri gözükmemektedir.



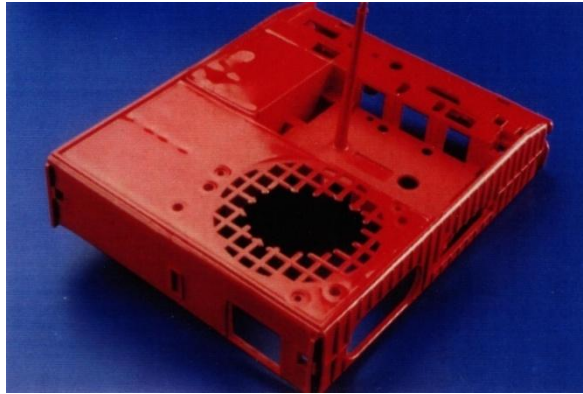
**Şekil 5.2 : Soğuk birleşme izleri**

Birleşme izleri sadece görüntüsel değil mekanik olarak parçayı etkileyebilir. Birleşme izlerinin fazla olması o bölgelerde mukavemet özelliklerinin azalmasına neden olur bu sebeple parça yolluk girişlerinin dikkatle seçilmesi gerekmektedir, birden fazla besleme ağzı kullanılacaksa sıcak yolluk tasarlanması bir çözüm olabilir.

Soğuk birleşme izlerini azaltmak için kalıp ve enjeksiyon sıcaklığını arttırmak, enjeksiyon hızını arttırarak malzeme soğumadan birleşmeyi sağlamak gerekmektedir fakat enjeksiyon hızının çok arttırılması yanık izlerine neden olacağından buna da dikkat edilmelidir.

#### **5.4 Eksik Ürün**

Ergiyik malzemenin kalıp boşluğunu tamamen dolduramadan katılaşması veya kalıp içinde oluşan ve parçanın tamamen şekillenmesine karşı koyan bir iç basınç eksik ürün oluşmasına neden olur. Şekil 5.3’de eksik ürün oluşumuna bir örnek gösterilmiştir.



**Şekil 5.3 : Eksik ürün oluşumu**

Kalıp içinde sıkışan hava ergiyik akışına karşı koyan iç basınç oluşturur, hava tamamen sıkışıp kaçamıyorsa, eksik ürün verme olayının yanında yanık izi de oluşabilir. Havanın yavaş sızma şeklinde kaçması durumunda yanma oluşmayabilir fakat malzeme bu sırada donduğu için tam dolma gerçekleşmez özellikle boyu uzun ve ince kesitli parçalarda görülebilir. Enjeksiyon basıncının arttırılmasıyla tam dolum gerçekleşebilir fakat bu yolluk giriş bölgesinde kalıcı gerilmelere neden olacağından iyi bir yöntem değildir bunun yerine enjeksiyon hızının arttırılması daha uygun olur.

Kalıp sıcaklığını ve ergiyik sıcaklığını arttırarak malzemenin viskozitesini düşürmek ince cidarlardan akışı kolaylaştırarak eksik ürün oluşumunu önleyebilir fakat kalıp sıcaklığının arttırılması çevrim süresini uzatacağından verimi düşürebilir. Ayrıca tutma basıncı uygulama süresini arttırmak, dağıtım yolluğu veya yolluk giriş çapını arttırmak, ilave yolluk girişi ile akış mesafesini azaltmak ve parça et kalınlığını arttırmak eksik ürün oluşumunu engelleyici şartlardır.

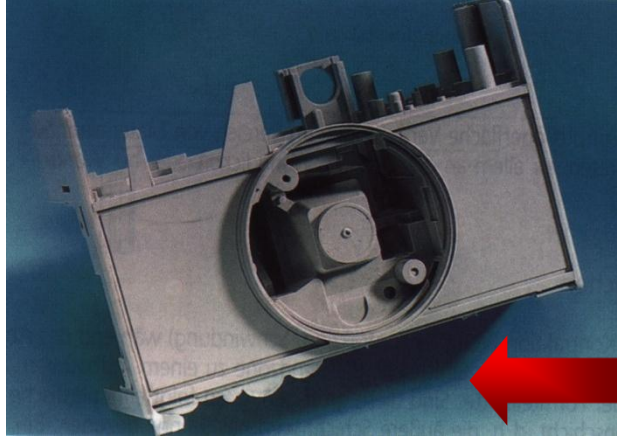
### **5.5 Parçanın Dişi Kalıpta Kalması**

Parçanın kalıpta kalması genellikle kalıp çıkış açılarının yetersiz olmasından, feder veya çıkıntı kenarlarında parlatmanın iyi yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. İyi parlatılmamış yüzeyler parçanın sıkışmasına neden olabilir sadece erkek yüzeyin iyi parlatılması parçanın dişi kalıpta kalmasını sağlayabilir bu istenmeyen bir durumdur.

### **5.6 Çapaklı Ürün**

Çapaklı ürün oluşumu genellikle kalıp kaynaklıdır. Kalıp boyutları stabil olmalıdır, kalıp birleşme yüzeyi alıştırması uygun şekilde yapılmalıdır, ayırım yüzeylerinde aşınma olmamalıdır. Şekil 5.4’de çapaklı ürün oluşumuna örnek gösterilmiştir.

Çapak oluşmaması için enjeksiyon şartlarının dengeli ayarlanması gerekmektedir. Yüksek enjeksiyon basıncı değerleri makinanın kapama kuvvetinin yetersiz kalması ile kalıp ayırım çizgisi boyunca çapak oluşumuna neden olabilir. Ergiyik sıcaklığının istenilenden fazla yükselmesinin doğurduğu düşük viskozite ile kalıp temas yüzeylerinde malzeme sızması ve çapak oluşabilir.



**Şekil 5.4 : Çapaklı ürün**

### **5.7 Yüzeyde Çöküntü Oluşması**

Parçanın kalıptan ayrılmadan önce yetersiz soğumasından dolayı özellikle et kalınlığı fazla olan parçalarda çöküntüler oluşur. Özellikle et kalınlığı ile feder kalınlığı arasındaki büyük farktan doğan bölgesel kütle artışı olan kısımlarda çökme görülmektedir. Yüzeydeki çökmelerden enjeksiyon parametrelerini değiştirerek kaçınmak kolay değildir çünkü genellikle malzeme özelliğinden ve parça tasarımından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.5’de tasarım kaynaklı çöküntü izleri görülmektedir.



**Şekil 5.5 : Çöküntü izleri**

Yetersiz tutma basıncı ve süresinden kaynaklanan çökmelerde bu değerler artırılarak veya kalıp ve eriyik sıcaklığı düşürülerek kaçınılabılır fakat yüksek tutma basınçlarının yolluk girişi donduktan sonra uygulanmasının parçada yüksek iç gerilmelere neden olacağı unutulmamalıdır.

## 5.8 Çarpılma

Plastik parça kalıptan çıkarken çarpılmaya uğruyorsa öncelikle kalıp soğutmasına dikkat edilmelidir. Yetersiz veya dengesiz soğutma ve soğutma süresinin azlığı parçada çarpılmalara neden olmaktadır. Plastik parça kullanılan plastik malzemenin ısı çarpılma sıcaklığının altında soğutulmalıdır, aksi takdirde yeterince soğumamış yüzeye vuran itici pimleri parçanın çarpılmasına neden olur.

Enjeksiyon işlemi sonrası parçada oluşan iç gerilmelerin fazlalığı ve değışken hacimsel çekmeler de çarpılmaya neden olmaktadır. Ürün tasarımında farklı et kalınlıkları bulunuyorsa ince kesitler kalın kesitlere göre daha çabuk soğuyacaktır, farklı çekme zamanları parçada iç gerilmeler yaratacaktır. İnce kesitler kaburgalar ile desteklenerek çarpılmalar önlenebilir.

Soğutma ve hacimsel çekmeler dışında proses şartlarının dengesizliği ve akışın düzensizliği de çarpılmalara neden olmaktadır. Yolluk giriş noktası dengeli akış sağlayacak şekilde seçilmeli cam elyaf katkılı malzemelerde uygun elyaf yönlenmesi sağlanmalıdır. Yüksek enjeksiyon basınçlarından kaçınmak ve kalıp sıcaklığını yüksek tutmak çıkan üründe iç gerilmeleri azaltacaktır.

## 5.9 Hızlı Akış İzi

Plastiğın akış hızının çok yüksek olması nedeniyle yolluk girişinden normal akış şeklinin dışında fışkırarak kalıp boşluğuna akan ergiyik malzeme sicim şeklinde kontrolsüz bir hareketle yayılır. Arkadan gelen plastik malzeme ile homojen olarak karışmaz bu durumda hızlı akış izleri oluşur. Şekil 5.6’da hızlı akış izine örnek verilmiştir.

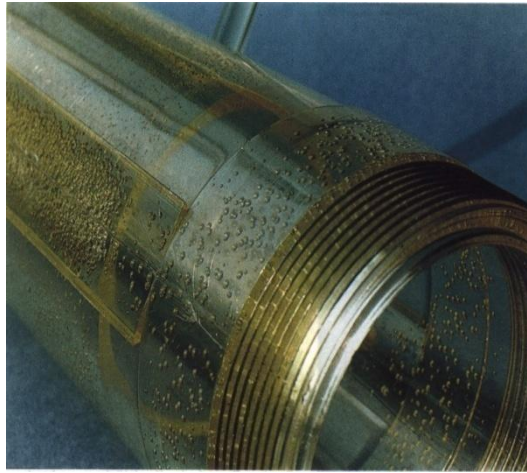


**Şekil 5.6 :** Hızlı akış meydan gelen parça

Uzun parçaların yüksek enjeksiyon hızıyla dolması durumunda oluşan bu izlerin önlenmesi için yolluk giriş pozisyonunun ve şeklinin uygun tasarlanması gerekir. Yolluk ile parça arasındaki geçiş bölgesi yuvarlatılabilir veya fan giriş kullanılarak akış alanı genişletilebilir. Enjeksiyon hızını düşürerek yavaştan hızlıya geçiş şeklinde enjeksiyon hız profili kullanılabilir.

### 5.10 Boşluklar

Akışkanlığı fazla olan plastik malzemenin kullanıldığı kalın parçalarda kalıp boşluğu içine sıkışan hava boşluk oluşturur. Kalın kesitli bölgedeki çekme tutma basıncı tarafından karşılanamadığında parça içerisinde vakum boşlukları oluşur. Tutma basıncını ve uygulama süresini arttırmak boşlukları önleyebilir. Şekil 5.7’de vakum boşluklu parçaya örnek gösterilmiştir.



**Şekil 5.7 :** İçerisinde vakum boşlukları oluşan parça



## 6. PROSES ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI

Plastik enjeksiyon yöntemiyle plastik parça imalatında karşılaşılan problemlerin giderilmesi hem zaman açısından hem de maddi açıdan büyük kayıplar oluşturmaktadır. İmalat problemlerini ortadan kaldırmak için parça ve kalıp tasarım aşamasında hataya sebebiyet verecek noktaların önceden tespit edilmesi ve enjeksiyon prosesi sırasında enjeksiyon parametrelerinin doğru belirlenmesi gerekir. Plastik enjeksiyon analiz programları ile oluşabilecek hatalar önceden tespit edilerek parça tasarımında, kalıp tasarımında ve proses parametrelerinde gerekli değişiklikler yapılabilir ve bu şekilde proses şartları optimize edilebilir.

Günümüzde enjeksiyon analiz programları etkili ve fonksiyonel çözümler sunmaktadırlar. Gelişmiş malzeme veritabanı sayesinde plastik parça ve kalıp tasarımcıları kullanacakları malzeme bilgilerine rahatlıkla ulaşabilmektedirler. Verimli bir enjeksiyon analizinden aşağıdaki sorulara cevaplar bulunabilir:

- Hangi plastik malzeme kullanılmalı ve yolluk giriş noktası nerede olmalı ?
- Belirlenen proses şartlarına ve enjeksiyon makinesi özelliklerine göre kalıp boşluğu tamamen dolacak mı ?
- Kaynak çizgileri ve sıkışan hava bölgeleri nerelerde oluşuyor ?
- Kullanılacak yolluk tasarımı dengeli akış sağlıyor mu ?
- Soğutma kanalları tasarımı dengeli ve yeterli soğutmaya uygun mu ?
- Soğutma süresi yeterli mi ?
- Yüzey kalitesi yeterli mi ? Parçada ne miktarda ve nerelerde çökme gözleniyor ?
- Hacimsel çekme kabul edilebilir toleranslar içerisinde mi ?
- Parçada meydana gelen çarpılmalar belirlenen tolerans aralığında mı ?
- Çarpılmalar dengesiz soğuma, çekme, malzeme ve fiber yönlenmesinden mi kaynaklanıyor ? Bu sebepler çarpılma üzerine ne kadar etki ediyor ?

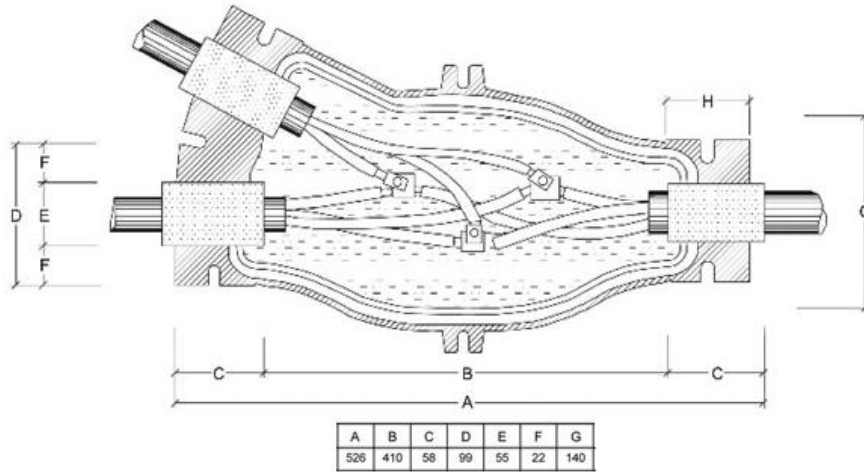
## 6.1 UYGULAMA

Bu bölümde “Y” profile sahip bir “EK-MUF” plastik parçasının alt gövde ve üst gövdesinin imalatında “Moldflow Insight” plastik enjeksiyon analiz programı kullanılarak optimum proses şartlarının belirlenmesi ve gerekli değişiklikler yapılarak imalata hazır hale getirilmesi gösterilecektir.

Ek-muf herçeşit alçak gerilim elektrik kablosunu birbirine eklemek için açık havada veya toprak altında kullanılabilen 3 adet parçanın (alt gövde, üst gövde ve kapak) paslanmaz civatalarla montajlanmasından oluşmaktadır. Şekil 6.1’de Y profil ek-muf montajı gözükmektedir. Şekil 6.2’de ise parça boyutları belirtilmiştir.



Şekil 6.1 : Y profil ek-muf montajı



Şekil 6.2 : Ek-muf parça boyutları

### 6.1.1 Parça imalatında kullanılan enjeksiyon makinesi özellikleri

Enjeksiyon prosesinde kullanılacak makine özellikleri tasarım ve imalat sırasında dikkat edilmesi gereken bazı parametreleri etkilemektedir. Ek muf imalatında Jetmaster JM368-C/ES enjeksiyon makinesi kullanılmaktadır. Ek muf imalatında kullanılan tek gözlü kalıplar için kolonlar arası mesafeler uygundur. Analiz sırasında

programa girilecek kapama kuvveti, maksimum enjeksiyon basıncı, vida çapı, enjeksiyon oranı değerleri analizin daha verimli sonuçlar vermesini sağlayacaktır. Aşağıda enjeksiyon makinesi özellikleri verilmiştir.

Enjeksiyon kapasitesi : 1126 gr

1237 cm<sup>3</sup>

Vida çapı : 75 mm

Enkesiyon basıncı : 150 MPa

Vida hızı : 124 rpm

Vida L/D oranı : 21

Mal alma kapasitesi : 167 kg/h

Enjeksiyon oranı : 317,5 cm<sup>3</sup>/s

Kapama kuvveti : 368 ton

Açma stroku : 600 mm

Kolon aralığı : 720 x 720 mm

Kalıp kalınlığı : 260 – 700 mm

Maksimum kalıp açma : 1360 mm

### **6.1.2 Parçanın hammaddesi özellikleri**

Parça tasarımı kadar plastik parçanın hangi malzemeden imal edildiği de plastik enjeksiyon prosesindeki parametreleri etkilemektedir. Ek-muf imalatında %20 talk katkılı PP malzeme kullanılmaktadır. Moldflow Insight analiz programı içerisindeki malzeme veri tabanından TPP20AJ01BK ticari isimli malzeme seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Aşağıda seçilen malzemenin bazı mekanik ve termal özellikleri ile Şekil 6.3’de PVT diyagramı verilmiştir.

Üretici firma : Ferro

Ticari isim : TPP20AJ01BK

Malzeme : Polipropilen (PP)

Dolgu maddesi : Talk (%20)

Tavsiye edilen kalıp sıcaklığı : Min. 38 °C – Max. 55 °C

Tavsiye edilen eriyik sıcaklığı : Min. 207 °C – Max. 227 °C

Maksimum kayma gerilmesi : 0.25 Mpa

Maksimum kayma oranı : 100000 1/s

Kristalleşme sıcaklığı : 120 °C

Moldflow Viskozite indeksi : VI(240)0059

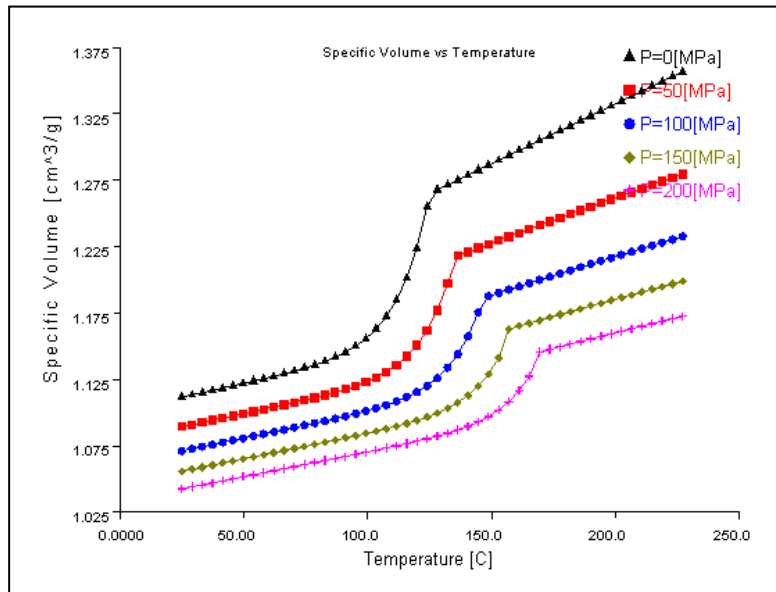
MFR : 23 g/10min (240 °C , 2.16 Kg )

Yoğunluk : 0,89956 gr/cm<sup>3</sup>

Elastiklik modülü : 2137 MPa

Poisson oranı : 0,353

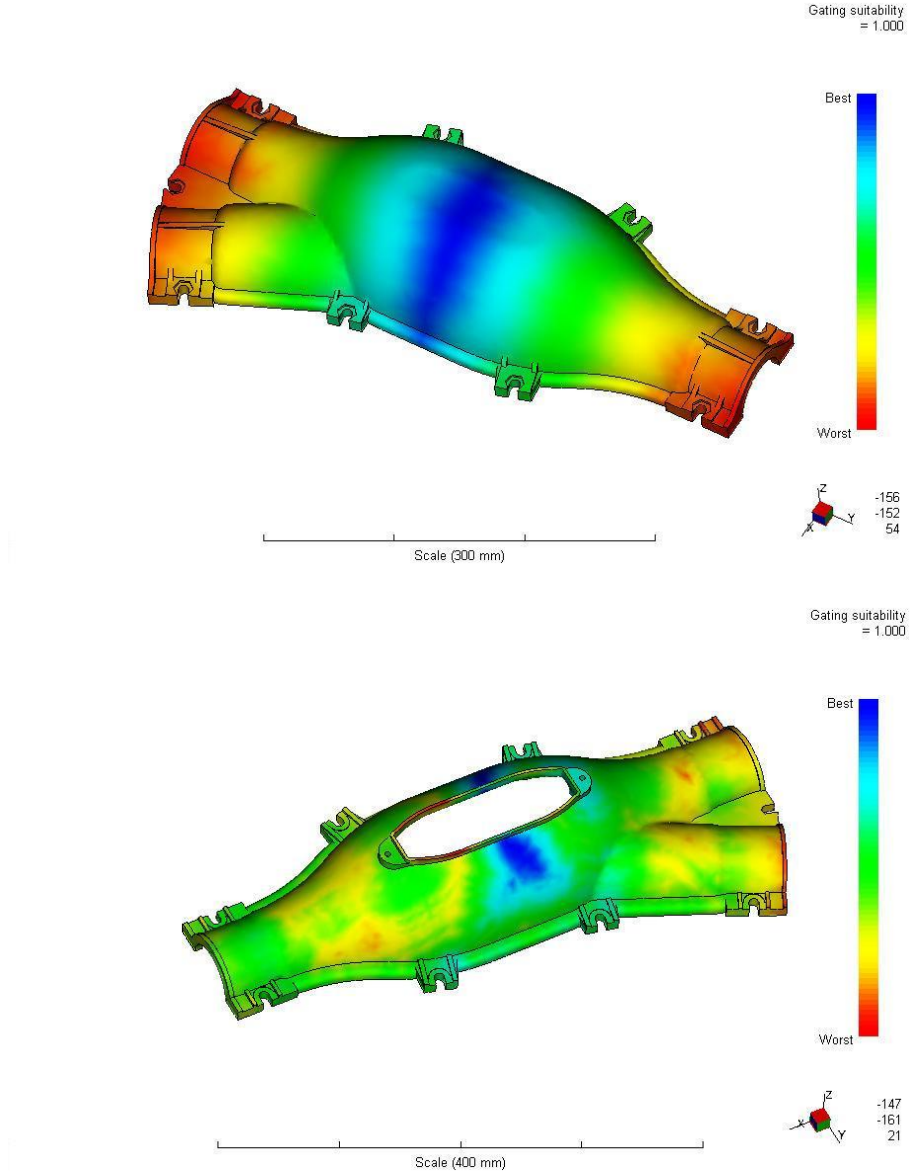
Kayma modülü : 789,727 Mpa



Şekil 6.3 : TPP20AJ01BK PVT diyagramı

### 6.1.3 En iyi giriş bölgesi analizi

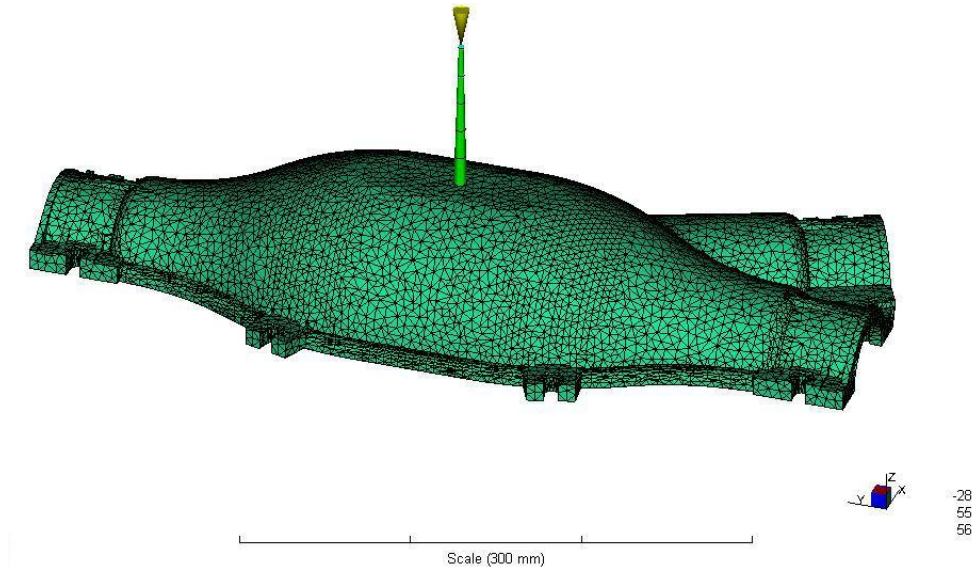
Parçanın geometrik yapısına ve seçilen malzemeye göre dengeli bir akış sağlanması amacıyla en iyi giriş bölgesi analizi yapılmaktadır. Alt ve üst gövde için yapılan ayrı ayrı analizlerde en iyi giriş noktası beklenildiği gibi geometrik merkez civarında çıkmıştır. Şekil 6.4’de alt ve üst gövde üzerinde koyu mavi renkte gösterilen bölgeler en uygun giriş bölgesini temsil eder.



**Şekil 6.4 :** En iyi yolluk giriş bölgesi analizi

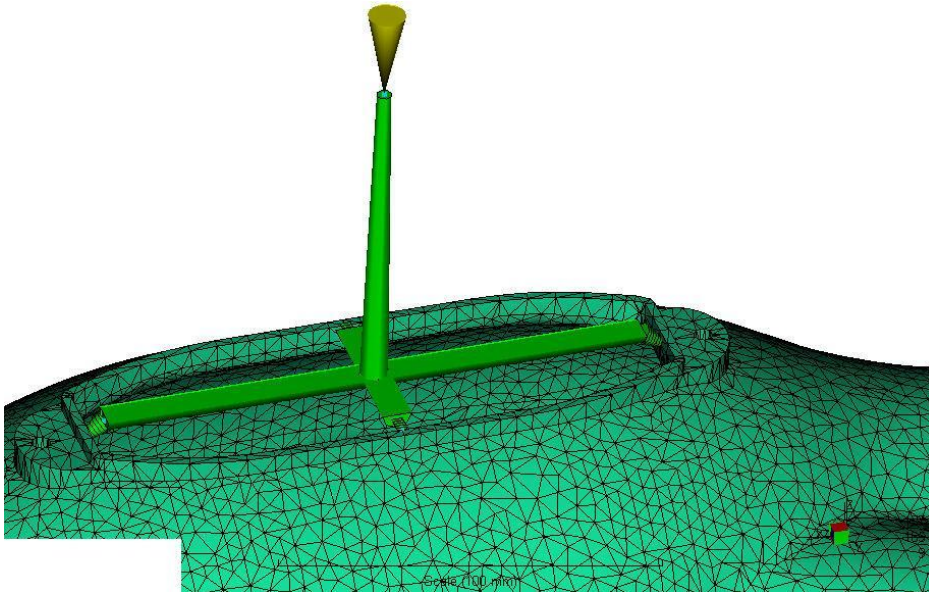
En iyi giriş bölgesi analizi sonuçlarına göre bir sonraki adım yolluk tasarımlarının yapılması olacaktır. Alt gövdenin tabanının geometrik merkezine dairesel kesitli konik direk yolluk girişi tasarlanmıştır. Giriş çapı parça et kalınlığı dikkate alınarak 8mm üst çap ise 3 mm belirlenmiştir. Şekil 6.5’de alt gövde için yolluk tasarımı görülmektedir.

Üst gövde için analiz sonuçlarına göre parçaya 2 noktadan giriş vermek uygun görülmektedir fakat bu durumda parçanın ortasından uzun kenarlarına doğru kaynak izleri oluşacağından parçada 4 noktadan girişli yolluk tasarımı yapılmıştır.



**Şekil 6.5 : Alt gövde için yolluk tasarımı**

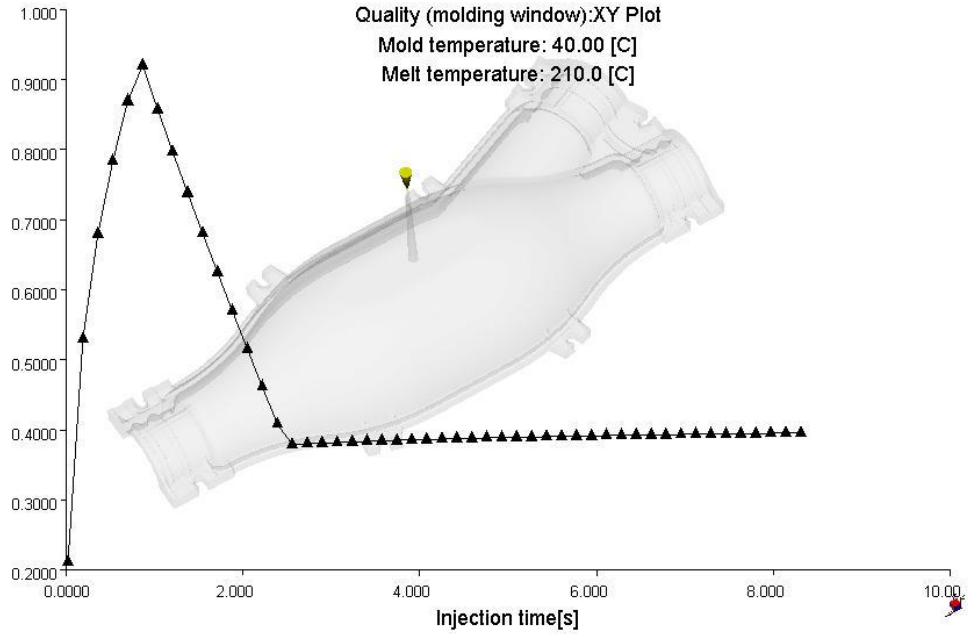
Yolluk sistemini; 4mm üst çap , 8 mm alt çapa sahip konik dairesel kesitli ana yolluk, 8mm çap 4mm yüksekliğe sahip yarım daire kesitli tali yolluklar ve uzun kenarın ortasından giriş yapan 3mm çap 1,5 mm yüksekliğe sahip yarım daire kesitli giriş yolluğu ve kısa kenar ortasından giriş yapan, konik, 3mm – 6mm çapa sahip tünel tipi giriş yolluğu oluşturmaktadır. Şekil 6.6’da üst gövde yolluk tasarımı görülmektedir.



**Şekil 6.6 : Üst gövde için yolluk tasarımı**

#### 6.1.4 Uygun proses parametrelerinin belirlenmesi

Yolluk tasarımının ardından parça geometrisine, seçilen malzemeye ve makina özelliklerine göre uygun proses şartlarının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla “Molding Window” analizi yapılarak tahmini kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı ve dolum süresi belirlenir. Analiz sonuçları kullanılarak soğutma, doldurma, ütüleme ve çarpılma analizi için veriler oluşturulur. Alt gövde de yapılan “Molding Window” analizi sonucu optimum dolum kalitesi verilerine göre kalıp ve eriyik sıcaklığının seçilen malzemeye göre minimum tutulduğu noktada enjeksiyon süresi 0~2 saniye aralığındadır, Şekil 6.7’de görülmektedir.

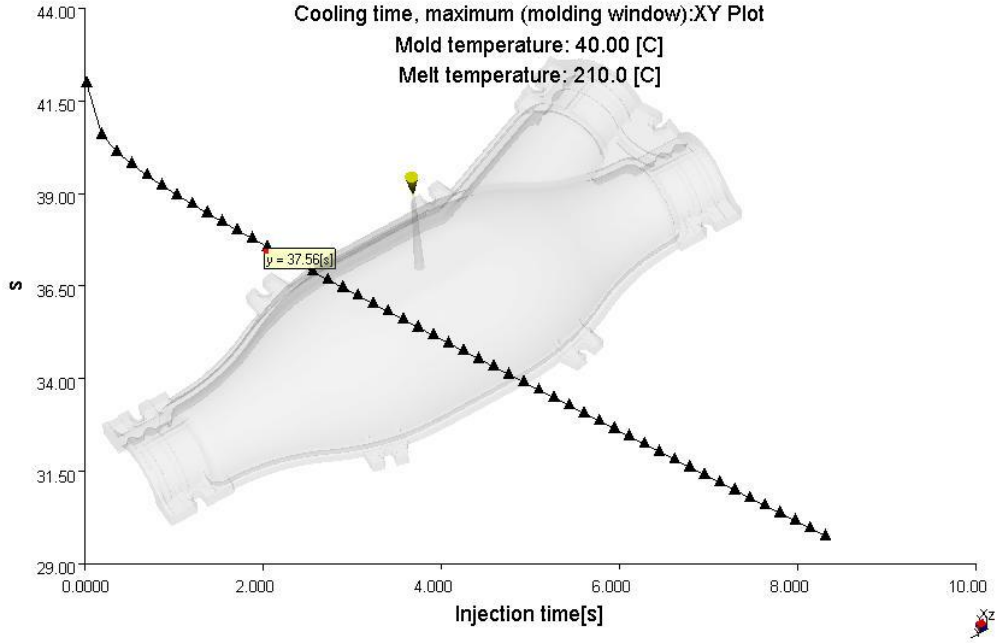


Şekil 6.7 : “Molding Window” analiz sonucu

Makinanın enjeksiyon oranı ( $317,5 \text{ cm}^3/\text{s}$ ) ve parça hacmi ( $610 \text{ cm}^3$ ) dikkate alındığında minimum enjeksiyon zamanı  $\sim 2 \text{ s}$  olarak belirlenebilir. Belirlenen minimum kalıp ve eriyik sıcaklığı ile enjeksiyon zamanına göre “Molding Window” analizinin başka bir sonucu olan yaklaşık soğutma zamanı verisine ulaşılabilir. Şekil 6.8’de görüleceği üzere soğutma süresi  $\sim 38\text{s}$  bulunur.

Belirlenen bu parametreler doğrultusunda hazırlanacak ilk soğutma, doldurma, ütüleme ve çarpılma analizi sonuçlarına göre proses şartlarını optimize etmek uygun bir yol olacaktır. Üst gövde için “Molding Window” analizi yapmaya gerek

görülmemiştir çünkü alt ve üst gövdeler geometrik olarak hemen hemen aynı yapıda oldukları için alt gövdenin analiz sonuçları ile üst gövdenin proses parametreleri de belirlenebilir.



Şekil 6.8 : Soğutma süresi analizi

#### 6.1.5 Soğutma – Doldurma – Ütuleme – Çarpılma (CFPW) Analizi

“Molding Window” Analizi sonucu belirlenen ilk parametreler bu aşamada kullanılacaktır. CFPW Analizine göre ortaya çıkan sonuçlar tek tek ele alınarak alt gövde parçasının optimum proses şartları belirlenmiş olacaktır. Analizi yapılacak tasarımın son hali soğutma kanallarının dizaynı ile bitmiştir. Soğutma sistemi 12 adet 10 mm çapında soğutma kanalından oluşmaktadır, kanallar birbirine hortumlarla bağlanmıştır. Şekil 6.9’da soğutma kanalları tasarımı gözükmemektedir.

CFPW Analizinde kullanılan proses ayarları aşağıda listelenmiştir.

Malzeme : TPP20AJ01BK ( %20 talklı PP )

Max. enjeksiyon basıncı : 150 MPa

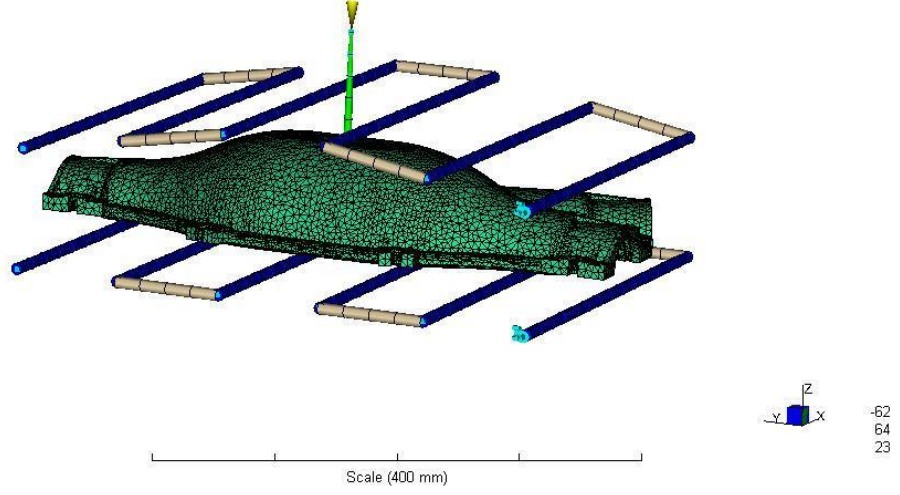
Kalıp yüzey sıcaklığı : 40 °C

Eriyik sıcaklığı : 210 °C

Enjeksiyon süresi : 2 s

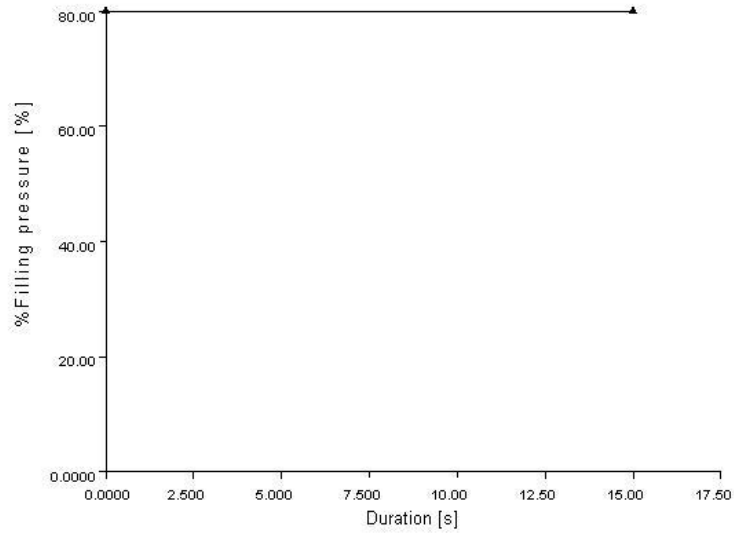
Çevrim süresi : 68 s

Kalıp açılma süresi : 3 s



**Şekil 6.9 : Soğutma kanalları tasarımı**

Ütuleme profili Şekil 6.10’da gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.



**Şekil 6.10 : Ütuleme profili grafiği**

Soğutma süresi : 48 s

Soğutma kanal çapı : 10 mm

Soğutma sıvısı : Su

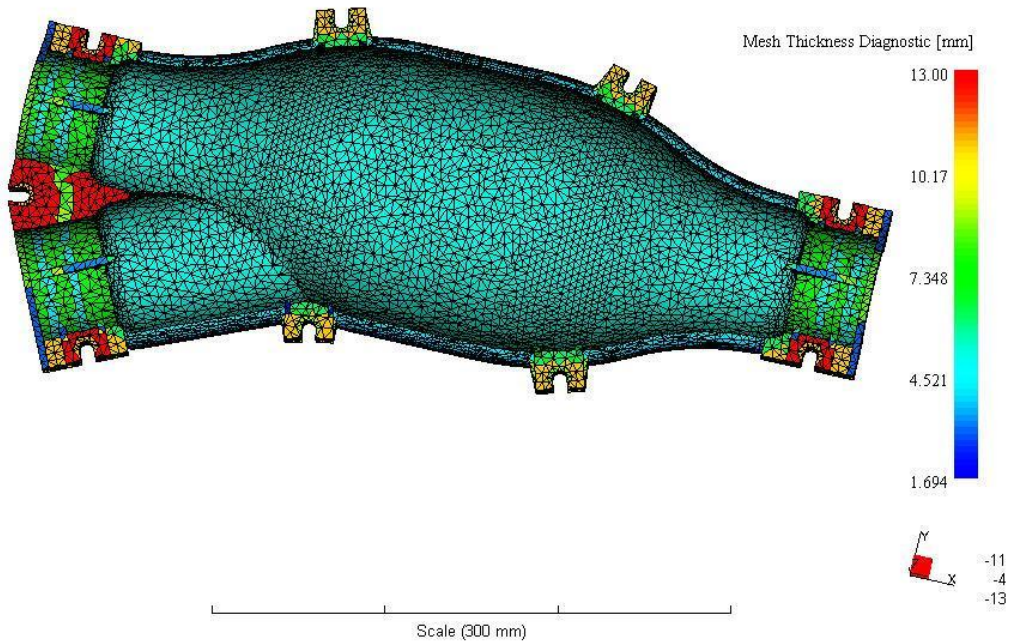
Soğutma sıvısı sıcaklığı : 10 °C

Soğutma sıvısı Reynold sayısı : 10000

Soğutma kanalları parça mesafesi : 25 mm

### 6.1.6 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

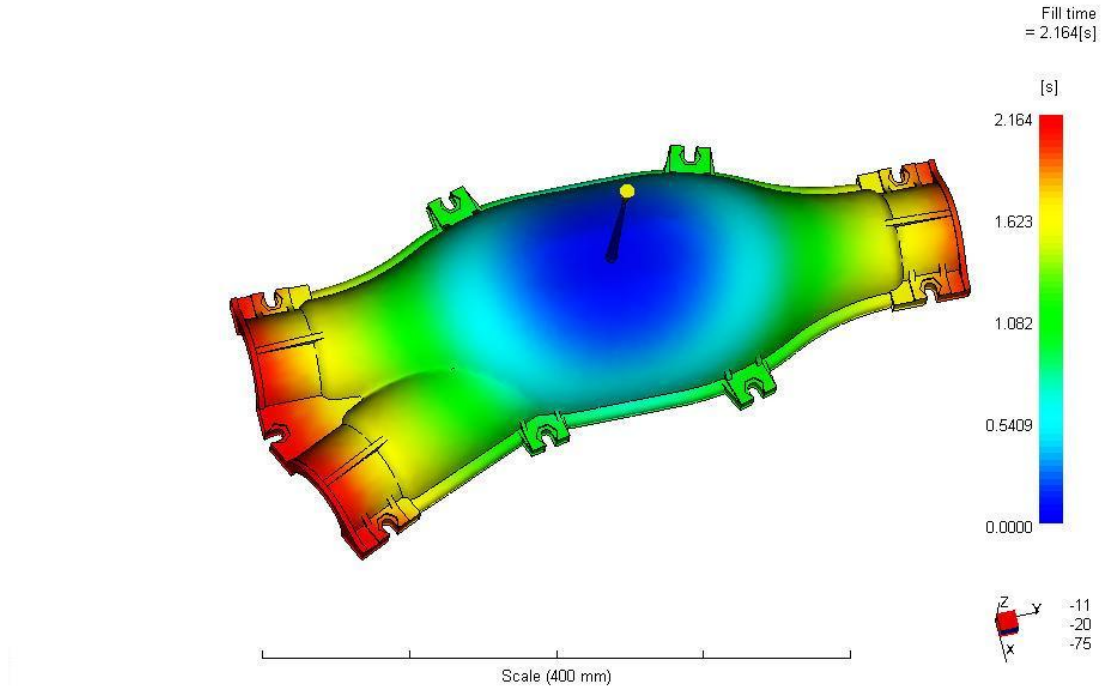
Analiz sonuçları değerlendirilmeye başlanmadan önce analiz sonuçlarını etkileyecek parça et kalınlığı değişimleri hakkında fikir sahibi olmak için Şekil 6.11’de de gösterilen et kalınlığı dağılım analizi sonuçlarına bakmak gerekir. Parçaların montajının yapılacağı tırnak kısımlarında et kalınlık değeri nominal et kalınlık değerinin 2 katı civarındadır. Bu durumda parçada ince kesitten kalın kesite akış durumunda meydana gelen çarpılmalar olacağı düşünülmektedir.



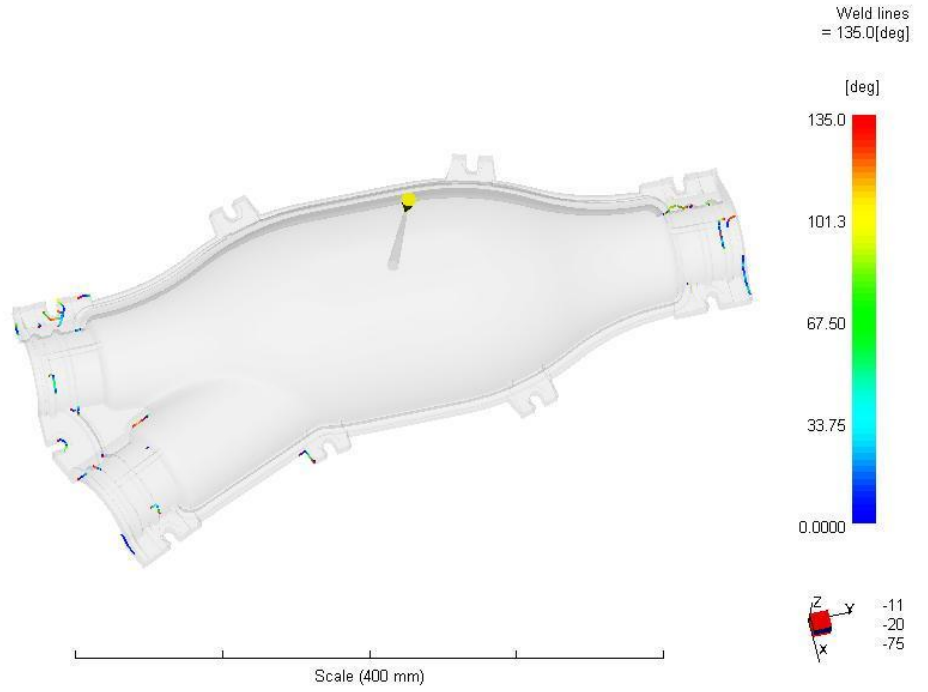
**Şekil 6.11 : Alt gövde de et kalınlığı dağılımı**

Kalıp boşluğunda dengeli bir akış olup olmadığı , hangi noktaların ne sürede dolduğu parça kalitesi açısından önemlidir. Dengesiz akış sonucu kritik bölgelerde kaynak izleri ve hava boşlukları oluşabilir, parçada çarpılmalara sebebiyet verebilir. Alt gövdeye ait dolum süresi, kaynak izleri ve hava boşlukları Şekil 6.12’de, Şekil 6.13’de ve Şekil 6.14’de görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre parça geometrisi dikkate alınarak dengeli bir akış sağlandığı gözlenmiştir. Oluşan kaynak izleri

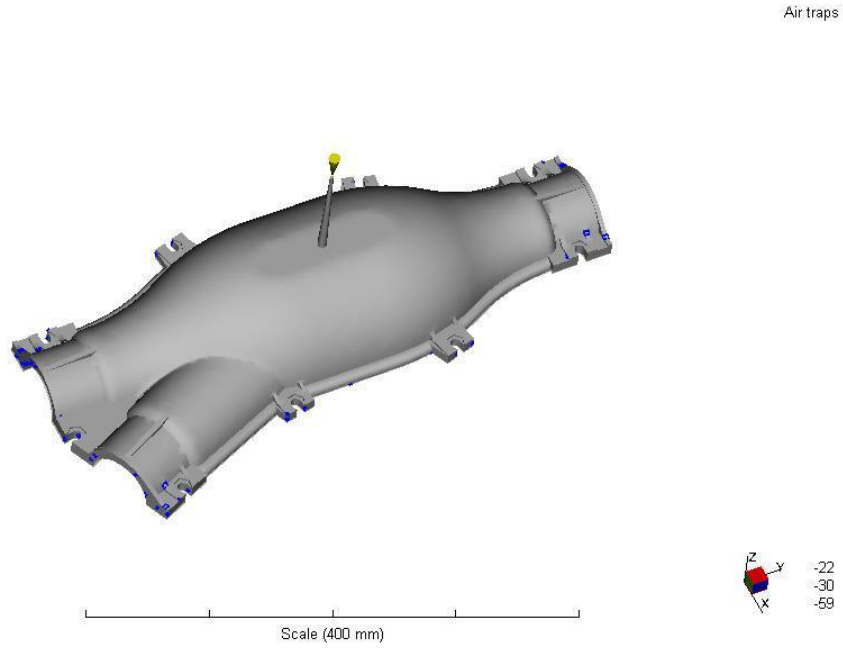
parçada kritik bölgeler üzerinde olmadığından sorun yaratmaz. Hava boşluğu bölgeleri dikkate alınarak kalıpta gaz çıkışı sağlanacak yerler tespit edilmiştir.



Şekil 6.12 : Dolum süresi analizi

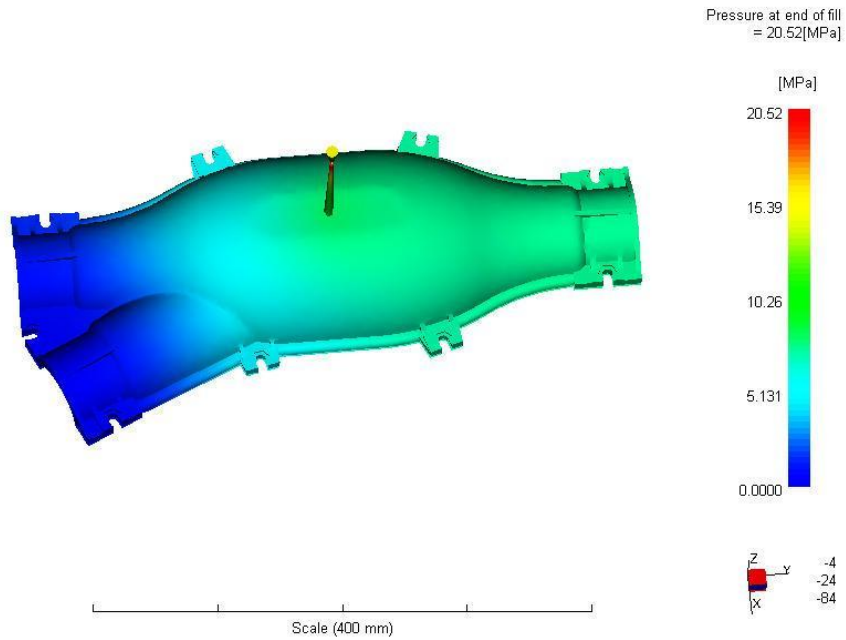


Şekil 6.13 : Kaynak izleri analizi



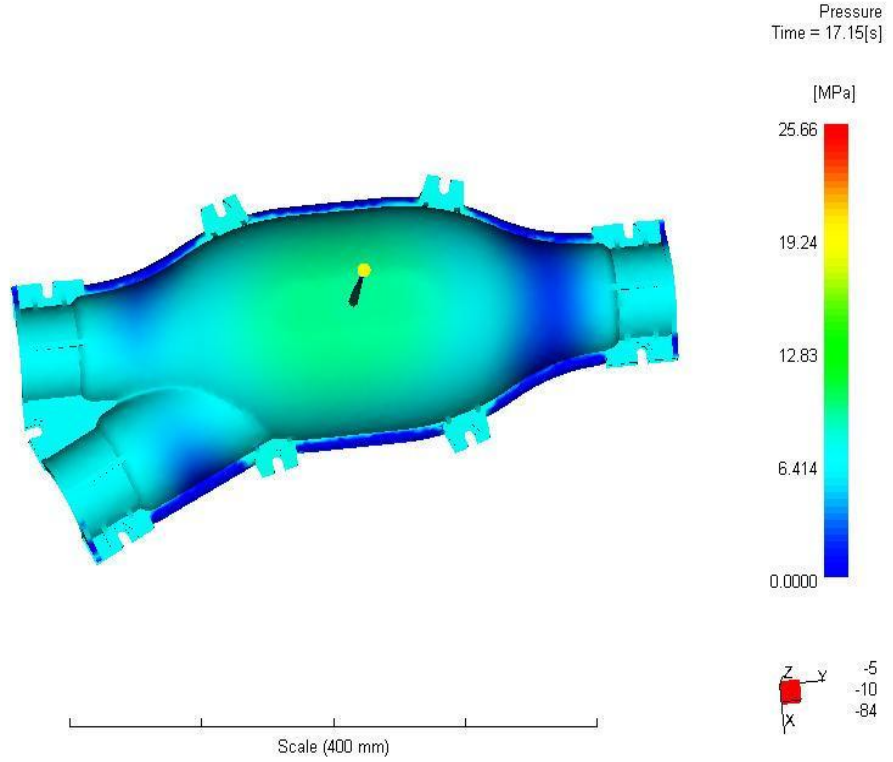
**Şekil 6.14 :** Hava boşlukları analizi

Eriyik malzeme kalıp boşluğunu doldurduktan sonra parça boyunca oluşan basınç dağılımının dengeli olması istenir. Şekil 6.15’de görülen verilere göre parçanın uç noktalarında  $\sim 0$  MPa basınç değerleri enjeksiyon süresinin yetersizliğini göstermektedir. Enjeksiyon basıncı arttırmak, eriyik sıcaklığını arttırarak akışkanın viskozitesini düşürmek veya enjeksiyon zamanını arttırmak doğabilecek problemleri çözebilir.



**Şekil 6.15 :** Dolum sonrası basınç değerleri

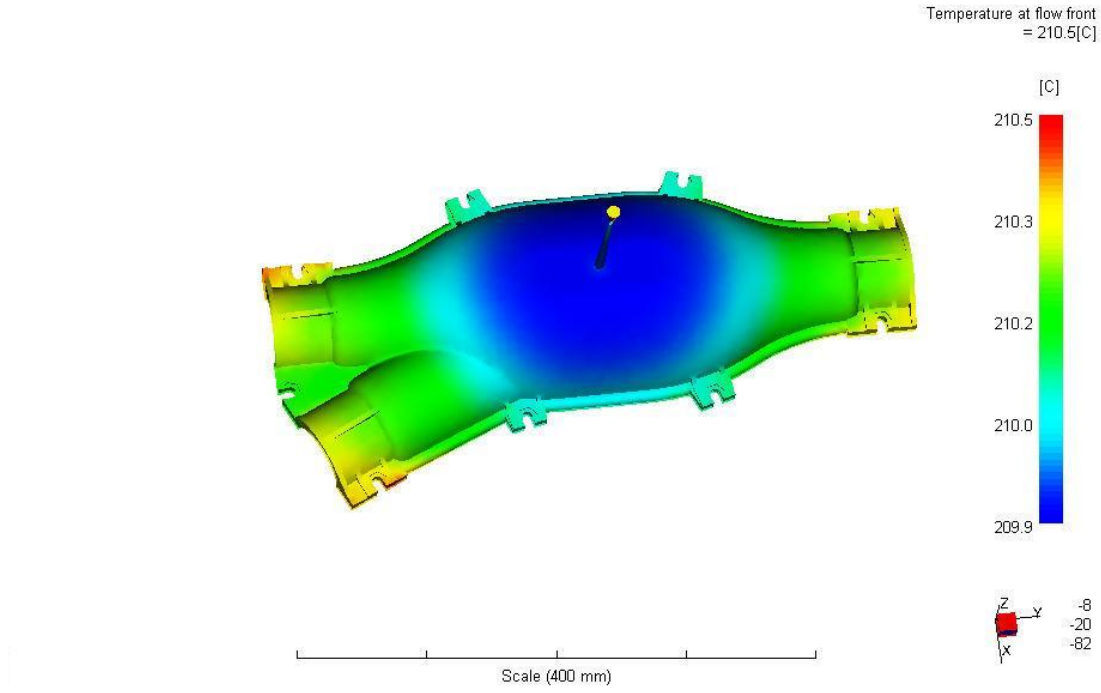
Enjeksiyon çevrim süresi boyunca basınç dağılımı kontrol edildiğinde ütleme süresi bittikten sonra parça üzerinde bazı bölgelerde sıfırın üzerinde basınç değerleri gözlenmektedir. Analiz verilerine göre 17 saniye sonunda basınç değeri sıfırlanması gerekirken Şekil 6.16’da gözüktüğü üzere parçanın büyük çoğunluğunda 0 MPa üzerinde basınç değerleri bulunmaktadır buna göre belirlenen ütleme süresinin yetersiz olduğu söylenebilir.



**Şekil 6.16 :** Ütleme sonrası basınç değerleri

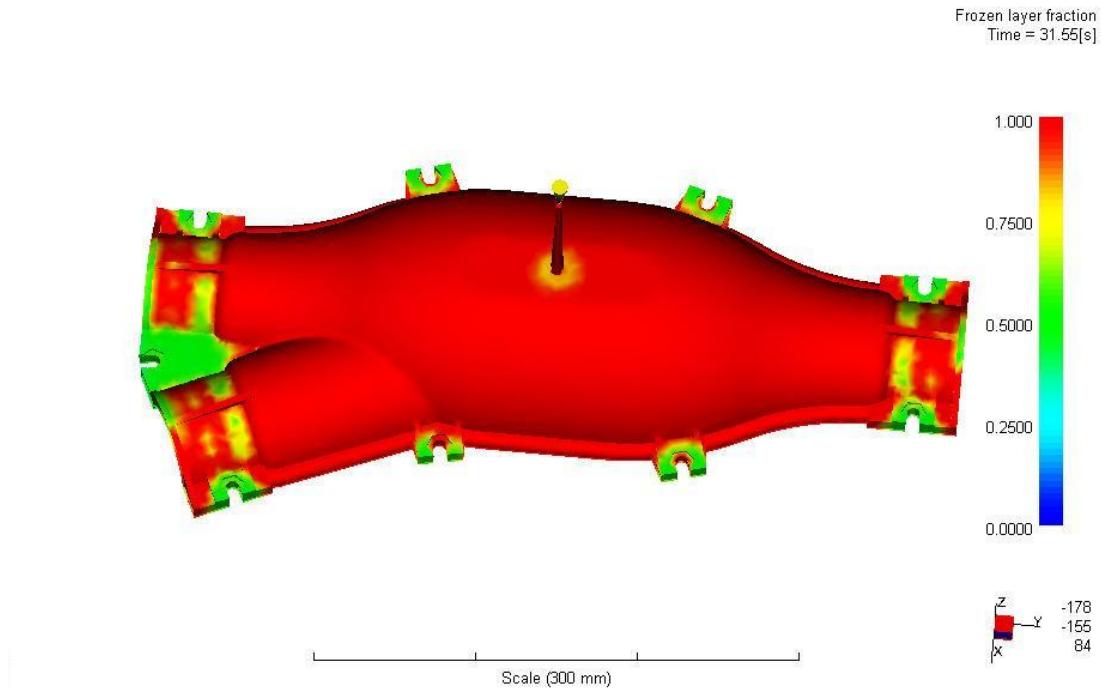
Kalıbın doldurulması sırasında eriyik sıcaklığındaki değişimlerin belirlenen eriyik sıcaklığı değeri civarında olması istenmektedir. 10 °C ‘lik sıcaklık değişimleri kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Parça analizinde enjeksiyon süresinin çok kısa olmasından dolayı mükemmel yakın sıcaklık değişimi değerleri gözlenmiştir bu istenen bir durum değildir parça yüzeyinde hare oluşumuna sebebiyet verebilir, enjeksiyon süresi arttırıldıktan sonra tekrar kontrol edilmelidir. Şekil 6.17’de akış sırasında eriyik sıcaklığındaki değişimler gösterilmiştir.

Başlangıçta kabul edilen ütleme süresinin ve basıncının yeterli olup olmadığını kontrol etmek için giriş yolluğunun donma süresi kontrol edilebilir.



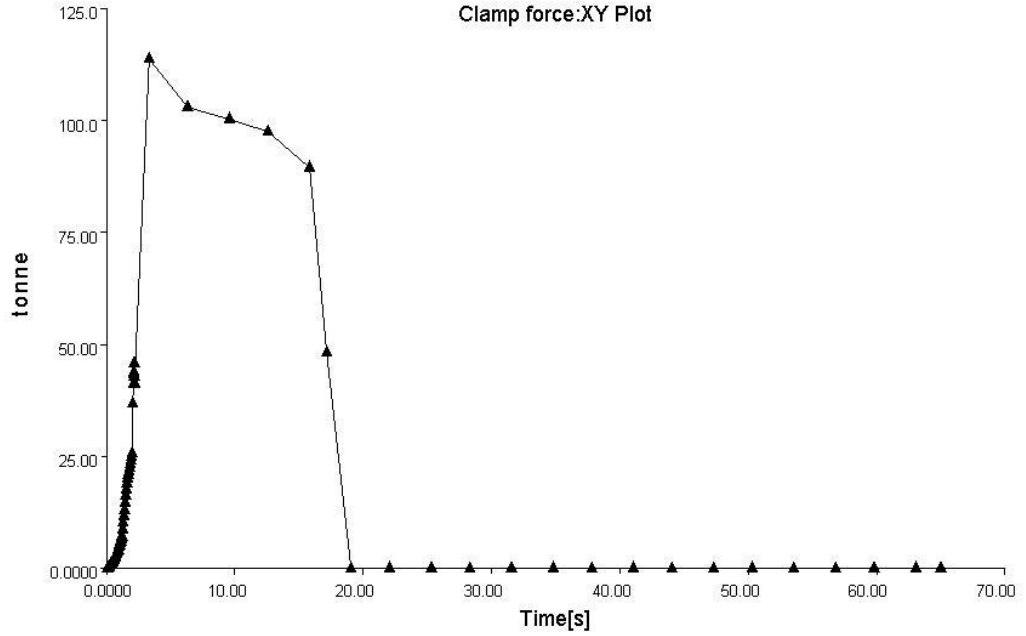
**Şekil 6.17 :** Akış sırasında eriyik sıcaklık değişimi

Şekil 6.18’de parça besleme ağzı ~31 saniye de donmaktadır bu ütüleme süresinin yetersiz olduğunun ve geri akış meydana gelebileceğinin bir göstergesidir ayrıca parçada tutarsız parça ağırlık bölgeleri oluşabilir. Bu sebeple tekrar uygun bir ütüleme profili oluşturulmalıdır.



**Şekil 6.18 :** Parça donma süresi dağılımı

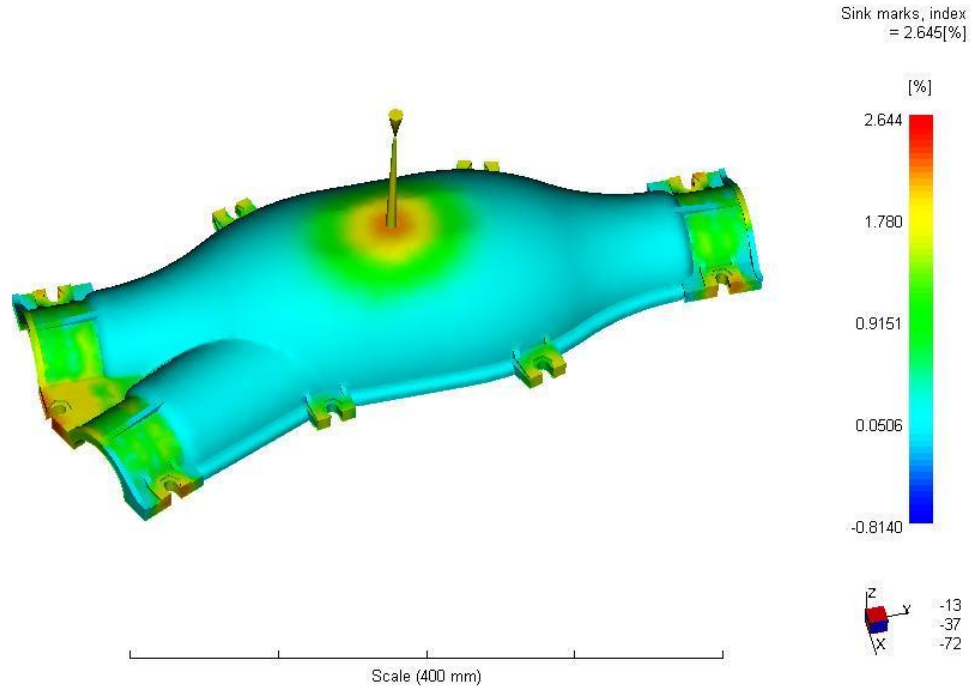
Enjeksiyon çevrimi sırasında meydana gelen maksimum kapama kuvveti değeri kullanılan makina değerini aşmamaktadır. Şekil 6.19'da gözüktüğü üzere ütüleme sırasında ~116 ton maksimum kuvvet oluşmaktadır ve bu maksimum makina kapama kuvvetinin altında bir değerdir.



**Şekil 6.19 : Kapama kuvveti değerleri**

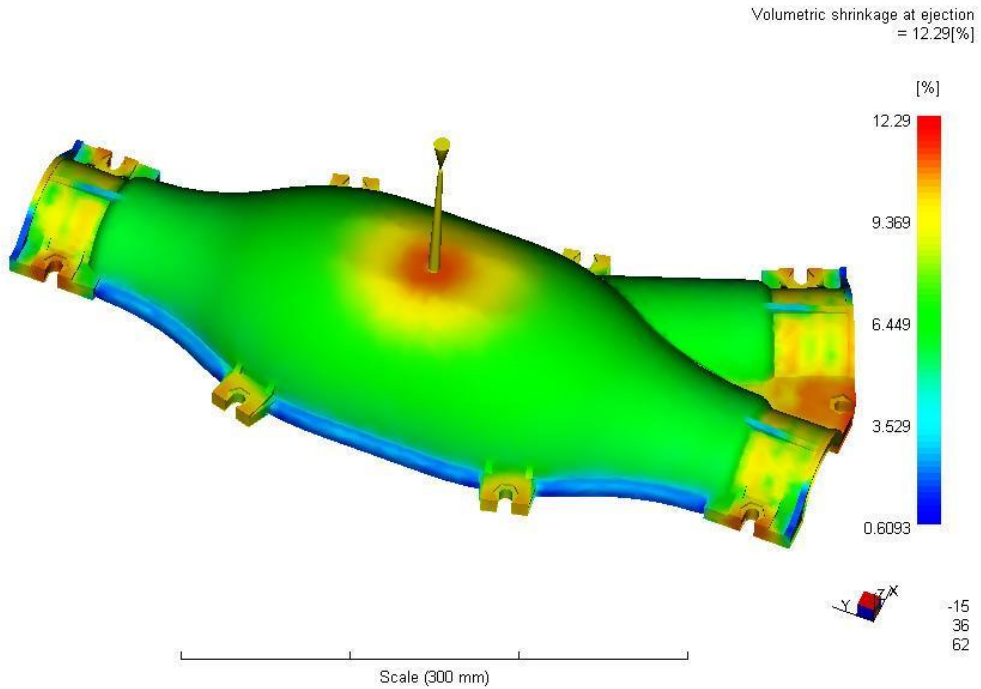
Et kalınlığının arttığı bölgelerde, uygun ütüleme profili ve soğutma süresi değerleri belirlenmediğinden parça üzerinde çöküntü bölgeler oluşabilir. Şekil 6.20'de parça üzerinde özellikle kalın bölgelerde oluşan çöküntüler % değer olarak gösterilmiştir, değerler tolerans dahilinde kabul edilebilecek sınırlar içerisindedir. Yeterli ütüleme profili, yolluk giriş çapındaki artış ve hacimsel çekme değerlerindeki azalma çöküntü bölgelerinin azalmasını olumlu yönde etkileyecektir.

Enjeksiyon çevrimi tamamlandığında kalıptan çıkarılacak parçada meydana gelen hacimsel çekmeler özellikle parçanın çarpılmasına büyük etki yapmaktadırlar. Hacimsel çekmeler çöküntülerde olduğu gibi yüksek et kalınlığı değerleri bulunan, farklı soğuma zamanlarına sahip bölgelerde görülmektedirler.



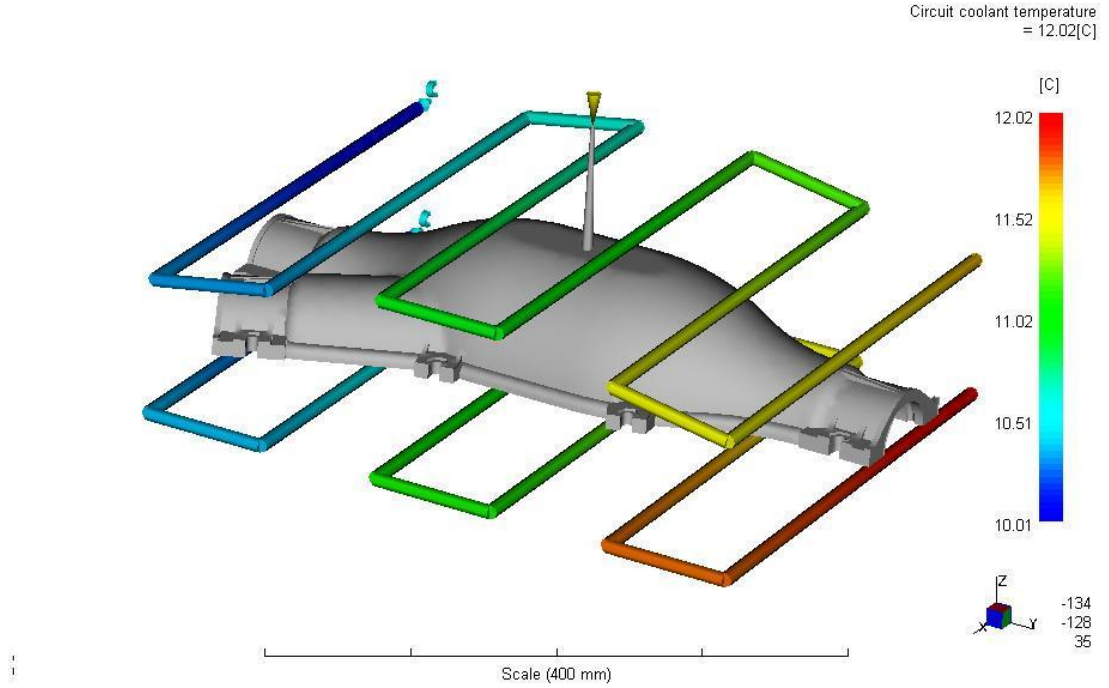
**Şekil 6.20 : % çöküntü değerleri**

Şekil 6.21’de analiz parçasına ait hacimsel çekme değerleri gözükmetedir. Ütuleme profili tekrar belirlendikten sonra hacimsel çekme değerlerinde düşüş olması beklenmektedir.



**Şekil 6.21 : Hacimsel çekme değerleri**

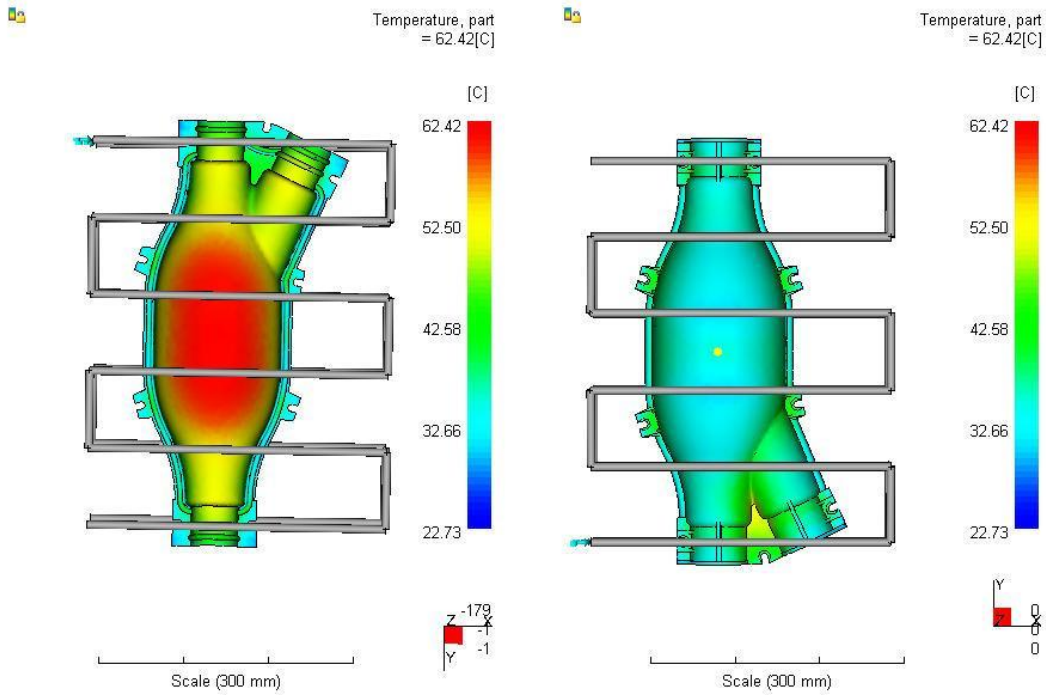
Soğutmanın yeterli olup olmadığı soğutma ile ilgili bazı analiz sonuçlarından anlaşılabilir. Öncelikle tasarlanan soğutma kanalları boyunca soğutucu sıvı sıcaklığı farkı 2~3 °C arasında olmalıdır. Şekil 6.22’de alt gövde parçasının soğutma kanalları sıcaklığı giriş bölgesinde 10 °C , çıkış bölgesinde 12 °C olarak gözükmetedir.



**Şekil 6.22 : Soğutma kanalları sıcaklık dağılımı**

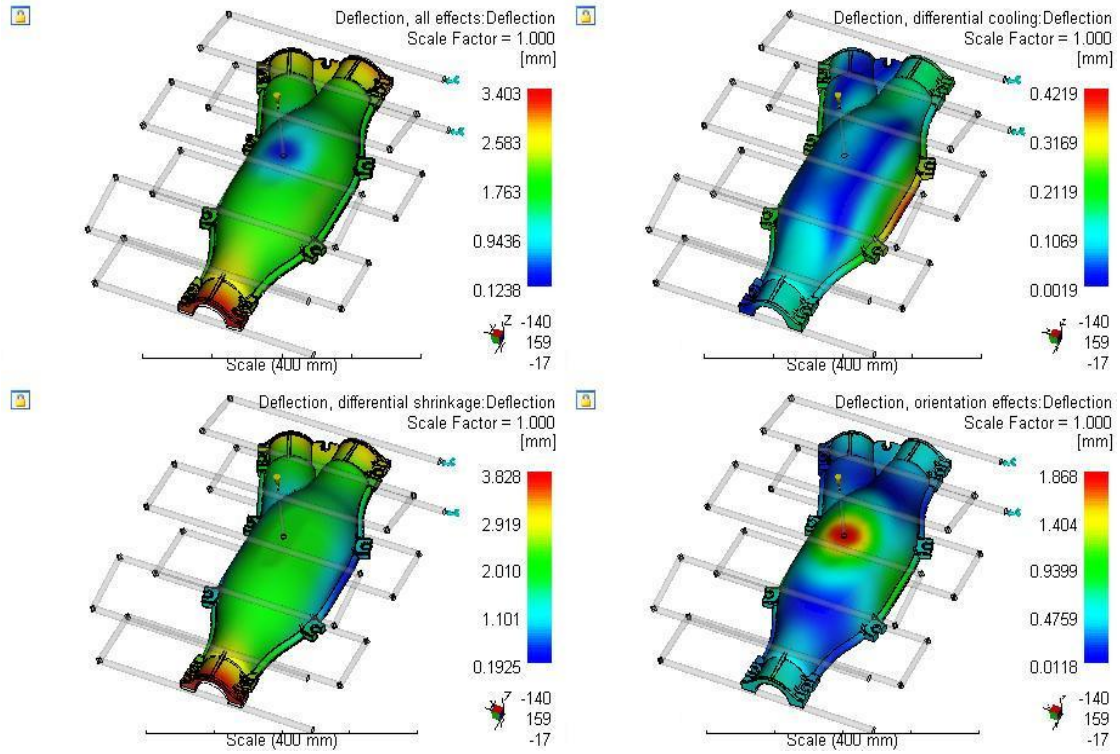
Etkili bir soğutma için parçanın iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı  $\pm 10$  °C arasında olmalıdır. Kabul edilen kalıp sıcaklığı değeri ile analiz sonucu bulunan kalıp sıcaklık değeri farkı amorf malzemeler için 10 °C , kısmikristalin malzemeler için 5°C olmalıdır. Şekil 6.23’de uygulama parçamız için bulunan soğutma analiz sonuçlarından soğutmanın yetersiz olduğu gözükmemektedir. Parçanın iç ve dış yüzeyleri arasında ~25 °C sıcaklık farkı bulunmaktadır. Soğutma sistem tasarımı değiştirilerek bu problem ortadan kalıdırılabilir fakat iç kısımların soğutulması için tasarlanacak baffled veya bubbler tipi soğutma kanalları imalat maliyetini arttıracığından proses parametreleri değiştirilerek, oluşan sıcaklık farkları istenilen sınırlar arasına çekilmeye çalışılmıştır.

Kısmikristalin malzeme olan PP den imal edilen ve 500 mm boya sahip alt gövde parçada çarpılma meydana gelecektir. Amaç çarpılma miktarının nereden kaynaklandığını bularak buna göre minimum çarpılma değerine ulaşmaktır.



**Şekil 6.23 :** Soğutma sonrası kalıbın erkek ve dişi kısmındaki sıcaklık dağılımı

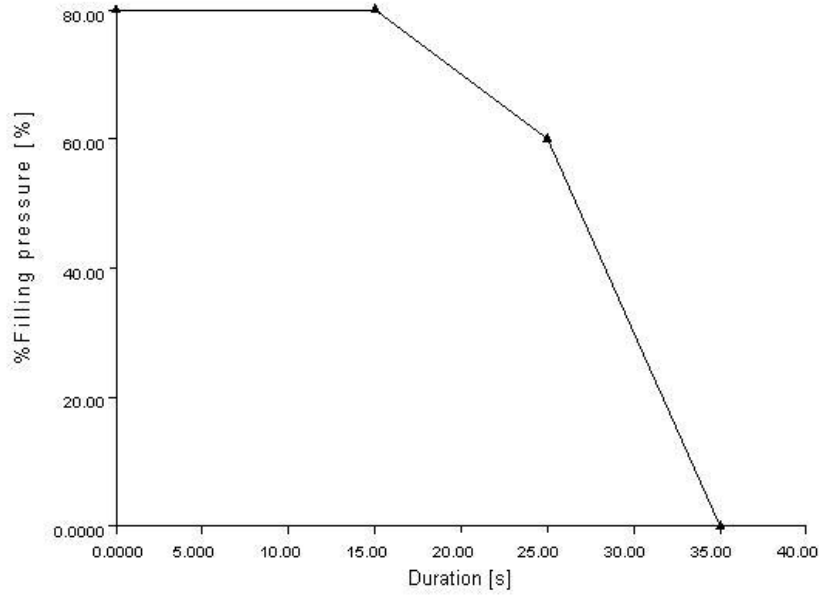
Çarpılma analizi sonucu bulunan değerler Şekil 6.24’de etkilendikleri şartlara göre gösterilmektedirler.



**Şekil 6.24 :** Çarpılma analiz sonuçları

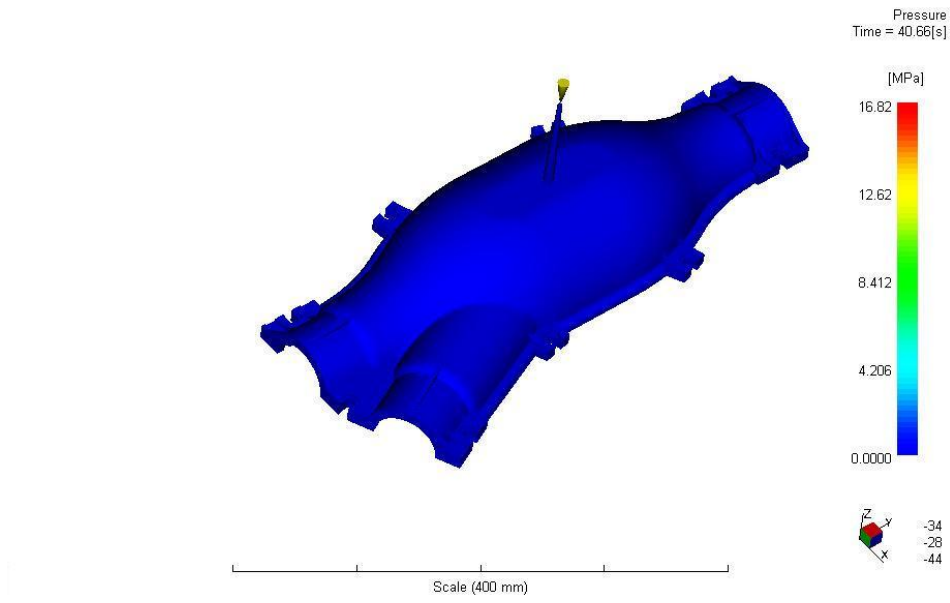
Çarpılmanın başlıca nedenleri değişken çekme miktarları ve dengesiz akış yönlenmeleri olarak açıkça gözükmetedir. Daha önceki analiz sonuçlarında dikkate alınarak proses parametrelerinde ve tasarımda aşağıdaki değişiklikler yapılarak çarpılmalar minimuma indirgenmeye çalışılmıştır.

1. Kalıp ve eriyik sıcaklığı arttırılarak malzemenin kalıp boşluğunda daha kolay akması sağlanmıştır. Kalıp sıcaklığı 50 °C , eriyik sıcaklığı 220 °C olarak belirlenmiştir.
2. Giriş yolluğu çapında 1mm lik artış yapılarak malzeme giriş bölgesinde akış yönlenmesinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Dairesel kesitli konik yollukta parça giriş çapı 9mm , üst çap 4mm tasarlanmıştır.
3. Ütüleme basınç ve süreleri değiştirilerek yeni bir ütüleme profili oluşturulmuştur. Ütüleme profilinin grafiği Şekil 6.25’de gözükmetedir.
4. Enjeksiyon süresi 5 saniyeye çıkarılmıştır. Çevrim süresi 78 saniye civarında tutularak soğutma süresi ~35 saniye civarına getirilmiştir.

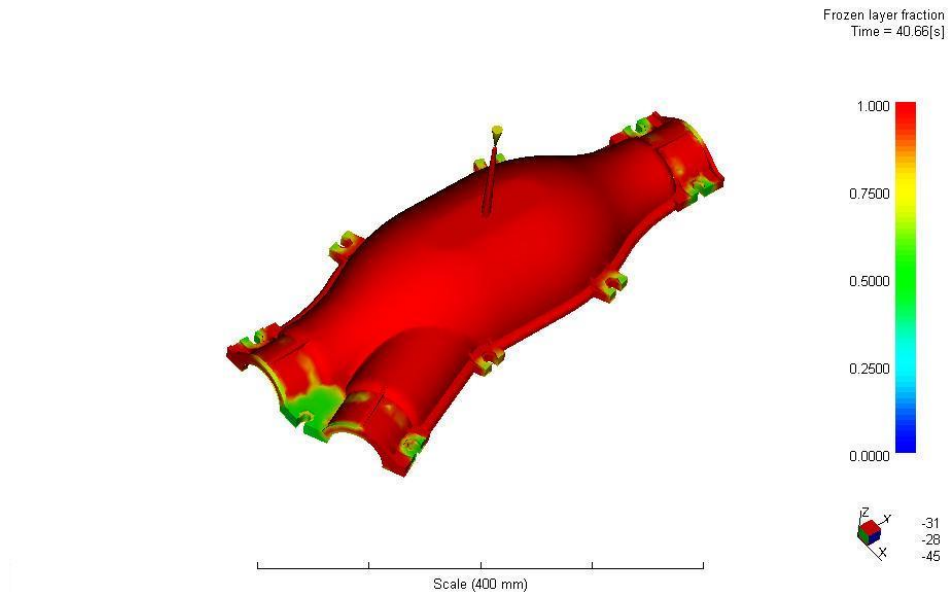


**Şekil 6.25 : 2. Ütüleme profili**

Proses parametrelerindeki ve tasarımdaki değişiklikler ile yapılan iyileştirmeler 2. analiz verilerinden anlaşılmaktadır. Yeni verilere göre ütüleme sonrası parça üzerindeki basınç dağılımı tüm bölgelerde ~0'dır . Şekil 6.26 ve 6.27'de görünen 2. basınç değeri analizi ve parça donma süresi dağılımından ütüleme süresi ve basıncının yeterli olduğu görülmektedir.

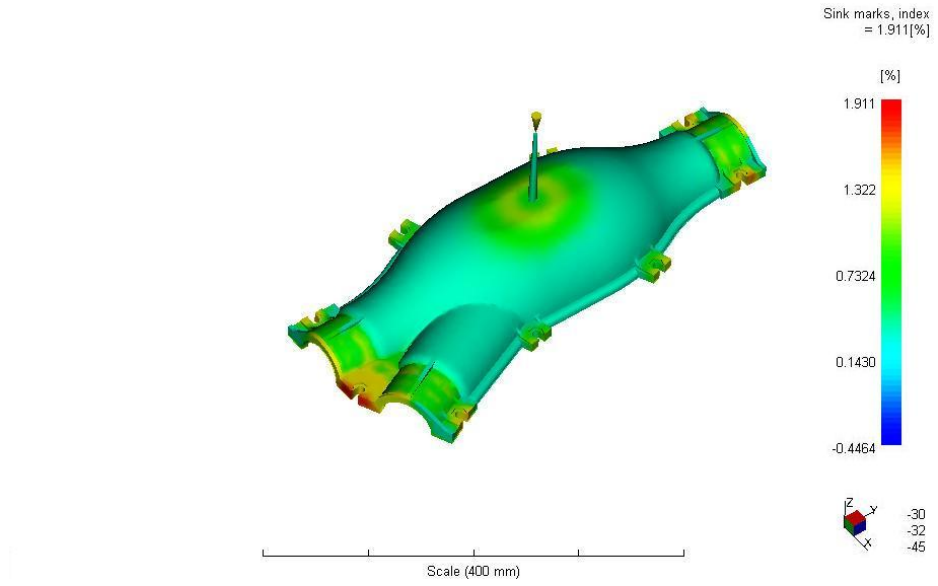


Şekil 6.26 : 2. Ütöleme sonrası basınç değerleri

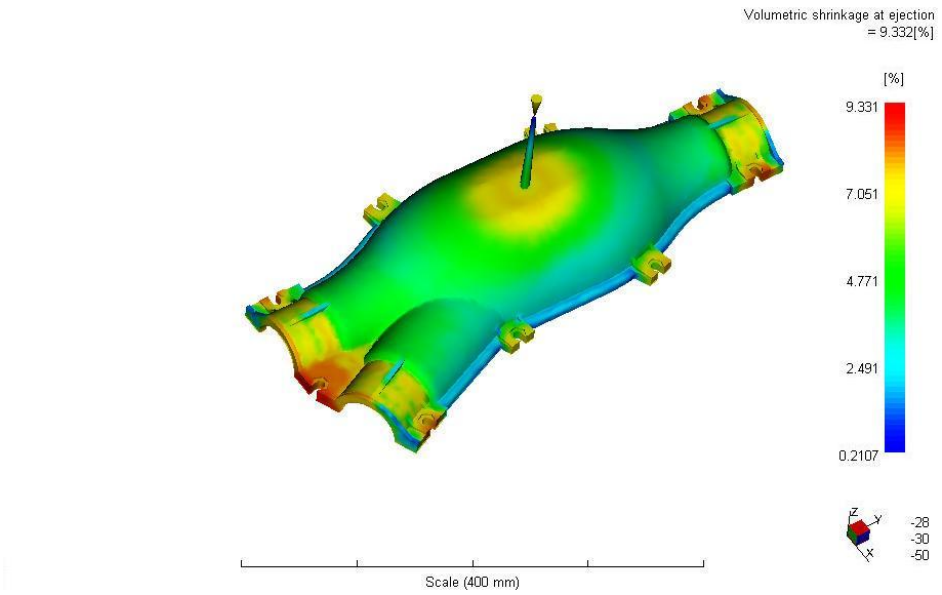


Şekil 6.27 : 2. Parça donma süresi dağılımı

Yeni ütöleme profili değerleri ve yolluk giriş çapında yapılan artış % çöküntü değerleri ve hacimsel çekme değerlerini azaltmıştır. Şekil 6.28’de 2. % çöküntü değerlerindeki düşüş görülmektedir. Şekil 6.29’da ise hacimsel çekme değerlerinin ~%12 ‘den ~%9 civarına düştüğü görülmektedir.

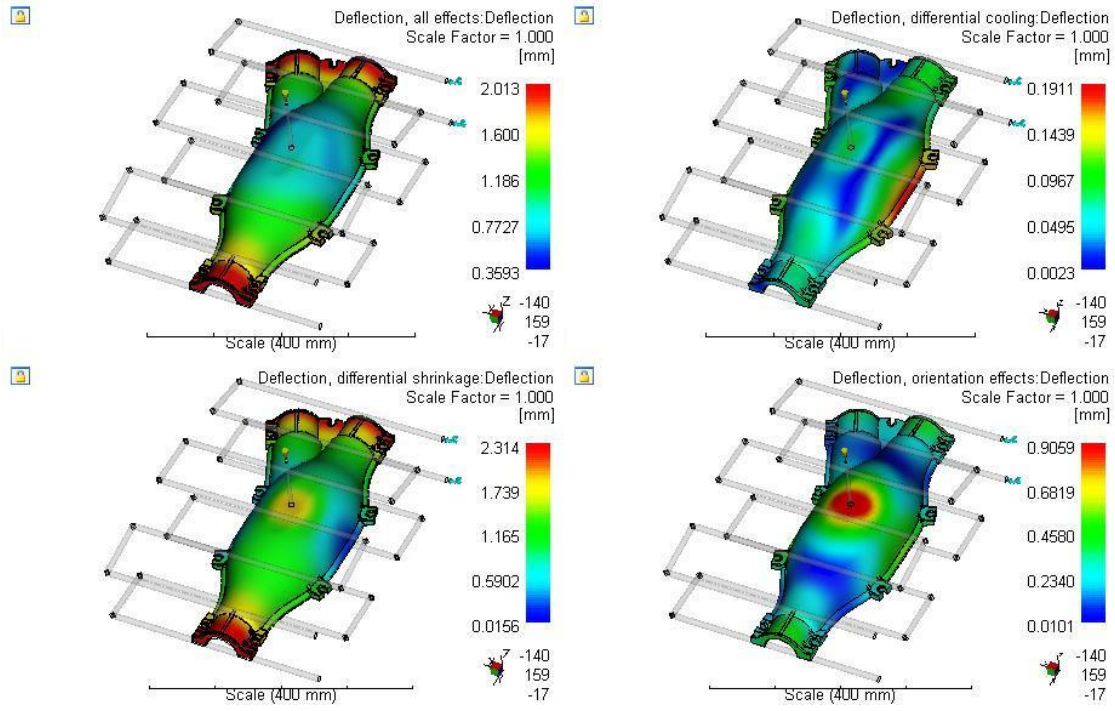


**Şekil 6.28 : 2. % çöküntü değerleri**



**Şekil 6.29 : 2. Hacimsel çekme değerleri**

Yeni analiz verilerine göre oluşan çarpılma miktarları Şekil 6.30'da görülmektedir. Dengeli bir ütüleme profili oluşturulması, yolluk giriş çapını arttırarak akış yönlenmesinin iyileştirilmesi ve kalıp sıcaklığının arttırılması çarpılma değerlerini iyi yönde etkilemiştir. Toplam çarpılma miktarı ~3,4 mm den ~2 mm ye düşürülmüştür ve ek muf montajı civatalarla yapılacağından bu değerler kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

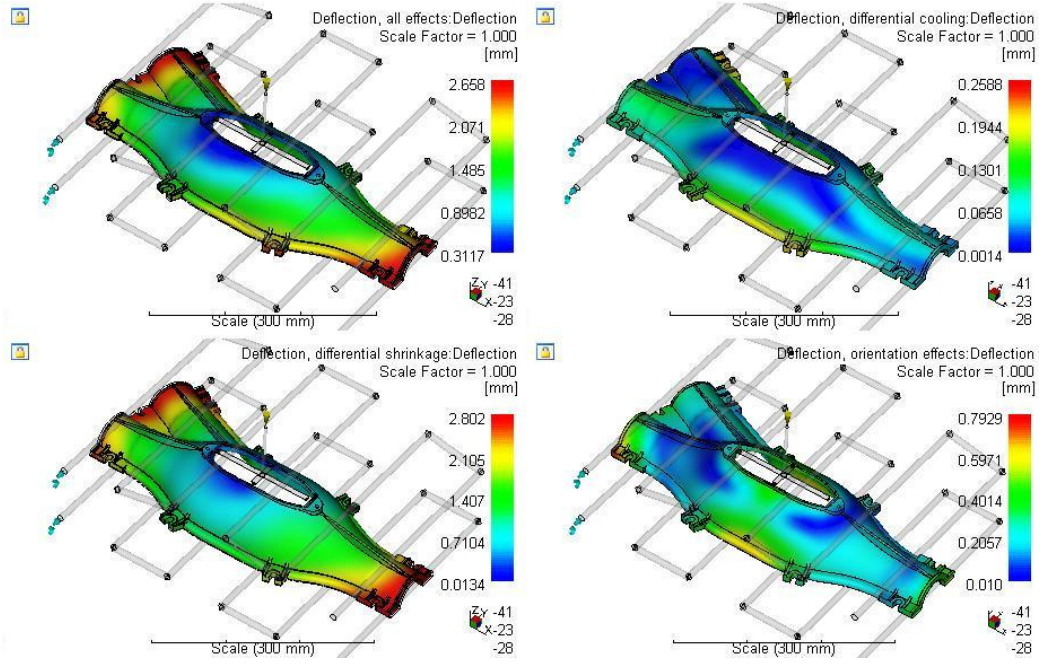


Şekil 6.30 : 2. Çarpılma analizi verileri

Alt gövde için uyguladığımız analiz parametrelerini üst gövde de kullanarak yaptığımız CFPW analizi sonucu oluşacak çarpılmalar kabul edilebilir sınırlar arasında (~2,6 mm) çıkmıştır. Aşağıda kullanılan parametreler sıralanmıştır.

1. Kalıp sıcaklığı 40 °C , eriyik sıcaklığı 210 °C alınmıştır.
2. Ütuleme profili 2. alt gövde analizinde kullanılan Şekil 6.25’de gösterilen profil alınmıştır.
3. Enjeksiyon süresi, çevrim süresi ve soğutma süreleri değiştirilmemiştir.
4. Doğabilecek çarpılma sorunu için kollar üzerine 3,5 mm kalınlığında kaburgalar tasarlanmıştır.

Şekil 6.31’de üst gövde için bulunan çarpılma analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.31 : Üst gövde çarpılma analizi sonuçları



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma sonucunda plastik parçaların imalatında karşılaşılan hataların hammadde, parça tasarımı, kalıp, makine ve çalışma şartları kaynaklı olabileceği görülmüştür. Hatanın hangi nedenden kaynaklandığını öngörmek oldukça zordur.

İmalat hatalarının tespitinin ardından hataların hangi parametreler değiştirilerek çözüleceğini belirlemek gerekir. Ürün imali bittikten sonra bu sorunların çözülmesi özellikle kalıp kaynaklı sorunlarda işçilik ve zaman maliyetleri doğuracağından hataların önceden tespiti gerekmektedir. Bu amaçla devam eden tasarım sürecinde plastik enjeksiyon analiz programlarının kullanılması hata sonucu doğacak maliyetleri azaltacaktır.

Plastik enjeksiyon analizi “Moldflow Insight” programında gerçekleştirilen ek-muf montaj parçaları için proses şartlarının optimizasyonu gerçekleştirilerek çarpılma değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulmuştur. Fakat analiz programının, parçaların veya kalıbın tasarım aşamısından değil de sadece plastik enjeksiyon sırasında kullanılması bazı kısıtlamaları beraberinde getirmiştir. Bunlar parça et kalınlığından ve soğutma kanallarının yerleşiminden kaynaklanan sorunlara müdahale edilememesi şeklinde kendini göstermiştir. Enjeksiyon analiz programının sadece proses parametrelerini belirlemek amaçlı kullanımı fonksiyonel bir araç olarak hataları önleyerek kaliteyi ve verimliliği arttırsada bu aşamada yetersiz kalabileceği de görülmüştür.

Analizden en iyi verimin alınabilmesi ve plastik parça imalatında en iyi kalitenin yakalanabilmesi için mevcut plastik enjeksiyon analiz programlarının parça tasarımından ürün imaline kadar geçen süreçte efektif bir şekilde kullanılması gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Akkurt, S.**, 1991. Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] **Crawford, R. J.**, 1987. Plastics Engineering, The Queen's University of Belfast, UK Pergamon Press.
- [3] **Palabıyık, M.**, 2008. Polimer Esaslı Kompozitler İle Konstrüksiyon, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.
- [4] **Köse, E.**, 2006. Plastik enjeksiyonda proses ve kalıp kaynaklı sorunların giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Kuldaşlı, A. B.**, 2005. Plastik enjeksiyon yöntemi ile parça imalatı imalat hataları ve hata tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Küçük, M. Z.**, 2005. Plastik enjeksiyon kalıbı esasları tasarım imalat ve analizi, Yüksek Lisans Tez, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Turaçlı, H.**, 2003. Enjeksiyon Kalıpları İmalatı , Pagyay Yayıncılık , İstanbul.
- [8] **Rees, H. and Catoen, B.**, 2005. Selecting Injection Molds, Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- [9] **Malloy, R. A.**, 1994. Plastic Part Design for Injection Molding , Hanser Publishers.
- [10] **Rees, H.**, 1995. Mold Engineering, Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- [11] **Erhard, G.**, 2006. Designing With Plastics, Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- [12] **Maier, C. and Calafut T.**, Polypropylene The Definitive User's Guide and Handbook, Plastics Design Library
- [13] **Moldflow Corporation**, 2008. Moldflow Plastic Insight Release 6.1 Training Guide.



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Engin PINAR

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bursa 14.09.1985

**Adres:** Kadıköy / İSTANBUL

**Lisans Üniversite:** Yıldız Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği, 2007