



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PLASTİK MALZEMELERİN ENJEKSİYON  
PARAMETRELERİNİN  
OPTİMİZASYONUNUN İNCELENMESİ

Samet DÖNERKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır.

## TEZ KABUL VE ONAYI

Samet DÖNERKAYA tarafından hazırlanan “Plastik Malzemelerin Enjeksiyon Parametrelerinin Optimizasyonunun İncelenmesi” adlı tez çalışması 03/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Burak DİKİCİ

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Mehmet GAVGALI

.....

#### Üye

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 21/01/2022 gün ve 03/03 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Samet DÖNERKAYA

03.02.2022

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### PLASTİK MALZEMELERİN ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONUNUN İNCELENMESİ

**Samet DÖNERKAYA**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**2022, 165 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**Prof. Dr. Burak DİKİCİ**

**Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**

Plastik enjeksiyon, plastik hammadde malzemelerinin dozajlamadan enjeksiyon kalıp gözlerine enjektisine kadar ergimiş plastik malzemenin sıcaklık ve basınç kaybına uğramadan kontrollü bir şekilde kalıp kavite boşluklarına enjekte etme sistemidir. Plastiklerin kalitesi, kalıplama parametrelerinin optimum seçilmesine doğrudan bağlıdır. Ayrıca bu çalışma kapsamında plastik enjeksiyon kalıp seti tasarımı için gerekli olan noktalar adım adım detaylı olarak anlatılmıştır. Enjeksiyon ile kalıplama hatalarını önlemek için prosesler sırasında optimum çalışma koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda önerilen yeni yaklaşımlar yardımıyla plastik enjeksiyon yöntemlerinde en önemli proseslerden biri olan prototipleme süreçlerinin minimuma indirilmesi beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında amaç üretimi yapılacak plastik parçanın modellenmesi, plastik hammadde malzemelerinin seçimi, kalıp seti tasarımı, kalıp grubu çelik seçimleri ve enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyon yapılmasıdır. Bu bağlamda elde edilen bulguların literatür çalışmalarına ve plastik endüstrisine doğrudan katkı sağlaması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enjeksiyon, Hacim Kalıplığı, Parametre, Plastik, Proses, Optimizasyon.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF THE OPTIMIZATION OF INJECTION PARAMETERS  
OF PLASTIC MATERIALS**

**Samet DONERKAYA**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF PHILOSOPHY  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**2022, 165 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**Prof. Dr. Burak DIKICI**

**Assoc. Prof. Dr. Murat DILMEC**

Plastic injection is the system of injecting the molten plastic material into the mold cavities in a controlled manner without losing temperature and pressure, from dosing of plastic raw materials to injecting them into the injection mold chambers. The quality of the plastic materials directly related to the optimum selection of molding parameters. In addition, within the scope of this study, the essential points for the design of the plastic injection mold set are explained step by step. In order to prevent injection molding errors, optimum working conditions must be provided during the plastic injection processes. By the help of the new approaches proposed in this study, it is expected that the prototype processes, which is one of the most important processes in plastic injection methods, will be minimized.

The main goal of this study is modeling of the plastic part to be produced, selection of plastic raw material, designing the mold set, selection of mold group steel and to optimize the injection process parameters. In this context, it is aimed that the findings obtained from this study will contribute directly to the academic studies and the plastics industry.

**Keywords:** Injection, Parameter, Plastic, Process, Optimization, Volume Molding.

## ÖNSÖZ

Plastik endüstrisine teorik ve pratik açıdan oldukça katkı sağlamasının yanı sıra gelecekte yapılacak diğer birçok çalışmalara ışık tutarak; örnek gösterilebileceğine inandığımız bu tez ve yüksek lisans çalışmalarında, bilgi ve tecrübeleriyle sürekli destekleyen, yardıma ihtiyacım olduğu her anda güler yüzüyle karşılayan, çalışma sürecim boyunca bana büyük fedakârlıklar gösteren; tez çalışma konumun seçilmesinde, yürütümünde ve çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde yardım ve desteklerinden dolayı kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet GAVGALI' ya çok teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük katkısı olan ve beni her zaman motive ederek "Sen yaparsın, başarısın." diyen ve tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak beni yetiştiren tüm aileme içtenlikle teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenim hayatım ve tez çalışmalarım süresince sergilemiş olduğu üstün sabır ve anlayışın yanı sıra her türlü desteklerini esirgemeyen sevgili eşim İnş. Müh. Zeynep DÖNERKAYA ve kızım Meva DÖNERKAYA' ya sonsuz teşekkür ederim.

Kariyer hayatımın ve tez kapsamındaki çalışmalarımın önemli bir parçasını oluştururken her türlü maddi ve manevi desteklerini seferber eden Tosunoğulları Mobilya A.Ş. (BÜROTİME)'a, tecrübe ve üstün yetkinlikleriyle desteklerini esirgemeyen kalıphane bölümü ve plastik enjeksiyon hattındaki teknik personellere fedakârlıkları ve ilgilerinden ötürü teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasının son aşamaya gelmesinde emeği geçen, "Ne zaman istersen, yardım etmeye hazırız." diye arka planda yer alan, isimlerini yazamadığım bütün dostlarıma; çalışmalarında ve tez yazım aşamalarında emeği geçen ve benden yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarıma sevgi ve teşekkürü bir borç bilirim.

Samet DÖNERKAYA

KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ.....</b>	<b>xiv</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE LİTERATÜR TARAMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. PLASTİK HAMMADDE MALZEME VE MATERYAL SEÇİM KRİTERLERİ .....</b>	<b>11</b>
3.1. Plastik Malzemelerin Tarihçesi .....	11
3.2. Plastiklerin Sınıflandırılması ve Standardizasyonu .....	12
3.3. Plastiklerin Mekanik Davranışları ve Karakterizasyonu .....	16
3.4. Plastik Malzemelerin Termal Karakteristik Özellikleri.....	21
3.4.1. Plastiklerin Yanma Karakteristiği.....	24
3.5. Plastik Hammaddelerin Ürün Kimlikleri ve Ticari Tedarik Prosesleri .....	25
3.6. Plastik Hammaddeler için Takviye, Dolgu ve Ek İlave Katkı Maddeleri .....	28
3.7. Kırma (Geri Dönüşüm) Plastik Materyaller ve Hammadde Karışım Yüzdeleri .	33
3.8. Plastik Hammadde Karışımlarının Kurutma Süreçleri .....	34
3.9. Plastiklerin Shore Sertlik Skala Değerleri .....	36
3.10. Plastiklerde Yapıştırma Prosesleri ve Çözücü Kimyasallar .....	37
<b>4. PLASTİK PARÇA TASARIM, DİZAYN VE MODELLEME SÜREÇLERİ ...</b>	<b>38</b>
4.1. Nominal Parça Et Kalınlıkları.....	41
4.2. Göbek (Boss) ve Birleştirme Tasarım Teknik Detayları .....	44
4.2.1. Mandallı Birleştirme (Snap Fit) Tasarım Teknik Detayları.....	45
4.2.2. Vidalı Birleştirmelerde Göbek Dizaynı .....	46
4.3. Destekler, Kaburgalar ve Federler .....	49
4.4. Köşebent (Gusset) Destekler .....	50
4.5. Deliklerin Plastik Parça Üzerinde Konumlandırılması.....	51
4.6. Kalıptan Çıkma Açısı (Draft Eğim ve Çıkış Açısı) .....	52
4.7. Keskin Köşe Radyüsleri ve Yuvarlatmalar.....	55
4.8. Kalıplanan Plastik Parçalardaki Çekme Hadisesi .....	57
<b>5. ENJEKSİYON KALIP TERMİNOLOJİSİ VE MODELLEME SAFHALARI 66</b>	
5.1. Kalıp Seti Göz Adetlerinin Tayini ve Hesaplamaları .....	66
5.2. Kalıp Balansı ile Kalıp İçi Uniform Plastik Parça Yerleşim ve Dizaynı.....	66

5.2.1. Kalıp Grubu Ana Merkezleme Pimlerinin Yerleşimi .....	68
5.3. Yolluk Sistemleri ve Hammadde Malzemesi Dağıtıcı Kanal Tipolojileri.....	69
5.3.1. Soğuk Yolluk Giriş Tipleri .....	73
5.3.2. Sıcak Yolluk Terminolojisi.....	77
5.4. Soğuk Malzeme Çukurları (Boşlukları).....	78
5.5. Sıkışmış Gaz ve Hava Tahliye Kanallarının Yerleşimi .....	79
5.6. Soğutma Sistem Dizaynı.....	82
5.7. Tünel (Merkez) Yolluk Dizayn Aşamaları .....	88
5.8. Kalıp Grubu Taşıma Mapaları ve Yan Kilitlemeler .....	89
5.9. Kalıp Grubu Dizayn Safhalarındaki Diğer Detaylar.....	91
<b>6. ENJEKSİYON KALIP ÇELİKLERİNİN METALURJİK ÖZELLİKLERİ VE KALIP ÇELİK SEÇİM PARAMETRELERİ .....</b>	<b>92</b>
6.1. Plastik Enjeksiyon Kalıp Setlerinin Malzeme Seçim Kriterleri .....	93
<b>7. PLASTİK ENJEKSİYON TEZGÂHLARINDA OPERASYONEL PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU .....</b>	<b>107</b>
7.1. Plastikleştirme ve Plastiklerin Kalıp İçerisindeki Reolojik Hareketleri .....	108
7.2. Plastik Enjeksiyonda Sonsuz Vida Gereksinimleri .....	113
7.3. Enjeksiyon Öncesi Minimum Kapama Kuvveti Gücü Hesaplamaları .....	114
7.4. Enjeksiyon Öncesi Plastik Hammadde Mal Miktarının Hesaplanması .....	117
7.5. Plastik Enjeksiyon Proseslerinde Operasyonel Sıcaklık Faktörü .....	118
7.6. Plastik Enjeksiyon Proseslerinde Basınç Etkisi .....	121
7.7. Plastik Enjeksiyon Sürecindeki Sıkıştırma Oranları.....	123
7.8. Plastik Hammadde Malzemeleri Enjeksiyon Proses Parametre Bilgi Tabloları	124
7.9. Plastik Enjeksiyon Üretim Süreçlerindeki İmalat Hataları ve Çözüm Önerileri	137
7.9.1. Eksik Ürün Baskı Hatası.....	139
7.9.2. Plastik Parçanın Kalıplara Yapışması.....	140
7.9.3. Çapak Oluşumları .....	141
7.9.4. Birleşme ve Birleşim Yeri İz Oluşumları .....	142
7.9.5. Yanma ve Yanık İzi Oluşumları .....	143
7.9.6. Boşluk Oluşumları ve Hava Kabarcıkları .....	144
7.9.7. Çarpılmalar ve Distorsiyon Oluşumları .....	146
7.9.8. Çökmeler ve Çöküntü Oluşumları .....	146
7.9.9. Plastiklerde Enjeksiyon Sonrasında Gözlemlenen Soyulmalar .....	147
<b>8. KALİTE KONTROL VE ENTEGRE YÖNETİM SİSTEMLERİ.....</b>	<b>149</b>
<b>9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>153</b>
9.1. Sonuçlar ve Tartışmalar .....	153
9.2. Öneriler ve Tavsiyeler .....	160
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>161</b>

## TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Plastikler için Türk Standartları, ISO ve ASTM Standartları.....	14
Tablo 3.2. Bazı plastik hammadde malzemelerinin kısa gösterimleri.....	15
Tablo 3.3. Plastiklerin mekanik özelliklerinin diğer malzeme ve materyaller ile karşılaştırılması.....	17
Tablo 3.4. Genel karakteristik davranış özelliklerine göre plastik malzeme seçimi. ....	18
Tablo 3.5. Termoplastik hammadde malzemelerinin enjeksiyon proses özellikleri.....	20
Tablo 3.6. Plastik hammadde malzeme karakteristiğine ait ısıl dayanım sıcaklık değerleri.....	22
Tablo 3.7. Bazı plastiklerin termal karakteristik ısıl verileri.....	23
Tablo 3.8. Bazı plastik hammadde malzemelerine göre kırılma sıcaklık değerleri... ..	23
Tablo 3.9. Plastiklerde yanma testleri sırasında gözlemlenen karakteristik değişimler .	24
Tablo 3.10. Plastik hammadde ürün kimlikleri adlandırmalarının teknik açılım rehber klavuzu - I.....	25
Tablo 3.11. Plastik hammadde ürün kimlikleri adlandırmalarının teknik açılım rehber klavuzu - II.....	26
Tablo 3.12. Plastik hammaddelerin ticari tanımlamaları ve açıklamalar. ....	26
Tablo 3.13. Teknik bilgi data formu içerik ve kapsamı (TDS - Technical Data Sheet). ..	28
Tablo 3.14. Geri dönüşüm (kıırma) plastik materyal ile ana hammadde karışım yüzdeleri.....	34
Tablo 3.15. Plastik hammadde üreticileri tarafından belirlenen plastik hammadde malzemelerinin kurutma sıcaklıkları ve mal kurutma süreleri. ....	35
Tablo 3.16. Shore sertlik skala değerleri ve cetveli.....	36
Tablo 3.17. Plastiklerde yapıştırma proseslerinde kullanılan çözücü kimyasal maddeler.....	37
Tablo 4.1. Plastik hammadde malzemelerinin kalıp kavite içi mal akış uzunlukları. ....	41
Tablo 4.2. Plastik hammadde malzemelerine göre parça ana duvar et kalınlıkları. ....	43
Tablo 4.3. Plastik malzeme cinsine bağlı mandal kirişlerinin maksimum esneme yüzde oranları.....	46
Tablo 4.4. Plastiklerde vidalı birleştirmeler için göbek (boss) tasarım parametreleri... ..	48
Tablo 4.5. Parçanın kalıptan çıkma açıları ve derinliklere bağlı olarak oluşan ölçüsel fark değerleri.....	53
Tablo 4.6. Doku (tekstüre) derinliklerine bağlı minimum kalıptan çıkma açıları. ....	55
Tablo 4.7. Plastik hammadde malzemelerinin boyutsal ve geometrik çekme yüzdeleri.....	59
Tablo 4.8. Katkı maddelerine göre plastik malzemelerde karakteristik çekme oranlarının etkileşimleri ve değişimleri.....	62
Tablo 4.9. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan termoplastiklerde tercih edilmesi gereken ( $\bar{\tau}$ ) boyutsal geometrik tolerans değerleri.....	63
Tablo 5.1. Kalıp total göz adedi yolluk gramağı ağırlık faktörü parametreleri (m). ....	66
Tablo 5.2. Kalıp insertleri ile parçaların kenar yakınlık ölçüleri ve kalıp seti plaka kalınlıkları.....	67
Tablo 5.3. Enjeksiyon kalıp setinde sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarının derinlik ölçüleri.....	81
Tablo 5.4. Bazı plastik malzemelerin ideal parça kalınlıklarına göre azami soğutma süreleri (sn). ....	87
Tablo 5.5. Kalıp gruplarının ağırlıklarına uygun mapa seçimleri.....	90

Tablo 6.1. Ulusal ve uluslararası standartlar, açık adlandırmaları ve türkçe karşılıkları.	93
Tablo 6.2. Plastik enjeksiyon esnasındaki sabit kalıp sıcaklık değerleri	96
Tablo 6.3. Kalıp setlerinde yer alan diğer kalıp elemanlarında kullanılan bazı çelik malzemelerin DIN normu, simgeleri ve yüzey sertlik değerleri	98
Tablo 6.4. Enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılan çelikler ve kabiliyetleri	99
Tablo 6.5. Kalıp setindeki parçaların materyal seçimi ve işlenebilirlik kabiliyetleri	100
Tablo 6.6. Plastik enjeksiyon kalıp setleri için alaşımsız ve alaşımlı kalıp çelik seçimleri	102
Tablo 6.7. Plastik enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılacak diğer kalıp çeliklerinin seçimi	103
Tablo 6.8. Plastik enjeksiyon kalıp setleri için sertleştirilmiş korozyon dayanımlı paslanmaz takım çelikleri	104
Tablo 6.9. Plastik enjeksiyon kalıpları için özel amaçlı kalıp seti çelikleri	105
Tablo 6.10. Plastik enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılacak yüksek performanslı çelikler	106
Tablo 7.1. Şekil 7.1.'de ki grafiğe bağlı olarak plastik enjeksiyon operasyonel proses basamaklarının ürün kalitesine olan etkileri	111
Tablo 7.2. Plastik ürün gramajlarına uygun ideal enjeksiyon makinesi vida gereksinimleri	113
Tablo 7.3. Plastik enjeksiyon tezgahları sonsuz vida bölgesel ölçü oranları	114
Tablo 7.4. Kalıp seçimindeki kapama kuvveti için sabit çarpan katsayıları (ton/cm <sup>2</sup> )	116
Tablo 7.5. Plastik hammadde malzemelerinin ısı tesiri etkisi altındaki stabil yoğunlukları	117
Tablo 7.6. Plastik enjeksiyon proseslerinde optimal barel ve kalıp sıcaklık değer aralıkları	119
Tablo 7.7. Plastik hammadde malzemelerine ait spesifik enjeksiyon basınç değer aralıkları	122
Tablo 7.8. Plastik enjeksiyon sıkıştırma oranları	123
Tablo 7.9. Polipropilen (PP) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	125
Tablo 7.10. Poliamid 6 (PA6) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	125
Tablo 7.11. Poliamid 6 + %25 GF (PA6+%25GF) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	126
Tablo 7.12. Poliamid 66 (PA66) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	126
Tablo 7.13. Poliamid 66 + Cam Elyaf (PA66+GF) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	127
Tablo 7.14. Poliamid 610 (PA610) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	127
Tablo 7.15. Akrilonitril Butadien Stiren (ABS-Kopolimer) hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu	128
Tablo 7.16. Polikarbonat (PC) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu	128
Tablo 7.17. Alçak Yoğunluklu Polietilen (LDPE) hammadde proses parametre bilgi tablosu	129

Tablo 7.18. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu. ....	129
Tablo 7.19. Polivinil Klorid - Sert (PVC-H) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu. ....	130
Tablo 7.20. Polivinil Klorid - Yumuşak (PVC-W) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu. ....	130
Tablo 7.21. Polikarbonat + Cam Elyaf (PC+GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	131
Tablo 7.22. Polimetilmetakrilat (PMMA) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	131
Tablo 7.23. Poliasetal - Homopolimer (POM-Homopolimer) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	132
Tablo 7.24. Poliasetal + %20 Cam Elyaf (POM + %20 GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	132
Tablo 7.25. Poliasetal - Kopolimer (POM-Kopolimer) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	133
Tablo 7.26. Poliasetal - Kopolimer + Cam Elyaf (POM-Kopolimer+GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	133
Tablo 7.27. Polibutilen Tereftalat (PBTB) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	134
Tablo 7.28. Polibutilen Tereftalat + %30 Cam Elyaf (PBTB + %30 GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	134
Tablo 7.29. Modifiye Femilen Oksit (PPO) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	135
Tablo 7.30. Modifiye Femilen Oksit + Cam Elyaf (PPO + GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	135
Tablo 7.31. Stiren - Akrilonitril Kopolimer (SAN) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	136
Tablo 7.32. Selülozik Asetat (CA) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	136
Tablo 7.33. İmpaktpolistren/Polistren-Butadien (SB) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu. ....	137
Tablo 7.34. Plastik enjeksiyon sırasında karşılaşılabilecek problemler ve hatalar. ....	138
Tablo 7.35. Plastik enjeksiyon sırasında karşılaşılan problemler için spesifik çözüm önerileri. ....	139
Tablo 8.1. Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - I. ....	149
Tablo 8.2. Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - II. ....	150
Tablo 8.3. Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - III. ....	150
Tablo 9.1. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan plastik hammadde malzemeleri için önerilen et kalınlıkları değerleri. ....	155

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1. Plastiklerde kalınlaştırma bölgelerinde uygulanması gereken yumuşak geçiş kesit detayı .....	44
Şekil 4.2. Plastiklerde yer alan göbeklerin dış ana yan duvarlara, desteklerle bağlantısı ve diğer göbek tasarım detayları. ....	45
Şekil 4.3. Mandallı birleştirme (Snap Fit) detaylarında giriş kesit detayı. ....	46
Şekil 4.4. Sökülebilen birleştirmelerde göbek (boss) kesiti tasarım teknik detayı. ....	47
Şekil 4.5. Tekli ve çoklu ara destek, kaburga ve feder tasarım kesitleri teknik görselleri. ....	49
Şekil 4.6. Parçadaki destek ve feder çökmelerini engellemek için alternatif çözüm önerileri.....	50
Şekil 4.7. Köşebent (gusset) ara destekleri ve yerleşim dizayn detayı. ....	51
Şekil 4.8. Plastik parçalardaki delik ve boşaltmaların parça yüzeyinde konumlandırılması .....	52
Şekil 4.9. Kalıp iç koniklikleri reolojik tanımları ve temsili eğim açısı ölçüsel farklılık görseli.....	53
Şekil 4.10. Plastik parçada dış kenar ve iç köşe radyüsleri yuvarlatma değerleri .....	56
Şekil 4.11. Çentik faktörü etkisi ve köşe yuvarlatma radyüs değerleri değişim grafiği .	57
Şekil 5.1. Plastik parçaların kalıp seti dış duvarları ile kenar yakınlık mesafeleri. ....	67
Şekil 5.2. Plastik parçaların kalıp içi üniform konumlandırılması. ....	68
Şekil 5.3. Kalıp grubu merkezleme pimlerinin "hatalı" olarak yerleşimleri.....	69
Şekil 5.4. Çok gözlü kalıp setlerindeki hammadde dağıtıcı kanal tipi örneklemeleri. ...	70
Şekil 5.5. Plastik enjeksiyon kalıp yolluklarının tasarım parametreleri .....	71
Şekil 5.6. Kalıp içi mal akış yollukları kesit tiyoloji ve çeşitleri .....	72
Şekil 5.7. Tünel yolluk giriş kesitleri.....	73
Şekil 5.8. Muz yolluk giriş kesiti.....	74
Şekil 5.9. Kenar tip giriş yolluk formu ve kesiti.....	75
Şekil 5.10. Fan tip giriş yolluk kesiti ve diğer görünümüleri .....	75
Şekil 5.11. Diyagram yolluk kesit görünümü ve kesit detayları.....	76
Şekil 5.12. Kalıp içindeki soğuk malzeme çukurlarının konumlandırılması.....	79
Şekil 5.13. Kalıp içi sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarının örnek yerleşim düzeni. .	80
Şekil 5.14. Plastik enjeksiyon kalıp setlerindeki sıkışmış gaz ve hava tahliye boşluklarının yerleşim düzeni ile dizilimleri .....	80
Şekil 5.15. Soğutma sistemlerindeki kanal bağlantı tiyoloji.....	84
Şekil 5.16. İdeal soğutma sıvısı yerleşim hattı ve dolaşım şablonu .....	84
Şekil 5.17. Soğutma kanallarının kalıptaki delik yerleşimleri.....	86
Şekil 5.18. Montajı tamamlanarak, toplanmış ve enjeksiyon ile baskıya hazır kalıp setinin genel görünümü.....	88
Şekil 5.19. Kalıp grubu taşıma mapası detaylandırılmış temsili görseli .....	90
Şekil 7.1. Plastiklerin kalıp içi reolojik hareketlerine bağlı olarak basınç değişimleri. .	109
Şekil 7.2. Plastik enjeksiyon mal akışında eriyik hammaddenin kabuklaşma evreleri. .	112
Şekil 7.3. Plastik enjeksiyon tezgâhlarındaki sonsuz vidanın bölgesel kısımları. ....	113
Şekil 7.4. Plastik enjeksiyon kalıp yarımı izometrik görünüşüne bağlı olarak kavite projeksiyon iz düşüm alanının belirlenmesi. ....	115
Şekil 7.5. Enjeksiyon tezgâhi beklentildiğinden soğuk yolluk ve düşük mal almadan kaynaklanan, eksik plastik parça baskı hatası.....	140

Şekil 7.6. Kıırma malzeme kullanılarak üretilen plastik parçada görülen çapak oluşumları. ....	142
Şekil 7.7. İlk baskı parçası ve fazla kalıp ayırıcı nüfuziyetinden kaynaklanan birleşim yeri iz oluşumları hatası. ....	143
Şekil 7.8. Polipropilen bir plastik parçada yüksek enjeksiyon basınç ve hızlarından kaynaklanarak, enjeksiyon sırasında yanma reaksiyonu sonrası oluşan yanık izleri. ..	144
Şekil 7.9. Yüksek enjeksiyon hızı ve soğuk kalıp sıcaklıklarından kaynaklanan boşluklu plastik parça. ....	145
Şekil 7.10. Bir plastik parçada oluşan çökme ve çöküntüler. ....	147
Şekil 7.11. Enjeksiyon sonrasında plastik parçada karşılaşılan soyulma hataları. ....	148
Şekil 8.1. Atık plastik materyallerin geri dönüşüm işaretleri ve sembolleri.....	151



## SEMBOLLER LİSTESİ

Bu tez çalışmasında kullanılan semboller, simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

<b>t</b>	: Zaman (s)
<b>Dk</b>	: Dakika
<b>S</b>	: Saniye
<b>V</b>	: Hacim (cm <sup>3</sup> )
<b>m</b>	: Kütle (kg)
<b>Kg</b>	: Kilogram
<b>M</b>	: Metre
<b>Mm</b>	: Milimetre
<b>°C</b>	: Santigrat Derece
<b>P</b>	: Basınç (bar)
<b>σ</b>	: Çekme Gerilmesi (MPa)
<b>E</b>	: Elastikiyet Modülü (MPa)
<b>N</b>	: Newton
<b>Re</b>	: Reynold Sayısı
<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	: Gram/ Santimetreküp
<b>kJ/m<sup>2</sup></b>	: Kilojul/ Metrekare
<b>N</b>	: Devir Sayısı
<b>A</b>	: Baskıyla Temas Halindeki Toplam Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )
<b>G</b>	: Göz Adedi
<b>Hm</b>	: Enjeksiyon Ocağının Dakikada Eritebildiği Hammadde Miktarı
<b>p</b>	: Bir Adet Plastik Parçanın Kütlesi
<b>Tg</b>	: Camsı geçiş sıcaklığı
<b>Ti</b>	: Enjeksiyon Sıcaklığı

## KISALTMALAR

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>DIN</b>	: Alman Standartlar Enstitüsü
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
<b>CAE</b>	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
<b>CAD</b>	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
<b>CAM</b>	: Bilgisayar Destekli Üretim
<b>CNC</b>	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Numerik Kontrol)
<b>FEA</b>	: Sonlu Elemanlar Analizi
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PA</b>	: Poliamid (Naylon)
<b>ABS</b>	: Akrlonitril Bütadien Stiren
<b>PC</b>	: Polikarbonat
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>AYPE</b>	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
<b>YYPE</b>	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>PET</b>	: Polietilen Tereftalat
<b>PVC</b>	: Polivinil Klorür
<b>PVC-S</b>	: Sert Polivinil Klorür
<b>PVC-Y</b>	: Yumuşak Polivinil Klorür
<b>PMMA</b>	: Polimetilmetakrilat
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>POM</b>	: Polioksimetilen
<b>PEEK</b>	: Polieter Eter Keton
<b>PU</b>	: Poliüretan
<b>SAN</b>	: Stiren Akrlonitril
<b>CA</b>	: Selüloz Asetat
<b>MFI</b>	: Melt Flow İndeks (Ergiyik Akış İndeksi)
<b>TDS</b>	: Technical Data Sheet (Teknik Bilgi Formu)
<b>HRC</b>	: Rockwell Sertlik Değeri
<b>K.A.Ç.</b>	: Kalıp Ayrım/Açılma Çizgisi
<b>K.A.Y.</b>	: Kalıp Ayrım Yüzeyi
<b>N.Ş.A.</b>	: Normal Şartlar Altında
<b>TPM</b>	: Total Productive Maintenance (Toplam Verimli Yönetim/Bakım)
<b>TKYS</b>	: Temizlik-Kontrol-Yağlama-Sıkma
<b>TKYS-D</b>	: Temizlik-Kontrol-Yağlama-Sıkma ve Değişim
<b>FDA</b>	: Food and Drug Administration/Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
<b>WEEE</b>	: Waste Electrical and Electronic Equipment - Atık Elektrikli ve Elektronik Cihazlar

## 1. GİRİŞ

Plastik malzemeler insan beyninin şartlandığı kısıtlamalar göz önünde bulundurularak geliştirilmeye oldukça elverişli, kullanım alanları bakımından ise sektörel yelpazenin oldukça geniş olduğu hammadde kaynaklarındandır. Plastik malzemelerin mühendislik açısından kararsız davranışlar sergiledikleri oldukça iyi bilinmektedir. Bu bağlamda parça üretimindeki ölçü standartizasyonu, kozmetik görünüş ve fonksiyonellik beklentileri açısından spesifik olarak kararlı bir ürün eldesi açıkçası her zaman mümkün olmamaktadır.

Farklı istek ve ihtiyaçları karşılayabilecek çok sayıda plastik malzeme türünün var oluşu ile bu duruma ek olarak plastik parçalardan beklenen özelliklerin ve kullanım amaçlarına göre çok geniş bir tür çeşitlilik yelpazesinin bulunması plastiklerin tercih edilmesindeki en önemli sebeplerdendir. Diğer yandan gün geçtikçe çağımızın en önemli hammadde malzemeleri arasında hızla yerini almaya başlamış; bilimsel özel çalışmalarından, günlük kullanım alanlarına kadar birçok alanda aktif olarak baş rollerde görülmeye başlanmıştır.

Teknolojik gelişmeler ile birlikte kullanım alanları ve önemi giderek artan plastik malzemelerin bilinen yaklaşık olarak yirmi bin civarında üretime elverişli hammadde granül türünün varoluşu tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra değişken ihtiyaç ve istek taleplerine göre bu sayı plastik malzeme reçete değişikliklerine bağlı sürekli olarak artış göstermektedir.

Plastik parçanın geometrik toleransları, kozmetik dış görünüş ve yüzey pürüzlülükleri, çalışma koşulları ve yükleme durumları ile ilgili istenilen özellikler tam olarak belirlendikten sonra tasarımcılar modellediği plastik parçalar için kullanılacak en ideal plastik hammadde malzemesini önceden belirlemelidir.

Plastik parça modelinin ilkel girdilerinin ilk oluşumları ve sonuçlarının yorumlanabilmesi; geleneksel yöntemler ve geçmişte elde edilen deneysel kazanımlar ve tecrübelerden günümüzde halen yararlanılmaktadır. Ancak katma değeri yüksek, optimum tasarım detaylarına sahip plastik ürünlerin arz ve talep dengesinin gelecekte daha hızlı bir şekilde artması beklenilmektedir. Diğer taraftan plastik hammadde malzemelerinin kullanımının gün geçtikçe hızla yaygınlaşmasına bağlı olarak optimum yüksek performanslı plastik parça tasarımlarının daha çok önem kazanacağı açıkça görülmektedir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında literatürde ki veriler kullanılarak plastik parça tasarım parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak bir plastik parçanın ortaya çıkma sürecinde ürünün doğuşu, modelleme safhaları ile başlamaktadır. Tasarımcı; parçanın kullanım amacına yönelik mukavemet, rijitlik, fonksiyonellik, işlevsellik, kozmetik dış görünüş ve diğer çalışma koşulları ile birlikte tüm maliyet unsurlarını göz önünde bulundurarak plastik parçanın modelini oluşturmaktadır. Ancak son zamanlarda bilgisayar destekli tasarım (CAD) yardımıyla daha hızlı optimal parça üretimi yapılabilmesi oldukça kolaylaşmıştır. Bilgisayar destekli tasarımın yaygınlaşması ile birlikte ise parçaların geleneksel yöntemlere nazaran daha karmaşık ve kompleks olarak üretilebilmelerine imkan sunulmuştur.

Kalıpcılık sektöründe; geçmişten gelen tecrübe, deneyim, yetkinlik, bilgi birikimleri ve geleneksel çözüm yöntemleri ile elde edilen kazanımlar oldukça önem teşkil etmektedir. Ancak halen günümüzde geleneksel yöntemlerle ve deneysel tecrübelerle dayalı olarak edinilen bilgi birikimleriyle kalıp setlerinin tasarımları yapılmaktadır.

Plastik parça üretimini doğrudan etkileyen bir diğer önemli husus ise plastik mamülün enjeksiyon tezgahlarında basılacağı kalıp seti ve tamamını kapsayan kalıp grubunun tasarım proseslerinin optimizasyonu yapılarak, yüksek kalitede optimum plastik parça üretiminin gerçekleştirilmesidir. Diğer yandan kalıp grubundan kaynaklanan hataların telafisinin oldukça zor olmasının yanı sıra hatta bazen kalıp yarımları doğrudan hurdaya ayrılabilir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında kalıp tasarım parametrelerinin optimizasyonları gerçekleştirilecektir.

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) ve Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE); tüm üretim süreçlerinde kullanılmalarıyla birlikte katı ve yüzey modelleme, parametrik dizayn ve analiz süreçleri gibi plastik parça üretimini doğrudan etkileyen süreçlerin optimizasyonu ile üretim faaliyetlerinin minimize edilmesinin yanı sıra hata olasılıkları en aza indirgenerek, yüksek kalite standartlarında ürün eldesi mümkündür. Bu doğrultuda optimum modellenmiş bir kalıp setinden; minimum hatayla kısa sürede efektif maksimum sayıda plastik parça üretilmesi beklenmektedir.

Enjeksiyon tesislerinde ilk yatırım maliyetlerinin oldukça büyük bir kısmını direkt olarak oluşturan, istenilen özelliklere haiz enjeksiyon makine ve tezgah seçim safhalarında maksimum operasyonel proses koşullarını sağlayabilecek donanımda ve nitelikte enjeksiyon tezgah seçimlerinin yapılması oldukça önem teşkil etmektedir. Diğer taraftan enjeksiyon makinelerinin ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksek olması

sebebiyle üretilecek plastik parça az sayıda ise enjeksiyon ile imalat yöntemi ekonomik değildir.

Plastik enjeksiyon parametrelerinin hangilerinin ürün kalitesini nasıl etkilediği belirlendiği takdirde oluşabilecek hata ve kalite problemleri önceden ortadan kaldırılabılır. Ancak proses parametrelerinin tespitinin önceden yapılabilmesi spesifik olarak tüm parametreler birbirleriyle ilişkili ve doğrudan bağlantılı olduğundan oldukça zordur.

Üretilecek plastik parça kalitesini etkileyen enjeksiyon parametrelerinin tümünün eş zamanlı olarak kontrol altında tutulması pek mümkün değildir. Fakat diğer taraftan sıcaklık, basınç, zaman ve hız gibi hayati önem taşıyan parametre değerlerinin stabilizasyonu oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda enjeksiyon parametrelerinin güvenli değer aralıklarının belirlenmesi ile parametre optimizasyonlarının plastik parçadan beklenen karakteristik özellikler üzerine olan etkileri detaylı olarak araştırılacaktır. Aynı zamanda çalışma kapsamındaki bir diğer temel amaç ise teorik ve deneysel proses parametre değerlerinin optimize edilerek, gerçek plastik enjeksiyon üretim süreçlerinde faal olarak kullanılması hedeflenmektedir.

Enjeksiyon parametrelerinin optimize edilerek, yüksek kalite standartlarında plastik parça üretilmesiyle ülke ekonomisine yapılacak katma değer artırılması için gerekli olan arka plandaki kurgulara ait optimizasyon çalışmaları oldukça önem teşkil etmektedir. Ancak plastik enjeksiyon proseslerinin kapsamlı olarak incelenmesi hususunda yapılan literatür araştırmaları sonucunda oldukça az sayıda çalışma yapıldığı tespit edilmiş olup, yapılan diğer çalışmalarda ise yine plastik enjeksiyon proseslerinin detaylı olarak incelenmediği gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında literatürdeki diğer kaynaklarda göz önünde bulundurularak, plastik enjeksiyon parametreleri detaylı olarak analiz edilecektir. Ayrıca yine tez çalışması kapsamında endüstride yaygın olarak kullanılan farklı plastik hammadde türlerine özel proses parametrelerinin oluşturulması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak istenilen karakteristik özelliklere haiz optimum plastik parça üretim süreçlerinde, maksimum verim elde etmek amacıyla; parça tasarımı, hammadde malzeme seçimi, kalıp seti tasarım süreçleri, kalıp grubunun malzeme seçimleri ve plastik enjeksiyon tezgahlarının operasyonel proses parametreleri optimize edilmelidir. Bu bağlamda plastik enjeksiyon parametrelerinin optimizasyon verilerini içeren rehber klavuz, bu tez çalışması sonucunda oluşturulması hedeflenmektedir. Ayrıca bu tez çalışmasının literatürde oldukça önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE LİTERATÜR TARAMASI

Plastik enjeksiyon yöntemleri ile kalıplamanın en önemli avantajı, karmaşık geometriye sahip parçaların kontrollü bir kalıplama kurgusu ile herhangi bir son işleme prosesine gerek kalmaksızın tek bir operasyonda kullanıma hazır olarak üretilmesidir. Üretilen plastik parçaların karakteristik davranış ve özellikleri; plastik hammadde malzemesi, parça ve kalıp seti tasarımı, proses kurgusundaki parametrik fonksiyonlar ve değişkenlere doğrudan bağlantılıdır. Plastik üretiminde parçanın ideal nihai son şekli verildikten sonra ikinci bir imalat operasyonu yapılmasına gerek duyulmaması diğer imal usullerinden farklı kılan en önemli avantajlarından biridir [1].

Plastiklerin mekanik özelliklerini koruyabilmesi ve yapısal absorpsiyon için geri dönüşüm ile yeniden kazanım yapılan atık ıskarta materyallerinde oldukça önemli olduğu vurgulandı. Ayrıca geri dönüşüm yöntemleriyle tekrardan elde edilen plastik malzemelere nitelik kazandırmanın öneminden bahsedildi. Yapmış olduğu çalışmalarda, endüstride yaygın olarak tercih edilen %40 kalsit (kalsiyum karbonat) katkı maddeli polipropilen plastik malzemenin yeniden kazanım ve geri dönüşüm mantık çerçevesinde tekrardan kullanımını sağlayarak, deneysel yöntemlerle incelendi ve çeşitli analizler yapıldı. Çalışmış olduğu malzemenin geri dönüşüm teknikleriyle elde edilmesi sonrası mekanik özelliklerini analiz etmek amacıyla çeşitli şahit numuneler hazırlandı. %100 geri dönüşümü yapılamayan malzemelerle sırasıyla; %5, %10, %15, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında, sadece bir kez geri dönüşüm yapılmış olan malzemeleri karışım yaptıktan sonra alınan numunelere farklı mekanik testler uygulandı. Hazırlanan şahit numunelere; standart normal çekme, kaynak bölge çekmesi, üç noktadan eğme testi ve izod çentik darbe deneyi ve testleri uygulandı. Bu test sonuçlarına bakılarak, malzemelerin mekanik değişimleri tespit edildi ve plastik parçaların kullanılacağı yerlere göre geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz kırma plastik malzeme seçimi için bir uygunluk skala indeksi cetveli oluşturuldu. Geri dönüşüm yapılarak elde edilen plastik malzemelerden alınan şahit test numunelerinde; darbe dayanımının azaldığı, ancak eğme ve çekme yüzdelerinin ise dikkate değer seviyelerde olumlu ya da olumsuz olarak herhangi bir sonuç ile karşılaşılmadığı elde edilen bulgular ile ispatlandı [2].

Rastgele kopolimer malzemelerin mekanik özellikleri değişken proses parametreleri ile entegre edilerek, oluşturulan çeşitli farklı varyasyonlar analiz edildi. Masterbatch kullanım miktarının random kopolimerlerin akışkanlık üzerindeki etkileri

detaylı olarak incelendi. Karışım oranlarında her yüzdelik masterbatch katkı seviyesinde gözlemlenen farklı mekanik davranış değişiklikleri ve enjeksiyon ile kalıplama süreç değişimleri analiz edildi. Polimer malzemelerin içeriğine katılan katkı materyallerinin türleri, karışım yüzdeleri, karışım operasyonları ve işleme metodolojisi; hangi tür polimer malzeme inceleniyorsa mekanik özelliklerinin doğrudan etkilediği yapılan çalışmada vurgulandı. Ayrıca polimer malzemelerin depolama ve muhafaza sürelerinin, malzeme özellikleri üzerindeki etkileri incelendi. Uygulanacak testler için alınan şahit numunelere; çekme testi, Charpy darbe testi, DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) testi, Shore D testi, Vicat yumuşama sıcaklıkları testi, camsı geçiş sıcaklığı test sonuçları ayrıntılı bir şekilde değerlendirildi [3].

Polipropilen ve polietilen kökenli plastiklerin diğer polimer malzemelerle karşılaştırılması yapılarak, operasyonel prosesler ve üretim sürecindeki ısı yayılımlar detaylı olarak analiz edildi. Üretim proseslerinin incelenmesinin yanı sıra kabarcık, yanık, tüylenme gibi istenmeyen enjeksiyon sonrası oluşan hataları ve aynı zamanda bu hataların ana kaynağında eliminasyon yöntemleri ile tespit edildi. Plastik parçaların üretimi sırasında total soğutma süresinin, toplam parça kalıplama operasyonel sürecinin %70'ni oluşturduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkarıldı. Üretimi hedeflenen polimer esaslı plastik malzemenin üretim metodolojisi ile proses sıcaklıkları, kalıp ve diğer enjeksiyon tezgah parametrelerinin plastik materyal ve malzemeyi doğrudan etkileyen ana temel faktörler olduğu belirlendi [4].

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) plastik hammadde malzemesinin kalıp içi boşluklarda mal akışı esnasında dört farklı eriyik ve kalıp seti sıcaklıkları kullanılarak; eriyik plastik hammadde ve kalıp malzemelerinin ısı tesir özellikleri sabit tutulup, plastik üretim prosesleri sonrasında katılma sonucunda meydana gelen katman tabakalarının oluşum tesir etkilerinin, sayısal ve matematiksel modellemeleri ile çeşitli analizler yapıldı. Alçak yoğunluklu polietilen plastik polimer malzemenin camsı geçiş sıcaklığı referans kabul edilerek; Moldflow yazılımı ile sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak elde edilen analiz çözümlerinden katılmış katmanların oluşum senaryoları belirlendi. Katılmış katmanların oluşumunu en çok enjeksiyon hızı başta olmak üzere ve ikinci derecede ise kalıp sıcaklık etkisinin oldukça önemli olduğu, diğer taraftan yapılan analizler ve tespitler sonucunda en az etkinin eriyik plastik hammadde sıcaklık parametre değişikliklerinden kaynaklandığı gözlemlendi [5].

Başlıca plastik ürün imalat operasyonlarını kapsayan üretim yöntemi olan plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemi ve bu yönteme en uygun plastik hammadde malzemeleri araştırıldı. Bu bağlamda, plastik parça üretimi yapılan enjeksiyon tezgahlarında oluşabilecek olası mekanik ve hidrolik mekanizma arızaları ve dolayısıyla üretilen ürünlerdeki mikro ve makro boyuttaki hataların giderilmesi için alınması gereken önlemler detaylı olarak irdelendi ve açıklandı. Plastik parçalardaki çekme oranının en önemli faktörlerden biri olduğu ve hesaplamalar yapılırken dikkat edilmesi gerektiği hususunun önemi belirtildi. Plastik enjeksiyon ile kalıplama sürecinde parametrik kuvvet değerleri, basınç faktörleri ve proses sürelerinin plastik parça çekme miktarına olan etkileri detaylı olarak açıklandı. Aynı zamanda belirtilen spesifik faktörlerin efektif plastik parça üretim verimliliğine olan etkilerine detaylı olarak değinildi [6].

Can C., 2008, tarafından her plastik enjeksiyon ile kalıplama prosesleri sonrasında imalatı gerçekleştirilen plastik parçanın tasarım, modelleme, simülasyon ve optimizasyon prosesleri detaylı olarak incelendi. Akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve polipropilen (PP) termoplastik malzemeler baz alınarak, CAD (Bilgisayar Destekli Dizayn) ortamındaki tasarımları Solidworks paket programında gerçekleştirildi. Enjeksiyon proseslerindeki yetersizliklerin tahmin iterasyonları ve plastik yüzeyinde oluşabilecek hataların analizi ve diğer optimizasyon çalışmalarında Cosmosworks CAE programından yararlanıldı. Parçanın kalıptan çıkma açısı, ideal mal giriş noktası, optimal soğuma karakteristiği, soğutma sistem zamanlaması ve öte yandan ürün yüzey kalitesi gibi proses parametre analizleri çözümlendi. Tüm bu analizlerin sonucunda plastik parçanın kalıp tasarımı öncesindeki öngörülen revizyon ve optimizasyon çalışmalarını gerçekleştirdi [7].

Yapılan çalışmada, enjeksiyon yöntemi ile kalıplama suretiyle kalıp sisteminin tersine mühendislik çalışmalarının bilgisayar destekli simülasyonu (CAE) yapılmasının önemi vurgulanarak çeşitli örneklemelerle CAE yardımıyla kalıp seti modelleri hazırlandı. Akış modellemeleri ve ısı transferi hesaplamalarında Hele-Shaw matematiksel modeli kullanılarak, çeşitli çözümler yapıldı. Örnek diğer uygulamalarda kalıp geometrisinin Pro Engineer CAD programında modellemeleri yapıldı. Visual Basic 5 programlama diliyle basınç değişikliklerini hesaplayan bir program algoritması ve yazımı yapıldı. Tasarım ve modellemesi tamamlanan kalıp seti, C-Mold analiz programında çözümlendirildi ve ideal sonuçların elde edilmesi için

gerekli olan optimum duvar kalınlıklarının seçimi hakkında çeşitli çalışmalar sürdürüldü [8].

Günümüzde plastik parça üretiminde en yaygın olarak kullanılan metot enjeksiyon ile kalıplama yöntemleridir. Karmaşık ve spesifik geometrik forma sahip plastik parçaların yüksek adetlerde ve seri olarak üretiminde kullanılan en yaygın yöntem plastik enjeksiyon ile imalat yöntemidir. Plastik enjeksiyon işlemlerinin temeli oldukça basit prosesler bütününe kapsamaktadır. Plastik enjeksiyon süreci; plastik hammadde, kalıp seti ve enjeksiyon tezgahlarının entegre olarak bir arada akuple gerçekleştirildiği bir üretim sürecinin bütününe kapsamaktadır.

Plastik enjeksiyon sürecinde, plastik parça üretimini etkileyen birçok operasyonel parametre bulunmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalara göre bu parametrelerin enjeksiyon prosesi üzerinde önemli etkilerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. İlk bakışta sıcaklık, basınç, zaman ve hız gibi ana parametrelerin oldukça önemli olduğu bariz bir şekilde görülmektedir. Ancak plastik enjeksiyonda sadece sıcaklık parametresi tek başına herhangi bir anlam ifade etmediği gibi bunun diğer alt parametreleri olan plastik hammadde depolama ortam sıcaklıkları, hammadde kurutma sıcaklığı, ocaktaki eriyik plastik hammadde sıcaklığı, kalıp setinin sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, dış ortam üretim sahası ve tesis sıcaklıkları gibi diğer alt parametrelere operasyonel süreçlerde ve hesaplamalarda dikkat edilmesi oldukça önem taşımaktadır. Diğer taraftan basınç hadisesinde ise bir veya daha fazla kademelerde gerçekleştirilebilen enjeksiyon basıncı, tutma basıncı, geri basınç ve kilitleme basıncı gibi parametrelerin etkilediği fonksiyonel özelliklerin oldukça iyi bilinmesi gerekmektedir. Hız denildiğinde ise enjeksiyon hızı ilk akla gelen parametredir ancak bununla birlikte mal besleme hızı da dikkat edilmesi gereken önemli diğer alt parametrelerdendir. Aynı şekilde zaman içinde akla gelen bir diğer parametre ise plastik enjeksiyon makinesinin kalıp açma kapama süresine bağlı zaman parametresidir, fakat bu zamanı oluşturan ve bunlara bağlı diğer parametrelerin olduğu unutulmamalıdır. Bu parametrelerin varyasyonları kalıp boşluklarının istenilen seviyede dolumuna bağlı olarak üretilen plastik parçanın ölçüsel ve mekanik karakteristik ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir [9].

Plastik enjeksiyon sırasında kalıp seti kavite boşlukları içerisinde ergimiş plastik malzemelerin karakteristik davranışlarının; sıcaklık, hız ve basınç gibi hammadde mal akışını doğrudan etkileyen özelliklerin belirlenmesinde non-linear Navier-Stokes

denklemlerinden faydalanılarak sayısal çözümler yapıldı. Kalıp grubu hammadde dolmuş hacminin iki boyutlu olarak incelendiği yapılan çalışmada, Phoenics programında çeşitli çözümler yapıldı, Boussinesq yaklaşımına göre yoğunluk değişimleri hesaplandı, plastik malzemenin kalıp iç boşluğuna dolmuş senaryoları simüle edildi. Kalıp iç boşluklarına akan ergimiş plastik, proses esnasında kalıp yüzeylerine temas ettiğinde ısı transferi hadisesine bağlı olarak sıcaklık kayıplarının yaşandığı gözlemlendi. Navier-Stokes denklemlerinden faydalanılarak, yapılan analiz çalışmalarında ergimiş plastik hammadde-zaman grafiğine bağlı olarak hammaddenin kalıp kavite boşluklarına karakteristik dolmuş tipolojileri belirlendi [10].

Plastik enjeksiyon prosesinde; kalıp kavite boşluklarına eriyik hammadde malzemesinin akarak dolması ve yüksek basınç altında kalıp iç boşluklarının tam olarak şeklinin alınması sonrasında katılaşma hadisesi gerçekleşmektedir. Diğer yandan enjeksiyon proseslerinde farklı alt parametrelerde bulunmaktadır. Bu parametrelerin birbirleri ile olan etkileşimlerini anlamak oldukça spesifik, karmaşık ve bir o kadarda zordur. Ayrıca yapılan çalışma kapsamında, termoplastik malzemelerin enjeksiyon kalıp parametrelerine etkisini incelemek için dijital ortamda üst düzey sistemler kullanıldı ve bu sistemler aracılığıyla optimum kalıp göz sayıları tayin edildi [11].

Kalıp iç boşluklarındaki plastik hammadde mal akışında, tek noktadan hammadde girişi ya da birden fazla çoklu mal akışı esnasındaki kalıp setinde meydana gelen değişikliklerin bilgisayar ortamında matematiksel modellemeleri yapıldı. Geleneksel Hele-Shaw klasik denklemleri, temel dönüş denklem takımları ve Hausdorff ara mesafe yöntemi denklemlerinden faydalanılarak matematiksel modellemeler oluşturuldu. Bilgisayar ortamında oluşturulan matematiksel model yardımıyla iki boyutlu analiz neticeleri detaylı olarak değerlendirildi ve analiz edildi [12].

Teknolojinin endüstriyel uygulamalar ile entegre edilmesi ve ayrıca yapay zeka algoritması ile istenilen özelliklere haiz malzeme üretimi hususunda çeşitli çalışmalar yapıldı. Kalıp seti iç hacmine malın akışı ve dolmuş süreci, paketleme işlemi ve soğutma basamakları detaylı bir şekilde analiz edildi. Bu kapsamda yapılan incelemelerde Newton 2. yasası, enerji denklemleri, momentum kuramı, süreklilik (devamlılık) denklemleri, kabul denklemleri olarak kullanıldı. Süreklilik denklem serilerinde akmaya karşı gösterilen direnç olan viskozitenin sıkıştırılabilir olduğu, momentum denklem takımında ise viskozitenin sıkıştırılmaz olduğu varsayılarak, bu bağlamda çeşitli kabuller yapıldı. Ek olarak kalıp setinin dolmuş süreç aşamalarında laminar olduğuna

dair varsayımlar kabul edildi. Hacim, ısı ve basınç gibi karakteristik davranışlarında Taite denklem takımından yararlanılarak, çeşitli çözümler yapıldı. Kalıp setinin yanal yüzeylerinin eşit sıcaklıkta olduğu kabul edildi ve soğuma kademelerinde belirsiz sıcaklık transferi ve iletimler varsayıldı. Diğer yandan kavite basınç problemleri ise Hagen-Poisellei hesaplamaları yardımıyla çözümlendi ve elde edilen sonuçlar değerlendirildi [13].

Mevsimsel değişiklikler dikkate alınarak, plastik enjeksiyon esnasında sıcak ana eriyik hammaddenin soğutulma ihtiyacı, soğutma tesisatı sisteminin kapasite yükü ve soğutma hattı çalışma prensipleri incelendi ve elde edilen sonuçlar analiz edildi. Enjeksiyon tezgahlarındaki sıvı soğutma sistemleri; soğutma kulesi, chiller, dry cooling, freecooling gibi soğutma sistem parçaları ve temel bileşenleri detaylı olarak araştırıldı. Ayrıca ideal soğutma suyu sıcaklığı, total soğutma yükü ve soğutucu akışkanın kalıp tesisat dolaşım hattı ile debi hesaplamaları yapıldı ve yapılan hesaplamaların yatırım maliyetleri açısından önemi detaylı bir şekilde analiz edildi [14].

Plastik enjeksiyon kalıp setlerinde soğutma sisteminin amacının, plastik enjeksiyon ile kalıplama proseslerinde optimal regülasyonu sağlamak olduğu vurgulandı. Sıcak eriyik plastik hammaddenin, kalıp grubu içine dolar dolmaz soğumaya bağlı olarak katılma sürecinin hızla başladığı ve daha sonrasında ise ısının soğutma sistemi içinden dağıtılarak, katılmanın devam ettiği belirlendi. Polimer malzemenin soğutma operasyonunun kalıp setindeki yatay alt soğutma kanallarından akan soğutma suyu ile gerçekleştirildiği ifade edildi. Kalıp dizaynında soğutma kanallarının konumunu, kanal kesit şekillerinin ve kanal geometrisinin soğutma prosesi üzerindeki etkilerini ve soğutucu akışkanın soğutma hızının oldukça önemli olduğu ifade edildi. Elde edilen veriler ve bulgular incelenerek gerekli olan minimum soğutma kapasitesi ve soğutma yükü ihtiyaçları belirlendi. Ayrıca soğutma kanallarının parça baskı yüzeyine yaklaştıkça, soğutma sistemi verimliliğinin arttığı gözlemlendi [15].

Optimum plastik ürün çıktısı elde etmek amacıyla enjeksiyon ile üretim yöntemlerinin kalıplama teknolojileri için özel bir program yazıldı ve çalışma kapsamında geliştirildi. Program çıktıları ve sonuçlar geometrik ve teknik datalar olduğu için her iki konuyu bilimsel olarak çalışacakların faydalanabilecekleri diğer sonuçlarda elde edildi. Geleneksel klasik yöntemler ile 128 saatte optimum çıktılar elde edilirken, hazırlanan program yardımıyla yaklaşık olarak 29,7 saatte ideal ürün eldesi gerçekleştirilebileceği tespit edildi [16].

Yapılan çalışma kapsamında birbirinden farklı şekil, geometri ve boyutsal büyüklükteki plastik parçaların enjeksiyon ile üretimleri sonrasında meydana gelen çökme ve eğrilik indeks proses parametreleri Taguchi optimizasyon metotları kullanılarak, bu olumsuz etmenlerin minimuma indirgenmesi amaçlandı. Bu kapsamda hammadde ergime sıcaklık değerleri, kalıp sıcaklığı ve paketlenme basıncı proses parametrelerine ek olarak kesit tipolojisi ve açısal değerler ile çökme, çöküntü ve eğrilik değerlerinin değişimleri gözlemlendi. Polioksümetilen (POM), Polyamid 66 (PA 66) ve Polikarbonat/Akrilonitril Bütadiyen Stiren (PC/ABS) polimer yapıları plastik malzemeler dikkate alınarak; 3 mertebeli faktöriyel analizi Taguchi yönteminden yararlanılarak uygulandı. Süreç parametrelerinin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama analiz sonuçlarında Taguchi yönteminden elde edilen sonuçların oldukça etkin ve efektif olduğu ispatlandı. Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan termoplastik parçaların kalite problemleri ve hata analizlerinde oldukça iyi ve optimal doğru sonuçların elde edildiği saptandı [17].

Plastik enjeksiyon ile baskı sonrasında sıklıkla gözlemlenebilen hata çeşidi olarak istenmeyen çapaklanma oluşumları olduğu belirtildi. Değişken plastik enjeksiyon parametreleri seçildikten sonra termoplastik esaslı hammadde malzemeleri ile plastik parça üretimleri gerçekleştirildi. Matlab programı kullanılarak, özel olarak dizayn edilmiş görüntü alma düzeneği vasıtasıyla baskı sonrasında parça yüzeylerinde oluşan çapak oluşumları ve çapaklanma miktarları ölçüldü. Çapaklanma oluşumlarını doğrudan etkileyen parametreler detaylı olarak analiz edildi, optimum enjeksiyon parametrelerinin tayini ve tespiti yapıldı [18].

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında plastik parçalardan beklenen ve istenilen özelliklere haiz enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle baskı alınması amacıyla gerekli optimum parametrik verilerin tespitinde birçok metot ve yöntem geliştirilmiştir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında literatürde ki verilerde kullanılarak plastik parça tasarım parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilirken; diğer taraftan enjeksiyon tezgahlarının proses parametre değerleri gibi konuların her biri ayrı ayrı analiz edilecektir ve ayrıca enjeksiyon ile kalıplama teknikleriyle üretilen plastikler kapsamlı olarak bir bütün halinde ele alınacaktır.

### 3. PLASTİK HAMMADDE MALZEME VE MATERYAL SEÇİM KRİTERLERİ

Mühendisler; malzemeleri, "Bir teknik fikri gerçekleştirmedeki kullanılan cisimler." olarak tanımlamaktadırlar. Teknolojik ilerlemeler ile malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi sayesinde günümüzde oldukça iyi seviyelere ulaşılmıştır. Uluslararası platformlarda ülkeler arası anlaşmazlıklar ve sonrasındaki savaşlar malzeme dünyasının geliştirilmesinde oldukça büyük rol oynamıştır. Ancak bugün, büyük çoğunlukla petrol bazlı endüstriye dayalı plastik üretim tesis kurulumları ve enjeksiyon hatlarının ilk yatırım maliyetleri oldukça fazladır.

#### 3.1. Plastik Malzemelerin Tarihçesi

Çok eski çağlarda polimer esaslı materyallerin başında nişasta, selüloz ve doğal bitkisel kauçuk gibi polimerler kullanılmıştır. Doğada bulunan polimerler; fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik yetersizliklerinden ötürü yarı sentetik ve daha sonralarda sentetik esaslı polimerlerle yer değiştirdi. 1863 yılında S.Hyatt tarafından geliştirilen pamuk selülozundan yarı sentetik selüloidi ilk polimer olarak kabul edilmektedir.

Plastikler dünyası yaklaşık olarak 150 yıl öncesinde 1868 yılında sentetik nitroselülozun ticari olarak üretimi ile başladığı kabul edilmektedir. Tarihi kronolojik süreç takibinde fenol-formaldehit esaslı polimer plastikler ikinci sentetikler olarak geliştirildi. Bu ve bunların akabinde diğer plastiklerin yapı taşları ve hammaddeleri olan polimerler, 19. yüzyılın ikinci yarısında laboratuvar ortamında yapılan bazı deneme çalışmaları sonucunda birçoğu tesadüfen bulundu.

Tabi ki bütün bu gelişmeler sırasında plastik dünyasına açılan ilk ve en önemli pencere Amerikalı bir iş adamının iyi bir bilardo topu yaptırma isteği ve bu hadiseye büyük maddi bir ödül koyması üzerine, "BAEKELAND" tarafından sentezlenmesi yapılan fenol-formaldehit reçinesi (Bakelit) ile plastik serüveninin başlamasıdır. Bu olaydan günümüze kadar hızlı bir süreçte çeşitli araştırmalar ve yatırımlar yapılarak üstün nitelikli plastikler, kütleli üretimler ile global dünya pazarına sürülmesi hız kazanmıştır. Böylece sanayi devrimi içinde plastik malzemeler layık oldukları yeri ve konumu aldı.

1835 yılında Regnault; diklor etan ve potas olarak adlandırılan iki farklı malzemenin tepkimesi sonucu oluşan ürünlerden herhangi birinin güneş altında beyaz bir toza dönüştüğünü keşfetmesiyle PVC (Polivinil Klorür) plastik malzemenin temelleri atıldı. 1915 yılında vinil asetat ile vinil klorid karıştırılarak daha kolay

kalıplanabilen bir hammadde malzemesi keşfedildi. Modern anlamda 1989'da plastik endüstrisi L. Baekeland tarafından bakalit üretilmesi ile başladı. 1924 yılına kadar polimer yapıların "Koloid Agregat" formunda bulunan küçük moleküllerden oluştuğu sanılmaktaydı. Ancak H.Staudinger yaptığı büyük çaptaki çalışma ve incelemelerden sonuç olarak plastiklerin zincir şeklinde kovalent bağlı makromoleküllerden meydana geldiğini kanıtladı. Polimer sanayisinde yaşanan hızlı gelişmeler ve 1927'de CA (Selüloz Asetat) ve PVC (Polivinil Klorür), 1928 yılına gelindiğinde ise PMMA (Polimetil Metakrilat), 1929'da da üre-formaldehit reçineleri bulundu. 1930 yılında PVC; A.B.D.'de elektrik kablolarında yalıtım amacıyla kullanılması çalışmaları başladı. 1934'te RÖHM firması ilk kez pleksi glass levha üretimini başardı. 1932'de PE (Polietilen), 1934'de PA (Poliamid-Naylon), PAN (Poliakrilonitril), SAN (Stiren Akrlonitril) ve PVA (Polivinil Asetat), 1937'de PUR (Poliüretan), 1939'da teflon ticareti adlandırması ile bilinen PTFE (Politetraflor Etilen-Teflon), 1940'ta A.B.D.'de ilk naylon çorap ve iç çamaşırı üretimi yapıldı. 1941 yılında orlon ticari adıyla bilinen PAN (Poliakrilonitril) Fiber ticari üretimi gerçekleştirildi. 1956'da Schnell tarafından PC (Polikarbonat) bulunmuştur. 1957 yılında PE (Polietilen) denizaltı kablo tesisatlarında kullanılmaya başlanmıştır. 1960'da Uguine ilk patentli ABS (Akrlonitril Butadien Stiren) üretimini gerçekleştirmiştir. 1964 yılında PP (Polipropilen) plastik torba ve sonrasında poşet üretimi yapıldı. 1970'de astronotlar Ay yüzeyindeki ilk adımlarını PC başlık ile attılar. 1976'da A.B.D.'de PET kullanımı gazlı ve alkol içermeyen içeceklerin ambalaj şişesi olarak kullanılmaya başlandı.

Plastik dünyasının gelişiminde ki bir diğer önemli aşama bu materyallerin cam, karbon ve grafit elyafları ile takviye edilip, karışım yapılarak; mukavemet özellikleri arttırılmış plastik malzemeler elde edilmesidir. Güçlendirilmiş bu plastik hammaddelerin kullanımı sonrasında ise mekanik karakteristik özellikleri metalik malzemelerin seviyesine çıkmasının yanı sıra birçok endüstriyel uygulama alanlarındaki metal esaslı materyal ve malzemelere rakiptirler [19, 20].

### **3.2. Plastiklerin Sınıflandırılması ve Standardizasyonu**

20. yüzyılın başlarından itibaren "organik kimya" konularında yeni gelişmeler yaşanırken, sayısız kimyasal maddenin yanında plastik hammadde veya malzemelere yönelik birçok farklı konfigürasyonda sentezler yapıldı. Ancak o zaman ki koşullarda plastikler, kullanım gereksinimi veya tüketimi eser miktarda görüldüğünden belirli bir

süre sonra, birçok farklı aşamalardan da geçerek toplumun faydası için yapılan çalışmalar hız kazanmaya devam etmektedir.

Plastik kelimesi latince de “plasticus” kökenli olmasının yanı sıra el ile şekil alabilen ve yoğurulabilen, biçimlendirilebilen, şekil verilebilen anlamlarına da gelmektedir. Teknik ve teknolojik literatür dilinde ise makro moleküllerin kullanılması temelinde, ısı ve basınç tesiri altında önceden şekillendirilmiş bir kalıba döküm suretiyle ya da fişkırtılarak ve ya akıtma prosesleri imal usulleriyle biçimlendirilebilen doğal olmayan yapay organik materyallerdir.

Plastik malzemeler, amorf yapılı termoplastikler; ABS, SAN, PS, PVC, PPO, PMMA, PC ve kristalin yapılı termoplastikler ise PA, POM, PBTP, PEEK, PPS, PP ve PE olarak gruplandırılmaktadırlar. Termoset plastikler; poliüretan, epoksi, fenolik, alkid, amino, silikon ve polyester malzemeler ve termoplastik elastomerler (TPE); stiren blok kopolimerleri (SBS, SEBS, TPE-S), termoplastik poliolefin (TPO, TPE-O), termoplastik poliüretan (TPU, TPE-U), polieterblokamid kopolimerler (TPE-E), termoplastik vulkanizat (TPV, EPDM/PP), etilen propilen diem monomer/ polipropilen, TPE-V olarakta sınıflandırılmaktadırlar.

Plastik hiyerarşisinde genel olarak ticari plastikler; ABS, SAN, PMMA, PP, PS, PVC, LDPE, HDPE bunun yanı sıra mühendislik plastikleri; PC, PA, POM, PPO, PMMA-ABS ve yüksek performans plastikleri ise; PEEK, PPS, PAI, PEI, PES, PSO, LCP şeklinde sınıflandırılmaktadırlar. Hammadde seçiminde; ana üretici ve malzeme tedarikçi firmalarının kendi belirledikleri ve ön plana çıkardıkları fiyat/performans ürünlerine ait teknik bilgi formları (TDS), kimyasal ve mekanik özellikleri içeren ürün reçeteleri ve diğer teknik dökümantasyonlar ile mikro iç yapıya ait karakteristik spesifik malzeme raporları detaylı olarak incelenerek, analiz edildi.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kalite güvence ve entegre yönetim sistemleri dökümantasyonları Tablo 3.1.'de verilen TS, ISO, DIN ve ASTM standartlarına göre hazırlanmaktadır. Birçok kimyasal ve karışık şekilde adlandırmaya sahip plastik malzemelerin günlük kullanımı sırasında endüstride tanınabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla Tablo 3.2.'de ki gibi sembolik çok kısa teknik terimler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 3.2.'de yer alan teknik terimler plastiklerin konstitüsyon kelimelerinin çoğunlukla baş harflerinden meydana gelmektedir. Türkiye'de 1975 yılında TSE tarafından TS 1168 standart numarası ile Tablo 3.2.'de ki son haliyle standardizasyon yapılmıştır.

**Tablo 3.1.** Plastikler için Türk Standartları, ISO ve ASTM Standartları [21].

<b>PLASTİK MALZEMELER İÇİN BAZI TÜRK STANDARTLARI</b>		
	<b>Standart Numarası</b>	<b>Standart Konusu (Malzemeler)</b>
1.	TS 201	Sert PVC Plastik Borular
2.	TS 418	Polietilen Borular
3.	TS 624	PVC Yer Döşemeleri
4.	TS 1404	Polipropilen
5.	TS 1801	PVC Reçinelerinin Tanımlanması
6.	TS 2193	Isı Yalıtma Malzemeleri, Sert Köpük Plastik
7.	TS 2294	Üre Formaldehit Kalıplama Karışımları
8.	TS 2380	Plastikler, Terimler ve Tanımlanmaları
9.	TS 2412	Melamin Formaldehit Kalıplama Karışımları
10.	TS 2538	Polietilen Ağır Hizmet Torbaları
11.	TS 2772	Poliamid Enjeksiyon ve Ekstrüzyon Maddeleri
12.	TS 2992	Fenolik Kalıplama Karışımları
13.	TS 3423	Darbeye Dayanıklı Polistirenlerin Tanımlanması
14.	TS 3435	PS Kalıplama ve Ekstrüzyon Maddeleri
15.	TS 3782	Polietilen Filmler
16.	TS 3971	Plastik Şırıngalar
17.	TS 5015	Plastik Çanta Bidonlar
18.	TS 5341	PS Kalıplama Karışımları
19.	TS 5358	Sert PVC Profiller
<b>Deneyler</b>		
1.	TS 90	Gerilme Özellikleri
2.	TS 710	Plastiklerin Kimyasal Maddelere Karşı Direnç Tayini
3.	TS 785	Saydam Plastiklerde Kırılma İndisi Tayini
4.	TS 1066	Alevlenme Özelliklerinin Tayini
5.	TS 1148	Termoplastik Maddelerden Deney Parçalarının Basınçlı Kalıplama ile Hazırlanması
6.	TS 1149	Termoplastik Maddelerden Deney Parçalarının Enjeksiyon Kalıplama ve Hazırlıklar
7.	TS 1398	Çekme Özelliklerinin Tayini
<b>Plastikler için bazı ISO Standartları (*)</b>		
1.	ISO R 59	Fenoplastlarda Asetonda Çözünenlerin Tayini
2.	ISO 60	Kalıplama Malzemelerinde Görünür Yoğunluk Tayini
3.	ISO 62	Su Absorbsiyonu Tayini
4.	ISO 75	Yük Altında Eğilme Sıcaklığı Tayini
5.	ISO 118	Fenoplastlarda Serbest Fenol Tayini
6.	ISO 173	Polistirende Stiren Yüzdesi Tayini
7.	ISO 174	PVC için Çözelti Halinde Viskozite Tayini
8.	ISO 178	Rijit Plastiklerde Eğilme Özellikleri Tayini
9.	ISO 180	Rijit Plastiklerde İzod Darbe Deneyi
10.	ISO 316	Plastik Malzemelerin Kondisyonlanma ve Deneyleri için Standart Atmosfer
11.	ISO 380	Vicat Yumuşama Noktası Tayini
12.	ISO 381	Seyreltik Poliamid Reçine Çözeltilerinde Viskozite Sayısı

(\*) ISO, International Organization for Standardization; Merkezi: ISO Center, 39 Route de Malagnou, Geneve, Switzerland.

**Tablo 3.2.** Bazı plastik hammadde malzemelerinin kısa gösterimleri [21].

<b>Plastik Malzemenin Sembolü</b>	<b>Plastik/Polimer Malzemenin Açık Adlandırması</b>	<b>Plastik Malzemenin Sembolü</b>	<b>Plastik/Polimer Malzemenin Açık Adlandırması</b>	
1.	ABS	<i>Akrilonitril Butadien Stiren</i>	ABS+PC	<i>ABS+Polikarbonat</i>
2.	A/MMA	<i>Akrilnitril/Metilmetakrilat</i>	A/SA	<i>Akrilester/Stiren/ Akrilnitril</i>
3.	CA	<i>Selüloz Asetat</i>	CAB	<i>Selüloz Asetat Butirat</i>
4.	CAP	<i>Selüloz Asetat Propinat</i>	CF	<i>Krezol Formaldehit</i>
5.	CMC	<i>Karboksi Metil Selüloz</i>	CN	<i>Selüloz Nitrat</i>
6.	CP	<i>Selüloz Propinat</i>	CS	<i>Kazein Plastik Türevleri</i>
7.	CTA	<i>Selüloz Triasetat</i>	DAP	<i>Diallül Ftalat</i>
8.	EC	<i>Etil Selüloz</i>	E/EA	<i>Etilen/Etilakrilat Kopolimeri</i>
9.	EP	<i>Epoksit Reçinesi</i>	EPS	<i>Genleştirilmiş Polistiren</i>
10.	ES	<i>Etilen/Propilen/Dien/Stiren</i>	ETFE	<i>Etilen Tetraflor Kopolimer</i>
11.	EVA	<i>Etilen Vinilasetat Kopolimer</i>	EVAl	<i>Etilen Vinilalkol Kopolimer</i>
12.	FEP	<i>Tetrafloretilen Propilen Kopol</i>	MBS	<i>Metilmetakrilat/Butadien/Str.</i>
13.	MC	<i>Metilselüloz</i>	MF	<i>Melamin Formaldehid</i>
14.	MPF	<i>Melamin Fenol Formaldehid</i>	PA	<i>Poliamid</i>
15.	PA66/610	<i>Poliamid 66 ve PA610 Kopol.</i>	PA6/12	<i>PA6 ve PA12 Kopolimeri</i>
16.	PAN	<i>Poliakrilnitril</i>	PB	<i>Polibuten</i>
17.	PBT	<i>Polibutilen Teraftalat</i>	PC	<i>Polikarbonat</i>
18.	PCTFE	<i>Poliklor Triflor Etilen</i>	PDAP	<i>Polidialfalat</i>
19.	PE	<i>Polietilen</i>	PE-C	<i>Klorlu PE</i>
20.	PE-HD	<i>Polietilen (Yüksek Yoğunluk)</i>	PE-LD	<i>Polietilen (Düşük Yoğunluk)</i>
21.	PEI	<i>Polieter İmid</i>	PEOX	<i>Polietilen Oksit</i>
22.	PET	<i>Polietilen Tereftalat</i>	PE-UHMW	<i>Ultra Yüksek Moleküllü PE</i>
23.	PE-V	<i>Ağlaşmış Polietilen</i>	PF	<i>Fenol Formaldehid</i>
24.	PHA	<i>Fenol Akrilat Reçinesi</i>	PI	<i>Poliimid</i>
25.	PIB	<i>Poliizobutilen</i>	PIR	<i>Poliizosyanürat</i>
26.	PMI	<i>Polimetakril İmid</i>	PMMA	<i>Polimetil Metakrilat</i>
27.	PMP	<i>Polimetil Penten</i>	POM	<i>Polioksimetilen, Poliasetal</i>
28.	PP	<i>Polipropilen</i>	PP-C	<i>Klorlu PP</i>
29.	PP-O	<i>Biaksiyal yönlendirilmiş PP</i>	PPE	<i>Polifenilen Oksit</i>
30.	PPOX	<i>Polipropilen Oksit</i>	PPS	<i>Polifenilen Sülfür</i>
31.	PS	<i>Polistiren</i>	PS-E	<i>Genleştirilmiş PS (Stiropor)</i>
32.	PSU	<i>Polisülfon</i>	PTFE	<i>Politetraflor Etilen (Teflon)</i>
33.	PUR	<i>Poliüretan</i>	PVAC	<i>Polivinil Asetat</i>
34.	PVAL	<i>Polivinil Alkol</i>	PVB	<i>Polivinil Butiral</i>
35.	PVC	<i>Polivinil Klorür</i>	PVC-C	<i>Klorlu PVC</i>
36.	PVF	<i>Polivinil Florür</i>	PVFM	<i>Polivinil Formal</i>
37.	PVK	<i>Polivinil Karbazal</i>	PVP	<i>Polivinil Prolidon</i>
38.	PVPD	<i>Polivinil Piridin</i>	RF	<i>Formaldehid Reçinesi</i>
39.	SAN	<i>Stirenakrilonitril Kopolimeri</i>	SI	<i>Silikon</i>
40.	S/MS	<i>Stiren/Metilstiren Kopolimeri</i>	SP	<i>Doymuş Poliester</i>
41.	T	<i>Triazin Reçine</i>	TR	<i>Termoplastik Kauçuk</i>
42.	UF	<i>Üre Formaldehid Reçinesi</i>	UP	<i>Doymamış Poliester</i>
43.	VC/VDC	<i>Vinilklorür/Vinildiklorür</i>	VE	<i>Vinilester</i>

Üretilecek plastik ürünlerin; uluslararası platformlarda plastik literatüründeki malzeme kimliklerinin oluşturulabilmesi ve ticari adlandırmalar ile sınıflandırma yapılabilmesi için plastik malzemelerden beklenen özelliklere haiz ticari ürün kimlik kartı tanımlamalarında rehberlik edecek tablolar diğer bölümlerde verilmiştir.

### **3.3. Plastiklerin Mekanik Davranışları ve Karakterizasyonu**

Plastik hammadde seçimi yapılırken en önemli kriterler; parça fonksiyonelliği, kimyasal ve korozyon dayanımı, çalışma koşulları, çevresel faktörler, kalıp tasarımı ve göz adedi dizaynı, birleşim yerleri, dinamik-statik yüklemeler, stres bölgeleri, üretim yöntemleri ve maliyet unsurları oldukça önem teşkil etmektedir. Ayrıca basınç altında kırılma ve kopma, çentik darbe hassasiyeti, aksel yüklemeler, uzun ve/veya kısa süreli yüklemelerdeki stres oluşumları, aşınma dayanımları, anti statik elektrik özellikleri, tutuşma sıcaklıkları ve yanma özellikleri, su emme-tutma absorpsiyon oranları (hidrofobiklik), mal akışkanlığı ve ısı etki ile ömür döngüsü çevrimindeki renk bozunmaları da plastik hammadde seçimindeki diğer önemli faktörler arasında yer almaktadırlar [21].

MFI değeri arttıkça malzemenin akma kabiliyeti de o kadar iyileşmektedir. Viskozite ise akmaya karşı gösterilen direnç yani kısacası akmazlıktır. Dolayısıyla en ideal mal akışının sağlanabilmesi için plastik hammaddenin düşük viskoziteye ancak optimum yüksek seviyede MFI değerine sahip olması beklenmektedir. Özellikle plastik hammaddenin kalıp iç boşluklarında; homojen ve rijit bir şekilde dağılımı için oldukça önemli olan parametre MFI değeridir ve MFI verileri plastik hammadde cinsine bağlı olarak tedarikçilerden edinilen spesifik TDS raporlarında bulunmaktadır [23].

Sürünme dayanımları plastiklerde, metal malzemelere göre çok daha düşüktür. Cam elyaf lifleri veya diğer lif (fiber) türevlerinde de sürünme modülünün değişimleri ile plastik parça ürün kalitesi yükseltilebilmektedir. Plastiklerde genellikle oda sıcaklıklarında sürünme gerçekleşebilir. Ancak yorulma dayanımları, statik yükleme dayanımlarına oranla oldukça düşüktür. Çentik darbe dayanımları ise çentiksiz şahit numunelere nazaran çok düşüktür. Tablo 3.3.'te sınıflandırılmış plastiklerin genel kapsamda mekanik özelliklerinin diğer malzeme ve materyallerle karşılaştırılması verildi. Genel karakteristik özelliklerine göre plastik hammadde malzeme seçim davranış özellikleri ise Tablo 3.4.'te verildi.

**Tablo 3.3.** Plastiklerin mekanik özelliklerinin diğer malzeme ve materyaller ile karşılaştırılması [24].

Mekanik Özellikler	Bilimsel Birimi	Değer Aralıkları	Malzemeler/Materyaller
<b>ÇEKME DAYANIMI</b>	$N/mm^2$	1000 - 400	Çelikler
		800 - 500	Gerilmiş PA ve PET Lifleri
		630 - 200	Cam Elyaf Takviyeli UP ve EP
		400 - 300	Demir
		290 - 150	Alüminyum ve Diğer Hafif Metaller
		250 - 35	Cam Elyaf Takviyeli Termoplastlar
		100 - 50	Camlar
		85 - 60	Ağaç Malzemeler
		80 - 40	Termosetler (Güçlendirilmemiş)
		70 - 2	Termoplastlar (Güçlendirilmemiş)
<b>KOPMA UZAMASI</b>	%	1000 - 10	Elastomerler
		800 - 3	Termoplastikler
		3 - 1	Cam Elyaf Takviyeli Termoplastikler
		3 - 0,8	Termosetler
		1,5 - 0,7	Ağaç (Ahşap) Malzemeler
		0,8 - 0,2	Cam Elyaf Takviyeli Termosetler
		0,7 - 0,1	Doğal Taşlar (Mermer)
		0,2 - 0,07	Dökme Demirler
		≈ 0,15	Cam Malzemeler
≈ 0,05	Tam Sertleştirilmiş Çelik		
<b>BASMA DAYANIMI</b>	$N/mm^2$	2000 - 800	Camlar
		600 - 480	Dökme Demirler
		480 - 180	Cam Elyaf Takviyeli Termosetler
		420 - 350	Çelikler
		300 - 100	Termosetler
		140 - 80	Termoplastikler
		140 - 70	Alüminyum
		60 - 20	Ağaç malzemeler
8 - 0,01	Elastomerler, Köpürtülmüş Plastikler		

Termoplastik ve termoset plastikler ile çeşitli dolgu maddeleri ve ilave liflerle takviye edilerek oluşturulan kompozit jenerasyonları mekanik açıdan oldukça büyük dağılım göstermektedirler. Lif pekiştirme prosesleri ile çekme ve basma dayanımları arttırılmaktadır. Ayrıca çekme dayanımında olduğu gibi cam elyaf lifleri ve diğer pekiştirici katkı materyalleri kullanılarak darbe dayanımı önemli ölçüde arttırılmaktadır.

Esneklik, plastik tasarımında en ön sırada yer alan diğer karakteristik davranış özelliklerindedir. Esneklik modüllerinin düşük olduğu plastik materyallerde gerilme altında oldukça büyük değişiklikler görülür. Termoplastiklerde ise dolgu malzemelerine göre %30'a kadar cam elyaf lifleri takviye edildiğinde esneklik modülleri ilk baştaki değerlerine nazaran üç katına kadar çıkabilmektedir. Bu tip dolgular plastiklerin ayrıca boyutsal kararlılıklarını da doğrudan arttırmaktadırlar.

**Tablo 3.4.** Genel karakteristik davranış özelliklerine göre plastik malzeme seçimi [21].

Genel Karakteristik Özellikler	Fiyat	Talaş Kaldırılabilirlik	Çekme Dayanımı	Katılık	Darbe Dayanımı	Sertlik	Yüksek Sıcaklıkta Kullanım	Kimyasal Dayanım Direnci	Hava Direnci	Su Dayanım Direnci	Alevlendirilebilirlik
<b>Plastik Materyal Cinsi</b>											
PP (Polipropilen)	+	+	0	0	-	0	0	+	-	+	+
PA (Poliamid)	-	+	0	0	-	0	0	0	-	-	0
ABS	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-
PE (Polietilen A.Y.)	+	+	-	-	+	-	0	+	-	+	-
PE (Polietilen Y.Y.)	+	+	-	-	+	-	0	+	-	+	+
PVC (Polivinil Klorür)	+	0	0	+	+	-	-	+	0	0	0
PC (Polikarbonat)	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0
PMMA	0	+	+	+	-	0	0	0	+	0	-
SAN	+	0	+	+	-	+	0	-	-	0	-
PS (Polistiren)	+	+	+	+	-	+	-	-	-	0	-
PI (Poliimid)	-	-	+	+	-	+	+	+	+	0	+
Polisülfon	-	+	+	0	0	+	0	+	0	0	0
Asetal	0	+	0	0	-	+	0	0	0	0	-
Epoksi	0	0	+	0	-	+	+	0	0	-	-
Etil Selüloz	0	+	0	0	0	+	-	-	0	-	-
Fenolik	+	0	0	+	-	+	0	-	0	0	-
FEP (Fluorokarbon)	-	+	-	-	+	-	0	+	+	+	+
Melamin	0	0	0	+	-	+	0	0	0	0	0
PCTFE	-	+	0	0	0	0	0	+	+	+	+
PTFE	-	-	-	-	0	-	+	+	+	+	+
PVDC	0	+	0	-	-	+	0	+	0	0	0
PVDF	-	+	0	-	0	-	0	+	+	0	0
Selüloz Asetat	0	+	0	+	0	+	0	-	0	-	0
Selüloz Asetobutirat	0	+	0	0	0	+	0	-	0	-	-
Silikon	-	-	-	-	-	-	0	0	+	0	0
Üre-Formaldehit	0	+	+	+	-	+	-	-	0	0	0

(+) Kullanıma Uygun, (-) Tavsiye Edilmez, (0) Birçok Uygulamalarda Yeterli.

Plastiklerin yoğunlukları bazı istisnalar göz önünde bulundurularak genellikle ortalama  $1 \text{ gr/cm}^3$  dolaylarındadır. Ancak cam lifi ve elyaf (fiber) dolgulu plastiklerin yoğunlukları  $1.5\sim 2.5 \text{ gr/cm}^3$  kadar çıktıkları yapılan incelemeler sonucunda gözlemlenmiştir. Piyasada endüstriyel malzemeler kilogram cinsinden satıldığı için ürünün plastik veyahut metal hammadde malzemesinden üretilmesi durumunda parça başı birim maliyetlerini yoğunluk doğrudan etkilemektedir.

Termoplastik malzemeler herhangi bir operasyon yardımıyla biçimlendirildikten sonra talaş kaldırmak suretiyle işleme operasyon proseslerine tabi tutulacak ise bu

duruma en uygun olan türler nispeten sert plastik malzemelerdir. Bunun yanında termoset plastiklerde herhangi bir problem oluşturmadan oldukça kolay bir şekilde talaş kaldırarak işlenebilmektedirler.

Plastik hammadde terminolojik bilgisi ile plastik üretiminin optimal düzeyde başarılı olabilmesi için mamulün fonksiyonel karakteristik özellikleri, plastik malzemelerin davranışları, plastik işleme imal operasyonları ve diğer işleme teknolojileri hakkındaki yetkinliklere uzman seviyede sahip olunmalıdır.

Termoplastikler polimer esaslı olmalarının yanı sıra ısıtıldıkları zaman tekrardan şekil verilebilecek mertebelerde eriyebilirler ve tekrar tekrar yeniden şekillendirilebilirler. Isıtma ve soğutma döngü çevrimi sırasında sadece fiziksel değişim gerçekleşeceğinden termoplastiklerin geri dönüştürülebilirlik özellikleri bulunmaktadır. Yeniden kullanım kazanımlarında; plastik malzeme cinsine bağlı değişkenlik gösteren geri dönüşüm (kıрма) granül formları ve büyüklükleri, ana hammadde ile bağ yapılmasını doğrudan etkileyen kıрма malzeme granül çap ve boyutları, karışım oran yüzdeleri ve kıрма materyallerin temizlik prosesleri ayrıca ek olarak 2. ve 3. jenerasyon kıрма kullanımı durumunda ısıl bozunma, yanma izleri, renk bozunmaları ve sararmalar gibi plastik parçada istenmeyen deformasyon oluşumlarının bertaraf edilmesi için gereken parametrik optimizasyonların yanı sıra kıрма materyallerin depolama ve saklama koşulları oldukça önem teşkil etmektedir.

Plastik malzemelerde charpy çentik etkisi  $\text{kJ/m}^2$  cinsinden değerleri; PPS 3  $\text{kJ/m}^2$ , PA 6 ve PA 66 5  $\text{kJ/m}^2$ , PEEK 7  $\text{kJ/m}^2$ , PES 9  $\text{kJ/m}^2$ , PA 46 için ise 10  $\text{kJ/m}^2$ 'dir. Plastik hammaddelerdeki izod darbe dayanımları ise; PA 6  $\approx$  18  $\text{kJ/m}^2$ , PA 66  $\approx$  17  $\text{kJ/m}^2$ , POM  $\approx$  10  $\text{kJ/m}^2$ , PPO  $\approx$  30  $\text{kJ/m}^2$ , PP/EPDM  $\approx$  43  $\text{kJ/m}^2$ , ABS  $\approx$  50  $\text{kJ/m}^2$ , PC/ABS  $\approx$  55  $\text{kJ/m}^2$ , PC  $\approx$  68  $\text{kJ/m}^2$ , PC/PBT  $\approx$  78  $\text{kJ/m}^2$  ve PA/ABS  $\approx$  119  $\text{kJ/m}^2$ 'dir. Bu elde edilen charpy çentik etkisi sayısal değerleri laboratuvar ortamlarında yapılan test ve deneysel yöntemler yardımıyla tespit edilmiştir [21].

Kimyasal ve korozyon direncin söz konusu olduğu durumlarda genellikle tavsiye edilen plastik malzemeler; polietilen, polipropilen, polivinil klorid, poliester (termoset), sülfon ve polifenilen oksit polimerleridir. Ayrıca bunlardan polifenilen oksit, sülfon polimerleri ile fluorlular sıcaklıklara karşı dirençli ve dayanıklıdır. Plastiklerin ısıl genişleme katsayıları metallere nazaran yaklaşık on kat daha büyük olduğu göz önünde bulundurularak parça tasarımları yapılmalıdır. Birçok plastik parçaların çalışma esnasındaki sıcaklıklarının temas halinde iken dalgalanması durumunda boyutsal değişimler ve oluşacak gerilmelerden kaynaklanarak olumsuz etkiler meydana gelebilir.

**Tablo 3.5.** Termoplastik hammadde malzemelerinin enjeksiyon proses özellikleri [1].

Plastik Malzemenin Açık Adlandırılmaları	Polimer Malzemenin Sembolü	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Cam Elyaf Katkısı (%)	Boyutsal Çekme Yüzdesi (%)	Proses Ergime Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polipropilen	PP	0,92	-	% 1 – 2,5	250-270°C	50-75°C
Poliamid 6 (Naylon 6)	PA 6	1,14	-	% 0,5 – 2,2	240-260°C	70-120°C
Poliamid 6 GR	PA 6-GR	1,36~1,85	%30-50	% 0,3 – 1	270-290°C	70-120°C
Poliamid 66 (Naylon 6/6)	PA 66	1,15	-	% 0,5 – 2,5	260-290°C	70-120°C
Naylon 6/6 GR	PA 66-GR	1,2~1,55	%30-35	% 0,5 – 1,5	280-310°C	70-120°C
Naylon 11	PA 11	1,03~1,05	-	% 0,5 – 1,5	210-250°C	40-80°C
Naylon 12	PA 12	1,01~1,04	-	% 0,5 – 1,5	210-250°C	40-80°C
Akrilonitril Butadien Stiren	ABS	1,06	-	% 0,4 – 0,7	210-275°C	60-90°C
Akrilonitril Stiren Akrilat	ASA	1,07	-	% 0,4 – 0,6	230-260°C	40-90°C
Stirenakrilonitril	SAN	1,08	-	% 0,5 – 0,7	180-270°C	60-80°C
Polietilen (Alçak Yoğunluk)	LDPE	0,92	-	% 1,5 – 5	160-260°C	50-70°C
Polietilen (Yüksek Yoğunluk)	HDPE	0,95	-	% 1,5 – 3	260-300°C	30-70°C
Polietilentereftalat	PET	1,37	-	% 1,2 – 2	260-290°C	140°C
Polietilentereftalat GR	PET-GR	1,5~1,53	%20-30	% 1,2 – 2	260-290°C	140°C
Polivinilklorid (Yumuşak)	PVC (Yumuşak)	1,38	-	> % 0,5	170-200°C	15-50°C
Polivinilklorid (Sert)	PVC (Sert)	1,38	-	> % 0,5	180-210°C	30-50°C
Polikarbonat	PC	1,2	-	% 0,8	280-320°C	80-100°C
Polikarbonat GR	PC-GR	1,42	%10-30	% 0,15–0,5	300-330°C	100-120°C
Polistiren	PS	1,05	-	% 0,3 – 0,6	180-280°C	10-100°C
Yüksek Dayanımlı Polistiren	HI-PS	1,05	-	% 0,5 – 0,6	170-260°C	5-75°C
Polimetilmetakrilat (Akrilik)	PMMA	1,18	-	% 0,1 – 0,8	210-240°C	50-70°C
Polioksimetilen (Asetal)	POM	1,42	-	% 1,9 – 2,3	200-210°C	> 90°C
Polifenilenoksit	PPO	1,05	-	% 0,5 – 0,7	250-300°C	80-100°C
PPO + %30 Glass Fiber	PPO + %30GF	1,27	% 30	< % 0,7	280-300°C	80-100°C
Polimetilpentan	PMP	0,83	-	% 1,5 – 3	280-310°C	70°C
Politetrafloretillen	PTFE	2,12~2,17	-	% 3,5 – 6	320-360°C	200-230°C
Polibutilentereftalat	PBT	1,3	-	% 1,5 – 2,5	240-260°C	60-80°C
Polibutilentereftalat GR	PBT-GR	1,52~1,57	%30-50	% 0,3 – 1,2	250-270°C	60-80°C
Polietersülfolon	PSO	1,37	-	% 0,7	310-390°C	100-150°C
Polifenilen Sülfid	PPS	1,64	% 40	% 0,2	370°C	> 150°C
Selüloz Asetat	CA	1,27~1,3	-	% 0,5	180-230°C	50-80°C
Selüloz Asetat Butirat	CAB	1,17~1,22	-	% 0,5	180-230°C	50-80°C
Selüloz Propiyonat	CP	1,19~1,23	-	% 0,5	180-230°C	50-80°C
Termoplastik Poliüretan	PUR	1,2	-	% 0,9	195-230°C	20-40°C
Fenol Formaldehit Reçine	PF	1,4	-	% 1,2	60-80°C	170-190°C
Melamin Formaldehit Reçine	MF	1,5	-	% 1,2 – 2	70-80°C	150-155°C
Polyester Reçine	UP	2~2,1	-	% 0,5 – 0,8	40-60°C	150-170°C
Epoksi Reçine	EP	1,9	%30-80	% 0,2	70°C	160-170°C

Hammadde mal kurutma ve nem alma proseslerinin idealleştirilmesi üretim hazırlık aşamalarında oldukça kritiktir. Üretim tesisinin jeopolitik konumuna bağlı olarak mevsimsel iklim şartları ve atmosferik koşullar, enjeksiyon tezgahlarının konumlandırıldığı üretim sahasının lokasyonu, istasyonlardaki mevcut havalandırma

ve iklimlendirme hatları; plastik hammaddelerde bozunma ve degradasyon sonucu hata oluşumlarını doğrudan etkilemektedir. Plastik hammaddenin mikro yapı içerisindeki nem absorpsiyonu, higroskopik karakteristik davranışları, baskı sonrası üretilen parçaya nem aldırma prosesleri veya kontrollü kurutma proseslerini etkileyen süre ve sıcaklık değerlerine bağlı plastik hammadde cinsine göre malzeme işleme özelliklerine ait spesifik parametrik değerler Tablo 3.5.'te verildi.

Bir plastik parça tasarım aşamasında şayet saydam olması isteniyorsa; polikarbonat, polistiren, saydam poliamid, akrilik ve selüloz plastikleri gibi hammaddeler tercih edilebilir. Diğer yandan açık hava atmosfer koşullarına karşı direnç, optik açıdan berraklık, darbe dayanımı gerektiğinde ve hatta boyut kararlılığına sahip PMMA (Polimetil Metakrilat (pleksiglass)) oldukça efektiftir. Polikarbonat (PC) plastik türü çok iyi mekanik özelliklerin yanı sıra optik açıdan oldukça yüksek karakteristik kalitelere sahiptir. Bunun yanında poliamid, polistiren ve selüloz nitrat gün ve güneş ışığından oldukça olumsuz etkilenirler. Ayrıca poliamid, poliasetal ve florürlü plastiklerin sürtünme katsayıları çok düşüktür.

Plastik enjeksiyon proseslerinin gerçekleştirileceği üretim tesisindeki atmosferik saha koşulları, havadaki nem ve su buharı miktarı, hava sirkülasyonları ve sıcaklık farklılıkları; plastik parça üretim sırasında parçada oluşan kalıcı deformasyonlar ve hasar oluşumları, istenmeyen ölçüsel hataları engellemek amacıyla plastik hammadde malzemelerinin ve diğer katkı materyallerinin iç ve dış ortam şartlarında depolama ve saklama koşulları, ambalajlama ve paketleme, lojistik istasyonlarında stokta kontrollü muhafaza edilmesi gibi hammadde girişinden paketlenmiş mamüle dönüşüm sürecinde ürünü doğrudan etkileyen üretim tesisi ve saha atmosfer şartlarının kontrolleri ve operasyonel mükemmellik sistemi (OMS) plastik ürün üretim döngüsünde oldukça hassasiyet teşkil etmektedir.

### **3.4. Plastik Malzemelerin Termal Karakteristik Özellikleri**

Plastik malzemelerde; yumuşama ve erime sıcaklıkları, ısıl genişleme ve büzülme, spesifik sıcaklıklar, ısıl iletkenlik, ısıl dayanım, uzun süreli yüksüz sıcaklık dayanımları ve alev alma özellikleri plastik malzeme yapısını doğrudan etkileyen en önemli ısıl karakteristik özellikler arasında yer almaktadır. Plastik malzemelere ait ısıl dayanım sıcaklıkları Tablo 3.6.' da verildi. Plastik hammadde malzeme ısıl dayanım tablo değerlerinin üzerine çıktığı takdirde plastik malzeme degrade ya da diğer bir tabirle bozunma ve hatta kendiliğinden yanma hadiseleri gözlemlenebilir.

**Tablo 3.6.** Plastik hammadde malzeme karakteristiğine ait ısı dayanım sıcaklık değerleri [21].

<b>Bazı Plastik Hammadde Malzemeleri</b>		<b>Isıl Dayanım Sıcaklıkları [°C]</b>
1.	Melamin, PP, PPO	121 °C
2.	PA (Poliamid), Silikon Cam	260 °C
3.	POM (Asetal), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)	98 °C
4.	ABS-PC	107 °C
5.	PE, PS, SAN, PMMA (Akrilik)	87.7 °C
6.	PC (Polikarbonat), TFE (Tetrafloroetilen)	190.5 °C
7.	PFEP, Floroplastik, DAP, Cam Dolgu	204 °C
8.	PTFE (Politetrafloroetilen - Teflon)	287 °C
9.	PSU (Polisülfon)	162.7 °C
10.	Fenolik Epoxy Cam	148.8 °C
11.	Fenolik Asbest (Yanmaz) Dolgu	232 °C
12.	Silikon Mineral Dolgu	218 °C

Plastikler; hammadde ergime sıcaklığı ( $T_m$ ), camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), ısıl geçirgenlik, ısıl iletkenlik, özgül ısı, ısıl genleşme katsayısı, bozulma sıcaklığı, boyut stabilizasyonu gibi termal özelliklerden üretim teknikleri ve operasyonel proses parametrelerinin seçimi doğrudan etkilenmektedir.

Plastiklerin yük altındaki deformasyon sıcaklıklarına DTUL (Deflection Temperature Under Load), teknik tercümesi ise "ısıl distorsiyon" olarak tanımlanmıştır. Malzemelerin yüksek sıcaklık mertebelerinde yük taşıyabilme kabiliyetlerinin göstergesi ısıl distorsiyon olarak ifade edilmektedir.

Genel yaklaşım olarak sıcak veya soğuk ortamda çalışacak plastik parçaların DTUL (Yük Altında Eğilme/Sapma Sıcaklığı) ve Vicat sıcaklık değerleri dikkate alınmaktadır. Plastik literatüründe en kötü koşullar altında malzemenin darbe hassasiyeti; mekanik özellik ve davranışlarının belirlenmesinde yaklaşık olarak -23 °C sıcaklık değeri üst sınırı baz alınmaktadır. Uzun süreli ısıl dayanımlarda ise HDT noktası 15 °C altında varsayılarak kabul edilmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda çalışacak parçalar için; PAI (Poliamid İmid) veya PBT-GF (Cam Elyaf Takviyeli Polibutilentereftalat) plastiklerin seçilmesi tavsiye edilmektedir.

Bozulma sıcaklık değerleri plastik hammaddeden üretilmiş makine elemanlarının üretiminde oldukça önem teşkil etmektedir. Bozulma sıcaklık eşik değerine ulaşıldığı takdirde molekül zincirlerini oluşturan bağlar kopar ve materyal

yapısı kullanılmayacak seviyede bozulmaktadır. Tablo 3.7.'de bazı plastik malzemelerin bozulma sıcaklık aralıkları verildi.

Vicat yumuşama sıcaklıkları ısıl direncin diğer bir başka göstergesidir. VST (Vicat Softening Temperature), plastik şahit numunenin ısıtma banyosunda sabit bir noktadaki yüke noktasal olarak bırakıldıktan sonra test iğnesinin materyali "1 mm" deldiği noktadaki sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3.7.'de bazı plastik hammadde malzemeleri için ısıl özelliklerin teorik sıcaklık değerleri verildi [25].

**Tablo 3.7.** Bazı plastiklerin termal karakteristik ısıl verileri [25].

Plastik Malzemeler	Erime Sıcaklığı (T <sub>m</sub> ) [°C]	Bozulma Sıcaklığı [°C]	Camsı Hale Geçiş Sıcaklığı (T <sub>g</sub> ) [°C]	VST (Vicat Yumuşama Sıcaklığı) [°C]	DTUL (Yük Altında Eğilme Sıcaklığı) [°C]
PP (Polipropilen)	168°C	320~400°C	-10°C	90°C	45°C
PA (Poliamid)	260°C	300~400°C	50°C	180°C	77°C
ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	105°C	250~400°C	115°C	102°C	100°C
PET (Polietilentereftalat)	250°C	280~320°C	70°C	190°C	80°C
PVC (Polivinil Klorür)	199°C	200~300°C	80°C	92°C	72°C
PC (Polikarbonat)	266°C	340~440°C	150°C	145°C	-
PMMA (Polimetilmetakrilat)	95°C	180~280°C	105°C	85°C	103°C

Üretimi gerçekleştirilen plastik parçaların laboratuvar koşullarında ısı tesiri altında yapılan testler sonucunda elde edilen kırılma sıcaklığı eşikleri Tablo 3.8.'de verildi. Değişken ortam ve çalışma şartlarında bu veriler hassasiyet ölçütlerine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir.

**Tablo 3.8.** Bazı plastik hammadde malzemelerine göre kırılma sıcaklığı değerleri [21].

Plastikler	Sıcaklık Değerleri [°C]							
	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
1. PA (Nemli)	B	B	B	C	C	C	C	C
2. ABS	B	B	B	B	B	B	C	C
3. PC	B	B	B	B	C	C	C	C
4. POM	B	B	B	B	B	B	B	B
5. PMMA	A	A	A	A	A	A	A	A
6. PPO	B	B	B	B	B	B	C	C
7. PSO	B	B	B	B	B	B	B	B
8. TBPO	B	B	B	B	B	B	B	B

A - Çentiksiz Kırılma, B - Çentik Etkili Kırılma, C - Keskin çentik etkisinde bile kırılmaz.

Geometrik toleranslar dahilinde parça boyut kararlılığı önem teşkil ettiği takdirde analiz edilmesi gereken diğer bir davranış biçimi büzüşme hadisesidir. Polimer molekül yönelimleri, eriyik akış yönelimleri, farklı cidar et kalınlıkları, değişken soğuma hızı ve takviye ek katkı liflerinin yapıdaki varlıkları büzüşmeye sebebiyet verebilmektedir. Bunun yanında malzemelerin son ve ilk boyutlarının oranı ısıl genişleme katsayılarını doğrudan etkilemektedir. Isıl genişleme katsayısı, eğer üretilecek parça herhangi bir pozda montaj yapılacak ise oldukça önem arz etmektedir.

### 3.4.1. Plastiklerin Yanma Karakteristiği

Yakma deneyinde her bir plastik grupları veya türleri kendilerine has belirtiler gösterirler. Yanma sırasında alev şekli ve renk değişimleri, eriyiğin akma veyahut akmama karakteristiği, açığa çıkan gazlar ve duman kokusu gibi plastik malzeme türlerine bağlı olarak yanma testleri sırasında gözlemlenenler Tablo 3.9.'da verildi.

**Tablo 3.9.** Plastiklerde yanma testleri sırasında gözlemlenen karakteristik değişimler [21].

Plastik Malzeme/Materyal Cinsi	Erime Noktası Sıcaklığı [°C]	YANMA DURUMU (Alev Biçimi ve Akma Karakteristikleri)	Yanma Sırasında Açığa Çıkan Koku ve Gazlar
PP (Polipropilen)	168 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alev ile Yavaş Yanma	Tatlı ve Dizel Duman Kokusu
PA 6 (Poliamid 6)	207 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alevli Yavaş Yanma, Eriyerek Akma	Yanık Yün, Saç
PA 66 (Poliamid 66)	254 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alevli Yavaş Yanma, Eriyerek Akma	Yanık Yün, Saç
ABS Polimer	-	Sarı Alevli, İslı, Yavaş Yanma ve Damlama	Karakteristik
PE (Polietilen)	105 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alev ile Yavaş Yanma	Mum, Parafin
PVC (Polivinil Klorid)	127 °C	Kenarları Yeşil, Sarı Alevli Yanma	Tuz Asiti
PC (Polikarbonat)	220 °C	Sarı Alevli Yanma, Yakıcı Alev Çekilince Kendi Kendine Sönme	Fenol
PS (Polistiren)	190 °C	Çok İslı, Mavi Alev ile Yanma	Çuha Çiçeği
PTFE	-	Bozularak Deforme Olma Durumu	-
Asetal	175 °C	Mavi Alevli, İssiz Yavaş Yanma	Formaldehit
Selüloz Asetat	230 °C	Kıvılcımlı Sarı Alevli, Yakıcı Alev Çekilince Sönme	Sirke
Selüloz Asetatbutirat	180 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alevli, Yakıcı Alev Çekilince Sönme	Tereyağ
Selüloz Nitrat	-	Sarı Beyaz Alev ile Çabuk Yanma	Keskin
Fenolik	-	Yüksek Sıcaklıkta Ergimeden Bozulur	Fenol
Melamin	-	Yüksek Sıcaklıkta Ergimeden Bozulur	Kuvvetli Balık Kokusu
Akrilik	190 °C	Tepesi Sarı, Mavi Alevli Yavaş Yanma	Meyve Kokusu

Isı girdisi karşısında yumuşayarak eriyen bir plastik türü genellikle termoplastiklerdir. Erime fazı gerçekleşmeden bozunanlar ise termoset plastikler grubunda yer almaktadırlar. Yanma karakteristiği ve yanıcılık özellikleri plastiklere göre değişkenlik göstermektedir. PI, PTFE ve MF gibi plastik türleri yanıcı değildirler ve yanmazlar. Yanabildiği halde tutuşma gerçekleştikten sonra kendiliğinden sönebilen plastikler PA 6.6, PA 6.12, PC, PPO, PVC (Sert), Sülfon, SI, CA ve MPE başta gelen plastik türlerine örnek olarak verilebilir. Yanmasını yavaş olarak sürdüren plastikler ise ABS, Asetal, PE, CA, PF, EP, PMMA, PS, PP ve plastikleştirilmiş PVC'dür.

Parçaların kullanımına bağlı olarak sıcaklık ya da aleve maruz kalması durumunda plastik malzemelerin yanma karakteristik UL (Underwriter's Laboratories) değerleri ve verileri önem teşkil etmektedir. UL datalarına göre V-5, V-0, V-1 veya V-2 değerleri kullanılmaktadır. V-5 değeri ele alındığında; diğer söz konusu değerlere göre tutuşma ve yanmazlık özellikleri en yüksek olan termal davranışları barındırmaktadır.

### 3.5. Plastik Hammaddelerin Ürün Kimlikleri ve Ticari Tedarik Prosesleri

Plastik hiyerarşisinde genel olarak ticari plastikler; ABS, SAN, PMMA, PP, PS, PVC, LDPE ve HDPE bunun yanı sıra mühendislik plastikleri; PC, PA, POM, PPO ve PMMA-ABS ve yüksek performans plastikleri ise; PEEK, PPS, PAI, PEI, PES, PSO ve LCP şeklinde sınıflandırılmaktadırlar. Enjeksiyon yöntemiyle kalıplama ile üretilecek parçaların, plastikler dünyasında ve literatürde malzeme kimliklerinin oluşturulabilmesi ve ticari adlandırma ile sınıflandırmaların yapılabilmesi için Tablo 3.10., Tablo 3.11. ve Tablo 3.12.' de yer alan plastik malzemelerden beklenen özelliklere haiz ticari ürün kimlik kartı; hammadde tedarik safhalarında oldukça önem teşkil etmektedir ve bunun yanında oluşturulan spesifik karakteristik ürün kimliği ile diğer arka planda aksiyon alınan plastik hammadde proses kurguları gerçekleştirilebilir.

**Tablo 3.10.** Plastik hammadde ürün kimlikleri adlandırmalarının teknik açılım rehber klavuzu - I [23].

Plastik Hammadde Sınıflandırma Grupları		MFI Aralığı (Melt Flow Index)	Plastik Hammadde Numaralandırma	Hammadde Malzemelerinin Temel Özellikleri
1.	G	0.5	10	Standart.
2.	H	0.5~2	12	Yağlayıcı.
3.	K	2~5	17	Reolojisi kontrol altına alınmış.
4.	N	5~12	20	Yüksek ısı dayanımı.
5.	R	12~20	22	Çok yüksek ısıl dayanımı.
6.	T	20~40	40	Deterjan dayanımı.
7.	U	40~60	41	Sıcak ortamda deterjan dayanımı.
8.	V	80~120	80	Elastomer karışımı.
9.	W	120 ve üstü		

**Tablo 3.11.** Plastik hammadde ürün kimlikleri adlandırmalarının teknik açılım rehber klavuzu - II [23].

Plastik Hammadde Sınıflandırması		Polimer Tipleri	Özel Formüller	Hammadde İçeriğindeki Takviye ve Katkı Maddeleri Açıklamaları	
1.	0	Homopolimer	1.	S 1	Paketlemede gıda sınıfı.
2.	1	Blok Kopolimer	2.	GV 20	%20 cam elyaf takviyeli.
3.	6	Random Kopolimerler	3.	GV 2/20	%20 cam elyaf takviyeli kimyasal olarak şekillendirilmiş.
4.	7	Elastomer Karışımlılar	4.	GV 3/20	%20 cam elyaf takviyeli cam küreler.
			5.	TV 10	%10 talk katkı.
			6.	TV 40	% 40 talk katkı.

**Tablo 3.12.** Plastik hammaddelerin ticari tanımlamaları ve açıklamalar [23].

Plastik Hammadde Sınıflandırma	Hammaddelerin Ticari Tanımlamaları ve Açıklamalar (Renksiz Malzemeler)	
1.	A	Kolay Akış (Easy Flow).
2.	E	İyi Akış (Good Flow).
3.	H	Normal Akış (Normally Flow).
4.	Z	Zayıf Akış (Poorest Flow).
5.	WU	Yanma Geciktiri Katkılı (Contains Flame Retardant).
6.	UV	UV Stabilizör Katkılı (UV Stabilized).
7.	G	Cam Fiber Takviyeli (Glass Fibre Reinforced).
8.	Y	Antistatik Katkılı (Contains Antistatic).
9.	YU	Antistatik Katkılı (Ancak FDA onaylı değildir.).
10.	KR	Geliştirilen Malzeme (Development Product).
Plastik Hammadde Sınıflandırma	Hammaddelerin Ticari Tanımlamaları ve Açıklamalar (Renkli Malzemeler)	
1.	T	Isı Duyarlı (Temperature Sensitive).
2.	L	Soluble (Çözülgen).
3.	U	Yiyecek ile temasta kullanılmaz (Unsuitable for Food).
4.	1	Şeffaf Polistiren (GPPS).
5.	3	Isıl dayanımı düşük (Low Resistance to Heat).
6.	4	Darbe Dayanımlı Polistiren (Impact Modified Polystyrene).
7.	5	Parlak ve Darbe Dayanımlı Polistiren (Glossy Impact PS).

PP (Polipropilen) hammadde için tedarikçi firmalar; DOW, Exxon Mobil, INEOS, LG Chem, Lyondell Basell, Sabic ve hammaddelerin piyasadaki ticari isimleri; Adstif, Eltex, Exceed, Exxon Mobile PP, Exxtral PP, Hostalen, Ineos PP, Petrothene, Pro-Fax PP, Sabic PP, Sabic Verstolen ve Unipol PP olarak temin edilebilmektedir.

PA (Poliamid) hammadde için tedarikçi firmalar; BASF, Celanese, DUPONT, EVONİK, Honeywell, INVISTA, Ultrapolymers ve hammaddelerin ticari adları; Aegis, Capran, Celstran, Elvamide, Minlon, Nypel, Torzen, Ultramid, Vestamid, Vydne ve Zytel olarak temin edilebilmektedir.

ABS hammadde malzeme tedarikçileri ise; Daicel, Denka, Eni, Ineos, LG Chem, Sabic, TTC, Toray, Trinseo ve bu hammaddelere ait ticari isimlendirmeler; Cevian, Cicolac, Lustran, Magnum, Malecca, Taitalac, Toyolac şeklindedir.

PE (Polietilen) hammadde için tedarikçi firmalar; ENI, Chevron Phillips, DOW, Exxon Mobil, INEOS, LG Chem, Lyondell Basell, Sabic ve hammaddelerin ticari adları; Lupolen PE, NTX, Petrothene PE, Plexar PE, Rigidex, Sabic PE, Sabic HDPE, Sabic LLDPE, Tuflin, Unival, Alathon, Attane, Dowlex, Dow LDPE, Eltex PE, Enable, Exceed, Exxon Mobil LLDPE LL, Flexomer ve Ineos HDPE olarak tedarikçi firmalardan temin edilebilmektedir.

POM (Asetal) hammadde tedarikçileri; Asahi KASEI, BASF, Celanese, DUPONT, MITSUBISHI, Polyplastics ve ticari olarak adlandırılmaları; Celcon, Duracon, Ultraform, Delrin, Tenac ve Lupital şeklinde isimlendirilmektedirler.

PMMA (Akrilik) hammadde tedarikçileri; Arkema, DOW, EVONİK, Kuraray, Lucite, MITSUBISHI, Plaskolite, Sumitomo ve hammaddelerin ticari isimleri; Altuglas, Acrylite, Lucite, Optix, Plexiglas, Parapet, Rhoplex ve Shinkolite olarak isimlendirilmektedir.

PC (Polikarbonat) hammadde malzeme tedarikçileri; Chimei, Bayer, Idemitsu, LG Chem, MITSUBISHI, Teijin, Trinseo, Sabic, Samsung, Unigelve ve bu hammaddelerin ticari olarak isimlendirilmesi; Calibre, Durolon, Infino, Iupilon, Lexan, Lupoy, Makrolon, Novarex, Panlite, Tarflon ve Wonderlite şeklinde adlandırılmaktadır.

PS (Polistiren) hammadde için tedarikçi firmalar; BASF, Cellofoam, Dow, Ineos, LG Chem, Sabic, Syrotech, Trinseo ve hammaddelere ait ticari isimlendirme ise; Cellofoam, Depron XPS, Dylite, Hyrene, Ineos Styrenics, Sabic PS, Styrofoam, Styron, Styropor ve Syrotech olarak piyasada bulunabilmektedir. Ayrıca ASA (Akrilonitril Stiren Akrilat) için hammadde malzeme tedarikçi firmaları ise; Chi Mei, LG Chem, Network, Polymers, Sabic, Styrolution, Ultrapolymers ve ticari isimleri ise; Centrex, Geloy, KIBISAN, Luran ve Terblend şeklinde tedarikçi firmalar tarafından isimlendirilmişlerdir [23].

Ürün izlenebilirliği ve hammadde takibatının yapılabilmesi maksadıyla lot ve parti bazında plastik hammaddelere ait teknik bilgi formu (TDS) raporları hammadde tedarik ve diğer hazırlık aşamalarında; tez çalışması kapsamında oluşturulan Tablo 3.13.' te kine benzer formatta tedarikçi veya plastik hammadde üretici firmalarından mutlaka önceden temin edilmelidir.

**Tablo 3.13.** Teknik bilgi data formu içerik ve kapsamı (TDS - Technical Data Sheet).

	<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Teknik Spesifikasyonlar</b>	<b>Birim</b>	<b>Standartlar</b>
1.	Çekme/Gerilme Dayanımı	<i>Tensile Strenght</i>	MPa (ksi)	ASTM D 636
2.	Eğilme Modülü (Bükülme Çarpanı)	<i>Flexural Modulus</i>	MPa-GPa (10 <sup>6</sup> psi)	ASTM D 790
3.	Çizgisel Isıl Genleşme Katsayısı	<i>Coefficent of Lineer Thermal Ex.</i>	10 <sup>-5</sup> /K	ASTM D 696
4.	Izod Darbe Dayanımı	<i>Izod Impact</i>	Kj/m <sup>2</sup>	ASTM D 256A
5.	Charpy Darbe Dayanımı	<i>Charpy Impact</i>	Kj/m <sup>2</sup>	ISO 179
6.	Bükülme Dayanımı	<i>Flexural Strenght</i>	MPa	ISO 178
7.	Hacimsel Dayanım	<i>Volume Resistivity</i>	Ω.m	IEC 93
8.	Yoğunluk	<i>Specific Gravity</i>	gr/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
9.	UL Isıl Index	<i>UL Temperature Index</i>	°C	UL 746 C
10.	Rockwell M Sertliği	<i>Rockwell M</i>	HRC	ASTM D 785
11.	Su Emme	<i>Water Absorbtion</i>	%	ASTM D 750
12.	Yük Altında Isıl Deformasyon Sıcaklığı	<i>Heat Deflection Temperature Under Load</i>	°C	ASTM D 648
13.	Eriyik Akış İndisi	<i>MFI (Melt Flow Index)</i>	gr/10 dak.	ASTM D 1238
14.	Kırılma İndisi	<i>Refractive Index Number</i>	-	ASTM D 542
15.	Işık Geçirgenlik	<i>Light Transmission</i>	%	ASTM D 1003
16.	Çekme Modülü (Gerilme Modülü)	<i>Tensile Modulus</i>	GPa (10 <sup>6</sup> psi)	ASTM D 732
17.	Vicat Yumuşama Sıcaklığı	<i>Vicat Softening Temperature</i>	°C	ISO 306

MFI değeri yüksek olan malzemelerden üretilen parçalar ölçüsel olarak fazla oranda çekerken, MFI değeri düşük olan malzemeler ise geometrik olarak boyutsal daha az çekme davranışı sergilemektedirler. Ancak bu durumun tersi olarak MFI değeri arttıkça, malzemenin akma kabiliyeti oldukça iyileşmekte; renklendirici boya katkı maddelerinin MFI değeri ise plastik hammaddenin MFI değerinden daha yüksek olması gerekmektedir. Viskozite ise akmaya karşı gösterilen direnç yani kısacası akmazlıktır. Tüm bu olaylar çerçevesinde plastik hammaddelerin optimal düşük viskoziteye sahip olması istenmektedir.

### 3.6. Plastik Hammaddeler için Takviye, Dolgu ve Ek İlave Katkı Maddeleri

İnovatif yeniliklerin sağlanabilmesi veyahut mevcut teknik yapısal özelliklerin optimizasyonu için farklı metotlar kullanılarak plastiklerin polimer yapıları yeniden düzenlenmektedir. Plastik ana hammadde yapısına ilk olarak ilave edilen mekanik özellik iyileştirici ek katkı materyalleri; plastifiyanlar, pekiştirici ve mukavemet

arttırıcılar, renklendiriciler, lubrikantlar (yağlayıcılar), antistatik katkılar, UV stabilizatörleri, antioksidanlar, köpürtücüler, ısı stabilizatörleri, yanma dayanımı arttırıcılar, beyazlatıcılar, biyo stabilizeştiriciler, kristallik düzenleyiciler olarak gruplandırılabilirler. Mevcut özellikleri geliştirmek amacıyla polimer yapılı malzemeler çeşitli metotlar yardımıyla modifiye deneme çalışmaları gün geçtikçe hızlanarak ilerlemeye devam etmektedir [26].

Gelişmiş modelleme ve tasarım programlarının endüstride kullanımının yaygınlaşması ile spesifik plastik parça dizaynlarının karmaşıklaşmasına bağlı olarak ve ayrıca oluşan endüstriyel rekabet ortamı plastik hammaddelerden beklentileri gün geçtikçe arttırmaktadır. Tüm bu durumların ışığında plastik hammaddelere farklı spesifik karakteristik özellikler entegre edebilmek için istenilen çeşitli katkı maddelerinin hammadde karışımlarına ideal oranlarda ilave edilmesi gereklidir. Plastik hammadde malzemelerinin karakteristik yapıları dolgu ve katkı maddeleri ilave edilerek istenilen özelliklere haiz modifiye edilebilmektedir. Zaten günümüzde plastik endüstrisindeki birçok uygulamada plastiğin temel formüllerine ek katkı maddeleri ve takviyeler eklenmekte olup, artık neredeyse plastik hammaddelerin tamamına katkı maddeleri eklendikten sonra üretim operasyonlarında kullanılmaktadır.

Kullanıcıların beklentiler doğrultusunda ürün çeşitliliği, kozmetik dış görünüş ve estetik albeni etkisini arttırmak maksadıyla plastiklerde renklendiriciler sıklıkla kullanılmaktadır. Plastik reçine yapılarına göre farklı türlerde ve çeşitlilikte renklendirici katkı maddeleri bulunmaktadır. Hammaddelerin kimyasal yapısını bozmadan, ergitilmiş plastik içerisinde üniform homojen dağılabilen bir yapıda olmaları oldukça önem teşkil etmektedir. UV ışığı gibi dış ortam etkenlerine karşı dayanıklılık, su ile temas halinde renkte bozulmalar görülmemesi, kullanılan katkı maddelerinde insan ve doğa sağlığını olumsuz etkileyecek kimyasalların tercih edilmemesine itina gösterilmelidir.

Renklendirici (Masterbatch-Colorants) katkısı; hammaddeye sıvı ve ya granül olarak katılabildiği gibi polimerizasyon prosesi esnasında da renklendirme gerçekleştirilebilmektedir. Üretim esnasında gravimetrik operasyonel işlemleri ile ya da enjeksiyon vidası içerisine doğrudan renklendirici katkı malzemesi katılabilir. Hammaddenin MFI değeri, masterbatch MFI değerinden küçük olmalı ki; masterbatch kalıp içerisindeki tüm boşluklara hammaddeden daha önce ulaşarak, parçanın ve kalıp iç boşluklarının tamamının renklendirilmesi sağlanabilmektedir. Problem oluşumu sıkça görülen siyah renkten ara geçişler olmadan doğrudan beyaz renk baskıya geçişlerde;

granül halde temin edilerek doğrudan dozajlama hunisine atılan ticari adlandırma ile "XPURG" kusturucu malzeme ile 8 baskı kadar az bir süreçte hızlı renk değişimi sağlanabilmektedir.

Talk katkısı; ısı ve neme karşı direnç sağlamanın yanı sıra üretilebilirlik, imal edilebilirlik ve elektriksel yalıtkanlık artışı sağlarken, ek olarak kaolin katkısı ile elektriksel özelliklerin iyileştiği yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Çarpılma problemini minimuma indirmek, ölçüsel ve boyutsal tamlığı yakalamak, parçanın sıcaklık dayanımını artırmak, malzemenin sertleşmesini sağlamak ve maliyet azaltılması gibi önem teşkil eden faktörler için hammadde içeriğine talk katkısı yapılmalıdır. Ayrıca dolgu ve güçlendirme katkıları olarak kalsiyum karbonat, talk, kaolin, fındık kabuğu talaşı gibi malzemelerde kullanılmaktadır. Bu katkı malzemeleri; yüzey, renk, yoğunluk, çekme, mekanik ve ısıl özelliklere doğrudan etki etmektedir.

Plastik bir üründen hafiflik (boşluklu iç yapı), korozyon dayanımının artışı, ısıl ve elektrik yalıtkanlığı, parça başı maliyetin düşürülmesi gibi ek özellikler istenildiği takdirde köpürtücülerin takviye katkı maddesi olarak kullanılması uygundur. Köpürtücüler, organik veya inorganik yapıda olabilmelerinin yanı sıra bu katkı materyalleri belirli bir sıcaklık seviyesinde parçalandıktan sonra karışım hammadde içerisinde çözünürler ve hammadde karışımını köpürterek, gözenekli bir iç yapı oluştururlar. Köpürtücü katkı maddeleri katı halde, sıvı veyahut gaz halindeki kimyasallardan meydana gelmektedirler. Şayet katkı maddesi katı ise eriyerek, sıvı fazda buharlaşarak veya gaz formda ise genleşme sonucu enjeksiyon sisteminden ayrılarak veya bozulma gerçekleşerek, hücresel boşluklu bir polimer iç yapı meydana gelmesinde katkıda bulunurlar [27]. Kimyasal Şişirme (Chemical Blowing Agents) katkı maddesi ise; çökme oluşumunun önlenmesi, yoğunluğun azaltılması, ses izolasyonu ve yalıtım gibi faktörlerin oluşumunu gerçekleştirmektedir.

Çekirdeklendirme katkısı (Nucleating Agents); kristalin yapıdaki plastiklerin çökme ve çarpılma problemlerini azaltmak ve bunun yanı sıra PE, PA, PET, PBT gibi malzemelerin erime aralığını genişlettiği için üretim prosesleri esnasında kolaylık sağlamaktadır.

Cam fiber elyaf takviyeleri plastiklere oldukça iyi seviyede kimyasal ve ısıl direnç sağlamlarının yanı sıra darbe mukavemeti ve malzemenin sertliğini de arttırmaları. Bunun yanı sıra karbon elyaf takviyesi ile elektriksel ve ısıl iletkenliklerin arttırılmasına ek olarak sertlik ve çekme mukavemeti de artmaktadır. Silisyum takviyeler kullanıldığında hafiflik, silikatlar ise polimerlere sertlik kazandırırken; plastik parçaların

kalıp setinden kolaylıkla çıkmasını katkı sağlamaktadırlar. Statik elektriklenmenin istenmediği durumlarda ise metal ve grafit tozları katkı olarak kullanılmalıdır.

Plastiklerin kalıp içi hareketleri (reoloji) oldukça kompleks bir olaydır. Çizgisel akıştan daha fazla sıkışık bir bölgeye geçince enjeksiyon prosesi esnasında kayma gerilmelerinin oluşumu görülmektedir. Malzemenin akışını kolaylaştırırken, aynı zamanda bu duruma bağlı olarak yüzey parlaklığının artması ve mal akışının daha rahat bir şekilde yapılması dahili veya harici, yağlayıcı ve kaydırıcı katkı malzemeleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Kalıp içi yağlayıcı ve kaydırıcı katkı malzemeleri; metal stearat, hidrokarbon mum, ester mum, amit mum, yağ asidi esterleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lubrikantlar (Yağlayıcılar), plastik hammadde karışımlarına genellikle "% 0.1~3" aralığında yapıya ilave edilmesi literatürdeki kaynaklarda tavsiye edilmektedir. Bu yüzdenin aşılması halinde hammadde karışımı ısı tesiriyle bozulabilir ve sonrasında çıkan ürünlerin mekanik kabiliyetleri beklentileri karşılayamaz. Ayrıca lubrikantlar ergitilmiş plastik hammaddenin enjeksiyon tezgahlarındaki sonsuz vida ve kalıp seti iç boşluklarında optimal akışın gerçekleşmesinde de yardımcı rol oynamaktadır. Ek olarak yağlayıcı katkıları sayesinde plastik ürünlerin kalıptan çıkmasına kolaylık sağlamaktadırlar [27].

Alev Geciktirici (Flame Retardants) katkı malzemeleri; enjeksiyon prosesi esnasında parça yüzeyinde oluşan termal enerjiyi parçadan uzaklaştırmaktadır. Bu duruma bağlı olarak endotermik kimyasal reaksiyonlar (ısıyı emme ve absorbe etme) meydana gelmektedir. Ayrıca parçaların kullanım yerlerinde sıcaklık yada aleve maruz kalması durumunda plastik malzemenin yanma karakteristik UL (Underwriter's Laboratories) değerleri ve verileri ön plana çıkmaktadır. UL datalarına göre V-5, V-0, V-1 ve V-2 değerleri bulunmaktadır. V-5 ele alındığında ise; diğer söz konusu değerlere göre tutuşma ve yanmazlık özelliği en yüksek olan karakteristik özellikleri kapsamaktadır.

UV stabilizatörler, plastik parçanın kimyasal değişimine sebep olan enerjiyi ısı enerjisine dönüştürecek biçimde absorbe ederek soğururlar ve aynı zamanda bu enerjinin dağılımını sağlamaktadırlar. UV stabilizatör katkıların renksiz ve insan sağlığına zararsız olmasına oldukça dikkat edilmesi gereklidir. Bu katkı maddelerinin hammadde karışımlarında "% 0.5~2" aralığında kullanılması tavsiye edilmektedir. Plastiklerin yapıları ve renkleri UV etkisiyle zaman içerisinde bozulabilir. Bu nedenle

plastığın estetik formunun bozulmasının yanı sıra çekme dayanımının azalışına da neden olabilmektedir [27].

Antioksidanlar, plastik granül formda üretim sırasında veyahut parça baskısı sırasında hammadde karışım içeriğine "% 0.1~2.5" oranında katılabilirler. Hammadde karışımının oksitlenme önleyici görevinin yanı sıra plastik malzemede oksijenden kaynaklanabilecek tahribatı minimuma indirmektedir. Antioksidanlar doğrudan oksijeni absorbe edebilirler veya plastik hammadde karışımı ile kararlı ürün oluşturabilecek oksitlenme tepkimelerini önlemeye yardımcı olurlar [27]. Oksidasyon, hammaddelerin stoklaması, üretim gerçekleşeceği zaman diliminde ya da malzemelerin kullanım süresince her an oluşumu gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle mekanik özelliklerin stabil kalması ve yüzey görünümünün bozulmaması için oksitlenme giderici katkı malzemeleri, hammadde karışım içeriğine eklenmesi tavsiye edilmektedir.

Antimikrobik katkı maddeleri ise; organik yapıları katkı malzemeleri bakterilerin rezistans oluşturmalarına bağlı olarak hammadde içeriğinde "triklosan" kullanılmakta olup, inorganik yapıdaki antimikrobik katkılarda ise gümüş iyonları taşıyıcı matris; zeolit, cam, zirkonyum fosfat, kalsiyum fosfat olarak kullanımı görülmektedir. Bakterilerin etkilenmesi DNA yapısının bozulması sonucu tekrar üreyememe ve direkt olarak bakterilerin öldürülmesi şeklindedir. Bakterilerin etkilenme süresi kullanılan ajan malzemeye bağlı olarak 45 dakika ile 6 saat aralığındadır. Bu tarz özel plastiklerin gıdaya uygunluk testleri ve denetlemeleri FDA ve EPA gibi kurumlar tarafından sürdürülmektedir.

Plastiklerin kullanımları esnasında ürünlerde statik elektrik birikimi doğal olarak yaşanmaktadır. Biriken bu statik elektrik yükleri kir, toz, partikül vb. istenmeyen maddelerin ürün üzerinde doğrudan birikmesine neden olmaktadır. Plastik hammadde materyali ile uyumlu, bunun yanında ısı etkisine ve enjeksiyon ile kalıplamaya uygun olması beklenen antistatik katkı maddeleri; hammadde karışımlarına "% 0.1~2" oranında ilave edilmeleri tavsiye edilmektedir [27].

Kozmetik dış görünüşün iyileştirilmesi, parlaklık ve maliyet optimizasyonu istenildiğinde kalsiyum karbonat katkısı yapıya ilave edilmelidir. Kalsiyum karbonat, talk kaolen ve baryum karbonat gibi katkıların fazla kullanılması halinde ise üretilen parçanın mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. İdeal doğru karışım oranlarında kullanıldıkları takdirde ise plastik parçanın mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün kılınmaktadır.

Kırılma direnci, termal iletkenlik ve viskozitenin artırılmasının yanında metalik esaslı oksitler yapıya ilave edildiğinde plastik parçada sertlik, ısıya karşı dayanım direnci ve elektriksel iletkenlik yapıya entegre edilir. İşlenebilirlik, talaş kaldırılabilme, ısıl ve elektriksel iletkenlik ile çarpma direncinin sağlanabilmesi için alüminyum ve bakır katkısı ilave edilmesi gerekmektedir. Kaplamaların tutunma ve kalitesinin artırılmasına ek olarak korozyon direncinin istenildiği takdirde ise çinko katılmış polimer malzemeler tercih edilmelidir.

Buğu Önleyici (Antifogging) katkı malzemeleri; su damlacıkları içerisinde çözünerek öncelikle yüzey gerilimini azaltmaktadırlar. Yüzey enerjisi ile su damlacıklarının yüzey gerilimi arasındaki fark nedeniyle damlacıkların dokunma yani temas noktaları sıfıra kadar düşmektedir. Sonuç olarak plastik parça yüzeyinde küçük su taneciklerinin oluşturduğu buğulu görüntü oluşumu engellenmektedir.

Enjeksiyon tezgahı hammadde karışım hunisine; oransal valfli çekirme boruları aracılığıyla üzerileri kapalı hareketli yarı stok kutularından kırma plastikler ayrı bir hattan plastik hammadde granülleri ayrı bir hattan gönderilerek, yüzde oransal karışıma göre tezgahdaki mal besleme hunisi içerisinde dozajlama işlemi yapılmaktadır. Manuel olarak tezgah dışında yapılan dozajlama operasyonları istenmeyen hatalı parça çıktıklarına sebep olabilir. Ayrıca enjeksiyon sırasında mal enjekte hızı arttırılırsa, bu duruma paralel dozajlama hızı da kademeli olarak mutlaka arttırılmalıdır.

### **3.7. Kırma (Geri Dönüşüm) Plastik Materyaller ve Hammadde Karışım Yüzdeleri**

Kırma makinelerinden geri dönüşümü yapılan plastiklerin granül forma girmiş haldeki çapları; moleküler yapıda kolaylıkla bağ oluşturulabilmesi için asıl hammaddenin granül çaplarına eşit ya da daha küçük olması gereklidir. Kırma sonrası parçacıklar eleklerden geçirilerek tasniflenmeli, sınıflandırılmalı ve hatta mümkünse olabildiğince ideal boyutlara indirgenmelidir. Ana plastik hammadde ile kırma plastik materyallerin optimal karışım yüzdeleri Tablo 3.14.' te verildi. Bu karışım yüzdeleri ve oranlar deneysel yöntemler ile testler yardımıyla çalışma kapsamında tespit edilmiştir. Diğer taraftan genel olarak hammadde karışım içeriğindeki kırma plastik malzeme oranı "%25" i geçilmemesi çalışma kapsamında edinilen tecrübelerden tavsiye edilmektedir.

2. ve 3. jenerasyon kırma plastik materyal kullanılması halinde ısıl bozunma ve kırılmaya eğilim davranışları artarken, plastikte aşırı bir koku ve yanma izleri oluşumu gözlemlenebilir. Kırma plastik materyal kullanımı Tablo 3.14.'te verilen sınır değerleri

dışına çıkılarak aşıldığında; moleküler bozunma, deformasyonlar ve açık renkli plastik malzemelerde sararma gibi istenmeyen problemler ve hatalar meydana gelebilir.

**Tablo 3.14.** Geri dönüşüm (kıрма) plastik materyal ile ana hammadde karışım yüzdeleri.

Plastik Malzemelerin Sembolleri ve Polimer Malzemelerin Açık Adlandırmaları		Kırma Plastik Materyal ile Ana Hammadde "Maksimum Karışım Yüzdesi"
1.	PP - LDPE - HDPE	% 15
2.	PA 66 (Poliamid 66 (Naylon 66))	% 20
3.	ABS (Akrlonitril Butadien Stiren)	% 20
4.	PC (Polikarbonat)	% 20
5.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	% 10
6.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	% 0 (Kırma malzeme kullanılmaz.)
7.	SAN (Stirenakrlonitril)	% 20
8.	HIPS	% 40
9.	GPPS	% 30

Kırmadan gelen plastik malzemelerin yıkanmadan üretim proseslerine dahil edilmesi durumunda ve kırma malzemelerin tozlu, pis olması halinde baskı sonrasında üretilen parçalarda istenmeyen görsel kusurlar, siyah nokta oluşumları gözlemlenebilir. Bu nedenle kırma plastik malzemelerin stok, depo ve üretim öncesi yapılan tüm hazırlıklar için ambalajlanmış olduğu paket içerikleri; yıkanmış, kurutulmuş, yalıtılmış ve ağzı kapalı bir torba içerisinde muhafaza edilmek suretiyle depolanmalıdır.

Kırma plastik materyal bölümündeki personellerin teorik ve pratik yetkinlikleri oldukça önem teşkil etmektedir. Toz giriş-çıkışı ve diğer sirkülasyonların kontrol altında tutulabilmesi için izolasyonlu endüstriyel otomatik çift geçişli ara bölücüler mutlaka bu bölümde konumlandırılmalıdır. Kırma makinesinin bulunduğu bölümdeki ses 85 db üzerine çıktığı anda yalıtımlı otomatik kapılar aracılığıyla gürültünün diğer üretim sahalarına geçişi engellenmelidir. Konvansiyonel havalandırma sistemleri ile kırma prosesi esnasında ortamın azami seviyede mutlaka havalandırılması gereklidir.

### 3.8. Plastik Hammadde Karışımlarının Kurutma Süreçleri

Hammadde higroskopik yani malzemenin iç yapısına nem alabilen bir plastik malzeme ise kuru havalı kurutucular kullanılarak kurutma işlemi yapılması gereklidir. Sadece yüzeyine nem alabilen plastik malzeme türlerinde şayet malzeme ıslak formda ise enjeksiyon makinesinin hunisine doğrudan bağlanan kurutucular ile kurutma

işleminin yapılması yeterlidir. Hammadde girişinde, kurutma öncesi ve sonrasında nem seviyesi mutlaka kalibrasyonlu nem ölçüm aletleri ile ölçülerek kontrol edilmelidir [28].

Kurutma prosesi için enjeksiyon tezgah huni hacmi hesaplamaları;

[Parça Ağırlığı (gr) x Göz Adedi] + [Toplam Yolluk Ağırlıkları (gr)] = Mal Miktarı,

1 saat : 3600 sn olduğuna göre;  $\frac{3600 \text{ sn}}{1 \text{ çevrim süresi (sn)}} = 1 \text{ Saatteki Toplam Baskı Sayısı}$ ,

[1 saatlik] Kurutulacak Hammadde Miktarı = (Mal Miktarı) x (1 Saatteki Baskı Sayısı).

**Tablo 3.15.** Plastik hammadde üreticileri tarafından belirlenen plastik hammadde malzemelerinin kurutma sıcaklıkları ve mal kurutma süreleri [23].

	<b>Plastik Malzemelerin Sembolleri ve Açık Adlandırmaları</b>	<b>Hammadde (Mal) Kurutma Sıcaklığı (Derece)</b>	<b>Hammadde (Mal) Kurutma Süresi (Saat)</b>
1.	PA 11 (Poliamid 11)	80 °C	2 saat
2.	PA 12 (Poliamid 12)	80 °C	2 saat
3.	PA 6 (Poliamid 6 (Naylon 6))	80 °C	2 saat
4.	PA 6 - %30 GF (Glass Fiber)	80 °C	2 saat
5.	PA 610 (Poliamid 610)	80 °C	2 saat
6.	PA 66 (Poliamid 66 (Naylon 66))	80 °C	2 saat
7.	PA 66 - %30 GF (Glass Fiber)	80 °C	2 saat
8.	PP (Polipropilen)	Nem almaz.	-
9.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	80 °C	2 - 3 saat
10.	HDPE/Polietilen-Yüksek Yoğunluk	Nem almaz.	-
11.	LDPE/Polietilen-Alçak Yoğunluk	Nem almaz.	-
12.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	-	-
13.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	-	-
14.	PETP (Polietilen Eter Ftalat)	125 °C	3 saat
15.	PETP - %30 GF (Glass Fiber)	125 °C	3 saat
16.	PC (Polikarbonat)	120 °C	2 - 4 saat
17.	PC - %30 GF (Glass Fiber)	120 °C	2 - 4 saat
18.	POM (Polioksimetilen (Asetal))	Nem almaz.	-
19.	POM - GF	Nem almaz.	-
20.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	80 °C	1 - 2 saat
21.	PS (Polistiren)	-	-
22.	ASA (Akrilonitril Stiren Akrilat)	80 °C	2 - 3 saat
23.	SAN (Stirenakrilonitril)	80 °C	1 - 2 saat
24.	PAS (Poliartik Sülfon)	-	-
25.	PAI (Poliamid İmid)	120 °C	24 saat
26.	PAE (Poliartik Eter)	-	-
27.	PES (Polietersülfon)	150 °C	3 saat
28.	PPO (Polifenilin Oksit)	120 °C	2 - 4 saat
29.	PPS (Polifenilin Sülfür)	150 °C	6 saat
30.	PSO (Polisülfon)	-	-
31.	CA (Selüloz Asetat)	80 °C	1 - 1.5 saat
32.	CAB (Selüloz Asetat Butirat)	80 °C	1 - 1.5 saat
33.	CP (Selüloz Propionat)	80 °C	1 - 1.5 saat
34.	EVA (Etilen Vinil Asetat)	Nem almaz.	-

Bu çalışma kapsamında plastik hammadde malzeme üreticilerinden alınan veriler kullanılarak oluşturulan hammadde kurutma sıcaklıkları ve süreleri Tablo 3.15.' te verildi. Şayet bu verilen parametrik değerlere uyulmadığı takdirde plastik malzemelerde degrade yani moleküler yapıda bozunmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yine kurutmanın gerekli olduğu plastik malzemelerde ise kurutma sıcaklık ve süreleri yani Tablo 3.15.' te verilen değerlerden oluşabilecek tutarsız sapmalara karşı proses uygulamalarında hassasiyet gösterilmelidir.

Enjeksiyon tezgahlarının çalıştığı coğrafya, atmosferik ve çevresel koşullar sebebiyle plastik hammadde de nem hadisesi söz konusu ihtiva olmuş ise maksimum "40 mm" derinlikteki bir hammadde (mal) kurutma fırınında plastik hammaddelerin nem alma ve kurutma işlemlerinin tablo sıcaklık değerlerine uygun olarak yapılması gereklidir. Sonuç olarak görüldüğü üzere plastik hammadde kurutma prosesleri optimal plastik parça üretimi için oldukça önem arz etmektedir.

### 3.9. Plastiklerin Shore Sertlik Skala Değerleri

Plastikler teoride maksimum 3H kalem sertliğine kadar dayanıklıdır. Ancak pratikte çizilmeye karşı maksimum 2,5H kalem sertliğine kadar mukavimlik ve dayanım söz konusudur. Plastiklerin sertlik değerleri "Rockwell M" veya "R" ya da "Shore" olarak isimlendirilen ölçüm metotları ile belirlenmektedir. Sertlik karakterizasyonunun önemli olduğu proseslerde üretilecek parçanın sertlik değeri plastik hammadde üreticileri veya tedarikçilerle kontakt kurularak sertlik hassasiyetine göre uygun özel çözümler oluşturulmalıdır. Literatürdeki kaynaklardan alınan plastik hammadde malzemelerine ait Shore sertlik skala verileri kullanılarak Tablo 3.16. oluşturuldu.

**Tablo 3.16.** Shore sertlik skala değerleri ve cetveli [21].

	<i>Çok Yumuşak</i>	<i>Yumuşak</i>	<i>Orta Yumuşak</i>	<i>Orta Sert</i>	<i>Sert</i>	<i>Çok Sert</i>
<b>Shore <math>\infty</math></b>	0 10 20 30 40 50 60	70	80	90	100	
<b>Shore A</b>	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100					
<b>Shore D</b>	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100					

Plastiklerde sertlik skala çizelgesinde; Shore A skalasında 25~90 aralığında "lastik", Shore A 55~95 ile Shore D 45~77 skala aralığında "ürethan kauçuk malzemeler", Shore D 57~85 ile Rockwell R 50~150 skala aralığında "termoplastikler"

ve Rockwell  $R \approx 110$  "PS", Rockwell  $R \approx 120$  "PA", Rockwell  $R \approx 130$  "PMMA" polimer malzemeler olarak sınıflandırılmaktadırlar.

### 3.10. Plastiklerde Yapıştırma Prosesleri ve Çözücü Kimyasallar

Birleştirme tekniklerinde plastik malzeme seçimi ile kimyasal reçeteleri, malzemelerin tip ve kimyasal uyumlulukları oldukça önem taşımaktadır. Yapıştırma tip sökülemeyen birleştirme bağlantılarında ise malzemelerin yapıştırılmasında, sıcak eriyik (Hot Melt) yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Diğer taraftan plastiklerde yapıştırma prosesleri için kullanılan çözücü kimyasallar ise Tablo 3.17.'de verildi.

**Tablo 3.17.** Plastiklerde yapıştırma proseslerinde kullanılan çözücü kimyasal maddeler [21].

Plastik Malzemeler		Çözücüler
1.	PA (Poliamid)	Sulandırılmış Fenol Çözelti, Rezosinolün Alkol içeriğindeki Çözeltileri.
2.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	Metil Etil Keton, Metil İzobütil Keton, Tetrahidrofüran Metilen Klorür.
3.	PVC (Polivinilklorür)	Sikloheksan, Tetrahidrofuran, Diklorobenzen.
4.	PC (Polikarbonat)	Metilenklorür, Etilen Diklorür.
5.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	Metil Klorür, Etilen Diklorür, Aseton.
6.	PS (Polistiren)	Metilenklorür, Etilen Diklorür, Etil Keton, Triklor Etilen Ksilen.
7.	PPO (Polifenilin Oksit)	Triklor Etilen, Etilen Diklorür, Kloroform, Metilen Klorür.
8.	PSO (Polisülfon)	Metilen Klorür.
9.	Asetat	Metil Klorür, Aseton, Kloroform, Metil Etil Keton, Etil Asetat.
10.	Selüloz	Metil Etil Keton, Aseton.

Plastiği bekleyen ana ve post proseslerde; üretim operasyonun türü, mekanik geçme sistemleri, vidalama işlemleri, kaynak yada yapıştırma yöntemleri, stoklama ve transfer koşulları ile diğer çevresel etkiler oldukça önem teşkil etmektedir.

#### 4. PLASTİK PARÇA TASARIM, DİZAYN VE MODELLEME SÜREÇLERİ

Malzeme bilimi dünyasında makro molekülleri oluşturan tek yapı elemanları monomer olarak adlandırılmaktadır. Polimerlerde farklı üretim yöntemleri ile aynı çeşit ancak farklı miktarlarda monomerler kullanılarak farklı jenerasyon ve varyasyonlarda yeni yapıda polimer eldesi mümkün kılınabilmektedir. Makro moleküller yaklaşık olarak 10 000'den fazla tek yapı elemanlarının tek sıra zincir halinde dizilmeleri ile oluşmaktadır. Plastik polimer malzemeler ise birbirlerine bağlanan yada karışık uzun makro molekül zincirlerinden oluşarak meydana gelmektedirler. Ayrıca polimerler, polimerizasyon olarak isimlendirilen reaksiyonlar ile elde edilebilmektedirler. Isı, basınç ve katalizörlerden yararlanılarak gerçekleştirilen polimerizasyon prosesleri, bir çok molekülün bir araya getirilerek bağlanması reaksiyonlarının en geliştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde polimerler dünyasında yaklaşık olarak 10 000 çeşit plastik malzemenin var olduğu tahmin edilmekte olup, bunların arasından birkaç yüz çeşit plastik hammadde malzemesinin endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Öte yandan hiçbir plastik malzeme aynı tipolojik özelliklere sahip değildir ve her biri ise farklı değişken karakteristik özelliklere sahip olup, değişken gruplandırma ve sınıflandırmalarla birbirlerinden ayrılmaktadırlar.

Bu tez çalışma kapsamında enjeksiyon disiplini çatısı altında plastik parça üretimindeki temel felsefe; "Bu plastik tüm koşullar altında nasıl optimum imal edilebilir?" bakış açısının geri planında yer alan proses kurguları ve diğer aksiyonları tüm detayları ile kapsamayı hedeflenmektedir. Üst düzey teknolojik ortamlarda üretilebilirlik ve imal edilebilirlik için gerekli olan tüm teknik detayların çözümlenmiş; sırasıyla eskiz, tasarım, modelleme, analiz, tersine mühendislik ve simülasyon süreçlerinin üretilen olan plastik parçanın fikir aşamasında oluşturulan eskiz taslak karalamalarından, şahit numune üretimine kadar ki geçen tüm süreçlerde ve operasyonel faaliyetlerde hedeflenen temel kilometre yapı taşlarının bu tez çalışmasında peyderpey oluşturulması hedeflenmektedir.

Plastiklerde; tasarım ve modelleme süreçlerinde plastik hammadde malzemesinin seçimi ve imal usulleri arasında köprü oluşturan oldukça önemli bağlantılar bulunmaktadır. Plastiklerin asıl geometrilerinin oluşturulmasının yanı sıra diğer malzeme çeşitlilikleri, malzeme kompozisyonu ve mekanik reçeteye bağlı olarak parça tasarımlarını imalat öncesinde mutlaka optimize etmek gereklidir [29].

Plastik parça tasarımı, istenilen ürün için en uygun plastik hammadde malzemesinin seçimi, plastik üretimi için gerekli olan tüm teknik donanımların ve şartların oluşturulması, malın kalıplanması ve sonrasında üretilmesi gibi dört temel unsur plastik ürün tasarımı için oldukça önem taşımaktadır. Tasarımcının imalat operasyonları ve diğer yöntemler hakkında daha fazla bilgili ve tecrübeli olması, daha iyi bir ürün tasarımı demektir. Unutulmamalıdır ki; bütün her şey ilk önce tasarımla başlamaktadır. Parça tasarımında yapılacak hatalar sonrasında üretim sürecine kadar ki geçen tüm proseslerin doğrudan etkileneceği bilincinde olunması gerekmektedir [30].

Çekme dayanımı, çentik darbe etkisi, eğme ve katlanma dayanımları, aşınma ve çizilme direnci, korozif ve kimyasal direnç, yanma ve alev direnci, elektriksel direnç, ısı ve sıcaklık dayanımları, dış ortam etkileri gibi etmenler bir parçadan beklenen özelliklerin belirlenmesindeki hammadde malzeme seçim kriterlerindedir. Bu özellikler dikkate alınarak; ideal malzeme seçimi ile birlikte plastik parça tasarım aşamalarına geçilir. Ayrıca tasarım operasyonlarının hızlı yürütülebilmesi için parçadan istenilen ve beklenen fonksiyonel karakteristik özellikler ve parçanın çalışacağı çevre ortam şartlarının oldukça iyi bilinmesi gerekmektedir. Diğer yandan estetik kozmetik görünüm ve fonksiyonellik gibi parçadan beklenenler tam olarak önceden belirlenmesi tasarım ve dizayn aşamalarını oldukça kolaylaştırmaktadır.

Ortalama kullanım ömrü, hizmet servis süresi boyunca parçanın yüklenme karakteristiği, yüklemenin genliği, kullanım süresince müsaade edilen elastik ve plastik şekil değişimlerinin miktarı gibi çeşitli tasarım koşullarının önceden tanımlanması oldukça önem teşkil etmektedir [31].

Plastik hammadde malzemesinin seçimi, nominal parça et kalınlıkları, parça çıkma açısı, çekme yüzdesi, bütünsel rijitlik gibi tasarım detayları bir tasarımcının dizayn aşamasında dikkat etmesi gerektiği başlıca temel kıstaslardandır. Plastik enjeksiyon ile kalıplamada dizayn aşamalarında ürünün performansı tüm parametrik beklentileri karşılayabilecek özelliklere haiz olmalıdır. Ancak diğer taraftan enjeksiyon yöntemleriyle imal edilecek bir parçanın tasarım aşamalarında dizayn stratejileri ve bunların yukarıda verilen sıralamaları, belirlenen amaç ve hedefler doğrultusunda oldukça önem arz etmektedir.

Plastik bir parçanın en fazla fonksiyonel özelliği bir arada yerine getirebilecek şekilde dizayn edilmesinin yanı sıra parça fonksiyonelliğinin maksimum seviyede tutmak gerekmektedir. Dizayn edilecek plastik parçanın fonksiyonelliğine, tesis işletme

şartlarına ve diğer tüm maliyet unsurlarının optimizasyonuna göre ideal polimer esaslı plastik hammadde malzemesinin seçimi yapılmalıdır.

Ticari olarak halihazırda piyasada bulunabilen ve çok geniş bir yelpazesi olan kalıplanabilir termoplastikler, tasarım ve dizaynı yapılan plastik parçaların malzeme seçimlerini oldukça güçlendirmektedir. Malzeme seçimlerinde öncelikle benzer diğer başka bir plastik üründe kullanılan plastiklerin ilk önce değerlendirilmesinin yanı sıra kullanım amacına göre imalatçı ve üretici tedarikçilerin doğrudan tavsiye ettikleri hammadde malzemelerinin de kullanıldığı yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir.

Talaşlı imalat operasyonlarıyla talaş kaldırmak suretiyle işlenebilirlik göz önünde bulundurularak; plastiklerin mikro ve makro yapıda stressiz olarak optimum çalışabilme davranışları için kalıp grubu reolojisine bağlı kalınarak üretilecek plastik parça boyut ve geometrik değerlerinin yer aldığı yardımcı teknik bilgi formu (TDS) ve diğer veriler çalışma kapsamındaki diğer bölümlerde oluşturulacak teknik bilgi tablolarında yer alacaktır. Ayrıca talaşlı imal usulleriyle özel donanımlı CNC tezgahlarda işlenmiş; kalıp içi kavite boşluklarının (Tünel yolluk, mal dağıtıcı kanalları, parça gözleri ve soğuk malzeme çukurları vs.) CAD (Computer Aided Design) ortamında modellenebilmesi için gerekli olan tüm sıralı parametreler bu hususta oldukça önem teşkil etmektedir.

Kalıp seti çalışma prensiplerinin plastik parça tasarımına olan etkilerinin yanı sıra plastik parçanın tasarımı doğrudan kalıp tasarımını etkilemektedir. Kalıp ayırma (bölme) yüzeyi, parçanın kalıptan çıkma açıları, maça sistemleri (jiggle) ve soğutma gereksinimleri gibi plastik ürün üretimini etkileyen tüm durumlar baz alınarak, plastik parça tasarımı yapılması tavsiye edilir. Bir plastik parça modeli, teknik olarak kalıp setinin üretim operasyonları sırasında yaşanabilecek problemler önceden öngörülerek kalıp üretiminde istenmeyen ek maliyet oluşum unsurlarını da doğrudan etkilemektedir.

Yüzey, kabuk veya dış gövde formu şeklinde gelen teknik data'lara CAD ortamında üretilebilir bir geometrik form kazandırılması, kalıplama öncesindeki en önemli son plastik parça tasarım aşamasıdır. Paket programlar aracılığıyla üretime hazır, ideal üç boyutlu teknik data'lara tamamlanmış plastik parçaların 3D yazıcıda istenilen boyut ve ölçekte; örme ile baskı yöntemi kullanılarak prototip numune üretimi ile kalıplama öncesi parçanın gerçeğine oldukça yakın genel son kontrolü yapılmalıdır. Sanatsal kozmetik dış görünüşün yanı sıra boyut ve geometrik tüm detaylar hakkında reel gerçek bilgi sahibi olunması bu sayede mümkün kılınmaktadır. Ayrıca gün geçtikçe gelişen 3D teknolojisi ile yine parçadan istenilen

geometrik forma en yakın ilkel (primitif) prototip parçalar üretilerek; gereksiz kalıp malzeme israfları ve diğer beklenmeyen ek maliyet unsur oluşumları engellenebilir. Ayrıca yine eklemeli imalat teknolojilerinin gelişiminin hızlanması ile birlikte plastik sektöründe 3D prototipleme kullanımında giderek artış görülmektedir.

Plastik parçaların malzemelerinin ana hammadde seçimleri yapılırken, başlangıçtaki dikkat edilmesi gereken en önemli birincil parametre; tasarımı yapılan parçanın geometrisine bağlı kalınarak malın kalıp kavite iç boşluklarında optimal ve rijit bir akışın sağlanabilmesi için çalışma kapsamında plastik hammadde üreticilerinden elde edilen veriler doğrultusunda önerilen mal akış uzunlukları milimetre cinsinden Tablo 4.1.'de oluşturuldu.

**Tablo 4.1.** Plastik hammadde malzemelerinin kalıp kavite içi mal akış uzunlukları [23].

Plastik Malzemelerin Sembolü ve Plastik Malzemelerin Açık Adlandırılması		Plastik Hammaddelerin "1 mm" Et Kalınlığındaki Mal Akış Uzunlukları (mm)
1.	PP (Polipropilen)	230 mm
2.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	140 mm
3.	PA 6 (Poliamid 6 (Naylon 6))	150 mm
4.	LLDPE (Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen)	250 mm
5.	HDPE (Polietilen (Yüksek Yoğunluk))	200 mm
6.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	80 ~100 mm
7.	PC (Polikarbonat)	40 mm
8.	PBTP (Polibutilentereftalat)	130 mm
9.	SAN (Stirenakrilonitril)	170 ~200 mm
10.	ASA (Akrilonitril Stiren Akrlat)	180 ~230 mm
11.	CAB (Selüloz Asetat Butirat)	300 mm

Mal akış uzunlukları Tablo 4.1.'de verilen değerlerinin azami ve kabul edilebilir seviyede üzerine çıkıldığı takdirde hesaplanan enjeksiyon baskı tonaj değeri %10 arttırılmalıdır. Ancak diğer taraftan sıcak yolluk sistemleri enjeksiyon tezgahı ve kalıp seti dizaynına entegre edildiği takdirde enjeksiyon tezgah baskı tonajı, hesaplanan değerlerden %10 oranında düşürülmesi gerekir.

#### 4.1. Nominal Parça Et Kalınlıkları

Plastik parça tasarımında optimum et kalınlıklarının belirlenmesinde, parçadan beklenen çok amaçlı kullanım fonksiyonelliğine haiz ve operasyonel üretim çevrimleri

göz önünde bulundurulmalıdır. Et kalınlıklarının dizaynı, parçanın kalıcı şekil değişimlerine, iç gerilmelere ve çarpılmalara müsaade etmeyecek üniform yapıda olmasını sağlamalıdır. Mukavemet ve rijitlik gibi önem teşkil eden mekanik özellikleri karşılayabilecek kapsamda minimum ideal et kalınlığında plastik parça tasarlanmalıdır ki; hammadde tasarrufunun yanı sıra enjeksiyon üretim çevrim döngüsünün minimize edilerek ve ayrıca buna bağlı diğer tüm maliyet unsurları en aza indirgenmelidir.

Et kalınlıklarının farklılaşması söz konusu olduğu durumlarda kalın kesitten ince kesitlere doğru yumuşatılmış geçişler yapılmalıdır. Bu duruma bağlı olarak parçanın kalıp seti içinde mal dolumu sırasında kalın bölgelerden ince bölümlere doğru mal akışı sağlanmalıdır. Çünkü plastik hammadde malzemesi için çeşitli sınırlandırmalar göz önünde bulundurularak mal akarken diğer taraftan hızla soğuma başlar ve mal soğurken de aynı zamanda viskozitesi (akma direnci) artar. Ayrıca daha sonrasında parçanın tam dolumuna engel olabilecek istenmeyen soğuyup sertleşme ve ani katılaşma hadiselerinin oluşumu meydana gelebilir.

Bazı durumlarda eriyik hammaddenin akış yolu uzun olan plastik parçalarda makul seviyede et kalınlıklarının artırılması gerekebilir; ancak öte yandan mal akış ve dolum yollukları ideal olarak konumlandırılmış, birden çok besleme noktaları ile bu proses optimize edilmelidir. Ayrıca diğer taraftan plastik parçanın et kalınlığı kalınlaştırılarak darbe dayanımı iyileştirilebilir ve hatta rijitlik artırılabilir; fakat bunun yanı sıra esneklik azalır ve hatta kısıtlanabilir, dizayn aşamasında tüm bu koşullar dikkate alınarak optimum et kalınlıklarının seçilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Plastik enjeksiyon ile üretim proseslerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için plastik parçadan beklenen özelliklere haiz mekanik reçeteye sahip optimum hammadde malzeme seçimi yapıldıktan sonra parça tasarım ve modelleme aşamalarında iken; destek, feder, rib ve diğer uzuvlar Tablo 4.2.'de yer alan ve bu çalışma kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak optimize edilen et kalınlıklarına uygun dizayn edilmelidir. Ayrıca plastik parça tasarım aşamasında iken üretilecek ürünün; en ince ve en kalın kesit et kalınlıkları doğru ürün çıktılarını elde edebilmek amacıyla oldukça net belirlenmelidir. Son olarak parçanın ana duvar et kalınlıklarına bağlı kalınarak yapılan dizayn işlemleri sonrasında ise nominal diğer optimum kalınlıkların belirlenebilmesine imkan sunulmaktadır.

Üst düzey parça kalitesi eldesi ve istenilen kozmetik görünüm özellikleri için et kalınlık cidarı ince olan plastik parçalarda maksimum kalıp içi göz basıncı; parça et kalınlıkları fazla olan plastiklerde ise uzun periyotlarda enjeksiyon zamanı ve

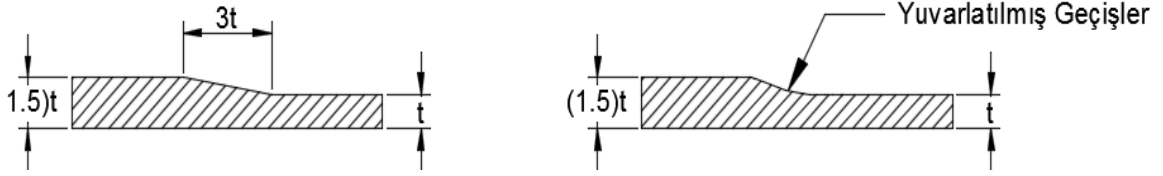
basınç parametreleri oldukça önem teşkil etmektedir. Kalıp setinin tasarım aşamalarında iken et kalınlıklarının doğru seçimi plastik parçanın doğrudan bütün özelliklerini etkilemektedir. Özel durumlarda parçanın aşırı derecede kalın olması istenildiğinde takdirde parça üzerinde gözle görülür çökmeler, çarpılmalar, yanma izleri ve moleküler yapıda istenmeyen iç boşluk oluşumları gözlemlenebilir. Tüm bu olumsuz etkilerin yaşanmaması için tez çalışması kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak optimize edilen parça kalınlıkları Tablo 4.2.'de verildi. Ayrıca destek, kaburga ve feder uç kesitleri gibi parçanın en ince noktalarında Tablo 4.2.'de verilen minimum parça et kalınlık değerlerinin altına düşülmemelidir.

**Tablo 4.2.** Plastik hammadde malzemelerine göre parça ana duvar et kalınlıkları.

Plastik Hammadde Malzemeleri ve Açık Adlandırmaları		Minimum Duvar Et Kalınlığı (mm)	Maksimum Duvar Et Kalınlığı (mm)	Bu Çalışmada Optimize Edilen Duvar Et Kalınlığı (mm)
1.	PP (Polipropilen)	0,6 mm	7,62 mm	<i>3,81 mm</i>
2.	PA (Poliamid )	0,38 mm	3,17 mm	<i>2,92 mm</i>
3.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	0,76 mm	3,17 mm	<i>2,28 mm</i>
4.	LDPE (Polietilen (Alçak Yoğunluk))	0,5 mm	6,35 mm	<i>5,08 mm</i>
5.	HDPE (Polietilen (Yüksek Yoğunluk))	0,88 mm	6,35 mm	<i>5,08 mm</i>
6.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	1,01 mm	9,52 mm	<i>2,36 mm</i>
7.	PC (Polikarbonat)	1,01 mm	9,25 mm	<i>3,18 mm</i>
8.	PS (Polistiren)	0,7 mm	6,35 mm	<i>1,57 mm</i>
9.	PMMA (Polimetilmetakrilat-Akrilik)	0,63 mm	6,35 mm	<i>2,36 mm</i>
10.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	0,38 mm	3,17 mm	<i>1,57 mm</i>
11.	PPO (Polifenilin Oksit)	0,7 mm	9,52 mm	<i>2,03 mm</i>
12.	PSU (Polisülfon)	1,01 mm	9,52 mm	<i>2,54 mm</i>
13.	SAN (Stirenakrilonitril)	0,7 mm	6,35 mm	<i>1,57 mm</i>
14.	Selüloz	0,63 mm	4,74 mm	<i>1,90 mm</i>
15.	Termoplastik Polyester	0,63 mm	12,7 mm	<i>1,57 mm</i>

Parça et kalınlıkları plastik enjeksiyon çevrim döngüsünde oldukça önemli rol oynamaktadır. Parça kalınlık değerlerinin gereğinden fazla azaltılması halinde istenmeyen çeşitli kalite problemleri oluşmaktadır. Şayet parça ideal kalınlıkta değilse, enjeksiyon sonrasında iç gerilmelerden kaynaklanan şekil değişimleri gözlemlenebilir. Parça ana et kalınlığının gereğinden fazla olması halinde ise parça aşırı sert olabilir ve esnekliğini tamamen kaybedebilir. Plastik parçanın esnekliği ve

elastikliğini kaybetmesi halinde ise montaj sırasında çeşitli problemler doğabilmektedir. Ayrıca fazla cidar ve et kalınlıkları plastik malzemede çekmeyi de arttırdığı yapılan çalışmalar sırasında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Plastiklerde kalınlaştırma bölgelerinde uygulanması gereken yumuşak geçiş kesit detayı [58].

Plastik malzemeler genel reolojileri itibariyle kalınlık farklılıklarını ve keskin ani geçişleri yapısal olarak kabul etmezler. Keskin köşeli şeffaf parçalarda istenmeyen hava boşlukları, gözle görülür kabarcıklar ve hatta köşelerde türbülans yığılmaları görülebilmektedir. Bu nedenle plastik parça dizaynında kalınlık farklılıklarından doğabilecek geçiş bölgelerinde yumuşatılmış ve yuvarlatılmış yumuşak geçişler ile kalınlık optimizasyonu yapılması gereklidir. Ayrıca kalınlık farkı fazla olan plastik parçalarda; gerilim ve iç gerginliklerin giderilmesi için ayrı bir gerilim giderme tavlama fırınında ek ısıtma prosesi uygulanarak, optimal sıcaklık değerlerinde azami süre bekletilmelidir. Plastik parçalarda kalınlaştırma bölgelerinde tasarım aşamasında uygulanması gereken geçiş detayı temsili olarak Şekil 4.1.'de verildi.

Üretilen plastik parçaya ait kalınlık değerleri Tablo 4.2.'de ki değerlerin dışına çıkılarak farklı bir yapıda daha fazla et kalınlıklarında şayet parça üretilmek isteniyorsa, mucell ya da blowing agent (köpürtücü üfleme ve şişirme ajanı katkısı) olarak adlandırılan hammadde katkı maddeleri yapıya, dozajlama öncesi hammadde karışım reçetesinin içeriğine ek olarak ilave edilmelidir.

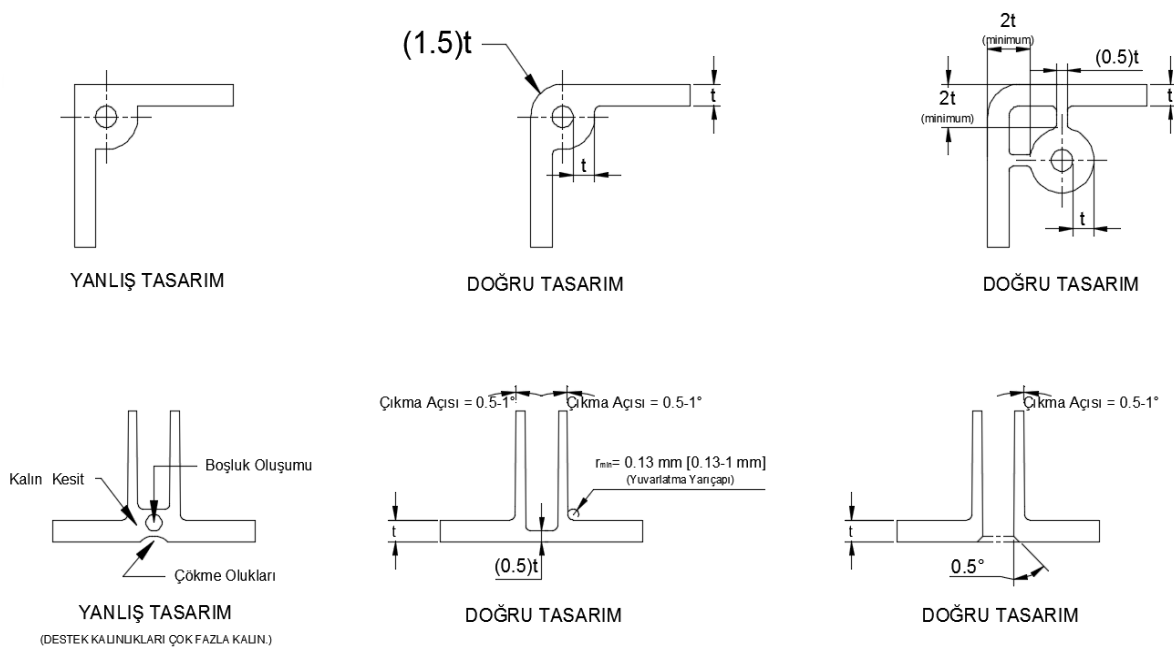
Plastik parçalarda enjeksiyon prosesleri sonrasında ani soğuma ile birlikte oluşan gerilmeler, açısal bozukluklar, çarpılmalar ve çökmeler gibi istenmeyen şekil problemlerinin engellenebilmesi amacıyla kalıp setinde yüksek ısı iletkenliğe sahip Berilyum Bakır (BeCu) insert kullanılması tavsiye edilmektedir [23].

#### 4.2. Göbek (Boss) ve Birleştirme Tasarım Teknik Detayları

Plastik parça tasarımında montaj biçimlerine bağlı olarak sabitleme ve bağlantı işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için göbekler (boss) kullanılmaktadır. Bağlantı noktalarının parça ana duvarlarına olan mesafeleri, parçanın et kalınlığına bağlı olarak

dış duvara bağlantı destek uzuvları ve göbekler gibi plastik parça tasarımındaki diğer ara dizayn detayları parçanın yapısını oluşturmalarının yanı sıra aynı zamanda yapının bir arada tutulmasını sağlarlar. Eksenel yüklemeler ve kuvvet altında olan göbekler için genel olarak rib, destek ve kaburgalar ile göbek ana gövdesine takviyeler atılmalıdır.

Göbek uzuvlarına plastik enjeksiyon ile kalıplama sırasında dubel gibi insert bağlantı elemanları entegre ediliyorsa, göbek çevresinde oluşabilecek gerilmelere karşı mukavemetin artırılması açısından göbek dış duvar et kalınlıkları optimal seviyede tutulması gerekmektedir. Göbeklerin dış ana yan duvarlara destekler aracılığıyla bağlantısı ve optimal göbek tasarım detaylarına ait görseller Şekil 4.2.'de verildi.



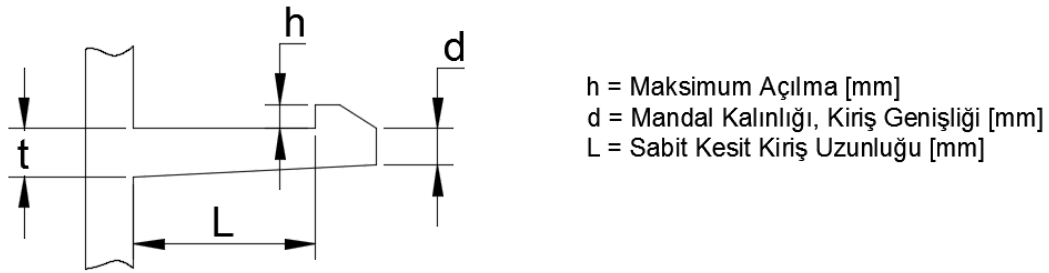
**Şekil 4.2.** Plastiklerde yer alan göbeklerin dış ana yan duvarlara, desteklerle bağlantısı ve diğer göbek tasarım detayları [25].

#### 4.2.1. Mandallı Birleştirme (Snap Fit) Tasarım Teknik Detayları

Plastik parçaların birbirleriyle montajlarında mandallı uzuv kısımlarının takılma esnasındaki uzama miktarı kırılma emniyeti açısından %5 mertebesini geçmemesine dikkat edilmelidir. Ancak bazı özel montaj operasyonlarında ise takıldıktan sonra sökilemeyen birleştirme istenildiği takdirde uzama yüzdesi %5 değerini geçebildiği durumlar söz konusu olabilmektedir. Mandal uzvundaki gerilme ve gerilimlerin minimuma indirgenmesi için kenar ve köşelerine en az "0.4 mm" radyüs verilerek mutlaka yuvarlatma yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan mandallı birleştirmelerde plastik materyalin esnekliği öngörülür seviyelerde tutulmalıdır.

**Yüzde Uzama** ( $\% \epsilon$ ) =  $\frac{150 \times h \times d}{L^2}$  formülü kullanılarak mandal kiriş kesitlerinin yüzde uzama ( $\% \epsilon$ ) miktarı hesaplanabilmektedir.

Yüzde uzama ( $\% \epsilon$ ) denklemindeki mandal kiriş kesitine ait detaylar Şekil 4.3.'te detaylarıyla birlikte oluşturuldu. Ayrıca plastik hammadde malzeme cinsine bağlı maksimum mandal kirişlerinin esneme yüzdeleri ise Tablo 4.3.'te verildi.



Şekil 4.3. Mandallı birleştirme (Snap Fit) detaylarında kiriş kesit detayı [22].

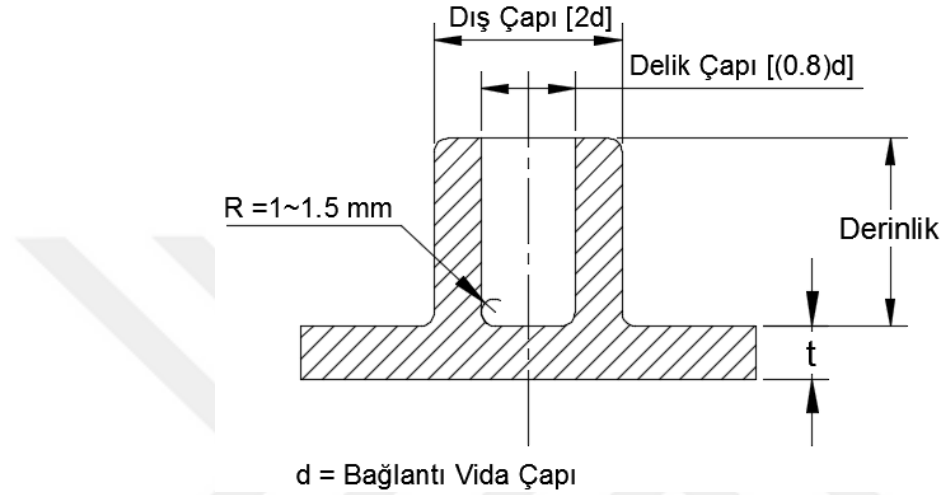
Tablo 4.3. Plastik malzeme cinsine bağlı mandal kirişlerinin maksimum esneme yüzde oranları [22].

Plastik Hammadde Malzeme Sembolü		Polimer Hammadde Malzemelerin Açık Adlandırmaları	Maksimum Esneme Yüzdesi (%)
1.	PP	Polipropilen	< %2
2.	ABS	Akrilonitril Butadien Stiren	< %1.5
3.	PA	Poliamid (Naylon)	< %2
4.	LDPE	Polietilen (Alçak Yoğunluk)	< %5
5.	MDPE	Polietilen (Orta Yoğunluk)	< %3
6.	HDPE	Polietilen (Yüksek Yoğunluk)	< %3
7.	PVC - S	Polivinilklorür - Soft	< %10
8.	PVC - R	Polivinilklorür - Rijit	< %1
9.	PC	Polikarbonat	< %1
10.	PS	Polistiren	< %0.5

#### 4.2.2. Vidalı Birleştirmelerde Göbek Dizaynı

Plastik parçalarda çok özel durumlar haricinde plastiğin içinde kendi kendisine yol açarak ilerleyen ve aynı zamanda plastikler için özel olarak geliştirilmiş PT vidalar ile parçaların bağlantılarının yapılması mümkün kılınabilir. PT vidalar ile bağlanan plastiklerin herhangi bir şekilde birbirleri ile uyumlu olmaları gerekmemektedir. PT vidanın sıkılma prosesinin tork ayarlanabilen özel tabancalar yardımıyla yapıldığı takdirde bağlantı yerinde oluşabilecek stres, gerilme ve çalışma sonrası yorulmaya bağlı

kılcal çatlaklar önlenebilir. Cam elyaf fiber ve talk katkılı plastik türlerinde ise klavuz vidalar tercih edilmelidir, çünkü form vererek ilerleyen vida tiplerinde esnekliğin az olduğu plastiklerde çatlamlar ve çatlaklar doğrudan oluşabilir. Vida kullanılarak sökülebilen demonte montaj yapılacak plastik parçalar için vida göbek tasarım detayı Şekil 4.4.'te oluşturuldu. Öte yandan vida kullanımı için dizayn edilen göbeklerin dış çapları en az monte edilecek vida çapının iki katı olacak formda dizayn edilmelidir.



Şekil 4.4. Sökülebilen birleştirmelerde göbek (boss) kesiti tasarım teknik detayı [59].

Soket dubellerin çakılması sırasında açığa çıkan plastik talaşların birikip, toplanabileceği bir boşluk hacmi oluşturulması göz önünde bulundurularak, vida göbek derinlikleri klavuz vidalarda daha derin olacak şekilde oluşturulmalıdır. Diğer taraftan plastik parçaların demonte montajlı birleştirilmelerinde havşa başlı civatalardan mümkün oldukça kaçınılmalıdır ve hatta mümkünse seçilmemelidir. Çünkü sıkma esnasında aşırı stres ve gerilme oluşturulması plastiklerin çatlamasına neden olabilmektedir. Ayrıca vidanın takılacağı delik çapı gereğinden küçük olması durumunda ise plastikte istenmeyen lokal stres ve gerilme oluşumları gözlemlenebilir. Parça kayıplarına yol açabilecek istenmeyen problemlerin oluşumlarının önceden engellenmesi amacıyla Tablo 4.4.'te verilen vidalı birleştirmeler için göbek (boss) tasarım parametrelerine dikkat edilmeli ve sınır değer aralıklarında kalınmalıdır.

Klavuz tip vidalarda dış dibi çapının baz alınması ve plastik malzeme cinsine bağlı olarak dış dibi çapından biraz büyük yapılması teknik açıdan uygundur. Ancak form veren vidalarda ise sıkma sırasında plastik malzemenin kenarlara doğru yığılmasından dolayı vidanın dış dibi ile dış üstü çapının arasındaki ortalama çap

değeri kadar delik çapı dizayn edilmelidir. Sıkma sırasında açığa çıkacak plastik talaş tozlarının göbek içerisinde biriktirilerek toplanabilmesi için göbek iç boşluk total hacminin derinliği olması gerekenden "1.5-2 mm" daha fazla derinlikte dizayn edilmelidir.

**Tablo 4.4.** Plastiklerde vidalı birleştirmeler için göbek (boss) tasarım parametreleri [22].

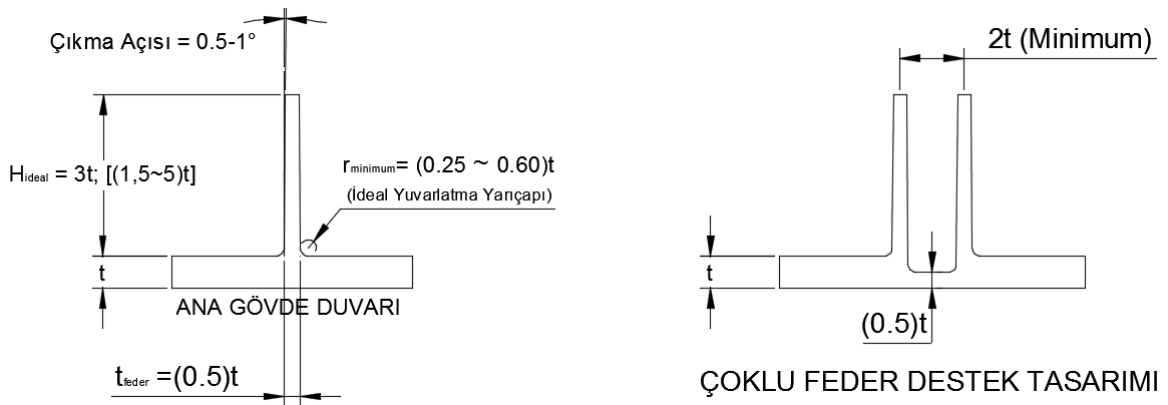
Plastik Hammadde Malzemelerinin Sembolleri	Polimer Hammadde Malzemelerinin Açık Adlandırmaları	Bağlantı Elemanı Delik Çapı	Göbek (Boss) Dış Çap	Göbek (Boss) Yuva Derinlik
1. PP	Polipropilen	0.70×d	2×d	2×d
2. PP - GF30	Polipropilen + %30 Cam Elyaf	0.72×d	2×d	2×d
3. PP - TF20	Polipropilen + %20 Talk Katkılı	0.72×d	2×d	2×d
4. PA6	Poliamid (Naylon 6)	0.75×d	1.85×d	1.70×d
5. PA6 - GF30	Poliamid + %30 Cam Elyaf	0.80×d	2×d	1.90×d
6. PA66	Poliamid (Naylon 66)	0.75×d	1.85×d	1.70×d
7. PA66 - GF30	Poliamid + %30 Cam Elyaf	0.82×d	2×d	1.80×d
8. ABS	Akrilonitril Butadien Stiren	0.80×d	2×d	2×d
9. LDPE	Polietilen (Alçak Yoğunluk)	0.70×d	2×d	2×d
10. HDPE	Polietilen (Yüksek Yoğunluk)	0.75×d	1.80×d	1.80×d
11. PET	Polietilen Tereftalat	0.75×d	1.85×d	1.70×d
12. PET - GF30	Polietilen Tereftalat + %30 Cam Elyaf	0.80×d	0.80×d	1.70×d
13. PC-ABS	PC- Akrilonitril Butadien Stiren	0.80×d	2×d	2×d
14. PC	Polikarbonat	0.85×d	2.5×d	2.2×d
15. PC - GF30	Polikarbonat + %30 Cam Elyaf	0.85×d	2.2×d	2×d
16. PVC (Sert)	Polivinilklorür (Sert)	0.80×d	2×d	2×d
17. POM	Polioksimetilen (Asetal)	0.73×d	1.95×d	2×d
18. POM - GF30	Polioksimetilen + %30 Cam Elyaf	0.75×d	1.95×d	2×d
19. PMMA	Polimetilmetakrilat (Akrilik)	0.85×d	2×d	2×d
20. PBTP	Polibutilentereftalat	0.75×d	1.85×d	1.70×d
21. PBTP + %30GF	Polibutilentereftalat + %30 Glass Fiber	0.80×d	1.80×d	1.70×d
22. PEEK	Polieter Eter Keton	0.85×d	2×d	2×d
23. PPO	Polifenilenoksit	0.85×d	2.5×d	2.2×d
24. PS	Polistiren	0.80×d	2×d	2×d
25. ASA	Akrilonitril Stiren Akrilat	0.78×d	2×d	2×d
26. SAN	Stiren Akrilonitril	0.77×d	2×d	1.90×d

d : Kullanılacak montaj bağlantı elemanının vida çap değeri.

### 4.3. Destekler, Kaburgalar ve Federler

Desteklerin asıl temel görevleri iç boşaltma yapılan plastik parçaların ana duvar kalınlıklarının tamamen arttırılmadan plastiğin stabilizasyonunu, rijitliğini, mukavemet ve dayanımını maksimize ederek mekanik özelliklerini arttırmaktır. Tasarım ve dizayn safhalarında optimal destek yerleşimleri kurgulanan plastik parçanın soğumadan kaynaklanan çökmeler, çarpılmalar ve diğer hasar oluşumlarına neden olabilecek problem oluşumları azaltılabilir. Literatür araştırmalarında feder kalınlıkları plastik parçanın ana et kalınlığının maksimum %60~70 geçilmemesi tavsiye edilmesinin yanı sıra genellikle görünüm açısından "%50" yani "nominal et kalınlığının yarısı" kadar kalınlıkta destekler dizayn edilmelidir. Federlerin ve desteklerin yükseklikleri ise parça ana et kalınlığının "3 katı" ideal, ancak özel durumlarda "1.5~5 katı" aralıkta destek yükseklik dizaynı yapılması mümkündür.

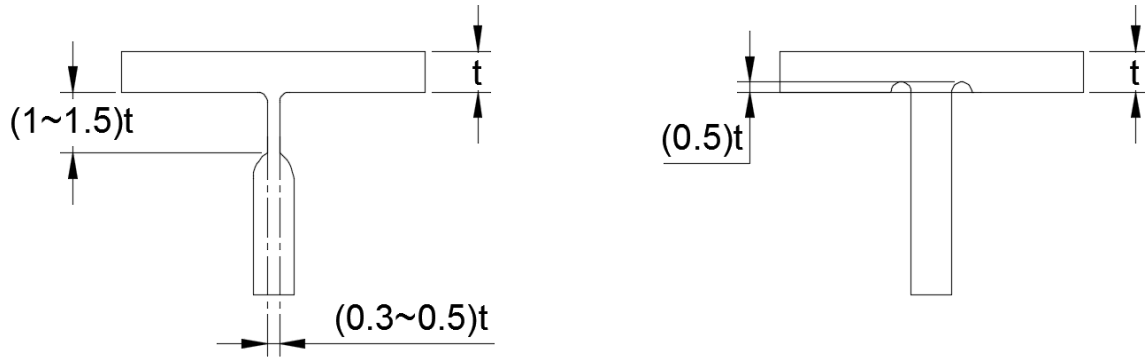
Destek, feder ve kaburgaların dip, kenar ve köşelerinde minimum yuvarlatma yarı çapı "0.13~0.20 mm" radyüs verilerek mutlaka tüm keskin köşelere yuvarlatmalar yapılmalıdır. Ayrıca desteklerin kalıp setinden kolaylıkla çıkabilmesi için minimum kalıptan çıkma açısı "0.5°" eğim açısı verilmesi tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Şekil 4.5.'te tekil ve çoklu kaburga kesitlerine ait teknik parametrik detaylar verildi.



Şekil 4.5. Tekli ve çoklu ara destek, kaburga ve feder tasarım kesitleri teknik görselleri.

Plastik parçaların feder kalınlıkları azaltılmadığı takdirde federler; yan duvar ve diğer kenarları parçanın dışından içeriye doğru çekebilirler. Bu problemin oluşumunu engellemek amacıyla Şekil 4.6.'da verilen alternatif kalınlık inceltme metotları destek ve kaburga tasarımlarına doğrudan entegre edilmelidir. Ayrıca Şekil 4.6.'da sağ tarafta yer

alan görseldeki tavşan kulağı olarak tabir edilen boşaltma detayı ise bir çok çatlak probleminin çözümü için tercih edilen özel bir tasarım detayıdır.



Şekil 4.6. Parçadaki destek ve feder çökmelerini engellemek için alternatif çözüm önerileri [58].

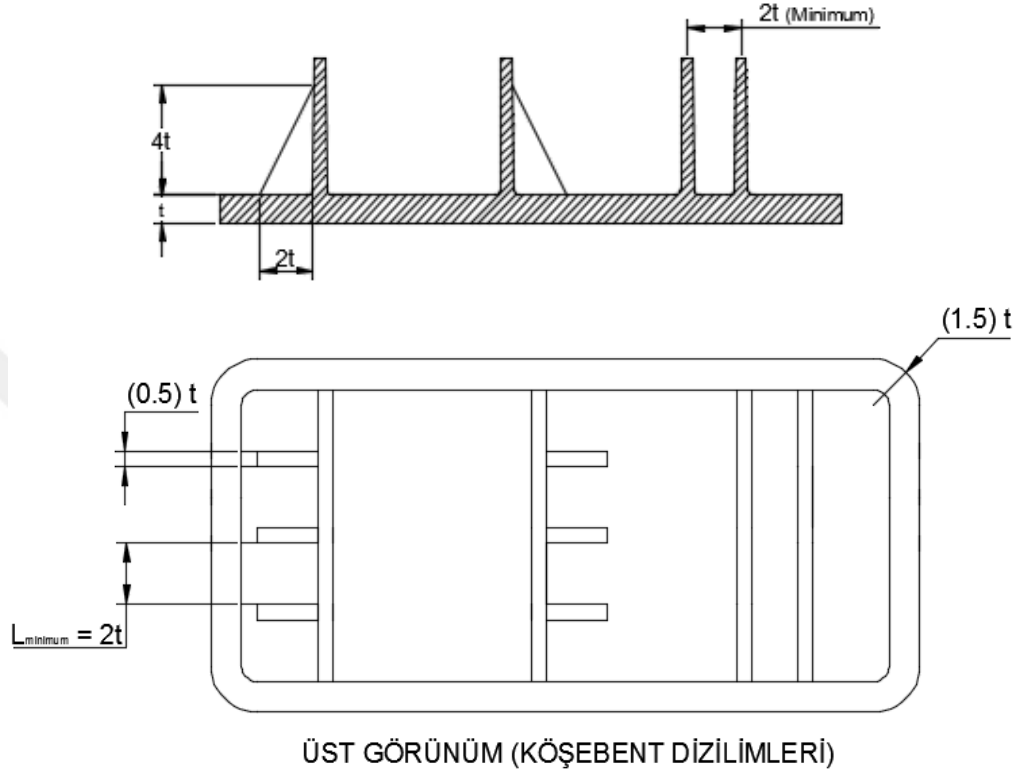
Plastik parçada ana gövde et kalınlıklarında; kalınlık artışı yapılacağı takdirde keskin geçişlerden kaçınılarak, yumuşak geçişler yapılması gerekmektedir. Örneğin;  $t$  kalınlıktaki bir plastik parçanın duvar kalınlığı  $(1.5)t$ ' ye artırılacak ise yaklaşık olarak yatayda  $3t$  uzunluğunda yumuşak bir geçiş yapılmalıdır.

Feder kalınlıkları için teorik genelleştirme plastik parça ana et kalınlığının yarısı kadar veya  $(t/2 \sim t/3)$  kalınlık değerinde feder atılabilir. Parça uzunluğu, hammadde giriş yeri ve mal giriş yer çeşidine bağlı olarak feder dizaynında değişiklikler yapılabilir. Federler mümkün oldukça mal giriş noktalarına en yakın bölgelere konumlandırılmalıdırlar. Federli plastik parçalarda mal giriş ve mal akış tipleri, hammadde malzemesinin akışını kolaylaştırıcı türde seçilmelidir. Yeterli miktarda hammadde mal akışı oluşturulamadığı takdirde feder boşluklarına malzeme dolumu yapılamayabilir. Kaburga, feder, destek ve takviyelerin çoklu olarak döşendiği plastik parçalarda yandan yanal girişli yolluklar ve mümkünse sıcak yolluklu kalıp setleri tercih edilmelidir. Ayrıca giriş yolluklarında doğru mal akışı için kesit seçimi çökme oluşumlarının engellenmesine ve malın giriş kısmında donmadan tüm kalıp iç boşluklarına rijit bir şekilde optimal dağılımını doğrudan etkilemektedir.

#### 4.4. Köşebent (Gusset) Destekler

Köşebent desteklerin dizaynında; tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda köşebent desteklerin eni, yüksekliklerin "%30~100" arasında tutulması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca öte yandan yine köşebent (gusset) kalınlıkları ise nominal parça ana et kalınlıklarının maksimum "%50" yani yarısı kadar kalınlıkta tutulmalı, göbek (boss)

yüksekliklerinin "%95" seviyelerine kadar köşebent yükseklikleri oluşturulmalıdır. Bu doğrultuda sıralı köşebent dizilimlerinde daha önceden belirlenmiş nominal ana et kalınlığının net olarak (içten içe) minimum en az iki katı ( $2t$ ) eşit aralıklarla döşenmesi gerektiği yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Köşebent (gusset) ara destekleri ve yerleşim dizayn detayı.

Şekil 4.7.'de yer alan teknik görsellerde köşebent (gusset) desteklerine ait parametrik genel tasarım teknik detaylandırmaları ve sıralı dizilimleri oluşturuldu.

#### 4.5. Deliklerin Plastik Parça Üzerinde Konumlandırılması

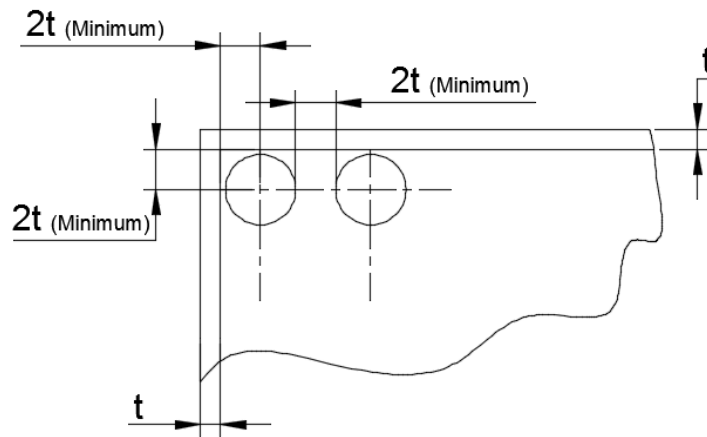
Plastik enjeksiyon esnasında homojen mal akışının sağlanabilmesi ve parça rijitliğinin stabilizasyonunun yanı sıra mukavemet artışı göz önünde tutularak, parçada yer alan deliklerin kesinlikle rastgele konumlandırılmamasının yanı sıra optimum olarak yerleştirilmesi gerekmektedir.

Yüklemelere maruz bırakılan plastik parçalarda delik ve yuvalar dış göbekleri ile birlikte set halinde tasarlanmalıdır. Delikler ve yan duvar kenarları ile aynı eksende yer alan komşu diğer delikler ile bağlantı yuvaları aralarındaki net mesafe minimum delik çapı ( $d$ ) kadar yada parça ana duvar et kalınlığının 2 katı ( $2t$ ) olacak şekilde

konumlandırılmalıdır. Kör delikler ise kalıp setinde yer alan tek taraflı maçalar ile oluşturulmalarının yanı sıra bu maçaların uzunluğu; kör delik çap değerinin iki katı uzunluğunda sınırlandırılmalıdır.

Plastik bir parçada bulunması gereken deliklerin yan duvar kenarlarına ve birbirleri arasında Şekil 4.8.'te ki gibi minimum nominal parça et kalığının iki katı ( $2t_{\text{nominal}}$ ) kadar mesafe bırakılarak konumlandırılmalıdır. Hatalı yolluk dizaynına bağlı olarak yanlış hammadde mal dolumu girişlerinden kaynaklı birleşim yeri izlerinin oluşmasını engellemek için delikler arası mesafeler arttırılmalı ve ayrıca diğer yandan minimum seviyede tutulmasına dikkat edilmelidir.

Deliklerin yerleştirildiği yüzey kenar ve köşelerine optimal mertebede radyüs ve yuvarlatma verilmelidir. Yuvarlatmalar mal akışını kolaylaştıracağından birleşim yerlerinin güçlendirilmesine de ek olarak katkı sağlamaktadır. Delik açılacak parçaların mal dolumu giriş yeri seçimi yapılırken birleşim yeri izlerinin mukavemetli olması açısından uzun birleşim oluşturulacak şekilde giriş yeri noktası veyahut noktaları seçilmelidir. Ayrıca malzeme girişi şayet mümkünse görünmeyen ya da oldukça minimal ve az görünen bölgede olacak şekilde dizayn edilmelidir. Şekil 4.8.'de delik ve boşaltmaların plastik parça yüzeylerinde ideal olarak konumlandırılması verildi.

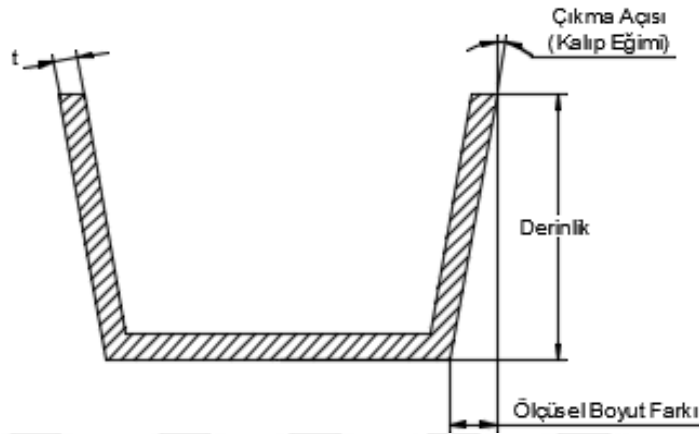


Şekil 4.8. Plastik parçalardaki delik ve boşaltmaların parça yüzeyinde konumlandırılması [25].

#### 4.6. Kalıptan Çıkma Açısı (Draft Eğim ve Çıkış Açısı)

Plastik parçaların kalıp setinden ideal olarak çıkabilmeleri amacıyla enjeksiyon sırasında kalıp grubunun operasyonel aksenal çalışma yönünde parçanın kalıp içinde sıkışmadan iticiler aracılığıyla kolaylıkla çıkabilmesi için kalıp iç cidarındaki yüzeylere çıkma açısı veya diğer bir tabirle mutlaka eğim verilmesi gereklidir. Öte yandan plastik

parçaların kalıp seti içinde soğuma prosesi sırasında çekme hadisesi gerçekleşeceğinden erkek kalıp tarafında rijit bir şekilde ayrılmadan sıkışmamaları ve kalıp tasarım aşamasında iken yeterli seviyede Şekil 4.9.'da ki temsili görseldeki gibi ideal çıkma açısı (eğim) ve koniklik verilmelidir.



Şekil 4.9. Kalıp iç koniklikleri reolojik tanımları ve temsili eğim açısı ölçüsel farklılık görseli [25].

Plastik enjeksiyon sırasında kalıp ünitesinin açılma fazı yönünde çıkma açısı (eğim) verilerek, plastik parçanın kalıptan kolaylıkla ayrılabilir şekilde dizayn edilmesi oldukça önem ihtiva etmektedir. Eriyik hammadde, kalıp ünitesi kavite boşlukları içerisine enjekte edildikten sonra soğuma fazında boyutsal çekmeye maruz kalmaktadır ve buna bağlı olarak oluşan ölçüsel fark değerleri ile literatürdeki veriler kullanılarak optimize edilen çıkma açıları Tablo 4.5.'te verildi.

Tablo 4.5. Parçanın kalıptan çıkma açıları ve derinliklere bağlı olarak oluşan ölçüsel fark değerleri [25].

Ölçüsel Farklılık [mm]		Çıkma (Draft) Eğim Açısı [Derece]							
		0.1°	0.3°	0.5°	1°	2°	3°	4°	5°
Derinlik [mm]	25 mm	0,04	0,13	0,21	0,43	0,87	1,31	1,74	2,18
	50 mm	0,08	0,26	0,43	0,87	1,74	2,62	3,49	4,37
	75 mm	0,13	0,39	0,65	1,30	2,61	3,93	5,24	6,56
	100 mm	0,17	0,52	0,87	1,74	3,49	5,24	6,99	8,74
	125 mm	0,21	0,65	1,09	2,18	4,36	6,55	8,74	10,93
	150 mm	0,26	0,78	1,30	2,61	5,23	7,86	10,48	13,12
	175 mm	0,30	0,91	1,52	3,05	6,11	9,17	12,23	15,31
	200 mm	0,34	1,04	1,74	3,49	6,98	10,48	13,98	17,49
	225 mm	0,39	1,17	1,96	3,92	7,85	11,79	15,73	19,60
	250 mm	0,43	1,30	2,18	4,36	8,73	13,10	17,48	21,80

Plastiklerde çekme hadisesi parçanın kalıp kavite boşluklarından çıkmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Şayet uygun çıkma açısı verilmez ise plastikler itici proses fazında deformasyona uğrayabilir ve hatta çatlak oluşumları gözlemlenebilir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde parçaya en az "0.5°" çıkma açısı verilmelidir. Bu bağlamda yukarıda anlatılan tasarım kurallarına uyulmadığı takdirde; itici fazında parça deforme olabilir, iticiler parça yüzeyinde istenmeyen kalıcı izler bırakabilir, kaydırıcı ve kalıp ayırıcı kullanımı gerekebilir ve son olarak üretimsel çevrim döngüsündeki zaman hedefleri olumsuz etkilenebilir.

Plastik parça teknik resimlerinde ölçülendirmeler yapılırken, Tablo 4.5.'te yer alan ölçüsel farklılık değerleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Teknik resimler hazırlanırken, açı farklılıkları göz önünde tutularak nominal ölçünün alt veya üst noktasından verildiği mutlaka belirtilmelidir.

Genellikle literatürde yapılan çalışmalarda plastik parçanın ana gövdesinin cidar et kalınlığının yarısı kadar rib ve feder kalınlıkları olacak şekilde parça tasarımı yapılması tavsiye edilmektedir. Ancak enjeksiyon esnasında baskı alınan plastik parçanın kalıp içerisinde sıkışmadan kolaylıkla kurtularak, çıkabilmesi için yaklaşık olarak "**0.25~2° çıkma(eğim) açısı**" ve erkek kalıp çıkış yönünde mutlaka eğim verilmesi gereklidir. Fakat literatür taramalarında ise minimum çıkma açısı "0.5-1°" olarak ifade edilmekte ve genel kapsamda plastiklere 1-3° çıkma açısı verilmesi tavsiye edilmektedir. Ancak diğer taraftan plastik parçaya 3° çıkma açısı verildiği takdirde parça tasarımının dışına çıkılabildiği ve kozmetik görünümünde kabul edilemeyen seviyede belirgin gözle görülür istenmeyen şekil değişiklikleri oluştuğu gözlemlenmiştir.

Genel olarak tez çalışması kapsamında; feder, destek ve kaburgaların enjeksiyon prosesi sonrasında kalıp setinden kolaylıkla ayrılabilmesi için minimum çıkma açısı olarak "0.5°~2°" çıkma (eğim) açısı verilmesi mutlaka gerektiği, aksi halde plastik parçaların kalıp içinde sıkışarak deformasyona uğrayabileceği ve hatta parça kayıplarının yaşanabileceği kanısına varılmıştır. Ayrıca bir plastik parçanın yüzeyinde şayet tekstür (doku) detayı varsa, her "0.025 mm" tekstür doku derinliği için ortalama "0.5°~1°" çıkma (draft) açısı plastik parçanın dizayn safhalarında hesaplamalara eklenmelidir. Bu bağlamda literatürdeki veriler kullanılarak oluşturulan Tablo 4.6.'da tekstüre (doku) derinlik skalalarına bağlı olarak minimum kalıptan çıkma açıları verildi.

**Tablo 4.6.** Doku (tekstüre) derinliklerine bağlı minimum kalıptan çıkma açıları [25].

	<b>Tekstüre (Doku) Numarası</b>	<b>Texture (Doku) Derinliği</b>	<b>Minimum Kalıptan Çıkma Açısı</b>
1.	MT 11000	0,010 mm	1°
2.	MT 11010	0,025 mm	1,5°
3.	MT 11020	0,038 mm	2,5°
4.	MT 11030	0,050 mm	3°
5.	MT 11040	0,070 mm	4,5°
6.	MT 11050	0,100 mm	6,5°

#### 4.7. Keskin Köşe Radyüsleri ve Yuvarlatmalar

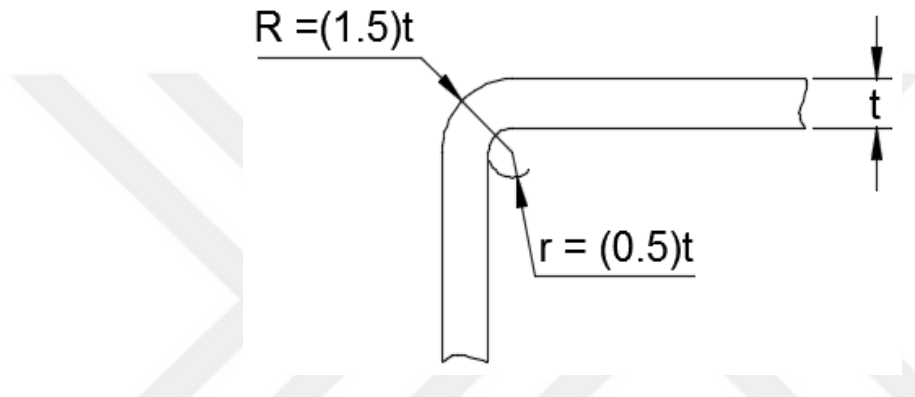
Plastik enjeksiyon ile kalıplama yapılırken, plastik parçada yer alan keskin kenar ve köşeler ergitilmiş hammaddenin kalıp içindeki akışını oldukça kötü etkilemektedir. Parça tasarımında yer alan keskin köşeler ve kenarlar mal akışını engelleyeceğinden, yüksek basınç altında gerçekleşen plastik enjeksiyon proseslerinde gerilme yığılmalarının olduğu yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Sonuç olarak parçanın mekanik özelliklerinin olumsuz etkilenmesinin yanı sıra parçanın soğuma prosesi sonrasında kalıpta sıkışması, keskin köşelerde malzeme katılaşmaları ile birlikte gerilmelerin artışı ve enjeksiyon çevrim döngüsüne bağlı olarak kalıp aşınmalarının artması gibi istenmeyen olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Plastik parçalar için keskin köşelerin var olduğu tasarımlardan mutlaka kaçınılmalıdır. Hammadde mal akışının engellenmesine bağlı olarak ve ayrıca mal akışı ile dolum esnasında oluşan sürtünmeden kaynaklı ısı açığa çıkmaktadır, bu durumda termal bozulma (degradasyon) hadisesi gerçekleşebilir. Ayrıca keskin köşeler bazı termoplastiklerde moleküler iç yapıda plastiğin hasarına yol açabilecek kabarcıklar oluşturabilmektedir. Ek olarak enjeksiyon esnasında yüksek basınçlı mal dolumu sırasında hammaddenin fişkırtma etkisine bağlı olarak yüzeylerde kozmetik görünüşü bozacak istenmeyen izler oluşabilmektedir. Plastik parçada keskin kenar ve köşelerin gereğinden fazla olması durumunda plastik enjeksiyon proseslerinde olması gerekenden çok daha fazla enjeksiyon ve tutma basıncı gerektirecektir.

Bu tez çalışması kapsamında literatürdeki verilerde kullanılarak, plastik parçadaki gerilmeleri ve gerilme yığılmalarını önlemek amacıyla parça dış kenar ve köşelerine nominal et kalınlığının yaklaşık olarak "1.5t (%150×t)" katı kadar

radyüs, iç köşelerde ise yuvarlatma yarıçap değeri nominal parça et kalınlığının minimum " $0.5t$  ( $\%50 \times t$ )" katı kadar yuvarlatma yapılmasının optimal olduğu tespit edilmiştir.

Çentik hassasiyetinden kaynaklanan çatlak oluşum riskinin azaltılması, ani şok ve darbe yüklemelerine karşı toplam dayanım direncinin artırılması, keskin kenar ve köşelerin ekarte edilmesi ile sağlanabilmektedir. Keskin köşe iç ve dış yuvarlatmalarda; " $(\%50 \sim \%150) \times t$ " aralığı kullanılırken; bazı durumlarda nadiren " $(\%75 \sim \%175) \times t$ " aralığı kullanılmaktadır. Şekil 4.10.'da plastik parçada dış ve iç kenar radyüs yuvarlatmalarına ait nominal spesifik kalınlık değerleri verildi.



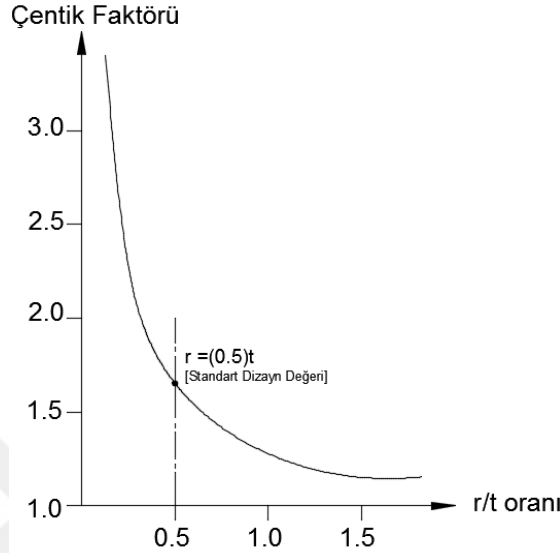
Şekil 4.10. Plastik parçada dış kenar ve iç köşe radyüsleri yuvarlatma değerleri [58].

Kalıp grubunun reolojisi göz önünde bulundurularak; plastik parçaların minimum kenar iç radyüs yuvarlatmaları " $(0.25 \sim 0.6) \times t_{\text{nominal}}$ " olacak şekilde talaşlı imalat ile kalıp setine işlenmesi gereklidir. Malzemenin stressiz çalışabilmesi için işlenebilirlik ve üretilebilirlik göz önünde bulundurularak, mümkün oldukça üretilecek parçalarda radyüssüz keskin kenar ve köşe bulundurulmamasına dikkat edilmelidir. Parçadaki tüm keskin kenar ve köşelere mutlaka radyüs verilerek, yuvarlatmalar yapılmalıdır.

Radyüs belirleme işlemlerinde küçük radyüs parça nominal et kalınlığının " $\%25 \sim 60$ " arasında tutulurken, büyük radyüs ise " $R = r + t_{\text{nominal}}$ " formülasyonu baz alınarak, yuvarlatmalar yapıldığı takdirde üniform plastik parça kalınlığı ile parça iç gerginlikleri azaltılabilmektedir. Radyüsler parça kalınlığı ile birlikte şayet üniform tasarlanmaz ise parça dış yüzeylerinde çökme oluşumları gözlemlenebilir.

Parça geometrisinde yer alan kenar ve köşe dönüşlerinde et kalınlığının sabit tutularak korunması; parçanın soğuma prosesi sonrası belirli bir oranda çekmesinden doğabilecek çarpılma ve gerilimler önceden önlenir. Şekil 4.11.'de verilen

grafikte eğilme zorlamaları için yuvarlatma radyüs değeri ile çentik etkisi faktörü değerlerinin değişimleri görülmektedir. Grafikte de görüldüğü üzere standart dizayn iç radyüs değeri parça ana gövdesi et kalınlığının yarısı "(0.5)t" kadar olacak şekilde iç yuvarlatmaların (radyüs) yapılması oldukça idealdir.



Şekil 4.11. Çentik faktörü etkisi ve köşe yuvarlatma radyüs değerleri değişim grafiği [50].

Keskin köşeler plastiğin kalıp içerisindeki akışı sırasında kalıp iç yüzeyleri ile temasın kesilmesine bağlı olarak hava ve gaz sıkışmaları oluşturmaktadırlar. Bu süreç sırasında oluşan hava ve gaz sıkışmaları ise eksik dolgu, hava kabarcıkları ve yanma izleri gibi plastik parçada istenmeyen olumsuz etkiler doğurabilmektedir.

#### 4.8. Kalıplanan Plastik Parçalardaki Çekme Hadisesi

Plastikler ısı genleşme katsayılarının yüksek olmasına bağlı olarak soğuma sürecinde önemli oranda çekme göstermektedirler. Dolayısıyla kalıp seti kavite iç boşlukları çekme oranına bağlı olarak olması gereken ölçüden büyük ölçekte dizayn edilmelidir. Hammadde malzemesinin cinsi, plastik parça geometrisi, kalıp seti dizaynı ve enjeksiyon proses parametreleri plastik parçanın hacimsel ve geometrik çekme hadisesini doğrudan etkiler.

Enjeksiyon prosesleri sırasında eriyik plastik, kalıp seti kavite iç boşluklarına basınçlı olarak transfer edilmektedir. Proses aşamaları sırasında kalıp iç cidarları ile temas eden eriyik mal hızla soğumaya başlamaktadır. Plastik hammaddenin yoğunluğu ısı tesiri altında azaldığı için katılaştırmış hammadde kalıp içinde ergimiş olana nazaran daha az boşluk işgal edeceğinden dolayı çekme hadisesi gerçekleşecektir.

Plastik parçanın et kalınlıkları ve parça cidarı içindeki diğer kalınlıklar çekme miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Normal şartlarda doğal olarak plastik parçanın et kalınlıkları arttıkça bu duruma bağlı olarak çekme miktarında da artış gözlemlenmektedir. Ancak soğuma esnasında parçanın en dış yüzey tabakası ilk olarak katılaşırken, iç katmanlarda ise sıcak fazda plastik hammadde malzemesi ile karşılaşılır. O halde oluşan bu sıcaklık farklılıkları doğrudan çarpımalara neden olabilmektedir.

Kalıp setindeki giriş yollukları, katılma gerçekleşmeden yolluk ağzındaki malın kalıp iç boşluklarına basınç transfer edilebilmesi açısından oldukça önem teşkil etmektedir. Fakat kalıp tasarımındaki yolluk boyutlarına bağlı olarak yolluk giriş ağzındaki sıcaklık etkisi mal dağıtıcı yolluk boyutları arttıkça azalmaktadır. Ayrıca plastik parçanın malzeme özellikleri ve parça et kalınlıklarına göre ise giriş yolluklarının geometrik boyutlarında farklılıklar görülebilmektedir.

Ergimiş plastik hammaddenin sıcaklık artışı ile viskozitesi düşer ve bu duruma bağlı olarak operasyonel basınç iletimi daha kolay sağlanır. Genellikle kalıp seti giriş yolluklarının büyük olması ile birlikte olması gerekenden daha kısa dizayn edilen yolluk sistemleri; üretilen plastik parçaların çekme miktarının azaltılmasında oldukça katkıda bulunmaktadır. Ayrıca plastik parçaların son şeklini etkileyen en önemli faktörlerden bir diğeri ise sabit kalıp sıcaklıklarındaki kalıp kavite boşluklarına enjeksiyon sırasında uygulanan tüm basınç parametreleridir. Plastik parçadaki çekme hadisesinin kalıp boşlukları iç basıncına bağlı olmasının yanı sıra moleküler yapıda iç gerginlik ve çarpımların ekarte edildiği bir kalıp seti imalatında; kalıp grubu iç boşluklarında üniform olarak basınç fazlarının muhafaza edilebilmesi oldukça önem taşımaktadır.

Bu tez çalışma kapsamında literatürdeki kaynaklarda yer alan veriler kullanılarak oluşturulan; plastik hammadde ve malzeme cinsine bağlı boyutsal çekme oranları ve yüzdelerine ait rehber tablolar, plastik parça tasarımları için oldukça kritik önem taşımaktadır. Parçaya ait geometrik tüm tasarım detaylarının tamamlandıktan sonra ısı tesirinden kaynaklanan çekme hadisesinden dolayı plastik parça skalası (ölçek); hazırlanan Tablo 4.7.'de yer alan çekme yüzdeleri kadar yine plastik malzeme cinsine bağlı olarak büyütüldükten sonra kalıp kavite iç boşluklarının dizayn aşamalarına geçilir. Şayet tasarım aşamalarında ölçek büyütülme hadisesi dikkate alınmadığında ise talaşlı imalat operasyonları ile kalıp setinin geometrik toleranslarının tekrardan revize edilmesi gereken durumların oluşumu gözlemlenebilir.

**Tablo 4.7.** Plastik hammadde malzemelerinin boyutsal ve geometrik çekme yüzdeleri [23].

Plastik Hammadde Malzeme Sembolleri		Plastik Hammadde Malzemelerinin Açık Adlandırmaları	Enjeksiyon Prosesi Sonrası Boyutsal Çekme Oranı ve Yüzdeleri
<b>TERMOPLASTİKLER</b>			
1.	PP	<i>Polipropilen</i>	% 1 – 3
2.	PA6	<i>Poliamid (Naylon 6)</i>	% 1 – 1.5
3.	PA66	<i>Poliamid (Naylon 66)</i>	% 1 – 2
4.	ABS	<i>Akrilonitril Butadien Stiren</i>	% 0.3 – 0.7
5.	LDPE	<i>Polietilen (Alçak Yoğunluk)</i>	% 1.5 – 3
6.	HDPE	<i>Polietilen (Yüksek Yoğunluk)</i>	% 1.5 – 3
7.	PVC (Yumuşak)	<i>Polivinilklorür (Yumuşak)</i>	% 1.5 – 5
8.	PVC (Sert)	<i>Polivinilklorür (Sert)</i>	% 0.2 – 0.4
9.	PC	<i>Polikarbonat</i>	% 0.6 – 0.8
10.	POM	<i>Polioksimetilen (Asetal)</i>	% 2 – 3.5
11.	PMMA	<i>Polimetilmetakrilat (Akrilik)</i>	% 0.2 – 1
12.	PS (Şeffaf)	<i>Polistiren (Şeffaf)</i>	% 0.4 – 0.7
13.	PS (Amorf)	<i>Polistiren (Amorf)</i>	% 0.4 – 0.7
14.	PPO	<i>Polifenilenoksit</i>	% 0.5 – 0.7
15.	PPO + %30GF	<i>PPO + %30 Glass Fiber</i>	% 0.2
16.	PBTP	<i>Polibutilentereftalat</i>	% 1.5 – 2
17.	PBTP + %30GF	<i>PBTP + %30 Glass Fiber</i>	% 0.3 – 0.8
18.	PES	<i>Polietersülfon</i>	% 0.6 – 0.8
19.	PVF	<i>Poliviniledenflorid</i>	% 0.2 – 3
20.	SAN	<i>Stirenakrilonitril</i>	% 0.2 – 0.6
21.	CA	<i>Selüloz Asetat</i>	% 0.3 – 0.7
22.	CAB	<i>Selüloz Asetat Butirat</i>	% 0.2 – 0.5
23.	EVA	<i>Etilen Vinil Asetat</i>	% 0.7 – 2
24.	FEP	<i>Florine Etilen Propilen</i>	% 3 – 6
<b>TERMOSETLER</b>			
25.	PTFE	<i>Politetrafloretillen</i>	% 5 – 10
26.	PF	<i>Fenol Formaldehit</i>	% 0.7 – 1.2
27.	EP	<i>Epoksi Reçine</i>	% 0.2 – 0.4
28.	UP	<i>Polyester Reçine</i>	% 0.5 – 0.8
29.	MF	<i>Melamin Formaldehit</i>	% 0.6 – 1
<b>TERMOPLASTİK ELASTOMERLER</b>			
30.	PP/EP(D)M	<i>Kauçuk ile Güçlendirilmiş PP</i>	% 1 – 2
31.	PUR	<i>Termoplastik Poliüretan</i>	% 0.5 – 2
32.	SBS	<i>Stiren Butadien Stiren</i>	% 0.4 – 1

Bu çalışma kapsamında hazırlanan Tablo 4.7.'de verilen teorik çekme değerleri ve yüzdelerinin ortalamasının alınması oldukça yanlış ve literatürdeki incelenen diğer kaynaklarda tavsiye edilmeyen kalıtımsallaşmış hatalı bir yaklaşımdır. Baz alınan çekme oranı tablo değerlerine göre ölçeklendirilmiş plastik parçanın enjeksiyon prosesleri sonrasında gözlemlenen ölçü kaynaklı hatalar ise talaşlı imalat operasyonları ile kalıpların tolerans değerlerinin tekrardan revize edilmesi sonrasında ancak çözümlenebilmektedir.

Plastik parçanın tasarım aşamalarında parçaya verilecek boyutsal çekme tolerans aralıklarının tespiti oldukça spesifik ve zordur. Parça toleransları verilirken, tolerans aralıklarının mutlaka gerçeğe en yakın tutulması gerekir. Tablo 4.7.'de de görüldüğü üzere plastik hammadde üreticileri bile malzemelerden kaynaklanan çekme hadiseleri için dar bir aralık verememektedirler. Sonuç olarak plastik parçaların boyutsal büyüklükleri arttıkça, tolerans sınırlarının da genişletilmesi mümkündür.

Tek bir plastik enjeksiyon kalıp setinde, farklı plastik hammadde malzeme türleri kullanılarak baskı alındığı takdirde; enjeksiyon sonrasında birbirinden farklı ve hatalı plastik parçalar üretilir. Bu nedenle her bir plastik parçanın geometrik çekme yüzdesine ve ilave olarak parçanın üretileceği farklı plastik hammadde malzemelerine ait ayrı ayrı kalıp grup setleri oluşturulmalıdır. Sonuç olarak sadece tek bir kalıp setinde farklı plastik hammadde malzemeleri ile istenilen geometrik toleranslar ve ölçü hassasiyetine haiz optimum hatasız parça üretilmesi pek mümkün değildir. Bu bağlamda kalıp setlerinin tasarımı yapılırken, plastik parçadan istenilen özelliklere bağlı kalınarak önceden belirlenen plastik hammadde türüne uygun kalıp seti tasarlanmalıdır. Plastik hammadde malzeme türü tam olarak kesinleşmeden kalıp tasarımı kesinlikle yapılmamalıdır.

Talaşlı imalat usulleri ile işlenmiş kalıp setlerinin; yüzey parlatma ve ısıtma işlemleri (sertleştirme prosesleri vb.) sonrasında; enjeksiyon tezgahına bağlanmadan plastik hammadde ve mal dolumu öncesi; kalıp gözlerinin kontrol amaçlı hassas bir şekilde gerekli ölçümler yapılarak, baskı öncesi kalıp kavite iç geometrisinin tam olarak son kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Daha sonra optimal enjeksiyon parametre ayarları yapılan tezgahlarda ürün baskıları alındıktan sonra uygun soğutma süresi ve ideal koşullar altında tasarımı yapılan plastik parçaya en yakın ürün çıktısı elde edilebilir. İlk üretimi gerçekleştirilen plastik parçanın kalibrasyonlu hassas ölçüm cihazları ile geometrik tüm ölçüleri mutlaka kontrol edilmelidir. Baskıdan önce ve baskı sonrasında yapılan tüm parametrik ölçüm sonuçları

karşılaştırılarak, belirlenen reel fark miktarları kadar malzemedeki boyutsal çekme yüzdesi net olarak bu sayede tespit edilebilmektedir.

Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçanın boyutları, kavite boyutlarından farklılık gösterebilir. Nominal geometrik bu boyut farklılıkları çekme olarak ifade edilmektedir. Enjeksiyon ile kalıplama usullerinde çekme hadisesi kavite boyutları referans alınarak yapılmaktadır. Ayrıca çekme, kavite boyutları ile parça boyutları arasındaki üç boyutlu fark olarak da ifade edilebilmektedir. Bu boyutsal farklılık;  $\% S_C = (I_C - I_M / I_C) \times 100$  formülasyonu ile hesaplanabilmektedir. Buradaki  $S_C$  : çekme miktarı (%),  $I_C$  : kavite boyutu ve  $I_M$  : parça boyutu şeklinde denklem takımında yerleştirilerek gerekli hesaplamaların yapılabilmesi mümkündür.

Aslında çekme hadisesinin tam olarak tanımlanabilmesi için  $\% S_C = (I_C - I_M / I_C) \times 100$  ifadesi tek başına yeterli değildir. Enjeksiyon prosesleri sonrasında plastik parçada gözlemlenen çekme miktarı, normal şartlar altında "16~24 saat" bekleme sonrasında ölçüm yapılarak tespit edilmektedir. Genel olarak hassasiyet açısından kavite boyutlarının  $23 \pm 2^\circ C$  sıcaklık aralığında belirlenmesi tavsiye edilmektedir. Şayet üretim sonrasında uzun süre stok ve depolama sahalarında plastik parça bekletilirse; kalıntı gerilmeleri, yeniden kristalizasyon ve ortam şartlarının değişkenlerinden kaynaklanan plastik parça boyutlarında boyutsal farklılıklar gözlemlenebilir. Ancak kristal malzemelerin dışında bahsi geçen bu ikincil çekme ihmal edilebilecek kadar düşük mertebelerde ve oldukça küçük seviyelerdedir.

Çekme hadisesi plastik parçanın mal ve hammadde malzemesinin akış yönünden de doğrudan etkilenmektedir. Akış doğrultusundaki çekme radyal çekme, akış yönüne dik doğrultudaki çekme ise teğetsel çekme olarak ifade edilmektedir. Radyal ve teğetsel çekmeler arasındaki fark, proses çekmesindeki oluşan fark kadardır ve çekme anizotropisinin genelleştirilmiş ölçütüdür. Proses çekmesi ve ikincil çekmenin toplamı ise toplam çekme olarak literatürde yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir.

Sonuç olarak  $\% S_C = (I_C - I_M / I_C) \times 100$  ifadesinde yer alan kavramsal boyutlar; parça ve kavite hacmi ile yer değiştirildiğinde,  $S_V = (V_C - V_M / V_C)$  hacimsel çekme formülasyonu elde edilmektedir [32].

Genellikle mineral katkılı plastik malzemeler sadece akış yönünde çekmenin aksine katkı hammaddesinden kaynaklı olarak her yönde eşit miktarda çekme söz konusu olabilmekte ve tek yönde çekmenin aksine bu durum oldukça avantaj sağlamaktadır. Elyaf takviyeli plastik hammadde malzemelerinde ise kalın parça et

kalınlıklarındaki duvar ya da diğer parça iç et kalınlıklarında, ince cidarlara nazaran kalınlık miktarına bağlı olarak daha fazla çekme gözlemlenmektedir. Tablo 4.8.'de katkı maddelerine göre çekme miktarlarının değişimleri verildi.

**Tablo 4.8.** Katkı maddelerine göre plastik malzemelerde karakteristik çekme oranlarının etkileşimleri ve değişimleri [23].

<b>KATKILAR</b>	<b>Maksimum Katkı Yüzdesi (%)</b>	<b>Elastiklik Modülü (E)</b>	<b>Uzama Miktarı (ε)</b>	<b>Darbe Dayanımı</b>	<b>Ölçüsel Tamlık</b>	<b>Yanmazlık Seviyesi</b>
<i>Cam Elyaf</i>	%60	3 kat (Artar)	2 kat (Azalır)	AZALIR	AZALIR	ARTAR
<i>Fiber</i>	%20	ARTAR	AZALIR	AZALIR	AZALIR	ARTAR
<i>Yanma Geciktirici</i>	%20	AZALIR	2 kat (Azalır)	2 kat (Azalır)	ARTAR	3 kat (Artar)
<i>UV Stabilizer</i>	%1	AZALIR	AZALIR	AZALIR	Değişmez, Etkilenmez	Değişmez, Etkilenmez
<i>Antistatik</i>	%5	AZALIR	2 kat (Azalır)	2 kat (Azalır)	Değişmez, Etkilenmez	Değişmez, Etkilenmez
<i>Mineraller</i>	%40	ARTAR	AZALIR	AZALIR	2 kat (Artar)	ARTAR
<i>İnorganik Maddeler</i>	%40	AZALIR	2 kat (Azalır)	3 kat (Azalır)	ARTAR	4 kat (Artar)
<i>Elastomer</i>	%16	AZALIR	2 kat (Artar)	3 kat (Artar)	AZALIR	AZALIR

Diğer yandan düşük kalıp sıcaklıklarında ani düzensiz soğumalardan kaynaklı olarak plastik malzemedeki çekme oranının miktarı artabilmektedir. Ayrıca farklı bir yöntem olan; MFI (Eriyik Akış İndeksi) değerleri baz alınarak, yine kalıptaki çekme oranları tespit edilebilmektedir. Örneğin; endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ABS plastik hammadde malzemesinin; MFI değeri "9" için çekme yüzdesi "%0.4", MFI değeri "26" iken ise çekme yüzdesi "%0.7" olarak yapılan deneysel çalışmalar ve testler sonrasında spesifik bu sonuçlar elde edilmiştir. MFI değeri yüksek olan plastik malzemelerde çekme daha fazla yaşanırken, MFI değeri düşük plastik hammaddelerde daha az çekme hadisesi görülmektedir. Bunun yanı sıra gereğinden fazla yüksek MFI değerine sahip plastik hammaddelerin kullanılması sonucu istenmeyen çapak oluşumları gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak klasik MFI değeri ile çekme yüzdesinin test ve tespit edilmesi yöntemi yaygın olarak tercih edilmemesinin yanı sıra bu metotun eser miktarda endüstriyel uygulamalarda nadiren kullanıldığı gözlemlendi.

Plastik parça kod numarası, versiyon, baskı tarihi (yıl/ay/gün/saat/dakika), vardiya, malzeme geri dönüşüm işareti; kalıp açılma fazında kalıp setine plastik parçada sorun teşkil etmeyecek ve doğrudan parçanın görünmeyen iç bölgelerine insert olarak yerleştirilmelidir.

Tam anlamıyla tasarımı tamamlanan plastik parçaların teknik resim ve antet bölümlerinde; parça nominal kalınlığı  $2 \text{ mm}(\mp 0.1)$ , tanımlanmamış draft çıkma açısı  $0.5^\circ(\mp 0.1)$ , iticilerin yüzey altındaki izi maksimum  $0.1 \text{ mm}$ , kalıp seti ergonomik ayrılma çizgisi maksimum  $0.03 \text{ mm}$ , üretici logo ve parça numarası  $0.3 \text{ mm}(\mp 0.1)$ , parça ağırlığı ( $\mp\%$  gram), tekstüre tipi ve yolluk giriş yeri yükseklik mesafesi gibi tolerans aralıkları TSE uygun detaylı olarak açık bir şekilde ifade edilmelidir.

Endüstriyel parça tasarımı tamamen şekillendikten sonra dizayn edilen plastik parçanın ayırma (ayrılma) hattı, itici temas noktaları (iticilerin iz derinlikleri maksimum  $0.05 \text{ mm}$ ), uygulanacak özel post prosesler detaylı olarak belirlenerek ve ayrıca tasarımda kozmetik görsel kalite unsurları göz önünde bulundurularak, üretilebilirlik açısından gerekli görüldüğü takdirde endüstriyel tasarımlarda lokal değişikliklere gidilebilir. Ancak plastik parçanın tasarımı, kalıp setinin yapımı aşamasında yeni bir revizyona uğrarsa kalıp tipolojisi ve reolojisi değişeceğinden kalıp servis ömrü bu durumdan olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle plastik parça tasarımının mükemmelle en yakın kusursuzlukta ve optimum olarak tek seferde en doğru şekilde oluşturulması hususu oldukça önem taşımaktadır.

**Tablo 4.9.** Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan termoplastiklerde tercih edilmesi gereken ( $\mp$ ) boyutsal geometrik tolerans değerleri [1].

Plastik Hammadde Malzemeleri	Plastik Parça Boyu (mm)					
	<i>L = 25 mm</i>		<i>L = 100 mm</i>		<i>L = 300 mm</i>	
	Hassas Tolerans ( $\mp$ ) [mm]	<i>Genel Tolerans (<math>\mp</math>) [mm]</i>	Hassas Tolerans ( $\mp$ ) [mm]	<i>Genel Tolerans (<math>\mp</math>) [mm]</i>	Hassas Tolerans ( $\mp$ ) [mm]	<i>Genel Tolerans (<math>\mp</math>) [mm]</i>
<b>PP</b> (Polipropilen)	0,10	<i>0,18</i>	0,18	<i>0,30</i>	0,80	<i>1,75</i>
<b>PA 6.6</b> (Poliamid 6.6)	0,09	<i>0,15</i>	0,15	<i>0,30</i>	1,00	<i>1,90</i>
<b>ABS</b> (Akrilonitril Butadien Stiren)	0,05	<i>0,10</i>	0,10	<i>0,15</i>	0,40	<i>0,75</i>
<b>PE</b> (Polietilen)	0,10	<i>0,20</i>	0,20	<i>0,40</i>	0,80	<i>1,75</i>
<b>POM</b> (Polioksimetilen)	0,07	<i>0,15</i>	0,12	<i>0,25</i>	0,80	<i>1,75</i>

Plastik ürün tasarım safhalarında parça boyutları için verilecek tolerans değerlerinin tespitinde değerlendirilmesi gereken birçok parametre vardır ve bu nedenle tolerans değer aralık sınırlarının verilebilmesi oldukça zordur. Tolerans değerleri, plastik parçanın geometrik toleransları ve enjeksiyon ile kalıplama yöntemine doğrudan bağlantılı olmasının yanı sıra tolerans sınır aralıkları mutlak surette gerçekçi tutulmalıdır. Çalışma kapsamında yapılan araştırmalara göre plastik hammadde üretici ve tedarikçileri bile günümüzde halen plastik malzemelere dar bir tolerans aralıkları verememektedirler. Bu doğrultuda endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan çeşitli termoplastik malzemelere ait boyutsal tolerans değerleri Tablo 4.9.'da verildi.

Plastikler dünyasında 1940 yılından bugüne görülen hızlı ilerlemelerin en önemli özelliği, optimal analitik dizayn teknolojisinden yoksun geniş bir uygulama alanının olmasıdır. İstisnai kapsam dışındaki uygulamalar; tekrarlı deneme çalışmaları, hatalar, yanlışlıklar ve hatta bazen acı hadiselerle günümüz teknolojisine kadar gelinmiştir. Tarihi süreç içerisinde plastikler, optimum tasarım ve hammadde malzeme seçimi kısıtlı olmasına rağmen gelişmeye devam etmiş ve belirli bir üst noktaya ulaşılmıştır. Fakat günümüzde endüstride tutarlı tasarım ve ideal materyal seçimi ihtiyaçları gün geçtikçe iyice benimsenmeye başlamıştır. Geçmiş yıllarda plastik teknolojisi sadece maliyet azaltma amacıyla tercih edilmişse de son yıllarda ürün güvenilirliği, kalite ve sıcaklık eşik aralığı çok yüksek plastiklerin yarıştıkları mekanik mukavemet ve katı formları metal malzemelere nazaran daha zayıftır. Bu duruma bağlı olarak plastikler üst sınır koşullandırılmalarının elverdiği biçim ve formda dizayn edilmelidirler. Dolayısıyla sınır şartlarının gerçek ortam koşullarındaki sayısal parametrik değerlerinin tam olarak bilinmesi oldukça önem arz etmektedir. Diğer önemli husus ise plastik ürün üretim proseslerinden ve plastik materyal kullanımlarından elde edilebilecek enerji kazanç ve tasarruflarıdır.

Plastik ürün özelliklerinin tam olarak bilinmesi, tasarım özelliklerinin tam tanımlanabilmesi gibi birçok bilgi kısıntılarına açıklık kazandırılması günümüzde tasarımcılar açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu ve buna benzer özelliklerin hammadde ve temel malzeme seçimlerinde ihtiyaç duyulan önemli karakteristik nitelikler olduğu şüphesizdir. Ancak diğer yandan malzemenin çalışması sırasında bünyesinde oluşan gerilmeler gibi metallerin bile analizi neredeyse mümkün olmayan birçok özel karakteristik özellikleri bulunmaktadır. Öte yandan plastiklerde ki bu fonksiyonlar tasarım aşamalarındaki denklem takımlarında kullanılanlarla

birlikte "Mühendislik Kabiliyetleri" olarak adlandırılmaktadır. Çekme dayanımları, yorulma, darbe direnci, ısıl ve kimyasal dirençler, antistatik özellikler gibi benzer çeşitli durumlar yukarıda ifade edilen diğer özellikleri doğrudan kapsamaktadır.

Özellikle karmaşık yapı ve geometriye sahip plastik parçaların üretiminde kalıp setinde yaşanan çekme hadisesinden kaynaklı oluşabilecek farklı yapısal gerilmeler oldukça hassasiyet taşımaktadır. Parçadaki çekmeler; kullanılacak plastik hammadde malzemelerinin karakteristik yapısal özelliklerine bağlı olarak dayanım düşüşlerine sebep olmaktadır. Biçimlendirme ve form verme yönteminin seçimi ise kalıp seti dizaynı ve üretim prosesleri bunu en aza indirmek ve gerilim oluşumlarını ekarte etmek için önem ihtiva eden diğer faktörlerdendir.



## 5. ENJEKSİYON KALIP TERMİNOLOJİSİ VE MODELLEME SAFHALARI

### 5.1. Kalıp Seti Göz Adetlerinin Tayini ve Hesaplamaları

Kalıp seti tasarım ve dizaynında parça toplam göz adet sayısının tespitinde önemli birkaç parametre bulunmaktadır. Plastik parça şekil ve geometrisine bağlı olarak birden fazla maça çalıştırılması gerektirebilir. Yüzey alanının gereğinden fazla olmasından kaynaklanarak enjeksiyon tezgahında mengenelerin kapama prosesi sırasında çapağa kaçma ve çapaklanma problemleri gözlemlenebilir.

Kalıp seti göz adetlerinin belirlenmesindeki formülasyon ve denklem takımı;

$$\text{Göz Adedi} = G = \frac{H_m \times t}{60 \times (p \times m)};$$

$H_m$  : Enjeksiyon tezgahındaki ocağın bir dakikadaki eritebildiği plastik hammadde miktarı (g),

$t$  : Zaman/"1 cycle" için geçen total süre (s),

$p$  : Üretilecek 1 adet plastik parçanın hesaplanan teorik ağırlığı (g),

$m$  : Plastik parça ağırlığını formüle yerleştirirken; yollukların gramajı ihmal edilemediğinden dolayı aşağıda yer alan Tablo 5.1.'den bakılarak, parça ağırlığı ile mutlaka çarpım yapılması gereklidir [34].

**Tablo 5.1.** Kalıp total göz adedi yolluk gramajı ağırlık faktörü parametreleri (m) [34].

	Plastik Parça Ağırlığı (p)	Yolluk Ağırlık Faktörü (m)
1.	0,3 ~ 0,5 g	m : 1.5
2.	0,5 ~ 1 g	m : 1.4
3.	1 ~ 3 g	m : 1.3
4.	3 ~ 5 g	m : 1.25
5.	5 ~ 10 g	m : 1.15
6.	10 ~ 20 g	m : 1.10
7.	20 gram üzeri	m : 1.05

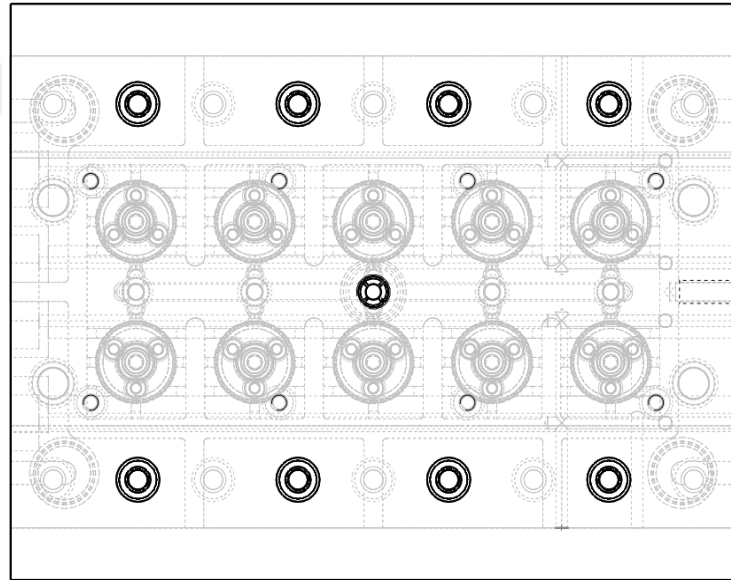
### 5.2. Kalıp Balansı ile Kalıp İçi Uniform Plastik Parça Yerleşim ve Dizaynı

Klasik geleneksel yöntemlere nazaran tasarım ve dizaynı yapılan plastik enjeksiyon kalıp setlerinin; kalıp batma ve ezilme tehlikesi, kalıp deformasyonu sonrası kalıp yüzeyinde istenmeyen iz ve kopma oluşumları gibi olumsuz etkileri ekarte etmek için enjeksiyon tezgahına kalıbın direkt olarak bağlandığı tezgah tabla



Plastik enjeksiyon proseslerinde çevrim sayısı ve tezgah tonajı göz önünde bulundurulduğunda kalıp ezdirme problemi ile oldukça sık karşılaşılmaktadır. Kalıp ezilme durumunda kalıptan malzeme kopmaları ya da kırılmalara sebebiyet verilebilir, üretilen parçanın formunun bozuk çıkmasına ve hatta ilerleyen zaman periyotlarında tezgahdaki üretimin tamamen durdurulması gerçekleşebilir. Kalıp insert ile hamilli kalıp veya yekpare monoblok kalıpların ideal kenar yakınlık ölçüleri ve kalıp grubunu oluşturan enjeksiyon makinesi tonajlarına bağlı diğer plaka kalınlık değerleri Tablo 5.2.'de verildi.

Çok gözlü kalıp setlerinde, tünel yolluk giriş noktasından her bir göze olan uzaklık eşit olacak dizilimde parça yerleşimi yapılmalıdır. Malzeme dağıtıcıları ve kalıp göz adetlerinin belirlenmesinde kalıp balansı en önemli rolü üstlenmektedir. Bu nedenle kalıp grubu dizaynı yapılırken kalıp balansı oldukça önem teşkil etmektedir. Üretilecek plastik parçaların rijit ve üniform kalıp yerleşimi ile kalıp balansının dengelenmiş olduğu örnek dizaynı Şekil 5.2.'de verildi.

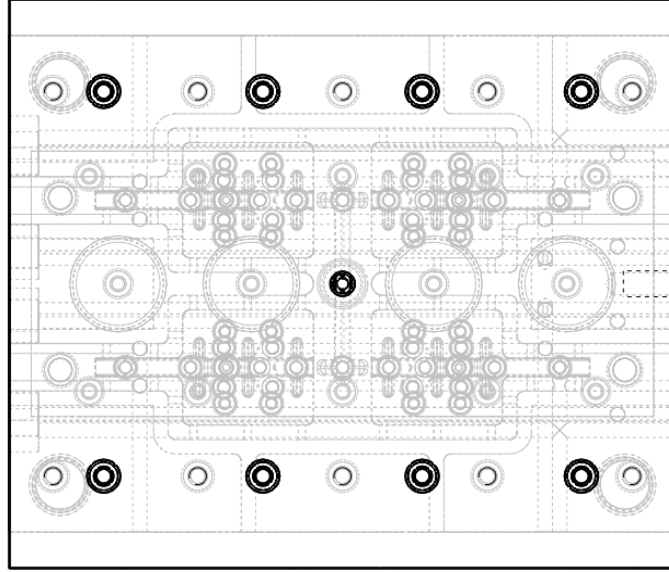


Şekil 5.2. Plastik parçaların kalıp içi üniform konumlandırılması.

### 5.2.1. Kalıp Grubu Ana Merkezleme Pimlerinin Yerleşimi

Kalıp grubunun montajında yani toplama aşamalarında genellikle dört adet ana merkezleme mili bulunmaktadır. Montaj seyrinde sorun yaşamamak ve montaj aksiyonunu kolaylaştırmak amacıyla mevcut Şekil 5.3.'te görüldüğü üzere dört merkezleme milinden optimum kolaylık oluşumu sağlayacak olan sadece bir merkezleme milinin konumu ve eksenini diğer üç merkezleme milinden kaçık

(simetrik olmama durumu), diğer bir tarif ile eş merkezli olmayacak şekilde ve konumda merkezleme milleri yerleştirilmelidir.



Şekil 5.3. Kalıp grubu merkezleme pimlerinin "hatalı" olarak yerleşimleri.

Mekanik özellikleri element katkıları ile optimal seviyeye getirilen ve bunun yanı sıra ısı işlem ile çelik sertliği ve dayanımı sağlanabilen bronz yataklar aynı zamanda kendiliğinden yağlama özelliği ile sürtünme sonucu oluşabilecek problemlerin engellenmesi amacıyla merkezleme millerinin burç yuvalarına bronz yataklama uygulaması yapılmalıdır.

Kalıptaki dişi insert ile itici destek blokları arasında "15 mm" mesafe ve boşluk bırakılmasının yanı sıra kalıp insert parçasının kırılmaması için mevcut destek bloğu üzerine tam ve rijit bir koordinatta oturtulması gereklidir.

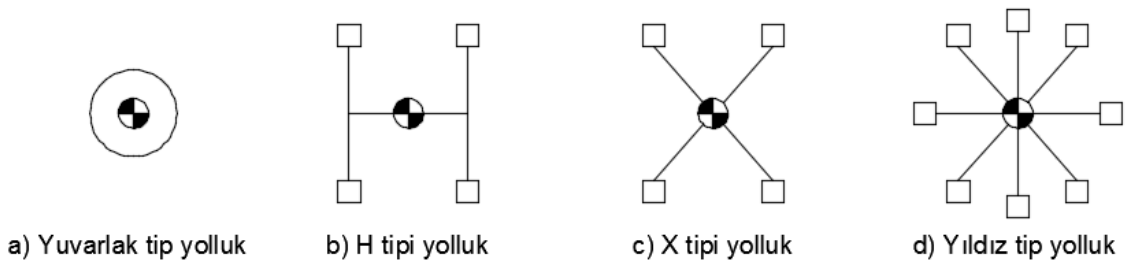
Kalıp grubuna ait diğer bir ara eleman olan destek kolonları ya da destek sütunları; kalıp seti tasarımında orta kısımda konumlandırılmışsa eğer diğer destek sütunlarına göre daha fazla basınç ve yükleme söz konusudur. Bu nedenle kalıbın orta bölümünde yer alan destek kolonları; kalıp referans yüksekliğinden "0.03 mm" daha yüksek olacak konumda tasarım aşamasında söz konusu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca kalıp tasarımı yapılırken yay kullanımından mutlaka kaçınılmalıdır. Mümkünse kalıp setlerinde hiç yay kullanılmamalıdır.

### 5.3. Yolluk Sistemleri ve Hammadde Malzemesi Dağıtıcı Kanal Tipolojileri

Yolluk kanalları için ıslak hacim teorisi ile birlikte optimal hammadde mal akış kesitlerinin geometrik formlarının önemini yanı sıra plastik hammaddenin

kalıp iç boşluklarında homojen, rijit ve optimal yayılımı ile kalıp balansının dengelenmesi için gerekli olan kalıp göz sayısının belirlenmesi gibi kalıp tasarım ve dizayn aşamalarını etkileyen unsurlar, uniform mal akış sistemleri başlangıçta oldukça önem arz etmektedir.

Kalıbın her bir gözüne eşit basınç seviyelerinde mal transferi yapılmalıdır. Tüm kalıp gözlerine giren yolluklar mümkün olduğunca en kısa mesafede döşenmelidir. Kesit profil formuna hassasiyet gösterilerek, doldurulan hammadde malzemesinin kalıptan çıkışı mümkün olduğunca kolay olmalıdır. İdeal mal dolum proses ve fonksiyonu için en düşük minimum ağırlıkta hammadde tüketilmelidir.



Şekil 5.4. Çok gözlü kalıp setlerindeki hammadde dağıtıcı kanal tipi örneklemeleri [61].

Eriyik plastik hammaddelerin yolluklardan akabileceği mesafe eşit ise "H Tipi" veyahut "Dairesel Tip" dağıtıcı kanal sistemleri tercih edilmelidir. Ancak bazı H tipi dağıtıcı kanal uygulamalarında nadiren eriyik hammaddenin yolluk içerisinde akışı sırasında giriş kanalına yakın lokal noktalarda beklenmeyen donma hadiseleri yaşanabilir. Bu durumu engellemek amacıyla dengelenmiş yapıda dağıtıcı kanal formları veya dağıtıcı kanalın yakınlarına ısıtıcı entegre edilmiş H tipi kanal sistemleri tercih edilmelidir. Şekil 5.4.'te çok gözlü kalıp boşlukları bulunan kalıp setlerindeki dağıtıcı yolluk kanal sistemlerine ait çeşitli örneklemeler verildi. Ayrıca dağıtıcı kanalların teknik ölçüleri, kalıplama yapılacak plastik parçanın malzeme cinsine ve geometrik parça boyutlarına doğrudan bağlıdır [32].

Etkin ve efektif kalıp besleme sistem tasarımlarında, eriyik plastik hammaddelerin akma tabiatının anlaşılabilirliği ve bu senaryonun mal akış kanal geometrisine etkileri, akmanın yetkinliği ve basınç transferleri yönünden oldukça iyi anlaşılması gerekmektedir. Sıcak eriyik polimer malzeme soğuk kalıp metaliyle kontak kurduğunda, yolluk polimerin dış yüzeyleri hızla donarak kabuk oluştururlar. Termal izolatör görevi gören donmuş kabuk hareket ederek, eriyik plastiğin merkez bölgesinin sıcak kalarak akmasını sağlar. Akma ve donma karakteristikleri, yolluk geometrik şekil

yapısı tarafından belirlenmektedir. Ayrıca yollukların, yolluk kanallarındaki akma oranına ve basınç parametrelerine de direkt olarak etkisi bulunmaktadır.

Eriyik plastik hammadde karışımlarının enjeksiyon tezgahı nozzle aracılığıyla kalıp seti iç boşluklarına mal dağıtımı sağlayan yolluk (kanal) sistemleridir. Parça kesit alanları, yolluk sistem uzunlukları, kaynak birleşim çizgileri, malzeme kayıpları, basınç düşüşleri ve plastik ürünün kalıp setinden kolay çıkışı ürün kalitesini doğrudan etkiler. Yolluk sistemleri genel kapsamda tünel yolluk, merkez ana yolluk, ikincil yan yolluklar ve giriş yolluklarından meydana gelmektedir.

Mal dağıtıcı yolluk kanallarının boyutları; malzeme özelliklerine, malzeme akışkanlığı ve akış oranına, sıcaklık, malzeme sabitlerine ve enjeksiyon parametrik basınç değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Dağıtıcı ana yolluk kanalı kesit çap değeri aşağıda yer alan denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

Dağıtıcı ana yolluk kanalı kesit çapı, ikincil ara yolluk ve giriş yolluk çapı;

$D$  : Dağıtıcı ana yolluk kanal çapı (mm),

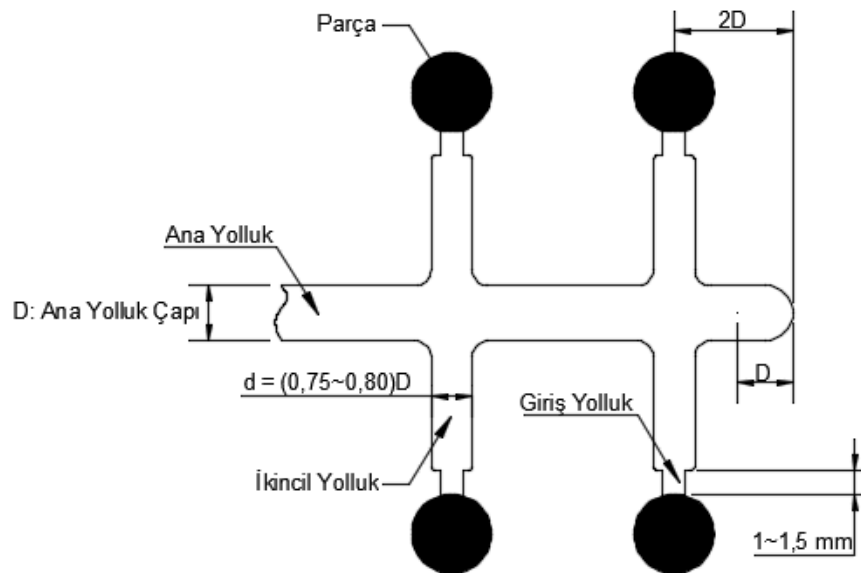
$t$  : Plastik parçanın et kalınlığı (mm),

$d_{giriş}$  : Kavite (kalıp parça boşluğu) giriş yolluk çapı (mm),

Dağıtıcı Kanal Ana Yolluk Çapı :  $D = t + 1,5 \text{ mm [mm]}$ ,

İkincil Ara Yolluk Çapı :  $d = (0,75 \sim 0,80) \times D \text{ (Ana Yolluk Çapı) [mm]}$ ,

Giriş Yolluk Çapı :  $d_{giriş} = D/2 \text{ [mm]}$ ,



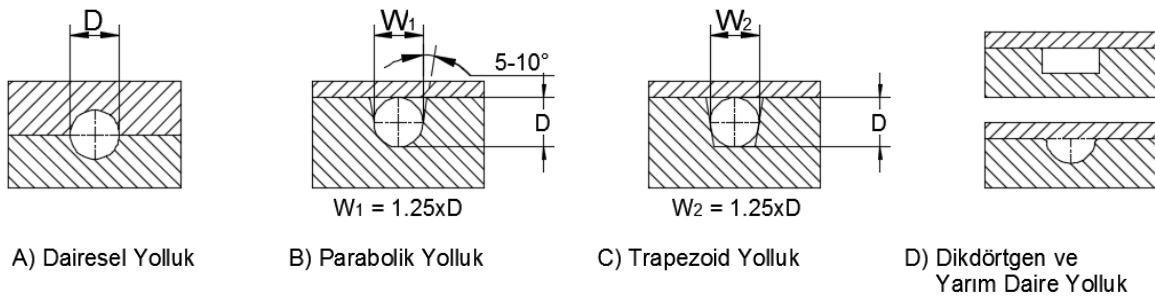
Şekil 5.5. Plastik enjeksiyon kalıp yolluklarının tasarım parametreleri [34].

Genel olarak tüm yolluk sistemindeki mal akış hatları basınç düşüşlerini minimum seviyeye indirmek için dairesel kesitli ve yuvarlak formda dizayn

edilmelidir. Ayrıca diğer yandan tüm yolluklar çakı izi kalmayacak düzeyde parlatılmalıdır. Yolluk sonlarına eriyik akan plastiğin hemen önündeki daha az sıcak plastik malzemeyi hapsetmek için soğuk malzeme çukur veyahut oluklar mutlaka açılmalıdır. Bu durum daha az soğuk plastik malzemenin, üretilecek parça içerisinde kaynak etkisi oluşturmasına sebebiyet verecektir. Şekil 5.5.'te görüldüğü üzere *soğuk malzeme çukurunun boyu, yolluk çapına (D) eşit* olacak şekilde dizayn edilmelidir.

Eriyik plastik mal kalıp boşluklarında akarken asla sert geçişli keskin köşe ve kenarlara rastlamamalıdır, daima her zaman yuvarlak bir akış hattında ilerlemelidir. Ayrıca otomatik kalıp sistemlerinde yollukların kopma senaryosu kolay ve basit bir şekilde kalıp açılma prosesi ile optimal düzeyde ayarlanabilir. İkincil ara bağlantı yollukları malzeme akıcılığına bağlı olarak Şekil 5.5.'te görüldüğü üzere ana yolluklardan mutlaka daha ince bir kesit  $(0,75\sim 0,80)\times \text{Ana Yolluk Çapı}(D)$  yapısına sahip olacak şekilde dizayn edilmelidir [34].

Kalıp setindeki yolluk sistemleri mal akış direnci optimum olacak şekilde döşenmelidir, böylelikle düşük enjeksiyon basınçlarında bile kolayca ürün elde edilebilir. Ayrıca öte yandan uzun kaynak birleşim çizgileri oluşmayacak şekilde yolluklar yerleştirilmelidir. Büyük mal akış kesit alanı farklılıklarından kaçınarak; keskin kenar ve köşelerin yuvarlatılıp, mutlaka eğim (açı) verilmesi gereklidir. Şekil 5.6.'da verilen yolluk kesitleri için malzeme israf ve sarfiyatı ile kalıp iç basınç dağılımları göz önünde bulundurularak optimizasyon sağlanmalıdır.



Şekil 5.6. Kalıp içi mal akış yollukları kesit tipleri ve çeşitleri [25].

Minimum yüzey/hacim oranı ile ısı kayıpları ve basınç düşüşlerini dairesele yolluklar minimal seviyede tutmaktadır. Düşük soğuma hızlarından kaynaklı merkezleri en son olarak katılaşmakta ve tutma basınç sürecinde verimlilik ideal düzeydedir. Ancak bu yolluk tipi kalıp setindeki erkek ve dişi kalıpların her iki yarısına da işlenmesi gerektiğinden ve zorluklarından dolayı kalıp ilk yatırım maliyetleri oldukça pahalıdır.

Parabolik veya trapez kesitli yolluklar çok daha basit olarak işlenebilmelerinin yanı sıra dairesel kesit yolluklara en yakın karakteristik özellikleri sergilemektedirler.

Yolluk sistemlerini kalıp setinden dışarı atmak maksadıyla gereken iticilerin kuvveti yolluk kesitlerine doğrudan bağlantılıdır. Açılı veyahut eğimli geometrik formdaki yolluklar; tam veya yarım yuvarlak yada trapez kesitli yolluk sistemlerinde parça grubunun kalıptan atılması sırasında daha az itici kuvvet basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Yarım daire ve dikdörtgen formdaki yolluklar zayıf yolluk sistemleri olmalarının yanı sıra daha çok ilkel ve basit kalıp setlerinde tercih edilmektedirler.

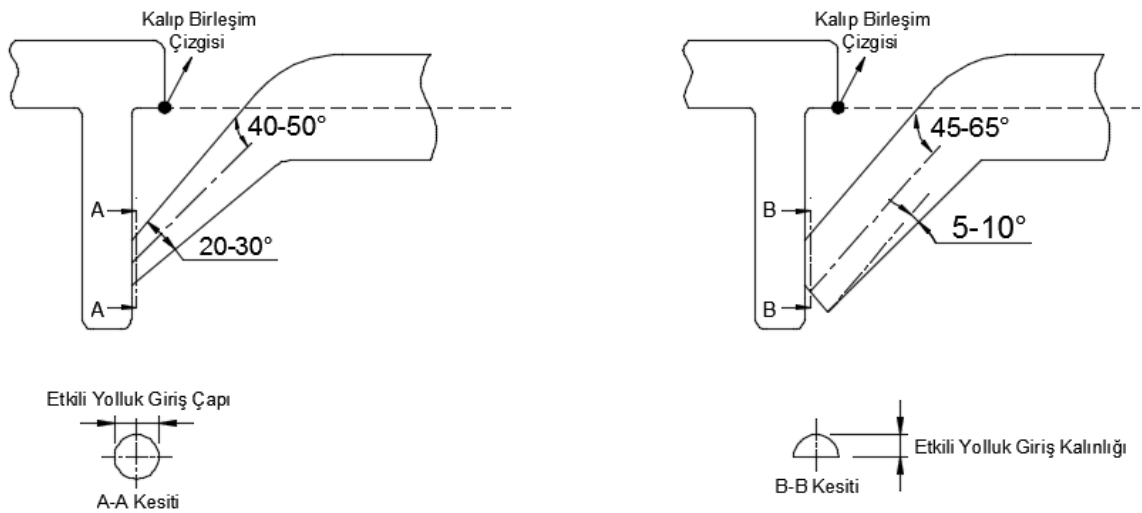
### 5.3.1. Soğuk Yolluk Giriş Tipleri

#### 5.3.1.1. Tünel Giriş Yolluk

Tünel yolluklar, ince cidar bölümleri üretilen plastik parçalardaki konik tip yolluk girişleridir. Ana dağıtıcı yolluklardan plastik parçaya konik bir tünel açılarak sıcak hammadde malzemesi aktarım boşluğu elde edilmektedir. Kalıp seti açılma prosesinde tünel yolluklar plastik parçadan kendiliğinden ayrılabilir. Bu sayede kalıp setinin otomatik olarak çalışmasına imkan sunulmaktadır. Şekil 5.7.'de tünel yolluk giriş kesit detayları verildi.

Plastik malzeme cinsine bağlı olarak tünel yolluk giriş çapı hesaplamaları;

$$\text{Tünel Yolluk Çapı } (\varnothing_{\text{Tünel Yolluk}}) \cong t (\text{Parça Et Kalınlığı}) \times \% (30\sim70)$$



Şekil 5.7. Tünel yolluk giriş kesitleri [35].

Bazı durumlarda olması gerekenden çok küçük giriş çap değeri kullanıldığı takdirde malzemede kesme gerilmelerinin artışı gözlemlenebilir ve hatta erken donmalar sonucu kalıp iç boşluklarında mal tıkanma hadiseleri yaşanabilir. Aksi

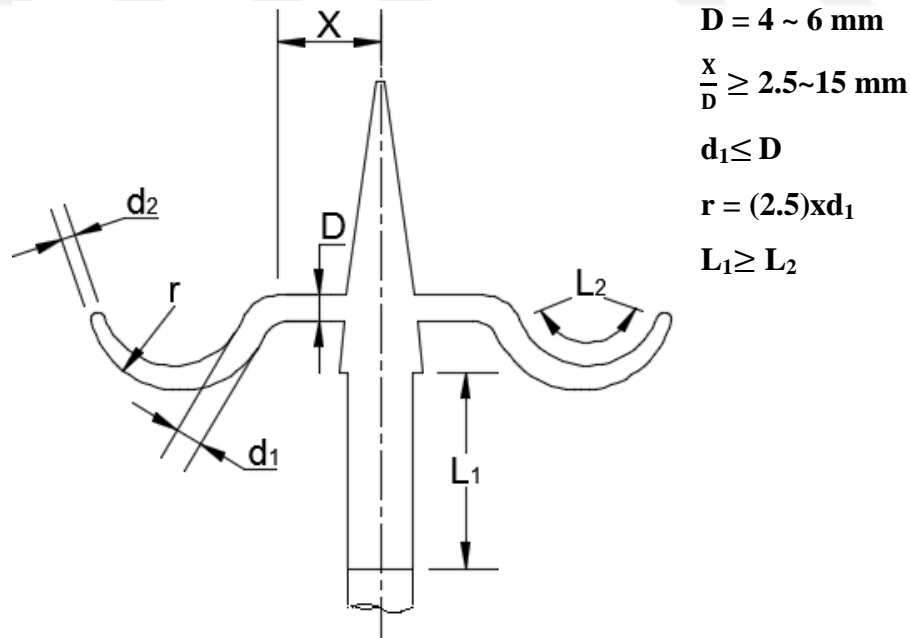
durumda çok büyük bir giriş çap değeri seçildiğinde, tünel yolluk plastik parçadan çok zor koparak ayrılır ve parçada deformasyonlar oluşabilir.

Gevrek plastik malzemelerde kullanılması oldukça risk taşımaktadır. Tünel yollukların kalıp iç boşluklarında sıkışması veya ayrılmadan sabit kalması yaşanabilir. Ayrıca yolluk girişleri açılı değil, plastik parçaya düz olarak konumlandırılabilirse bu tip yolluk giriş çeşitlerine "iğne yolluk" denilmektedir.

### 5.3.1.2. Muz Tipi Giriş Yolluk

Muz tip yolluklarda, giriş kesicilerin kontrol edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Plastik parçada nokta formunda çok küçük iz bırakılır. Otonom ve otomatik kalıp çalışma sistemlerine entegrasyonu sağlanabilir. Üretilen plastik parçanın gözle görünen yüzey girişlerinde parçada mat bir iz oluşumu gözlemlenebilir. Ayrıca gevrek plastik malzemelerde bu yolluk tipinin çalışmama riski bulunmaktadır.

Tünel yolluklar için gereken yüksekliklerin sağlanamadığı plastik parçalarda tercih edilirler. Kalıp grubunun imal operasyonlarında hassas tezgah işçilikleri gerekmektedir. Şekil 5.8.'de muz tip giriş yolluk çalışma prensibine ait yolluk kesit tasarımı parametreleri verildi.



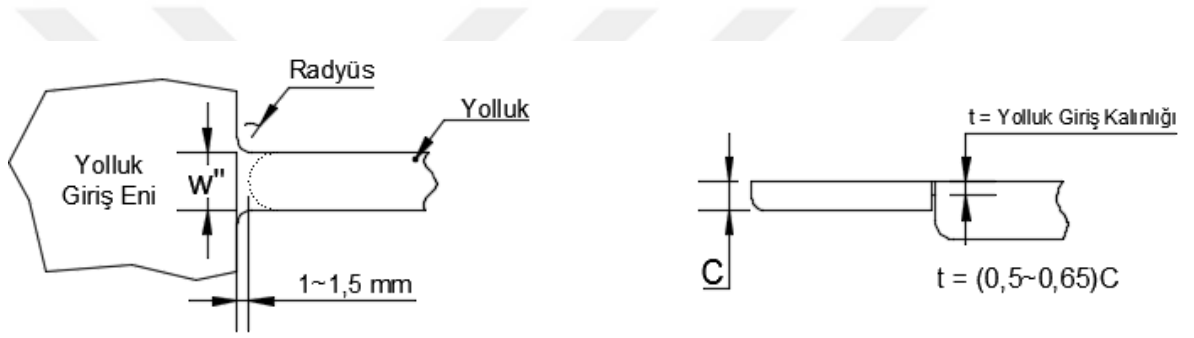
Şekil 5.8. Muz yolluk giriş kesiti [36].

### 5.3.1.3. Kenar Tip Giriş Yolluk

Kenar yolluklarda plastik parça kalıp ayırma hattı üzerinden kenardan direkt olarak doğrudan girilmektedir. Kalıp gözlerinin doldurulma hız kontrolü kolaylıkla

yapılabildiği için genel amaçlı birçok polimer malzemelerde tercih edilen ideal bir giriş yolluk tipidir. Bazı özel proseslerde plastik parçaların yolluktan ayrılması istenmemektedir, bu gibi özel durumlarda tercih edilen yolluk girişleridir. Giriş kesitlerinde hassas boyut toleransları ve modifikasyon kolaylıkları yapılabilmektedir.

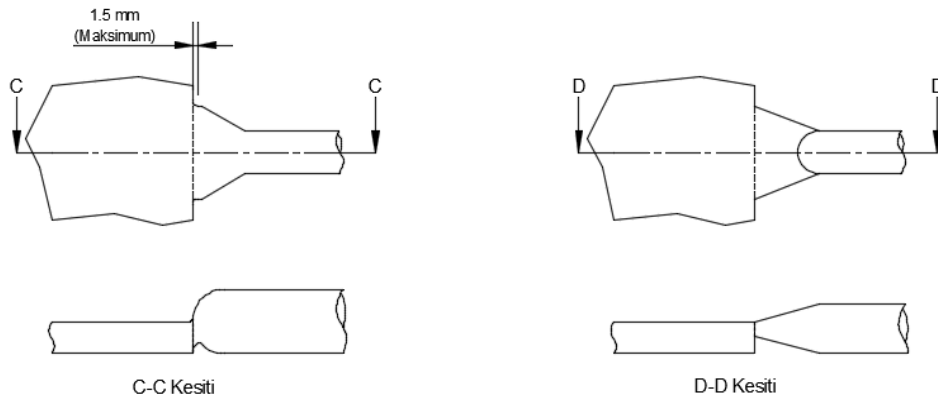
Kalıp setinin imalat operasyonları bazen oldukça basit ve kolay olmasının yanı sıra bu durumun avantajlarının yanında ayrıca dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yolluk tipinin ekstra yolluk ayırma maliyetleride bulunmaktadır. Plastik hammaddeye bağlı olarak yollukları parçadan ayırmak için kullanılan iticiler ile yollukların kırılması ve parçadan ayrılması bazen mümkün olmayabilir. Tüm bunların yanında plastik parça üzerinde istenmeyen kötü görünüm oluşumu gözlemlenebilir. Şekil 5.9.'da kenar tip giriş yolluk formu ve kesitine ait parametre değerleri verildi.



Şekil 5.9. Kenar tip giriş yolluk formu ve kesiti [36].

#### 5.3.1.4. Fan Tip Giriş Yolluk

Fan tip giriş yolluklarında; dağıtıcı yolluklardan plastik parçaya girerken yolluk kesiti fan formunda genişleyerek alçalmaktadır. Bu sayede eriyik plastik hammadde parçaya girmeden hemen önce geniş bir bölgeye yayılırken yavaşlatılır. Yavaşlatılan mal akış hızları ile plastik hammadde malzemeleri daha iyi yönlendirilebilmektedir. Şekil 5.10.'da fan tip giriş yolluk kesit görünümü ve kesit tipolojileri verildi.

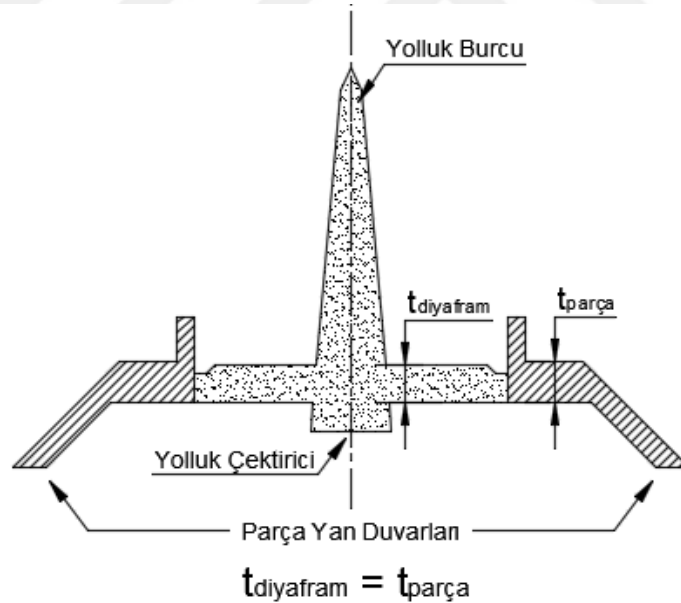


Şekil 5.10. Fan tip giriş yolluk kesiti ve diğer görünümleri [36].

Diğer taraftan mal giriş bölgelerinde daha düşük kesme hızları oluşabilir. Üniform mal akışı sırasında ise minimalist düzeyde malzeme akış izleri gözlemlenir. Ayrıca manuel yolluk kesilme durumu ihtiva olduğu durumlarda meydana gelebilir ve buna bağlı olarak yollukların kesilebilmeleri için özellikle büyük forma sahip plastik parçalara özel aparatlar ve ataçmanlara ihtiyaç duyulur. Neticede plastik parçada çapak görünümü istenmeyen iz ve kalıntılar oluşabilir [36].

### 5.3.1.5. Diyafram Tip Giriş Yolluk

Silindirik ve disk formundaki plastik parçaların iki veya üç plakalı, tekli veyahut çok gözlü ve sıcak yada soğuk yolluk sistemi bulunan kalıp varyasyonlarının tümünde kullanılabilir. Bu tip yapıdaki plastik parçalar için ideal akış sağlanması oldukça önem taşımaktadır. Bunun yanında soğuk birleşmeler engellenir. Hassas ve uniform çap ölçü değerleri elde edilir. Basıklık, ovalik ve çarpılmalar ekarte edilerek önlenmektedir. Her iki tarafı da açık silindirik, tüp veya aksel simetrik yapıdaki plastik parçalarda optimal mal ve malzeme doldurma fazı bu sayede gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.11. Diyafram yolluk kesit görünümü ve kesit detayları [37].

Şekil 5.11.'de verilen temsili görseldeki gibi diyafram kalınlığının en az, ana parça kalınlığı ile eşit olması gereklidir. Ancak diyafram kalınlığı bazı özel durumlarda ana plastik parça kalınlığının %60 (%60xt) mertebelerinde yolluk dizayn edilmesi gerekli olabilir. Diyafram tip yolluk girişinde "13~20 mm" aralığında mutlaka yumuşatılmış geçiş giriş mesafesi bırakılması gerekmektedir.

Bunun yanında plastik parça üzerinde yolluk iz oluşumlarının görülmesinin yanı sıra disk formunda yolluk ıskartaları atıldığından yolluk sarfiyatları normalden çok daha fazla oluşmaktadır. Bu duruma bağlı olarak yolluk temizleme işçiliklerinden dolayı istenmeyen ek maliyet unsurlarının oluşumları ortaya çıkabilir.

### 5.3.2. Sıcak Yolluk Terminolojisi

Sıcak yolluk sistemleri; plastik enjeksiyon tezgah memesinden başlayarak, kalıp gözlerine kadar olan lokal ara bölgedeki eriyik plastik hammaddenin herhangi bir bozunma yaşanmadan ve ısı kayıplarını kontrol altında tutarak, bekletme ve istenildiğinde kalıp gözlerine mal basılma proses sisteminin tamamını kapsar [38].

Sıcak yolluk sistemleri kalıp setinin içerisine entegre edilen ayrı bir birim ünite olup, enjeksiyon hat grubunun ek uzantısı olarak tasvir edilebilir. Kalıp setindeki mal akış kanallarına ısıtıcı bantlar (rezistans) aracılığıyla ısı transferi yapılarak; plastik hammadde sıcaklığının mal akış hattı boyunca kontrol altında stabil tutulup, yolluklarda herhangi bir soğuma meydana gelmeden doğrudan kalıp setindeki tüm iç boşlukların optimal doldurulmasına katkı sağlamaktadır.

Sıcak yolluk sistemlerinin avantajları;

Enjeksiyon makine sınırlaması olmadığı gibi sıcak yolluklu kalıp setleri tüm enjeksiyon tezgahlarında kullanılabilir. Özel giriş yolluk tasarımları gerektiren kompleks ve küçük plastik parçaların yüksek kalitede üretilmesine imkan sunulur. Bazı durumlarda yolluk ıskartaları kalmadan ve herhangi bir son işlem prosesi gerektirmeden enjeksiyon ile üretim yapılabilir.

Sıcak yolluk sistemlerinin enjeksiyon tezgahlarına entegrasyonu ile enjeksiyon makineleri ortalama işletmelere "%20" kapasite ve performans artışı sağlamaktadır. Ayrıca diğer taraftan basınç parametreleri düşeceğinden enjeksiyon tezgahları daha az yıpranır ve makine kullanım ile servis ömrünün uzamasına olumlu katkı sağlamaktadır. Düşük basınç mertebelerinde enjeksiyon ile kalıplama yapılmasından kaynaklı olarak plastik parçalardaki iç gerilme oluşumları minimum seviyelerde olur.

Kalıp gözlerinin balans ve yerleşim konfigürasyonlarına dikkat edilerek, kalıp seti dizaynı yapıldığı takdirde kalıp içi tüm kavite her aynı şartlarda ve aynı zaman periyotlarında doldurulabilir. Sıcak yolluk sistemlerinde mal akış yolluk çapları, geleneksel standart yolluklara göre malzeme kayıp endişesi yaşanmadığından daha büyük seçim yapılabilir ve enjeksiyon sistem kurgusundaki basınç kayıpları çok daha az oluşur.

Kalıp içerisinde yolluk olukları bulunmadığından geri dönüşüm kırma malzeme ek işlemlerine gerek kalmamaktadır. Bu duruma bağlı olarak zaman, çevrim süreleri ve malzeme tasarrufları sağlanır. Geri dönüşüm kırma hammadde malzemesi geri mal besleme sistemlerine yeniden kazanım olarak ilave edilmediğinden dolayı enjeksiyon proseslerinde sabitlik ve değişmezlik disiplini stabil tutulabilir. Enjeksiyon yöntemiyle mal baskı sonrasında ek proseslere ve ilave işçiliklere ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü yollukların koparıma durumu gibi ek işçilikler yoktur ve bu durum birçok diğer hususlarda da tasarruf elde edilmesini sağlamaktadır.

Birim zamanda üretilen plastik parça sayısının artışına bağlı olarak yolluk temizlik operasyonları, üretim hatalarında oluşan ıskarta ve firelerin kırma faaliyetleri ile kırma ürün depolama prosesleri, işçilik tasarrufları ve işçilik ilave maliyetlerinin düşürülmesi ile ciddi büyüklükte maddi tasarruf ve kazanç elde edilir [39].

Sıcak yolluk sisteminin dezavantajları;

Sıcak yolluklu kalıp setlerinin ilk parça üretimine alınması, gerekli özen ve hassasiyet gösterilmediği durumlarda ilkel geleneksel standart kalıp setlerine nazaran oldukça kompleks ve zahmetli olabilir. Ayrıca ilk yatırım maliyetleri standart kalıplara nazaran çok daha yüksektir. Kalıp setinin servis, bakım ve toplama süreleri diğer kalıp gruplarına nazaran daha uzundur. Isıtma sistem elemanları optimal seviyede kontrol altında tutulmadıkları takdirde üretim esnasında teknik arızalar yaşanabilir.

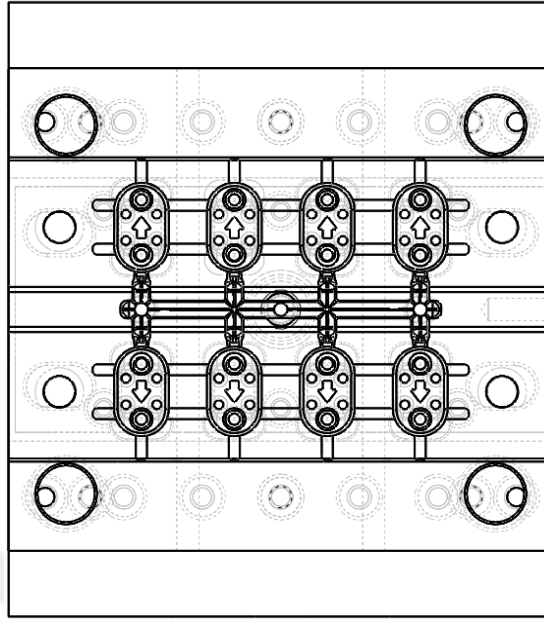
Eğer kalıp setinde gerekli olan soğutma tedbirleri alınmadığında sıcak yolluk girişlerine yakın noktalarda üretilen plastik parça yüzeylerinde yanma ve yanık izlerinin oluşumları kuvvetle muhtemeldir.

Bazı dizayn proseslerinde ısıtıcı elemanların değişimi zorlayıcı ve oldukça zaman alıcı olabilir. Ek olarak sıcak yolluk sistemlerinin tasarım aşamalarında genleşme için gerekli tüm önlemler önceden düşünülerek alınmamışsa, genleşmeden kaynaklı problemlerin yaşanılması kaçınılmazdır [39].

#### **5.4. Soğuk Malzeme Çukurları (Boşlukları)**

Plastik hammaddenin yolluklardan uniform bir şekilde akarak kalıp boşluklarına doldurulması senaryosunda enjeksiyon operasyonundan beklenen kusursuz ve mükemmel en yakın bir baskı kalitesini yakalamak maksadıyla plastik hammadde ana dağıtıcı yolluklarının en uç bölümlerini çıkıntı formunda uzatarak; soğuk malzeme çukurları, yolluk hattının en uç noktalarına yerleştirilmelidir. Kalıp grubundaki yolluk setleri iç boşaltma dizayn aşamalarında soğuk malzeme çukurları Şekil 5.5. ve Şekil

5.12.'de yer alan görsellerdeki gibi talaşlı imalat operasyonları ile yolluk hatlarının en sonlarına doğrudan akuple edilmelidir.



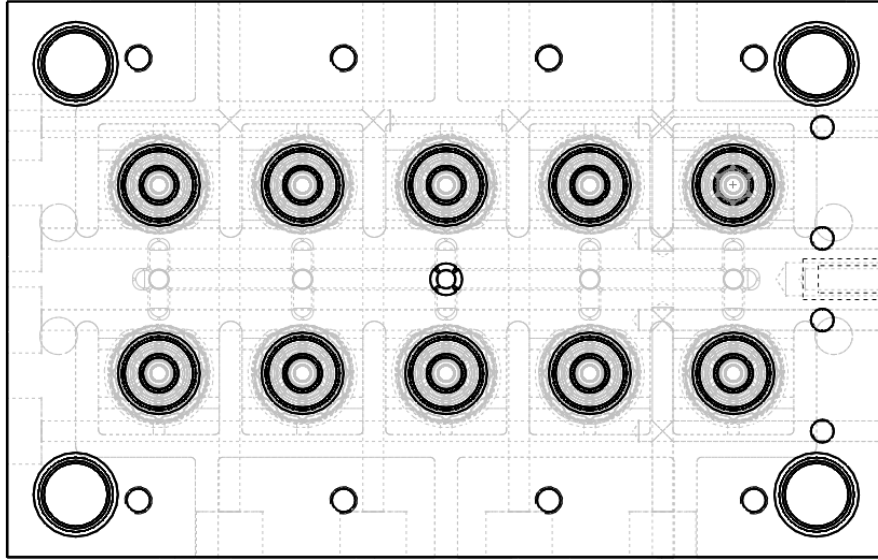
Şekil 5.12. Kalıp içindeki soğuk malzeme çukurlarının konumlandırılması.

Yolluk hatlarının son noktalarına eriyik fazda akan plastik hammadde karışımının hemen önünde ilerleyen daha az sıcak plastik hammaddeyi hapsetmek için soğuk malzeme çukurları mutlaka açılmalıdır. **Soğuk malzeme çukurlarının net boyu, ana yolluk çapına (D) eşit** olacak şekilde yollukların sonlarına konumlandırılmalıdır.

### 5.5. Sıkışmış Gaz ve Hava Tahliye Kanallarının Yerleşimi

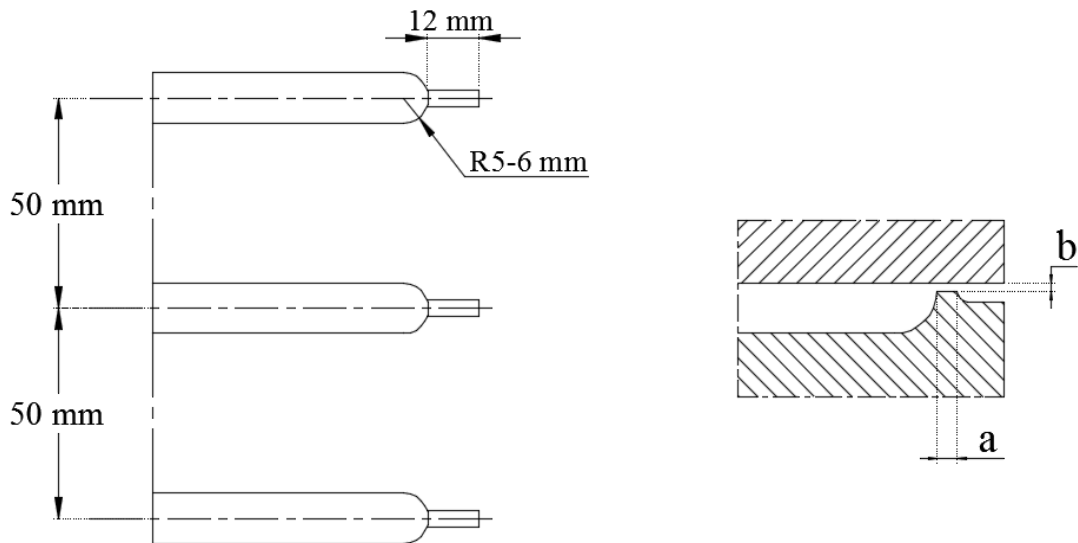
Plastik enjeksiyon üretim proseslerinin teorik olarak kapalı devre çalışma prensibi gibi ürün çevrim döngüsünü tamamladığı varsayıldığında; birikmiş veyahut sıkışmış hava ve gaz tahliye problemlerinden kaynaklı plastik parçalarda istenmeyen mikro yapı iç kusurları, basınç kaynaklı formel çarpılmalar, çevrim döngüsü sonrası oluşan makroskobik çatlaklar, mukavemet (dayanım) problemleri ile kalıp iç boşluklarına eksik mal dolumu gibi sorunların bertaraf edilebilmesi için gerekli olan kalıp içi hava ve gaz tahliye kanalları ile derinlik ölçü mesafeleri oldukça önem teşkil etmektedir.

Plastik hammadde kurutma, baskı öncesi kusturma, parça seri üretimi sırasında enjeksiyon prosesleri gerçekleşirken, birçok karışık formdaki plastik materyalden gaz çıkışları muhtemeldir. Kalıp içi sıkışmış gaz ve hava tahliye kanalları Şekil 5.13.' te yer alan görseldeki gibi yerleştirilebilir [60].



Şekil 5.13. Kalıp içi sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarının örnek yerleşim düzeni.

Enjeksiyon ile üretim proseslerinde plastik parça operasyonel üretim hassasiyetleri ve toleransları göz önünde bulundurularak; özel CNC tezgâhlarda veyahut geleneksel talaşlı imalat tezgâhlarında, kalıp yarımına gaz ve hava tahliye kanalları açılmalıdır. Gaz tahliye kanalları, bu çalışma kapsamında literatürde ki veriler kullanılarak oluşturulan Şekil 5.14.' te ki gibi yan yana sıralı dizilimde  $\text{Ø}10\text{--}12\text{ mm}$  ve  $50\text{ mm}$  aralıklı olacak şekilde döşenerek, ayrıca üretilmesi istenen plastik parça ile hava kanalları arasında  $a: 1.5\text{--}2.5\text{ mm}$  uzunluğunda set bariyerler bırakılır ve bu setin diğer tarafında kalan bölüme ise asıl sıkışmış hava tahliye ve gaz çıkış kanallarının açılması gerekmektedir [60].



Şekil 5.14. Plastik enjeksiyon kalıp setlerindeki sıkışmış gaz ve hava tahliye boşluklarının yerleşim düzeni ile dizilimleri [60].

**Tablo 5.3.** Enjeksiyon kalıp setinde sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarının derinlik ölçüleri [60].

Plastik Hammadde Malzemelerinin Sembolleri	Polimer Malzemelerin Açık Adlandırmaları	Kalıp Yarımına Açılacak Hava Tahliye Kanal Derinliği [b (mm)]	
<b>TERMOPLASTİKLER</b>			
1.	PP	Polipropilen	0.012 ~ 0.030 mm
2.	PA6	Poliamid (Naylon 6)	0.007 ~ 0.010 mm
3.	ABS	Akrilonitril Butadien Stiren	0.025 ~ 0.038 mm
4.	LDPE	Polietilen (Alçak Yoğunluk)	0.012 ~ 0.030 mm
5.	PVC (Yumuşak)	Polivinilklorür (Yumuşak)	0.012 ~ 0.017 mm
6.	PVC (Sert)	Polivinilklorür (Sert)	0.020 ~ 0.030 mm
7.	PS (Şeffaf)	Polistiren (Şeffaf)	0.001 ~ 0.025 mm
8.	PS (Amorf)	Polistiren (Amorf)	0.020 ~ 0.030 mm
9.	PMMA	Polimetilmetakrilat (Akrilik)	0.038 ~ 0.050 mm
10.	POM	Polioksümetilen (Asetal)	0.012 ~ 0.025 mm
11.	PC	Polikarbonat	0.020 ~ 0.063 mm
12.	PPO	Polifenilenoksit	0.025 ~ 0.030 mm
13.	PBT	Polibutilentereftalat	0.012 ~ 0.017 mm
14.	SAN	Stirenakrilonitril	0.025 ~ 0.038 mm
15.	EVA	Etilen Vinil Asetat	0.025 ~ 0.038 mm
16.	CAB	Selüloz Asetat Butirat	0.025 ~ 0.038 mm
<b>TERMOSETLER</b>			
17.	PP/EP (D) M	PP (Kauçuk ile Güçlendirilmiş)	0.012 ~ 0.017 mm

Kalıp seti içinde enjeksiyon esnasında sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarının derinlik verileri Tablo 5.3.' te verildi. Plastik parça üretim operasyonları sırasında sıkışan gazların tahliyesi ve hava çıkış kanalları bulunmayan kalıp yarımalarında; üretim esnasında kalıp içerisinde birikerek aynı zamanda sıkışmış gaz molekülleri çoğunlukla kendiliğinden tahliye edilememektedir. Bu sorunun neticesi olarak hava ve gaz boşluklarından kaynaklanan gözenekli içyapı kusurları ile beraberinde oluşan mukavemet sorunları, kalıp boşluklarına eksik mal dolumlarından kaynaklanan materyal eksiklikleri ve görsel kusurlar, çapak oluşumları, basınç kaynaklı çarpılmalar ve kılcal çatlak oluşumları gibi plastiklerde istenmeyen problemlerin oluşumları gözlemlenebilir. Ayrıca enjeksiyon yapılan üretim sahalarında gaz tahliyeleri için lokalize edilmiş havalandırma sistemlerinin kurulması gereklidir.

Sıkışmış hava ve gaz tahliyeleri, diğer yandan merkezleme pim yuvalarının boşlukları kullanılarakta sağlanabilir. Gaz çıkış kanallarının uzantıları, merkezleme pim yuvalarının merkezlerine kadar ve kanal uzantıları pim yuvası ile eş merkezli aynı zamanda dik olarak aynı eksen konumunda olacak şekilde kalıp seti gaz çıkış ve tahliye kanalları dizayn edilebilir.

Kalıp çeliklerinde malzeme mekanik reçete farklılıkları ile enjeksiyon prosesindeki baskı ve çevrim sayısına bağlı olarak yorulma hadisesi meydana gelebilir.

Yorulma hadisesi ve diğ er etkenlerden meydana gelebilecek ezilme problemlerinin önlenmesi için kalıp ayırım hattına yani kalıp açılma çizgisine aralık veyahut boşluk bırakılmalıdır. Kalıp çukuru ve erkek parçası insert pozisyonunda olan kalıp setlerinde; kalıp açılma çizgisine yaklaşık olarak **1.5 mm boşluk** bırakılmalıdır. Farklı mekanik karakteristik davranışlar gösteren çeliklerde ise ezilme problemleri ve ezilmeden kaynaklanan deformasyon oluşumları bu sayede minimuma indirgenerek, engellenebilir.

### 5.6. Soğutma Sistem Dizaynı

Kalıp sıcaklığı ve kalıp yüzey ısı; parça yüzey kalitesi, ölçüsel tamlık ve optimal üretim çevrim döngüsü gibi enjeksiyon için en önemli kriterleri doğrudan etkilemektedir. Bu duruma bağı lı olarak soğutma sistem tasarımı ve kalıplardaki ısı transferinin kontrol altında tutulması için gerekli olan aksiyonlar ile kalıp parçalarındaki değı şken sıcaklık değerlerinin üretilecek plastik parçada oluşturabileceği hatalar, iç kusurlar ve deformasyonlar mümkün mertebe kontrol altına alınmalıdır. Ayrıca kalıp içi soğutma kanallarının dizayn konfigürasyonları, optimal ısı kontrolü için soğutma tesisatındaki maksimum kanal ve hat uzunlukları, soğutma kanallarının kalıptaki hatalı yerleşimleri, soğutma suyu akış hızları, soğutma suyu ve diğ er soğutma sıvılarının kimyasal reçeteleri, kir ve korozyon paslanma önleyici kimyasal çözücüler soğutma sistem performansını doğrudan etkiler.

Literatürdeki kaynaklardan elde edilen veriler kullanılarak spesifik olarak plastik parçaların duvar et kalınlıklarına bağı lı final nihai ürün soğutma sürelerine ait tabloların çalışma kapsamında oluşturulmasının yanı sıra kalıp soğutma sistem tasarım ve dizaynı, soğutma hattının kontrolü ile rijit, uniform ve optimum plastik parça üretim parametreleri enjeksiyon açısından oldukça önem taşımaktadır.

Plastik parça kalıp içerisinden çıkarılabilecek kararlı faza geçinceye kadar ki geçen süreçte ortamda oluş an fazla ısı plastik üründen mutlaka uzaklaştırılmalıdır. Diğ er yandan enjeksiyon çevrim sürecinden bu noktaya kadar ki geçen süreye soğutma zamanı denilmektedir. Plastik parçalardan beklenen yüksek kalite, her çevrim döngüsündeki stabil sıcaklık profili ile ilişkili olup, enjeksiyon prosesinin verimliliği kalıp setindeki ısı transferiyle değı şebilmektedir. Plastik parça ile kalıp seti aralarındaki ısı transferi ne kadar hızlı tamamlanırsa o kadar fazla ekonomik kazanç artışı sağlanırken, öte yandan baskı süresi azalır ve enjeksiyon ile üretim hızı artar [40].

Reynold sayısı 2300 mertebesinden düşük olduğu takdirde laminer akış, 4000 mertebelerinden büyük olması durumunda ise türbülanslı akış formu

gözlemlenmektedir. Fakat plastik enjeksiyon kalıp setlerini soğutma fazında verimli optimal sonuç elde etmek için Reynold sayısı 10000 mertebelerinden daha büyük olması gerekmektedir.

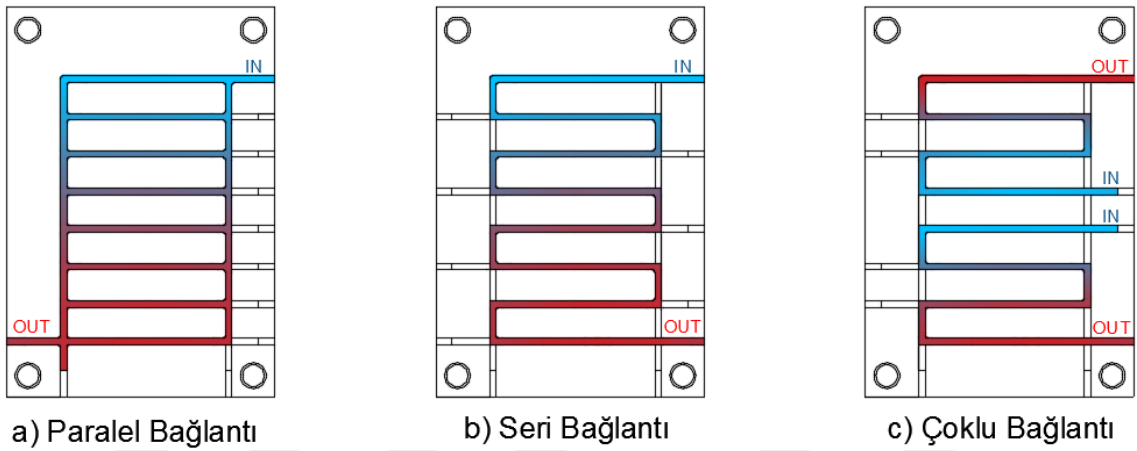
Kalıp setinden uzaklaştırılan ısı kütesinin miktarı soğutma sıvısının akış hızından doğrudan etkilenmektedir. Isı transferi hadisesi soğutucu akışkanın laminer akış tipolojisinden, türbülanslı akış tipine geçişiyle artmaktadır. Çünkü laminer akış esnasında soğutucu akışkan yalnızca kanal iç çeperlerine yakın olan bölgelere temas halindedir, ancak türbülanslı akış tipinde ise laminer akış tipine nazaran daha fazla soğutucu akışkan kanal iç çeperlerinin birçok noktalarına temas ederek, ısı transferini maksimum seviyeye çıkarmaktadır.

Kalıp grubu içerisinde soğutma suyu dolaşırken, laminar akış formunda dolaşım asla istenmeyen bir durumdur. Diğer taraftan reynolds sayısı 4000~10000 arasında tutularak, türbülanslı olarak soğutma suyunun dolaşımı sağlanmalıdır. Kalıp grubundaki soğutma sıvısı, sıcak bölgelere en yakın noktadan yapılan giriş bağlantısı sonrasında sisteme su giriş sıcaklıkları "13~15°C" (Chiller) iken, soğutma tamamlandıktan sonraki çıkış sıcaklıkları ise özel durumlar haricinde genellikle "30~35°C" seviyelerinde gözlemlenmelidir. Ancak gerekli özel durumlarda; -15°C düşen hava dolayısıyla ortam sıcaklıkları için soğutma prosesi lokal olarak yani bölgesel yapılmalıdır.

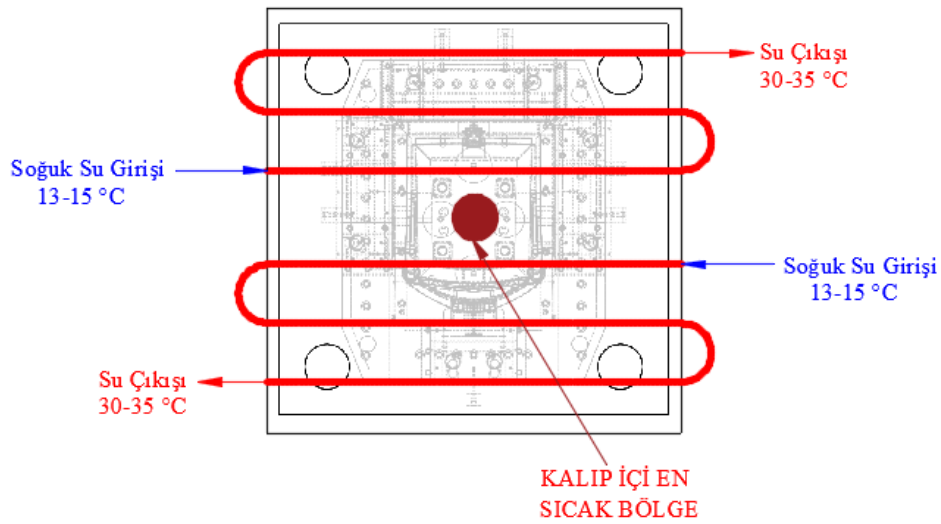
İtici pim setleri, hareketli maça elemanları ve diğer hareketli kalıp seti parçaları, erkek kalıp tarafında konumlandırıldığından erkek kalıp tarafının soğutulması genel olarak çok daha karmaşık ve zordur. Kalıp kavite gözlerinin dolumu esnasında en sıcak fazdaki eriyik plastik hammadde kalıp setinin giriş bölümünde, öte yandan en soğuk ergimiş hammadde ise yolluk girişlerinden en uzak noktalarda yer almaktadır. Diğer yandan soğutma sistem suyunun sıcaklığı bahsedilen soğutma kanallarından dolaştıkça artmakta; bu nedenle plastik enjeksiyon prosesleri sırasında ideal eşit soğumanın gerçekleştirilebilmesi maksadıyla dişi kalıp yarımının sıcak lokal bölgelerine soğuk soğutma sıvısı, soğuk bölgelere ise optimum sıcaklıktaki soğutma suyu girişlerinin ve buna bağlı olarak sirkülasyonlarının düzgün bir şekilde sağlanarak ideal soğutma çevrim döngüsü sağlanmalıdır.

Köşeli plastik parçalarda, köşe noktalarına mümkün olduğunca daha yakın olacak konumda soğutma amacıyla su kanalları yerleştirilerek soğutma sistem dizaynı yapılmalıdır. Aksi durumda geniş sıcak lokal bölgeler oluşur ve oluşan sıcak bölgeler soğuma fazında plastik parçada çarpımalara ve istenmeyen şekil değişikliklerine neden olabilir. Ayrıca soğutma yapılmayan plastik parçaların köşe noktalarında kullanılması

düşünülen iticiler, plastik yapısında deformasyon oluşumlarına sebebiyet verebilir. Sonuç olarak literatürdeki kaynaklarda önerilen tavsiyeler üzerine soğutma kanalları mümkün olduğunca parçanın kritik geometrik detaylarına en yakın noktalara konumlandırılmalıdır. Kalıp setlerine işlenecek soğutma kanalları mal dolmuş boşluklarından ideal uzaklıklarda ve çap değerinde, ancak kalıp bloğunun çatlamasına sebebiyet vermeyecek konumlarda konumlandırılmalıdır. Stabil ve ideal bir soğutma prosesi gerçekleştirmek amacıyla soğutma kanallarının mümkün mertebe kusursuz dizayn edilerek, yerleştirilmelerine hassasiyet gösterilmelidir.



Şekil 5.15. Soğutma sistemlerindeki kanal bağlantı tipleri [40].



Şekil 5.16. İdeal soğutma sıvısı yerleşim hattı ve dolaşım şablonu [40].

Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.'da görüldüğü üzere iyi bir soğutma kontrolünün sağlanabilmesi için soğutmaya akış yolunun en sıcak olduğu bölgeden başlanmalıdır.

Diğer yandan çalışma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda soğutma manifoldu “0,6 – 0,9 m/sn” soğutma suyu hızını verebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Sistemde kullanılacak hızlı bağlantı elemanları ve diğer elemanların iç çapları en az soğutma kanallarının ki kadar olmalıdır. Soğutma kanallarının kesit alanları tüm soğutma sistemi devresinde eşit ve aynı ölçülerde olması gerekmektedir. Devre içi herhangi bir soğutma hattı boyunca kanal uzunlukları "1,2~1,5 metre"yi geçilmemesi tavsiye edilir. Ayrıca hareketli maçalar ayrı bir soğutma devresi vasıtasıyla soğutulmalıdır. Mümkün olduğu kadar tüm girişler için ayrı bir devre bağlantısı oluşturularak, oluşabilecek kısa devreler minimuma indirgenip ekarte edilmelidir [40].

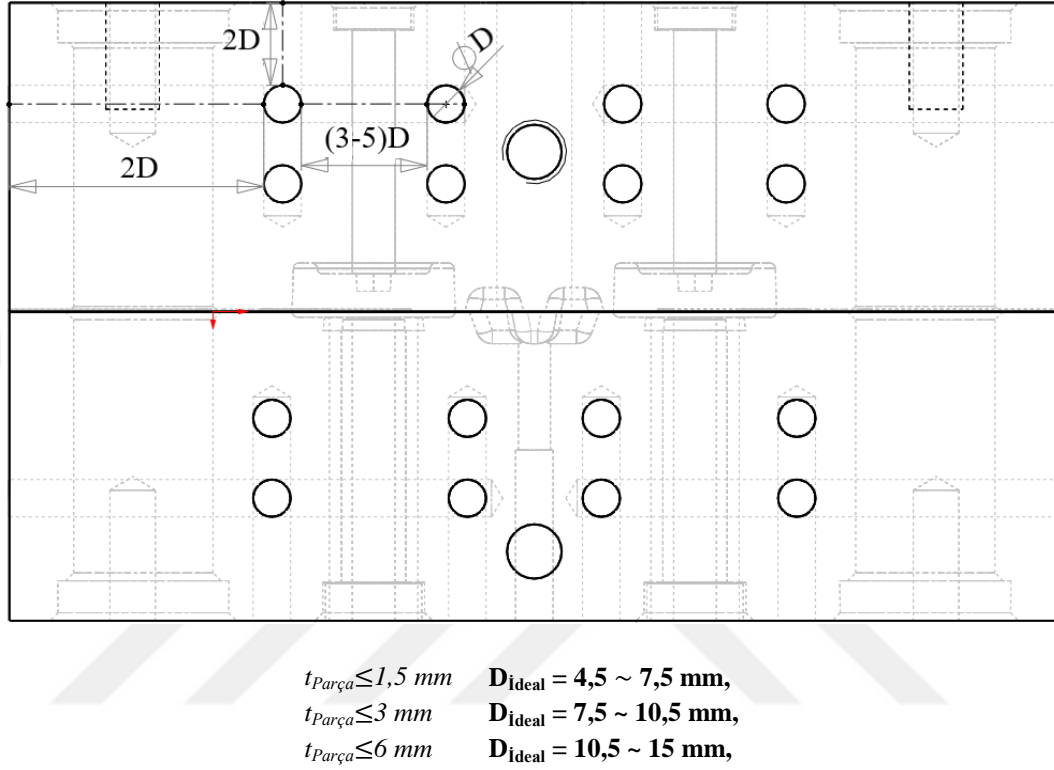
Kalıp setinin ısısı kalıbın ortasından yani merkez noktasından dış yüzeylere doğru yönelecek şekilde varsayım yapılarak soğutma sistem tasarımı yapılmalıdır. Diğer yandan yolluklar donduktan hemen sonra plastik parça kalıp seti içerisinde soğur ve daha sonrasında akabinde çekme hadisesi gerçekleşir. Plastik parçanın soğutulma prosesi ise "Vicat Yumuşama Sıcaklığı (VST)" faz noktasına ulaşınca kadar ki süreçte bu proses devam etmektedir.

Plastik enjeksiyon proses döngülerinde kalıp seti eriyik plastiğin absorbe ettiği sıcaklık etkisiyle belirli bir çevrim döngüsü sonrasında ısınmaya başlar. Kalıp parçalarının ısınması ise kalıp setinin üretim performansını, çevrim sürecini ve üretilen plastik parça kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle kalıp seti sıcaklığını belirli bir sabit sıcaklık fazında tutmak amacıyla kalıp erkek ve dişi parçalarının iç bölgelerine açılmış kanallarda soğutucu akışkan ve soğutma sıvısının devri daimli akışının sürekliliğini sağlamak şarttır. En ilkel sistem olan kalıp erkek ve dişisinin boydan boya doğrudan delinmesi metoduyla sağlanan soğutma sistemleri halen günümüzde endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir [41].

Kalıp soğutma sisteminin kontrol edilebilirliği üniform ve rijit parça üretimi açısından oldukça önem arz etmektedir. Soğutma oranlarının kalıbın bir bölümünden diğer kısımlarına doğru değişkenlik göstermesi, üniform olmayan soğutma süresi ve diğer istenmeyen hadiselerin oluşumuna sebep olabilir. Kontrol altına alınmayan soğutma sistemi; çarpılmalar, deformasyonlar, kalıcı iç gerginlik ve değişken çekmelerin oluşmasını neden olur. Ayrıca *plastik parçadaki %30 kalınlık azaltım optimizasyonu, yaklaşık %50 oranında soğutma çevrim zamanının kısalmasına katkı sağlamaktadır.*

Yine bu çalışma kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak optimize edilen soğutma kanallarındaki delikler arası minimum net mesafe özel durumların haricinde “3

mm”den daha yakın konumlandırılmamalıdır. Ancak istisnai durumlarda ise soğutma kanalları ara net mesafeleri en az "5 mm" bırakılabilir. Şekil 5.17.'de enjeksiyon soğutma sistemindeki kanalların kalıp iç dizaynı yapılırken, dikkat edilmesi gereken önemli veriler ve parametre değerleri oluşturuldu.



Şekil 5.17. Soğutma kanallarının kalıptaki delik yerleşimleri [25].

Kalıp setinde soğutma sıvısı sirkülasyonunun sağlanması amacıyla gerekli olan üniteler hazır setler halinde ticari olarakta bulunabilmektedir. Soğutma üniteleri kalıp setlerine, mavi (giriş) ve kırmızı (çıkış) şeklinde farklı renklerdeki esnek hortumlar aracılığıyla bağlantı yapılmalıdır. Bu soğutma üniteleri ile kalıp seti sıcaklıkları dar sınır koşulları çerçevesinde korunur. Ancak diğer yandan soğutma tesisat içerisinde dolaşan suyu doğrudan şebekeden sisteme dahil etmek, bazen ideal bir sıcaklık kontrolü sağlanabilmesini mümkün kılabilir [41]. Ayrıca soğutma sisteminde; hattaki giriş ve çıkış hortumları ayrı renklerde olması sayesinde herhangi bir problem oluşumunun engellenmesinin yanı sıra kalıp setinin bağlanması sırasında oldukça pratik kolaylık sağlamaktadır. Son olarak soğutma sistemi için gerekli olan kontrol ve ölçüm cihazları eklenerek; soğutma suyu çıkış sıcaklık verileri derece cinsinden okutulurak, stabil kontrol altında tutulabilir.

Kalıp yüzey sıcaklıkları; plastik parçanın enjeksiyon sonrasında hangi kalıp yarımını tarafında bırakılması isteniliyorsa, bu hassasiyette oldukça önem ihtiva etmektedir. Plastik parçanın baskı sonrasında hangi tarafta kalması hususunda kalması istenilen kalıp bölümündeki kalıp sıcaklığı, diğer kalıp yarımından 5°C daha az olmalıdır. Ancak bu sıcaklık farkı 5°C üstüne çıkılması halinde istenmeyen kayma gerilmeleri ve harelenmeler gibi plastik parçada hata ve deformasyonların meydana gelmesine sebebiyet verilebilir. Endüstride yaygın olarak kullanılan ve bu tez çalışması kapsamında oluşturulan Tablo 5.4.'te bazı plastik hammadde malzemelerine soğutma prosesi sırasında yapılan testler sonucu parça et kalınlıklarına bağlı olarak saniye cinsinden optimize edilen soğutma süreleri verildi.

**Tablo 5.4.** Bazı plastik malzemelerin ideal parça kalınlıklarına göre azami soğutma süreleri (sn).

Plastik Parça Duvar Et Kalınlığı (mm)		Kristalin Yapı		Amorf Yapı	
		PP (sn)	PA (sn)	ABS (sn)	PS (sn)
1.	0,51 mm	1,8 sn	-	-	1 sn
2.	0,76 mm	3 sn	2,5 sn	1,8 sn	1,8 sn
3.	1,02 mm	4,5 sn	3,8 sn	2,9 sn	2,9 sn
4.	1,27 mm	6,2 sn	5,3 sn	4,1 sn	4,1 sn
5.	1,52 mm	8 sn	7 sn	5,7 sn	5,7 sn
6.	1,78 mm	10 sn	8,9 sn	7,4 sn	7,4 sn
7.	2,03 mm	12,5 sn	11,2 sn	9,3 sn	9,3 sn
8.	2,28 mm	14,7 sn	13,4 sn	11,5 sn	11,5 sn
9.	2,54 mm	17,5 sn	15,9 sn	13,7 sn	13,7 sn
10.	3,18 mm	25,5 sn	23,4 sn	20,5 sn	20,5 sn
11.	3,81 mm	34,5 sn	32 sn	28,5 sn	28,5 sn
12.	4,44 mm	45 sn	42 sn	38 sn	38 sn
13.	5,08 mm	57,5 sn	53,9 sn	49 sn	49 sn
14.	5,72 mm	71 sn	66,8 sn	61 sn	61 sn
15.	6,35 mm	85 sn	80,8 sn	75,9 sn	75,9 sn

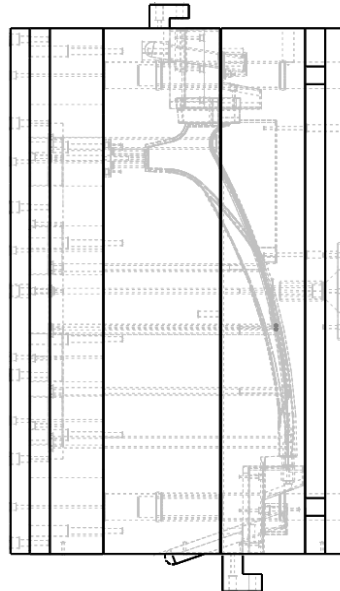
Enjeksiyon proseslerinde baskı esnasında, kalıp sıcaklığının sabit kalması gerektiği plastik malzeme türleri için soğutma sisteminde soğutma sıvısı yerine yağ kullanılmasının yanı sıra soğutma sistemine ısı kontrol stabilizasyon ünitesi entegre edilmelidir. Diğer yandan kalıp bloklarının korozyon ve paslanma oluşumlarını önlemek için soğutma sıvısı kanallarına kimyasal çözücülerle periyodik olarak bakım

yapılmalıdır. Ayrıca edinilen tecrübeler ve deneyimler sonrasında en iyi soğutma sistem performansının elde edildiği montaj devre şemaları çizilerek, arşivlenmelidir.

### 5.7. Tünel (Merkez) Yolluk Dizayn Aşamaları

Eriyik plastik hammaddenin kalıp kavite boşluklarına geçişi ve mal dolumu sırasında ara geçit köprü görevi üstlenen tünel yolluk tasarım detaylarında; yolluk ana hammadde giriş bölümü dizaynı, optimal giriş kesiti çap değerleri, enjeksiyon esnasında tünel yolluktan kalıp içerisine mal dolum açıları ve plastik hammadde malzeme cinsine bağlı olarak fonksiyonel enjeksiyon meme (nozzle) seçim kriterleri oldukça önem arz etmektedir.

Kristalin yapılu plastik malzemelerde, hızlı katılaşma meydana gelmesinden dolayı baskı sonrası plastik parçalarda çökmeler gözlemlenebilir. Katılaşmanın daha uniform olabilmesi ve hızlı katılaşma sonrası çökme hadiselerinin yaşanmaması amacıyla eriyik hammadde giriş ağız ölçüsü yeterince büyük ve optimal genişlikte olması gerekmektedir. Plastik enjeksiyon prosesleri sırasında mal kaybı ve kaçaklarının yaşanmamasının yanı sıra bu olayların sonucu olarak kalıp kavite boşluklarına eksik mal dolumlarının önlenmesi için kalıp tasarımında enjeksiyon memesinin dayandığı kısım ve bölüm parametreleri mutlaka önceden belirlenmelidir.



Şekil 5.18. Montajı tamamlanarak, toplanmış ve enjeksiyon ile baskıya hazır kalıp setinin genel görünümü.

Şekil 5.18.' de görüldüğü üzere plastik hammaddelerin kalıp kavite boşluklarına geçişi ve mal dolumu için ara geçit görevi gören enjeksiyon memesinin dayandığı tünel

yolluk giriş kesit çap değeri çalışma kapsamındaki literatür araştırmalarına dayalı olarak "19~20 mm" olacak şekilde giriş bölümünün dizayn edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca tünel yolluk giriş yeri; kolay ve görünür şekilde yada bazı uygulamalarda ise dağıtıcıdan yolluklara doğru eriyik hammaddenin giriş kısmına "45°" açı verilmelidir. Diğer yandan kalıp girişindeki tünel yolluğun mümkün olduğunca kalıp seti ile ara mesafesi kısa tutulmalı ve hatta gerekirse özel durumlarda meme (nozzle) kalıp içerisine doğrudan gömülmek suretiyle plastik enjeksiyon operasyonları gerçekleştirilmelidir. Ayrıca giriş tünel yollukları iyi parlatılmış bir yüzeye sahip olmalı aksi takdirde giriş yolluğunda meme (nozzle) sıkışmaları, yapışma problemleri ve hatta memenin asılı kalması gibi istenmeyen problem oluşumları yaşanabilir.

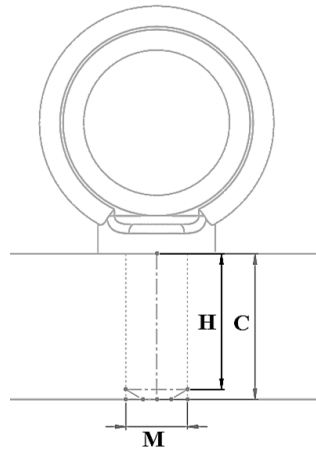
Son olarak plastik enjeksiyon makine ve tezgah seçimi yapılırken; eksenel hareketli meme (nozzle) özelliği bulunan tezgahların tercih edilmesi oldukça fazla fonksiyonellik katmaktadır. Bunun yanı sıra kalıp setindeki nozzle yuva ve yatağındaki keskin kenar ve köşelerden tamamen kaçınılmalı, açı farklılıkları oluşmaması için malın basıldığı nozzle yatağındaki keskin yüzeyler pahlanarak radyüslü bir formda tünel yolluk girişleri dizayn edilmelidir.

### **5.8. Kalıp Grubu Taşıma Mapaları ve Yan Kilitlemeler**

Plastik parçanın boyutları ve genel geometrisi, göz adet sayıları ve bunun yanında diğer kalıp elemanlarının entegre edilmesi sonrasında kalıp grubu boyutunun ölçüleri tam olarak şekillenmektedir. Teorik olarak hesaplanan ortalama kalıp grubu dış ölçülerine en yakın ve piyasada kolay tedarik edilebilecek standart ölçülerdeki çelik malzemelerin kalıp ölçülerine bağlı olarak ağırlıklarında farklılıklar gözlemlenmektedir.

Monoblok tek parça halindeki kalıp setlerinin taşıma ve hareket kolaylığını sağlamak ve ayrıca plastik enjeksiyon makinelerinin tezgah kolonlarına kalıp grubunu çarptırmadan bağlamak için "mapa" adı verilen Şekil 5.19.'da ki görselde yer alan aparat; kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Taşıma operasyonlarını dengeleyecek ve aynı zamanda balanse edecek şekilde kalıp setinin dört kenarına mapaların uygun konumda yerleştirilmesi önem taşımaktadır. Ancak bazı özel uygulamalarda tek bir taşıma mapası ile taşıma işlemleri yapılabilmekte ve bu durumun doğru bir uygulama olmamasının yanında kalıpların tezgaha bağlanması sırasında kolonlara ve tezgah bağlama plakalarına çarptırılarak, hem kalıp setlerine hem de enjeksiyon tezgahlarına oluşumu istenmeyen tahribat, deformasyon veyahut kalıcı hasar oluşumları yaşanabilir.



Şekil 5.19. Kalıp grubu taşıma mapası detaylandırılmış temsili görseli [42].

Toplanmış ve montajı tam olarak tamamlanmış kalıp setlerinin total ağırlığına göre optimum mapa seçimi yapılması oldukça kritik önem teşkil etmektedir. Tablo 5.5.'te kalıp gruplarının ağırlıklarına bağlı olarak taşıma mapaları ve sınıflandırmaları verildi.

Tablo 5.5. Kalıp gruplarının ağırlıklarına uygun mapa seçimleri [42].

	Kalıp Grubu Ağırlıkları [kg]	MAPA [Ø]	Diş Boyu (H) [mm]	Kalba Giren Uzunluk (C) [mm]
1.	450 kg	M16	27 mm	35 mm
2.	630 kg	M20	30 mm	40 mm
3.	950 kg	M24	40 mm	45 mm
4.	1400 kg	M30	50 mm	55 mm
5.	2300 kg	M36	55 mm	60 mm
6.	3400 kg	M42	65 mm	70 mm
7.	4500 kg	M48	70 mm	75 mm
8.	9000 kg	M64	90 mm	95 mm
9.	15000 kg	M80	105 mm	115 mm

Kalıp setlerinin rijit bir şekilde toplanması ve montajları, öte yandan taşınması ve enjeksiyon tezgahına bağlanması aşamalarında; kalıp ünitelerine zarar vermeden ve ayrıca hassas düzeyde konum değişikliklerini gerçekleştirmek amacıyla şayet mümkünse tesiste her kalıp setine uyumlu olarak takılabilen ya da her kalıp için ayrı ve özel olarak dizayn edilmiş, kalıp setinin dış çeperlerinin içine gömülü veyahut kalıp blokları dış yüzeyleri ile hemyüz yekpare yan kilitleme ataçmanları her bir kalıp grubuna entegre edilmelidir.

### 5.9. Kalıp Grubu Dizayn Safhalarındaki Diğer Detaylar

Enjeksiyon tezgahlarında kullanılan plastik hammadde ve çeşitli malzemelerin; problem geri bildirimleri, izlenebilirlik ve takip açısından kolaylık sağlamak amacıyla lot bazında tüm üretim kayıtlarının tutulması oldukça önem taşımaktadır. Üretilen plastik parçalar için kalite ve ürün takip sistematigi kültürünün sahada oluşturulması amacıyla kalıp gruplarına en az yıl/ay/gün formatında tarih inserti yerleştirilmelidir. Ayrıca lot bazında üretim parti numarası ve plastik enjeksiyon işleminin yapıldığı ekstrüder numarası da üretilen plastik parçaların kozmetik görseliğini bozmayacak herhangi bir iç yüzeyine entegre edilmelidir.

Kalıp setinde yekpare formda tek gövde şeklinde basılması istenilen parçaların ve özellikle metal insertler öncelikli olarak 25 °C sıcaklıkta sabit tutulmalı ve diğer yandan çok daha karmaşık geometriye sahip bir form söz konusu ise metal insertler önceden ısıtılarak hazırda bekletilmelidir.

Soğutma sisteminde ve hattında; kayıp, kaçak veyahut arıza oluşumları durumuna karşılık kalıp setinin üst ve yan bölümlerine ansızın spontana olarak meydana gelen arızaları bertaraf etmek maksadıyla kalıp dış gövde yüzeylerine su tahliye oluklarının açılması gereklidir.

Keskin kenar ve köşelerden kaynaklı olarak istenmeyen yaralanmalar ve problem oluşumlarının önceden ekarte edilmesi amacıyla mümkün mertebe üretilebilirlik göz önünde bulundurularak uygulanabilecek tüm keskin kenar ve köşelere öncelikli olarak radyüs veyahut diğer bir alternatif olan pah kırma operasyonları kalıp grubundaki yüzeylere uygulanmalıdır.

Isı transferlerinin verimli ve efektif bir şekilde sağlanmasının yanı sıra ısı kayıp ve kaçakları en aza indirmek amacıyla; tezgâh sabit plakaları ile kalıp setinin dış duvarları ara yüzeylerine asbest içermeyen yalıtım plakaları yerleştirilmelidir.

Son olarak kalıp setinin tezgâha bağlandıktan sonra kalıp iç yüzeyine doğrudan uygulanan koruyucu ve kalıp ayırıcı kimyasal malzemelerden mutlaka silikonsuz olan türlerin tercih edilmesi oldukça önem teşkil etmektedir. Aksi takdirde açık renkli plastiklerin enjeksiyon ile baskı sonrasında yüzeylerinde; tezgahların konuqlandırıldığı saha atmosferine karışmış havada asılı silikon partikülleri var olduğu için siyah leke ve gözle görülür seviyede parça yüzeylerinde istenmeyen siyah nokta oluşumları gözlemlenebilir.

## 6. ENJEKSİYON KALIP ÇELİKLERİNİN METALURJİK ÖZELLİKLERİ VE KALIP ÇELİK SEÇİM PARAMETRELERİ

Dökme demir teknolojisi 1690'lı yıllarda mühendislik ve doğa bilimlerini domine etmeye başlamıştır. 1850'li yıllarda çeliklerin gelişimi, 1940'lar da hafif alaşımların gelişmesi, bununla birlikte 1950 ve 1960'lı yıllarda ise metallerin kullanımını had safhaya çıkarttı. Bu dönemde mühendislik malzemeleri neredeyse metaller ile eş olarak anılmaya başlandı. Ancak günümüzde ise metal alaşımlarının gelişimi nispeten yavaşlama eğilimi gösterirken; polimer ve kompozit esaslı malzemelerin gelişiminde artan bir trend görülmektedir.

Diğer taraftan plastikler sınıfına giren malzeme ve materyallerin bir kısmı doğal, bir kısmı ise sentetik yapısal karakteristik özellikler taşımaktadırlar. İnsanlık tarafından metallerden çok daha önce kullanılmaya başlanan ahşap, deri, yün ve benzeri lifler birer doğal polimerler idi. Bugün endüstrideki plastiklerin büyük bir çoğunluğu doğada bulunmayan fakat sentez yoluyla elde edilen sentetik polimer malzemelerdir. Günümüzde ticari olarak bilinen yaklaşık 200 temel plastik ailesi bulunmaktadır, bunların 20 türden çok daha azı yaygın olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Her geçen gün plastiklerin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte buna bağlı olarak plastik sektörü günden güne gelişerek günümüz teknolojisine ulaşılmıştır. Artan talepler ve rekabet ortamından kaynaklanan değişimler plastik endüstrisindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak hızla artmaya devam edecektir. Bu tez çalışması kapsamında literatürde yapılan incelemeler ve araştırmalar neticesinde ideal kalıp çeliklerinin seçimine dair yapılan çalışmalar oldukça kısıtlı ve yok denecek kadar az sayıda olduğu tespit edilmiştir.

Çelikler; bir demir (Fe) karbon (C) alaşımıdır. Çelik malzemelerin yapısında; haricinde farklı alaşım elementleri ve empürite elementleri de bulundurabilir. Öte yandan çeliklere farklı nitelikler kazandıran yapısında içerdiği elementlerin kimyasal bileşimleri ve moleküler içyapılarıdır. Çeliklerin karakteristik özellikleri alaşım elementleri ile değiştirilebildiği gibi ayrıca normalizasyon, ıslah vs. çeşitli ısıl işlemler ile de değiştirilebilir.

Çelik malzemelerin büyük bir çoğunluğu ısıl ve ıslah işlemlerine karşı oldukça duyarlıdırlar. Bununla birlikte kimyasal bileşimlerin optimizasyonlarının yapılmasının yanında malzemeye uygulanan ısıl işlemler sonrasında fiziksel, kimyasal ve bunlara

bağlı olarak mekanik karakteristik özellikler; sertlik, korozyon dayanımı ve yüksek sıcaklıklara dayanım gibi nitelik özelliklerinin tam olarak kazandırılabilmesi mümkün kılınabilir. Tablo 6.1.'de çelik malzemelerin doğrudan bağlı oldukları ulusal ve uluslararası standartlar ve bunların açık adlandırmaları verildi.

**Tablo 6.1.** Ulusal ve uluslararası standartlar, açık adlandırmaları ve türkçe karşılıkları [21].

Standartlar	Standartların Açılımları	Türkçe Karşılıkları
ANSI	American National Standards Institute	<i>Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü</i>
DIN	Deutsches Institut für Normung	<i>Alman Standartlar Enstitüsü</i>
EN	European Standards	<i>Avrupa Normu</i>
ASME	American Society of Mechanical Engineers	<i>Amerikan Makine Mühendisleri Birliği</i>
ASTM	ASTM International	<i>Amerikan Test ve Malzemeler Birliği</i>
BSI	British Standards Institution	<i>İngiltere Standartları</i>
API	American Petroleum Institute	<i>Amerikan Petrol Enstitüsü</i>
JIS	Japanese Industrial Standards	<i>Japonya Standartlar Enstitüsü</i>
NF	Norme Française	<i>Fransa Standartları</i>
GOST	State Standards of Soviet	<i>Rusya Standartlar Birliği</i>

Silisyum, fosfor, kükürt ve mangan gibi elementler üretim operasyonları sırasında hammadde kökenli elementler olmalarının yanı sıra çeliğin bünyesinde hâlihazırda eser miktarlarda bulunmaktadır. Ancak molibden, vanadyum ve wolfram gibi diğer elementler ise ferro-alyajlar formunda istenilen miktarlarda çeliğin yapısına doğrudan akuple edilebilirler. Fakat ilave alaşım elementleri rolleri gereği her zaman malzeme karakteristiğinde beklenen pozitif etki oluşturabildikleri gibi bazende negatif etki yaratabilirler.

Çelikler; kalıp setlerinin yüksek ömür mertebelerinde çalışabilmelerini sağlayan kalıp malzeme çeşitleri olarak bilinmektedirler. Çeliklerden beklenen, uzun servis ömürlerinin yanı sıra kullanıcılar tarafından istenilen değer aralıklarında karakteristik özellikleri sağlayabilmeleridir. Son olarak istenilen özelliklere haiz beklentileri karşılayabilecek çelik malzemeler, kalıp tasarımcıları ve kalıpcılık sektöründeki talaşlı imalatçılar tarafından ortak bir payda sonucunda birlikte kararlaştırılmalıdır.

### 6.1. Plastik Enjeksiyon Kalıp Setlerinin Malzeme Seçim Kriterleri

Genel kapsamda plastik enjeksiyon kalıpları hacim kalıbı olarak isimlendirilen kalıp setlerinin diğer farklı bir türevleridir. Hacim tip kalıp setlerinin çalışma prensibi; tasarlanan plastik parçanın geometrik formu, kullanılacak plastik hammadde malzemesinin geometrik tolerans değerlerine ve çekme oranına göre dizayn edilen kalıp

iç boşlukları, ergitilerek sıvı faza dönüştürülmüş plastik hammaddenin basınç etkisiyle doldurma veyahut sıkıştırma operasyonu mantığına dayanmaktadır.

Plastik parça seri üretiminin temel yapı taşlarını oluşturan kalıp setleri; yanlış ve hatalı malzeme seçimleri, yanlış ısı işlem operasyonları, hatalı yüzey işlem proseslerinden kaynaklı hedeflenen lot bazında total üretim rakamlarını yakalayamadan ömürlerini tamamlamakta yada bu operasyonel süreçler içerisinde aşınma, deformasyon, korozyona uğrama gibi istenmeyen sorunlar nedeniyle kalıp servis ömrü ve bakım gereksinimleri artmakta; buna bağlı olarak maliyetler bahsedilen hususlardan ötürü olumsuz etkilenmektedir.

Plastiklerin şekillendirildikleri kalıp malzemelerinin kullanım ömrünün arttırılması, plastik ürün maliyetlerinin düşürülmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Diğer yandan kalıp setlerinin ömrünün arttırılması için ise kalıp malzemelerinin optimum olarak seçilmesi; şayet gerekiyorsa uygun ısı işlem prosesi ve ayrıca parçadan istenilen özelliklere haiz olarak en iyi sonuçları veren yüzey işlemlerinin uygulanması oldukça hassasiyet teşkil etmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıp setleri genelleştirilmiş olarak hareketli ve hareketsiz olmak üzere erkek ve dişi kalıp tabirleriyle adlandırılan iki ayrı blok parçadan meydana gelmektedir. Ayrıca kalıp setlerinde, plastik hammaddenin kalıp kavite boşluklarına aktarılmasında köprü vazifesi gören yolluk sistemleri; kalıp boşluklarını dolduran plastik hammaddenin soğutma prosesini gerçekleştiren soğutma sistemleri ve ayrıca baskı alınan ürünlerin erkek kalıp grubundan herhangi bir deformasyona uğramadan kolaylıkla ayrılmasını sağlayan itici sistemleride yer almaktadır.

Çeliklere, yüzey sertlikleri ve çekirdek sertliği temperleme ve sertleştirme ısı işlem prosesleri ile kazandırılır. Fakat her ısı işlem prosesi beraberinde çatlak oluşumları ile birlikte diğer risk oluşumlarını arttırır. Bu nedenle çelik üreticileri, önsertleştirilmiş ve 1000~1400 MPa (N/mm<sup>2</sup>) mukavemet değerlerine sahip yeni nesil çelikler piyasaya hızla sürmektedirler. Ayrıca %0,06~0,10 oranında üniform moleküler dağılıma sahip sülfür içerdiklerinden bu tür çeliklerin izlenebilmeleri mümkün kılınmıştır. Ancak diğer taraftan yüksek miktarda sülfür kullanımı işlenebilirlik açısından dezavantaj oluşturmasının yanı sıra parlatılabilme kabiliyetini de olumsuz yönde etkilemektedir. Yine yüksek sülfür içerikli çeliklerin kaynaklanabilirlik kabiliyetleri oldukça zayıf olduğundan tamir edilebilmeleri oldukça güçtür.

Biçimsel ve boyutsal şekil değişimleri ısı işlemlerin yan etkileri olarak karşılaşılmaktadır. Isıl gerilmeler ve martenzit faz dönüşümlerinden kaynaklanan

hacimsel değişiklikler, elik malzemenin içeriğinde boyutsal değişimlere sebep olurken aynı zamanda kaçınılmazdır. Şekillenmeden önce, şekillendirme sırasında veyahut şekil değişikliklerinden sonra uygulanan ısıt işlemlerin hatalı proseslerinin sonucu olarak veyahut yanlış kalıp seti tasarımlarından kaynaklanan distorsiyon oluşumları gözlemlenebilir [45].

Önsertleştirilmiş elik malzemelerin işleme operasyonları sonrasında ek bir ısıt işlem prosesine tabi tutulması gerekmemektedir. Distorsiyon oluşumundan kaçınmak amacıyla önsertleştirilmiş veya sertleştirildiğinde martenzit faz yapısına dönüşebilen aynı zamanda kütlece sertleşebilen çelikler tercih edilmelidir. Kütlece tamamen sertleşebilen çelikler ısıt işlemler sonrasında yapının tamamında üniform bir oluşum gösterirler ve oldukça düşük dikkate alınmayacak seviyede gerilme oluşumlarına rastlanabilir. Ancak diğer yandan mega büyüklükteki kalıp setlerinde ise eğilme gerilmelerinden kaynaklanan çatlak tehlikeleri bulunduğundan kütlece sertleşebilen elik uygulamaları sınırlandırılmıştır. Son olarak aşınma dayanımı yüksek ve tok çekirdek molekül yapısına sahip sert kalıp yüzey tabakaları istenildiği takdirde ise hızlı ve çabuk sertleşebilen çeliklerin tercih edilmesi daha doğru olacaktır.

Maksimum aşınma direnci istenildiği durumlarda efektif olarak aşırı yüksek yüzey sertlikleri ile karşılaşılabilmektedir. Optimal bir aşınma direnci ve korozyon dayanım direncinin yükseltilmesi amacıyla elektrokimyasal çökertme metodu yardımıyla krom veya nikel kaplama yapılması tavsiye edilmektedir. Diğer yandan malzeme saflaştırma prosesleri kullanılarak mekanik özelliklerin iyileştirilmesinin yanı sıra kalıp yüzeylerinin mükemmel düzeyde parlatılabilmeleri için tam saflaştırılmış çeliklerin seçilmesi önerilmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinde bir diğer önemli husus ise kalıp çeliklerine uygulanan ısıt işlem ve ıslah prosesleridir. Ön ısıtma, östenitleme, su verme ve menevişleme işlem basamakları plastik enjeksiyon kalıp çeliklerine uygulanan ıslah işlemleridir. Diğer taraftan karbürleme, nitrürleme, borlama, sert krom veya nikel kaplama, sert alaşım kaplama, CVD kaplama, PVD kaplama, lazer yüzey işlemleri, elektron ışınları sertleştirilmesi ve Lamcoat kaplama yüzey sertleştirme prosesleri kullanılacak kalıp çeliklerinin kalitelerine bağlı olarak tercih edilen yüzey sertleştirme işlemleri oldukça önem taşımaktadır.

Tez alışması kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak oluşturulan Tablo 6.2.'de kalıp yarımlarına ait sıcaklık değerleri, plastik hammadde malzemesinin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca genellikle termoplastik malzemelerde

kalıp sıcaklıkları ortalama 120°C altında olduğu için bu durum kalıp malzemesinin seçiminde pek fazla önem taşımamaktadır. Ancak özel proseslerde ise kalıp çalışma sıcaklıkları 200°C ve üzeri mertebelere çıkıldığı takdirde kalıp çeliklerinin mekanik özellikleri olumsuz etkileneceğinden; distorsiyon eğilimleri ve aşınma karakteristiği hızla artarken, öte yandan yorulma ve sürünme dayanımları ise düşmektedir.

**Tablo 6.2.** Plastik enjeksiyon esnasındaki sabit kalıp sıcaklık değerleri [23].

	<b>Plastik Hammadde Malzemelerinin Sembolleri ve Açık Adlandırmaları</b>	<b>Enjeksiyon Proseslerinde Kalıp Sıcaklık Değerleri [°C]</b>
1.	PP (Polipropilen)	20 ~ 90 °C
2.	PA 11 (Poliamid 11)	40 ~ 80 °C
3.	PA 12 (Poliamid 12)	20 ~ 100 °C
4.	PA 6 (Poliamid (Naylon 6))	40 ~ 120 °C
5.	PA 6 - %30 GF (Glass Fiber)	60 ~ 140 °C
6.	PA 610 (Poliamid 610)	40 ~ 120 °C
7.	PA 66 (Poliamid (Naylon 66))	40 ~ 120 °C
8.	PA 66 - %30 GF (Glass Fiber)	40 ~ 80 °C
9.	PAI (Poliamid İmid)	200 ~ 218 °C
10.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	50 ~ 80 °C
11.	ASA (Akrilonitril Stiren Akrilat)	50 ~ 90 °C
12.	SAN (Stirenakrilonitril)	50 ~ 80 °C
13.	HDPE/Polietilen-Yüksek Yoğunluk	0 ~ 70 °C
14.	LDPE/Polietilen-Alçak Yoğunluk	0 ~ 70 °C
15.	PETP (Polietilen Eter Ftalat)	130 ~ 150 °C
16.	PETP - %30 GF (Glass Fiber)	30 ~ 90 °C
17.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	20 ~ 60 °C
18.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	10 ~ 60 °C
19.	PC (Polikarbonat)	80 ~ 100 °C
20.	PC - %30 GF (Glass Fiber)	100 ~ 300 °C
21.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	60 ~ 120 °C
22.	POM - GF	60 ~ 120 °C
23.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	40 ~ 90 °C
24.	PS (Polistiren)	50 ~ 80 °C
25.	HIPS, SB (Polistiren (Yüksek Etki))	50 ~ 80 °C
26.	PPO (Polifenilin Oksit)	40 ~ 110 °C
27.	PPS (Polifenilin Sülfür)	30 ~ 200 °C
28.	PSO (Polisülfon)	100 ~ 160 °C
29.	PAS (Poliartik Sülfon)	120 ~ 160 °C
30.	PES (Polieter Sülfon)	90 ~ 150 °C
31.	PAE (Poliartik Eter)	70 ~ 90 °C
32.	CA (Selüloz Asetat)	40 ~ 80 °C
33.	CAB (Selüloz Asetat Butirat)	40 ~ 80 °C
34.	CP (Selüloz Propionat)	40 ~ 80 °C

Bazı kalıp çeliklerinin karakteristik olarak iyi parlatılabilir olmasına bağlı olarak plastik parçaların yüzeyinde istenilen parlaklık elde edilebilmektedir. Diğer yandan şeffaf plastik parçalar gibi özel uygulamalar için farklı parlaklıkların sağlanabildiği pek çok plastik hammadde malzeme türü bulunmaktadır. Ayrıca kalıp çeliklerinin iyi parlatılabilirliği, baskı prosesleri sırasında viskoz plastiğin çelik yüzeyindeki gözeneklere dolmasını yani kısacası hammadde malzemesinin yapışmasını önlemektedir. Ancak bu plastik hammadde malzemelerinin içyapıları denetimli olarak üretilmiş olup, ESR işlemleri ile moleküler mikroyapı temizliği yapılmalıdır. Ayrıca paslanmaz çelik esaslı tüm kalıp çeliklerinin doğaları gereği yüksek parlaklık değerleri sağlanabilir. Diğer taraftan moleküler fazda mikro içyapıları temiz olan çeliklerin desen alabilme kabiliyetleri oldukça iyidir. ESR, PESR ve VAR gibi mikro içyapıların özel proseslerle kalıntılarından arındırılmış ve homojenize edilmiş kalıp çelikleri; desen işleme proseslerinde mükemmel en yakın sonuç alınabilen malzemeler olduğu bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinin uygulama alanları yüzdesel dağılımları; enjeksiyon kalıplama %50, ekstrüzyon ile kalıplama %20, şişirme kalıpları %15, basınç altında kalıplama %5, diğer kalıplama türleri ise %10 şeklinde dağılmaktadır.

Plastik enjeksiyon kalıp setlerinin imalatında kullanılacak bazı çelik türleri; çabuk sertleşebilen çelik malzemeler (1730, 2162, 2341, 2764), tüm kütlece sertleşebilen çelikler (2080, 2343, 2344, 2379, 2601, 2767, 2842), saflaştırılmış çelik malzemeler (2767), martenzit sertleşmesi yapabilen çelikler (2311, 2312, 2711, 2738), korozyon dayanımı yüksek olan çelikler (2083, 2085, 2316, 2394, 4112, 4125), nitritasyon (2307, 2344, 2379, 2391, 2738, 2891, 8550) ve temperlenmiş çelikler şeklinde sıralanabilir.

Literatür taramaları kullanılarak elde edilen veriler kapsamında yukarıda belirtilen kalıp çeliklerinin sertlik değerleri istisnalar dışında ortalama olarak 50~62 HRC aralığında değişkenlik göstermektedir. Yine tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda ayrıca kalıp çeliklerin alabileceği maksimum sertlik değeri ise yaklaşık olarak 67 HRC olup, bu sertlik değeri çelikte %0.6 karbon miktarı ile elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda Tablo 6.3'te kalıp grubundaki diğer kalıp elemanlarında tercih edilen bazı çelik malzemelerin DIN normu standartlarında yer alan malzeme numaraları, simgeleri ve yüzey sertlik değerleri HRC cinsinden verildi.

**Tablo 6.3.** Kalıp setlerinde yer alan diğer kalıp elemanlarında kullanılan bazı çelik malzemelerin DIN normu, simgeleri ve yüzey sertlik değerleri [46].

Malzeme Numarası	DIN Normu ve Simgesi	Yüzey Sertliği (HRC)	Malzeme Numarası	DIN Normu ve Simgesi	Yüzey Sertliği (HRC)
1.1730	C45U/C45W+	900 HV	1.2391	15CrMoV5	1000 HV
1.2083	X41Cr13	54~59	1.2601	X165CrMoV12	61~65
1.2085	X33CrS16	45~48	1.2738	40CrMnNiMo8-6-4	27~35
1.2162	21MnCr5	900 HV	1.2767	X45NiCrMo4	50~57
1.2307	31CrMoV9	1000 HV	1.2842	90MnCrV8	56~63
1.2311	40CrMnMo7	27~35	1.2891	34CrAlNi7-10	1000 HV
1.2312	40CrMnMoS8-6	27~32	1.4112	X90CrMoV18	57~60
1.2316	X38CrMo16	29~35	1.4125	X105CrMo17	57~60
1.2344	X40CrMoV5-1	48~54	1.7225	42CrMo4	30~35
1.2379	X155CrVMo12-1	58~65	1.8550	34CrAlNi7	1000 HV

Diğer takım çelikleri türlerine nazaran daha kısa bir tarihi geçmişi olan plastik enjeksiyon kalıp çelikleri; enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme ve diğer plastik şekillendirme yöntemleri ile çeşitli kalıplama ve presleme teknikleri kullanılarak şekil verme proseslerinde baş rollerde yer almaktadır. Bununla birlikte enjeksiyon kalıp çeliklerinin sınırlı kabiliyetleri söz konusu olsa da bazı metallerin kalıplama operasyonel uygulamalarında da karşılaşılabilmektedir.

Bir plastik enjeksiyon kalıp seti birden fazla kalıp elemanının bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Diğer yandan enjeksiyon kalıp setlerinin fonksiyonel yetkinliklerini optimum olarak yerine getirebilmeleri hususunda çelik malzeme ve materyal seçimleri oldukça önem teşkil etmektedir. Enjeksiyon kalıplamada kalıp setinin malzeme seçimlerine; plastik parça geometrik toleransları ve karakteristiği, yeterli tokluk dayanımı, sertleştirilebilme kabiliyetleri, aşınma direnci, korozif dayanım direnci, yüksek ısıl ve termal iletkenlik katsayıları, talaş kaldırma usulleriyle işlenebilirlik, kaynak yapılabilirlik, parlatılabilirlik kabiliyetleri, operasyonel kalıplama metodolojileri, temin edilebilirlik ve diğer maliyet unsurları gibi birçok faktör ve etmenler doğrudan etkilemektedir.

Tablo 6.4.'te endüstride yaygın olarak kullanılan enjeksiyon kalıp çeliklerine haiz olarak beklenen karakteristik yetkinlikler karşılaştırmalı olarak tablo halinde verildi. Pratikte Tablo 6.4.'te verilen karakteristik özelliklerin tamamını sağlayabilen tek bir enjeksiyon kalıp çeliği bulunmamaktadır. Diğer yandan kalıp setinin çalışma koşulları değerlendirilerek, istenilen özelliklere haiz optimum çelik seçimi yapılmalıdır.

Ayrıca yine kalıp çelikleri; metalurjik, mekanik, termal ve ısıl özellikler, işlenebilirlik ve imal edilebilirlik prosesleri gibi beklentiler doğrultusunda saptanmalıdır [47].

**Tablo 6.4.** Enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılan çelikler ve kabiliyetleri [47].

Çelik Malzeme Numarası	Tokluk	İşlenebilme Kabiliyeti	Aşınma Dayanımı	Parlatılabilme Kabiliyeti	Korozyon Dayanımı	Nitrasyon	Kaynak Kabiliyeti
1.2083	++	++	++	++	++	+	+
1.2085	+	+++	+	0	++	+	+
1.2162	+	+++	++	+++	+	+	++
1.2190	+	++	++	+++	++	++	+
1.2311	+	++	+	+	+	++	++
1.2312	+	+++	+	0	+	++	+
1.2316	+	++	+	++	++	+	++
1.2343	++	++	++	++	+	++	++
1.2344	++	++	++	+	+	++	++
1.2363	+	++	++	+	+	+	0
1.2379	0	+	+++	0	+	+	0
1.2709	+++	++	++	+++	+	++	+++
1.2711	+	++	+	+	+	++	++
1.2738	+	++	+	+	+	++	++
1.2764	++	++	++	+++	+	-	++
1.2767	++	++	++	++	+	-	++
1.2842	+	++	++	++	+	-	0
1.2891	++	++	+++	0	+	+++	0
1.2990	+	++	+++	+	+	+	0

Enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak kullanılan kalıp malzemeleri çeliklerdir. Çelikler, kalıplardan beklenen ve istenilen birçok özelliği karşılayabilirler. Fakat günümüzde kalıpcılıkta alternatif malzemelerin kullanıldığı plastik enjeksiyon kalıp uygulamaları da bulunmaktadır. Bunlar berilyum-bakır (Be-Cu) alaşımları, alüminyum alaşımları, toz metalurjisi ile üretilmiş sert metal alaşımlar ve çelik takviyeli epoksi malzemeler kullanılabilir. Enjeksiyon kalıp çelikleri ve plastik imalat proseslerinde ayrı ayrı olarak veya birkaçı birlikte olacak şekilde tüm bu özellikleri kapsayan diğer kalıp malzeme grupları arasında optimum seçimlerin yapılması oldukça önem ihtiva etmektedir.

Minimum hata payı ile maksimum verimlilikte plastik parça üretiminin gerçekleştirilmesine bağlı olarak operasyonel süreç optimizasyonlarının sağlanması amacıyla enjeksiyon kalıp çeliklerinin seçimleri konusunda; tecrübeli, yetkin ve uzman kalıpcılardan ve ayrıca çelik tedarikçilerinden teknik destek alınmalıdır. Literatürdeki veriler kullanılarak oluşturulan Tablo 6.5.'te kalıp setini oluşturan

diğer parçaların malzeme seçimleri, sertlik değerleri, plastik hammadde türleri ve karakteristik özelliklere bağlı olarak işlenebilme kabiliyetleri verildi.

**Tablo 6.5.** Kalıp setindeki parçaların materyal seçimi ve işlenebilirlik kabiliyetleri.

Kalıp Setinde Kullanıldığı Bölüm		DIN Normu	Sertlik Değeri	Plastik Hammadde Türü	Mekanik Karakteristik Özellikler
1.	Kalıp Plakaları, Hamiller	1.1730	900 HV	-	İşlenebilirlik iyi.
2.	Çekirdek Plakaları ve Maça Taşıyıcıları	1.2311	27-35 HRC	ABS, PE, PS, PP, Kristal, Akrilik	-
		1.2312	27-32 HRC	ABS, PE, PS, PP, Kristal, Akrilik	-
		1.2344	48-54 HRC	Naylon 6, Naylon 6.6 (Elyaf Takviyeli)	Parlatma kalitesi SPI A1 veya A2 düzeyinde optik parlatma yapılabilir. Yüzeğe tekstüre uygulanabilir. Isıl dayanım iyi.
3.	Çekirdekler, Maça, Lokma, Hamiller	1.2738	27-35 HRC	ABS, PE, PS, PP, Kristal, Akrilik	Parlatma kalitesi SPI A1 veya A2 düzeyinde optik parlatma yapılabilir. Yüzeğe tekstüre uygulanabilir.
		1.2344	48-54 HRC	Naylon 6, Naylon 6.6 (Elyaf Takviyeli)	Parlatma kalitesi SPI A1 veya A2 düzeyinde optik parlatma yapılabilir. Yüzeğe tekstüre uygulanabilir. Isıl dayanım iyi.
		1.2083	54-59 HRC	PVC PMMA PC	Korozyona ve aşınmaya dayanıklı. Parlatılabilme kabiliyeti ve kalitesi iyi.
		CENA 1	40 HRC	PMMA ABS-PC ABS	H&C yöntemi ile çalışan kalıplarda kullanılan SPI A1 kalitesinde parlatılabilme iyi.
4.	Aşınma Plakaları (Prinç ve Grafit)	1.2080	60-62 HRC	-	-
*Özel Durum ; "İyi soğutma" gereken proses ve üretim operasyonlarında.		Be-Cu	48 HRC	-	Soğutma kanallarının geçirilemeyeceği yerlerde; alt kısımlardan soğutma kanalı oluşturularak kullanılabilen, ısı iletkenliği çeliğe göre yaklaşık 10 kat daha yüksek materyal/kalıp seti parçası fikstür ataçman.

Plastik enjeksiyon kalıp seti malzemeleri seçilirken diğer kalıp elemanlarının işlevlerine göre malzemeler seçilmelidir. Erkek (hareketli) ve dişi (sabit) kalıp, alt ve üst plakalar, yolluk burcu ve diğer plastik enjeksiyon kalıp seti elemanları yüksek kalite standartlarındaki çelik malzemelerden imal edilmelidirler. Aksi takdirde hatalı ve yetersiz nitelikteki kalıp malzeme seçimleri yüzünden kalıp seti maliyetlerinin gereksiz artışları kaçınılmazdır ve kalıp grubunda enjeksiyon ile üretim çevrimi esnasında istenmeyen problemlerin oluşumuna neden olunabilir. Ayrıca yine kalıp maliyetlerini optimize etmek amacıyla yüksek performanslı kalıp çeliklerinin sadece gerekli görülen bölüm ve kısımlarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bazı durumlarda kalıp setlerinin ilk yatırım maliyetlerinden tasarruf etmek amacıyla önceden belirlenmiş kalıp malzemelerinden daha düşük kalitede diğer başka bir tür çelik seçilebilir. Fakat kalıbın servis ömrü ve yaşam döngüsü söz konusu ise kalıp malzemelerinden tasarrufa gitmek, aslında gerçekte zamanla daha pahalı bir maliyet tablosu çıkarabilir. Ayrıca diğer taraftan bu kalıp setinin tüm parçalarında her zaman en pahalı malzemelerin kullanılması gerektiği anlamına da gelmez. Kalıpcılık sektöründeki kalıp tasarımcıları; özellikle kalıp setinin ilk yatırım ömrü, kalıp grubunun ortalama yaklaşık maliyeti, tesis toplam işletme süresi gibi temel ölçüt ve kıstasları tam anlamıyla analiz ettikten sonra kalıp malzemelerinin seçimleri optimize edilmelidir.

Kalıp grubu tasarımındaki tüm kalıp elemanlarının; üstlenmiş oldukları işlevsel fonksiyonlar ve maruz kaldıkları çeşitli yüklemeler ile çalışma sürecindeki aşınma karakteristiklerinin detaylı olarak incelenmesinin yanı sıra yanlış ve hatalı kalıp seti çelik seçimlerinden kaynaklanan, kalıp setinin çalışması esnasında istenmeyen problem oluşumlarının gözlemlenmesine ek olarak mutlaka ilk yatırım maliyet analizlerinin önceden yapılması oldukça önem taşımaktadır [47].

Sonuç olarak kalıp setlerinin metalurjik açıdan çelik seçimleri yapılırken, standartlarda halihazırda bulunan malzemelerin; mekanik reçeteleri, karakteristik özellikleri, işlenebilirlikleri ve diğer spesifik özellikler göz önünde bulundurularak optimum fiyat/performans ürünü kalıp çelikleri seçilmelidir. Standart çelikler dışında seçilen özel enjeksiyon kalıp çelikleri; ilk yatırım maliyeti, tedarik süreci ve talaşlı imalat operasyonları ile işlenebilirlik gibi spesifik belirsizlikler oluşturabilir.

Bu çalışma kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak hazırlanan Tablo 6.6., Tablo 6.7., Tablo 6.8., Tablo 6.9. ve Tablo 6.10.'da plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan çelik malzemelere haiz karakteristik mekanik özellikler verildi.

**Tablo 6.6.** Plastik enjeksiyon kalıp setleri için alaşımsız ve alaşımlı kalıp çelik seçimleri<sup>(1)</sup>.

Çelik Karakterizasyonu	Yüzeysel Sertleşebilen Alaşımsız Karbon Çeliği	Orta Alaşımlı Kalıp Çelikleri (Ön Sertleştirilmiş)	Alaşımlı Çelik (Ön Sertleştirilmiş)
DIN Kod No	1.1730	1.2311	1.7225
DIN Mat. No	C45U/C45W+	40CrMnMo7	42CrMo4
AISI Kod No <sup>(2)</sup>	~1045	P20	4140
AISI Mat No	-	1.2330	1.7225
Sertlik <sup>(3)</sup>	max. 900 HV	27~35 HRC	30-35HRC
Ticari Adı <sup>(4)</sup>	THYRODUR 1730/ UHB11	THYROPLAST 2311	4140/HOLDAX
Aşınma Direnci	Zayıf	Zayıf	Vasat
Tokluk	Vasat	Zayıf	İyi
Basınç Mukavemeti	Vasat	Zayıf	Orta
Sıcak/Kızıl Sertlik	Zayıf	Vasat	Vasat
Korozyon Direnci	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Isıl İletkenlik	İyi	İyi	İyi
İşlenebilirlik	Çok İyi	İyi	İyi
Parlatılabilirlik	Zayıf	Orta	İyi
Asit ile Kabartılabilirlik	-	Çok İyi	-
Nitrürlenebilirlik	Vasat	İyi	Vasat
Sert Krom Kaplanabilirlik	Zayıf	İyi	-
Kaynaklanabilirlik	İyi	İyi	Zayıf
Kalıp Kullanım Alanları ve Bölgeleri	Kalıp hamilleri, kalıp destek plakaları, kalıp taşıyıcıları, üst ve alt plakalar, düşük ömürlü kalıplarda kalıp çekirdeği, parlaklık gerektirmeyen köpük kalıplarında kullanılır.	Orta ve büyük boyutlu kalınlığı 400 mm'ye kadar plastik enjeksiyon kalıpları, Kalıp kasaları, hamilleri ve bağlantı parçalarında kullanılır.	

<sup>(1)</sup> Bu tabloda P.E.K.'da kullanılan çeliklerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Çelik üreticileri çelik tiplerini sürekli olarak geliştirdiklerinden yenilikler kataloglardan mutlaka takip edilmelidir.

<sup>(2)</sup> DIN Standartlarında verilen çeliklere göre kimyasal bileşimlerinde çok küçük farklılıklar gösteren çelikler  $\approx$  işareti ile ifade edilerek, gösterilmiştir.

<sup>(3)</sup> Kalıplarda kullanılması önerilen sertlik değerleri verilmiştir.

<sup>(4)</sup> En çok kullanılan ticari tanımlar ve çelik üreticileri (Thyssen, Uddeholm, Böhler).

**Tablo 6.7.** Plastik enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılacak diğer kalıp çeliklerinin seçimi<sup>(1)</sup>.

Çelik Karakterizasyonu	Orta Alaşımli Kalıp Çelikleri (Ön Sertleştirilmiş)	-	Bakır-Be Alaşımı
DIN Kod No	1.2312	1.2711	-
DIN Mat. No	40CrMnMoS8-6	55NiCrMoV7	-
AISI Kod No <sup>(2)</sup>	P20+S	P20HH	BeCu
AISI Mat No	-	-	B25
Sertlik <sup>(3)</sup>	27-32 HRC	38-45 HRC	28-32 HRC
Ticari Adı <sup>(4)</sup>	THYROPLAST 2312	-	-
Aşınma Direnci	Zayıf	Zayıf	Vasat
Tokluk	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Basınç Mukavemeti	Vasat	-	Vasat
Sıcak/Kızıl Sertlik	Vasat	-	Vasat
Korozyon Direnci	Zayıf	Zayıf	İyi
Isıl İletkenlik	İyi	İyi	Mükemmel
İşlenebilirlik	Mükemmel	İyi	Mükemmel
Parlatılabilirlik	Zayıf	Zayıf	Mükemmel
Asit ile Kabartılabilirlik	-	Çok İyi	-
Nitrülenebilirlik	İyi	İyi	Yok
Sert Krom Kaplanabilirlik	-	İyi	-
Kaynaklanabilirlik	Zayıf	İyi	Çok İyi
Kalıp Kullanım Alanları ve Bölgeleri	Yüksek yüzey parlaklığı istenmeyen orta ve büyük boyutlu plastik enjeksiyon kalıpları, destek plakaları, kalıp kasaları, hamiller ve bağlantı parçaları, kauçuk türü lastik ürünlerinin baskı kalıplarında kullanılır.	Orta ve büyük boyutlardaki plastik enjeksiyon kalıpları, plastik kırma bıçakları ve bazı uygulamalar için ısıl işlem uygulanarak kullanılırlar.	

<sup>(1)</sup> Bu tabloda P.E.K.'da kullanılan çeliklerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Çelik üreticileri çelik tiplerini sürekli olarak geliştirdiklerinden yenilikler kataloglardan mutlaka takip edilmelidir.

<sup>(2)</sup> DIN Standartlarında verilen çeliklere göre kimyasal bileşimlerinde çok küçük farklılıklar gösteren çelikler ≈ işareti ile ifade edilerek, gösterilmiştir.

<sup>(3)</sup> Kalıplarda kullanılması önerilen sertlik değerleri verilmiştir.

<sup>(4)</sup> En çok kullanılan ticari tanımlar ve çelik üreticileri (Thyssen, Uddeholm, Böhler).

**Tablo 6.8.** Plastik enjeksiyon kalıp setleri için sertleştirilmiş korozyon dayanımlı paslanmaz takım çelikleri<sup>(1)</sup>.

Çelik Karakterizasyonu	Ön Sertleştirilmiş Korozyon Dayanımlı Paslanmaz Takım Çeliği	Sertleştirilmiş Korozyon Dayanımlı Paslanmaz Takım Çeliği	Korozyon Dayanımlı Plastik Kalıp Çeliği
DIN Kod No	1.2083	1.2085	1.2316
DIN Mat. No	X41Cr13	X33CrS16	X36CrMo17
AISI Kod No <sup>(2)</sup>	420 (Modifiyeli)	-	≈422
AISI Mat No	-	-	-
Sertlik <sup>(3)</sup>	54-59 HRC	45-48 HRc	48-52 HRc
Ticari Adı <sup>(4)</sup>	STAVAX	STAVAX	-
Aşınma Direnci	İyi	Zayıf	Zayıf
Tokluk	İyi	Zayıf	Zayıf
Basınç Mukavemeti	Orta	İyi	Orta
Sıcak/Kızıl Sertlik	Vasat	Çok İyi	-
Korozyon Direnci	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Isıl İletkenlik	Zayıf	Zayıf	Zayıf
İşlenebilirlik	İyi	Çok İyi	İyi
Parlatılabilirlik	Mükemmel	Zayıf	İyi
Asit ile Kabartılabilirlik	-	-	Vasat
Nitrürlenebilirlik	Zayıf	İyi	Zayıf
Sert Krom Kaplanabilirlik	-	-	-
Kaynaklanabilirlik	Zayıf	Orta	İyi
Kalıp Kullanım Alanları ve Bölgeleri	Korozyon direnci ve mükemmel parlaklığın gerektiği takımlar, kalıplar ve hamilleri, kauçuk türü lastik ürünlerinin baskı kalıpları, enjeksiyon kalıplarında kullanılır.	Korozyon direnci yüksek ve ön sertleştirilmiş paslanmaz plastik kalıp çelikleri, korozif hammaddelerin kullanılacağı enjeksiyon kalıpları.	Yüksek korozyon direnci, paslanmazlık ve parlaklığın gerektiği plastik enjeksiyon kalıpları, korozyon etkisine sahip PVC türü plastiklerin enjeksiyon kalıpları ve hamilleri.

<sup>(1)</sup> Bu tabloda P.E.K.'da kullanılan çeliklerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Çelik üreticileri çelik tiplerini sürekli olarak geliştirdiklerinden yenilikler kataloglardan mutlaka takip edilmelidir.

<sup>(2)</sup> DIN Standartlarında verilen çeliklere göre kimyasal bileşimlerinde çok küçük farklılıklar gösteren çelikler ≈ işareti ile ifade edilerek, gösterilmiştir.

<sup>(3)</sup> Kalıplarda kullanılması önerilen sertlik değerleri verilmiştir.

<sup>(4)</sup> En çok kullanılan ticari tanımlar ve çelik üreticileri (Thyssen, Uddeholm, Böhler).

**Tablo 6.9.** Plastik enjeksiyon kalıpları için özel amaçlı kalıp seti çelikleri<sup>(1)</sup>.

Çelik Karakterizasyonu	Sementasyon Çeliği	Krom Bazlı Sıcak İş Takım Çeliği	Yüksek Karbon ve Kromlu Takım Çeliği
DIN Kod No	1.2764	1.2344	1.2601
DIN Mat. No	X19NiCrMo4	X40CrMoV5-1	X165CrMoV12
AISI Kod No <sup>(2)</sup>	≈P21	H13	-
AISI Mat No	-	1.2344	1.2379
Sertlik <sup>(3)</sup>	58-60 HRC	48-54 HRC	61-65 HRC
Ticari Adı <sup>(4)</sup>	THYROPLAST 2764	ORVAR	THYRODUR 2379
Aşınma Direnci	Çok İyi	Çok İyi	Mükemmel
Tokluk	İyi	İyi	Vasat
Basınç Mukavemeti	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
Sıcak/Kızıl Sertlik	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Korozyon Direnci	Zayıf	Zayıf	Vasat
Isıl İletkenlik	Zayıf	Zayıf	Vasat
İşlenebilirlik	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
Parlatılabilirlik	Mükemmel	Çok İyi	Mükemmel
Asit ile Kabartılabilirlik	-	-	-
Nitrülenebilirlik	-	Çok İyi	Çok İyi
Sert Krom Kaplanabilirlik	-	-	-
Kaynaklanabilirlik	İyi	İyi	İyi
Kalıp Kullanım Alanları ve Bölgeleri	Çok fazla zorlanan ve yüzeyi sementasyon ile sertleştirilecek yüksek polimer kalıpları ile yüksek basınç altındaki plastik kalıplarında tercih edilir. Özellikle aşındırıcı özelliği olan plastiklerde kullanılır.	Sert ve takviyeli plastiklerin enjeksiyon kalıpları ile yolluklarda çok iyi parlatılabilir bir takım çeliği olarak ısıl işlem yapılarak kullanılmaktadır. Enjeksiyonda ıslah edilmiş ve nitrülenmiş olarak kovan ve vida yapımında kullanılır.	

<sup>(1)</sup> Bu tabloda P.E.K.'da kullanılan çeliklerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Çelik üreticileri çelik tiplerini sürekli olarak geliştirdiklerinden yenilikler kataloglardan mutlaka takip edilmelidir.

<sup>(2)</sup> DIN Standartlarında verilen çeliklere göre kimyasal bileşimlerinde çok küçük farklılıklar gösteren çelikler ≈ işareti ile ifade edilerek, gösterilmiştir.

<sup>(3)</sup> Kalıplarda kullanılması önerilen sertlik değerleri verilmiştir.

<sup>(4)</sup> En çok kullanılan ticari tanımlar ve çelik üreticileri (Thyssen, Uddeholm, Böhler).

Tablo 6.10. Plastik enjeksiyon kalıp setlerinde kullanılacak yüksek performanslı çelikler<sup>(1)</sup>.

Çelik Karakterizasyonu	İyileştirilmiş Takım Çeliği (Ön Sertleştirilmiş)	Yüksek Karbon ve Kromlu Takım Çeliği (Çekirdeğe Kadar Sertleşebilen)
DIN Kod No	1.2738	1.2080
DIN Mat. No	40CrMnNiMo8-6-4	X210Cr12
AISI Kod No <sup>(2)</sup>	P20+Ni	≈D3
AISI Mat No	-	-
Sertlik <sup>(3)</sup>	27-35 HRC	60-65 HRC
Ticari Adı <sup>(4)</sup>	IMPAX	SPECIAL K
Aşınma Direnci	Zayıf	İyi
Tokluk	İyi	Zayıf
Basınç Mukavemeti	Vasat	İyi
Sıcak/Kızıl Sertlik	Vasat	İyi
Korozyon Direnci	Zayıf	Çok İyi
Isıl İletkenlik	İyi	Vasat
İşlenebilirlik	Çok İyi	Çok İyi
Parlatılabilirlik	Çok İyi	Mükemmel
Asit ile Kabartılabilirlik	Çok İyi	-
Nitrülenebilirlik	İyi	Orta
Sert Krom Kaplanabilirlik	İyi	-
Kaynaklanabilirlik	İyi	Vasat
Kalıp Kullanım Alanları ve Bölgeleri	Yüksek yüzey parlaklığı beklenen bütün boyutlarda ve büyük boyutlu kalınlığı 400 mm'den daha kalın plastik enjeksiyon kalıpları, basınçlı döküm endüstrisi ve plastik enjeksiyon kalıplarının kalıp kasaları ve hamilleri, yüksek gerilime maruz kalan büyük boyutlu plastik kalıpları, sentetik türü plastikler için kalıplar, kauçuk kalıpları için kullanılabilir.	Korozyon direnci yüksek plastik kalıp çelikleri ve takımlar, özellikle korozif hammaddelerin kullanılacağı plastik enjeksiyon kalıpları ve hamilleri, baskı kalıpları, aşınma zorlanmaları altındaki kalıp bölgelerindeki maça ve kilitlerin aşınma plakalarında kullanılabilir.

<sup>(1)</sup> Bu tabloda P.E.K.'da kullanılan çeliklerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Çelik üreticileri çelik tiplerini sürekli olarak geliştirdiklerinden yenilikler kataloglardan mutlaka takip edilmelidir.

<sup>(2)</sup> DIN Standartlarında verilen çeliklere göre kimyasal bileşimlerinde çok küçük farklılıklar gösteren çelikler ≈ işareti ile ifade edilerek, gösterilmiştir.

<sup>(3)</sup> Kalıplarda kullanılması önerilen sertlik değerleri verilmiştir.

<sup>(4)</sup> En çok kullanılan ticari tanımlar ve çelik üreticileri (Thyssen, Uddeholm, Böhler).

## 7. PLASTİK ENJEKSİYON TEZGÂHLARINDA OPERASYONEL PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Plastik enjeksiyon proseslerindeki parametrelerin doğru seçilmesi oldukça önem taşımaktadır. Genel kapsamda sıcaklık, basınç, hız ve zaman enjeksiyon parametrelerinin optimizasyonlarının yanında plastik hammaddelerin tesise girişinden, son nihai ürünün çıkışına kadar gerçekleştirilen tüm operasyonlar; plastik parça üretim süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Ancak sadece kalite güvence beklentilerine göre değil, her lot bazında üretim çevrim döngüsünde optimal sürekliliğin sağlanması oldukça önem teşkil etmektedir.

Başlangıçta plastik enjeksiyon parametreleri; sıcaklık, basınç, hız ve zaman olmak üzere ana dört operasyonel süreç üzerinde durulmalıdır. Ancak öte yandan bu temeldeki dört parametrenin altında da birçok diğer alt parametreler yer almaktadır. Mesela örneğin; sıcaklık prosesinin alt parametreleri olarak hammadde kurutma sıcaklıkları, plastik malzemenin ergime sıcaklığı, kalıpların sabit sıcaklık değerleri, enjeksiyon tezgahında yer alan hidrolik devre sistem sıcaklığı ve saha ortam sıcaklığı gibi diğer alt parametrelerin varolduğu bilinmektedir.

Basınç kavramı denildiğinde, plastik enjeksiyon basınç parametreleri ilk akla gelmektedir. Ancak kalıp grubunun kapama basıncı, tutma basıncı ve geri basınç gibi diğer parametrik alt basınç türleride bulunmaktadır. Diğer taraftan tüm enjeksiyon proseslerinin zaman kavramlarından bahsedilmek istenildiğinde, plastik enjeksiyon prosesindeki her bir aşamanın farklı proses süresi değerleri olduğundan çevrim döngüsüne ait toplam üretim süre kavramı oluşmaktadır. Öte yandan hız parametresi denildiğinde ise enjeksiyon hızı ilk akla gelen hız parametrelerindedir fakat diğer taraftan enjeksiyon sonsuz vida dönüş hızı gibi önem teşkil eden alt hız parametreleride bulunmaktadır [49]. Ayrıca yukarıda bahsedilen tüm enjeksiyon proses parametreleri plastik parçaların üretiminde oldukça önemli rol oynamaktadır.

Ek olarak eriyik plastik hammaddenin özellikleri, hammadde ergime sıcaklıkları, kalıp grubunun geometrik formu, kalıp sıcaklık değerleri, eriyik plastik hammaddenin akış hızı, eriyik hammaddenin akışı sırasında oluşan termal ve ısıl değişimler, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon zamanı, mal doldurma zamanı, itme basıncı, soğutma zamanı gibi operasyonel parametreler üretilecek plastik parçaların kalite standartlarını doğrudan etkilemektedir.

### 7.1. Plastikleştirme ve Plastiklerin Kalıp İçerisindeki Reolojik Hareketleri

Plastik enjeksiyon çevriminin ilk adımı olan plastikleştirme; karışım toz veya granül formdaki plastik hammadde malzemelerinin dozajlama karışım hunilerine aktarılmasıyla başlamaktadır. Öte yandan hammadde hunisinden enjeksiyon sonsuz vida bölümüne aktarılan mal, sonsuz vidada bulunan ısıtıcılar ve dönmesi sırasında sürtünme kaynaklı oluşan sıcaklık tesiri ile ergime prosesi başlamaktadır. Daha sonrasında ergimiş plastik hammadde sonsuz vida boşluklarına ulaşarak, kalıp kavite iç boşluklarına iletilmek üzere hazır duruma getirilir. Plastikleştirme prosesi; sonsuz vida boşluklarında biriken eriyik hammaddenin vidayı geri itkilemesi sonucu geriye doğru itilme fazı otomatik olarak durdurulur ve enjeksiyon silindir iç hacmine alınan mal miktarının optimum ayarlanmasıyla operasyon süreci tamamlanmış olur [50].

Plastiklerden enjeksiyon ile kalıplama yöntemiyle kaliteli bir ürün üretilmesi için eriyik plastik hammaddenin kalıp kavite boşluklarındaki gerçek mal akış davranışları ve karakteristiği oldukça iyi bilinmelidir. Diğer yandan ergime sıcaklıkları plastik hammadde malzemesinin cinsine göre 150~400°C aralığında değişiklik göstermektedir.

MFI akıcılığı enjeksiyon hattında akmayı tanımlayan bir indeks değeridir ve öte yandan viskozite kavramı ile karıştırılmamalıdır. Kolay bir ergitilme prosesi istenildiğinde, enjeksiyon ile kalıplamada kullanılacak polimer esaslı hammadde malzemelerinin eriyik akış indeks (MFI) değeri yüksek olanlar öncelikli tercih edilmeli ve ayrıca ideal indeks değeri 6~15 arasında olmasına dikkat edilmelidir.

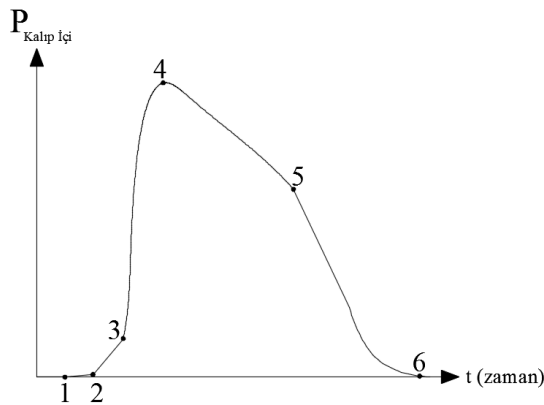
Bu doğrultuda genel olarak bakıldığında eriyik plastik hammadde sıcaklığı arttıkça, bu duruma paralel olarak çekme oranında da artış gözlemlenmektedir. Bu durumun en temel nedeni ısı tesirinin artmasına bağlı olarak plastiklerin moleküler bazda genleşmeleri hadisesidir. Sıcaklık değeri arttıkça genleşme artar ve aynı zamanda hacimsel büyüme gerçekleşir. Bu nedenle plastik parçanın geometrik boyut tolerans hassasiyeti olumsuz yönde etkilenmiş olacaktır. Sonuçta yüksek sıcaklık derecelerinde plastikte çekme fazla yaşanırken, düşük sıcaklıklarda ise daha az çekme olacağı genel çerçevede söylenebilir.

Enjeksiyon prosesi sırasında, parametrik sıcaklık değerlerine bağlı olarak kalıp seti iç basınç değerleri ile enjeksiyon basıncı arasındaki fark değişkenlik gösterebilir. Şayet enjeksiyon basınç değeri yüksek olduğunda aralarındaki bu fark değeri azalırken, düşük olduğunda ise bu değer artmaktadır. Spesifik olarak bazı özel durumlarda kalıp seti iç basıncı, enjeksiyon basıncına eşit olabilir. Ayrıca kalıp sıcaklıkları, kalıp setinin

iç basıncı üzerinde oldukça etkilidir. Bu bağlamda kalıp sıcaklıkları ve iç basınç değerleri arasında ters orantı bulunmaktadır. Plastik ürünün boyutsal kararlılığı hammadde malzemesinin ısıl genişlemesine bağlı olduğu kadar kalıp setinin iç basıncına da büyük ölçüde bağlıdır.

Plastik enjeksiyon proseslerinde eriyik hammadde kalıp kavite boşluklarına temas ettiği an itibariyle hızla soğumaya başlar. Eriyik hammadde sıcaklığından daha soğuk kalıp yüzeylerine temas eden ergimiş plastiğin kısmi donmuş veyahut donmakta olan tabaka ve katmanlardan oluşan iki kalıp iç yüzeylerinde hızla kabuk oluşumları gerçekleşir. Eriyik mal akışı devam ettikçe kalınlaşmaya, oluşan kabuk tabakası ise kalınlaşma devam ettikçe hızla sertleşmeye başlamaktadır. Ancak oluşan sert ve kalın kabuk tabakası enjeksiyonu ve eriyik akışını engelleyecek mertebelere ulaşmadan önce kalıp iç boşluklarının tamamı tamamen dolmalıdır. Bu bağlamda optimum enjeksiyon hız parametreleri oldukça önem teşkil etmektedir. Mal akış uzunluğunun plastik parça et kalınlığına göre oranı arttıkça, enjeksiyon eriyik akışının hızı da paralel olarak mutlaka artmalıdır. Ek olarak ince parça et kalınlığı olan plastik parçalarda soğuma proses hızının yükseltilmesine bağlı olarak enjeksiyon hızında da artış mutlaka gereklidir [49].

Soğuma zamanı prosesi; tutma basıncı sonrasında kalıp iç boşluklarında şekillendirilmiş plastik ürünlerin katılaşma sonrası kalıp boşluklarından ayrılabilceği kararlılığa eriştiği zamana kadarki geçen en önemli süreçlerdendir. Bu süre plastik ürün kalitesini doğrudan belirleyici bir süreçtir. Bu aşamadaki en önemli bir diğer husus plastik ürünün iticiler yardımıyla kalıp içinden çıkabilecek rijit bir yapıya kendiliğinden ulaşabilmesidir. Ancak bazen katılaşmanın gerçekleşmesine rağmen plastik ürünler gerekli olan rijitliğe ulaşamayabilirler. Ayrıca enjeksiyon sırasında plastik parçalar total soğuma zamanının %90'ını kalıp içerisinde tamamlarken, geriye kalan %10'luk kısmı ise kalıp dışında geçirilen 24 saatlik bekleme sürecinde tamamlamaktadırlar.



Şekil 7.1. Plastiklerin kalıp içi reolojik hareketlerine bağlı olarak basınç değişimleri [9].

Şekil 7.1.'de ki grafikte de görüldüğü üzere; 1. faz plastik enjeksiyon proseslerinin ilk hazırlık ve başlangıç safhalarını kapsamaktadır. Hidrolik basınç kuvvetinin artması beraberinde ise sonsuz vida ileriye doğru hareket etmeye başlar.

2. faza geçildiğinde; eriyik plastik hammadde sensörlere kadar ulaşır ve daha sonrasında basınç artışı başlar. Bu proses sonrasında kalıp iç kavite boşlukları ve gözler sıcak eriyik plastik hammadde ile dolmaya başlamaktadır. Eriyik plastik, lineer olarak kalıp içine enjekte edilirse; yavaş bir dolum gerçekleşmesinin yanı sıra aniden basınç yükselmeleri yaşanmaz ve buna bağlı olarak üretilen plastikte düşük iç gerilmeler gözlemlenir. Şayet kademeli bir enjeksiyon proses döngüsü söz konusu ise oldukça hızlı mal dolumu gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak ani basınç yükselmeleri yaşanır ve moleküler yapıda iç gerilmeler, mikro çatlaklar giderek artarak plastikte çarpılmaların meydana gelmesi görülebilir.

3. fazda ise; tüm kalıp gözleri hacimsel olarak (volumetrik) tamamen dolar (switch over aşaması) ve ideal basınç-hacim sıkışma süreci gerçekleşir. 3. aşamadaki mal dolumu kontrollü olarak gerçekleşir ve aşırı basınç yüklemeleri görülmez. Bu proses sonrasında eriyik plastik hammadde sıkıştırılır ve hacimsel çekmeler dengelenir. Ergimiş hammadde lineer formda enjekte edildiğinde yavaş pozda sıkışma süreci gerçekleşir ve bu nedenle ani basınç yükselmeleri yaşanmaz. Ancak çok düşük bir ihtimalle de olsa da vakum etkisi tehlikesi bulunmaktadır. Diğer taraftan eriyik plastik mal kademeli şekilde kalıp gözlerine enjekte edilirse, hızlı bir sıkışma süreci yaşanabilir ve bu duruma bağlı olarak ani basınç oluşumları gözlemlenebilir. Bu sebeplerden dolayı plastik üründe; iç gerilmeler, çarpılmalar, mikro yapısal bozulmalar ve distorsiyonlar oluşumları gerçekleşebilir.

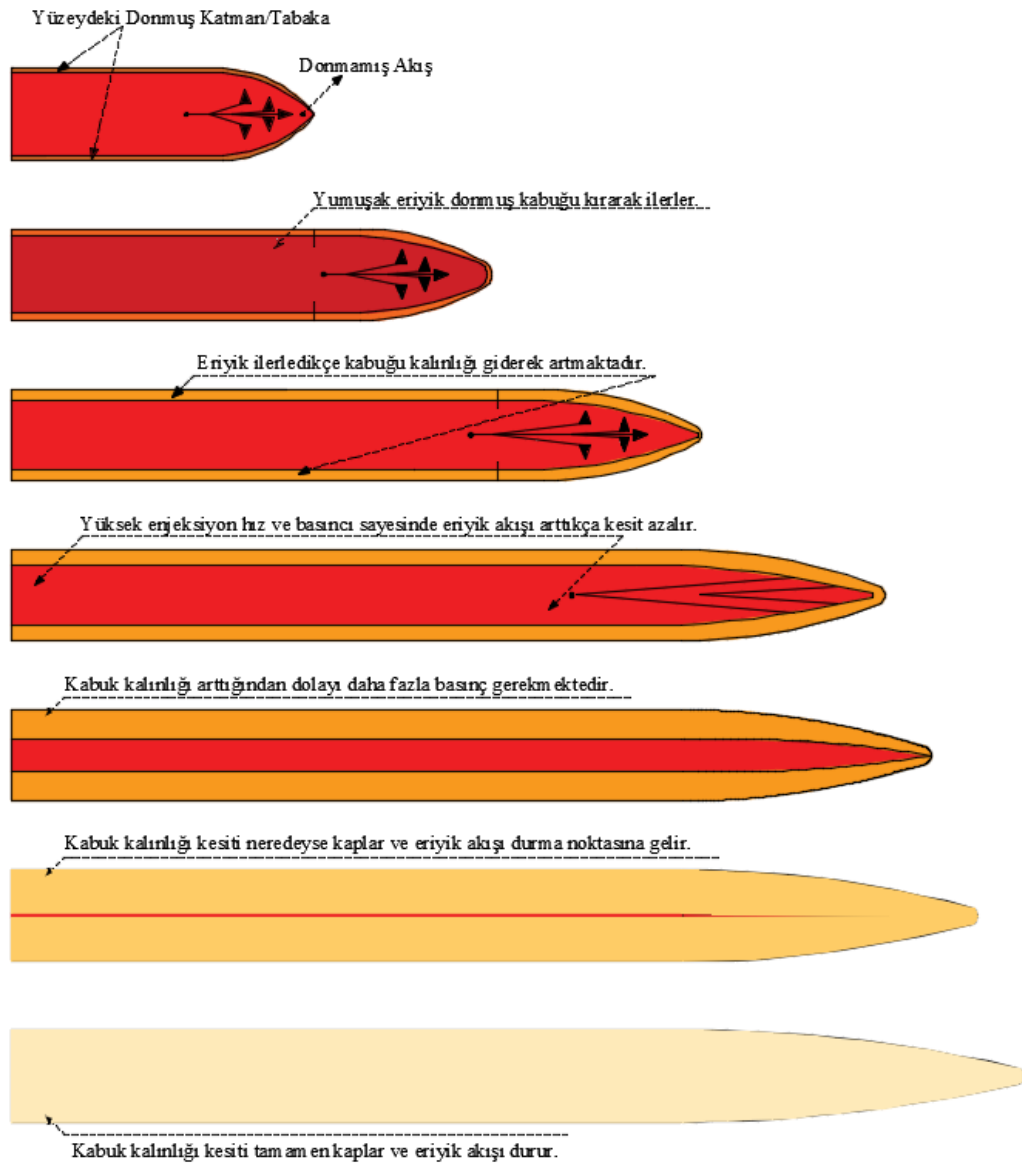
4. fazda; kalıp kavite gözlerinin basıncı maksimum seviyelere ulaşır. Eriyik plastiğin soğumasından kaynaklanan hacimsel değişimleri dengelemek amacıyla kalıp iç boşluklarına ve gözlere ilave eriyik plastik hammadde malzemesi enjekte edilir. Plastik malzemenin karakteristik özelliklerine bağlı olarak enjeksiyon basıncının sabitliği belirlenir. Ayrıca 4. fazdan 6. faza doğru ilerledikçe basınç değerleri devamlı olarak düşmektedir. Diğer yandan enjeksiyon ile üretilen plastik parça katılaşmaya başlar ve eriyik malzeme akışı geriye doğru olacak şekilde akma davranışı sergiler.

5. fazda (yolluk girişinin donma noktası); plastik hammadde akışının bitiş noktası bu proseste yer almaktadır. Yolluk giriş ağzındaki eriyik plastik malzeme katılaşır ve donar. Son olarak 6. fazda ise; atmosferik basınç tesir etkisi başlar ve plastik üründe istenmeyen çekme hadisesi yaşanır.

**Tablo 7.1.** Şekil 7.1.'de ki grafiğe bağlı olarak plastik enjeksiyon operasyonel proses basamaklarının ürün kalitesine olan etkileri [51].

Faz (Aşama)	Grafikteki Proses Noktalarının Detaylandırılması	Proses Sırasında Gerçekleşen Olaylar	Eriyik Plastik Hammaddenin Enjeksiyon Süreci	Hammadde Değişimi ve Kalıplama Üzerindeki Etkileri
1. FAZ	Enjeksiyon başlangıç aşamasıdır.	Hidrolik basınç artışıyla birlikte sonsuz vida ileriye doğru hareket eder.	-	-
1-2. FAZ	Eriyik hammaddenin kalıp göz boşluklarına enjeksiyonunun başlangıç safhası.	Kalıp gözlerindeki basınç değeri :1 Bar	-	-
2. FAZ	Eriyik plastiğin sensörlere ulaşması.	Basınç değerleri giderek artmaya başlar.	-	-
2-3. FAZ	Kalıp gözlerinin eriyik plastik hammadde ile doldurulması.	Mal akış direncine bağlantılı olarak doldurma basıncının devreye alınması.	Eriyik hammaddenin lineer enjeksiyonu.	Yavaş mal dolumu, düşük iç gerilmeler ve ayrıca ani basınç yükselmeleri gözlemlenmez.
			Eriyik malın kademeli enjekte edilmesi.	Hızlı eriyik mal doldurma, malzeme bozulmaları, ani basınç yükselmeleri, aşırı iç gerilmeler, çarpılmalar.
3. FAZ	Kalıp gözlerinin volumetrik olarak hacimsel doldurulması.	İdeal basınç-hacim sıkıştırma prosesi gözlemlenmesi.	-	Aşırı basınç oluşumu görülmez, kontrollü mal doldurma gerçekleşir.
3-4. FAZ	Eriyik plastik hammadde malzemesinin sıkıştırılma prosesidir.	Plastik ürünün hacimsel çekme sürecinin kontrollü olarak dengelenmesi.	Eriyik plastik hammaddenin lineer enjeksiyonu.	Ani basınç yükselmeleri oluşmaz, yavaş sıkıştırma süreci, düzgün geçişler, düşük iç gerilmeler.
			Eriyik akışkan malın kademeli enjekte edilmesi.	Ani basınç artışları ve yüksek enjeksiyon basınçları, hızlı sıkıştırma, çarpılmalar, yüksek iç gerilmeler.
4. FAZ	Maksimum kalıp göz basıncı mertebesine erişilmesi.	Enjeksiyon basınç değerlerinin sabitlenmesi, karakteristik plastik malzeme özelliklerinin net olarak belirlenmesi.	-	-
4-6. FAZ	Basınç değerlerinde gözle görülür seviyede devamlı azalma.	Plastiğin katılaşma safhası.	Amorf ve Yarı Kristal Plastik Malzemeler.	Basınç zamanlamasının optimum düzeyde tutulması.
		Eriyik malın geriye doğru ters akışı, kalıp gözleri dışındaki diğer kısımların dolması.	Amorf ve Yarı Kristal Plastik Malzemeler.	Çöküntü iz oluşumları, yolluk ağzlarından kalıp gözlerine doğru akış yoktur.
5. FAZ	Yolluk ağzı eriyik mal akışının bitiş noktasıdır.	Kalıp gözlerine eriyik akışı yoktur. Yolluk ağzındaki eriyik katılaşır.	-	-
6. FAZ	Plastikteki çekme süreç başlangıcıdır.	Ölçü stabilizasyonu sağlanır.	-	Ölçü değişimleri gözlemlenir.

Enjeksiyon prosesleri esnasında enjeksiyon hızı şayet düşükse, oluşan kabuk kalınlığı giderek hızla artar. Şekil 7.2.'de eriyik plastik hammaddenin soğuma aşamaları ve yine mal akışı sırasında eriyik plastik hammaddenin kabuklaşma evreleri detaylı olarak verildi. Diğer yandan akışkanın kalıp iç yüzeylerine temas ettiği an itibariyle yüzeyden merkeze doğru hızla katılaşma gerçekleşir. Akabinde bu duruma bağlı olarak eriyik hammadde malzemesinin mal akış yolu daralır ve hızla direnç oluşumları gözlemlenir. Bu oluşan yüksek direncin ekarte edilebilmesi için sıralı operasyonel prosesler esnasında yüksek enjeksiyon basınçlarına çıkılması gerekmektedir. Ancak öte yandan yüksek seviyelerdeki enjeksiyon basınçları ise plastik üründe malzeme gerilimlerine ve çarpılmalara neden olurken, mekanik dayanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesine doğrudan sebep olmaktadır.



Şekil 7.2. Plastik enjeksiyon mal akışında eriyik hammaddenin kabuklaşma evreleri [9].

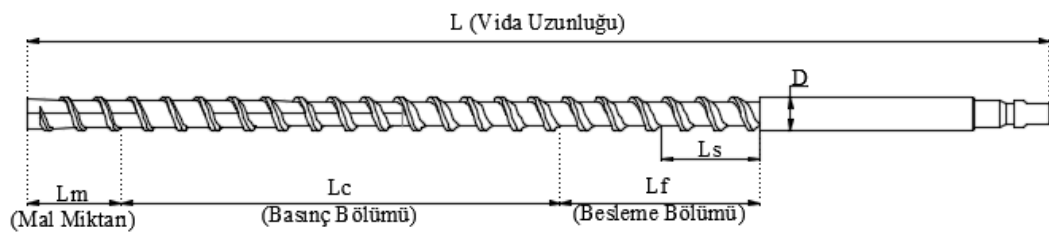
Kalıp boşlukları içerisindeki plastik parçanın yeteri kadar donmuş dış kabuk kalınlığına erişebilmesi oldukça önem taşımaktadır. Şayet kabuk kalınlığı yeteri düzeyde oluşmuş ise kalıp seti dışındaki atmosferik ortamda soğuma sırasında istenmeyen herhangi bir problem oluşumunun yaşanma riski oldukça düşüktür. Fakat diğer yandan kabuk kalınlığı yetersiz düzeyde ise soğuma sürecinde ani çekmelerden kaynaklanan distorsiyonlar, gerilmeler veya çatlak oluşumları gözlemlenebilir.

## 7.2. Plastik Enjeksiyonda Sonsuz Vida Gereksinimleri

Enjeksiyon ocaklarında aşınmaya ve istenmeyen korozyon oluşumlarına oldukça dayanıklı bimetal malzemelerden imal edilmiş vidaların kullanılması önem taşımaktadır. Ancak diğer yandan plastik enjeksiyon proseslerinde kaba nitrüleme ile yüzey sertleştirme operasyonlarına tabi tutulmuş, 60~62 HRC sertlik değerine sahip vida üstü vidalar kullanılmalıdır. Tablo 7.2.'de ise plastik mamül ağırlık ve gramajlarına göre seçilmesi gereken enjeksiyon vida çap değerleri verildi [22].

**Tablo 7.2.** Plastik ürün gramajlarına uygun ideal enjeksiyon makinesi vida gereksinimleri [22].

Plastik Mamül Parça Ağırlığı (gr)		Vida Çap Değerleri [D (mm)]	
		Yüksek MFI	Düşük MFI
1.	50 gr	25 mm	30 mm
2.	100 gr	35 mm	40 mm
3.	200 gr	45 mm	50 mm
4.	300 gr	50 mm	65 mm
5.	400 gr	55 mm	70 mm
6.	500 gr	60 mm	75 mm
7.	600 gr	60 mm	85 mm
8.	800 gr	65 mm	95 mm
9.	1000 gr	75 mm	105 mm
10.	1500 gr	95 mm	110 mm
11.	2000 gr	100 mm	120 mm
12.	2500 gr	100 mm	150 mm



**Şekil 7.3.** Plastik enjeksiyon tezgâhlarındaki sonsuz vidanın bölgesel kısımları.

Bir plastik enjeksiyon vidası Şekil 7.3.'te ki gibi  $L$  : Vidanın Uzunluğu,  $L_m$  : Hammadde Mal Miktarı,  $L_C$  : Basınç/Sıkıştırma Bölümü,  $L_f$  : Mal Besleme Kısım ve  $L_S$  : Besleme Kısım Sert Bölge kısımlarından meydana gelmektedir. Literatür çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda plastik enjeksiyon vida uzunluğunun, çap değerine oranı ( $L/D$ ); "18~20" değer aralığında olan enjeksiyon tezgahları için vida kısımlarına ait bölgesel bölümler Tablo 7.3.'te oluşturuldu. Ayrıca yine Tablo 7.3.'te, enjeksiyon vida bölgesel ölçülerine ait hesaplama çizelgesi verildi ve bu tabloda yer alan veriler bu çalışma kapsamında deneysel yöntemlerle tespit edilmiştir.

**Tablo 7.3.** Plastik enjeksiyon tezgahları sonsuz vida bölgesel ölçü oranları.

<b>L/D</b> <b>(Vida Uzunluğu/Vida Çapı)</b>	<b>L/D oranı;</b> <b>"18"</b>	<b>L/D oranı;</b> <b>"20"</b>
$L_f$ (Mal Besleme Kısım)	9D	10D
$L_C$ (Basınç Bölümü)	4D	5D
$L_m$ (Hammadde Mal Miktarı)	5D	5D

Enjeksiyon sonsuz vida dönüş hızı;

$$n \text{ (dev/dk)} = \frac{60 \times \theta \text{ [maksimum çevresel hız (} \frac{m}{sn} \text{)]}}{\pi \times D_s \text{ [Vida Çapı (mm)]}}$$
 ile vidanın ileriye doğru

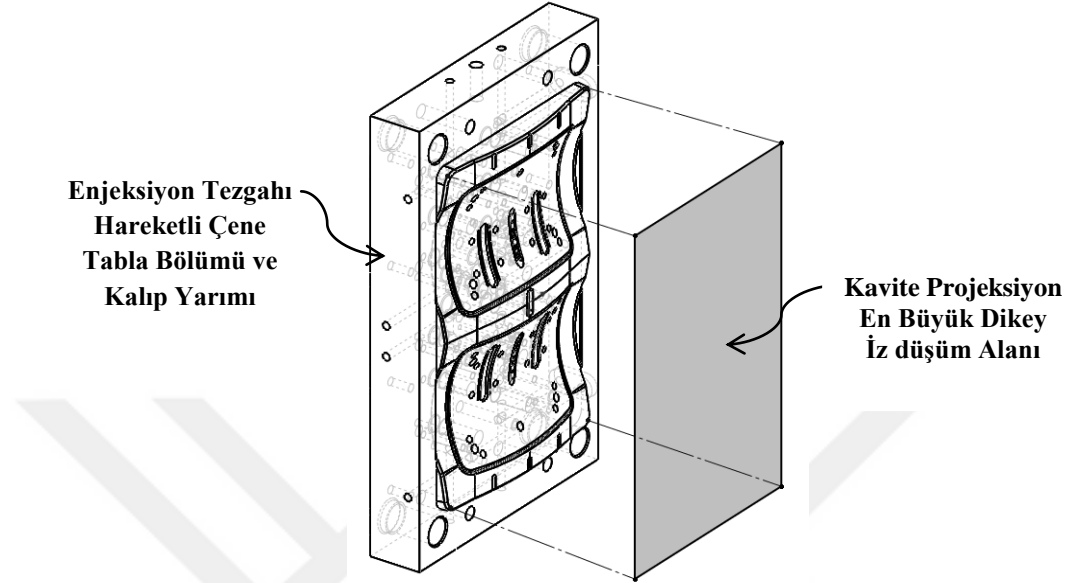
zamanlaması eşitliği, parça et kalınlığı fazla olan plastiklerde uzun tutulduğu takdirde çökmeler asgari seviyede azaltılabilir. Diğer yandan plastik enjeksiyon sonrasında üretilen mamüllerin yapısındaki çökme oluşumları, ürünün doğrudan iskarta veyahut kullanılamayacak durumda fireye ayrılmalarına sebep olabilir.

### 7.3. Enjeksiyon Öncesi Minimum Kapama Kuvveti Gücü Hesaplamaları

Kalıp kapama gücü; eriyik plastik hammaddenin kalıp kavite boşluklarına enjeksiyonu esnasında kalıp setinin açılmaması ve aynı zamanda nihai üründe çapak oluşmaması gibi durumlar için mengene bölümünün uygulayabileceği maksimum güç miktarını temsil etmektedir. Plastik enjeksiyon makinelerinde üretilecek bir mamül için tezgahın sahip olması gereken minimum kapama güç hesaplamaları, birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte diğer taraftan bir kaç değişik metot yardımıyla da hesaplanabilir.

$$\text{Gerekli Minimum Kapama Kuvveti Gücü [t]} = \text{Kavite Projeksiyon İzdüşüm Alanı [cm}^2\text{]} \times \text{Hammadde Sabit Çarpan Katsayısı (Tablo 7.4.) [t/cm}^2\text{];}$$

eşitliği yardımıyla pratik olarak doğruya en yakın kapama gücü hesaplanabilir. Aşağıda yer alan Şekil 7.4.'te bir kalıp yarımının izometrik görünüşü ile ideal kavite projeksiyon iz düşüm alanının temsili olarak nasıl belirlendiği verildi.



**Şekil 7.4.** Plastik enjeksiyon kalıp yarımının izometrik görünüşüne bağlı olarak kavite projeksiyon iz düşüm alanının belirlenmesi.

Plastik hammadde özelliklerine göre aynı geometri ve kalınlık değerine sahip parçaların birbirinden farklı türde hammadde malzemelerinden üretimi şayet söz konusu ise toleranslar dahilindeki hata payını minimuma indirmek amacıyla diğer başka bir enjeksiyon tezgahında ve hesaplanan tonaj değerinde üretim yapılmalıdır.

Diğer taraftan kalıp grubunun açma-kapama süresi en düşük çevrim zamanına göre ayarlanırken aynı zamanda da stabil tutulması sağlanmalıdır. Enjeksiyon tezgahlarının kolon aralıkları göz önünde bulundurularak; kalıpların açma-kapama mesafesinin en ideal şekilde ayarlanması ile aynı periyodik üretim çevriminde daha çok plastik parça elde edilmesi mümkündür. Ayrıca literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda; kalıp grubunun açma-kapama çevrim döngüsü 3 kademeli olacak şekilde gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

Enjeksiyon tezgahlarının kapasiteleri 500 ton kapama kuvveti güç gereksinimleri üzerine çıktığında endüstriyel uygulamalarda robotik çözümlerinin istasyon ve hatlara dahil edilmesi ile her çevrim başı ortalama "8 sn" zaman kazanıldığı yapılan test ve çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Öte yandan iticilerin itme ve kalıp açma-kapama mesafelerinin optimizasyonu; manuel

yöntemlerle parça toplama veyahut robotlar aracılığıyla plastik ürünlerin alınmasına bağlı olarak optimum operasyonel proses parametre ayarlamaları yapılmalıdır.

**Tablo 7.4.** Kalıp seçimindeki kapama kuvveti için sabit çarpan katsayıları (ton/cm<sup>2</sup>) [54].

PLASTİK HAMMADDE MALZEME TÜRLERİ		Minimum ve Maksimum Sabit (Katsayı Aralığı) [t/cm <sup>2</sup> ]	Minimum Çarpan Sabit Katsayı [t/cm <sup>2</sup> ]	Maksimum Çarpan Sabit Katsayı [t/cm <sup>2</sup> ]	Vizkozite Akışkanlık Faktörü
1.	PP	0,233 ~ 0,388	0,23	0,39	1.0~1.2
2.	PP-Homo/Kopolimer (-)	0,388 ~ 0,543	0,39	0,54	1.0~1.2
3.	PA6 ve PA66	0,62 ~ 0,775	0,62	0,78	1.2~1.4
4.	ABS	0,388 ~ 0,62	0,39	0,62	1.3~1.5
5.	PC	0,465 ~ 0,775	0,47	0,78	1.7~2.0
6.	LDPE	0,155 ~ 0,31	0,16	0,31	1.0~1.3
7.	HDPE	0,233 ~ 0,388	0,23	0,39	1.0~1.3
8.	HDPE (-)	0,388 ~ 0,543	0,39	0,54	1.0~1.3
9.	PET	0,62 ~ 0,93	0,62	0,93	1.7~2.0
10.	P-PVC	0,233 ~ 0,388	0,23	0,39	2
11.	U-PVC	0,31 ~ 0,465	0,31	0,47	2
12.	PMMA	0,31 ~ 0,62	0,31	0,62	1.5~1.7
13.	PS	0,38 ~ 0,46	0,38	0,46	-
14.	PPS	0,31 ~ 0,46	0,31	0,46	-
15.	PPO	0,31 ~ 0,46	0,31	0,46	-
16.	PPO (Güçlendirilmiş)	0,62 ~ 0,70	0,62	0,70	-
17.	POM	0,465 ~ 0,775	0,47	0,78	1.2~1.4
18.	PBT	0,465 ~ 0,62	0,47	0,62	1.7~2.0
19.	CA	0,155 ~ 0,31	0,16	0,31	1.3~1.5
20.	CAB	0,15 ~ 0,30	0,15	0,30	-
21.	SAN	0,388 ~ 0,465	0,39	0,47	1.3~1.5
22.	SAN (-)	0,465 ~ 0,62	0,47	0,62	1.3~1.5
23.	ASA	0,38 ~ 0,46	0,38	0,46	-
24.	GPPS	0,155 ~ 0,31	0,16	0,31	1
25.	GPPS (t<1 mm) (x)	0,465 ~ 0,62	0,47	0,62	1
26.	HIPS (+)	0,155 ~ 0,31	0,16	0,31	1
27.	HIPS (t<1 mm) (+) (x)	0,388 ~ 0,543	0,39	0,54	1

(-) : Uzun Akış Yolu, (x) : 1 Milimetreden İnce Çeperli, (+) : Antişok.

Bu tez çalışması kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak hazırlanan Tablo 7.4.'te optimum kapama kuvveti güç hesaplamalarındaki sabit çarpan katsayı değerleri verildi. Diğer yandan kapama kuvveti hesaplamalarında şayet eriyik mal dağıtıcı alanı büyük ve gereğinden fazla ise kavite projeksiyon iz düşüm alanına

ekstra dahil edilerek, kuvvet ve tonaj değerlerinin artırılması gereklidir. Diğer yandan plastik hammaddenin reçetesinde şayet elyaf fiber takviyesi varsa, hesaplanan standart kapama kuvvetine ek olarak tezgah tonaj değerinin %10 artırılması ve enjeksiyon tezgah parametrelerinin artırılmış tonaj değerine uygun olarak prosesler yeniden revize edilmelidir.

#### 7.4. Enjeksiyon Öncesi Plastik Hammadde Mal Miktarının Hesaplanması

Enjeksiyon proses süreçlerinin ilk öncelikli aşamalarından birisi olan plastik hammadde mal miktarı belirlenirken, aşağıda verilen formülasyon kullanılmaktadır. Ayrıca mal miktarının hesaplanması denkleminde yer alan plastik hammaddenin ısı tesiri altındaki malzeme yoğunlukları Tablo 7.5.'te verildi.

Plastik Hammadde Mal Miktarının Belirlenmesi;

$L$  (Stork (mm)) =  $\frac{4000 \times m[\text{Parça Ağırlığı}(\text{gr})]}{3,14 \times D^2 [\text{Barel Çapı}(\text{mm})] \times \rho_{\text{Isı Tesirli}} [\text{Yoğunluk}(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3})]}$ ; eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır.

**Tablo 7.5.** Plastik hammadde malzemelerinin ısı tesiri etkisi altındaki stabil yoğunlukları [23].

Plastik Hammadde Malzemelerinin Sembolleri ve Açık Adlandırmaları		$\rho_{\text{Isı Tesirli}}$ (Isı Tesiri Altındaki Yoğunluk) [gr/mm <sup>3</sup> ]
1.	PP (Polipropilen)	0,73 gr/mm <sup>3</sup>
2.	PP + %20 Katkılı.	0,85 gr/mm <sup>3</sup>
3.	PP + %40 Katkılı.	0,98 gr/mm <sup>3</sup>
4.	PA (Poliamid (Naylon))	0,91 gr/mm <sup>3</sup>
5.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	0,88 gr/mm <sup>3</sup>
6.	PE (Polietilen)	0,71 gr/mm <sup>3</sup>
7.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	1,02 gr/mm <sup>3</sup>
8.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	1,12 gr/mm <sup>3</sup>
9.	PC (Polikarbonat)	0,97 gr/mm <sup>3</sup>
10.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	0,94 gr/mm <sup>3</sup>
11.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	1,15 gr/mm <sup>3</sup>
12.	PS (Polistiren)	0,91 gr/mm <sup>3</sup>
13.	SAN (Stirenakrilonitril)	0,88 gr/mm <sup>3</sup>
14.	CA (Selüloz Asetat)	1,02 gr/mm <sup>3</sup>
15.	CAB (Selüloz Asetat Butirat)	0,97 gr/mm <sup>3</sup>

Enjeksiyon tezgahlarının strok değerinin tayininde; ideal vida çap değerinin 2~3 katı kadar önceden tespit edilen hammadde mal miktarına en uygun optimal strok değeri hesaplanmalıdır. Belirlenen vida çap değerinin 1~4 katı olacak şekilde

gerekli parametrik ayarlamalar yapıldığı takdirde ürün baskı sürecinde herhangi bir aksaklık ya da problem oluşumu minimuma indirgenmiş olur.

### **7.5. Plastik Enjeksiyon Proseslerinde Operasyonel Sıcaklık Faktörü**

Enjeksiyon öncesinde hazırlık aşamalarında, uygulanacak sıcaklıkların ergitme ocağı içerisinde stabilizasyonunu sağlamak amacıyla minimum 30 dakika önceden ısıtma süreci başlatılmalıdır. Daha sonrasında ise plastik enjeksiyon proseslerinde huni boğazındaki soğutma sisteminin tam olarak çalışıyor olduğundan emin olunması amacıyla gerekli kontroller yapılmalıdır. Huni boğazının açılıp, eriyik mal besleme yapılması prosesinden hemen önce sonsuz vidanın serbest pozisyonda herhangi bir problem teşkil etmeden sorunsuz olarak çalıştığı mutlaka yine önceden kontrol edilmelidir. Öte yandan huni açılıp, sonsuz vidanın yavaş devirde çalıştırılarak; enjeksiyon meme (nozzle) sıcaklığının uygun sıcaklık değerlerine getirilmesi oldukça önem taşımaktadır. Diğer taraftan prosesler sırasında enjeksiyon memesi şayet donarsa; ocak ısısı yaklaşık 225°C'ye kadar düşürüldükten sonra sadece enjeksiyon memesinin sıcaklığı arttırılarak, meme temizlenmeli ve temizlik aşamaları sonrasında ocak (pota) ısıları tekrar eski sıcaklık değerlerine hızla getirilmelidir.

İlk enjeksiyon baskısı alındıktan sonra çıkan nihai ürünün kimyasal yapısı bozunmuş veyahut deformasyona uğramış bir formda enjeksiyondan çıkma olasılığı oldukça muhtemeldir. Buna paralel olarak enjeksiyon safhalarında 20 dakikadan daha az proses duruşlarında; ocak geriye doğru çekilmeli ve ocak içerisindeki havanın atılması için bir miktar ergimiş hammaddenin boşaltılması gerekmektedir. Ancak diğer taraftan 20 dakikadan fazla proses beklemelerinde ve duruşlarda ise eriyik plastik hammadde kusturulduktan hemen sonra ocağın kapatılması gereklidir.

Kalıp seti yüzey sıcaklıkları; üretilecek plastik parçanın kalitesi açısından stabil ve kontrol altında tutulması gereken en önemli diğer alt parametrelerdendir. Ancak plastik ürün hangi kalıp bölümü tarafında bırakılmak isteniyorsa o tarafın kalıp sıcaklık değeri diğer tarafa nazaran daha düşük tutulmalıdır. Ancak harelenme gibi parça yüzeyindeki yuvarlak formdaki istenmeyen iz oluşumlarını engellemek amacıyla kalıp bölümleri arasında mutlaka sıcaklık farkı oluşturulmalıdır. Diğer yandan enjeksiyon sırasında kalıp bölümleri arasındaki maksimum sıcaklık farkı 5°C'yi geçmemelidir. Şayet sıcaklık farkı 5°C'den daha fazla olduğu takdirde, distorsiyonlar ve kayma gerilmeleri gibi mekanik hata oluşumları gözlemlenir.

Ayrıca yine enjeksiyon kalıp seti sıcaklıkları ve hız parametrelerinin ortak etkisi olarak birleşim yeri izleri belirlenmektedir. Diğer taraftan bu parametreler çapak oluşumlarını da doğrudan etkilemektedir. Ek olarak baskı esnasında plastik parça sabit çenede şayet asılı ve askıda kalıyorsa, erkek maçaların sıcaklıkları düşürülerek bu problem çözümlenebilir.

**Tablo 7.6.** Plastik enjeksiyon proseslerinde optimal barel ve kalıp sıcaklık değer aralıkları [23].

Plastik Hammadde Malzeme Sembolleri (Polimer Malzemelerin Açık Adlandırmaları)		Barel (Pota) Sıcaklık Değerleri (°C)	Kalıp Sıcaklık Değerleri (°C)
1.	PP (Polipropilen)	200 ~ 300 °C	20 ~ 90 °C
2.	PA 6 (Poliamid (Naylon 6))	240 ~ 290 °C	40 ~ 120 °C
3.	PA 6 - %30 GF (Glass Fiber)	240 ~ 290 °C	60 ~ 140 °C
4.	PA 11 (Poliamid 11)	200 ~ 270 °C	40 ~ 80 °C
5.	PA 12 (Poliamid 12)	190 ~ 270 °C	20 ~ 100 °C
6.	PA 66 (Poliamid (Naylon 66))	260 ~ 300 °C	40 ~ 120 °C
7.	PA 66 - %30 GF (Glass Fiber)	260 ~ 300 °C	40 ~ 80 °C
8.	PA 610 (Poliamid 610)	230 ~ 290 °C	40 ~ 120 °C
9.	PAI (Poliamid İmid)	250 ~ 350 °C	200 ~ 218 °C
10.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	200 ~ 270 °C	50 ~ 80 °C
11.	SAN (Stirenakrilonitril)	180 ~ 270 °C	50 ~ 80 °C
12.	ASA (Akrilonitril Stiren Akrilat)	220 ~ 260 °C	50 ~ 90 °C
13.	HDPE/Polietilen-Yüksek Yoğunluk	210 ~ 300 °C	0 ~ 70 °C
14.	LDPE/Polietilen-Alçak Yoğunluk	160 ~ 270 °C	0 ~ 70 °C
15.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	160 ~ 190 °C	10 ~ 60 °C
16.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	170 ~ 210 °C	20 ~ 60 °C
17.	PC (Polikarbonat)	280 ~ 320 °C	80 ~ 100 °C
18.	PC - %30 GF (Glass Fiber)	300 ~ 330 °C	100 ~ 300 °C
19.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	170 ~ 180 °C	40 ~ 90 °C
20.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	180 ~ 230 °C	60 ~ 120 °C
21.	PS (Polistiren)	180 ~ 280 °C	50 ~ 80 °C
22.	HIPS, SB (Polistiren (Yüksek Etki))	190 ~ 280 °C	50 ~ 80 °C
23.	PPO (Polifenilin Oksit)	250 ~ 310 °C	40 ~ 110 °C
24.	PPS (Polifenilin Sülfür)	315 ~ 370 °C	30 ~ 200 °C
25.	PES (Polietersülfon)	340 ~ 380 °C	90 ~ 150 °C
26.	PSO (Polisülfon)	340 ~ 390 °C	100 ~ 160 °C
27.	CA (Selüloz Asetat)	170 ~ 210 °C	40 ~ 80 °C
28.	CAB (Selüloz Asetat Butirat)	180 ~ 220 °C	40 ~ 80 °C

Enjeksiyon proseslerinde ocak sıcaklıkları, polimer malzeme üreticilerinin belirlemiş oldukları katalog değerlerinde yer alan sıcaklık parametre verilerine uygun olarak enjeksiyon tezgahları ayarlanmalıdır. Ancak diğer taraftan dolum prosesi için ise öncelikli olarak kalıp kavite boşluklarının maksimum üçte biri doldurulacak seviyede ergimiş mal basılmalıdır ve ilerleyen operasyonel süreç silsilesinde ise kalıp kademeli olarak doldurulmaya devam edilir. Öte yandan bu çalışma kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak oluşturulan Tablo 7.6.'da enjeksiyon barel (pota) ve kalıp yarımalarının sıcaklık değer aralıkları verildi. Ayrıca poliüretan, epoksi, fenolik, alkid, amino, silikon ve polyester gibi termoset plastik malzemeler bilindiği üzere bir kez ısıtıldıktan sonra eski formlarına tekrardan geri dönemezler. Bu tür malzemelerle çalışılırken, enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle optimum sonuç elde edebilmek için kalıp sıcaklıklarının Tablo 7.6.'da verilen değerlerden oldukça yüksek olması gerekmektedir.

Hammadde malzemesi yada renk değişimi veya geçişleri gibi materyal bazlı proses geçiş aşamalarında; HDPE ile barel temizleme ve aynı zamanda gerekli olmayan malın enjeksiyon tezgahından boşaltılma işlemleri gerçekleştirilir. Yine barel temizleme sürecine paralel olarak kusturma yapılırken; POM (Asetal) gibi zehirli gazlar çıkaran hammaddelerin bu safhada üretim sahası atmosferinden kaynaklı olarak insan ve çalışan sağlığına zarar verme riski oldukça yüksektir. Bu bağlamda enjeksiyon hatlarının bulunduğu ortamlarda yüksek standartlarda üst seviyelerde havalandırma ve iklimlendirme sistemleri konumlandırılmalıdır.

İstenilen özelliklere haiz plastik ürün elde edilmesi sırasında sahada yer alan endüstriyel tesis kapılarının kontrolsüz olarak açık bırakılması veyahut üretim sahasının ortam iklimlendirme ve havalandırmasının gelişigüzel yapılması enjeksiyon proseslerini doğrudan olumsuz etkilemektedir. Bu durumdan kaynaklanarak enjeksiyon makinelerinin bulunduğu hatlar doğrudan etkilendikleri için tezgahların üzerinde konumlandırılmış sıcaklık kontrol panellerindeki sonuç değerlerinde düzensiz farklılıklar gözlemlenir. Bu yanlış okuma farklılıklarından ötürü enjeksiyon proseslerinde istenmeyen değişiklikler meydana gelebilir. Diğer taraftan enjeksiyon proseslerindeki tüm sıcaklık değerleri optimize edildikten sonra proseslerin devamlılığını sağlamak amacıyla ortam koşullarının stabil ve mümkün olduğunca sabit tutulmalıdır. Bu sebepten ötürü plastik enjeksiyon üretim operasyonlarına başlanmadan minimum 30 dakika önce tezgahlar mutlaka önceden ısıtılarak, hazır vaziyete getirilmeli ve ayrıca yine ideal plastik mamül üretilebilmesi için üretim sahası ortam atmosferinin

minimum 2 saat kadar önce ısıtılarak ortam koşullarının idealleştirilmesi ve stabilize tutulması gereklidir [9].

### 7.6. Plastik Enjeksiyon Proseslerinde Basınç Etkisi

Enjeksiyon proseslerinde yüksek basınçta duruş ve bekleme yapılması; boşluk ve çökmelerin oluşumunun engellenmesini sağlarken, öte yandan yine yüksek basınçta fazla tutulduğunda iç gerginliklerin artmasına bağlı olarak parçada çarpılmalar oluşabilir.

Çökme izlerinin ekarte edilebilmesi için tutma basıncı ve zamanının optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir. Kalıp seti kavite iç boşlukları %95~99 doldurulduktan sonra basınç geçiş zamanı (switchover) sürecine geçiş yapılır. Diğer taraftan geri basınç ayarı ise masterbatch ve plastik hammadde malzemesine göre yapılmaktadır. Ayrıca basınç prosesinden bir sonraki operasyon olan soğutma fazı zamanı ise optimal olarak minimum süre harcayacak düzeyde oluşturulmalıdır.

İtme basınç ve hız ayarlamalarında ise plastik hammadde malzemesi ve parçanın geometrik yapısına bağlı olarak ayarlanması gerekmektedir. Diğer yandan genellikle yastıklama miktarı "2~3 mm" olması tavsiye edilirken; enjeksiyon makinesi kapama kuvveti arttıkça, bu mesafe yani yastıklama miktarı üç kata kadar arttırılabilir. Diğer taraftan 500 ton kapasiteli yüksek tonajlı enjeksiyon tezgahlarında ise "3~5 mm" yastıklama miktarının yeterli olmasının yanı sıra yastıklama miktarının 5 milimetreyi geçmemesi bu kapsamda yapılan çalışmalar doğrultusunda tavsiye edilmektedir. Ayrıca yastıklama miktarı enjeksiyon için gerekli olan kapama kuvveti arttıkça, bu duruma bağlı olarak doğru orantılı olacak şekilde arttırılmalıdır.

Enjeksiyon basıncı; plastik parça kalınlığı, parça uzunluğu, eriyik hammadde ısı, kalıp yarımlarının sıcaklık değerleri, giriş boyutu, giriş yayılma uzunluğu ve dağıtıcıların uzunlukları ile doğrudan etkileşim içerisindedir. Bu bağlamda literatürdeki veriler kullanılarak elde edilenler doğrultusunda ve ayrıca plastik hammadde üreticilerinin önermiş oldukları enjeksiyon prosesleri sırasındaki spesifik basınç değer aralıkları kullanılarak oluşturulan Tablo 7.7.'de enjeksiyon ve tutma basınç değer aralıkları verildi.

Özet olarak sonuçta iki ana fikir oldukça önem taşımaktadır. İstenilen tüm özelliklere haiz optimum plastik parça ürün kalitesini yakalayabilmek amacıyla en önemli husus; et kalınlığı ince olan plastik parçalarda maksimum kalıp göz basıncı,

fakat diğer taraftan et kalınlığı daha fazla olan plastik parçalarda ise uzun soluklu enjeksiyon zamanı ve basıncına gerek duyulmaktadır.

**Tablo 7.7.** Plastik hammadde malzemelerine ait spesifik enjeksiyon basınç değer aralıkları [52].

Plastik Hammadde Malzemelerinin Sembolleri (Plastik Materyallerin Açık Adlandırmaları)		Enjeksiyon Basıncı (bar)	Tutma Basıncı (bar)
1.	PP (Polipropilen)	800 ~ 1200 bar	400 ~ 600 bar
2.	PA 6 (Poliamid 6 (Naylon 6))	800 ~ 1200 bar	400 ~ 600 bar
3.	PA 66 (Poliamid 66 (Naylon 66))	800 ~ 1200 bar	400 ~ 600 bar
4.	ABS (Akrilonitril Butadien Stiren)	800 ~ 1200 bar	800 ~ 1200 bar
5.	LDPE (Polietilen (Alçak Yoğunluk))	500 ~ 1000 bar	250 ~ 500 bar
6.	HDPE (Polietilen (Yüksek Yoğunluk))	800 ~ 1200 bar	400 ~ 600 bar
7.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	1000 ~ 1600 bar	500 ~ 800 bar
8.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	1000 ~ 1600 bar	500 ~ 800 bar
9.	PC (Polikarbonat)	1000 ~ 1200 bar	500 ~ 600 bar
10.	POM (Polioksümetilen (Asetal))	800 ~ 1500 bar	400 ~ 750 bar
11.	PMMA (Polimetilmetakrilat)	1000 ~ 1600 bar	500 ~ 800 bar
12.	PS (Polistiren)	800 ~ 1200 bar	800 ~ 1200 bar
13.	PBT (Polibutilentereftalat)	1000 ~ 1400 bar	500 ~ 700 bar
14.	SAN (Stirenakrilonitril)	800 ~ 1200 bar	800 ~ 1200 bar

Plastik enjeksiyon doldurma basıncının ( $P_f$ ) belirlenmesi ve hesaplanması;

$K_f$  = Akış faktörü (bar/mm),

$K_s$  = Plastik parça duvar kalınlığı faktörü,

$f_w$  = Hammadde akış uzunluğu (mm);

**$P_f$  (Doldurma Basıncı) =  $K_f \times K_s \times f_w$  (bar)** denklemi kullanılarak bulunabilir.

Kalıp kavite boşluk basıncına bağlı kalınarak yapılan geçişte; kalıp boşluklarının basıncını ölçen transduserlerin kalıp içindeki konum, lokasyonu ve yerleşimleri oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda plastik enjeksiyon prosesleri ile ilgili veri, data ve bilgilerin toplanabilmesi maksadıyla transduserin, akış çizgisinin en ucuna doğru oldukça yakın bir bölgeye yerleştirilmelidir. Nitekim bu sayede geçide yakın noktalarda oluşabilecek muhtemel basınç ve sıcaklık dalgalanmalarından da uzak kalınmış olunur.

Kalıp grubunun geometrik formu ve boyutları, aynı zamanda total ağırlığı plastik enjeksiyon prosesleri gerçekleştirilirken enjeksiyon tezgahının çene bölümlerinin esnemesine doğrudan olumsuz etki etmektedir. Bu duruma paralel

olarak yine kapama kuvveti ve kalıp iç basıncı gibi faktörler esnemeye olumsuz yönde istenmeyen katkı sağlamaktadırlar.

Enjeksiyon ile üretim süreçleri sırasında karşılaşılan sorun ve problemlerin giderilmesi oldukça karmaşık ve spesifikdir. Çünkü hataların giderilebilmesi için kök nedenlerinin analizi yapılarak, hata kaynakları oldukça hızlı ve optimum şekilde çözümlenmelidir. Dolayısıyla plastik enjeksiyon prosesleri sırasında oluşabilecek problemlerin birçoğu sıcaklık, basınç ve zaman değişkenlerinin optimal doğru parametrelerle ayarlanarak giderilmesi mümkün kılınabilir.

Sonuç olarak plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemleri proseslerinin en genelleştirilmiş haliyle totalde 32 proses parametresi bulunmakta ve bu parametrelerden sıcaklık, basınç, hız ve zaman ana parametreleri bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda oldukça önem teşkil ettiği görülmektedir.

### 7.7. Plastik Enjeksiyon Sürecindeki Sıkıştırma Oranları

Enjeksiyon tezgahlarında sonsuz vidanın sıkıştırma oranı; besleme bölümündeki hacmin, eriyikleştirme ölçme bölgesindeki hacme olan oranı olarak tariflenebilir. Diğer yandan sıkıştırma oranları ise genel olarak "1,5:1" ve "4:1" oranları arasında değişkenlik göstermektedir. Bu tez çalışması kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak oluşturulan Tablo 7.8.'de enjeksiyon proseslerindeki sıkıştırma oranlarının plastik hammadde malzeme cinsine bağlı olarak değişimleri verildi.

**Tablo 7.8.** Plastik enjeksiyon sıkıştırma oranları [22].

Plastik Hammadde Malzeme Sembolleri (Plastiğin Açık Adlandırması)		Sıkıştırma Oranı (Compression Ratio) [Besleme Kısmı Hacmi/Ölçüm Bölgesi Hacmi] ( $h_f/h_m$ )
1.	PP (Polipropilen)	3:1 ~ 4:1
2.	PA 66 (Poliamid 66 (Naylon 66))	3:1 ~ 4:1
3.	HDPE (Polietilen (Yüksek Yoğunluk))	3:1 ~ 3,5:1
4.	LDPE (Polietilen (Alçak Yoğunluk))	3.5:1 ~ 4:1
5.	PVC-R (Polivinilklorür (Sert))	1.75:1 ~ 2.5:1
6.	PVC-S (Polivinilklorür (Yumuşak))	2.5:1 ~ 3.5:1
7.	PC (Polikarbonat)	2.25:1
8.	PS (Polistiren)	3:1 ~ 4:1
9.	TPE (Termoplastik Elastomerler)	3.5:1

Kalıp setinin reoloji testi; optimal enjeksiyon süreçleri sonrasında, farklı eriyik mal akış hızlarında ve 10 farklı nihai şahit numunenin ayrı ayrı basılması suretiyle yapılabilir. Diğer yandan plastik enjeksiyon prosesleri sonrasında her bir şahit numune tartılır. Ayrıca bu duruma ek olarak doldurma zamanları da tespit edilmelidir. Bütün bu sıralı işlemler sonrasında optimal doldurma zamanı gerekli hesaplamalar yardımıyla tespit edilir. Öte yandan kalıp setindeki göz sayısı birden fazla ise her göz için ayrı ayrı tartım yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra yolluk ve eriyik dağıtıcıları da tartılır ve kalıptaki balansın kontrolüde sağlanır. Son olarak kalıp setindeki soğuk malzeme çukurları da kontrol edilmelidir.

Enjeksiyon ocak bileziği testi; öncelikle baskı esnasında 10 şahit numune doğru enjeksiyon parametreleriyle basılarak tartılır ve daha sonra sapma miktarları analiz edilir. Sonrasında mal kaçakları ve eksik dolum gibi malzeme kaynaklı eksiklikler söz konusu ise ocak bileziğinde deformasyon meydana gelmiş olma olasılığı oldukça yüksek bir ihtimaldir.

Plaka deformasyon testinde ise hareketli çene bir indikatöre bağlanır ve ilk olarak sıfırlama ayarı yapılır. Daha sonrasında ise 5 çevrim için değişiklikler kayıt altına alınarak, gerekli incelemeler yapıldıktan sonra değerlendirilir [47].

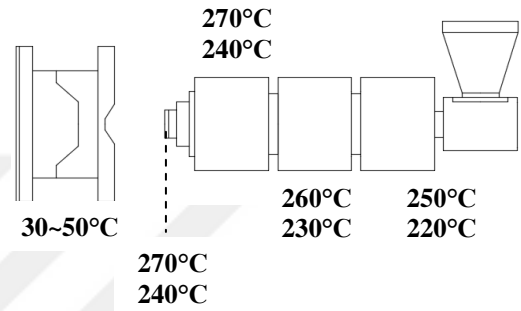
### **7.8. Plastik Hammade Malzemeleri Enjeksiyon Proses Parametre Bilgi Tabloları**

Literatürdeki veriler optimize edilerek bu tez çalışması kapsamında hazırlanan Tablo 7.9.'da polipropilen (PP), Tablo 7.10.'da poliamid 66 (PA66), Tablo 7.11.'de poliamid 66+cam elyaf (PA66+GF), Tablo 7.12.'de poliamid 6 (PA6), Tablo 7.13.'te poliamid 6+cam elyaf (PA6+GF), Tablo 7.14.'te poliamid 610 (PA610), Tablo 7.15.'te akrilonitril butadien stiren (ABS), Tablo 7.16.'da polikarbonat (PC), Tablo 7.17.'de alçak yoğunluklu polietilen (LDPE), Tablo 7.18.'de yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), Tablo 7.19.'da polivinil klorid-sert (PVC-H), Tablo 7.20.'de polivinil klorid-yumuşak (PVC-W), Tablo 7.21.'de polikarbonat+cam elyaf (PC+GF), Tablo 7.22.'de polimetilmetakrilat (PMMA), Tablo 7.23.'te poliasetal-homopolimer (POM-Homopolimer), Tablo 7.24.'te poliasetal+%20 cam elyaf (POM+%20 GF), Tablo 7.25.'te poliasetal-kopolimer (POM-Kopolimer), Tablo 7.26.'da poliasetal-kopolimer+cam elyaf (POM-Kopolimer+GF), Tablo 7.27.'de polibutilen tereftalat (PBTB), Tablo 7.28.'de polibutilen tereftalat+%30 cam elyaf (PBTB+%30 GF), Tablo 7.29.'da modifiye femilen oksit (PPO), Tablo 7.30.'da modifiye femilen oksit+cam elyaf (PPO+GF), Tablo 7.31.'de stiren - akrilonitril kopolimer (SAN), Tablo 7.32.'de

selülozik asetat (CA) ve son olarak Tablo 7.33.'te ise impakt polistren/polistren-butadien (SB) plastik hammadde malzemelerine haiz spesifik karakteristik özellikler ve enjeksiyon proses parametre değerlerinin optimal aralıkları oluşturuldu.

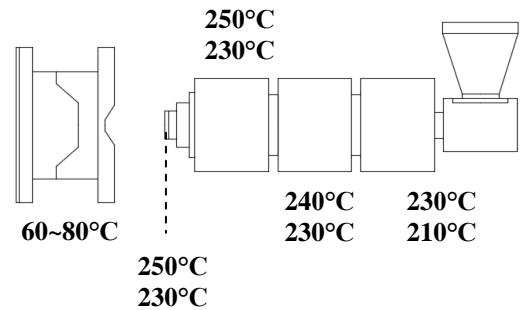
**Tablo 7.9.** Polipropilen (PP) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliolefinler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polipropilen</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16774 - UNİ 7055</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristalin</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>0,9 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 165°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1 ~ 2,5</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>0,5~1 % yaşlandırma suda 100°C -5 dak/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
9.	Ön Kurutma Prosesi	-
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı/ Tazyiği	<b>800~1200 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basınc	<b>80~120 bar</b>
14.	Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>



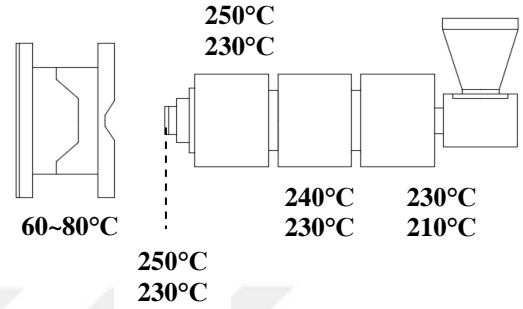
**Tablo 7.10.** Poliamid 6 (PA6) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliamidler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliamid 6</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16773</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,14 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 220°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>-0,5 nem emme 0,4~0,6% büyümeye sebep olabilir. Gerilim giderme 60~80°C 1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Nemsiz Hava ile 70-80°C (24 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basınc	<b>80~120 bar</b>
13.	Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

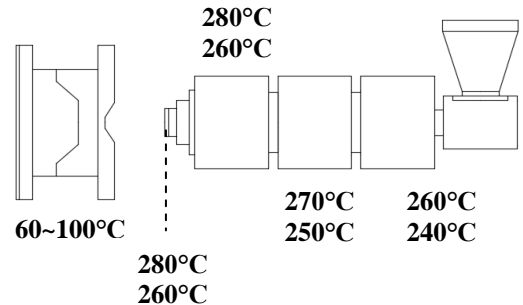


**Tablo 7.11.** Poliamid 6 + %25 GF (PA6+%25GF) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliamidler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliamid 6 + GF (%25)</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16773</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,3 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 220°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,3 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>-0,5 nem emme 0,1~0,3% büyümeye sebep olabilir. Gerilim giderme 60~80°C 1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Nemsiz Hava ile 70-80°C (24 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1400 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~700 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~70 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

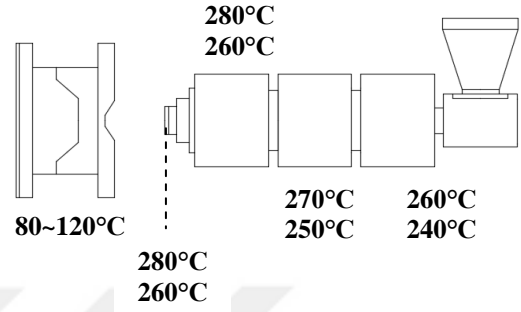
**Tablo 7.12.** Poliamid 66 (PA66) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliamidler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliamid 66</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16773</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1,14 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 255°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 2,5</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>-0,5 % yağda gerilim giderme 60-80°C -1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Nemsiz Hava ile 80°C (24 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
12.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~120 bar</b>
14.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>

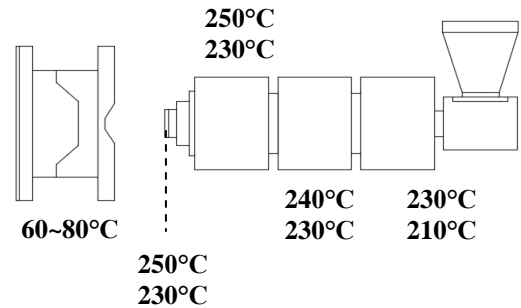


**Tablo 7.13.** Poliamid 66 + Cam Elyaf (PA66+GF) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliamidler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliamid 66 + GF</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16773</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,3 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 255°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,1 ~ 0,3</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>Nem alma 0,1-0,3% gerilim giderme suda 60°C 1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Nemsiz Hava ile 70-80°C (24 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1400 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~700 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~70 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C ve Tel Fırça</b>

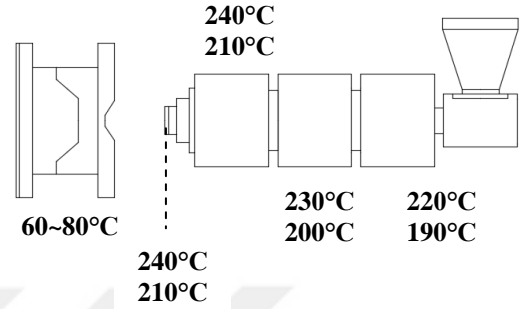
**Tablo 7.14.** Poliamid 610 (PA610) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Poliamidler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliamid 610</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16773</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,08 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 220°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>-0,5 nem emme 0,2~0,4% büyümeye sebep olabilir. Gerilim giderme 60~80°C 1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Nemsiz Hava ile 70-80°C (24 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~120 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

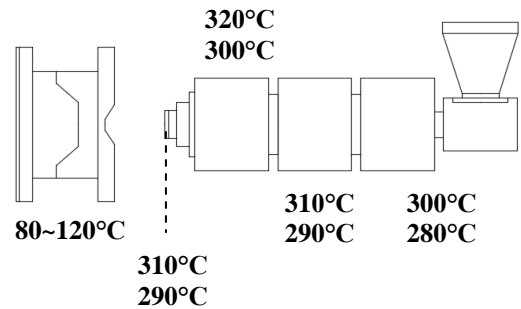


**Tablo 7.15.** Akrilonitril Butadien Stiren (ABS-Kopolimer) hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Stiren Polimerleri
2.	Materyal/Malzeme	<b>ABS - Kopolimer</b> (Akrilonitril - Butadien Stiren)
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16772</b> <b>UNI 7041</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,06~1,3 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>170~200°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,4 ~ 1,7</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 70°C (2-3 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
11.	Ütülleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~120 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Aseton,</b> <b>Tel Fırça</b>

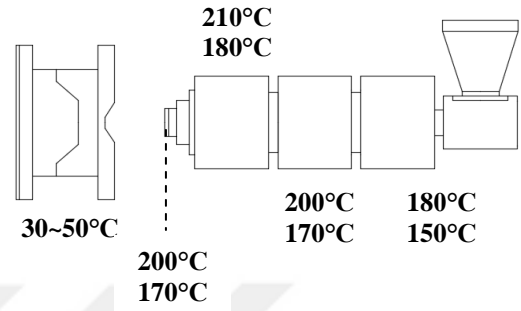
**Tablo 7.16.** Polikarbonat (PC) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Polikarbonatlar
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polikarbonat</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7744</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.2 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>220~260°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,5 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>-0,5 nem emme 0,2~0,4% büyümeye sebep olabilir.</b> <b>Gerilim giderme</b> <b>60~80°C 1 saat/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 120°C(6-12saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
11.	Ütülleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~600 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>100~120 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C,</b> <b>Tel Fırça</b>

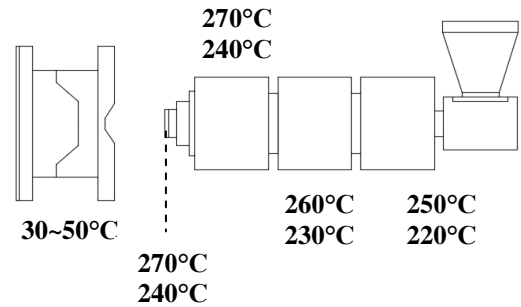


**Tablo 7.17.** Alçak Yoğunluklu Polietilen (LDPE) hammadde proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Poliolefinler
2.	Materyal/Malzeme	<i>Alçak Yoğunluklu PE (LDPE, AYPE)</i>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16776 - UNİ 7054</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristalin</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>0,93~1,91 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 110°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1 ~ 3</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>0,6~1,2 % gerilim giderme 70°C -5 dak/her 1 mm et kalınlığı için 1 saat/mm kalınlık.</b>
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 70°C (2~4 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>500~1000 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>250~500 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~100 bar</b>
14.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>Temizlik ihtiyacı yoktur.</b>
15.	Meme Temizliği	<b>Tricloretilen ve Tel Fırça</b>

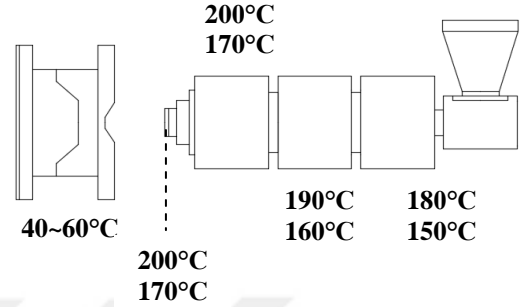
**Tablo 7.18.** Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Poliolefinler
2.	Materyal/Malzeme	<i>Yüksek Yoğunluklu PE (HDPE, YYPE)</i>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16776 - UNİ 7054</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristalin</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>0,96~1,95 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 130°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1,5 ~ 4</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>0,6~1,2 % gerilim giderme 70°C -5 dak/her 1 mm et kalınlığı için.</b>
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 70°C (2~4 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~600 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~120 bar</b>
14.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>Temizlik ihtiyacı yoktur.</b>
15.	Meme Temizliği	<b>TRICLORETİLEN ve Tel Fırça</b>

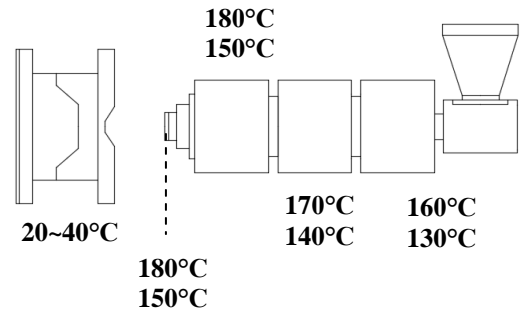


**Tablo 7.19.** Polivinil Klorid - Sert (PVC-H) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Vinil Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polivinil Klorid - Sert</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7748 - UNİ 7350- UNI 7351</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,35~1.4 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>130~160°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,4 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 60°C (2 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1600 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~800 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~80 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Aseton, Tel Fırça</b>

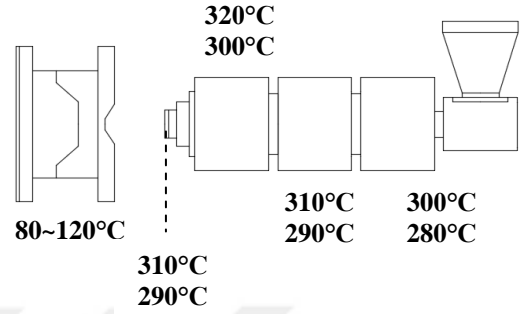
**Tablo 7.20.** Polivinil Klorid - Yumuşak (PVC-W) plastik hammadde enjeksiyon proses parametre tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Vinil Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polivinil Klorid - Yumuşak</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7749</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,2~1.35 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>120~140°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1 ~ 1,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 60°C (2 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1600 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~800 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~80 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Raket Grubu Temizliği	<b>Aseton, Tel Fırça</b>

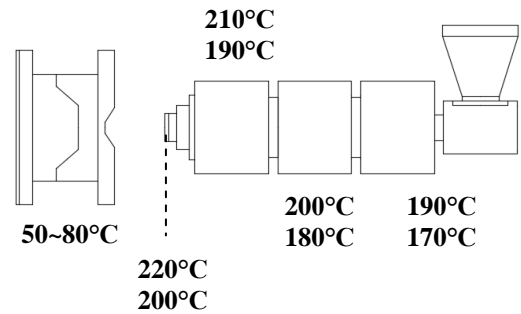


**Tablo 7.21.** Polikarbonat + Cam Elyaf (PC+GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Polikarbonatlar</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polikarbonat + GF (%30)</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7744</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.45 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>220~260°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 0,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 120°C (6-12 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1400 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~700 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basınc	<b>50~70 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

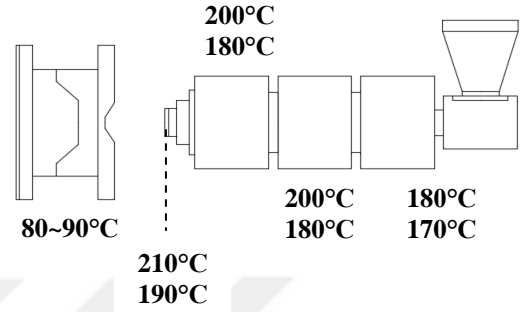
**Tablo 7.22.** Polimetilmetakrilat (PMMA) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Akrilik Polimerler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Polimetilmetakrilat</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7745 - UNİ 706</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.18-1,20 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>150~180°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,4 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>% gerilim giderme 60°C -1 saat/mm kalınlık</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 70°C (2-4 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1600 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>500~800 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basınc	<b>100~160 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>Yabancı madde ile temizlenmez. Kova ve vidanın bronz tel fırça ile temizlenmelidir.</b>
14.	Meme ve Roket Grubu Temizliği	<b>Aseton, Tel Fırça</b>



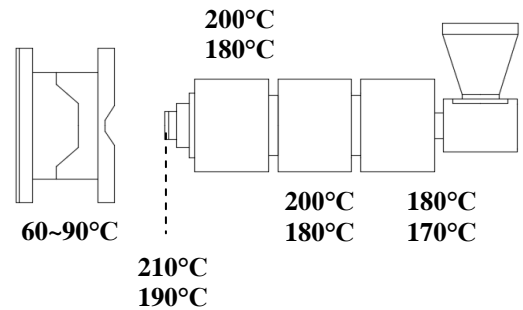
**Tablo 7.23.** Poliasetal - Homopolimer (POM-Homopolimer) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Asetal Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliasetal (Homopolimer)</b>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.42 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 175°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1,5 ~ 3,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>% 0,1-0,4 yağda gerilim giderme 140°C -5 dak/her 1 mm et kalınlık için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 60°C (≈2 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1500 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı/ Ard Tazyiği	<b>400~750 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~150 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>



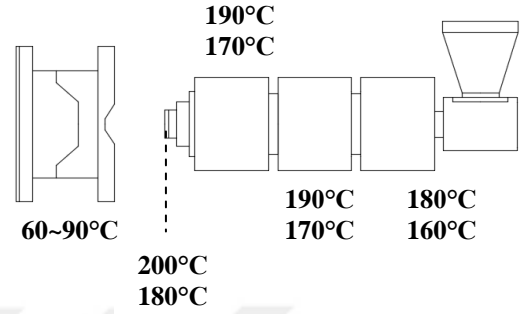
**Tablo 7.24.** Poliasetal + %20 Cam Elyaf (POM + %20 GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Asetal Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliasetal (Homopolimer %20 Cam Elyaf)</b>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.56 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 175°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 0,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>% 0,1-0,2 yağda gerilim giderme 140°C -5 dak/her 1 mm et kalınlık için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>-</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1500 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı	<b>500~800 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~80 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>



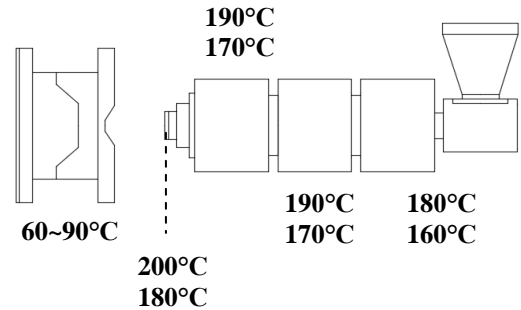
**Tablo 7.25.** Poliasetal - Kopolimer (POM-Kopolimer) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Asetal Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliasetal</b>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.41 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 165°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1,5 ~ 3,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>% 0,1-0,4 yağda gerilim giderme 120°C -5 dak/her 1 mm et kalınlık için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 80°C (3 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1500 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı	<b>400~750 bar</b>
12.	Karşıt Tazyık/Basıncı	<b>80~150 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>



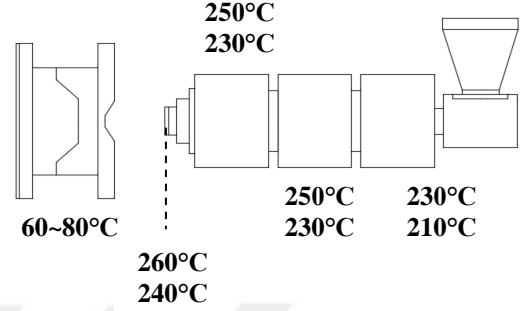
**Tablo 7.26.** Poliasetal - Kopolimer + Cam Elyaf (POM-Kopolimer+GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Asetal Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Poliasetal Kopolimer (%25 Cam Elyafı)</b>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1.56 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 165°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,2 ~ 0,5</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	<b>% 0,1-0,2 yağda gerilim giderme 120°C -5 dak/her 1 mm et kalınlık için.</b>
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 80°C (3 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1600 bar</b>
11.	Ütüleme Basıncı	<b>500~800 bar</b>
12.	Karşıt Tazyık/Basıncı	<b>50~80 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
14.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>



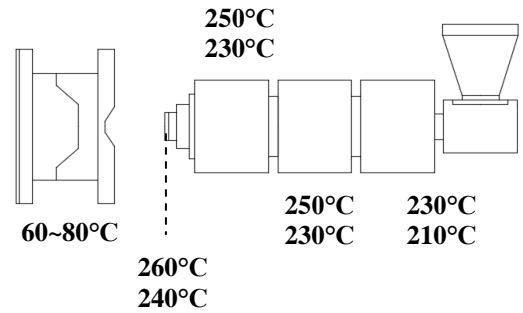
**Tablo 7.27.** Polibutilen Tereftalat (PBTB) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Termoplastik Poliesterler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<i>Polibutilen Tereftalat</i>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16779</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1.3 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 225°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1,2 ~ 2,8</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 120°C (2-4 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1400 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı	<b>500~700 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>100~140 bar</b>
14.	Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
15.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>



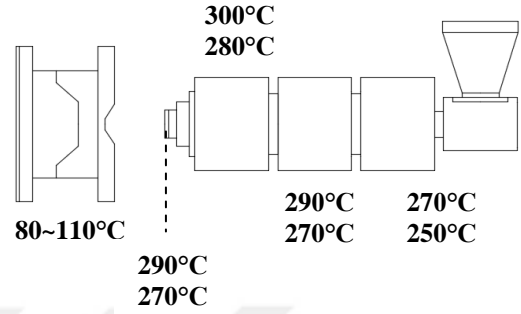
**Tablo 7.28.** Polibutilen Tereftalat + %30 Cam Elyaf (PBTB + %30 GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Termoplastik Poliesterler</b>
2.	Materyal/Malzeme	<i>Polibutilen Tereftalat + %30 GF</i>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN - E 16779</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristal</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1.5 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>≈ 225°C</b>
7.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 1 ~ 1,4</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 120°C (2-4 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1400 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı	<b>500~700 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~70 bar</b>
14.	Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
15.	Meme Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

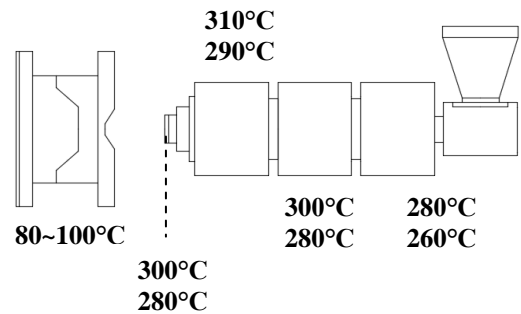


**Tablo 7.29.** Modifiye Femilen Oksit (PPO) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Femilen Oksitleri
2.	Materyal/Malzeme	<i>Modifiye Femilen Oksit</i>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Amorf</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,06 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 225°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,5 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 110°C (2-4 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1500 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı	<b>500~750 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>100~150 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>Akrilik Rezin (PMMA) PE - PP kullanılmaz.</b>
14.	Meme ve Raket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

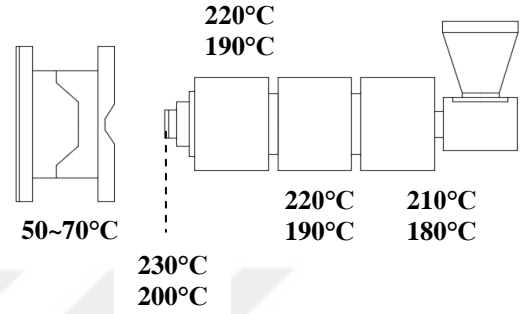
**Tablo 7.30.** Modifiye Femilen Oksit + Cam Elyaf (PPO + GF) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Femilen Oksitleri
2.	Materyal/Malzeme	<i>Modifiye Femilen Oksit + %30 GF</i>
3.	Moleküler Yapısı	<b>Amorf</b>
4.	Özgül Ağırlık	<b>1,20 gr/cm<sup>3</sup></b>
5.	Erime Derecesi	<b>≈ 225°C</b>
6.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,5 ~ 0,8</b>
7.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
8.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 110°C (2-4 saat)</b>
9.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
10.	Enjeksiyon Basıncı	<b>1000~1500 bar</b>
11.	Ütuleme Basıncı	<b>500~700 bar</b>
12.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>50~75 bar</b>
13.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>Akrilik Rezin (PMMA) PE - PP kullanılmaz.</b>
14.	Meme ve Raket Grubu Temizliği	<b>Fırında 400 °C, Tel Fırça</b>

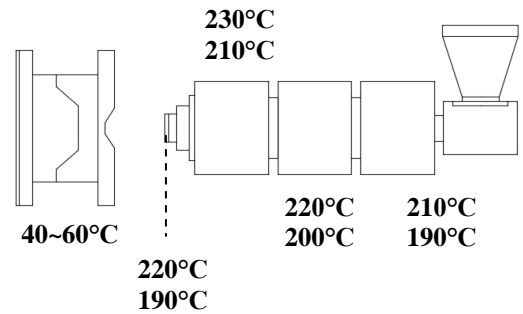


**Tablo 7.31.** Stiren - Akrilonitril Kopolimer (SAN) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Stiren Polimerleri</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Stiren - Akrilonitril Kopolimer</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16775</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Amorf</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1,08 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>140~170°C</b>
7.	Kalıplamada Linear Çekme Yüzdesi	<b>% 0,4 ~ 0,6</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 70°C (2-3 saat)</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı	<b>400~600 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basınç	<b>80~120 bar</b>
14.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
15.	Meme Temizliği	<b>Aseton ve Tel Fırça</b>

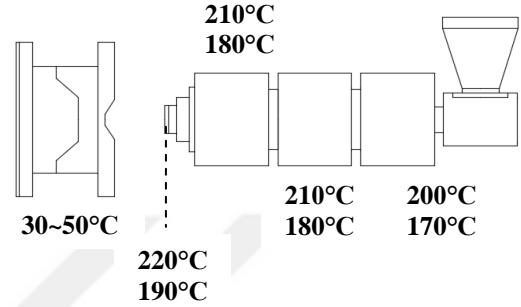
**Tablo 7.32.** Selülozik Asetat (CA) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	<b>Selülozik Rezin</b>
2.	Materyal/Malzeme	<b>Selülozik Asetat</b>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 7742</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Yarı Kristalin</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1,2~1,3 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erime Derecesi	<b>130~170°C</b>
7.	Kalıplamada Linear Çekme Yüzdesi	<b>% 0,3 ~ 0,7</b>
8.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
9.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 80°C</b>
10.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
11.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
12.	Ütüleme Basıncı	<b>400~600 bar</b>
13.	Karşıt Tazyik/Basınç	<b>80~120 bar</b>
14.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
15.	Meme Temizliği	<b>Aseton ve Tel Fırça</b>



**Tablo 7.33.** İmpaktolistren/Polistren-Butadien (SB) plastik hammadde spesifik enjeksiyon proses parametre bilgi tablosu.

1.	Grup/Tasnif	Stiren Polimerleri
2.	Materyal/Malzeme	<i>İmpaktolistren (Polistren-Butadien)</i>
3.	Spesifikasyon	<b>DIN 16771 - UNI 872</b>
4.	Moleküler Yapısı	<b>Amorf</b>
5.	Özgül Ağırlık	<b>1,04~1,1 gr/cm<sup>3</sup></b>
6.	Erimiş Maddenin Viskozitesi	<b>Orta</b>
7.	Eriye Derecesi	<b>130~160°C</b>
8.	Kalıplamada Lineer Çekme Yüzdesi	<b>% 0,3 ~ 0,6</b>
9.	Kalıptan Çıktıktan Sonra Çekme	-
10.	Ön Kurutma Prosesi	<b>Hava ile 60°C (2-3 saat)</b>
11.	Geçici Bekleme Fazı	<b>Isılar düşürülecektir.</b>
12.	Enjeksiyon Basıncı	<b>800~1200 bar</b>
13.	Ütüleme Basıncı	<b>400~600 bar</b>
14.	Karşıt Tazyik/Basıncı	<b>80~120 bar</b>
15.	Enjeksiyon Nozzle	<b>Açık Meme (Nozzle)</b>
16.	Materyal Değişimi ve Kovan Vida Temizlik	<b>HDPE</b>
17.	Meme Temizliği	<b>Aseton ve Tel Fırça</b>



Son olarak plastik enjeksiyon basınç kademeleri; enjeksiyon basıncı ve kademeleri, kalıp iç basıncı, tutma basıncı ve kademeleri, değiştirme (switchover) ve geri basınç şeklinde tasniflendirilebilir. Bunun yanı sıra geleneksel plastik enjeksiyon tezgahlarında geri basınç kademe değerinin maksimum "20 bara" kadar çıkarılması; bu kapsamda yapılan tez çalışmalarından elde edilenler doğrultusunda tavsiye edilmekte olup, aslında bu üst limit değeri oldukça kritiktir. Şayet 20 barın üzerine çıkılması halinde gereksiz sürtünmeler, aşırı sıcaklık oluşumları, deformasyonlar ve yüzey pürüzlülükleri gibi istenmeyen olumsuz faktörlerin oluşumları gözlemlenebilir.

### 7.9. Plastik Enjeksiyon Üretim Süreçlerindeki İmalat Hataları ve Çözüm Önerileri

Bu tez çalışması kapsamında literatürdeki veriler kullanılarak hazırlanan Tablo 7.34.'te görüldüğü üzere plastik bir parçada estetik ve kozmetik problemler sıralanacak olursa; kalıp gözlerinin tam doldurulmamasından kaynaklanan eksik parça baskısı alınması, kalıp kavite boşluklarına gereğinden fazla mal enjektisi sonucu çapak

oluşumları, plastik parça yüzeyinde oluşan akış lekeleri, soğuk birleşim yeri ve kaynak izleri, gaz izleri, soğuma sonrası çökme ve çöküntü oluşumları; diğer taraftan ölçüsel problemler ise, plastik parçanın büzülmesi (distorsiyon etkisi) ve aşırı çekmeler, ölçü toleranslarının dışına çıkılması ve geometrik stabilizasyonun sağlanamamasının yanı sıra sık operatör değişiklikleri, çevresel ortam koşulları ve hava şartları bu farklılaşmalara etki eden diğer etmenler olarak sıralanabilir. Enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle plastik parçaların üretimindeki yukarıda bahsedilen ve yaygın olarak görülen hata ve problemlerin elimine edilerek ortadan kaldırılması için günümüzde çeşitli farklı iyileştirme metotları kullanılmaktadır. Bu sebeplerden ötürü enjeksiyon kalıp setindeki her baskı sonrası elde edilen ürün gruplarının aynı seviyede kararlı bir yapıya sahip olmaları amacıyla optimal çalışma koşullarının sürekliliğinin ve devamlılığının stabil tutulması gereklidir.

**Tablo 7.34.** Plastik enjeksiyon sırasında karşılaşılabilecek problemler ve hatalar [53].

Problemler ve Sorunlar		Çözümler, Öneriler ve Tavsiyeler					
		Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6
1.	<i>Eksik Baskı</i>	E9	E11	E1	E3	E6	K1
2.	<i>Parça/Ürün Kalıba Yapışıyor</i>	K3	K9 E4/5	E11	E4 M6	E5 K9	M6 K8
3.	<i>Çapak Oluşumları</i>	E2	E13	E4/5	K8	E6	M4/6
4.	<i>Kozmetik Yüzey Görünümü Bozuk</i>	M1 K1	E11	E6	E3/4	K7	K4/5
5.	<i>Birleşim Yeri İzi</i>	M1/K7 E1	E1 E3	E3 E11	E11 K1	K1 E6	E6 M1/K7
6.	<i>Yanma/Yanık İzleri</i>	E6/7	E2	E4 M3	K7	M3 K5	E8
7.	<i>Hava Kabarcıkları ve Boşluk Oluşumları</i>	E9 E2	E11	E5 E3/5	E3 E6	E6 K1	K5 E10
8.	<i>Çarpılma ve Distorsiyonlar</i>	K3	M5 E11	E11 E3/4	E3/4 E5	E5 E2	K4/5 K2
9.	<i>Çökme ve Çöküntüler</i>	E9	E5/3	E11	K2/E6	K5	K6
10.	<i>Parça Yüzeyinde Kırısklık</i>	E1	E6	K1	M5	K4/5	-
11.	<i>Plastik Parça Çok Kırılgan</i>	M1 E6	E6 E4/6	E8	M2	M3 M1	M3
12.	<i>Malzeme Homojen Değil</i>	E6	E10	E8	E12	-	-
13.	<i>Püskürtme</i>	E2	E7	K1	E6	K5	K6

**Tablo 7.35.** Plastik enjeksiyon sırasında karşılaşılan problemler için spesifik çözüm önerileri [53].

<b><u>Kalıp Seti (K);</u></b>	<b><u>Enjeksiyon Makinesi/Tezgah (E);</u></b>	<b><u>Plastik Hammadde</u></b>
<b>K1.</b> Kalıp sıcaklıklarını arttır. <b>K2.</b> Kalıp sıcaklıkları düşür. <b>K3.</b> Kalıp su yolları ve soğutma hattı sistem dengesini kontrol et. <b>K4.</b> Yolluk toplam uzunluklarını tam olarak kontrol et. <b>K5.</b> Yolluk giriş çap kesit değerini kontrol et. <b>K6.</b> Yolluk giriş yerini kontrol et ve/veya değiştir. <b>K7.</b> Sıkışmış hava ve gaz tahliye kanallarını peyder pey kontrol et. <b>K8.</b> Kalıp seti tasarım ve dizaynını gözden geçir/revize et ve/veya değiştir. <b>K9.</b> Çektiricinin tasarımını kontrol et/gözden geçir.	<b>E1.</b> Enjeksiyon hızını/basıncını arttırın. <b>E2.</b> Enjeksiyon hızını/basıncını düşürün. <b>E3.</b> Ütuleme basıncı ve hızını arttırın. <b>E4.</b> Ütuleme basıncını ve hızını düşürün. <b>E5.</b> Ütuleme süre parametrelerini doğru olarak yeniden ayarlayın. <b>E6.</b> Eriyik hammadde sıcaklığını doğru olarak tekrardan ayarlayın. <b>E7.</b> Meme (nozzle) ısıtıcınızı bağlantılarını ve sıcaklık parametre değerlerini kontrol edin. <b>E8.</b> Parçaların enjeksiyon makinesinden gramajına uygunluğunu kontrol et. <b>E9.</b> Yastıklama ve mal besleme oranını kontrol et. <b>E10.</b> Basınç/Sıkıştırma alma oranını kontrol et. <b>E11.</b> Enjeksiyondan ütulemeye geçiş mesafe noktasını kontrol et. <b>E12.</b> Mal alma sürecini kontrol et. <b>E13.</b> Makine kapama gücünüzü arttırın.	<b><u>Malzeme/Materyal (M);</u></b> <b>M1.</b> Hammadde malzemesinin doğru olarak kurutulduğundan emin ol. <b>M2.</b> Kırma oranı/yüzdesi doğruluğunu kontrol et. <b>M3.</b> Masterbatch taşıyıcısının ve oranının doğru olduğunu kontrol et. <b>M4.</b> Plastik hammadde malzemesinin akışkanlığını düşür. <b>M5.</b> Plastik hammadde malzemesinin akışkanlığını arttır. <b>M6.</b> Plastik hammadde malzeme türünü kontrol et.

Yukarıda yer alan Tablo 7.35.'te plastik enjeksiyon ile üretim esnasında karşılaşılabilecek problemler için çözüm önerileri verildi. Bu bağlamda elde edilen deneyim, tecrübe, yetkinlik ve diğer kazanımlar yardımıyla plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle gerçekleştirilen üretim prosesleri doğrudan iyileştirilebilir.

### 7.9.1. Eksik Ürün Baskı Hatası

Kalıp setindeki iç boşluklara sıkışmış hava ve gaz oluşumları eriyik plastik hammadde akışına karşı doğrudan iç basınç etkisi oluşturmaktadır. Diğer taraftan kalıp boşluklarındaki hava şayet dışarı çıkamazsa kalıp boşluğu eriyik mal ile tam olarak dolamaz. Öte yandan birikmiş ve sıkışmış hava tamamen tahliye edilemeden kaçamıyorsa; eksik ürün baskı hadisesinin yanında ayrıca yanık izlerinin oluşumu kuvvetle muhtemeldir. Ancak şayet sıkışmış hava sızıntı şeklinde tahliye edilebilmesi ile yanma oluşumları görülmeyebilir. Diğer taraftan yine enjeksiyon basıncı artırılarak tam dolum sağlanabilir, fakat basınç artışı yolluk girişlerinde kalıcı gerilmelere sebebiyet vereceğinden tavsiye edilen bir metot değildir. Ancak enjeksiyon hızının artırılması ideal bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yine kalıp setinin

gereğinden fazla soğuk oluşu, kalıp iç çekirdeğini dolduracak sıcak eriyik plastik hammaddenin de hızla soğumasına sebep olabilir. Bu duruma bağlı olarak normalden hızlı soğuyan sıcak plastik hammadde kalıp iç boşluklarında gerektiği gibi ilerleyemez ve kalıp setinin tam dolumu sağlanamaz. Bu tip problemlerde ise eksik mamül oluşmaması için eriyik plastik hammadde sıcaklıkları ve kalıp setinin sıcaklık değerleri kademeli olarak arttırılmalıdır, bunun yanında hava ve gaz tahliye çıkış kanalları belirli periyotlarda mutlaka sürekli olarak kontrol edilmelidir [54].

Eriyik plastik hammadde malzemesinin kalıp iç boşluklarını tamamen doldurmadan katılaşma hadisesinin gerçekleşmesi veyahut kalıp seti boşluklarının içinde oluşan ve şekillenmeye karşı koyan iç basınç etkisi eksik parça oluşmasına sebebiyet verebilir. Aşağıda verilen Şekil 7.5.'te plastik enjeksiyon sonrası eksik ve hatalı parça baskısına örnek gösterildi.



**Şekil 7.5.** Enjeksiyon tezgahı bekletildiğinden soğuk yolluk ve düşük mal almadan kaynaklanan, eksik plastik parça baskısına örnek gösterildi.

Son olarak dağıtıcı yolluklar veya yolluk giriş çap değerini arttırmak, ilave ek yolluk girişi ile mal akış mesafesini azaltmak ve parça et kalınlıklarını optimum seviyeye indirmek eksik ürün oluşumlarını engelleyen diğer detaylardandır.

### **7.9.2. Plastik Parçanın Kalıplara Yapışması**

Enjeksiyon sonrasında plastik parçanın alınması için kalıp bölümü açıldığında, parça kalıbın erkek (hareketli) tarafından çıkmadan; hareketsiz (dişi) kalıp tarafında kalabilir yada karşılaşılabilecek diğer bir varyasyon ise yine enjeksiyon sonrası plastik parçanın alınması esnasında plastik parça erkek (hareketli) kalıp tarafında doğrudan

kendiliğinden askıda kalabilir. Diğer taraftan kalıp setinde dişi ve erkek kalıplar arasındaki yüksek sıcaklık farklılıkları temas halindeki plastik parçaların kalıplara yapışmasına neden olabilir. Bu çalışma kapsamında literatürdeki kaynaklardan elde edilen veriler doğrultusunda; kalıp setindeki yüzeyler arasında sıcaklık farkları maksimum 5°C'yi geçmemesi tavsiye edilmektedir. Enjeksiyon sırasında eriyik plastik hammadde ve kalıp sıcaklıkları düşürülerek, kalıp yüzeyleri kontrol edilmeli ve ayrıca silikon içermeyen kalıp ayırıcı seçimleri ile bu tarz problem çözümlenebilir.

Bazen plastik parçaların kalıpta asılı kalması kalıp grubunun tasarımı ile indirekt olarak alakalı olabilir. Bu duruma paralel olarak kalıp grubunda kullanılan iticiler düzensiz yerleştirilmiş veyahut yetersiz sayıda konumlandırılmış olabilir. Ayrıca kalıp tasarımı verilen koniklikler (draft açısı) yetersiz eğimde ve yanlış hesaplanabilir. Yine bu duruma bağlı olarak plastik parçanın kalıptan ayrılmaması ve itici pimlerin yetkinliklerini yerine getirebilmesi engellenir. Ayrıca kalıp setindeki gaz tahliye ve havalandırma kanallarının yanlış konumlandırılması da plastik parçaların kalıptan çıkarken vakum tesiri etkisi altında kalmalarına sebep olabilir [54].

Plastik parçaların kalıba yapışma hadisesi, enjeksiyon basıncı ve hız değerleri ile ütüleme basıncının oldukça yüksek olduğu durumlarda görülmektedir. Bu nedenle özellikle soğutma süresi başta olmak üzere çevrim süreleri tam olarak kontrol altında tutulmalı ve sabit yastıklama prosesi için bu değerler azami seviyede düşürülmelidir.

### **7.9.3. Çapak Oluşumları**

Eriyik fazdaki plastik hammadde sıcaklıkları olması gereken değerlerden yüksek oldukları takdirde malzemenin daha fazla akışkan faza geçmesiyle çapak oluşumları doğrudan tetiklenmektedir. Diğer yandan eriyik sıcaklığının gereğinden fazla yükselmesinin oluşturduğu düşük viskozite kalıp iç yüzeylerinde hammadde sızıntısı ve çapak oluşumlarını meydana getirmektedir. Bu sebeplerden ötürü eriyik plastik hammadde sıcaklıkları daima ideal ve optimum mertebelerde tutulmalıdır [54,55].

Plastiklerde çapak oluşumları eriyik hammaddenin kalıp kavite iç boşluklarının dışına taşması veyahut çıkması sonucu oluşmaktadır. Kalıp setinin kilitleme basıncı düşük olduğu takdirde kalıp grubu tam olarak kapanamaz ve sıcak eriyik mal kalıp boşluklarının dışına doğru sızar veya diğer taraftan enjeksiyon basınç ve hız değerleri gereğinden fazla yüksek olursa kilitleme basıncı diğer basınç değerlerini karşılayamaz ve yine dışarıya doğru sıcak plastik hammadde sızarak çapak oluşumları görülür. Bu

durumları engellemek amacıyla kapama kuvveti arttırılmalı, enjeksiyon basınç ve hız değerleride optimal seviyelere düşürülmelidir [54,55].

Çapaklı plastik parça ve mamüllerin oluşumu genellikle kalıp setlerinden kaynaklanmaktadır. Ana kalıp setinin reel boyutları stabil tutularak, kalıp grubundaki birleşim yüzeyleri idealleştirilmeli, ayırım yüzeylerinde ise aşınma oluşmamalıdır. Şekil 7.6.'da bir plastik üründe oluşan çapaklanmalara ait örnek verildi.



**Şekil 7.6.** Kırma malzeme kullanılarak üretilen plastik parçada görülen çapak oluşumları.

Plastik enjeksiyon kalıp setini oluşturan dişi (sabit) ve erkek (hareketli) kalıp yarımları tam olarak rijit bir şekilde stabil hizalanmadan bağlandıkları takdirde sıcak eriyik hammaddenin dışarıya doğru sızması kuvvetli muhtemeldir. Yine kalıp setindeki iç yüzeylerde deformasyon (bozulma) ya da aşınma oluşumları söz konusu olduğunda çapak oluşumları gözlemlenebilir. Bu durumda yalın üretim felsefesinin temel yapı taşlarından olan TPM, TKYS ve TKYS-D gibi periyodik otonom ve profesyonel bakımlar ile kalıp setlerinin kontrolleri ruta bağlanmalı ve her iş başı kalıp grubunun tam doğru pozisyonda enjeksiyon tezgahına bağlandığından mutlaka emin olunmalıdır.

#### **7.9.4. Birleşme ve Birleşim Yeri İz Oluşumları**

Enjeksiyon hızlarının yavaş olması halinde iki yada daha fazla eriyik akış hattının kalıp kavite iç boşluklarında birleşimi öngörülen çevrim periyotunda gerçekleşemez ve buna bağlı olarak birleşme izlerinin oluşumları gözlemlenebilir. Diğer taraftan kalıp setinin eriyik akışkana göre daha soğuk oluşu, eriyik hammaddenin birçok

akış hattının birleşmesine fırsat verilmeden soğumaya ve birleşim izi oluşumlarına neden olmaktadır. Enjeksiyon prosesleri esnasında kullanılan eriyik plastik hammadde sıcaklık değerlerine bağlı olarak düşük akışkanlık fazında yine birleşim yeri iz oluşum problemlerine rastlanabilir [54,55].

Şekil 7.7.'de fazla kalıp ayırıcı kullanımı ve ilk baskı parçası olmasından kaynaklanarak oluşan birleşim yeri izlerine ait örnek verildi.



**Şekil 7.7.** İlk baskı parçası ve fazla kalıp ayırıcı nüfuziyetinden kaynaklanan birleşim yeri iz oluşumları hatası.

Birleşim yeri iz oluşum sorunlarının giderilebilmesi için eriyik hammadde ve kalıp sıcaklıkları, enjeksiyon hızı, basınç ve ütüleme süreci optimal seviyelerde artırılmalıdır. Buna paralel olarak eriyik hammaddenin kalıp iç boşluklarında düzenli akışının sağlanabilmesi için yolluk yerlerinin değiştirilerek, yolluk çap değerleri artırılmalıdır [54,55]. Fakat diğer taraftan enjeksiyon hız değerlerinin aşırı artırılması sonucu yanık izlerinin oluşumu gözlemlenebilir.

Birleşme izleri yalnızca kozmetik dış görünüş değil, plastik parçanın karakteristik mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Birleşim izlerinin sayısının fazla oluşu, o lokal bölgelerde mukavemet özelliklerinin azalmasına dolaylı olarak sebep olmaktadır ve buna bağlı olarak yolluk giriş konumlarının seçimi oldukça önem teşkil etmektedir. Şayet birden fazla besleme ağzıları kullanılacaksa, kalıp setlerinin tasarımında sıcak yolluk sistemleri entegre edilmelidir.

#### **7.9.5. Yanma ve Yanık İzi Oluşumları**

Kalıp seti iç boşluklarını dolduran eriyik plastik hammadde malzemelerinden dolayı sıkışan hava ve diğer gazlar kalıp setinden tahliye edilmediği takdirde yüksek sıcaklıklardan ötürü yanma hadisesi meydana gelebilir. Bu durumun sonucu olarak plastik parça yüzeyinde siyah yada sarımsak kalıcı yanık izleri oluşur.

Enjeksiyon esnasında oluşan sıkışmış hava ve gazlar kalıp setindeki temas yüzeylerinden ve itici pimler vasıtasıyla doğrudan dışarıya tahliye edilmelidir. Diğer yandan bu tahliye bölgeleri gaz çıkışlarına izin verilecek biçimde parlatma yapılmaksızın, talaşlı imalat proseslerinde oluşan çakı izleriyle de bırakılabilir.

Kalıp setinde yeterli havalandırmanın oluşturulmaması ve kalıp parçalarında keskin köşelerin varoluşu plastikte yanma ve yanık izlerinin oluşumuna yol açan diğer etkenlerdendir. Bu duruma bağlı olarak kalıp iç boşluklarında düzenli havalandırma sirkülasyonunun sağlanıp, kalıp sıcaklıklarının önceden belirlenmiş sıcaklık değerlerinde stabil tutulabilmesi için hava ve gaz tahliye çıkış kanalları tıkanmalara karşı rutin olarak kontrol altında tutulmalıdır [55]. Şekil 7.8.'de yüksek enjeksiyon hız ve basınçlarından kaynaklanarak oluşan yanma izine örnek verildi.



**Şekil 7.8.** Polipropilen bir plastik parçada yüksek enjeksiyon basınç ve hızlarından kaynaklanarak, enjeksiyon sırasında yanma reaksiyonu sonrası oluşan yanık izleri.

Yanık izlerinin oluşumlarının engellenmesi amacıyla eriyik plastik hammadde giriş sıcaklık değerinin düşürülmesi ve enjeksiyon hızının azaltılması gibi parametrik proses şartlandırmaları değiştirilmelidir. Ayrıca sonsuz vida dönüş devir hızı düşürülmeli, nozzle (meme) sıcaklığı optimum seviyede sabit tutulmalıdır. Son olarak plastik parça dizaynındaki keskin köşelerin yuvarlatılması ve mal akış yolluklarının rotalarının değiştirilmesi de yanma ve yanık iz oluşumlarını engeller.

#### **7.9.6. Boşluk Oluşumları ve Hava Kabarcıkları**

Yüksek akışkanlığa sahip plastik hammadde malzemelerinin kullanıldığı et kalınlıkları fazla olan plastik parçalarda kalıp boşluklarının içerisine sıkışan hava

molekülleri boşluk oluştururlar. Diğer taraftan kalın kesit bölgesindeki çekme etkisi tutma basıncı safında karşılanamadığında plastik içerisinde vakum etkisinden kaynaklanan vakum boşlukları oluşabilir. Enjeksiyon sırasında tutma basınç değerleri ve prosesin uygulama süresinin arttırılması ise boşlukların oluşumunu engelleyebilir. Aşağıda verilen Şekil 7.9.'da yüksek enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklıklarının düşük olmasından kaynaklanan boşluklu plastik ürüne ait örnek gösterildi.



**Şekil 7.9.** Yüksek enjeksiyon hızı ve soğuk kalıp sıcaklıklarından kaynaklanan boşluklu plastik parça.

Enjeksiyon tezgâhlarından kaynaklanan herhangi bir probleme rastlanılmadığı takdirde kalıp setine bağlı kök nedenler araştırılmalıdır. Kalıp sıcaklıklarının gereğinden düşük olması halinde veya kalıp setinin mevcut yapısından kaynaklanan mal akış problemleri gözlemlendiğinde plastik parçada hava kabarcıklarının oluşumu görülebilir. Ayrıca parça duvar kalınlıklarının gereğinden fazla ince oluşu veyahut mal yolluk giriş kesit değerinin dar olması halinde sıcak eriyik plastik hammadde malzeme akışının yavaşlamasına sebep olacağından tahliye edilmesi gerekli olan gazlar dış ortama atılamazlar. Tahliyesi gerçekleşmeyen gaz molekülleri ise plastik üründe hava kabarcıkları formunda görülürler [18]. Diğer yandan yine prosesteki enjeksiyon basınç değerlerinin düşük oluşu, enjeksiyon hızlarının gereğinden fazla yüksek olması veyahut geri basınç değerlerinin düşük olması istenmeyen hata oluşumlarına sebebiyet verebilir.

Plastik parça içerisindeki boşluklar, eriyik hammadde yolluk giriş kısmının en uç noktalarında oluşabilir. Plastik ürünün et kalınlıklarının tasarımsal olarak fazla olmasına bağlı ana yapı içerisinde boşluk oluşumlarının yaşanmaması için yolluk çap değerinin büyük ve mal akış yolu ise kısa olacak şekilde kalıp seti dizayn edilmelidir. Buna bağlı

olarak kalıp kavite iç boşluklarının dolumu optimal gerçekleşir ve dolayısıyla boşluk oluşumları engellenmiş olur. Ayrıca bu tür problemlerle karşılaşıldığı takdirde enjeksiyon basınç değerleri ve proses süreleri kademeli olarak arttırılmalıdır [54,56].

#### **7.9.7. Çarpılmalar ve Distorsiyon Oluşumları**

Plastik hammadde reçete içeriğine ilave edilen katkı dolgu malzemelerinin homojen karışmaması veyahut yanlış yada hatalı dolgu materyallerinin seçimi ile direkt olarak çarpılmalara neden olabilir. Ayrıca plastikte oluşan iç gerilmeler kalıp setindeki yolluklar ile de doğrudan yakından alakalıdır [54,55,56].

İstenmeyen çarpılma problemlerinin yaşanmaması amacıyla kalıp setindeki dişi (sabit) ve erkek (hareketli) kalıp bölümlerindeki sıcaklık farklılıkları gereğinden fazla yüksek olmamalıdır. Genellikle erkek kalıp tarafında bulunan itici pimler rijit ve düzgün bir ahenkte akuple biçimde hareket etmelidirler. Diğer taraftan enjeksiyon basıncı optimal seviyelerde tutulup, soğuma proses süreleri arttırılmalıdır. Bunların yanı sıra üretilen plastik parçalar nizami bir şekilde istiflenerek, ayrı depolama stok sahalarında muhafaza edilmelidirler [54,55,56].

Bir plastik parça kalıp boşluklarından çıkarken şayet çarpılma hadisesi gerçekleşiyorsa; önce kalıp grubunun soğutma sistemi kontrol edilir ve ayrıca iç gerilmeler veyahut farklı bölgelerin birbirinden farklı oranlarda çekmeside distorsiyon oluşumlarına sebebiyet verir. Homojen olmayan, dengesiz ve yetersiz soğutma proses sürelerinin az oluşu plastikte doğrudan çarpılmalara neden olabilir. Seçilen plastik hammadde malzemesinin ısıl çarpılma sıcaklık değerinin alt limitlerinde soğutulma gerçekleştirilmelidir, aksi halde yeterli seviyede soğumamış yüzeylere vuruş yapan itici pimler plastik parçanın çarpılmasına dolaylı olarak etki etmektedir.

Plastik ürünlerin dizayn aşamalarında şayet birbirinden farklı et kalınlıkları ve kalınlık geçişleri mevcut ise ince kesitler daha kalın kesitlere nazaran hızla soğuyacak ve buna bağlı olarak farklı çekme süreleri mikro içyapıda gerilmeler oluşturacaktır. Fakat ince kesitler ise kaburgalar yardımıyla desteklenerek, çarpılma ve distorsiyon oluşumları saf dışı bırakılabilir.

#### **7.9.8. Çökmeler ve Çöküntü Oluşumları**

Enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle üretilen plastik parçaların kalıp setinden ayrılmadan hemen önce yetersiz düzeyde soğumalarından kaynaklanarak, bilhassa et kalınlığı gereğinden fazla olan plastiklerde çökme veyahut çöküntüler oluşabilir. Parça

gövdesindeki et kalınlıkları ile feder kalınlıkları aralarındaki büyük farklılıktan dolayı bölgesel kütle artışları, oluşan kısımlarda çökmeler veya çöküntüler gözlemlenebilir. Yüzeyde oluşan çöküntülerde ise sadece enjeksiyon proses parametrelerini değiştirmek kalıcı bir çözüm değildir, çünkü bu tip hatalar plastik hammadde malzeme özellikleri ve ürün tasarımlarından da kaynaklanmaktadır.

Diğer taraftan plastik ürünün kalınlığı gereğinden fazla olan lokal bölgelerde soğuma aşamaları sırasında çekme hadisesi gerçekleştiğinde, şayet ütüleme basıncı yetersiz olursa çekme yapan plastik hammadde malzemesinin yerini arkadan gelen yeni materyal doldurmadığı takdirde yüzeylerde çökme ve çöküntü oluşumları gözlemlenir. Bu tip sorunlarla karşılaşıldığında mal gramajı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı ve prosesinin süresi kademeli olarak optimal düzeyde arttırılmalıdır. Ayrıca mal yolluk çap değerinin gereğinden küçük olması veyahut kalıp grubu dizaynında mal akış yolunun fazla uzun oluşu; eriyik akış hattı boyunca basınç kayıplarına yol açabileceğinden plastik yüzeyinde yine çökme oluşumları gözlemlenebilir. Bu duruma bağlı olarak yolluk çap değeri optimum seviyelerde tutulmalı ve hatta ideal eriyik hammadde akışının sağlanabilmesi için yolluk girişleri plastik parçanın en kalın bölgesinden gerçekleştirilmelidir [54-56]. Aşağıdaki Şekil 7.10.'da plastik parça tasarımından kaynaklı ve yüksek eriyik hammadde sıcaklıklardan dolayı plastik parçanın yüzeyinde oluşan çökme ve çöküntü oluşumlarına örnek verildi.



Şekil 7.10. Bir plastik parçada oluşan çökme ve çöküntüler.

### 7.9.9. Plastiklerde Enjeksiyon Sonrasında Gözlemlenen Soyulmalar

Plastik enjeksiyon sonrası üretilen parça yüzeylerinde soyulmalar ve ya ince katmanların yüzeylerden herhangi bir sebepten ötürü kalkması hadiseleri yaşanabilir.

Ergimiş plastik hammadde ve enjeksiyon hızının yüksek olduğu durumlarda; enjekte prosesleri, soğuk kalıp yüzeylerine yapıldığı takdirde katılma fazı dış yüzeyde gereğinden hızlı olacağından arkadan gelen diğer eriyik sıcak hammadde akışı ile tam olarak bütünleşme gerçekleşemez. Diğer yandan tam olarak ergimemiş plastik hammadde homojen yapıda bir eriyik oluşturamadığından enjeksiyon yöntemleri ile üretilen bu tarz plastik parçalarda soyulmalara rastlanabilir. Bu çerçevede eriyik plastik hammadde sıcaklıkları, kalıp setinin sıcaklık değerleri ve enjeksiyon hız parametreleri optimize edilmelidir.



**Şekil 7.11.** Enjeksiyon sonrasında plastik parçada karşılaşılan soyulma hataları.

Şekil 7.11.'de enjeksiyon sonrasında gözlemlenen plastik parçadaki soyulma problemine ait bir örnek verildi. Herhangi bir plastik malzemeye diğer başka bir plastik materyal karışması durumunda üretilen parçalarda veya diğer yandan özellikle mal besleme ağız çevresinde soyulmalar gözlemlenebilir. Ayrıca enjeksiyon prosesleri sırasında gereğinden fazla miktarda tüketilen silikonsuz kalıp ayırıcılar yine proseslerin sonrasında soyulmalara yine dolaylı olarak sebebiyet verebilir. Diğer taraftan plastik hammadde reçetelerine eklenen kırma plastik malzemeler ve masterbatch gibi ek katkıların karışım oranları optimum seviyelerde tutulduğu takdirde parçada oluşan soyulma hataları minimuma indirgenir [55].

## 8. KALİTE KONTROL VE ENTEGRE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Değer Akış Haritalama, 5S, Kaizen, Kanban, Poka Yoke, Jıdoka, SMED, TPM, SMAT ve ayrıca diğer yalın üretim felsefelerinin saha adaptasyonu; kalıcılığı ile sürdürülebilirliği hat kurulum aşamalarında doğrudan üretim parkurlarına entegre edildiği takdirde yapılan çalışmalar neticesinde plastik enjeksiyon hat dengeleme verimliliği yaklaşık olarak %10 oranında arttırılabilir. Ayrıca otonom sistemlerin tesis adaptasyonu ve buna bağlı olarak veri toplama sistematigi ile sürdürülebilir verimlilik takibatı için kalıp grubu bazında TEE (Toplam Ekipman Etkinliği (OEE)) takip sistematigi kültürü; üretim tesisi, saha, hatlar ve hatta istasyonlara tam manasıyla doğrudan entegre edilerek, operasyonel mükemmellik sistemi bir kültür haline getirilmelidir [57].

ROHS COMPLIANT, FDA (U.S. Food and Drug Administration/Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi), WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment/Elektrik ve Elektronik Atık Cihazlar), Reach Compliance, Ecolabel, ECO FIRST yasal mevzuat regülasyon uygunluk kriterlerini sağlayarak; plastik enjeksiyon ile optimum ürün eldesi oldukça önem teşkil etmektedir. Tablo 8.1., Tablo 8.2. ve Tablo 8.3.'te görüldüğü üzere plastiklerin özellikle yoğunluklarına bağlı olarak PP, PE, LDPE ve HDPE su ile yüzdürme deneyi testlerinde "yüzen plastik malzemeler"; ancak PA, ABS, PC, PVC, PMMA, PS, Asetal, CA, PTFE, UF, MF ve PF ise su ile yüzdürülme testinde yoğunluklarından dolayı "batar polimer malzemeler" oldukları uygulanan deneysel yüzdürme testleri sonucunda tespit edilmiştir.

**Tablo 8.1.** Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - I [57].

Deneysel Yöntemler ve Test Türleri		PP	PA	ABS	PE	PC
1.	<b>Yüzdürme Deneyi Testi</b>	<i>Yüzer.</i>	<i>Yüzmez.</i>	<i>Yüzmez.</i>	<i>Yüzer.</i>	<i>Yüzmez.</i>
2.	<b>Yakma Deneyi Testi*</b>	İssiz yanıyor, yanarak damlıyor.	İssiz yanıyor, yanarak damlıyor.	Yanarak damlıyor.	İssiz yanıyor, yanarak damlıyor.	Sönüyor.
3.	<b>Söndükten Sonraki Koku Testi</b>	Sönmüş mum ve dizel kokusu.	Yanmış yün, saç kokusu.	Yanmış şeker, hava gazı kokusu.	Sönmüş mum kokusu, parafin.	Fenol kokusu.
4.	<b>Karbon Tetra Klorür Testi</b>	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.
5.	<b>Asetik Asit Esteri</b>	Yapışma yok.	Yapışma yok.	Yüzey yapışır.	Yapışma yok.	Yüzey yapışır.

\* Bu deney içinde yanmaya karşı stabilizatör bulunmayan normal plastik türleri için geçerlidir.

**Tablo 8.2.** Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - II [57].

Deneysel Yöntemler ve Test Türleri		PVC-Y	PVC-S	PMMA	POM
1.	Yüzdürme Deneyi Testi	Yüzmez.	Yüzmez.	Yüzmez.	Yüzmez.
2.	Yakma Deneyi Testi*	Sönüyor.	Sönüyor.	İssiz yanıyor.	İssiz yavaş yanıyor.
3.	Söndükten Sonraki Koku Testi	Genzi yakan bir koku, tuz asiti.	Genzi yakan bir koku, tuz asiti.	Meyve kokusu.	Genzi yakan bir koku, formaldehit.
4.	Karbon Tetra Klorür Testi	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.
5.	Asetik Asit Esteri	Yapışma yok.	Yapışma yok.	Yapışma yok.	Yapışma yok.

\* Bu deney içinde yanmaya karşı stabilizatör bulunmayan normal plastik türleri için geçerlidir.

**Tablo 8.3.** Bilinmeyen plastik malzemeleri tanımlamak için kullanılan test yöntemleri - III [57].

Deneysel Yöntemler ve Test Türleri		PS	PETP	CA	CAB	SB
1.	Yüzdürme Deneyi Testi	Yüzmez.	Yüzmez.	Yüzmez.	Yüzmez.	Yüzmez.
2.	Yakma Deneyi Testi*	İsli ve yanarak damlıyor.	İsli yanıyor, yanarak damlıyor.	İsli yanıyor, yanarak damlıyor.	İssiz yanıyor, yanarak damlıyor.	Yanarak damlıyor.
3.	Söndükten Sonraki Koku Testi	Yanmış şeker, çuha çiçeği, hava gazı kokusu.	Kokusuz.	Yanmış kağıt kokusu.	Yanmış kağıt kokusu.	Yanmış şeker, hava gazı kokusu.
4.	Karbon Tetra Klorür Testi	Yüzey yapışkan oluyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yapışkan olmuyor.	Yüzey yapışkan oluyor.
5.	Asetik Asit Esteri	Yüzey yapışır.	Yapışma yok.	Yüzey matlaşır.	Yüzey yapışır.	Yüzey yapışır.

\* Bu deney içinde yanmaya karşı stabilizatör bulunmayan normal plastik türleri için geçerlidir.

Diğer taraftan havacılık sektörünü yakından ilgilendiren ve oldukça önem teşkil eden bir başka test yöntemi ise basınç tesiri etkisi altında kırılma hassasiyeti ve doğrudan basınç altında maruz bırakılma durumu analizleri için gerçek "Tavuk Saldırısı Testi (Bird Strike Test)" yapılmakta, ani darbe oluşumları durumunda plastik malzemelerin sergilemiş oldukları karakteristik davranış özellikleri gözlemlenmektedir.

Ayrıca yine plastik malzemeler için ülkemizde Sağlık Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan güvenli BPA yüzdesi %6 mertebelerindedir. Öte yandan plastik PC damacanalarda; BPA (Bisfenol-A) katkı maddesinin migrasyon etkisi ölçüm testi

35°C'de sıcaklık tesir etkisi altında ve 60 gün bekletilme sonrasında migrasyon oranı %0.3 seviyelerinde olması istenmektedir. Diğer taraftan plastik kökenli damacanelerin içerisinde bulunan BPA maddesinin insan sağlığına zararlı hale gelmesi için ise yaklaşık 35°C sıcaklık etkisi altında, ortalama 60 gün bekletilme sonrası bir bireyin 1 günde 60 tam dolu damacaneyi aynı gün içerisinde içerek tüketmesi gerekmektedir. BPA olumsuz etkisinin yanı sıra normal bir kişinin belirtilen su tüketimini gerçekleştirebilmesi pek mümkün değildir.

Sonuç olarak toplumda klişeleşmiş plastikler sağlığa zararlıdır, ön yargısının aslında tam olarak doğru olmadığı akredite kuruluşlar tarafından yapılan onaylanmış test ve deneyler neticesinde kanıtlanmaktadır.



Şekil 8.1. Atık plastik materyallerin geri dönüşüm işaretleri ve sembolleri [62].

Şekil 8.1.'de atık polimer kökenli malzemelerin geri dönüşüm ve yeniden kazanımları için yapılan sınıflandırmalara ait işaret ve semboller verildi. Atık plastik materyallerin oluşumlarının önlenmesi ve azaltılması, yeniden kullanımlara öncelik verilmesi; geri dönüşüm ve yeniden kazanım yapılarak bertaraf edilecek plastik materyal atık miktarının azaltılmasıyla çevre ve insan sağlığının, hatta doğadaki tüm kaynakların korunmasını hedefleyen yaklaşıma günümüzde "sıfır atık" denilmektedir.

Sıfır atık yönetmelikleri kapsamında, sarı sıfır atık kutularına atılabilecek plastik atıklar; plastik şişeler ve plastik kutular, plastik kaplar, kapaklar ve torbaların atılması uygun görülmüştür. Mavi sıfır atık kutularına atılacak kağıt atıklar; kağıt ve karton kutular, gazeteler, dergiler, kitaplar, yazı ve çizim kağıtları ile kağıt peçeteler şeklindedir. Yeşil sıfır atık kutuları için cam atıklar; cam gıda kapları, meyve suyu şişeleri, konserve kavanozları ve bardaklar şeklindedir. Gri sıfır atık kutularına atılabilecek metal atıklar; içecek kutuları ve konserve kutuları şeklindedir. Kahverengi sıfır atık kutularına atılabilecek organik atıklar; muz kabukları, elma kabukları, sebze atıkları ve yaprakların atılması gerekmektedir. Siyah sıfır atık kutularına atılabilecek geri dönüşemeyen evsel atıklar; ıslak mendil, izmarit, çiklet, porselen tabak ve diğer süprüntüler şeklindedir. Açık gri sıfır atık kutularına atılabilecek yemek artıkları

atıkları; bu atık kutularına her türlü yemek artıkları atılabilmektedir. Son olarak mor sıfır atık kutularına atılabilecek ekmek artıkları atıkları ise her türlü ekmek ve unlu mamul çeşitlerinin atılabilmesi mümkün kılınmıştır [62].

Sonuç olarak ülkemiz plastik üretiminde; Avrupa'da birinci, Dünya'da ise altıncı sırada yer almaktadır. Diğer taraftan dünya pazarındaki plastik atık materyal geri dönüşüm ekosisteminde gelecekte plastik ürünler tıpkı cam şişeler gibi depozitolu olarak yapılandırılabilen toplumsal geri dönüşüm bilinçlendirme projeleri ile devreye alınarak; devlet kolu tarafında vergi sisteminde geri dönüştürülmüş atık malzeme kullanımından kaynaklı vergi indirimlerine gidilebilir, geri dönüşüm tesislerine hükümet tarafından para desteği (sübvans) sağlanabilir, geri dönüşüm atık toplama kutuları toplumsal alanlarda yaygınlaştırılabilir ve hatta aydınlanma için uyarıcı kamu spotları, ücretsiz seminerler ve uyarı tabelaları ile geri dönüşüm atık ekosistemi tam manasıyla canlandırılabilir.

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında enjeksiyon disiplini çatısı altında plastik parça üretimindeki temel felsefe; "Bu plastik nasıl tüm koşullar altında optimum imal edilebilir?" bakış açısının geri planında yer alan operasyonel proses kurguları ve diğer aksiyonları tüm detayları ile standartize etmeyi hedefleyen çalışmaları kapsamaktadır.

Üretilebilirlik ve imal edilebilirlik açısından gerekli olan tüm teknik detayların çözümlenmiş ve sırasıyla eskiz, tasarım, modelleme, analiz, tersine mühendislik ve simülasyon proseslerinin; üretilecek plastik parçanın fikir aşamasında oluşturulan eskiz taslak karalamalarından, nihai şahit prototip numune üretimine kadar ki geçen tüm operasyonel süreçlerde hedeflenen optimizasyon çalışmalarının temel kilometre yapı taşları bu tez çalışması kapsamında peyderpey oluşturulmuştur.

Ayrıca bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde plastiklerin enjeksiyon ile kalıplama sırasında karşılaşılan hataların; plastik hammadde malzemesinin seçimi, parça tasarımı, kalıp grubunun dizaynı, enjeksiyon operasyonel proses parametrelerinden kaynaklandığı açıkça görülmüştür. Diğer taraftan karşılaşılan hataların hangi nedenlerden ötürü kaynaklandığını öngörmek ve tespit etmek oldukça karmaşık spesifik bir yaklaşımdır.

### 9.1. Sonuçlar ve Tartışmalar

Yapılan araştırmalara baktığımızda yeryüzünde var olan petrol kaynaklarının yalnızca %4 oranındaki küçük bir kısmı plastik hammadde malzeme üretimi için kullanılmaktadır. Diğer taraftan plastik malzemelerde yaklaşık 17 000 farklı tür ve çeşitliliğin var olduğu, doğada çok azının kendiliğinden oluşabildiği bilinmektedir. Genel olarak plastikler petrol rafinerilerinde kullanılan ham petrolün işlenmesi sonucu arta kalan petrol artıklarından üretilmektedirler. Diğer yandan yine plastikler toz, granül veyahut reçine formunda üretilebilmektedirler.

Plastik parçalardan istenilen özelliklere haiz olarak spesifik karakteristik davranış özelliklerinin bir arada bulunduğu plastik hiyerarşisi göz önünde tutularak ve literatürdeki plastik malzeme dünyası sınıflandırma sisteminden faydalanılarak, fiyat/performans açısından optimum plastik hammadde seçimlerinin yapılması oldukça önem taşımaktadır. Öte yandan tedarik edilebilirlik kolaylıklarının yanı sıra standart plastik hammadde temininde malzemelerden beklenen temel karakteristik özelliklerin

ticari tanımlamaları bu tez çalışması kapsamında hazırlanan rehber tablolardan faydalanılarak, plastik hammadde ürün kimlikleri oluşturulabilir.

Plastik sektöründeki ana hammadde üreticilerinden veya tedarikçi firmalardan doğrudan temin edilen plastik hammaddelerin parti veyahut lot bazında malzeme reçeteleri ve teknik bilgi raporları (TDS) standardize edilmiş optimum seri üretim yapılabilmesi için her tedarik safhaları ile birlikte enjeksiyon öncesinde analiz edilmeli ve ayrıca bu veriler kullanılarak optimize edilen enjeksiyon proses parametrelerinin üretim aşamalarında aktif olarak kullanımlarının yanı sıra kalite kontrol ve diğer izlenebilirlik gerekliliklerine bağlı olarak arşivlenmelidir.

Plastik hammadde malzemelerinin doğası gereği mikro iç yapılarında nem tutabilme potansiyelinin varoluşuna bağlı olarak enjeksiyon proseslerinin hemen öncesinde eş zamanlı hammadde üreticileri tarafından belirlenen ve analiz raporlarında da yer alan sıcaklık ve süre değerlerine uygun olarak hammadde kurutma operasyonlarının uygulanması oldukça önem taşımaktadır. Kurutma prosesinin akabinde ise MFI (Eriyik Akış İndeksi) değeri ile bağıntılı olarak renklendirici katkılar, çökme ve çarpılmaların önlenmesi amacıyla kimyasal takviyeler, tutuşma, alev alma ve yanma geciktirici ek katkı materyalleri, oksidasyon önleyici katkılar ve diğer plastik malzemedeki beklenen spesifik karakteristik özelliklerin sağlanması amacıyla ilave edilen katkı materyalleri ideal dozajlama prosesleri aracılığıyla enjeksiyon prosesi öncesindeki hazırlık süreçlerinde optimum hammadde karışımları hazırlanmalıdır. Ayrıca yeniden kazanım yapılan geri dönüşüm kırma plastiklerin malzeme cinsine bağlı olarak plastik ana hammaddenin içeriğine maksimum %25~30 oranını aşmayacak şekilde ve hatta eğer mümkünse ana hammadde granül çaplarına en yakın boyutlarda kırma plastik materyallerin tekrardan yeniden kazanımları yapılabilir.

Tasarımcılar, plastiklerin strüktürlerine bağlı olarak spesifik karakteristik davranış özelliklerini iyi bilmelidirler. Öte yandan bir plastik parçanın tasarım aşamalarında endüstriyel tasarımcının tasarım çizgilerini koruyarak parçanın mukavemetini ve fonksiyonelliğini sağlayacak yapıyı inşa etmek, diğer taraftan plastik parçanın üretileceği kalıp setinin rijit bir şekilde çalışabilmesi için temel kalıp dizayn kurallarının bilinmesinin yanı sıra imalat proseslerinin daima göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bir plastik parçanın tasarımı süreci yüksek standartlarda kalite kavramını baştan sona kadar etkileyen en temel aşamadır. Bu doğrultuda bir plastik ürünün tasarımı yapılırken; kalıplanabilirliği, doğru hammadde malzemesinin seçimi ve diğer yandan enjeksiyon prosesleri sırasında oluşabilecek tüm hatalar göz önünde bulundurulmalıdır.

Fakat ürün tasarımı ne kadar başarılı olursa olsun, istenilen kalite standartlarında ürün elde etmek tamamen doğru bir kalıplama sürecine bağlıdır.

Plastik parçanın tasarım aşamalarında; belirlenmiş olan et kalınlıkları mümkün olduğunca eşit veya yakın değerlerde tutulmaya çalışılmalıdır. Aksi takdirde enjeksiyon süreçleri tamamlanıp, parça kalıp setinden dışarıya çıkarıldıktan sonra farklı et kalınlıklarına sahip plastik parçalarda; çökmeler, çöküntüler ve istenmeyen çarpılma hataları yaşanabilir. Çünkü termal genleşme katsayısı yüksek olan plastiklerde ince kalınlık değerlerinde ki cidarlar hızlı soğurken; öte yandan kalın et kalınlıklarındaki cidarlar daha yavaş soğur ve buna bağlı olarak büzölmeler gözlemlenebilir.

Enjeksiyon proseslerinde baş rolde yer alan plastik hammaddelerin kalıp kavite boşluğundaki hareketlerinin kısıtlanması; eksik mal dolumu, yanma oluşumları, çökme ve çöküntüler gibi plastik üretim sürecindeki istenmeyen hata oluşumlarının yaşanmaması maksadıyla tasarım aşamalarında optimum parça duvar et kalınlıkları belirlenirken; literatürdeki veriler kullanılarak bu tez çalışması kapsamında hazırlanan tablo değerlerine bakıldıktan sonra aksiyon alınmalıdır.

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve ayrıca enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle üretilecek plastiklerde; literatürdeki kaynaklardan elde edilen veriler doğrultusunda ve bazı ihmaller ile geometrik toleranslar dahilinde; pratik hesaplamalarda plastik parça et kalınlıkları "0.5~4 mm" aralığında alınabilir. Ancak diğer yandan yine bu çalışma kapsamında optimize edilerek, önerilen plastik parça referans et kalınlık değerleri Tablo 9.1.'de verildi.

**Tablo 9.1.** Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan plastik hammadde malzemeleri için önerilen et kalınlıkları değerleri.

Plastik Malzemelerin Sembolleri		Plastik Hammadde Malzemesinin Açık Adlandırması	Bu Çalışma Kapsamında Önerilen Et Kalınlık Değerleri (t) [mm]
1.	PP	Polipropilen	0.6 ~ 3.81 mm
2.	PA	Poliamid (Naylon)	0.38 ~ 2.92 mm
3.	ABS	Akrilonitril Butadien Stiren	0,76 ~ 2,28 mm
4.	PE	Polietilen	0.5 ~ 5.08 mm
5.	PET	Polietilen Tereftalat	0.63 ~ 3.17 mm
6.	PC	Polikarbonat	1.01 ~ 3.18 mm

Yine bu çalışma kapsamında literatürdeki verilerin optimizasyonu sonucu plastik parçaya entegre edilen kaburga (destekler) eğim açıları her bir yüzeyde minimum

"0,5°~2°" aralığında verilmelidir. Öte yandan bazı ihmaller göz önünde bulundurularak; bu eğim açısı değeri endüstriyel uygulamalarda; genellikle pratik olarak "1°" alındığı yapılan araştırmaların neticesinde tespit edilmiştir. Ayrıca kaburga diplerinde oluşan gerilme yığılmalarını önlemek amacıyla geçişlerdeki köşe yarıçap (radyüs) değeri minimum "0,4 mm" alınmalı ve buna bağlı olarak enjeksiyon sırasında eriyik hammaddenin akışı idealleştirilmiş olur. Diğer taraftan plastik parça tasarım sürecinde; ayırım çizgilerine dik olan diğer yüzeylerin kalıp kavite boşluklarından herhangi bir sorun yaşanmadan rahatlıkla çıkabilmesi için mutlaka eğim verilmelidir.

Enjeksiyon prosesleri ısı tesiri altında gerçekleştirildiğinden plastiklerde doğası gereği çekme hadisesi yaşanır. Bu durumun bertaraf edilmesi ve istenilen geometrik tolerans hassasiyetlerini yakalamak amacıyla, modelin tasarımı tamamlandıktan sonra kalıp kavite boşluklarının dizaynına geçilmeden önce çekme yüzdesi kadar plastik parça modelinin ölçeği; bu tez çalışması kapsamında hazırlanan tablo değerleri kadar büyütülmelidir.

Plastik hammadde malzemeleri enjeksiyon esnasında sıcakken, kalıp setinden ürün olarak dışarı çıkarıldıklarından itibaren soğuk ortam ve atmosferik koşulların etkisiyle hızla büzülürler. Yine bu durumun engellenmesi amacıyla her bir plastiğin çekme oranı değeri tablo halinde çalışma kapsamında oluşturulmuştur.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar çerçevesinde plastik enjeksiyon kalıpcılığı detaylı olarak ele alınmış, irdelenmiş ve analiz edilmiştir. Diğer taraftan enjeksiyon sürecinde aktif olarak rol oynayan plastik hammaddeler, kalıp setinin tasarımı ve dolaylı olarak etki eden enjeksiyon prosesleri hakkında bir kalıp tasarımcısının bilmesi gereken en temel düzey bilgilere kadar tez çalışmasında yer verilmiştir. Ayrıca kalıp grubu geometrisinin oluşturulması, kavite konumlandırılması, yolluk sistemleri, iticilerin dizilimi, maçaların yerleşimleri ve soğutma sistemi gibi kalıp grubunu oluşturan tüm elemanlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

İncelenen kalıp setlerinde; keskin kenar ve köşe bırakılması halinde enjeksiyon sırasında eriyik plastik hammadde akışının engellendiği ve bu duruma bağlı olarak malzemede oluşan gerilme yığılmalarının etkisiyle dayanım direncinin düştüğü görülmüştür.

Günümüzde plastik sektörü dünyada revaçta olan sektörlerin başında gelmektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak hacim kalıplarında plastiklerin şekillendirilmesi sıcak yolluk sistemlerinin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Diğer yandan sıcak yolluk sistemleri bir enjeksiyon makinesinin kapasitesini yaklaşık olarak

%20 arttırmaktadır. Ancak plastik enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk sistemlerinin kullanımı; bilgi, tecrübe, deneyim ve yetkinlik gerektiren bir sistem olmalarının yanı sıra ilk bakışta yatırım maliyetleri yüksek gibi görünse de bu sistemlerin işçilikten, zamandan ve ıskarta malzeme oluşumlarından sağlamış oldukları tasarrufları göz önünde bulundurduğumuzda, sıcak yolluk sistemlerinin daha tasarruflu ve ayrıca yüksek kalitede üretim yapabilmemize imkan sağlayan entegre bir sistem olduğu açıkça görülmektedir.

Soğutma sistem dizaynında; soğutma kanallarının çapı, uzunluğu ve ıslatılan hacmi, soğutma kanallarının kalıp setindeki yerleşimleri, soğutma hattı toplam kanal uzunlukları, soğutma sıvısının kimyasal bileşimi, soğutma sıvısı sıcaklıkları ve soğutma suyu hızının yanı sıra plastik parça duvar et kalınlıklarına bağlı olarak plastiklerin soğuma süreçleri soğutma sistem tasarımındaki en temel parametreleri kapsamaktadır. Ayrıca plastik parçada meydana gelen kalıcı iç gerginlikler, çarpılmalar (distorsiyon oluşumları), çökmeler, yanma oluşumları ve değişken çekme oranlarının engellenmesi amacıyla optimal soğutma sistem tasarımı oldukça önem taşımaktadır.

Kalıp bloklarının ham haldeki dış gövde veya hami ölçüleri, enjeksiyon tezgah tablalarının maksimum %75'i kadar alanı kaplamalıdır. Ancak diğer taraftan batma, kalıp yarımalarında ezilme gibi kalıcı hasar oluşumları ve enjeksiyon tezgah gövdesinde istenmeyen deformasyonlardan kaçınmak amacıyla minimum kalıp ölçülerine de özellikle dikkat edilmelidir.

Kalıp setlerinin maliyetlerini oluşturan unsurlar sırasıyla; tasarım maliyeti, işçilik maliyeti, kalıp seti işleme maliyeti, kalıp elemanlarının maliyetleri, idari ve işletme genel giderleri, amortismanlar ve diğer dolaylı giderler olarak tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda ise maliyet analizlerinde ki hata miktarını etkileyen en önemli unsurun işletmelerdeki teknolojik farklılıklardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda kalıp maliyetlerine etki eden en önemli faktörün kalıp grubunun işleme operasyonları maliyeti olduğu tespit edilmiştir.

Enjeksiyon hatalarının tespit edilmesinin ardından hangi parametrelerin revize edilerek çözümleneceği net olarak belirlenmelidir. Plastik enjeksiyon prosesleri tamamlandıktan sonra, özellikle kalıp grubu kaynaklı sorunların çözümlenmesinde ilave yüksek işçilik maliyetleri oluşacağından hataların önceden tespiti oldukça önem arz etmektedir. Bu bağlamda devam eden kalıp tasarım proseslerinde bilgisayar destekli analiz (CAE) programlarının kullanılmasıyla oluşabilecek hatalar sonucu ortaya çıkan istenmeyen ek maliyetler minimuma indirgenir.

Geçmişte geleneksel yöntemler kullanılarak imal edilen ilkel kalıp seti tasarımları; tezgâhlarda uzun yıllar çalışarak oluşturulan tecrübe ve deneyim sahibi yetkin teknik elemanlar tarafından işlenirken, diğer taraftan günümüzde bilgisayar destekli olduğunda ise kısa sürede eğitilebilen teknik bir personel tarafından kolaylıkla üretilmektedirler. Hatta yüksek kalite standartlarında ve geometrik toleranslar dahilinde hata oranı çok daha azdır. Öte yandan revize gerektiren kalıp setlerinde modifikasyon ve devşirmeler bu sayede çok daha kolay yapılabilmekte olup, CNC tezgâhlarda yüksek kalitede, kısa zamanda ve daha ekonomik olarak işlenebilmektedir. Ayrıca standart kalıp setlerini oluşturan diğer elemanların bilgisayar destekli program yazılımlarının arka planında halihazırda gömülü kütüphanelerden parça çağrılması, kalıp setinin modelleme proseslerinin zamanını kısaltırken; olası muhtemel hatalarında oluşumu bu sayede engellenir.

Üniversal tezgâhlarda karmaşık yapıların işlenmeleri çok uzun süren işçilik operasyonlarının gerekliliklerinin yanı sıra bazende istenmeyen sonuçlar ile karşılaşılabilir. Ancak bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programlarında tasarım aşamalarındaki hatalar en başta görülebilmekte ve gerekli önlemlerin önceden alınabilmesi mümkün kılınır. Öte yandan bilgisayar destekli dizayn ile prototip faaliyetleri en aza indirgenir ve bazı uygulamalarda prototip aşaması kısmen ortadan kaldırılabilir. Ayrıca bilgisayar destekli modelleme (CAD) ile entegre olarak çalışabilen bilgisayar destekli mühendislik (CAE) analiz programlarının kullanılmaya başlanmasıyla karmaşık ve kompleks hesaplamalar çok kısa zamanda çözümlenebilir. Son olarak başlangıçta ilk yatırım maliyetleri yüksek olan bu yazılım ve donanım sistemlerinin kullanılmasıyla birçok problemin önceden çözümü sağlanmaktadır.

Çağımızda kalıpcılık sektöründekiler; plastik üreticileri için operasyonel prosesleri iyileştirme ve geliştirme yollarını aramalı, tüketicilere ve son kullanıcılara haiz özel eşsiz çözüm önerileri sunmaları beklenmektedir. Öte yandan CAD, CAM ve CAE paket programları kullanılarak enjeksiyon kalıp setlerinin tasarlanması; zaman, işçilik, verimlilik, plastik ürün kalitesi ve maliyet açısından birçok fayda sağlamaktadır.

Tasarımı tamamlanmış kalıp setlerinin çelik seçimi aşamalarında; standart olarak halihazırda bulunabilen malzeme çeşitleri, mekanik reçeteleri, karakteristik özellikleri, işlenebilirliği ve malzemeye haiz diğer spesifik özellikler göz önünde bulundurularak optimum fiyat/performans çözümü sunan enjeksiyon kalıp çelikleri tercih edilmelidir. Diğer taraftan standartların dışında seçilen özel kalıp çeliklerinde ise malzeme fiyatı, ilk

yatırım maliyeti, işlenebilirlik ve tedarik süreçlerinden kaynaklanan problemlerle karşılaşılabılır.

Plastik enjeksiyon proseslerinde iki farklı türde ısı transferi gerçekleşmektedir. Birinci çeşit ısı transferi; eriyik plastik hammaddeden kalıp metali iç yüzeyine olan ısı girdisidir. İkincisi tür ise; kalıp iç yüzeyinden soğutma sisteminde sürekli olarak devri daim eden soğutucu akışkana transfer edilen ısı çıktılarıdır. Plastik enjeksiyon çevrim döngüsüne etki eden ısı transferi ile doğrudan bağlantılı olan işlenmemiş kalıp seti ham çelik malzemelerinin seçimleri bu nedenle oldukça kritik önem taşımaktadır. Ayrıca kalıp seti materyallerinin diğer bir görevi de eriyik plastik hammaddeden alınan ısı kütlelerini, bekletilmeden doğrudan dışarıya tahliye etmektir. Dolayısıyla optimal doğru kalıp çelik seçimleri yaklaşık olarak %20 oranında tasarruf sağladığı çalışma kapsamında yapılan incelemeler neticesinde tespit edilmiştir.

Kalıp yüzey sıcaklıkları, enjeksiyon ile kalıplama sırasında stabil tutulmalıdır. Plastik hammadde üreticileri tarafından belirlenen ve tez çalışması kapsamında optimize edilen enjeksiyon esnasındaki kalıp yüzey sıcaklıklarına ait rehber tablo çalışma kapsamında oluşturulmuştur. İdeal kalıp iç yüzey sıcaklıklarının her noktadaki sıcaklık değerleri ise belirli toleranslar dahilinde tutulmalıdır. Diğer yandan kalıp yarımalarının yüzeyleri arasındaki sıcaklık fark değeri maksimum 5°C'yi geçmemesi oldukça önem teşkil etmektedir.

Plastik enjeksiyon parametrelerinin optimizasyon aşamaları; spesifik, oldukça karmaşık, zor ve diğer taraftanda maliyetlidir. Çünkü sadece pratik bilgilerden yararlanılarak enjeksiyon parametreleri üzerinden yapılan değişiklikler ile kalıp seti kararlı formda ürün verene kadar devamlı olarak şahit numune baskısı alınmalıdır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında enjeksiyon proseslerinin plastik parça ve kalıp tasarımı ilişkileri, plastik enjeksiyon prosesleri ve hatta enjeksiyon tezgahlarına detaylı olarak değinilmiştir. Ayrıca yine bu kapsamda enjeksiyon sonrasında yaşanabilecek olası muhtemel sorunlar, hatalar, problemler ve bunların çözümlerine de reel örnekler verilmiştir.

Enjeksiyon ile kalıplama yöntemleriyle plastik imal operasyonlarında kararsız yapıda parça üretilmesi daima hata oluşum riski taşımaktadır. Buna bağlı olarak parti bazlı üretimlerde tamamıyla aynı karakteristik özelliklere sahip mamül üretilmemesine neden olan olumsuz etmenlerin uygulanan çeşitli mühendislik aksiyonlarıyla iyileştirilebildikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca satış sonrası hizmetler fazındaki problem

geri bildirimlerinin izlenebilirlik kolaylığı açısından lot veyahut parti bazında gerçekleştirilen tüm üretim faaliyetlerinin kayıtları düzenli olarak tutulmalıdır.

Plastik ürün gamındaki mamüllerin uluslararası pazarlarda rekabet edebilmesi amacıyla WEEE, FDA, Rohs Compliant, Reach Compliance, Ecolabel, Eco First ve diğer kuruluşlar tarafından uygunluk regülasyonlarının kriterlerini sağlamak oldukça önem taşımaktadır.

Son olarak tez araştırmaları sırasında karşılaşılan en önemli sorunların başında literatür çalışmalarında Türkçe doküman eksiklikleri olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu tez çalışması ile az da olsa bu eksikliğin giderilmesine katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

## 9.2. Öneriler ve Tavsiyeler

Şimdiye kadar genel olarak enjeksiyon prosesleri hakkında yapılan bir çok araştırmanın sadece plastik enjeksiyon tezgâhları üzerinden alınan parametre değerleri üzerinden yapıldığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan yapılan bu tez çalışması kapsamında ise enjeksiyonda basılan plastiklerin kalitesine etki eden optimize edilmiş bir çok enjeksiyon proses parametreleri hakkında oldukça geniş ve detaylı bilgiler verilmiştir.

Bir sistemi etkin ve tam olarak doğru bir şekilde kullanabilmek için parametrik sistem kurallarının sistem altyapısına eksiksiz olarak girilmesi, ayrıca diğer yandan kalite faktörünü etkileyen tüm etkenlerin analiz edilerek sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Bunun için plastik sektöründe çalışanların eğitim, seminer, kurs ve konferans gibi faaliyetlerle yetkinleştirilmesi ve aynı zamanda farklı bakış açıları kazandırılması oldukça önem taşımaktadır.

Globalleşmek ve evrensel olmak kavramlarının yanı sıra plastiklerin atık dönüşüm ekosistemi ve doğada yeniden kazanımlarında; geri dönüşüm tesisleri devlet kolu tarafından sübvansede edilmeli, devlet tarafından katma değer sistemleri yeniden yapılandırılmalı, geri dönüşüm yapılan materyallerin yeniden kullanımlarını sağlayan kurum ve kuruluşlarda vergi muafiyeti veyahut vergi indirimlerine gidilmeli, inşaat sektörü için yapı denetim yönetmeliklerinde atık ve geri dönüşüm kutu ünitelerinin yaygınlaştırılması kapsamında zorunlu yasal mevzuat düzenlemelerine gidilmeli, toplumsal geri dönüşüm ve atık projeleri arttırılmalı, ayrıca toplumun aydınlanması için kamu spotları ve ücretsiz seminerler düzenlenerek dünyanın geleceği adına geri dönüşüm ekosistemi yeniden canlandırılmalı ve daha hızlı aktifleştirilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- [1] İçer, E., 2014, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı Ve Tasarım Esaslarına Göre İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- [2] Aslan, E., 2013, Enjeksiyonla Kalıplamada Kalsit Katkılı Polipropilen Malzemelerde Geri Dönüşüm Oranının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Şahin, Ş. ve Yayla, P., 2005, Effects Of Testing Parameters On The Mechanical Properties Of Polypropylene Random Copolymer, Polymer testing, 24 (5), 613-619.
- [4] Cengiz, İ., 2012, Polietilen Ve Polipropilen Esaslı Ürünlerin, Plastik Enjeksiyon İşlem Parametreleri Ve Termodinamik Yöntemlerle Isı Yayılımının İncelenmesi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- [5] Uluer, O., 2008, Enjeksiyon ile Kalıplamada İşleme Parametrelerinin Katılmış Katman Oluşumuna Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 249-255, Ankara.
- [6] Yiğit, F. C., 2011, Plastik Enjeksiyon Makinelerinde Ve Ürünlerde Arıza Tespiti Ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [7] Can, C., 2008, Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme Ve Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [8] Szzoke, R., 2000, Injection Molding Of Plastics, With Large Differences In Wall Thickness, California State University, Proquest Dissertations Publishing, Fullerton, 1401559.
- [9] Kamber, Ö. Ş., 2008, Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç Ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Gültaş, A., Özdemir, A. & Uluer, O., 2005, Analysis Of Flow In Injection Molds, The Derivation Of The Governing Equations Fort He Mathematical Modeling Of The Flow Of Polymer Melt, G. U. Journal Of Science, 18, 707-721.
- [11] Bozdana A.T., Eyercioğlu, O., “Development Of An Expert System For The Determination Of Injection Moulding Parameters Of Thermoplastic Materials: EX-PIMM”, Journal Of Materials Processing Technology 128 (2002), 113-122.
- [12] Garcia, D., Courbebaisse, G. & Jourlin, M., 2001, Image Analysis Dedicated To Polymer Injection Molding, Image Anal Stereol, 20, 143-148.

- [13] Chen, H., Sundararaj, U. & Nandakumar, K., 2003, Experimental And Simulation Studies Of Heat Transfer In Polymer Melts, AICHE Journal, 49-6.
- [14] Gülpak, G. İ., 2013, Plastik Enjeksiyon Kalıp Soğutma Sistemi Enerji Tüketiminin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Hassan, H., Regnier, N., Le Bot, C. & Defaye, G., 2010, 3D Study Of Cooling System Effect On The Heat Transfer During Polymer Injection Molding, International Journal of Thermal Sciences, 49 (1), 161-169.
- [16] Nardin, B., Kuzman, K. & Kampus, Z., 2002, Injection Molding Simulation Results As An Input To The Injection Molding Process, Journal Of Materials Processing Technology, 130-131, 310-314.
- [17] Özçelik, B., Erzurumlu, T., 2005, "Determination Of Effecting Dimensional Parameters On Warpage Of Thin Shell Plastic Parts Using Integrated Response Surface Method And Genetic Algorithm.", International Communications in Heat and Mass Transfer, 32, 1085-1094.
- [18] Ceritbinmez, Ferit, 2014, Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı Ve Üretilen Parçalarda Çapaklanmaya Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun.
- [19] Uyanık, N., Savaşçı, T., Akovalı, G., 2002, Plastikler Ve Plastik Teknolojisi, PAGEV Yayınevi, İstanbul, 196-248.
- [20] Akyüz, Ö.F., 1993, Plastikler Ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, İstanbul, 29-33.
- [21] Yaşar, H., 2001, Plastikler Dünyası, TMMOB Yayınları, Yayın No: 142/2.Baskı, Ankara, 3-12.
- [22] <https://www.campusplastics.com/>
- [23] Polyone, LG Chem, Total, Kumho, Repsol, Denka, Sabic, DOW, MITSUBISHI, Exxon, LOTTE, ALBIS, Ravago, Mobil gibi plastik hammadde üretici ve ayrıca tedarikçilerine ait TDS (Technical Data Sheet-Teknik Bilgi Formu) ve plastik hammadde reçetelerini kapsayan teknik katalog verileri.
- [24] Yüksek, M., Meran, C., 2013, Malzeme Bilgisine Giriş, Yayın No: MMO/545/2, Denizli.
- [25] Palabıyık, M., 2008, Polimer Esaslı Kompozitler İle Konstrüksiyon, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.

- [26] Palabıyık, M., 2008, Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç Ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Tunçer, K., 2019, Plastik Enjeksiyon Parametrelerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [28] Crawford, J., R., 1998, Plastics Engineering, Butterworth Heinemann, Third Edition, Oxford, Amsterdam, Boston, London, New York, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- [29] Özyiğit, Ö., 2005, Bilgisayar Destekli Kalıp Tasarımı Ve İmalat Aşamalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] Akyüz, Ö., Plastikler Ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları Dergisi, 29-33.
- [31] Aslan, A., 1997, Plastik Ürün Tasarım İlkeleri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] Menges, G., Mohren, P., D. V., 1995, How To Make Injection Moulds, 8. Edition, Hanser Publishers, Barcelona.
- [33] Collins, C., 1999, "Monitoring Cavity Pressure Perfects Injection Molding.", Assembly Automation 19, 197-202.
- [34] Kamber, Ö. Ş., 2003, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Bilgisayarla Tasarımı İle Pratikteki Farklılıklarının Karşılaştırılması Ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] Özdemir, A., Gürün, H., Dilipak, H., 2005, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 41-45.
- [36] Turaçlı, H., 2003, Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, Seçkin Yayınevi, İstanbul, 198.
- [37] Akkurt, M., 1996, Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat, Birsen Yayınevi, İstanbul, 274 s.
- [38] Demirer, A., 2002, Sıcak Yolluklu Kalıplara Genel Bir Bakış, PAGEV Plastik Dergisi, Ocak-Şubat, 90-93.

- [39] İri, İ., 2001, Sıcak Yolluklar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık Öğretmenliği, Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.
- [40] Turaçlı, H., 2003, Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, Pageyay Yayıncılık, İstanbul.
- [41] Turaçlı, H., 2000, Enjeksiyon Kalıpları İmalatları, Pagev Yayınları, 7.Cilt, İstanbul.
- [42] DME COMPANY firmasına ait teknik ürün katalogları.
- [43] Teke, E., Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB, Ankara, 1986.
- [44] Çelik, Y.H., 2010, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Modellenmesi İçin Bir Paket Programın Geliştirilmesi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 33-35.
- [45] Ellez, İ., Plastik Kalıplarında Modern Parlatma Tekniği, Metal ve Makine Dergisi, Temmuz, 1992.
- [46] Alkaya, A.R., 1998, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] Aydın, M., 2017, Çelik Malzemeler, AYBİTAK Bilim ve İleri Teknolojiler Araştırma Geliştirme, İstanbul.
- [48] <https://www.uddeholm.com/turkey/tr/>
- [49] İçten, B., 2004, Plastik Enjeksiyonda Basınç, Sıcaklık, Zaman Hız Gibi Faktörlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 95.
- [50] Pınar, E., 2010, Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [51] Fischer, J.M.,2003, "Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage", Plastics Design Library Handbook Series, Norwich, USA.
- [52] NEGRİ BOSSI Molding Machines And Moulds For Plastics, 1987.
- [53] HASTEK Plastik Ve OPAKSAN Firma Teknik Dökümantasyonları İle Teknik Bilgi Katalogları, İstanbul, İzmir, Türkiye.

- [54] Köse, E., 2006, Plastik Enjeksiyonda Proses ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [55] Loostma FA, 1997, Fuzzy Logic For Planning And Decision Making, Kluwer Academic Publihers, Dordrecht, Boston, London.
- [56] Paçacı, S., 2011, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık Ve Sinirsel Bulanık Denetleyiciler İle Asenkron Motorların Hız Denetimi İçin Simülatör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- [57] Çakmakçı, T., A., 1986, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı: 314.
- [58] Tugaytimür, C., 2016, Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarım Kurallarının Analizi ve Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- [59] İdrizoğlu, İ., 2010, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [60] Öztürk, T., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığı İşleminde Sıcak Yolluk Sistemleriyle Soğuk Yolluk Sistemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- [61] Erdemir, O., Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Bilgisayar Destekli Tasarlanması, Örnek Modeller Üzerinde Optimum Yolluk Ve Soğutma Sistemlerinin Uygulama Esasları, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- [62] PAGÇEV (Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı), 2019, Şimdi Geri Dönüşüm Zamanı Dergisi.