



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON  
KALIPLAMA TEKNİKLERİ  
VE  
ÖZEL UYGULAMALAR

Şafak YELKENCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2008



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON  
KALIPLAMA TEKNİKLERİ  
VE  
ÖZEL UYGULAMALAR

Şafak YELKENCİ

Prof. Dr. Agah UĞUZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2008



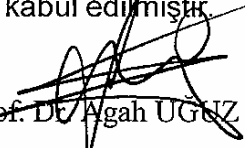
T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON  
KALIPLAMA TEKNİKLERİ  
VE  
ÖZEL UYGULAMALAR

Şafak YELKENCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 22/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu  
ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Agah UĞUZ  
Danışman

  
Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

  
Prof. Dr. Recep EREN

## ÖZET

Günümüz modern enjeksiyon tekniği yüksek kalitede ve uygun fiyatlı, üretimin isteklerini karşılayacak nitelikte olmalıdır. Bu da ancak iş parçası geometrisinin, hammaddenin, enjeksiyon işleminin ve takımların iyi seçilip ayarlanması ile mümkündür.

Bu çalışmada bir ürünün geliştirme ve kontrol aşamasında olası durum ve zorluklara karşı okuyucunun karşılaşabileceği zorluklara dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Doğru bir bileşim yakalayabilmek için malzeme seçimi ve temel hesaplamaları da içerecek şekilde geniş örneklerle öneriler verilmiş ve yol gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca konstrüksiyon aşaması oldukça geniş bir şekilde ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik enjeksiyon yöntemleri, plastik malzemeler, plastik parça tasarımı

## **ABSTRACT**

Actual modern injection techniques should have high quality, appropriate cost and should be carry out requirements of the production. In order to perform that part geometry, material, injection method and tools should be adjusted well.

In this study, it has been tried to call researcher attention to possible situations and possible difficulties at product development and control phase. In order to get accurate composition it has been tried to give comprehensive samples included material selection and basic calculations. Also construction phase has been examined quite widely.

**Keywords:** Plastic injection methods, plastic materials, plastic part design

## İÇİNDEKİLER

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| ÖZET.....                                     | i         |
| ABSTRACT.....                                 | ii        |
| İÇİNDEKİLER.....                              | iii       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                          | v         |
| TABLolar DİZİNİ.....                          | ix        |
| <b>1 GİRİŞ</b>                                | <b>1</b>  |
| <b>2 KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>3 PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ</b>        | <b>5</b>  |
| 3.1 PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİNİN ESASI ..... | 5         |
| 3.2 ÖZEL PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ.....   | 6         |
| 3.2.1 Bileşik Enjeksiyon.....                 | 6         |
| 3.2.2 Kayar Kalıplı Enjeksiyon.....           | 10        |
| 3.2.3 Gaz Enjeksiyon.....                     | 11        |
| 3.2.4 Ardışık Enjeksiyon .....                | 12        |
| 3.2.5 Sıralı Enjeksiyon.....                  | 13        |
| 3.2.6 GTS Enjeksiyon .....                    | 14        |
| <b>4 PLASTİK MALZEMELER</b>                   | <b>16</b> |
| 4.1 MALZEME SEÇİMİ .....                      | 16        |
| 4.1.1 Teknik-Fiziksel Malzeme Seçimi.....     | 17        |
| 4.1.2 Maliyet Odaklı Malzeme Seçimi.....      | 20        |
| 4.2 TERMOPLASTİK MALZEMELER.....              | 20        |
| <b>5 PLASTİK PARÇA TASARIMI</b>               | <b>24</b> |
| 5.1 ÇEKME .....                               | 27        |
| 5.2 ÇARPILMA.....                             | 31        |
| 5.3 ÇIKMA AÇISI .....                         | 37        |
| 5.4 TERS AÇI.....                             | 40        |
| 5.5 CİDAR KALINLIĞI .....                     | 47        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| 5.6      | RİJİTLİK ARTTIRICI ELEMANLAR.....                   | 51         |
| 5.6.1    | <i>Federler</i> .....                               | 51         |
| 5.6.2    | <i>Oluklu Yapılar</i> .....                         | 58         |
| 5.6.3    | <i>Çıkıntılı Yapılar</i> .....                      | 59         |
| 5.6.4    | <i>Dalgalı Yapılar</i> .....                        | 59         |
| 5.6.5    | <i>Özel Profiller</i> .....                         | 60         |
| 5.7      | GÖBEKLER.....                                       | 61         |
| 5.8      | DELİKLER.....                                       | 66         |
| 5.9      | KÖŞELER VE RADYÜSLER.....                           | 69         |
| 5.10     | KALIP AYRIM YÜZEYİ.....                             | 75         |
| 5.11     | TOLERANSLAR.....                                    | 78         |
| 5.11.1   | <i>DIN 16901'e göre Toleranslar</i> .....           | 78         |
| 5.12     | TIRNAKLI BAĞLANTILAR.....                           | 81         |
| 5.13     | YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....                              | 83         |
| <b>6</b> | <b>PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI</b>            | <b>86</b>  |
| 6.1      | PÜSKÜRTME BURCU.....                                | 88         |
| 6.2      | DAĞITICI SİSTEMLER.....                             | 88         |
| 6.3      | YOLLUK SİSTEMLERİ.....                              | 90         |
| 6.4      | SOĞUTMA.....                                        | 95         |
| 6.5      | HAVALANDIRMA.....                                   | 97         |
| <b>7</b> | <b>UYGULAMALAR</b>                                  | <b>100</b> |
| 7.1      | CAM ELYAFIN ÇEKME DAVRANIŞINA ETKİSİ.....           | 100        |
| 7.2      | TUTMA BASINCININ ÇEKME DAVRANIŞINA ETKİSİ.....      | 110        |
| 7.3      | ÇEKME MİKTARININ TOLERANSLANDIRMA İLE İLİŞKİSİ..... | 111        |
|          | <b>SONUÇLAR</b>                                     | <b>115</b> |
|          | <b>KAYNAKLAR</b>                                    | <b>117</b> |
|          | <b>TEŞEKKÜR</b>                                     | <b>119</b> |
|          | <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                     | <b>120</b> |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3-1: Tipik enjeksiyon makinesinin şematik görünümü                        | 5  |
| Şekil 3-2: Çok renkli-çok parçalı enjeksiyon şematik görünümü                   | 8  |
| Şekil 3-3: Co-enjeksiyon şematik görünümü                                       | 9  |
| Şekil 3-4: Kayar kalıplı enjeksiyon şematik görünümü                            | 11 |
| Şekil 3-5: Gaz enjeksiyon şematik görünümü                                      | 12 |
| Şekil 3-6: GTS enjeksiyon şematik görünümü                                      | 14 |
| Şekil 4-1: İş parçasından istenen özelliklerin şematik gösterimi                | 17 |
| Şekil 4-2: Termoplastiklerin mikro yapısı                                       | 21 |
| Şekil 4-3: Amorf ve yarı-kristaller için kayma modülünün sıcaklıkla değişimi    | 23 |
| Şekil 4-4: Cam katkılı amorf ve yarı-kristallerin sürünme dayanımındaki değişim | 23 |
| Şekil 5-1: Bazı termoplastiklerin maksimum ve minimum çekme değerleri           | 25 |
| Şekil 5-2: Ölçüsel doğruluğa etki eden faktörler                                | 25 |
| Şekil 5-3: Zaman ve neme dayalı nem tutma diyagramı                             | 27 |
| Şekil 5-4: Amorf ve kristal polimerlerin PvT diyagramları                       | 28 |
| Şekil 5-5: Çekmenin tasarım ve işlem parametreleri ile ilişkisi                 | 29 |
| Şekil 5-6: Cam katkılı plastiklerin çekme davranışı                             | 30 |
| Şekil 5-7: Katkılı ve katkısız malzemelerin çarpılma davranışı                  | 32 |
| Şekil 5-8: Katkılı ve katkısız malzemelerin çarpılma davranışı                  | 32 |
| Şekil 5-9: Soğutmanın çarpılmaya etkisi                                         | 33 |
| Şekil 5-10: Cidar kalınlığının çarpılmaya etkisi                                | 34 |
| Şekil 5-11: Asimetrik geometrinin çarpılmaya etkisi                             | 35 |
| Şekil 5-12: Açısal Çarpılma Mekanizması                                         | 35 |
| Şekil 5-13: Açısal Çarpılmayı Önleyici Öneri                                    | 36 |
| Şekil 5-14: Kalın ve ince parçalarda çarpılma mekanizması                       | 36 |
| Şekil 5-15: Çıkma Açısının Şematik Gösterimi                                    | 38 |
| Şekil 5-16: Bölgelerin derinliklerine göre min. çıkma açıları                   | 39 |
| Şekil 5-17: Maçasız alternatif örneği                                           | 41 |
| Şekil 5-18: Dönel simetriye sahip parçalarda ters açı                           | 43 |
| Şekil 5-19: Katlanabilir çekirdek örneği                                        | 43 |
| Şekil 5-20: Kam pimli enjeksiyon şematik gösterimi                              | 44 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5-21: Maçalı ve maçasız alternatifler                                    | 45 |
| Şekil 5-22: Ters Açı Uygulamaları                                              | 46 |
| Şekil 5-23: Özel maça uygulamaları                                             | 47 |
| Şekil 5-24: Cidar kalınlıkları arasındaki kademeli geçiş önerisi               | 50 |
| Şekil 5-25: Cidar kalınlığından dolayı oluşan çökme ve hava boşlukları         | 50 |
| Şekil 5-26: Kötü feder tasarımının (kalınlık farkı) akışa etkisi               | 51 |
| Şekil 5-27: Feder oluşumu                                                      | 52 |
| Şekil 5-28: Feder Ölçüleri                                                     | 52 |
| Şekil 5-29: Federlerin pozisyonunun önemi                                      | 53 |
| Şekil 5-30: Federlerin cidarlar ile birleşimi ile ilgili alternatif öneriler   | 55 |
| Şekil 5-31: Enine ve boyuna feder uygulamaları                                 | 55 |
| Şekil 5-32: Kesitlerin burulma ve eğilme rijitliklerine göre karşılaştırılması | 56 |
| Şekil 5-33: Çökmeleri engelleyici feder alternatifi                            | 57 |
| Şekil 5-34 Köşebent ve destek federlerinin şematik gösterimi                   | 58 |
| Şekil 5-35: Düz oluklu yapı ile çapraz oluklu yapının şematik gösterimi        | 59 |
| Şekil 5-36: Çıkıntılı yapıların şematik gösterimi                              | 59 |
| Şekil 5-37 Dalgalı yapıların şematik gösterimi                                 | 60 |
| Şekil 5-38: Özel profillerin şematik gösterimi                                 | 60 |
| Şekil 5-39: Göbek ölçülerinin şematik gösterimi                                | 62 |
| Şekil 5-40: Göbeklerin yan cidarlara bağlantı şekilleri                        | 62 |
| Şekil 5-41: Göbekler arası mesafe-cidar kalınlığı ilişkisi                     | 63 |
| Şekil 5-42: Göbeklerin direkt yan cidarlara bağlanması                         | 63 |
| Şekil 5-43: Göbeklerin federlerle yan cidarlara bağlanması                     | 64 |
| Şekil 5-44: Göbeklerin dip formu                                               | 64 |
| Şekil 5-45: Göbek bağlantısı                                                   | 65 |
| Şekil 5-46: Göbek bağlantılarında dip formu ölçüleri                           | 65 |
| Şekil 5-47: Göbeklerin desteklenmesinde soğutmaya dikkat edilmesi              | 65 |
| Şekil 5-48: Kör deliklerin boyutlandırılması                                   | 66 |
| Şekil 5-49: Boydan boya deliklerin boyutlandırılması                           | 67 |
| Şekil 5-50: Deliklerin kenardan uzaklıkları                                    | 68 |
| Şekil 5-51: Kör deliklerin dip bölgeleri                                       | 68 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5-52: Köşe radyüsü formunun şematik gösterimi                           | 70  |
| Şekil 5-53: Radyüs-cidar kalınlığı oranının gerilim ile ilişkisi              | 70  |
| Şekil 5-54: Köşelerdeki şekil değişiminin şematik gösterimi                   | 71  |
| Şekil 5-55: Radyüs tiplerinin ön seçimine yönelik şematik gösterimi           | 72  |
| Şekil 5-56: Malzeme toplanmasını önleyici radyüs tipleri                      | 73  |
| Şekil 5-57: Köşe bölgelerinin kalıpta soğutulma alternatifleri                | 74  |
| Şekil 5-58: Radyüs uygulanamadığı durumlarda çentik alternatifi               | 75  |
| Şekil 5-59: Kalıp ayırım yüzeyinin belirlenmesi                               | 76  |
| Şekil 5-60: Kalıp ayırım yüzeyinin olası bırakabileceği izler                 | 77  |
| Şekil 5-61: Desenli yüzeylerde kalıp ayırım yüzeyi                            | 77  |
| Şekil 5-62: Kalıba Bağlı Olan Olmayan Ölçüler                                 | 79  |
| Şekil 5-63: Ters açı olmadan tırnaklı bağlantı tasarımı                       | 82  |
| Şekil 5-64: Tırnaklar uzun ve esnek olarak tasarlanmalıdır                    | 83  |
| Şekil 5-65: Yüzey pürüzlülük sınıflarının karşılaştırmalı fiyat ilişkisi      | 84  |
| Şekil 6-1: Standart enjeksiyon kalıp elemanları                               | 86  |
| Şekil 6-2: Standart bir püskürtme burcunun şematik gösterimi                  | 87  |
| Şekil 6-3: Dağıtıcı geometri alternatiflerinin şematik gösterimi              | 89  |
| Şekil 6-4: Tavsiye edilen dağıtıcı şekilleri                                  | 90  |
| Şekil 6-5: Yolluk yerleşiminin ergiyiğin akış davranışlarına etkisi           | 93  |
| Şekil 6-6: Yolluk yerleşiminin çekmeye ve cam elyaf yönelimine etkisi         | 94  |
| Şekil 6-7: Yolluk yerleşiminin çarpılmaya etkisi                              | 95  |
| Şekil 6-8: Soğutma kanallarının geometri ve pozisyonlarının şematik gösterimi | 97  |
| Şekil 6-9: Havalandırma kanallarının tasarlanması                             | 98  |
| Şekil 6-10: Havalandırma bölgelerinin kalıp içerisindeki yerleşimi            | 99  |
| Şekil 7-1: 100 x 100 x 2 ölçülerindeki eleman                                 | 100 |
| Şekil 7-2: Parçanın birim elemanlara ayrılması                                | 101 |
| Şekil 7-3: Mesh analiz sonuçları                                              | 102 |
| Şekil 7-4: PA6 için cam elyafın çekmeye etkisi                                | 103 |
| Şekil 7-5: PBT için cam elyafın çekmeye etkisi                                | 104 |
| Şekil 7-6: PC için cam elyafın çekmeye etkisi                                 | 105 |
| Şekil 7-7: Cam elyafın PA6 için çekmeye etkisine dair grafikler               | 107 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7-8: Cam elyafın PBT için çekmeye etkisine dair grafikler         | 108 |
| Şekil 7-9: Cam elyafın PC için çekmeye etkisine dair grafikler          | 109 |
| Şekil 7-10: PBT malzeme için sabit enjeksiyon hızındaki çekme değerleri | 111 |
| Şekil 7-11: 103 mm ölçü sapması incelenecek sis braket                  | 111 |
| Şekil 7-12: Mesh istatistikleri analize uygun sis braket                | 112 |
| Şekil 7-13: PC malzeme için çarpılma miktarı                            | 113 |
| Şekil 7-14: PA66 malzeme için çarpılma miktarı                          | 113 |
| Şekil 7-15: PBT malzeme için çarpılma miktarı                           | 114 |

## **TABLolar DİZİNİ**

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 4-1: Nicel malzeme seçimi kullanılarak malzeme seçimi              | 19  |
| Tablo 4-2: Maliyet odaklı malzeme seçiminde kriterler                    | 20  |
| Tablo 4-3: Amorf plastikler ve yarı-kristal plastiklerin karşılaştırması | 22  |
| Tablo 5-1: Bazı malzemeler için kalıp çıkma açıları                      | 40  |
| Tablo 5-2: Ters açı ile izin verilen max uzama değerleri                 | 42  |
| Tablo 5-3: Pratik tecrübelerle dayalı toleranslar                        | 80  |
| Tablo 5-4: Tolerans Aralıkları                                           | 81  |
| Tablo 7-1: Cam elyaf etkilerinin değişik malzeme gruplarına etkisi       | 106 |
| Tablo 7-2: PBT malzeme için sabit enjeksiyon hızında çekme değerleri     | 110 |

# 1 Giriş

Plastik parça tasarımı, günümüzde plastik parçaların özellikle otomotiv endüstrisinde kullanım alanlarının artması sonucu büyük öneme sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada özellikle otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmakta olan termoplastik malzemelerle ilgili olarak ilk olarak plastik enjeksiyon yöntemleri ele alınmış ardından termoplastik malzemeler genel olarak incelenmiş, plastiklerin çekme, çarpılma, çıkma açısı, ters aç, cidar kalınlığı v.b. özellikleri incelenerek plastik parçalarda sıklıkla kullanılmakta olan feder, delikler, köşeler ve radyüslerin, kalıp ayırma yüzeyinin nasıl tasarlanması gerektiğine dair pratik bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ile ilgili olarak da genel olarak bir plastik enjeksiyon kalıbının ana elemanları incelenmiştir. Püskürtme burcu, dağıtıcı sistemler, yolluk sistemleri, kalıp soğutma ve havalandırma konuları hakkında pratik bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

Uygulama olarak da 3 adet örnek yapılarak cam elyaf katkısının çekme davranışına etkisi incelenmiş, tutma basıncının çekme davranışına etkisi incelenerek çekme davranışının toleranslandırma ile ilişkisi incelenmiştir.

## 2 Kaynak Araştırması

Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ve plastik parça tasarımında dikkat edilmesi gerekenler ve bu doğrultuda alınabilecek konstrüktif önlemler konusu günümüzde oldukça fazla kullanılmakta olan plastik enjeksiyon yöntemini en etkin kullanabilme adına büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda sırası ile ilgili yöntemleri, malzemelerin genel karakteristiklerini, plastik parça tasarımında dikkat edilmesi gereken unsurlar ve alınabilecek konstrüktif önlemler ile kalıp tasarımında da yapılabilecek iyileştirmelerin neler olabileceği konusu hakkındaki çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

Thienel, P. (1997) Uygun parametreler ve malzemeler seçildiğinde kullanılan malzemeler arasındaki yapışma önlenbildiği belirtilerek tek kalıpta çok renkli malzemelerin bir arada kullanılabilirliğine vurgu yapılmıştır.

Schönwald, H. (1995) Plastik malzeme seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiği ve malzeme seçiminde nasıl bir yöntem izlenebileceği ile iş parçası üzerindeki bağlantı bölgelerine dair örneklemeler ve tırnaklı bağlantılar hakkında pratik bilgiler verilmiştir.

Niederhöfer, K.-H. (1989) Feder kullanımı ve optimize edilmesine, profil yapıların tasarlanmasında nelere dikkat edilmesi gerektiğine ve kalıp açlarına yönelik önerilere yer verilmiştir.

Steinbichler, G. (1997) Bileşik enjeksiyon tekniği çeşitli plastik hammaddeleri tek bir plastik mamul parça içerisinde kullanmayı mümkün kılabileceği ve bu hammaddelerin karakteristiklerinin de doğal olarak mamul parçaya yansarak çok fonksiyonlu iş parçalarının üretilebileceği konusunu ele almıştır.

Lappe, U. (1995) Federlerin oluşturulmasında, boyutlandırılmasında dikkat edilmesi gerekenler ile çökmeye imkan vermeyecek feder tasarımı için dikkat edilmesi

gerekenler ve kalıpta köşe bölgelerin soğutulmasına ilişkin öneriler verilmiş ayrıca cidar kalınlıkları ile cidar kalınlıkları arasındaki geçiş bölgelerinin şekillendirilmesine dair önerilere yer verilmiştir.

Schneider, W. (1995) Ters açılı bölgelerin oluşturulmasına dair öneriler verilmiş olup okuyucuya yol gösterilmiştir.

Menges, G., ,Mohren, P. (1989) Plastik malzemelerin ne kadar ters açılı ile çıkmaya izin verebileceğine dair bilgiler verilmiştir.

Homes, W. (1996) Sıralı enjeksiyonun genel karakteristiğine dair açıklamalar yapılmıştır.

Kunz, Land, Wierer, (1996) Nicel ve nitel malzeme seçiminin nasıl yapılacağını ifade ederek cidar kalınlığı, kalıp ayırma yüzeyi, çarpılmaya yönelik önerilere yer verilerek toleranslandırma hakkında bilgi verilmiştir.

Michaeli, W. Brinkmann, Th. Lessenich-Henkys, V. (1995) Cidar kanlığı ve tırnaklı bağlantılar hakkında öneriler verilmiştir.

Yurci M. E. (2005) Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ve malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Zoetelief W. F. (1995) Çok renkli enjeksiyon kalıplama tekniğine ait tanımlamaları içermektedir.

DSM Design Guide (2005) Plastik enjeksiyon kalıplama tekniğinde kullanılan malzeme özellikleri ve tasarım prensipleri incelenerek parça tasarımı ve kalıp tasarımı ele alınmıştır.

Bu çalışmada ise ilk uygulamada DSM Design Guide içeriğinde ele alınan malzeme özelliklerden çekme değerlerinin karşılaştırılması yapılmış, şekil 5-1'deki belirli malzemelere ait çekme değerleri Moldflow mpi v1.3 yardımı ile **100 x 100 x 2** mm ölçülerine sahip bir eleman aracılığı ile incelenmiştir. Ayrıca cam elyaf katkısının çekme değerlerini ne şekilde değiştirdiği incelenmiştir.

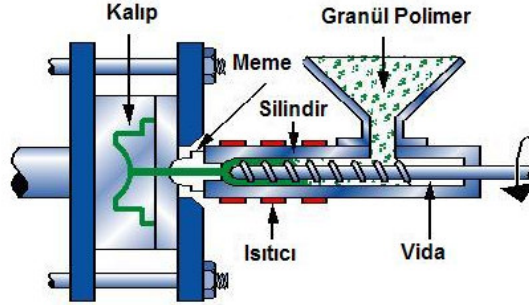
Uygulama 2'de tutma basıncının çekme değerleri üzerindeki etkisi diğer bütün etmenler sabit tutularak incelenmiştir.

Uygulama 3'te ise otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olan bir sis braketinin üzerinde sis braketinin (Şekil 7-11) tampona bağlanmasında kullanılan üst bağlama delikleri arasındaki **103 mm'lik** ölçünün PC, PA66 ve PBT plastik malzemeleri ele alınarak ne kadar çekmeye uğrayabileceği ve bu sapma değerlerinin Tablo 5-4'deki genel tecrübi tolerans değerlerini aşıp aşmadığı incelenmiştir.

### 3 PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ

#### 3.1 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Esası

Enjeksiyon yönteminin esası, ham malzemenin (granül-tanecik) ısıtılmakta olan bir alıcı silindirin bir ucundan alınıp diğer ucundaki memeden kapalı kalıp boşluğuna doğru itilmesi şeklindedir. Burada parça, kalıp gravürünün biçimini alarak katılaşmaktadır. Şekil 3-1’de tipik enjeksiyon yöntemi ve makinesi gösterilmektedir. Malzemenin ergitilmesi, karıştırılması, kalıbın içine enjekte edilmesi, kalıpların açılıp kapanması makinenin görevleri arasındadır. Makine kapasiteleri çok değişik olmakla birlikte genelde 25 gr dan birkaç kilograma; hatta 0.1 gr.dan 25-30 kg. a kadar değişebilmektedir (Yurci 2005).



Şekil 3-1: Tipik enjeksiyon makinesinin şematik görünümü (Yurci 2005)

Parça imalatının kısa süre içinde ve hassas toleranslar altında gerçekleştirebilmesi, hem çok küçük ve hem de nispeten büyük hacimli parçaların elde edilebilmesi, parça maliyetinin diğer işlemlere göre düşük tutulabilmesi, otomasyona elverişlilik, parçanın hemen hemen hiç bitirme işlemi gerektirmemesi, çok değişik yüzey, renk ve şekillerde imalatın mümkün olabilmesi, malzeme kaybının çok düşük seviyelere indirgenebilmesi, aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesi, parça kesiti içine metal veya metal olmayan desteklerin (insert) yerleştirilebilmesi, prosesin uygulanması sırasında çeşitli malzeme kompozisyonlarının

sağlanabilmesi, dikkatli bir proses uygulaması ile basılan parçaların iyi mekanik özelliklere sahip olabilmesi, enjeksiyon yönteminin başlıca avantajlı yönlerini oluşturmaktadır. Kalıp fiyatlarının, kaliteli enjeksiyon makinelerinin ve bunların yedek parçalarının pahalı olması, plastiğin değişken ve sürprizli davranışlar gösterebilmesi nedeniyle işleme hakimiyetin ve kontrolün tam anlamıyla sağlanamaması, malzeme kontrolünün makine tarafından direkt ve sürekli olarak yapılamaması, sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjlarının düşük olması, kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması vb. hususlar da dezavantajlı yönleridir.

Enjeksiyon yönteminin, pratikte hem termoplastik ve hem de termoset malzemelere uygulandığı görülmektedir. Ancak, söz konusu malzemeler arasında sertleşme prosesi yönünden farklılık bulunmaktadır. Termosetler olarak anılan termoset plastiklerde, malzeme önce sıvı duruma geçinceye kadar ısıtılıp kalıp boşluğuna basılmaktadır. Burada gerekli olan tersinmez kimyasal reaksiyon tamamlanıncaya kadar malzemenin belirli yüksek sıcaklık altında ve belirli bir süreçte tutulduğu görülmektedir. Daha sonra da, sıcak ancak sertleşmiş olan parçalar kalıptan çıkarılmaktadır. Termosetlerin enjeksiyonunda, termoplastiklerin enjeksiyonunun aksine, termostatik kontrollü elektrik direnç, ceketleri şekillendirme sıcaklığını  $\sim 150\div 200^{\circ}\text{C}$  arasında tutmaktadır. Kalıptan çıkarılan parçalar çoğu kez henüz sertleşmesini tamamlamamış durumdadır. Bununla birlikte, parçanın bünyesindeki artık ısı dolayısıyla bir veya iki dakikanın içinde sertleşip tam rijit hale geçmektedir.

Termoplastikten enjeksiyon parçalar genellikle çapak alma gerektirmemesine karşılık, termoset parçalar için bu operasyon oldukça sık uygulanmaktadır. Çünkü, bu malzemenin sıvı durumdaki viskozitesi düşük olduğundan kalıp ayırım yüzeyi boyunca ince bir film şeklinde çapak oluşturması mümkündür. (Yurci 2005)

## 3.2 Özel Plastik Enjeksiyon Yöntemleri

### 3.2.1 Bileşik Enjeksiyon

Bileşik enjeksiyon tekniği çeşitli plastik hammaddeleri tek bir plastik mamul parça içerisinde kullanmayı mümkün kılar. Bu hammaddelerin karakteristikleri de doğal

olarak mamul parçaya yansır. Böylelikle çok fonksiyonlu bir iş parçası üretilmiş olur ve kaynak, perçin ve yapıştırma gibi montaj işlemleri enjeksiyon işlemi ile yapılmış olur. Bu yöntemle yeni tasarım imkanları doğmuş aynı zamanda maliyet azaltıcı sonuçlar elde edilmiştir. (Thienel 1997)

Bileşik enjeksiyon yöntemi aşağıdaki farklı alt yöntemlere ayrılır:

Çok renkli çok parçalı enjeksiyon

Çok katmanlı enjeksiyon (Yardımcı enjeksiyon veya Sandviç tekniği)

Bileşik enjeksiyonun yararları:

Plastik hammaddelerin birleşmesinin herhangi bir montaj harcaması olmadan gerçekleştirilmesi

Renk farklılığının dekorasyon işlemlerinde veya aşındırıcı yazı işlemlerinin istenmediği yerlerde kullanılabilmesi

İstenen özellikleri elde edebilecek malzeme kombinasyonlarını bir arada basabilme

Montaj aşamalarının otomasyonunun üretim aşamalarına entegrasyonu sayesindeki tasarruf potansiyeli

Çeşitli malzemelerin kombinasyonu ile genişleyen tasarım imkanları

Bileşik enjeksiyonun zararları:

Artan takım ve makine maliyetleri

Kullanılan hammaddelerin birbirleri ile uyumu ve güvenilirlikleri

Sınırlı geri dönüşüm oranları

Kullanım alanları:

Tasarım ve güvenlik amacıyla plastik hammaddelerin hem farklı renk hem de farklı özelliklerinden yararlanılmak istenen yerlerde kullanılabilirler.

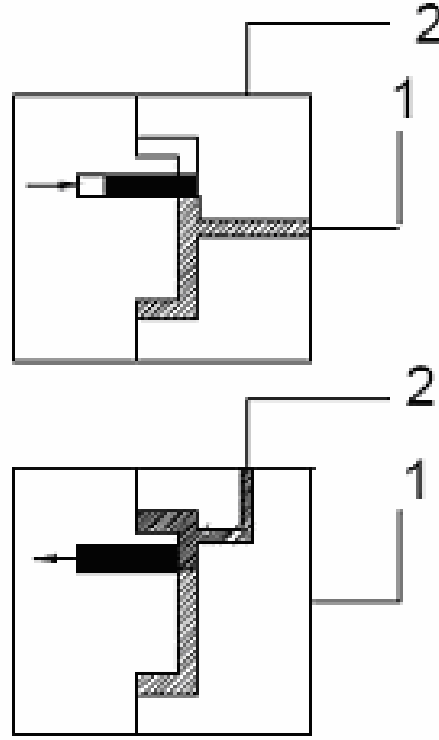
### 3.2.1.1 Çok renkli-çok parçalı enjeksiyon

Burada amaç tek bir çevrimde plastik parçanın üretilmesinin dışında bu işlemin otomasyon ile gerçekleştirilmesidir. Böylelikle her bir farklı renkteki malzeme birbirlerinden ayrılabilir ve birbirleriyle enjeksiyon edilebilirler. Böylelikle üretilen iş parçalarında istenilen bölgelerde istenilen özellikler gözlenebilir. Bu yöntem iki veya daha fazla komponentle kullanılabilir. Burada komponent sayısının artması enjeksiyon

makinesinin karmaşıklığını çok fazla arttırır. Burada bileşimin kalitesi seçilen malzeme ve iş parçası şekli ile ilişkilidir. (Thienel 1997)

Uygun parametreler ve malzemeler seçildiğinde kullanılan malzemeler arasındaki yapışma önlenabilir. Böylelikle hareketli menteşeler gibi iş parçaları üretilir.

**Kullanım alanları:** Otomobil arka aydınlatma, çok renkli servis malzemeleri, tornavida, kapak, conta vb.

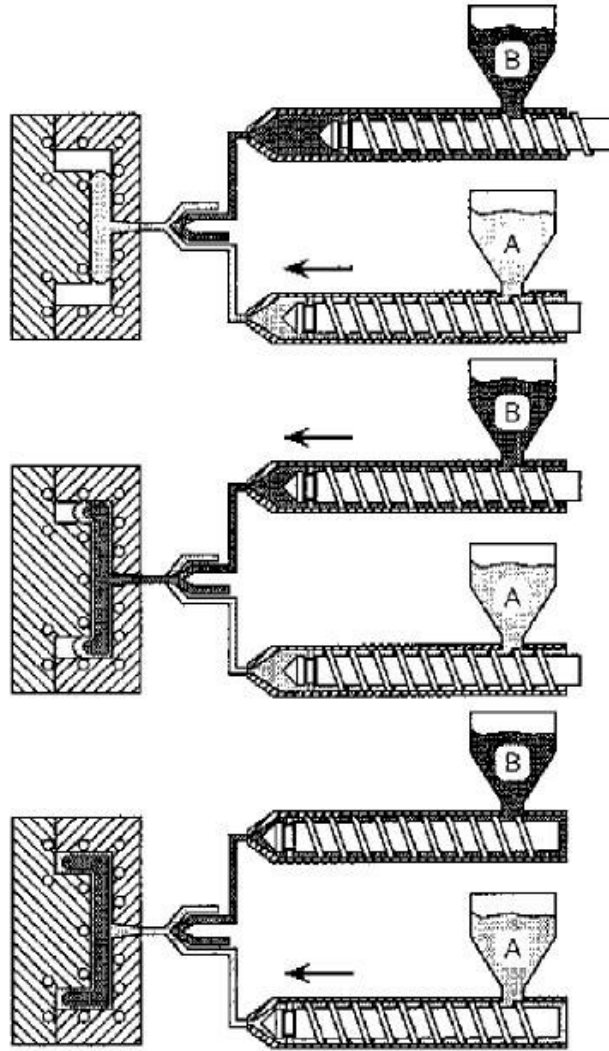


Şekil 3-2: Çok renkli-çok parçalı enjeksiyon şematik görünümü (Thienel 1997)

### 3.2.1.2 Co-enjeksiyon

Özel enjeksiyon yöntemlerinden birisi de, co-enjeksiyon yöntemidir. Bu yöntem ile enjeksiyonu tabakalı olarak uygulama olanağı vardır.

Co-enjeksiyon donanımı aşağıda gösterildiği şekilde iki ayrı malzemenin aynı zamanda kalıba gönderilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3-3: Co-enjeksiyon şematik görünümü (Zoetelief 1995)

Bu yöntem iç çekirdek ve onu çevreleyen bir komponentten oluşur.

Burada ergiyik normal olarak birçok püskürtme ünitesinden aynı yolluk aracılığı ile kalıp boşluğuna püskürtülür. İlk olarak püskürtülen malzeme (haut komponente) kalıp boşluğunun dış kısmında hızlı bir şekilde katılaşarak iş parçasının dış kısmı şekillendirilir. Daha sonra fışkırtılan çekirdek malzeme (kern komponente) iş parçasının iç bölgesini oluşturur.

Son olarak ilk püskürtülen iç çekirdek malzemenin dışarıdan kapatılır. Böylece yüzeyde bulunan iç malzeme ve yolluk bir sonraki basma işlemine geçmeden önce kesilerek temizlenerek içeride kalarak görünmez.

Kullanım alanları:

Bahçe mobilyaları, motor yağ şişelerinin vidalanması, kapı kolları vb.

### 3.2.2 Kayar Kalıplı Enjeksiyon

Kayar kalıplı enjeksiyon yönteminde, hareket mekanizması bir hidrolik sistem vasıtasıyla tahrik edilmektedir. Ayrıca, iki ayrı malzeme ve ekstrüder bulunmaktadır. Yöntemin karakteristikleri şöyle özetlenebilir. (Yurci 2005)

Enjeksiyon sonrası yapıştırma prosesi için ayrı bir donanım a ihtiyac kalmamakta; işlem bütünlük arz etmektedir.

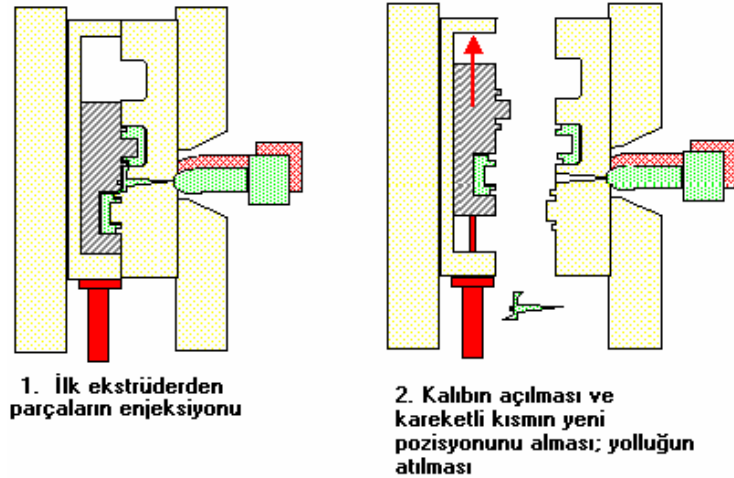
Emsal yöntemler ile mukayese edildiğinde, cidar kalınlığı kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

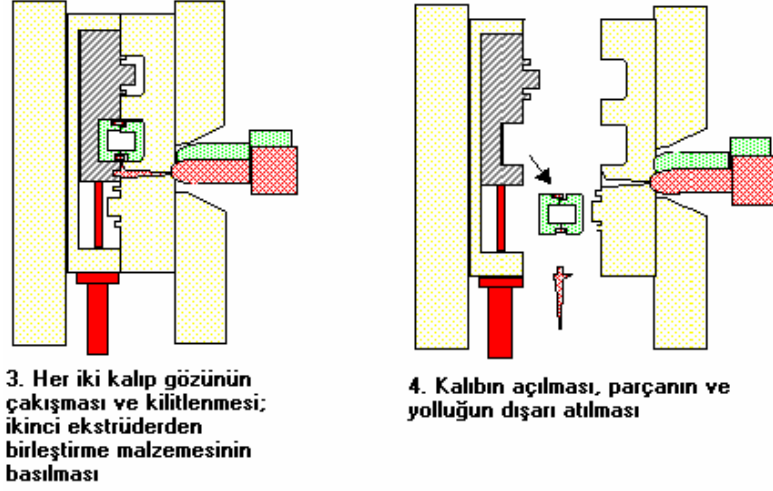
Yüzey görünümü ve boyutsal doğruluk üst düzeydedir.

Yüksek bir tasarım serbestliği vardır. Örneğin, ana gövde üzerine kaburga ve çıkıntılar eklenerek parça konstrüksiyonu tamamlanabilmektedir.

Metal iskelet (insert) ilavesi, diğer elemanlar ile bağlantı ve kaplama (encapsulation) mümkündür.

Birleşme yüzeyi düzlemsel olmasa dahi yöntemin uygulanması mümkündür.





Şekil 3-4: Kayar kalıplı enjeksiyon şematik görünümü (Yurci 2005)

### 3.2.3 Gaz Enjeksiyon

Bu yöntemin temelinde kalıp boşluğuna azot enjekte ederek plastik formlu parçanın içinde boşluk oluşumunun amaçlanması vardır. Plastik çekirdeğin yerine boşluğun azot ile doldurulması sonucu optimal bir kütle dağılımı sağlanmaktadır.

Formlu parçaların kullanım alanları, kısmi dayanım, kalınlık çeşitliliği ve feder konstrüksiyonuna göre değişiklik gösterir.

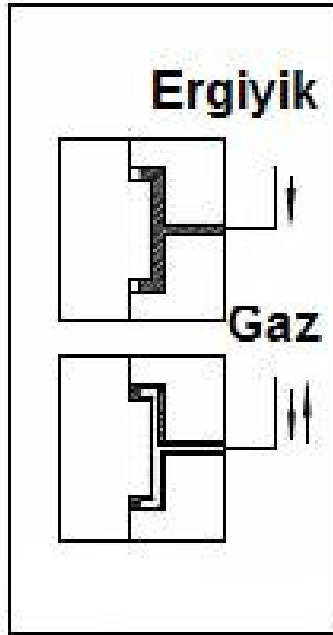
Avantajları:

- İş parçası kütleinde azalma
- Pratik olarak tüm termoplastiklerle kullanılabilirliği
- Daha kısa çevrim zamanı
- İş parçasının yüksek katılaşma oranı
- Mükemmel yüzey kalitesine sahip iş parçaları
- İç bölgede optimale yakın basınç dağılımı ile seri parça basılması esnasında daha az bir çökme ile daha iyi bir işlem süreci sağlar.
- Her enjeksiyon makinesine basınçlı gaz aksesuarı eklenmesi ile bu işlemin gerçekleştirilmesi mümkündür (kolay bir arayüz).

Dezavantajları:

- İş parçasının iç bölgesinin yapısı tam olarak kestirilemez ve yalnızca işlem ile ilişkilidir. Her parça basımında farklı sonuçlar alınabilir.
- Ek araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Nitrojen tüketimi ekonomik anlamda dikkate alınmalıdır.
- Patentli bir uygulamadır.

**Kullanım alanları:** Tutamak, meşrubat kutuları ve kolçak imalatları



Şekil 3-5: Gaz enjeksiyon şematik görünümü (Thienel 1997)

### 3.2.4 Ardışık Enjeksiyon

Ardışık enjeksiyonda amaç birleşme dikişlerine izin vermemektir. Özellikle uzun parçalarda püskürtücülerin yan yana dizilmesi ile kullanılır. Böylelikle kapanan püskürtücülerle tüm proses boyunca yalnızca tek bir ön akış sağlanmış olur. İlk olarak püskürtücülerin her biri ön erime, enjeksiyon noktasının üzerinde olduğunda açılır. Püskürtücüdeki ergiyik, mevcut ergiyik ile buluşarak kalıbı doldurmaya devam eder. Öncül püskürtücüler isteğe bağlı olarak açılıp kapanabilirler.

Avantajları:

- Bağlantı bölgesi oluşmaz.
- Düşük cidar kalınlıklarındaki (2-3 mm) akış uzunlukları dikiş izleri oluşmadan arttırılabilir.
- Malzeme kalıp duvarına püskürtüldüğünden genelde püskürtülen ön ergiyik arkadan püskürtme tekniğinde büyük avantaj sağlar.

Dezavantajları:

- Yüksek maliyetlidir.
- Ek bir kontrol aletine ihtiyaç duyulur.
- İşlemin kontrolü zordur.

**Kullanım alanları:** uzun iş parçalarında kullanılır.

### 3.2.5 Sıralı Enjeksiyon

Geniş yüzeyli parçalarda çok enjeksiyon noktalı parçalarda hava boşlukları, birleşim yerleri ve akış çizgilerinin oluşması kaçınılmazdır. Bu hata ön akış bölgelerinin enjeksiyon noktalarında bir araya gelmesi aynı zamanda çekirdekdeki yüksek hızdaki erime nedeni ile oluşmaktadır. Bunun için sıralı enjeksiyon birleşim yerlerinin uzunluğunu etkileyen bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntemde püskürtücülerin kontrolü hidrolik veya pnömatik olarak yapılmaktadır. Değişken zamanlı olarak püskürtücülerin açılıp kapanmasının sağlanması ile ön akış (schmelze fronten) hareketi söz konusudur. Buna bağlı olarak da birleşim yerleri gözle görülemeyecek hale gelerek düşük gerilim değerler elde edilir. Kalıbın üretimi esnasında bu bölgelerin hava sirkülasyonu büyük öneme sahip olmaktadır. (Gutjahr ve Becker 1989)

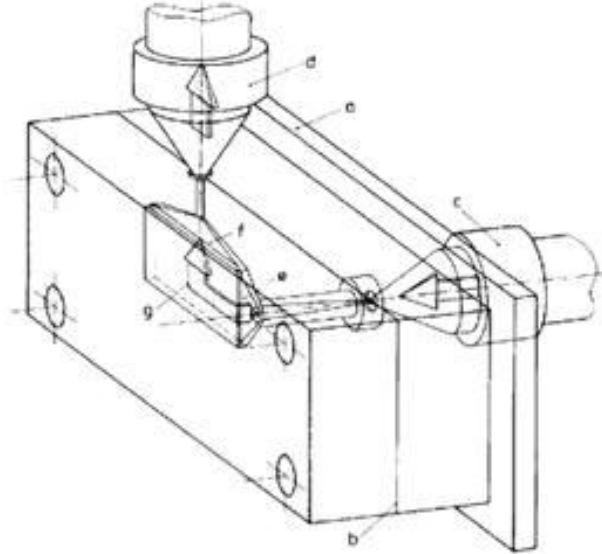
Avantajları:

- Birleşim yerleri gözle görülemez ve bu bölgeler düşük gerilim değerlerine sahiptir.
- Tekrar üretilebilirlik değerleri oldukça iyidir.

Dezavantajları:

- Yüksek maliyetlidir.
- Ek bir kontrol aletine ihtiyaç duyulur.

### 3.2.6 GTS Enjeksiyon



Şekil 3-6: GTS enjeksiyon şematik görünümü (Gutjahr ve Becker 1989)

- |                                           |                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------|
| a: Kalıp                                  | b: Ayrım Yüzeyi                 |
| c: Öncül enjeksiyon ünitesi               | d: Karşı ünite                  |
| e: Ergiyik yönlendirici yolluk            | f: Ergiyik tavsiye edici yolluk |
| g: Kalıp boşluğu boyunca ergiyik hareketi |                                 |

GTS enjeksiyon yöntemi ile kalıp içerisinde ergiyiğin sürekli hareketi mümkün olmaktadır. Yöntem olarak geleneksel yöntemlere göre kalıp iki veya daha fazla yolluk ve yolluk sistemlerinden oluşarak püskürtme sistemi-1, yolluk-1, kalıp boşluğu, yolluk-2, püskürtme sistemi-2 belirli bir sırayla devreye girerek akış sistemi ile haberleşme esasına dayanır. Karakteristiğinden dolayı bu yöntem doğrultusunda akış boyunca kalıp doldurulur. Malzeme, dolan kısmın altından öncül püskürtücü üniteden karşı püskürtücü üniteye ulaşır. Bu ergiyiği, basıncın durumuna göre hidrolik silindirlerin açılıp kapanmasını sağlayarak belirli bir basınç altında tutar. Bu akış işlemi, gereksinimler doğrultusunda plastiğin(sonsuz vida) hareketinin yönü, basıncı vb. Özellikleri ardışık bir şekilde sürekli değiştirilerek sağlanır. Kalıp doldurma işleminden sonra sonsuz

vidanın eksenel hareketi durdurulur ve seri basma işlemi için gerekli olan parça çekme değerlerinin belirlenen basınç ve vida hareketlerine göre tam olarak belirlenmesi adımına geçilir. Ardından da geleneksel püskürtme çevrimi ile soğutma fazına geçilir ve son olarak iticilerin iş parçasını kalıptan çıkarması ile işlem tamamlanır.

**Avantajları:**

Kalıp doldurma işlemi daha optimal bir şekilde yapılır.

Parça kristalli termoplastiklerin likit kristalli termoplastiklere göre daha iyi özelliklere sahip olması

**Dezavantajları:**

Mevcut konstrüksiyon kriterlerinden ayrılması

Yapısal açıdan geliştirilerek uygulama odaklı olarak test edilmesi gerekliliği

**Kullanım alanları:** Çok kullanılan yüksek hızlı termoplastiklerin ve LCP'nin işlenmesi.

## 4 PLASTİK MALZEMELER

Plastikler, polimerler için kullanılan genel bir isimdir. Tipik plastikler, dolgu malzemesi, boya v.b. katkıları da içermektedir. Piyasada binlerce plastik türü bulunmaktadır. Bu çeşitlilik sayesinde mekanik, optik, elektriksel, çevreye uyumluluk v.b. birçok gereklilik karşılanabilmektedir. Polimerler genelde petrolden elde edilen bir kimyasaldır. Monomerler zincir reaksiyonları ile polimerize edilerek elde edilirler. Daha önceki bölümlerde plastiklerin ana olarak termoset ve termoplastik malzemeler olarak ayrıldığı ve genel farklılıkları ele alınmıştı. Bu bölümde ise günümüzde daha büyük bir kullanım alanına sahip olan termoplastik malzemeler ele alınacaktır.

### 4.1 MALZEME SEÇİMİ

Formlu parçaların üretiminde malzemeden istenen özellikler bu malzemenin nerede kullanılmak istendiği ile yakından ilgilidir.

Teknik tasarımcı plastik malzeme seçerken plastik malzemelerdeki sürekli değişim içindeki teknolojik gelişmeler de düşünülmelidir.

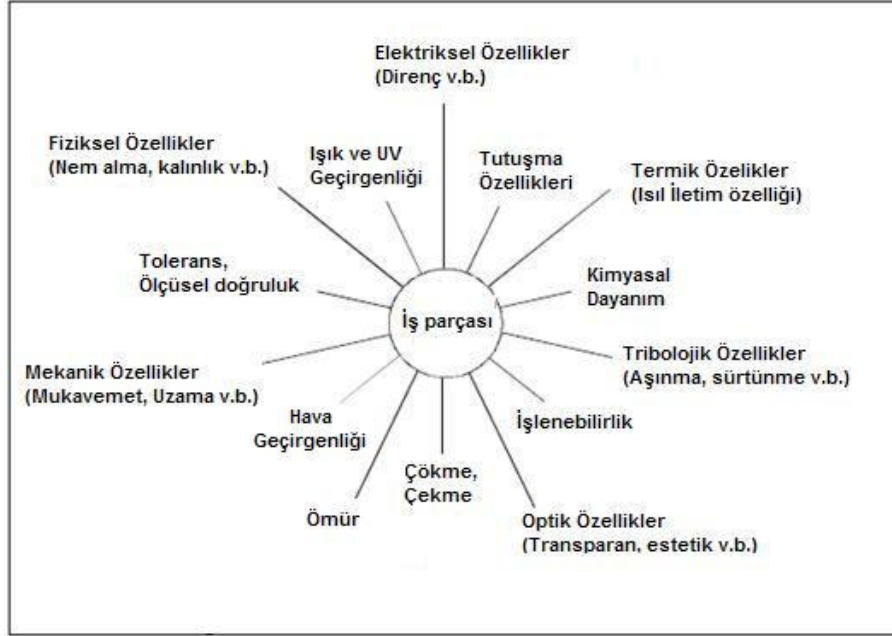
Malzeme seçiminde parçanın kullanım yerine bağlı mekanik, elektriksel, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra ekonomik kriterler de göz ardı edilmemelidir.

Doğru malzeme seçimi için plastik karakteristik değerleri formlu parça karakteristik değerlerinden daha az karakteristik değer içerirler.

Yani bunlar karakteristik değerler değildirler. Direkt olarak hiçbir hesaplama gerek duyulmadan kanısal olarak değerlendirilebilirler. Yalnızca kalıp uzmanlarının tecrübesi ve/veya malzeme uzmanlarının desteği ile plastik malzemelerin geliştirme işlemi akılcı ve ekonomik olarak çözümlenebilir. Bu bağlamda ön malzeme seçiminde ve malzemelerin birbirileri ile mukayese edilmesinde malzeme karakteristik değerlerinden daha fazlasını sunarlar. Karakteristik değerler yalnızca yaklaşık olarak işletim parametrelerinin etki ettirildiği test parçası üzerinde araştırılarak belirlenebilir. Bu her zaman bitmiş parça testleri ile o malzemenin uygunluğu ve fonksiyonelliği kanıtlanabilirliği anlamına gelmektedir.

Doğru malzeme seçimi her bir komponent için geniş, pratiğe yakın bir istem profili belirlendiğinde sağlanır.

Şekil 4-1' de plastik malzeme seçiminde gerekli olan bazı kriterlere değinilmiştir.



Şekil 4-1: İş parçasından istenen özelliklerin şematik gösterimi

Malzeme seçimi esnasında zaman sarfiyatının kabul edilebilir seviyede olabilmesi için uygun bir strateji ile uygulanabilir alternatiflerin sayısının düşük tutulması gerekir.

#### 4.1.1 Teknik-Fiziksel Malzeme Seçimi

Buradaki istekler üretim amaçlı, imalatla ilgili ve montaj esasları ile yakından ilişkilidir. Yeniliklerle birlikte ortaya çıkan, ürün ilişkili kurallara uyumluluk sağlanması amacıyla bu isteklerin bir kısmı direkt olarak kullanılabilirken, bir kısmı da malzeme datasına çevrilerek kullanılmak zorunluluğundadır. Teknik-fiziksel malzeme seçimi nitel ve nicel olmak üzere iki alt gruba ayrılır

Malzeme seçimi eğer nitel olarak belirlenebilen özelliklerine göre bir ön seçim aracılığı ile yapılırsa kolaylaşır.

##### 4.1.1.1 Nitel Malzeme Seçimi

Nitel malzeme seçiminin amacı belli bir bakış açısı yardımı ile malzeme sayısını sınırlandırmaktır. (4-8 tip veya grup)

Bu ön seçim malzeme seçiminde zorunlu olan ihtiyaç listesinin aşağıdaki gibi özelliklerin sıralanması ile sağlanabilir:

İhtiyaç [F] : Yerine getirilmesi zorunlu

İstek [W] : Mümkünse yerine getirilir.

Bir sonraki aşamada Evet/Hayır soruları isteklerin yerine getirilip getirilmediği sorgulanır. Buna göre bir ihtiyacı [F] sağlamadığı şartta her malzeme elimine edilecektir. Buna rağmen hala geriye kalan malzemelerin sayısı çok fazla ise daha geniş bir çerçevede istekler [W] incelenmelidir.

**Örnek:**

Görünür özellik : Şeffaflık

İhtiyaç : Şeffaf olmalı

Bu kıstası sağlamayan tüm malzemeler ayrılır.

Bu ön seçimin ardından arda kalan az sayıdaki malzemedan nitel özellikler temel alınarak son seçim yapılır.

**4.1.1.2 Nicel Malzeme Seçimi**

Nicel olarak malzeme incelenmesinin amacı en uygun malzeme seçimini gerçekleştirmektir. Seçimi sistematize edebilmek için malzeme özellik değişimi nokta sayısı ile ifade edilir. En nokta fazla sayısına sahip olan malzeme de en uygun malzeme olarak belirlenir.

Plastiklerin her bir özelliği için nokta ağırlığı [P]:

$$P = G \cdot B$$

Her bir özelliğin ağırlığı [G]:

$$G = 0,1 - 1,0$$

Malzemeye ait özelliğin değişimini ifade eden ağırlık skalası [B]:

$$B = 1 - 10$$

Optimizasyon dahilinde ( [F], [V] ) ağırlık ve değişim skalasını da içeren tüm karakteristiklerin belirlenmesinin ardından aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi nicel malzeme seçimine geçilir.

**Örnek:** Son malzeme seçiminde malzemelerin sıcaklıkla şekil değişimi ele alınırsa:

Malzeme A:  $\vartheta_M = 165^\circ\text{C}$

Malzeme B:  $\vartheta_M = 195^\circ\text{C}$

Malzeme C:  $\vartheta_M = 150^\circ\text{C}$

Buna göre değişim skalası hazırlanırsa:

$\vartheta_M = 150^\circ\text{C} - 159^\circ\text{C} \rightarrow B = 5$  (Malzeme C)

$\vartheta_M = 160^\circ\text{C} - 169^\circ\text{C} \rightarrow B = 6$  (Malzeme A)

$\vartheta_M = 170^\circ\text{C} - 179^\circ\text{C} \rightarrow B = 7$

$\vartheta_M = 180^\circ\text{C} - 189^\circ\text{C} \rightarrow B = 8$

$\vartheta_M = 190^\circ\text{C} - 199^\circ\text{C} \rightarrow B = 9$  (Malzeme B)

$\vartheta_M > 199^\circ\text{C} \rightarrow B = 10$

Şekil değişiminin ağırlığı:

$G = 0,8$

Buna göre her bir malzeme için sonuç:

A:  $PA = G \cdot BA = 0,8 \cdot 6 = 4,8$

B:  $PB = G \cdot BB = 0,8 \cdot 9 = 7,2$

C:  $PC = G \cdot BC = 0,8 \cdot 5 = 4,0$

Bu şekilde yoğunluk ve çekme değerleri içinde benzer bir skala hazırlanıp şekil değişim ağırlıkları belirlendiğinde takip eden tablo hazırlanarak (Tablo 4-1) malzeme nicel seçimi tamamlanmış olur.

Tablo 4-1: Nicel malzeme seçimi kullanılarak malzeme seçimi

| Özellik  |                  |     | Malzeme A |   |      | Malzeme B |   |      | Malzeme C |   |      |
|----------|------------------|-----|-----------|---|------|-----------|---|------|-----------|---|------|
| TANIM    | Birim            | G   | E         | B | P    | E         | B | P    | E         | B | P    |
| Yoğunluk | $\text{g/cm}^3$  | 0,9 | 1,15      | 6 | 5,4  | 1,07      | 8 | 7,2  | 1,24      | 1 | 0,9  |
| Çekme    | %                | 0,6 | 1,0       | 7 | 4,2  | 1,1       | 6 | 3,6  | 0,8       | 9 | 5,4  |
| Sıcaklık | $^\circ\text{C}$ | 0,8 | 165       | 6 | 4,8  | 195       | 9 | 7,2  | 150       | 5 | 4,0  |
| Toplam   |                  |     |           |   | 14,4 |           |   | 18,0 |           |   | 10,3 |
| Sıralama |                  |     |           |   | 2.   |           |   | 1.   |           |   | 3.   |

#### 4.1.2 Maliyet Odaklı Malzeme Seçimi

Maliyet odaklı malzeme seçiminin amacı teknik-fiziksel malzeme seçiminin ardından geriye kalan malzemelerin karşılaştırılmasını sağlayarak sıralamayı gerçekleştirmektir. Sıralama kriteri tahmin edilen değerlerdir. Bir sonraki tabloda bu toplam maliyetler sıralanmıştır (Kunz, Land ve Wierer 1996):

Hammadde ve üretim maliyetleri büyük ölçüde malzeme tipine bağlı olan bir maliyet türüdür. Malzeme tipinin takım maliyetlerine etkisi konstrüksiyon ünitesinin çeşidi ve boyutuna bağlı olsa da daha az etkilidir.

Maliyet odaklı malzeme seçiminde göz önüne alınması gereken şudur: düşük malzeme fiyatı artan cidar kalınlığı ile oranlanarak dengelenip dengelenemeyeceği önemlidir. Çünkü düşük dayanımlı plastik malzemeler genel olarak yüksek dayanımlılara göre daha ekonomiktir. Diğer taraftan daha büyük et kalınlıklarında ihtiyaç duyulan uzun çevrim zamanları nedeniyle ekonomik olmayan bir üretime sebep olabilir.

Tablo 4-2: Maliyet odaklı malzeme seçiminde kriterler

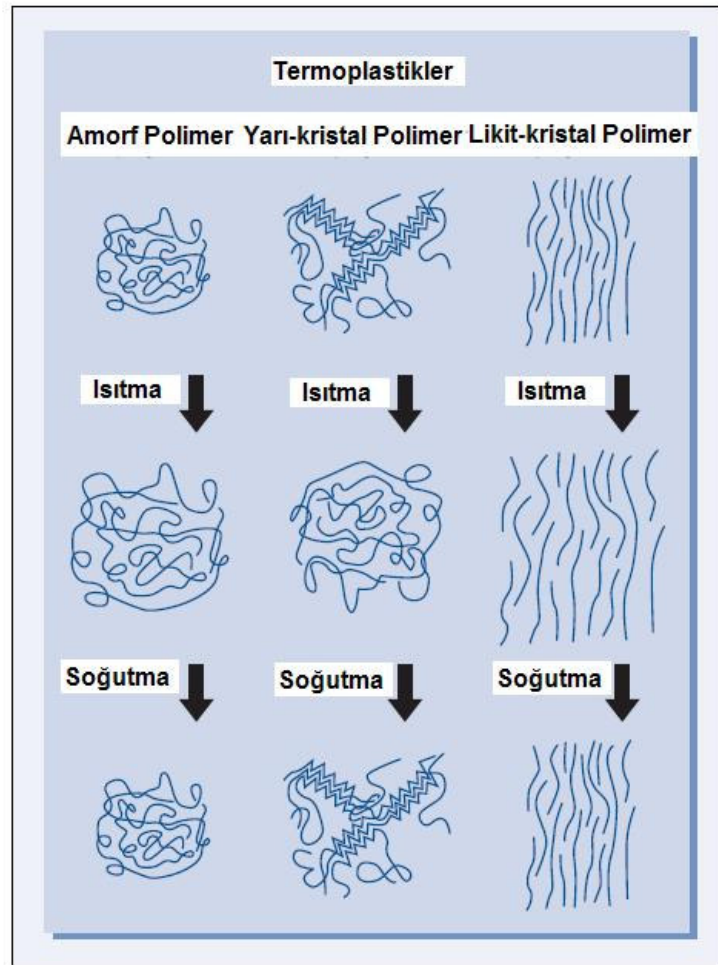
| Hammadde maliyetleri                                                                                                                                                                                                        | Üretim maliyetleri                                                                                      | Takım maliyetleri                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Hammadde alış fiyatı</li> <li>* Diğer giderler <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hazırlık</li> <li>- Test</li> <li>- Ön işlemler</li> <li>- Stoklama</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Laboratuvar giderleri</li> <li>* İşleme maliyetleri</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Üretim maliyetleri</li> <li>* Numune maliyetleri</li> <li>* Ön seri maliyetleri</li> <li>* Bakım maliyetleri</li> </ul> |

#### 4.2 Termoplastik Malzemeler

Termoplastik parçaların geliştirilmesi işlemi tipik malzeme özelliklerinin çeşitli şartlar altında tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Termoplastikler hem amorf hem yarı kristal hem de likit kristal polimerler (LCPs) gibi moleküler yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Bu plastiklerin mikro yapıları ve ısıtma ve soğutmanın bu mikro yapılar üzerindeki etkileri Şekil 4-2’de gösterilmiştir.

**Amorf Termoplastikler:** Amorf polimerlerin yapısında birçok düzensizlik vardır. Gerilimsiz ergiyik halde polimer molekülleri gelişigüzel olarak dizilmiş ve diğer moleküllerle iç içe geçmiş durumdadır. Durum ne olursa olsun bu düzensiz ve iç içe geçmiş yapı sürekli aynı kalır. Yalnızca ısı işleminden sonra sınırlı miktarda düzensiz yapıda bir düzelme görülür. (Fiziksel yaşlandırma)

Sıcaklık ergime sıcaklığı altına düştüğünde amorf polimer molekülleri lastik gibi davranmaya başlar. Daha da düşerek camı faza geçiş sıcaklığının altına düşerse amorf polimerler camı malzemelere dönüşürler. Amorf plastikler geniş bir yumuşama aralığı (belirgin olmayan ergime sıcaklığı), ortalama değerlerde ısı direnç, iyi bir çarpma direnci ve düşük çekme değerlerine sahiptir. (DSM 2005)



Şekil 4-2: Termoplastiklerin mikro yapısı (DSM 2005)

**Yarı-kristal termoplastikler:** Yarı-kristal plastikler katı halde amorf faz içerisinde lokal düzenli kristal yapı şeklinde dağılmışlardır. Bu kristal yapı yarı kristal plastikler ergiyik halden katı hale geçişte oluşurlar. Polimer zincirleri kısmen oldukça yüksek yoğunluğa sahip karmaşık yapılar oluşturabilmektedir. Kristalizasyon derecesi polimer segmentlerinin hareketi, uzunluğuna, ergime ve kalıp sıcaklıklarına bağlıdır.

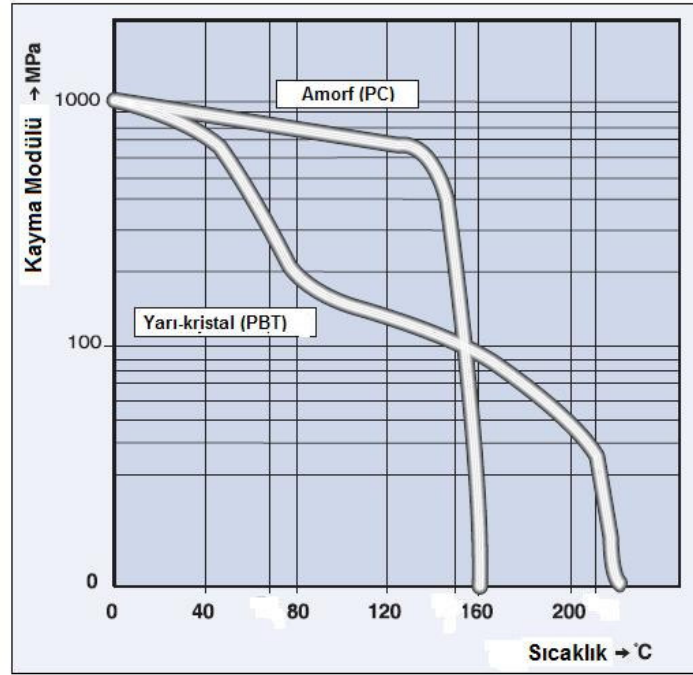
Tablo 4-3: Amorf plastikler ve yarı-kristal plastiklerin karşılaştırması

| Polimer Tipi            | Amorf Termoplastikler                                         | Yarı-kristal Termoplastikler                                                          |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ticari İsim             | PC                                                            | PA6 & 66                                                                              |
|                         | PC/ABS                                                        | PA 46                                                                                 |
|                         | PC/Polyester katkılı                                          | PBT & PET                                                                             |
|                         |                                                               | TPE-E                                                                                 |
| Mikroyapı               | Gelişigüzel moleküler dizilim (Hem ergiyik hem de katı fazda) | Ergiyik halde gelişigüzel katı halde sıkışık paket halinde kristaller halinde dizilim |
| Isıl özellik            | Geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama                        | Belirgin bir ergime sıcaklığı                                                         |
| <b>Genel Özellikler</b> |                                                               |                                                                                       |
| Saydamlık               | Saydam                                                        | Yarı-saydam veya opak                                                                 |
| Özkütle                 | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Gerilme dayanımı        | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Süneklik                | Yüksek                                                        | Düşük                                                                                 |
| Yorulma dayanımı        | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Max. Kullanım Sic.      | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Akış                    | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Çekme & Çarpılma        | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Kimyasal Direnç         | Düşük                                                         | Yüksek                                                                                |
| Ölçüsel Doğruluk        | Yüksek                                                        | Düşük                                                                                 |
| Yüzey görünümü          | Yüksek                                                        | Düşük                                                                                 |

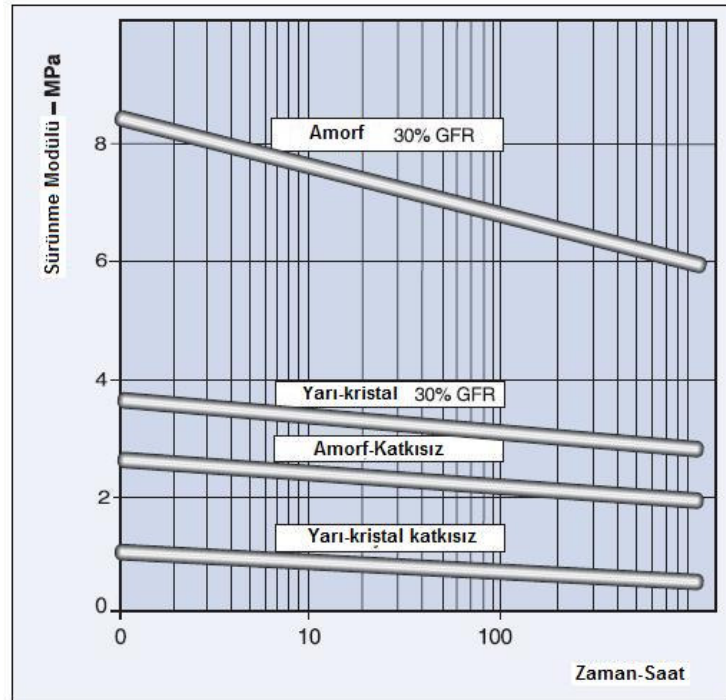
**Likit-kristal polimerler:** Likit-kristal polimerler (LCPs) hem ergiyik hem de katı halde sıralı bir görünüm sergilerler. Bu polimerlerin sıkı kablo biçimli molekülleri paralel olarak sıralanması ile bu malzemeler oluşur.

Bu moleküler yapıdaki farklılıklar özelliklerde kayda değer farklılıklara neden olabilir. Değişken özellikler zaman ve sıcaklık bağımlıdır. Örneğin kayma modülü artan sıcaklıklarda düşer. Kayma modülü eğrileri termoplastiklerin sıcaklık limitlerini ifade eder. Eğrinin şekli amorf ve yarı-kristal termoplastikler için farklıdır. (Şekil 4-3)

Ayrıca Şekil 4-4'te cam katkılı amorf ve yarı-kristal malzemenin sürünme dayanımındaki değişim görülmektedir.



Şekil 4-3: Amorf ve yarı-kristaller için kayma modülünün sıcaklıkla değişimi (DSM 2005)



Şekil 4-4: Cam katkılı amorf ve yarı-kristallerin sürünme dayanımındaki değişim (DSM 2005)

## 5 PLASTİK PARÇA TASARIMI

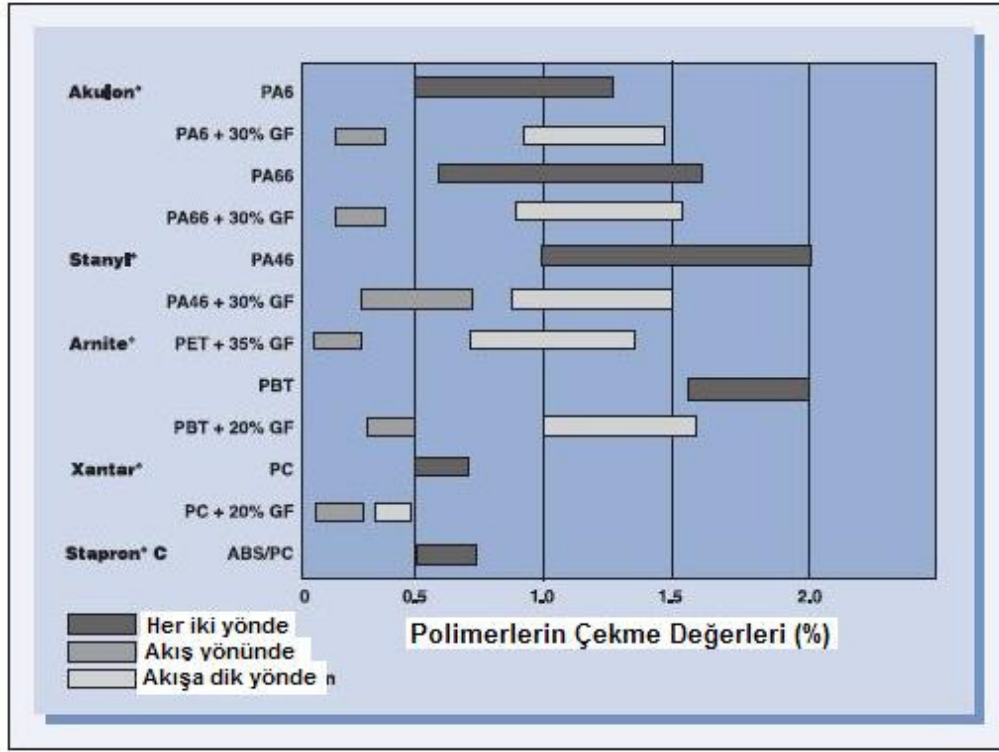
Tasarımcının özellikle malzeme ve imalat yöntemi hakkında daha fazla bilgi sahibi olması, daha iyi bir tasarım şekli sağlamaktadır. Yukarıda genel plastik enjeksiyon yöntemleri ele alınmış ve malzeme seçimi yapılırken nasıl bir yol izleneceği açıklanmaya çalışılmıştır. Parça tasarımı esnasında tasarımcı, ayrıca tasarımın başından sonuna dek çoğu kez imalatçı ile işbirliği yapmalı ve böylelikle en iyi sonuca ulaşmaya çalışılmalıdır. Bu temel esaslar ışığında da aşağıda optimum bir parça tasarımı yapılabilmesi için dikkat edilmesi gerekenler hem malzeme hem de konstrüktif açıdan ele alınmıştır (DSM 2005).

Aşağıdaki bilgiler çekme, termal uzama ve nem çekmesinin parçanın hassasiyeti ile hem kalıplama hem de kalıplama sonrasında ilişkili olduğuna dairdir.

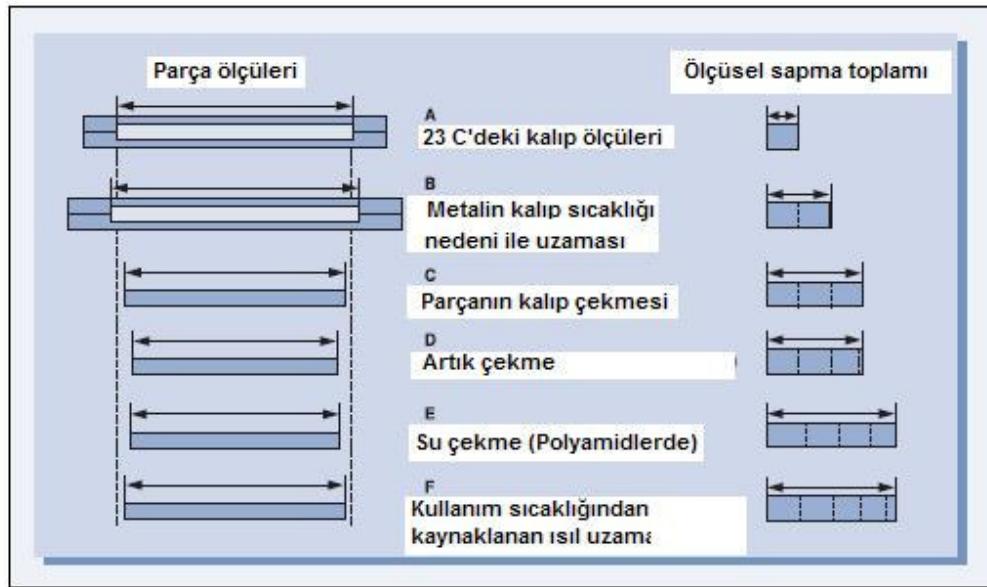
**Kalıp Çekmesi:** Çekme veya kalıp çekmesi kalıp boşluğu ölçüleri ile ilgili parçanın gerçek boyutları arasındaki farktır. Belirli polimer sınıfları için tam olarak çekme değerlerinin tahmin edilebilmesi mümkün değildir. Bundan dolayı çeşitli termoplastiklerin maksimum ve minimum çekme değerleri şekilde gösterilmiştir. (Şekil 5-1)

Kalıplama esnasında polimer ergiyikler kalıp içerisine enjekte edilir. İlk olarak kalıplama sıcaklığında kalıp tamamı ile doldurulduğunda kalıplanan parçanın ölçüleri kalıp boşluğu ile aynıdır (Şekil 5-2b). Soğuma esnasında polimer çekmeye başlar (Şekil 5-2c). Enjeksiyon kalıp çevriminde kalıpta tutma esnasında çekme ek doldurma tarafından telafi edilir. Hem parçanın hem de yollukların tasarımı yeterli miktarda doldurma ve ek doldurmaya izin verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Çekme prosesi parça kalıptan çıkarıldığında dahi devam eder. Çekme, enjeksiyon kalıplama bittikten mümkün olduğunca daha sonra ölçülerek bu şekilde ek-çekme dikkate alınmış olur (Şekil 5-2d).



Şekil 5-1: Bazı termoplastiklerin maksimum ve minimum çekme değerleri (DSM 2005)



Şekil 5-2: Ölçüsel doğruluğa etki eden faktörler (DSM 2005)

**İkincil Etki:** Eğer parçalar kalıplandıktan sonra tekrar ısıtılırsa, örneğin boya kurutma işlemi esnasında, bu geçici hatta kalıcı ölçüsel değişikliklere neden olur. İşletme ortamının da ayrıca ölçüsel kararlılığa etkisi söz konusudur.

**Termal Uzama:** Parçanın ölçüsü ile ilgili olarak önemli bir nokta da kullanım sıcaklığıdır. Termoplastikler ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ) metallerle karşılaştırıldığında ( $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ) yüksek termal uzama değerlerine sahiptirler. Termal uzama yüksek sıcaklıklarda kullanılan büyük parçalarda göz ardı edilemez (Şekil 5-2f).

**Nem Tutma:** PA66 ve PA46 malzemelerden yapılmış parçalar tüm polyamidler gibi nem tutma nedeni ile kalıplamadan sonra ölçüsel değişiklikler gösterirler (Şekil 5-3). Nem tutma dengeye ulaşılana kadar devam eden geri döndürülebilir zaman bağımlı bir işlemdir. Bu denge sıcaklığa, ortamdaki nem miktarına ve parçanın cidar kalınlığına bağlıdır.

Nem miktarındaki değişim ürün çeşitli boyutlarında etki gösterir. Tasarımcı ürünün kullanım süresince değişen nem koşullarını dikkate alınmalıdır (Şekil 5-2e). Katkısız sınıfların nem tutma miktarı da katkılı sınıflara oranla farklılık gösterir.

Nem miktarı sadece boyut değişimine değil aynı zamanda çeşitli önemli özelliklere de etki etmektedir. Nem miktarının artışı ile tokluğun ciddi seviyedeki artışı dikkate alınmakla beraber akma gerilmesi, elastisite modülü ve sertlik azalır.

Polyamid parçalar zaten kuru halde oldukça tok bir yapıya sahipken PA46 ve PA66 gibi malzemeler 0,5-1 nem miktarını absorbe edene kadar yüksek tokluğa ulaşmaz. Katkısız PA46 zaten basıldığı gibi kuru halde diğer polyamidlere oranla iki katına kadar çarpma direnci daha yüksektir. Şartlar daha az kritiktir.



Şekil 5-3: Zaman ve neme dayalı nem tutma diyagramı (DSM 2005)

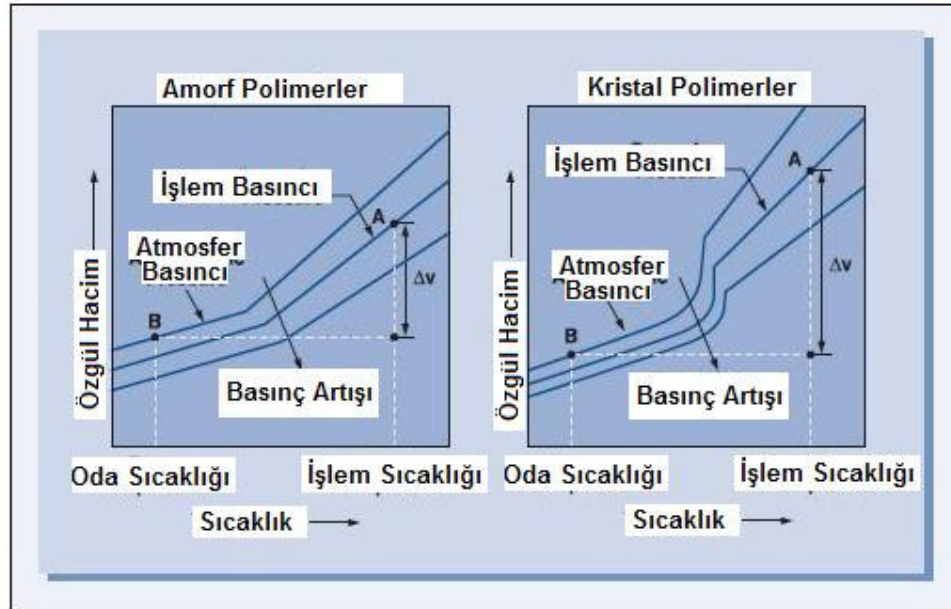
**Ölçüsel Sapma/Toleranslar:** Parçanın son ölçüsüne tartışılan tüm faktörler etki eder. Parçanın maksimum ölçüsel sapması teker teker katkıda bulunan tüm faktörlerin toplamıdır (Şekil 5-2).

## 5.1 ÇEKME

Çekme plastik enjeksiyon işleminin doğal bir sonucudur. Çekmenin olmasının nedeni polimerin yoğunluğunun işlem sıcaklığından ortam sıcaklığına erişinceye kadar değişmesidir. Plastik parçanın hacmi işlem sıcaklığı ile ortam sıcaklığında ölçüldüğünde çekme miktarı iş parçası hacminin %20'si kadar olabilmektedir (DSM 2005).

Yarı-kristal malzemeler özellikle ısı çekmeye karşı eğilimlidir; amorf malzemeler ise daha az çekmeye meyillidir. Kristal malzemeler faz değişim sıcaklığının altına kadar soğutulacak olursa moleküller daha düzenli bir şekilde sıralanarak kristal halini alırlar. Diğer taraftan bu değişim fazında amorf malzemelerin mikro yapısı değişmez. Bu farklılık enjeksiyon sırasında (A noktası), atmosfer basıncında oda

sıcaklığında (B noktası) yarı-kristal malzemelerin amorf malzemelere oranla daha büyük bir özgül hacme sahip olmalarına neden olurlar (Şekil 5-4).



Şekil 5-4: Amorf ve kristal polimerlerin PvT diyagramları (DSM 2005)

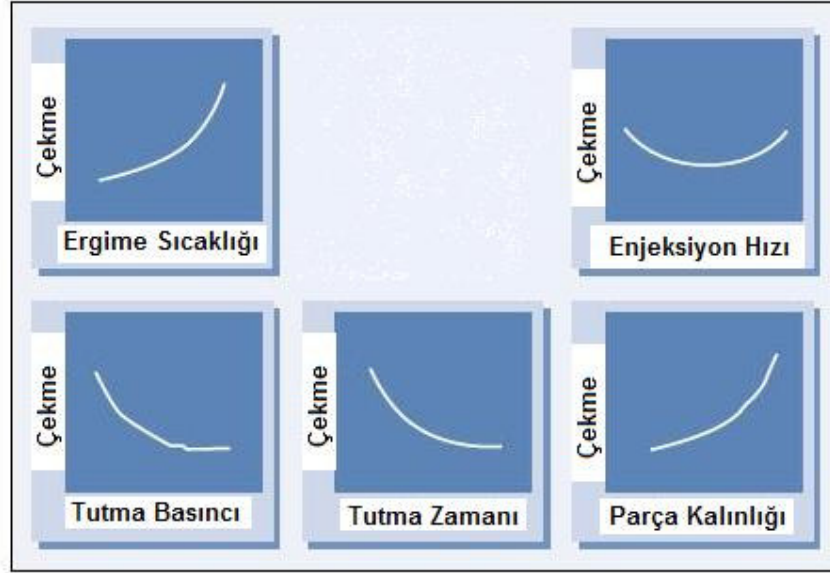
Enjeksiyon kalıplama esnasında çekmedeki değişim hem çevresel hem de iş parçasının kesitlerinde iç stresler oluştururlar. Eğer kalıcı stres yapısal birlikteliği bozacak derecede fazla ise parça kalıptan çıktıktan sonra burulur veya dış yüklemeye maruz kaldığında kırılır.

Dengelenmemiş hacimsel azalma hem çökmelere hem de parça içerisinde boşluklara neden olur. Parçanın çekmesinin kontrolü özellikle dar toleransların gerektiği durumlarda önem kazanır.

Aşırı çekme çeşitli faktörler nedeni ile oluşabilir:

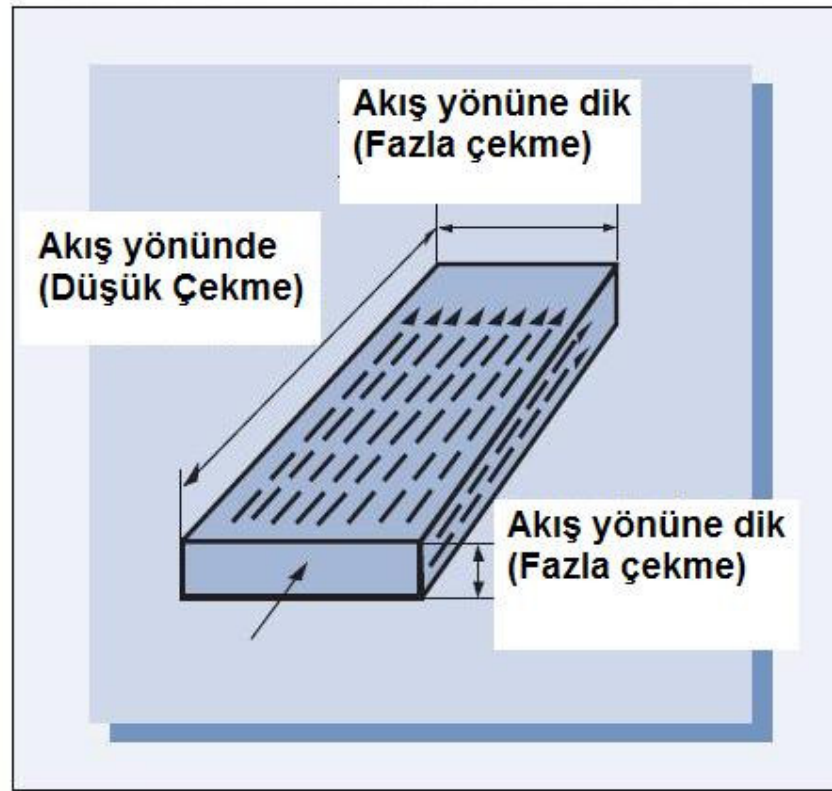
- Düşük efektif tutma basıncı
- Kalıpta tutma zamanının veya soğutma zamanının kısa tutulması
- Yolluğun hızlı soğuması ve kapanması
- Yüksek ergiyik sıcaklığı
- Yüksek sıcaklık

Çekme ile çeşitli işlem parametreleri ve parça kalınlığı arasındaki ilişki şematik olarak Şekil 5-5'te gösterilmiştir.



Şekil 5-5: Çekmenin tasarım ve işlem parametreleri ile ilişkisi (DSM 2005)

**Isotropik ve anisotropik çekme:** Hem katkısız amorf hem de mineral katkılı termoplastiklerin çekme değerleri genellikle isotropiktir yani malzeme akış yönündeki çekme miktarı yaklaşık olarak malzeme akış yönüne dik doğrultudaki çekme miktarına eşittir. Bir diğer taraftan ise cam fiber katkılı sınıflarda anizotropik özellikler gözlenir. Malzeme akış yönündeki fiber yönelimleri nedeni ile malzeme akış yönündeki çekme değerleri genel olarak malzeme akış yönüne dik doğrultudaki çekme değerlerine oranla daha düşüktür (Şekil 5-6) (DSM 2005).



Şekil 5-6: Cam katkılı plastiklerin çekme davranışı (DSM 2005)

Malzemenin izotropik özelliklere sahip olduğu varsayılması genellikle iyi bir başlangıç olmasının yanında anizotropinin tamamı ile göz ardı edilmesi termoplastik parçaların tasarımında önemli hatalara neden olabilmektedir.

Özellikle cam katkılı malzemelerde basit analiz tekniklerinin kullanımı sınırlıdır. Kritik uygulamalarda anizotropik etkinin fazlalığı göz önünde bulundurularak kapsamlı FEA (sonlu elemanlar metodu) metotları kullanılmalıdır.

Sadece fiber yönelimleri değil moleküler yönelimler de anizotropik çekmeye neden olabilirler. Katkısız termoplastik malzemeler yüksek kayma gerilimleri nedeni ile yüksek seviyede moleküler yönelime sahip olduklarından hizalanmış moleküler zincirler yönelim doğrultusunda daha fazla çekmeye uğrayarak anizotropik çekme gösterirler.

Pratik olarak çekme işlemi ele alındığında ise kalıp sertleştirme işlemine tabi tutulmadan önce çekmeden kaynaklanacak sorunları engellemek amacı ile aşağıdakilere dikkat edilmelidir:

Çıkıntı bölgeler daha geniş işlenerek,

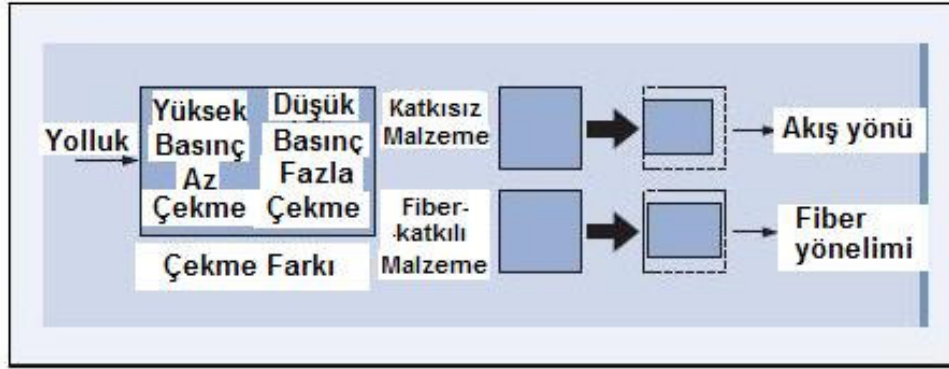
Girinti bölgeler daha dar işlenerek toz paso ile çekmenin etkisinin önüne geçilebilir.

## 5.2 ÇARPILMA

Eğer çekme, parça boyunca uniform ise iş parçası ne deforme olur ne de çarpılır. Sadece basit bir şekilde küçülür. Çarpılma, enjeksiyon tekniği ile üretilen iş parçasının yüzeylerinin arzu edilen şeklini bozmasıdır.

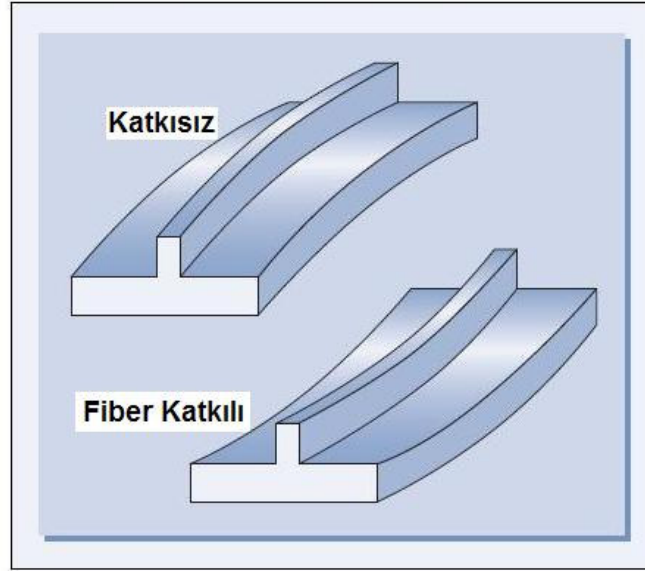
Çarpılma iş parçası malzemesinin kalıcı gerilmeler sonucu farklı çekmeye uğraması sonucu oluşur. Çekme değişimi moleküler ve fiber yönelimleri, parça içerisinde sıcaklık değişimi, değişken doldurma, yolluklarda aşırı dolma ve yolluğa uzak bölgelerde dolmama veya parça cidar kalınlığına bağlı katılaşma esnasındaki farklı basınç seviyelerine bağlıdır. Tüm bu faktörlerden dolayı uniform bir çekmeye ulaşmak bir hayli güçtür. Bu faktörler takip eden sayfalarda derinlemesine incelenmiştir.

**Katkılı ve katkısız malzemelerin etkisi:** Fiber katkılı termoplastikler daha küçük termal büzölmeye sahip olması ve dayanıklı fiberleri nedeni ile çekmeye karşı daha dirençlidir. Bundan dolayı fiber katkılı malzemeler fiberlerin uzandığı doğrultuda yani malzeme akış yönünde akış yönüne dik doğrultuya oranla daha az çekmeye uğrarlar. Daha basitçe parça katkılı termoplastikler katkısız sınıflara göre daha az çekmeye uğrar aynı zamanda daha izotropiktir (Şekil 5-7). Katkısız malzemeler ise genellikle cidar kalınlığı ve kalıp sıcaklığından etkilenir. Bu tür malzemeler eğer cidar kalınlığı ve kalıp sıcaklığı optimal olmaz ise daha çok çarpılacaktır.



Şekil 5-7: Katkılı ve katkısız malzemelerin çarpılma davranışı (DSM 2005)

Cam katkılı malzemelerde ise fiber yönelimlerine göre tamamı ile farklı karakteristiğe sahiptir. Eğer katkısız ve fiber katkılı malzemeler aynı tasarım için karşılaştırılacak olursa aynı parçada tam tersi şekilde çarpılma olasılığı vardır (Şekil 5-8).



Şekil 5-8: Katkılı ve katkısız malzemelerin çarpılma davranışı (DSM 2005)

Genel olarak bir grupta yapılması gerekirse:

Boyuna Çekme > Enine Çekme

Enine Çekme > Boyuna Çekme

### 1. Boyuna Çekme > Enine Çekme

Parça kristalli malzemeler esnek molekül zincirlerine ve yüksek kristalizasyon seviyesine sahiptirler (örneğin PE, POM, PP). Akış yönünde akış yönüne dik doğrultuya oranla daha şiddetli çekmeye uğrarlar. Yüksek derecede çekme, çekme anizotropisi ve buna bağlı olarak çarpılma gösterirler.

### 2. Enine Çekme > Boyuna Çekme

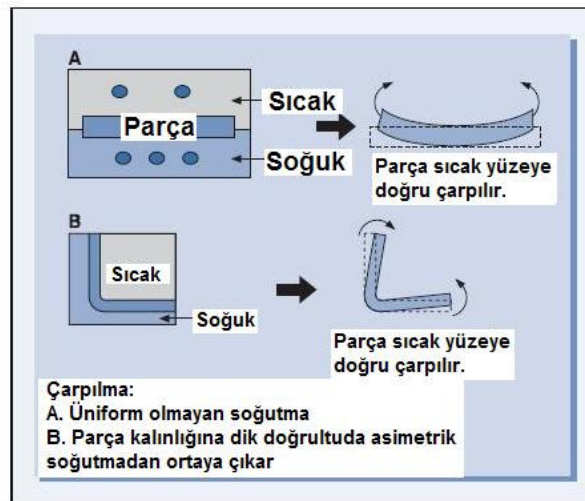
Genel olarak tüm amorf plastiklerde çekme değişimi oldukça düşük seviyede gerçekleştiğinden çarpılmaya dayanıklı malzemeden sayılabilirler.

Bunun yanında katkılı plastikler (örneğin fiber) çekme ve çarpılma davranışları açısından özellikle iyi incelenmelidir.

Fiber katkılı malzemelerde fiber doğrultularının püskürtme yönünde olması sağlanarak akış doğrultusundaki çekme engellenir. Artan cam elyaf ise çekme farkını ve buna çarpılma eğilimini artırır.

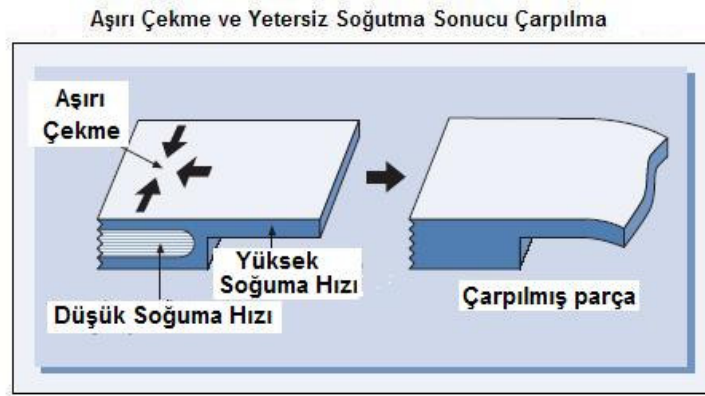
Düşük miktarlardaki cam elyaf katkısı parça kristalli malzemelerde (akış yönündeki çekmesi fazla olan malzemeler) çarpılmayı engelleyici etkide bulunur.

**Soğutmanın Etkisi:** İş parçasındaki üniform olmayan soğuma ve erkek ve dişi kalıp yarılarındaki parça kalınlıklarındaki asimetric soğumada çekme farkına neden olabilir. Malzeme soğur ve cidardan merkeze doğru değişken bir şekilde çekmeye uğrar ve kalıptan çıkarılma sonucu burulmaya uğrar.



Şekil 5-9: Soğutmanın çarpılmaya etkisi (DSM 2005)

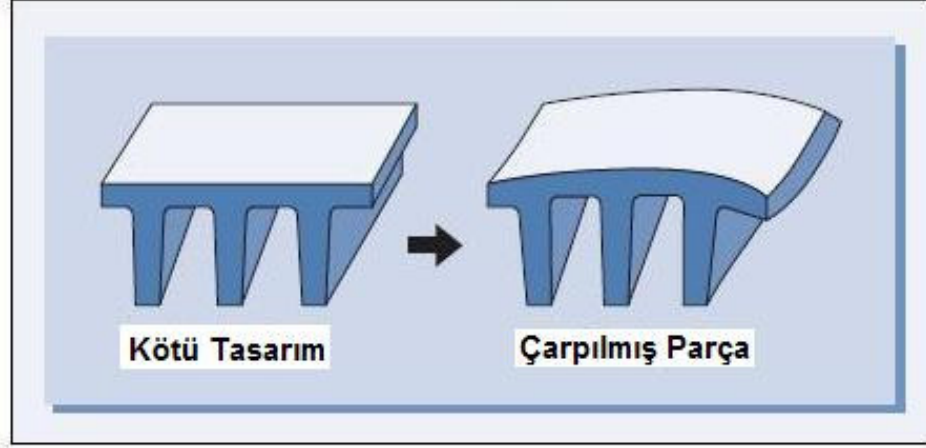
**Cidar Kalınlığının Etkisi:** Çekme cidar kalınlığının artması ile artar. Katkısız termoplastiklerde üniform olmayan cidar kalınlığından kaynaklanan çekme farkı parça burulmasının en büyük nedenidir. Daha açık şekilde ifade etmek gerekirse farklı soğutma oranları ve kristalizasyon seviyeleri genellikle kalınlık değişimi görülen cidar kesitlerinde oluşmasıdır. Yavaş soğuma bölgelerinde yüksek kristalizasyon seviyesinden dolayı görülen daha büyük hacimsel çekme sonucunda değişken çekme ve bunun sonucunda burulma görülür (Şekil 5-10).



Şekil 5-10: Cidar kalınlığının çarpılmaya etkisi (DSM 2005)

**Asimetrik Geometrinin Etkisi:** Geometrik asimetri (örneğin düz bir zemine parçanın tek tarafına veya tek bir yönde sıralanmış çok miktarda feder) iş parçasının burulmasına neden olabilecek üniform olmayan soğuma ve değişken çekmeye yol açar. Federlenmiş yüzeydeki cidarın yeteri miktarda soğutulamaması malzemenin yavaş soğumasına bunun sonucunda da iş parçasının burulmasına neden olabilir (Şekil 5-11)

### Kötü Tasarım Sonucu Çarpılma

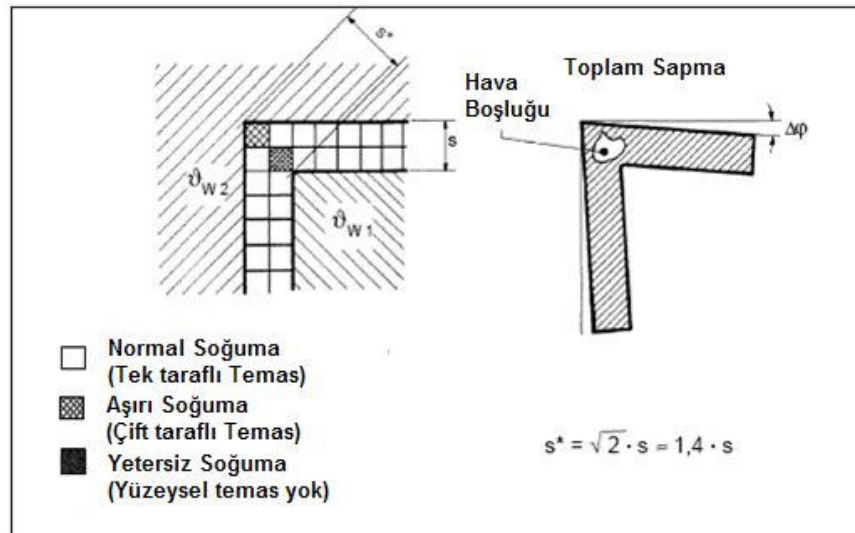


Şekil 5-11: Asimetrik geometrinin çarpılmaya etkisi (DSM 2005)

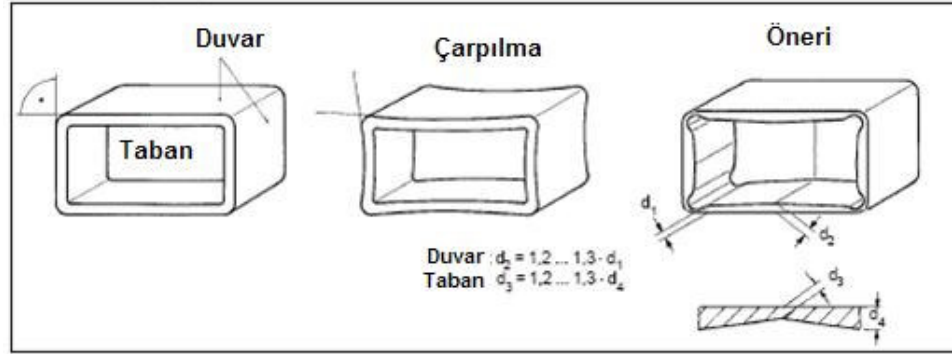
**Açısal Çarpılma:** Eşit kalıp cidar kalınlıklarına rağmen ( $v_{w1} = v_{w2}$ ) iş parçasının soğuması farklı kalıp cidarı temas yüzeyleri neden ile farklılık gösterir.

İyileştirici çözümler:

- Kalıp ısıtması özellikle köşe bölgelerde yoğunlaştırılmalı
- Köşe bölgelerindeki malzeme birikmesi azaltılmalıdır.



Şekil 5-12: Açısal Çarpılma Mekanizması (Anonim 1996)



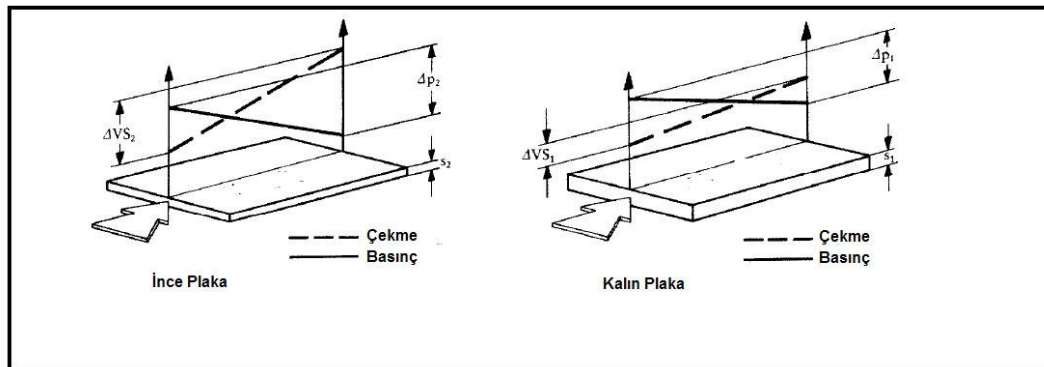
Şekil 5-13: Açısal Çarpılmayı Önleyici Öneri (Anonim 1996)

**Uniform olmayan kalıp iç basıncı:** Eş dağılımlı bir soğutma akış yolu boyunca çekme değişimine ve bunun sonucunda çarpılmalara neden olabilir. Bu her şeyden önce artan akış yolu uzunluğu ile basınç düşümüne neden olur.

Kademeli soğutma ile basınç geçişi yolluğa uzak bölgelerde yeterince uzun süre almaz, hatta engellenir. Yolluğa en uzak bölgelerde basıncın düşmesi ve ısı akışı (dağılması) ile eşit soğuma hızına ulaşılarak önce atmosfer basıncına ulaşılır ve iş parçası çekmeye uğramaya başlar. Diğer taraftan yolluk yakınlarındaki bölgelerde hala kalıp içerisine malzeme girişi olur, özgül hacim düşer. (Yoğunluk artar)

Özgül hacmin aşağı yöndeki değişimi iş parçasının yolluğa uzak kalan kısımlarında yakın olan kısımlarına oranla çekmenin daha şiddetli olmasına neden olur.

Şekil 5-14'te kalın ve ince parçalarda basınç düşüşü ve çekmenin nasıl gerçekleştiğini ifade etmektedir.



Şekil 5-14: Kalın ve ince parçalarda çarpılma mekanizması (Anonim 1996)

Basınç düşüşü minimize etmek için aşağıdaki iyileştirici çözümler uygulanmalıdır:

- Yüksek akış indeksine (düşük viskoziteli) sahip malzemeler kullanılmalı
- Akış yolu-cidar kalınlığı oranı mümkün olduğunca düşük tutulmalı
- Akış uzunluğunu düşürmek için akış uzunluğunu düşürecek yolluk düzenlemesi veya çok yolluklu çözümler uygulanmalı
- Akışa yardımcı elemanlar kullanılmalı (kesit arttırıcılar, ek federler)

**Çarpılmaya Dayanıklı Malzemeler:** Amorf plastikler rijit yapıya sahip molekülleri ile düşük miktarda çekme, çekme anizotropisi ve buna bağlı olarak düşük miktarda çekme eğilimi gösterirler (örneğin PMMA, PC).

Ayrıca parça kristalli malzemeler fazla esnek olmayan molekül zincirleri ve düşük değerlerdeki kristalizasyon değerleri ile (örneğin PA, PBT) mineral katkılı termoplastikler de bu grup içerisinde yer alırlar.

Dolgulu plastiklerde artan dolgu miktarı ile çekme, çekme farkı ve buna bağlı olarak çarpılma azalmaktadır.

Özet olarak çarpılmayı önleyici çözümler aşağıdaki gibidir:

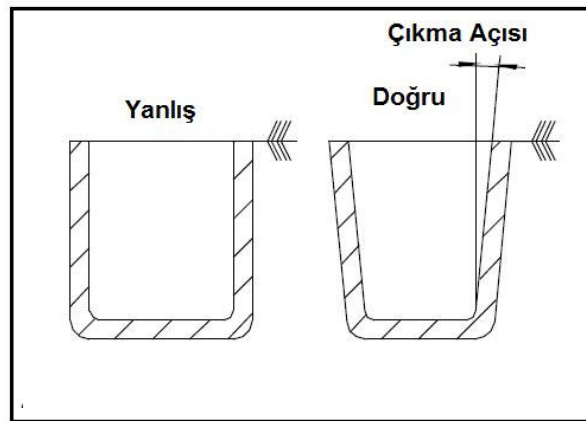
- Çarpılmaya dayanıklı malzeme seçimi yapılmalı
- Yolluk pozisyonu iş parçası geometrisinin ana yerleşimine uygun olmalıdır.
- Akış yolu- cidar kalınlığı oranı basınç geçişini mümkün olduğunca uniform tutacak şekilde fazla büyük değerde seçilmemelidir.
- Kalıp ısıtması yapılmalıdır.
- Çarpılma tehlikesi bulunan bölgeler stabilite sağlanacak şekilde tasarım önlemleri alınmalı.
- Köşe ve radyüslerin oluşturulmasında dikkatli olunmalıdır.

### 5.3 ÇIKMA AÇISI

Kalıp ayırım çizgisine dik doğrultuda bulunan parça yüzeyleri parçanın kalıptan rahat bir şekilde çıkabilmesi için bu yüzeylere çıkma açısı verilmelidir. Şekillendirilebilmeyi garantilemek için kalıp açılma doğrultusundaki yüzeyler fonksiyonel olması açısından mümkün olduğunca yeterli kalıp açısı verilmelidir. Bu

durum delikler, boşaltmalar v.b. bölgeler içinde geçerlidir. Kalıp açılımına dik olan durumlarda ise maça kullanılır. Bu çıkma açıları kalıp açılmaya başlar başlamaz kalıp ile parça arasındaki boşluk oluşturarak parçanın kalıptan kırılmadan çıkmasını sağlar. Termoplastikler soğutulduğunda çekmeye uğrayacaklarından iş parçası kalıbın erkek pimlerine yapışacak ve kalıptan çıkarma işlemi tasarımda kalıp açısı söz konusu olmadığında zorlaşacaktır. Eğer kalıp açısının da miktarı konusunda gerekli özen gösterilirse bu çoğunlukla maça kullanımlarından kurtulabilme ve kalıp ve bakım maliyetlerinde azalma sağlayacaktır. Daha azı da bazen kabul edilebilir olsa da desensiz yüzeylerde her bir taraf için en az 0,5 derecelik çıkma açısına ihtiyaç duyulur. Kalıp açılma doğrultusundaki parlatma ve özel yüzey işlemleri bu değeri biraz daha aşağı çeker. Desenli yan cidarlar için ise her 0,1 mm için ek 0,4 derecelik çıkma açısı dikkate alınmalıdır.

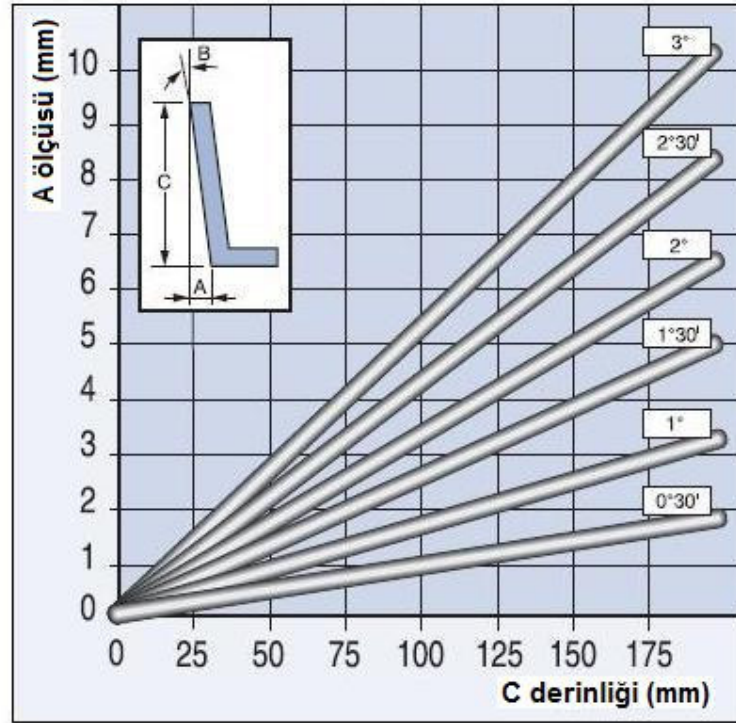
Çıkma açısının kullanılmasının bir diğer amacı da iş parçası ile kalıp çekirdeği arasındaki çekmeyi azaltma zorunluluğudur. Bu çekme sonucu oluşan normal kuvvete bağlı sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı ve parça içerisindeki iç gerilmeyle oluşur. Hiçbir kalıp açısı verilmediğinde aşırı seviyedeki şekillendirme kuvveti çekirdeğin tüm yüksekliği boyunca statik sürtünmeyi artırır. Bu gereksiz yüksek kuvvetler gerilimlere gerilimlerde çatlaklarla sonuçlanan şekil ve pozisyon sapmalarına (geç soğuma) neden olur.



Şekil 5-15: Çıkma Açısının Şematik Gösterimi (Thienel 1997)

Genel olarak 1 ile 3 derecelik çıkma açısı önerilmektedir. Çıkma açısının artması parçanın kalıptan çıkmasını kolaylaştırmakla beraber bazı kesitlerin yoğunlaşmasına

neden olmaktadır. Kademeli kalıp ayırım yüzeyine ihtiyaç duyulduğunda 7 derecelik açıya ihtiyaç duyulmakta (kademeli geçiş bölgesinde) bu değer minimum olarak 5 dereceyi geçmemelidir. Bu bölgedeki kalıp açılma kapanması esnasında meydana gelen kaymalar iş parçasının bu bölgesinde aşınma yüzey üzerinde sorunlara yol açabilmektedir. Eğer bu tip kalıplarda yüzey açısından kalite aranıyorsa kalıp sürekli bakıma alınmalıdır (DSM, 2005).



Şekil 5-16: Bölgelerin derinliklerine göre min. çıkma açıları (DSM 2005)

Çıkma açısı üzerindeki en büyük etmenler:

- Malzeme (Çekme, Elastisite)
- Kalıbın yüzey pürüzlülüğü
- Kalıplama kursu uzunluğu
- Kalıp dayanımı; basitçe boyutlandırılmış kalıplarda iş parçasının kalıptan zorlukla çıkmasına neden olurlar.

Desenli olmayan yüzeylerde aşağıdaki çıkma açısı değerleri kullanılabilir:

- Gevşek yapıdaki boya ile parlatılmış yüzeyler 0,5°-2°

- İyi parlatılmış veya çıkma yönünde boya ile parlatılmış yüzeyler:  $>0,5^\circ$
- Büyük çıkma stroğuna gerek duyan iyi parlatılmış yüzeyler:  $\geq 1,5^\circ$
- Güçlendirilmiş veya katkılı malzemeler için  $>0,75^\circ$

Tablo 5-1’de kısa çıkma stroklarında ( $<30$  mm) genel termoplastiklerin çıkma açıları bir araya getirilmiştir

Tablo 5-1: Bazı malzemeler için kalıp çıkma açıları (Wimmer 1989)

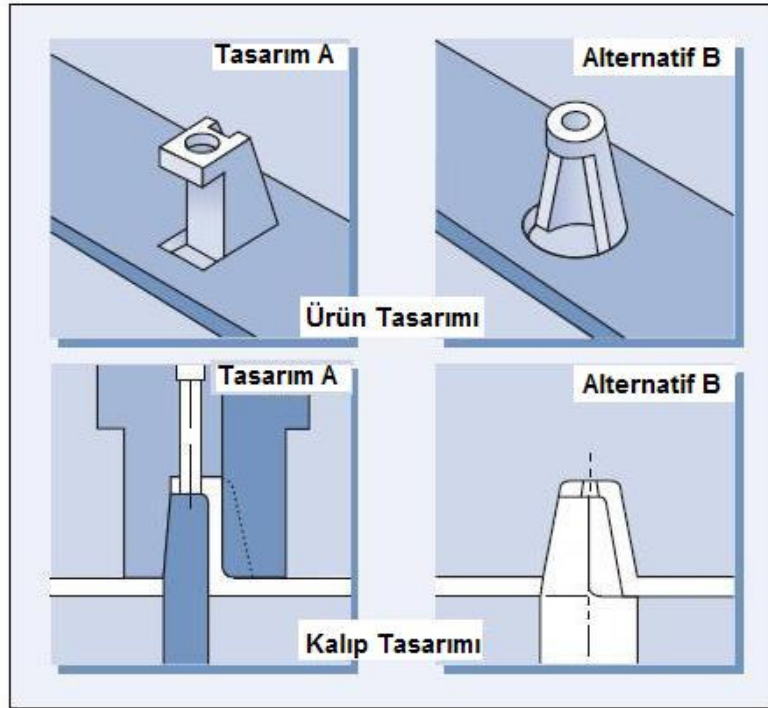
| Malzeme | Kalıp Açısı           |
|---------|-----------------------|
| ABS     | $0,5^\circ$           |
| POM     | $0,5^\circ$           |
| PBT     | $0,5^\circ$           |
| PET     | $0,5^\circ$           |
| PC      | $0,5^\circ$           |
| PP      | $0,3^\circ$           |
| PPS     | $1^\circ - 2^\circ$   |
| PS      | $1,5^\circ$           |
| PE-HD   | $0,5^\circ$           |
| PEI     | $1,5^\circ$           |
| PEK     | $1^\circ - 2^\circ$   |
| PEEK    | $0,5^\circ - 1^\circ$ |
| PA 6    | $0,25^\circ$          |
| PA 6.6  | $0,25^\circ$          |
| PAI     | $1,5^\circ$           |
| PES     | $1^\circ - 2^\circ$   |
| PSU     | $1^\circ - 2^\circ$   |

## 5.4 TERS AÇI

Ters açılar eğer mümkünse parçanın yeniden tasarımı ile ortadan kaldırılmalıdır. Şekil 5-17’de deliğin formu başlangıç maliyetleri ve üretim esnasındaki bakım maliyetlerini azaltmaktadır. Bazı karmaşık parçalar ise ideal durum bulunamadığından kalıp ayrılma yönünden farklı bir yönde ek bir harekete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ek hareketler aşağıda listelenmiştir:

**Ters açılı bölgelerin tanımlanması:** Ters açılı bölgelerin tanımlanması kalıp açılma doğrultusunda her kritik bölgede paralel kesitler alınması ile sağlanır. Bir arka kesit kalıplama doğrultusuna göre en az iki yüzeyin etkisi ile oluşur.

Üç boyutlu çalışan, hacim merkezli CAD sistemleri standart olarak bu ters açılı bulmaya elverişlidir. Yeterince küçük seçimli mesafelerle seçim yapılırsa tüm parça geometrisi üzerinde bu ters açılar kontrol altına alınabilir (DSM 2005).



Şekil 5-17: Maçasız alternatif örneği (DSM 2005).

**Deformasyon:** Malzeme ve ters aç miktarına bağlı olarak iş parçasını kalıptan geçici deformasyon ile çıkarmak mümkündür.

Ters açılı iş parçası bölgesinde malzeme elastik uzama sınırının üzerinde çalışılmamalıdır. Tablo 5-2'yi inceleyiniz.

Tablo 5-2'de ters aç ile izin verilen max uzaman arasındaki tecrübi (gerçek) ilişki görülmektedir. Bu değerler ekstrem durumlarda zorlama ile şekillendirme olarak değerlendirilebilir.

Diğer taraftan belirtilen büyük uzama değerleri sağlansa dahi tüm olası işletme şartları ile bile şekil değişimi garanti edilemez.

Yüksek kalıplama sıcaklıkları şekillendirmeyi kolaylaştırır.

Dikkat: Çıkartıcılar iş parçasının deforme edebilir veya kırabilirler. Bunun gibi nedenlerden ötürü çıkartıcı yüzeyler genişletilirler.

Keskin kenarlı geçişler malzemenin kesilmesini kolaylaştırdığından yuvarlatmalar ve pahlar ile bu engellenmelidir.

Tablo 5-2: Ters açı ile izin verilen max uzama değerleri (Menges ve Mohren 1989)

| Malzeme     | % Ters Açı Sapması |
|-------------|--------------------|
| PS          | < 0,5              |
| PS Tok      | < 1,0              |
| ABS         | < 1,5              |
| PC          | < 1                |
| PA          | < 2                |
| POM         | < 2                |
| PE-LD       | < 5                |
| PE-HD       | < 3                |
| PVC Sert    | < 1                |
| PVC Yumuşak | < 10               |
| PP          | < 2                |

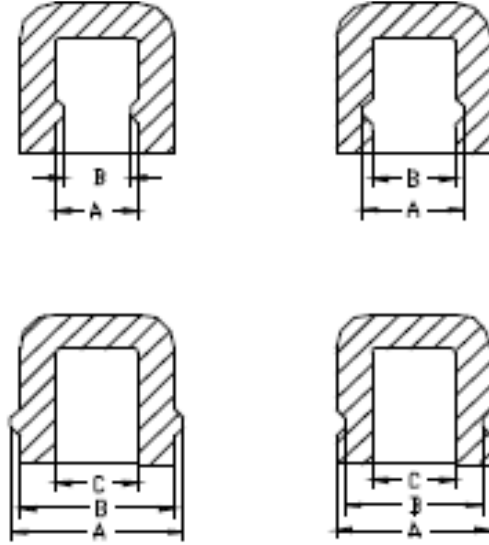
Şekil 5-18 gösteriyor ki; dönele simetriye sahip iş parçalarında mümkün olan ters açı hesaplanabilir. Benzer şekilde düzlemsel iş parçalarında bu durum büyük kütleden küçük kütlenin farkı şeklinde hesaplanabilir (Thienel 1997).

Enjeksiyon parçasının iç kısmı

$$HS[\%] = \frac{(A - B) * 100}{B} \quad (5.1)$$

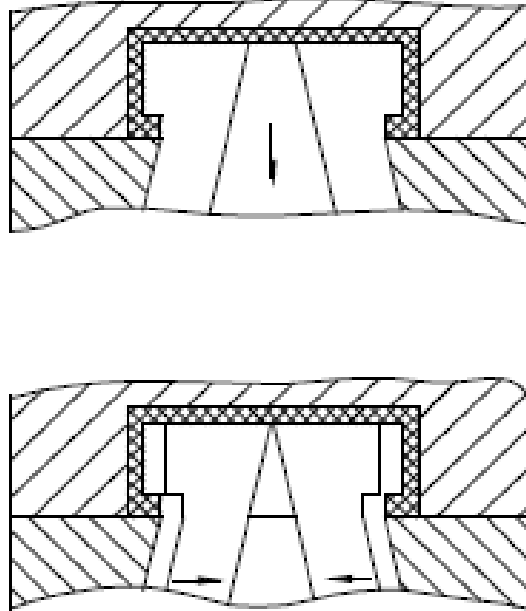
Enjeksiyon parçasının dış kısmı

$$HS[\%] = \frac{(A - B) * 100}{C} \quad (5.2)$$



Şekil 5-18: Dönel simetriye sahip parçalarda ters aç (Thienel 1997)

Genel anlamda ters aç için en iyi uygulama silindirik biçimli olanlarıdır. Dikdörtgensel gibi diğer formlar köşelerde yüksek stres birikimlerine neden olurlar. Burada katlanabilir çekirdek Şekil 5-19 kullanılabilir.



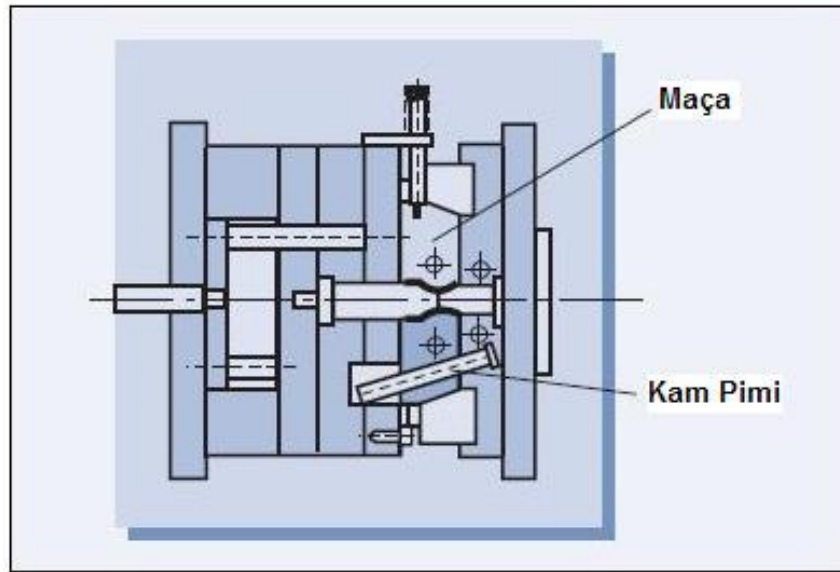
Şekil 5-19: Katlanabilir çekirdek örneği (Thienel 1997)

Şekillendirme yüksekliği deformasyona neden olmaması açısından dayanım sağlamak için (ters açığı iyileştirmek için) çok yüksek olmamalıdır.

**Hareketli kalıp elemanları ile şekillendirme:** Bu metotlarla zorlama ile şekillendirmeyi gereksiz kılarak buna bağlı ters açı derinliği sınırlamasından kurtulabilmek mümkündür

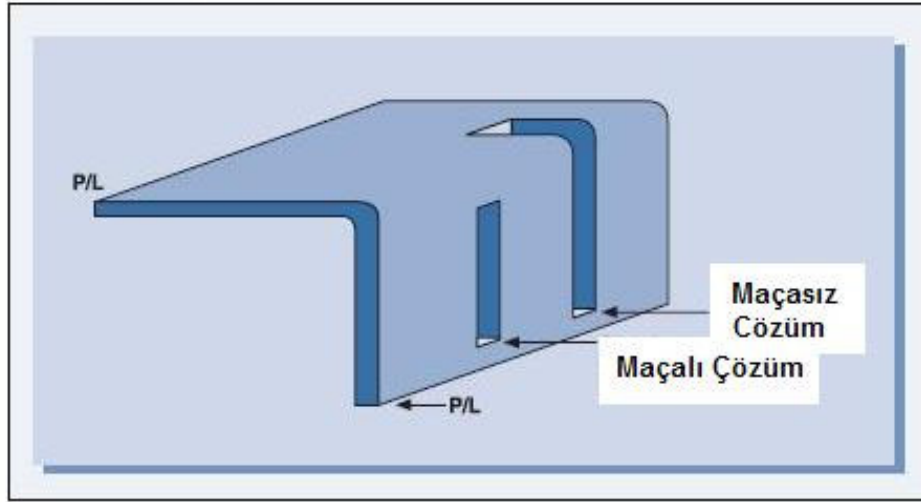
- **Insertler:** Kaldırılabilir insertler özellikle prototip kalıplanmasında parçadan kalıbın çıkarılmasında kullanılır. Dezavantajı ise kalıptan alınan iş parçasından çıkartılması gerekliliği ve bunun sonucunda yeniden pozisyonlanma gerekliliği sonucu artan çevrim zamanıdır.
- **Kamlar:** Kamlar, hidrolik/pnömatik silindirler ilgili parçayı çıkararak çıkartıcıların tüm parçayı çıkarabilmesini mümkün kılar. Bu durum kalıbın karmaşıklaşmasına neden olarak aynı zamanda bu elemanların hareketi için kontrolörlere ihtiyaç duyulmasına neden olduğu için hem maliyetleri artırır hem de çevrim zamanının artırır.

Şekil 5-20'de bir kam pimi enjeksiyon tarafına maksimum 20-25 derece ile monte edilmiştir. Bu açı miktarı kalıbın açılması ve kapanması esnasında pimler üzerine aşırı yük uygulanacağından sınırlandırılmıştır (DSM 2005).



Şekil 5-20: Kam pimli enjeksiyon şematik gösterimi (DSM 2005)

- Maçalar: Kalıba monte edilerek açılı pim ve çubuklar yardımı ile kalıp açılması esnasında açılı pim yönünde iş parçasının boş çıkması istenen bölgesinin şekillendirilmesinde kullanılan elemanlardır. Bu elemanlar daha sonra iş parçasının kalıptan çıkarılmasına olanak sağlar.



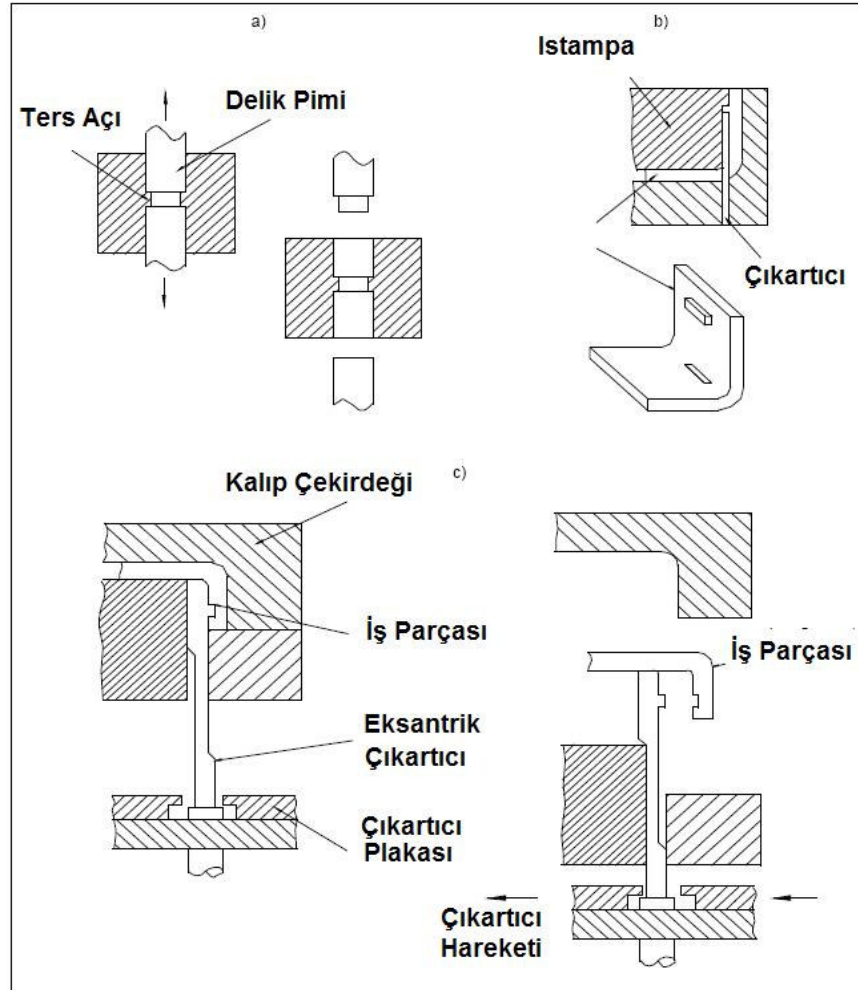
Şekil 5-21: Maçalı ve maçasız alternatifler (DSM 2005)

- Kademeli kalıp ayırma yüzeyi: Kalıp ayırma yüzeyinin yer değiştirilmesi bazı ters açılı bölgeler elimine edilebilir. Bu durum kalıbın karmaşıklığını arttırsa da en çok tavsiye edilen çözüm budur.

İç ters açılar iki ayrı delik pimi kullanılarak elimine edilebilir (Şekil 5-22a). Ama burada iki pimin birleşim bölgesinde çapak riski göz ardı edilmemelidir.

(Şekil 5-22b) 'de bir komşu duvarı takip eden ters açı ele alınmıştır.

Eksantrik şekilli pimler iç duvarlardaki delik veya ters açılar için kullanılabilirler. (Şekil 5-22c)

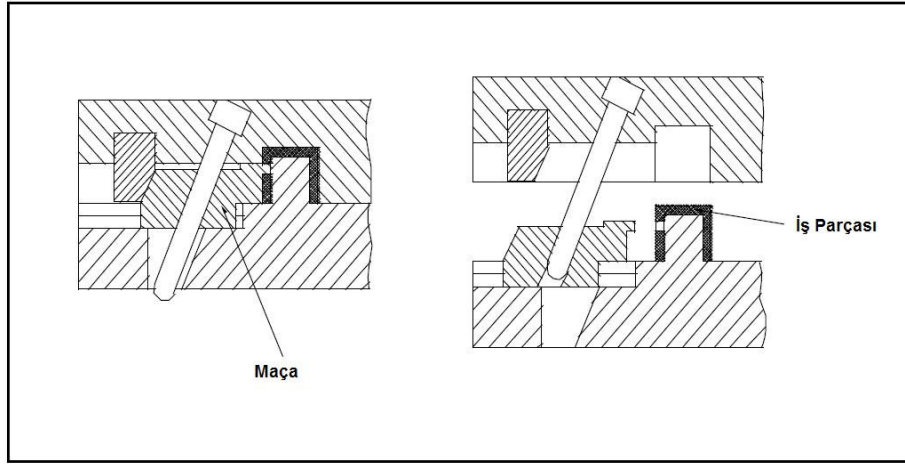


Şekil 5-22: Ters Aç Uygulamaları (Thienel 1997)

Daha büyük daha iç veya daha dıştaki ters açları şekillendirebilmek için özel maçaların kullanılması gerekmektedir (Şekil 5-23)

Burada maça gibi elemanlar diagonal şekilde yerleştirilmiş pimler aracılığı ile kalıp açılma hareketi ile hareketlendirilerek yapılır. Bunun gibi maça için yapılan kalıp konstrüksiyonları stabil ve hassas şekilde yapılmalıdır.

Ancak iş parçasının dış bölgesinde kullanılan maçalar yüzey üzerinde bir ayırım çizgisi bırakır. Böylelikle bir sonraki aşamalarda bu bölgede istenmeyen çapak oluşumlarına zemin hazırlar.



Şekil 5-23: Özel maça uygulamaları (Lappe 1995)

## 5.5 CİDAR KALINLIĞI

Metaller gibi plastiklerde de işlem metotlarına bağlı olan kalınlıklara sahiptir. Tipik olarak enjeksiyon parçalarının kalınlığı 0,5 mm ile 4 mm arasında değişmektedir. Parça tasarımına ve boyutlarına bağlı olarak kesitler daha ince ve kalın olabilirler. Plastik malzemelerde meydana gelen gelişmelerle eşit cidar kalınlıklarına sahip parça üretimi büyük önem kazanmıştır. Çünkü cidar kalınlık farkı geç soğuma problemi, ölçüsel problemler gibi çok çeşitli problemlere yol açmaktadır (Thienel, 1997).

Diğer taraftan cidar kalınlığını büyük ölçüde istekler belirler, bu isteklere göre iş parçası tasarlanır. Yüksek dayanım ve rijitliğin istendiği durumlarda cidar kalınlığı arttırılmadan önce federler kullanılmalıdır. Eğer çok iyi bir yüzey kalitesi ihtiyaçlar dahilindeyse federler kullanılmamalıdır. Çünkü bu durumlarda federin arka kısmında çökmelere izin verilmiş olacaktır.

### **Cidar Kalınlığının Ölçülendirilmesi ve Cidar Kalınlık Değişimi:**

Temel olarak mümkün olan en küçük cidar kalınlığı kullanılmalıdır.

Neden: Artan cidar kalınlığı üretim maliyetlerini de arttırmaktadır. (Malzeme, soğutma zamanı, vb.)

Pratik olarak cidar kalınlıkları 0,7 ile 7 mm arasında alınır. Glass-fiber (cam elyaf) veya mineral katkılı malzeme kullanımı ile gerekliyse alt cidar kalınlığı azaltılabilir. İstisnai durumlarda 0,2 mm ye kadar inilebilir.

5mm den fazla cidar kalınlıklarında köpüklü plastik malzemeden yapılmış insert kullanılmalıdır.

Fonksiyonel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak cidar kalınlığı mümkün olduğunca ince ve üniform tutulabilir. Böylelikle kalıp doldurma ve kalıplama boyunca beklenen çekme en iyi şekilde elde edilir. İç gerilimler azaltılmış olur.

Kalıplama çevrim süresini azaltmak, parça ağırlığını düşürmek ve malzeme kullanımını optimize etmek adına cidar kalınlıkları minimize edilmelidir. Yapısal ihtiyaçlara, kalıplama boyut ve geometrisine ve malzemenin akış davranışlarına bağlı olarak minimum cidar kalınlığı kullanılabilir.

Eğer parçalar önemli miktarda yüklemeye maruz kalacaklarsa gerilim ve sehîm analizlerine tabi tutulmalıdır. Eğer hesaplanan gerilim ve sehîm değeri kabul edilemez boyutlarda ise aşağıdaki etmenler göz önünde tutulmalıdır:

- Cidar kalınlığı artırılmalıdır (eğer çok kalın değilse)
- Daha yüksek dayanım ve/veya elastisite modülüne sahip alternatif malzeme kullanılmalı
- İlgili kesitlerin dayanımını arttırıcı feder veya dış hatlar tasarıma dahil edilmelidir.

Bir diğer açıdan aşağıdaki unsurlar da göz önünde tutulmalıdır:

Absorbe karakteristikleri:

Elektrik ve ısı enerjisinin absorbe edilebilmesi polimer kalınlığı ile yakından ilişkilidir.

Çarpma karakteristikleri:

Çarpma direnci, bir parçanın kırılmadan mekanik enerjiyi absorbe edebilme yeteneğidir. Bu parça tasarımı ve polimer özellikleri ile ilişkilidir. Cidar kalınlıklarının artması çarpma direncini arttırmakla beraber çok kalın bir kesit tasarımda sehîm yapmayı engelleyebilir.

Firma onayı:

Parça tasarımı tutuşabilirlik, ısı direnç, elektriksel özellikler gibi firma gerekliliklerini karşılama zorunluluklarını yerine getirirse tasarımda kesit kalınlaştırılma yoluna gidilerek ihtiyaç duyulan mekanik gereksinimlere ulaşılabilmesi mümkündür.

Tasarım gereği cidar kalınlık değişimi kaçınılmaz bir hale gelirse kademeli geçiş (3'e 1) uygulanmalıdır (Şekil 5-24).

Kalıp doldurma esnasında cidar kalınlıklarındaki farklılıklar ani hız ve basınç değişimlerine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak ergiyiğin kalıp içerisinde soğuması neticesinde iş parçasının ince kesitli bölgelerinde çok kötü dayanım özellikleri elde edilmesi hatta ön kısımlarda ergiyiğin donmasına dahi neden olabilmektedir.

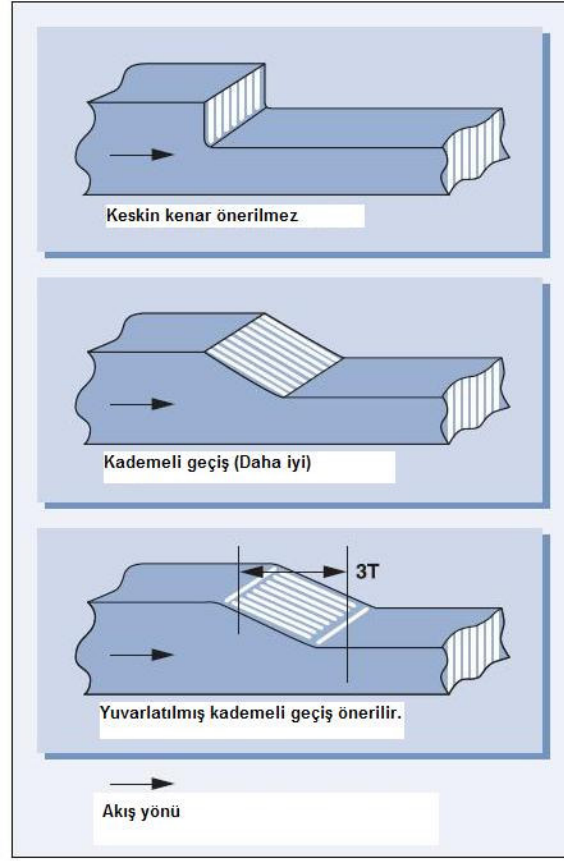
Atalet momentindeki (dayanım)ani değişimler iş parçasının içerisindeki soğuma esnasında çökmelere dolayısı cidar kalınlıklarında malzeme birleşmelerine neden olurlar.

Genel olarak kullanılan cidar kalınlığı 4 mm'yi geçmemelidir. Daha kalın cidarlar malzeme tüketimini arttırmakta çevrimi uzatarak iç gerilime, çökmelere ve parça içerisinde hava boşluklarına yol açmaktadır (Şekil 5-25).

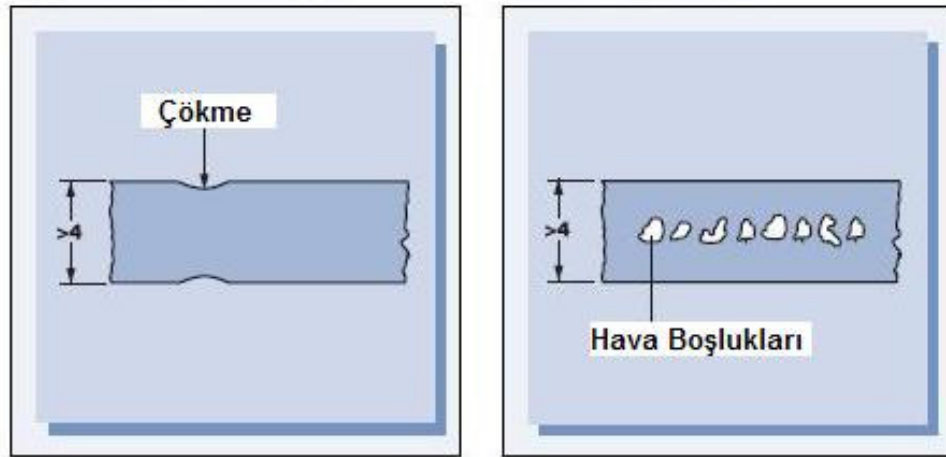
Parça kristalli plastikler (POM, PE, PP...) değişken çekme oranlarına sahip olduklarından üniform olmayan cidar kalınlıklarına neden olurlar. Bu malzemeler amorf plastik malzemelere (PS, PVC, PC,...) göre malzeme içerisinde hava boşluğu oluşmasına, geç soğuma, iç gerilmelere karşı daha meyilli durumdadırlar.

İş parçasının yolluk bölgesi ağaç yapılı cidar kalınlığı yapısı göstermelidir. Büyükten küçüğe bir cidar kalınlığı yapısında olmalıdır.

Neden: İş parçasının dar kesitlerinde kalın kesitlerine göre daha hızlı donar. Bu prensibi gözardı ederek yapılan üretim kalın kesitlerde sorun yaratacaktır: Çökmeler ve hava boşlukları gibi.



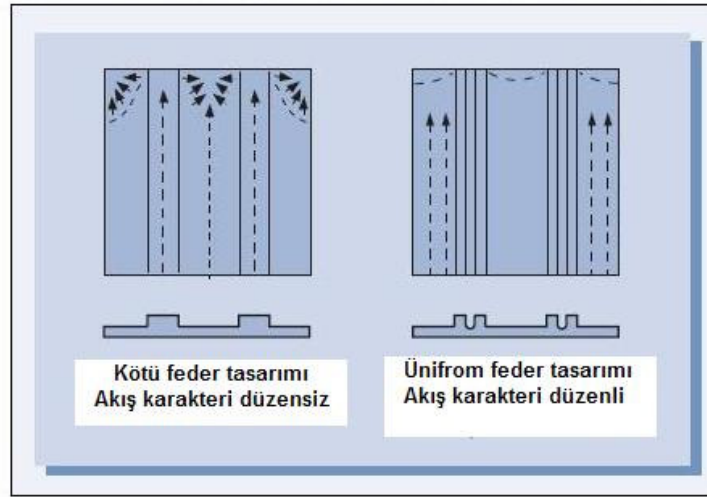
Şekil 5-24: Cidar kalınlıkları arasındaki kademeli geçiş önerisi (DSM 2005)



Şekil 5-25: Cidar kalınlığından dolayı oluşan çökme ve hava boşlukları (DSM 2005)

Kalın kesitler boyunca ergiyiğin daha hızlı akması sonucu ortaya çıkan hava boşlukları ve malzeme birleşim bölgeleri gibi yüzey hatalarına da dikkate alınmalıdır.

Tasarımda federlerin birleştirilmesi ve değiştirilmesi ile de bu kalın kesitler geliştirilebilir.



Şekil 5-26: Kötü feder tasarımının (kalınlık farkı) akışa etkisi (DSM 2005)

## 5.6 Rijitlik Arttırıcı Elemanlar

### 5.6.1 Federler

Eğer plastik bir parçadan yük taşıma kabiliyetinin veya rijitliğinin arttırılması iseniyorsa ya malzemesi değiştirilmeli ya da yapının kesit özellikleri arttırılmalıdır. Malzemenin değiştirilmesi ya da daha kaliteli bir sınıf malzemenin kullanılması (örneğin cam katkı) bazı durumlarda olumlu sonuçlar verebilir. Fakat çoğu zaman pratik (değişken çekme değerine sahip olduğundan ) veya ekonomik değildir.

Atalet momenti gibi kesitsel özellikleri arttırmak çoğunlukla tercih edilen yöntemdir. En pratik yol olmasına rağmen diğer bölümlerde de tartışıldığı gibi yalnızca kesit alanının arttırılması beraberinde bazı dezavantajlar da getirmektedir:

- Parça maliyetinin ve ağırlığının artışı kalınlığın artışı ile orantılıdır.
- Parça soğutma zamanı artışı ise kalınlık artışının karesi ile orantılıdır.

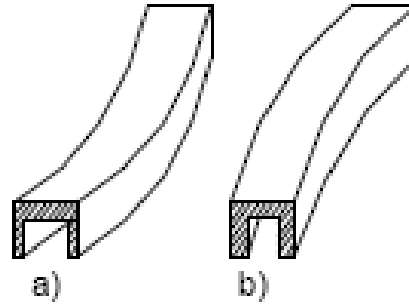
Eğer parça üzerindeki yükleme 4 mm'yi aşacak bir kalınlık gerektirecekse ihtiyaç duyulan dayanımı kabul edilebilir bir cidar kalınlığı ile sağlamak federler ve boşluklu yapılarla elde edilebileceklerdir.

Federler sağladıkları yapısal avantajlara rağmen çarpılma ve görünüş problemlerine neden olabilirler. Bu nedenle aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

1.İdeal: **Feder kalınlığı  $s_r$  = duvar kalınlığı  $s_w$**

Neden: Eşit duvar kalınlıklarında geç soğuma olmazken, farklı duvar kalınlıklarında çapılma(çökme) gözlenir. (Şekil 5-27)

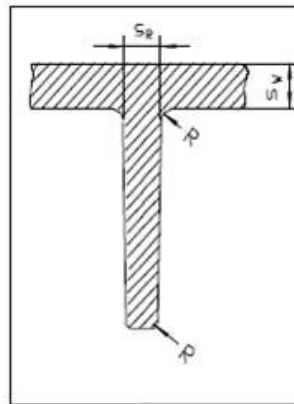
a) İnce federler                      b) Kalın federler



Şekil 5-27: Feder oluşumu (Lappe 1995)

2.Pratikte ise (Şekil 5-28) :

$$s_r = 0,5 \dots 0,8 s_w$$



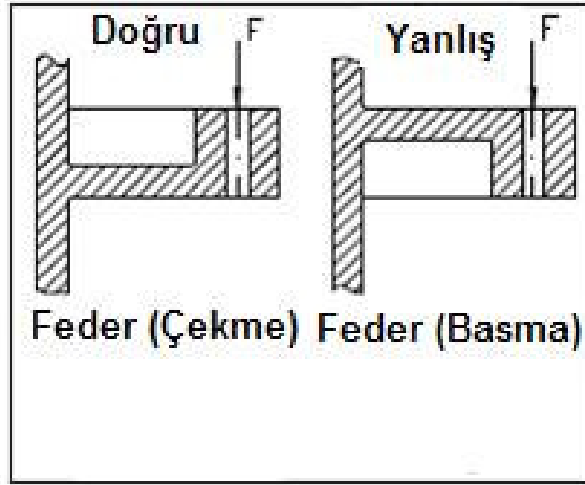
Şekil 5-28: Feder Ölçüleri (Lappe 1995)

Daha küçük feder kalınlıkları için iki husustan bahsedilebilir: Birincisi yüzey üzerindeki feder ile duvar arasındaki birleşme noktalarındaki artan çekmeden meydana gelen çökmeleri azaltmak, ikincisi de parçanın çarpılmasının engellemek için n federin dip kısmının daha büyük profillere sahip olacak şekilde yapılmasıdır.

3.Yüksek federlerde parçaların kalıpta basılmasını kolaylaştırmak için kalıp açılırları çift taraflı olarak verilmelidir. Kalıp açılırları malzemenin türüne göre  $0,25^\circ$  ile  $2^\circ$  arasında olmalıdır.( Kalıp açılırları bölümünü görünüz.)

4.Federlerin dip ve yan bölgelerdeki geçişleri yuvarlatılmalıdır. Bu radyüs değeri cidar kalınlığının yarısı kadar olmalıdır. Bunun nedeni plastik malzeme üzerindeki çentik etkisidir. Artan gerilme çentik bölgesinde “çentik gerilmesi”ne yol açarak çatlaklara bu bölgede neden olur. Her nerede keskin kenarlar isteniyorsa burada önerilen radyüs değeri 0,5 mm’dir. (Kenarlar ve radyüsler konusuna bakınız.)

**Feder Konstrüksiyonu ve Optimizasyonu:** Genel olarak eğilme yüklemesi esnasında mümkün olduğunca federlerin aşağıdaki şekildeki gibi gerilme bölgesinde bulunmasına özen gösterilmelidir. Bu sayede bu bölgede bel verme ve bükülme görülmez. (Şekil 5-29).



Şekil 5-29: Federlerin pozisyonunun önemi (Niederhöfer 1989)

- Dayanımın görünümünden daha önemli olduğu ve düşük çekme değerlerine sahip malzemelerin kullanıldığı durumlarda kalınlığı cidar kalınlığının yarısından daha fazla olan federler kullanılabilir. Bu federlerin bulunduğu tarafın ters yüzeyinde

çökmelere neden olacaktır. Buna ek olarak bu federler akışı yönlendirerek malzeme birleşme bölgelerine ve hava boşluklarına neden olabileceklerdir.

- Maksimum feder yüksekliği nominal cidar kalınlığının 3 katını aşmamalıdır. Daha derin federlerin bulunduğu iş parçasının kalıpta doldurulması zor olduğu gibi kalıptan çıkarma esnasında da kalıba yapışabilir.
- Genel olarak kalıp açıları minimum 0,5 derece olacak şekilde her bir taraf için 1-1,5 derece civarındadır. Genel olarak kalıp açısı ve cidar kalınlığı feder yüksekliğini sınırlar.
- Feder tabanı ve nominal cidarın kesişiminde nominal cidar kalınlığının %25'inden %50'sine kadar olacak şekilde yuvarlatılmalıdır. Minimum değer 0,4 mm olmalıdır. Bu radyüs potansiyel gerilim oluşumlarını engelleyerek feder etrafında akışı ve soğutma karakteristikleri iyileştirir. Daha büyük radyüsler sadece kısıtlı ölçüde iyileşme sağlarken cidarın ön yüzündeki çökme riskini azaltır.

Paralel federler arasında en az nominal cidar kalınlığının iki katı kadar mesafe olmalıdır. Bu hem soğutma problemlerini önler hem de kalıp konstrüksiyonunda ortaya çıkabilecek keskin kenarları engeller.

Federler tercihen akışa paralel tasarlanırlar. Akışa dik olarak tasarlanan federler akışın dallanmasına neden olarak hava boşluklarına akışın duraksamasına neden olur. Akışın duraksaması iç gerilimleri artırır.

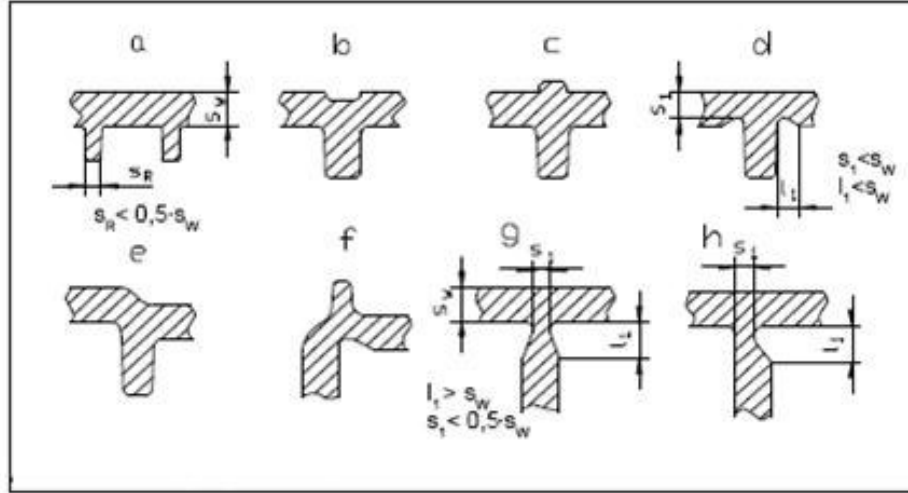
#### **Federin Taban ile Birleşimi**

- a) Çok sayıdaki kısa ince federle çoklu destekleme
- b) Dekoratif çentik
- c) Dekoratif feder
- d) Federin yanındaki cidar kalınlığı
- e) Kenar feder

#### **Federin Yan Cidarlarla Birleşimi**

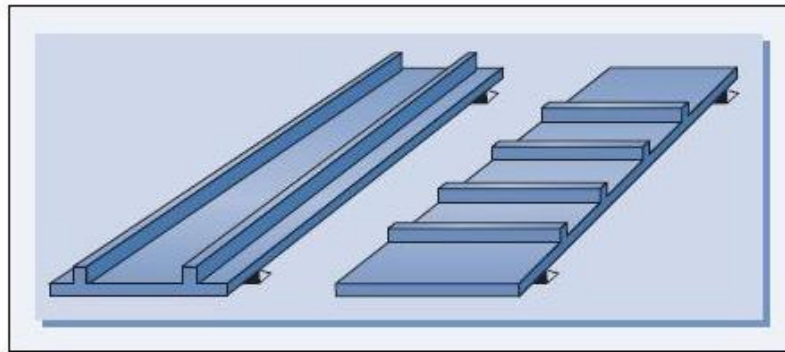
- f) Ek daraltma ile yapılan kenar federleri
- g) Birleşim bölgesinde yapılan feder daraltması
- h) Daraltma, tek taraflı ve daha kolay uygulama

Federlerin taban ve yan cidarlar ile birleşimi ile ilgili alternatif öneriler Şekil 5-30'da belirtilmiştir.



Şekil 5-30: Federlerin cidarlar ile birleşimi ile ilgili alternatif öneriler (Lappe 1995)

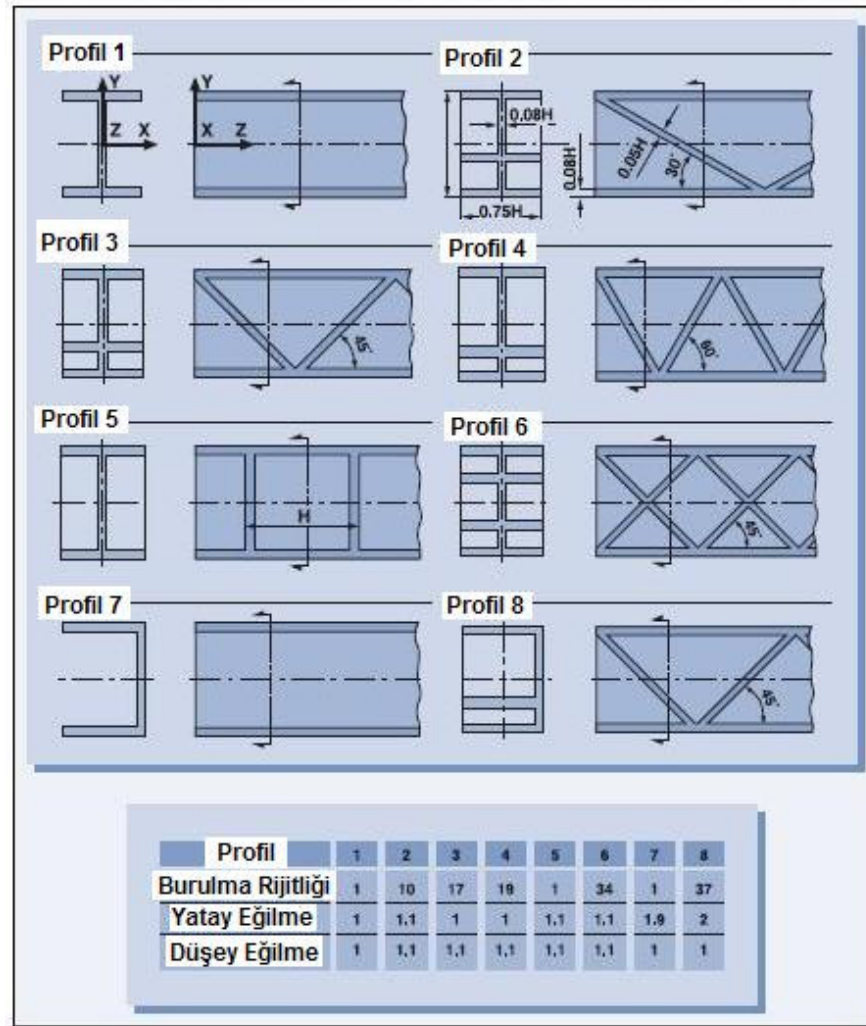
Federler maksimum rijitlik sağlamaları için eğilmenin gerçekleştiği eksen boyunca hizalanmalıdır. Şekil 5-31'de uzun ince pleytin uçlarından desteklendiği durumlar ele alındığında eğer federler uzunluk yönünde yerleştirildiğinde rijitliğin önemli ölçüde arttığı bununla beraber genişlik yönünde yerleştirildiğinde ise rijitliğin çok düşük miktarda arttığı görülmüştür.



Şekil 5-31: Enine ve boyuna feder uygulamaları (DSM 2005)

Federler ve kutu kesitler ritliği artırır. Böylece iş parçasının yük taşıma kabiliyeti artar. Bu güçlendirme metotları cidar kalınlıklarını düşürmesi sağladığı gibi daha büyük cidar kalınlıkları ile aynı dayanıma ulaşmaya olanak sağlar.

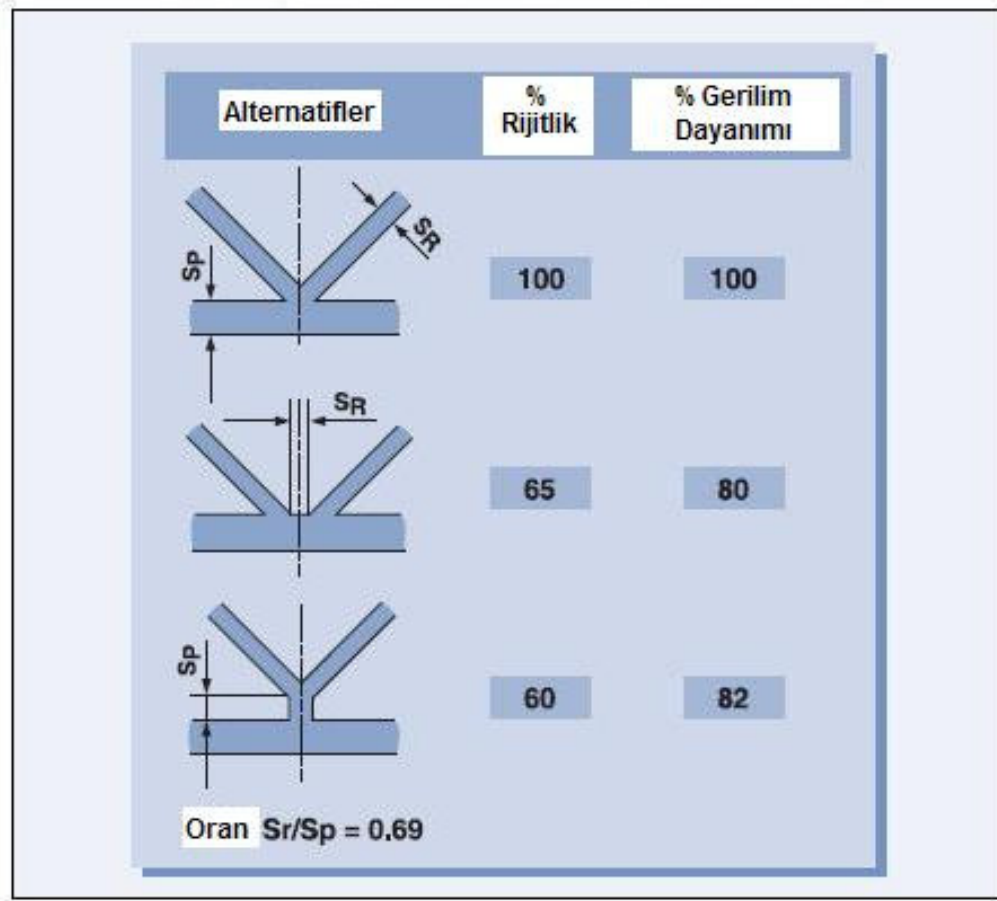
Bu sonuçlar köşegen federlerin kesitlerdeki bükülme rijitliğine karşı çok büyük etkisinin olduğunu gösterir. I kesitten C kesidine geçiş yatay eğilme konusunda yardımcı olur ama bükülme konusunda değil. Çift çapraz federlerde olduğu gibi (Şekil 5-32 opsiyon-6) kalıpta soğutma problemlerine yol açar. Şekil 5-32 Opsiyon-8 bükülme performansı için tavsiye edilen en iyi çözümdür.



Şekil 5-32: Kesitlerin burulma ve eğilme rijitliklerine göre karşılaştırılması (DSM 2005)

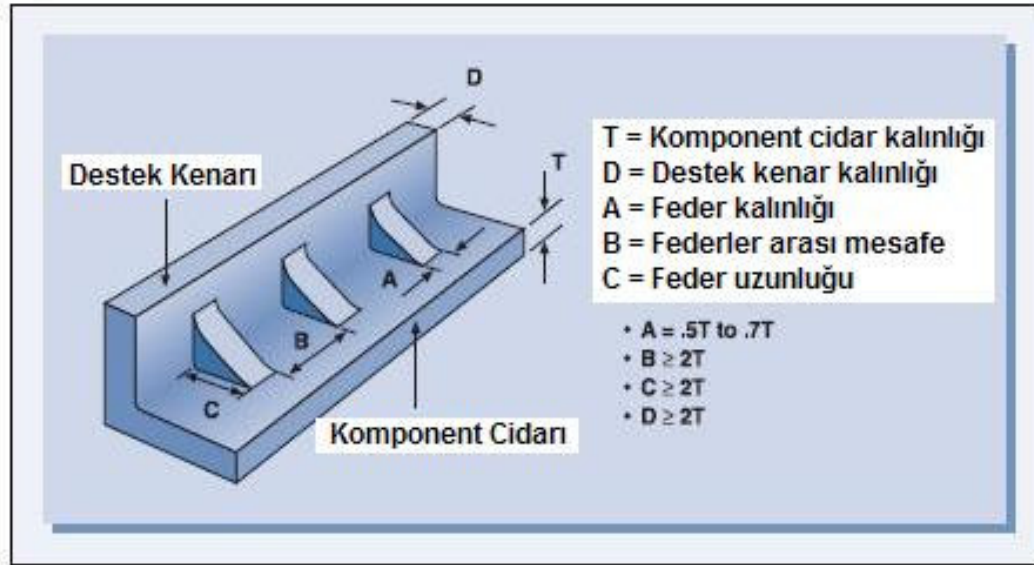
Parçaların ihtiyaçlarına bağlı olarak federlerin ve profillerin kesişim bölgelerinde olası çökmelerin kabul edilebilirliğine özellikle dikkat edilmelidir. Maksimum performans ve fonksiyon eldesi için federlerin ve profillerin nötr eksenleri aynı noktada bulunmalıdır. Bu noktadan sapmalar zayıf geometri oluşumuna nede

olacaktır. Estetik kaygılar nedeni ile köşegen federlerin küçük miktarda ayrılması %35 oranında rijitlik azalmasına neden olacaktır. Eğer kısa dik bir feder daha tasarıma eklenirse bükülme rijitliği %5 daha azalacaktır (Şekil 5-33).



Şekil 5-33: Çökmeleri engelleyici feder alternatifi (DSM 2005)

**Köşebent veya Destek Federleri:** Köşebentler federlerden biraraya gelen bir yapı olduğundan federler için kullanılan tasarım ilkeleri köşebentler için de kullanılır. Bu tip destekler köşeleri, kenar duvarlarını ve göbekleri güçlendirmek için kullanılırlar.

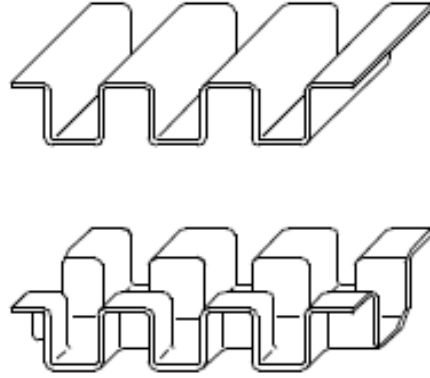


Şekil 5-34 Köşebent ve destek federlerinin şematik gösterimi (DSM 2005)

Federlerin yüksekliğine bağlı olarak köşebentlerin yüksekliği nominal cidar kalınlığının 4 katına kadar olabilir. Köşebentlerin taban uzunluğu tipik olarak nominal cidar kalınlığının iki katıdır. Bu değerler köşebentlerin yararlılığını optimize etmek ve kalıplamayı ve kalıptan parçayı çıkartmayı kolaylaştırıcı amaçlıdır.

### 5.6.2 Oluklu Yapılar

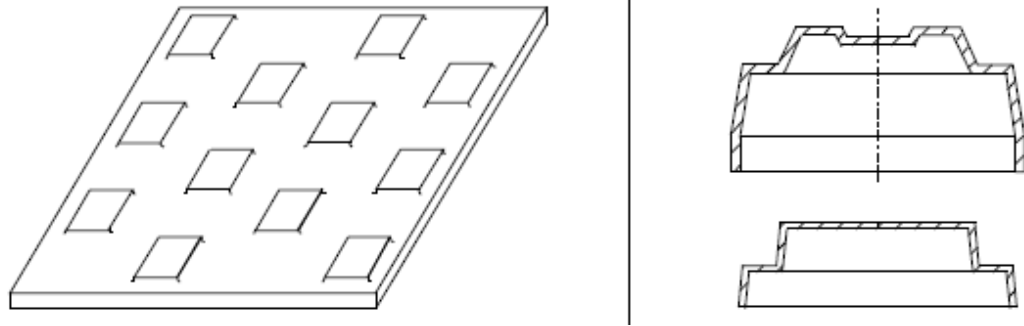
Bu yapılar ilgili düzlemin oluk şeklinde bir yapıya kavuşturularak oluşturulurlar. Aynı ağırlığa sahip federli tipe göre avantajı rijitlik olarak 1,8 kat, dayanım olarak 3,2 kat daha iyi değerlere sahip olmalarıdır. Dezavantajları ise kalıp maliyetlerinin çok olması, genişlik yönündeki rijitliğinin eşdeğeri pleytten daha az olması, seçilen belli bir Sicken yüksekliği boyunca rijitliğin aynı kalması olarak sıralanabilir. Genişlik yönündeki (eğilme ve burkulma momentleri) rijitlik ancak ve ancak çapraz veya köşegen(diagonal) federleme ile sağlanabilir.



Şekil 5-35: Düz oluklu yapı ile çapraz oluklu yapının şematik gösterimi (Thienel 1997)

### 5.6.3 Çıkıntılı Yapılar

Eğilme ve burkulma momentlerini arttırmaya yönelik bir diğer yöntem de çıkıntılı bölgeler içeren bu yapılar ile sağlanabilir. Uygun şekil tasarımı ile imalatı kolay bir iş parçası elde edilebilir. Şekil 5-36 deki düzenlenmiş yapı ile hem enine hem de boyuna aynı (eğilme ve burkulma momentleri) rijitlik sağlanabilir.

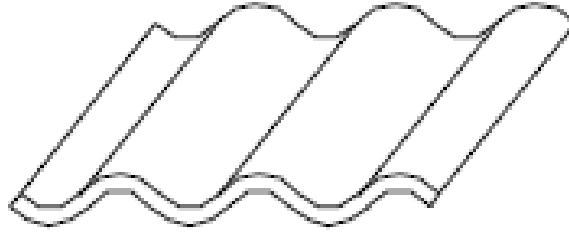


Şekil 5-36: Çıkıntılı yapıların şematik gösterimi (Thienel 1997)

### 5.6.4 Dalgalı Yapılar

Eğer dalgalı yapı uzunlamasına kullanılırsa çok iyi rijitlik artışı sağlar. Hem enlemesine hem de boylamasına rijitlik sağlanması için dalgalı yapının çapraz olarak konumlandırılması gerekmektedir. Daha büyük eğilme uzaması nedeni ile (enlemesine)

yani eşit enerji yüklemesine karşı daha fazla deformasyon oluşması nedeni ile genişlik yönünde rijitlik azalması yaşanır.

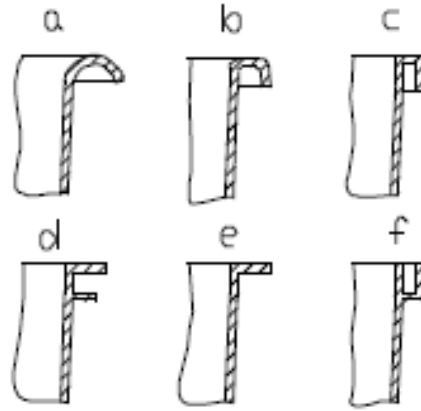


Şekil 5-37 Dalgalı yapıların şematik gösterimi

### 5.6.5 Özel Profiller

Geniş yüzeyli, kase şeklinde veya kutu şeklindeki plastik parçaların rijitliğinin sağlanmasında tüm etrafını çevreleyen profiller kullanılmalıdır.

Komşu duvarlarda çarpıklık olmaması için profilin cidar kalınlığı komşu duvarların cidar kalınlığına eşit olmalıdır. Mümkünse lokal şekil bozukluklarının önüne geçilmelidir.



Şekil 5-38: Özel profillerin şematik gösterimi (Niederhöfer 1989)

Profilin parça üzerine nasıl yapılacağına sınırlarına bakılarak karar verilir. Şekil 5-38'deki örneklerden uygulama D haricindeki bütün uygulamalar kolaylıkla iki parçalı

kalıplarla oluşturulabilirken, Uygulama D için yandan çalışan hareketli bir maçaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5.7 Göbekler

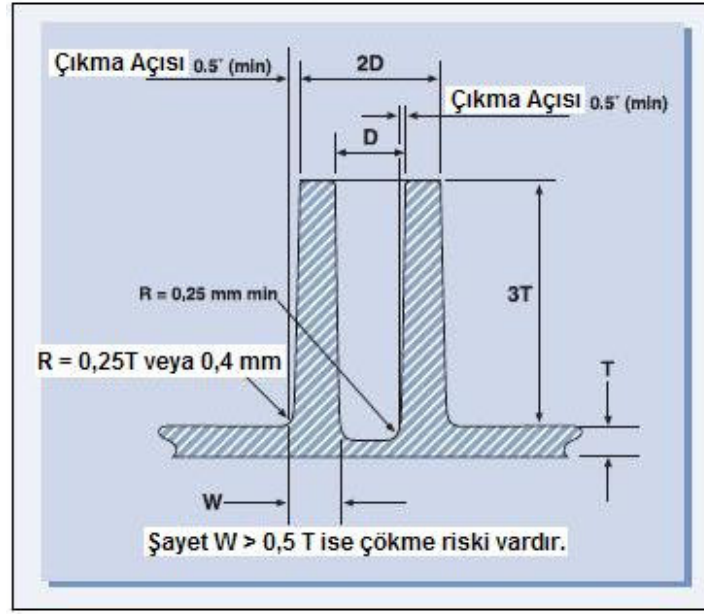
Göbekler formlu parça ile diğer parçalar arasında sabitleme bağlama olanağı sağlarlar. Ayrıca pozisyon sabitlenmesinde, delik bölgelerinin güçlendirilmesinde ve montaj kolaylaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Göbeklerin yanlış tasarlanması geç soğuma, hava boşluğu, çökme gibi çeşitli dezavantajlara yol açmaktadır (DSM 2005).

Bu nedenle pozisyon sabitleme görevi gerçekleştirildiğinde fatura doğrultusunda federlerin ne şekilde ve hangi boyutlarda tasarlanabileceğine dair olasılıkların en iyi şekilde incelenmesi gerekir.

Göbekler sıklıkla monte etme ve sıkıştırma noktaları olarak kullanılır. Bundan dolayı hem görünüm hem de yeterli bir dayanım sağlayan iyi bir tasarım gerekir. Kalın kesitlerden çökme gibi estetik problemleri minimize etmek için kaçınılmalıdır. Eğer göbek kendinden vida açabilen vidalar için kullanılacaksa duvar kesidi göbekte aşırı çevresel gerilime imkan vermeyecek şekilde kontrol edilmelidir.

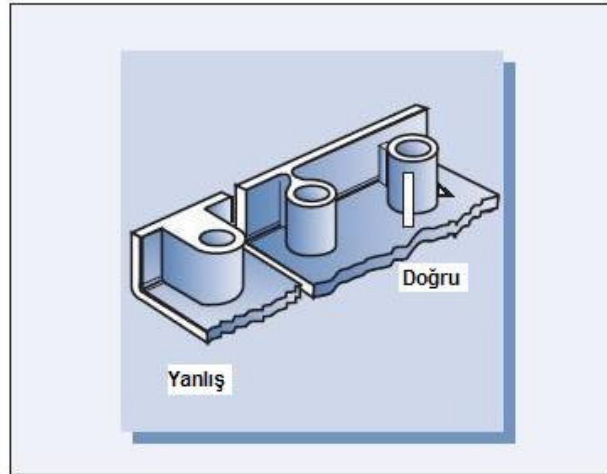
Tasarım ile ilgili genel öneriler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Nominal göbek cidar kalınlığı parçanın nominal cidar kalınlığının %75'ini geçmemelidir. %50'sinin fazlasında ise çökme riski vardır. Daha büyük duvar kesitlerinde artan dayanımla birlikte kalıplama esnasında gerilim sonucu çökmeler oluşacaktır.
- Gerilimi azaltmak için göbek tabanına minimum parçanın nominal cidar kalınlığının %25'i kadar veya 0,4 mm radyüs uygulanmalıdır. (Şekil 5-39)
- Göbeğin dış kısmında da göbeğin kalıptan çıkmasını garanti edecek şekilde minimum kalıp açısı verilmelidir.
- Göbeğin içerisine giren erkek pim uzunluğu nominal cidar kalınlığını azaltacak derecede arttırılıp çökme riski azaltılabilir. Erkek pim kalıp doldurma esnasında malzeme türbülansını azaltmak ve gerilimleri minimumda tutmak için min. 0,25 mm yuvarlatılmalıdır. Bu durum diğer yandan yüzeyin diğer tarafındaki yüzey hatalarını da arttırmaktadır. (Şekil 5-39)



Şekil 5-39: Göbek ölçülerinin şematik gösterimi (DSM 2005)

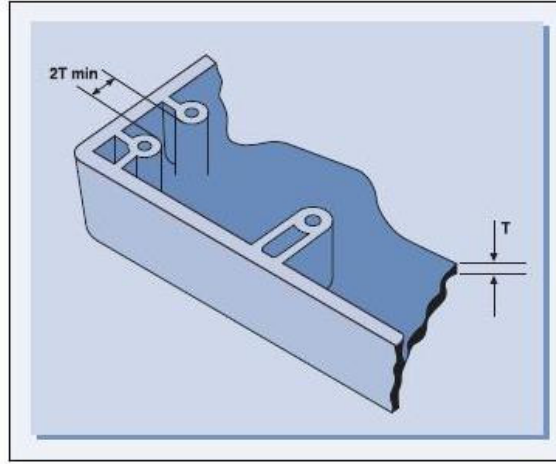
- İç çaptaki minimum kalıp açısı ise vida ile uygun temas ve kalıptan rahatlıkla çıkabilmesi için min.  $0,5$  derece olmalıdır.



Şekil 5-40: Göbeklerin yan cidarlara bağlantı şekilleri (DSM 2005)

Daha sağlam dayanım sağlamak için ise köşebent federler ile göbekler yan cidara sabitlenmelidir. Komşu göbekler ileri de malzeme çökmesine neden olacak ve çevrim süresini arttıracak olan malzeme toplanmasını engellemek amacı ile min. 3mm mesafede pozisyonlanmalı ve yan cidarlarda çökmeye neden olmayacak şekilde yan

cidarlara bağlanmalıdır (Şekil 5-40). İki göbek arasındaki mesafe minimum nominal parça cidar kalınlığının iki katı olmalıdır (Şekil 5-41). Eğer çok yakın bir şekilde pozisyonlanırlarsa bu ince bölgeler kalıpta oldukça zor bir şekilde soğutulabileceklerdir. Bu kalite ve prodüktivite olarak geri dönüş yapacaktır.

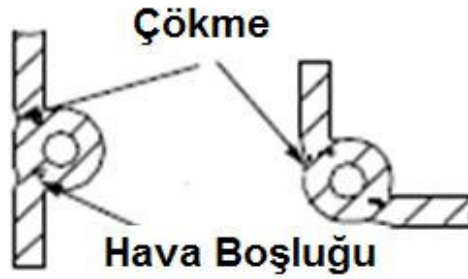


Şekil 5-41: Göbekler arası mesafe-cidar kalınlığı ilişkisi (DSM 2005)

#### **Göbeklerin Oluşturulmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler:**

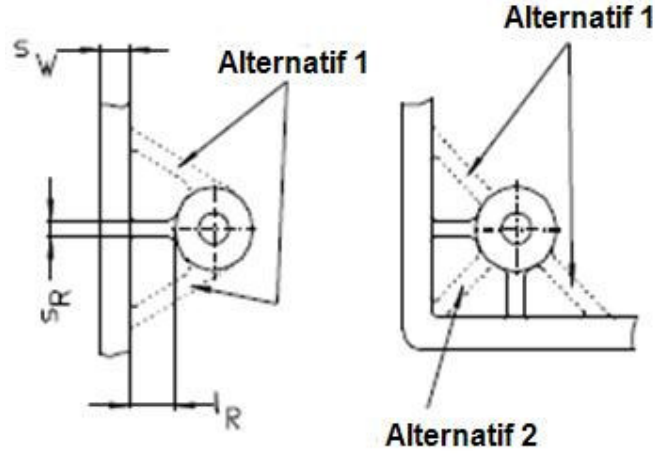
1. Flanş direkt olarak yan duvara bağlamamalıdır.

Neden: Direkt bağlanırsa çökme ve hava boşluklarına neden olması.



Şekil 5-42: Göbeklerin direkt yan cidarlara bağlanması

2. **Kural:** Göbekler ince feder veya federlerle yan duvara bağlanmalıdır.

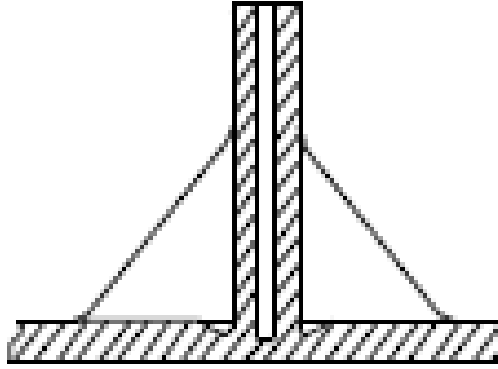


Şekil 5-43: Göbeklerin federlerle yan cidarlara bağlanması

$$l_R > s_W$$

$$s_R > 0,5 \cdot s_W$$

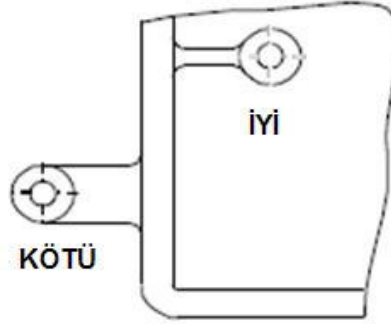
3. Göbeklerin dip bölgesinde ince, yıldız formu bağlantılar kurulmalıdır.



Şekil 5-44: Göbeklerin dip formu

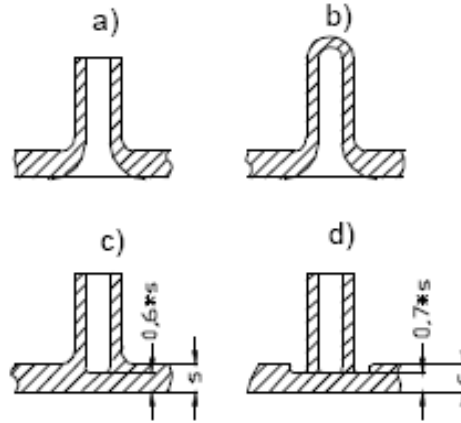
4. Göbeklerin tasarımına parçanın dış kısmında zorunlu kalmadıkça izin verilmemelidir.

Neden: Çentik etkisi ve malzeme birleşme bölgeleri azaltılmış olur.



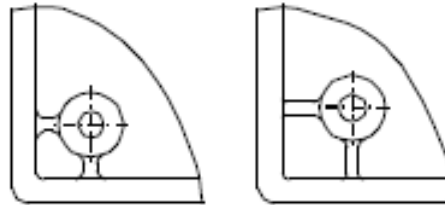
Şekil 5-45: Göbek bağlantısı (Schönwald 1995)

5. Bir diğer taraftan Şekil 5-46'da görüldüğü gibi öncelikle malzeme toplanmasını engelleyici tarzda bir yapısal tasarım yapılmalıdır.



Şekil 5-46: Göbek bağlantılarında dip formu ölçüleri

6. Göbeklerin desteklenmesinde kalıbın soğutulmasını engelleyip engellemediği kontrol edilmelidir.

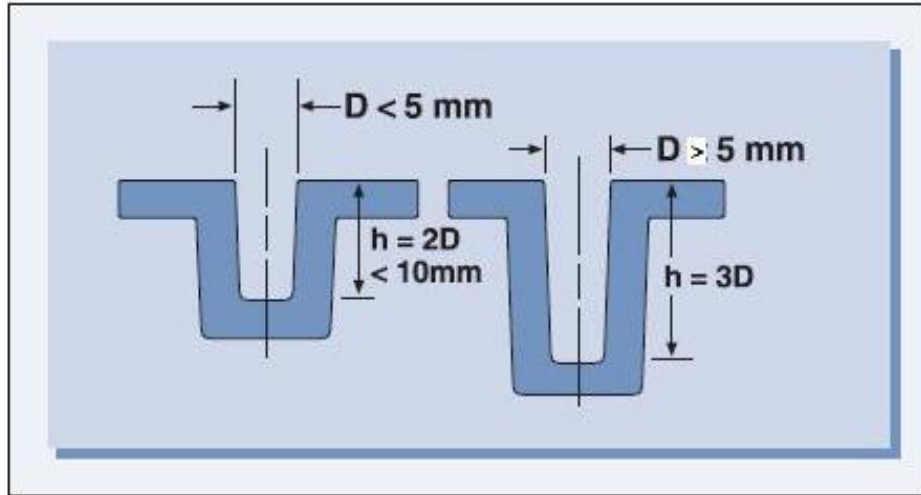


Şekil 5-47: Göbeklerin desteklenmesinde soğutmaya dikkat edilmesi

## 5.8 Delikler

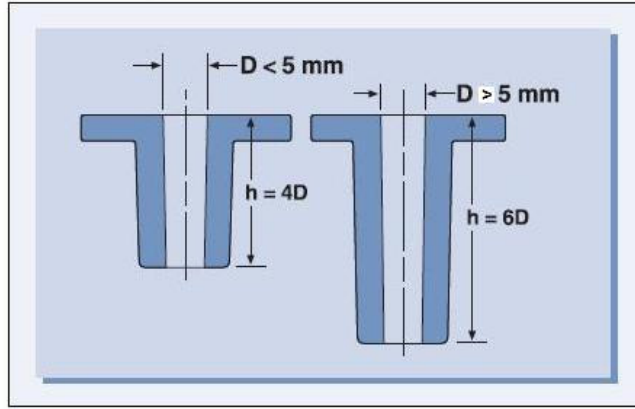
Delikler kalıplanan parçalarda erkek pimler aracılığı ile kolaylıkla elde edilebilir. Erkek pim her iki taraftan da desteklendiği için boydan boya delikler kör deliklere oranla daha kolay elde edilirler.

**Kör Delikler:** Kör delikler kalıpta erkek pimler tek taraftan desteklenerek elde edilir. Pimin uzunluğu dolayısıyla deliğin derinliği erkek pimin enjeksiyon fazında ergiyiğin bozucu etkisine karşı koyma kabiliyeti ile sınırlıdır. Genel bir kural olarak kör deliğin derinliği çapının 3 katını geçmemelidir. 5 mm'den küçük delikler için ise bu oran 2'yi geçmemelidir.



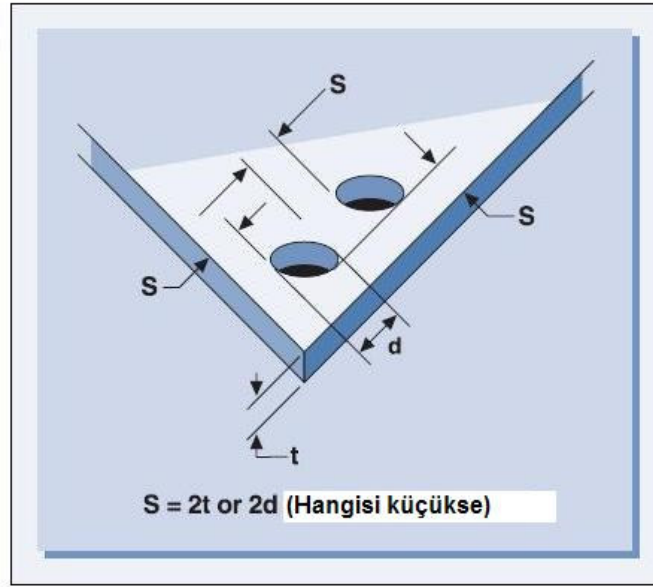
Şekil 5-48: Kör deliklerin boyutlandırılması (DSM 2005)

**Boydan Boya Delikler:** Boydan boya deliklerde pimler karşı tarafta dışı kalıp yarısına kadar uzayabilir. Diğer bir alternatif de her iki tarafta sabitlenmiş ayrı pimler kullanmaktır. Kalıp kapandığında ayrılmış bu pimler birbirleri ile kilitlenir. Boydan boya deliklerde deliğin boyu kör deliklere oranla kör deliklerin iki katına ulaşabilir. Daha uzun deliklere ihtiyaç duyulduğunda kalıp doldurma esnasında basınç dağılımının dengelenmiş olduğundan emin olunmalıdır (DSM 2005).



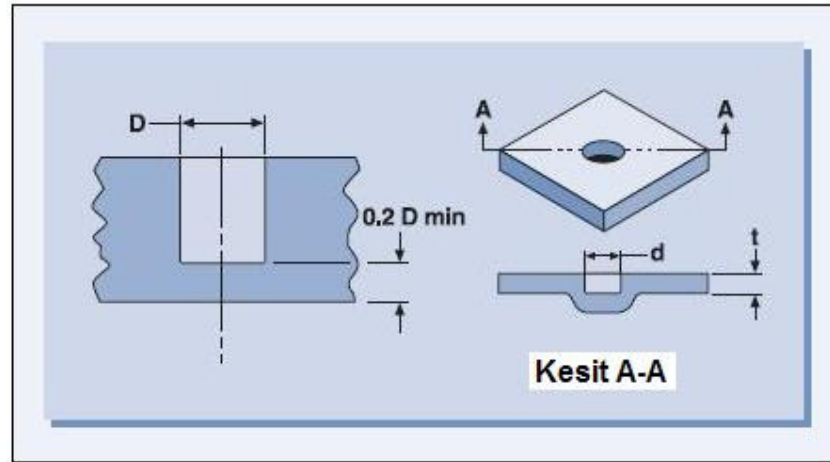
Şekil 5-49: Boydan boya deliklerin boyutlandırılması (DSM 2005)

Kalıp açılma yönüne dik doğrultuda bir eksene sahip olan delikler ayrı takımlara ihtiyaç duyar. Bazı tasarımlarda yerleştirilen kademeler veya çok açılı yüzeyler kullanıldığında bu tip takımlara gerek kalmayabilir. Erkek pimler daha rahat çıkartılabilmesi için parlatılabilir ve bu yüzeylere kalıp açısı verilebilir. Kalıp tasarımı malzeme akışını kozalar boyunca ve çökük bölgelere doğru malzeme birleşim bölgelerini daha kalın kesit veya daha az kritik bölgelere doğru kaydıracak şekilde yönlendirmelidir. Eğer malzeme birleşim bölgeleri dayanım veya estetik açıdan gereksinimleri karşılayamayacaksa bu delikler kalıplama sonrası ek bir işlem ile bu delikler açılabilir. İki delik veya bir delik ile kenar arasındaki mesafe parça kalınlığının delik çapının hangisi büyük ise bu değerden küçük olmalıdır (DSM 2005).



Şekil 5-50: Deliklerin kenardan uzaklıkları /(DSM 2005)

Kör deliklerde dip bölgenin kalınlığı karşı yüzeyde yüzey hatalarına neden olmamak için delik çapının %20'sinden büyük olmalıdır. Daha iyi bir tasarım için ise cidar kalınlığı her bölgede eşit tutulmaya çalışılmalı ve gerilim yığılmasını engellemek için hiçbir yerde keskin köşeler oluşturulmamalıdır.



Şekil 5-51: Kör deliklerin dip bölgeleri (DSM 2005)

## 5.9 Köşeler ve Radyüsler

Keskin köşeler ve kenarlar plastik parçalar için olası en büyük tehlikelerden biridir. Bu köşelerde meydana gelen beklenmedik gerilmeler köşe ve boşaltmaların keskinliği ve karmaşık parça geometrilerine bağlıdır. Çoğu plastikler çentik etkisine karşı dirençsiz olduğundan ve çentik bölgelerinde yüksek gerilmeler olduğundan söz konusu köşe ve kenarlar yuvarlatılmalıdır.

Enjeksiyon parçaların tasarımında daima keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Tasarımda mümkün olduğunca radyüsler gerilim yoğunluklarını azaltmak için kullanılır. Radyüsler nominal cidar kalınlığının %25 ile %60 arasında olmalıdır. Eğer söz konusu parça yatak yüklemesine maruz kalacaksa bu değer üst sınır olmalıdır (%60). Minimum radyüs olarak 0,5 mm önerilmekle beraber tüm köşeler en azından 0,125 mm ile yuvarlatılmış olmalıdır.

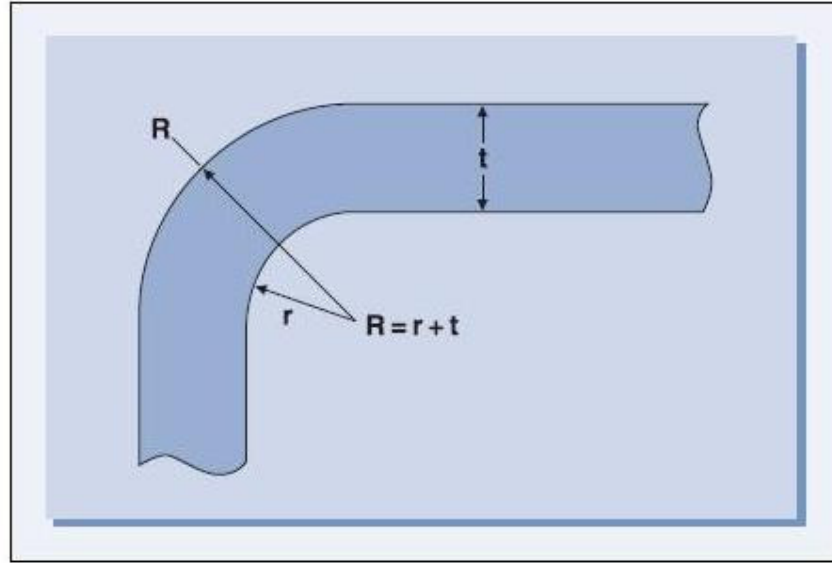
Keskin köşelerde özellikle iç köşelerde aşağıdaki sorunlar ortaya çıkar:

- Yüksek gerilim
- Kötü akış karakteristikleri
- Kötüleşen mekanik özellikler
- Artan takım aşınması
- Yüzey görünüm problemleri

Radyüs eklenmesi sonucu ise:

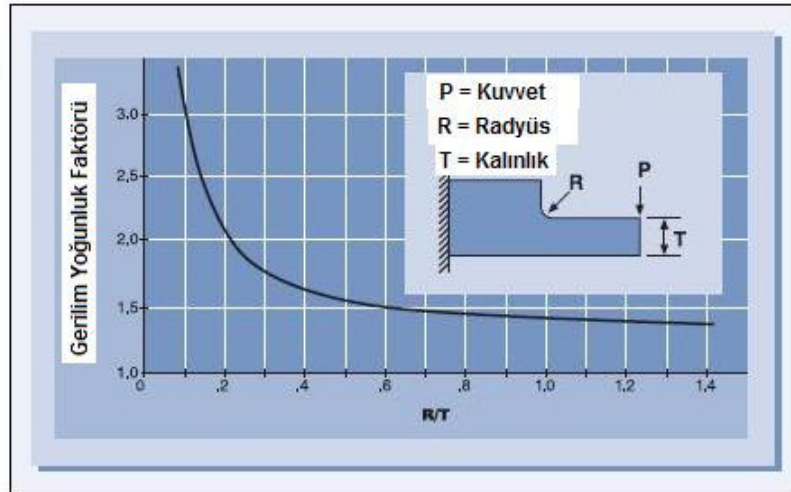
- Uniform soğutma
- Daha az çarpılma
- Daha az akış direnci
- Daha kolay kalıp doldurma
- Daha düşük gerilim yoğunluğu
- Daha düşük tokluk hassasiyeti

Dış köşe radyüsü iç köşe radyüsüne cidar kalınlığı eklenmiş değer ile aynı olmalıdır. Bu cidar kalınlığını sabit tutmuş olacak ve gerilim yoğunluğunu azaltacaktır (Şekil 5-52).



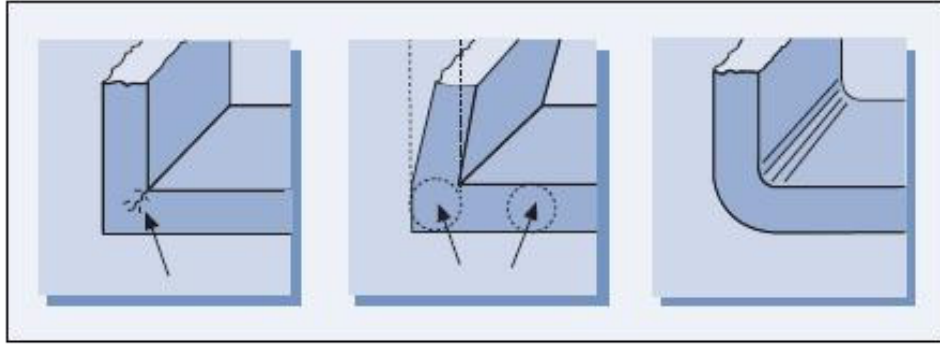
Şekil 5-52: Köşe radyüsü formunun şematik gösterimi (DSM 2005)

Bir parça için iç radyüs değeri nominal cidar kalınlığı değerinin yarısı ise buradaki gerilim yoğunluk faktörü 1,5 gibi makul bir değer olur. Daha küçük radyüsler için örneğin cidar kalınlığının %10'u kadar ise bu oran 3'e yükselir. Gerilim yoğunluk tabloları için standart tablolar bulunmaktadır ve bunlar kritik uygulamalar için özellikle dikkate alınmalıdır (Şekil 5-53).



Şekil 5-53: Radyüs-cidar kalınlığı oranının gerilim ile ilişkisi (DSM 2005)

Buna ek olarak kalıplama açısından da keskin iç köşelerden sakınmak büyük önem arz eder. Polimerlerdeki iç ve dış köşelerdeki alan/hacim oranı arasındaki farktan dolayı dış kısımdaki soğutma iç kısımdaki soğutmadan daha iyidir. İç kısımdaki malzemenin bir sonucu olarak daha fazla çekmeye uğrar böylelikle köşeler şekil değişimine eğilimlidir (Şekil 5-54).



Şekil 5-54: Köşelerdeki şekil değişiminin şematik gösterimi (DSM 2005)

#### **Kenar ve Radyüs Oluşturulmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler**

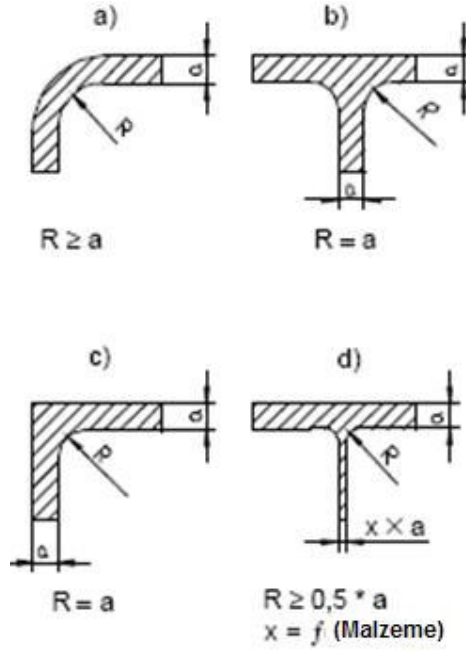
1. Genel olarak kenar radyüsleri  $Radyüs = 0,6 \times \text{cidar kalınlığı}$  olarak alınmalıdır.

2. Aşağıdaki kurallar optik ve mekanik olarak radyüs tiplerinin ön seçimini sağlamaya yöneliktir. (Şekil 5-55)

a = Eşit sıcaklık dağılımı, daha az çarpılma ve iyi dayanım sağlar.

b,c = İyi dayanım, cidar kalınlığının artması ile çökme tehlikesi ve çarpılma

d = Az ya da hiç çökme olmaz. X değeri kalıplama malzemesi ile yakından ilişkili bir özellik (örneğin akış yolu ile cidar kalınlığı ilişkisi, viskozite)



Şekil 5-55: Radyüs tiplerinin ön seçimine yönelik şematik gösterimi

3. Köşelerde malzeme toplanmasından kaçınılmalıdır (Şekil 5-56)

a = Kolay işletilebilir kalıp tekniği

b = Kalıp teknik olarak daha pahalıdır. (Hinterschnitt) Bununla beraber artan yüzey alanı ile daha iyi bir sıcaklık dağılımı sağlanır.

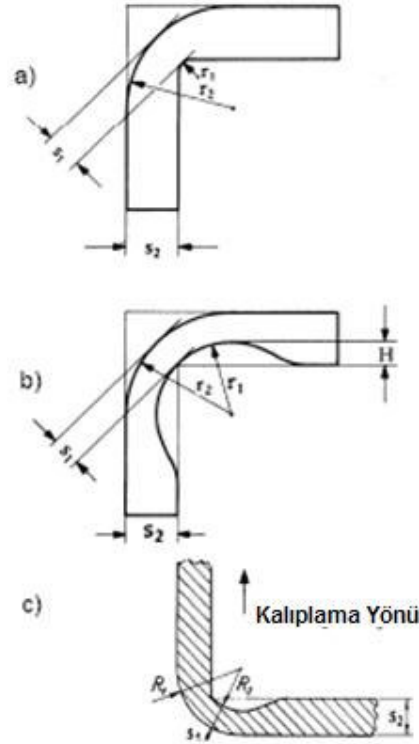
c = Ters açılardan kaçınmak:

Kalıbın iyi ısıtılması ile

$$s_1 = 0,6 \dots 0,8 \ s_2$$

Yetersiz kalıp ısıtması söz konusu olduğunda

$$s_1 = 0,3 \dots 0,5 \ s_2$$



Şekil 5-56: Malzeme toplanmasını önleyici radyüs tipleri (Kunz, Land ve Wierer 1996)

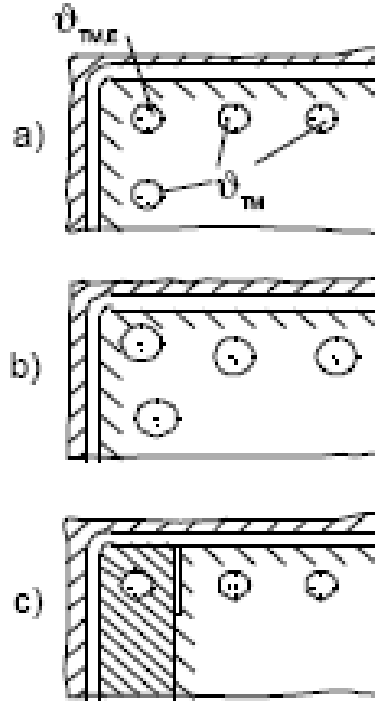
4. Kalıp ısıtması özellikle köşe bölgelerinde hassasiyetle yapılmalıdır.

Amaç: Yuvarlatmalar iş parçası köşelerinde uniform bir soğutma sağlar. İş parçası köşelerinin radyüse sahip olmaması dış köşe bölgelerindeki soğutmada daha ağır basmaktadır. Bu etki dış bölgede daha etkili iken iç köşelerde daha az etkilidir: Enjekte edilen malzeme daha hızlı bir şekilde katılaşır. Burada soğumadan kalan ergiyik içe doğru hareket eder. Bu durum asimetrik i gerilmelere neden olarak geç soğumaya neden olur.

Aşağıdaki uygulamalar ile bu yan etkinin önüne geçilebilmektedir (Şekil 5-57):

- Köşede farklı sıcaklıklı soğutma kanalları uygulamaları
- Soğutma kanalları ile köşe arasındaki kısa mesafe
- CuBe, CuCoBe, Al-Bronzu ve çeşitli çelikler gibi ısıl iletim katsayısı

yüksek malzemeler kullanımı

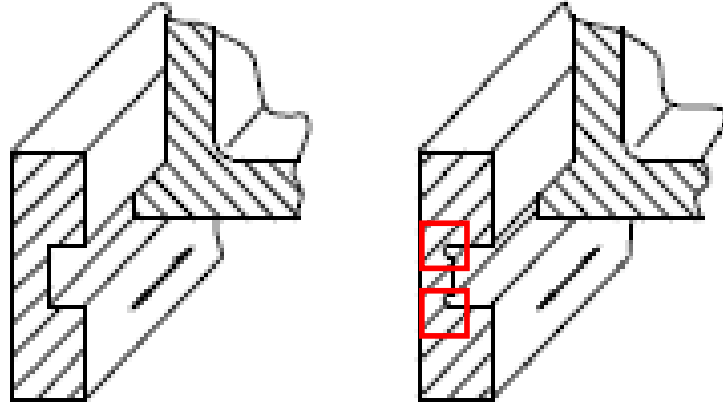


Şekil 5-57: Köşe bölgelerinin kalıpta soğutulma alternatifleri (Lappe, 1995)

5. Keskin kenarlar ve çentiklere izin verilmemelidir. Bunlar yüksek gerilimlere sebep olup çapak oluşumuna neden olurlar.

6. Ancak yuvarlatmalar fonksiyonel nedenlerle uygulanamıyorsa boşaltma çentikleri öngörülmelidir.

Radyüslerden kaynaklanan yüzey hatalarından kaçınılmalıdır. Neden: Keskin köşeler ilk olarak sıkışma fazında şekillenir. Bu kenarlar düşük sıcaklığa sahip, viskozitesi yüksek olduğundan bu bölge soğuk şekillenme bölgesi olarak bilinir. Ergiyiğin bu durumu göz ardı edilir ve parlaklık farkına neden olabilir.



Şekil 5-58: Radyüs uygulanamadığı durumlarda çentik alternatifi (Schönwald 1995)

### 5.10 Kalıp Ayrım Yüzeyi

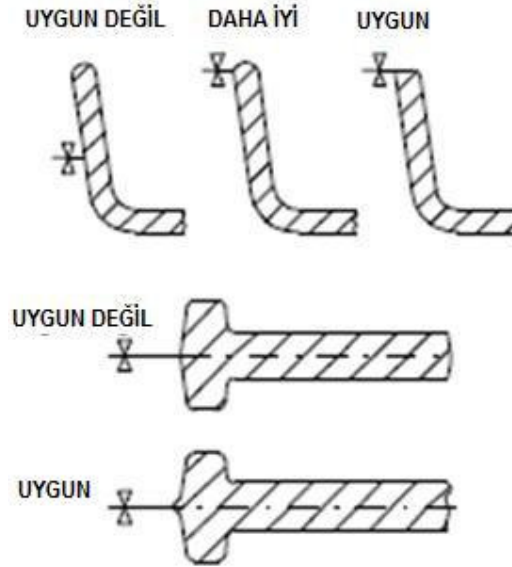
Formlu parçanın tasarlanması esnasında kalıp ayrım yüzeyinin, bir diğer adı ile kalıp ayrım çizgisinin uzunluğunun çok iyi bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Kalıp ayrım yüzeyinin fonksiyon ve görevi, iş parçasının katılaştıran yolluk sistemi ile kalıptan rahatlıkla çıkabilmesini sağlamak ve tamamı ile otomatik üretim sistemini mümkün kılmaktır. Bunun için kalıbın tasarımı ve iş parçasının pozisyonu, kalıbın açılması esnasında iş parçasının itici tarafında kalan kalıp yarısına yapışık olarak kalacak şekilde ve iticiler yardımı ile kalıptan çıkarılabilecek şekilde ayarlanmalıdır.

#### **Kalıp Ayrım Yüzeyinin Oluşturulmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler:**

1. Kalıp ayrım yüzeyi iş parçası üzerinde daima görünürdür ve optik kalite kriterlerini zayıflatmaktadır – bundan dolayı kalıp ayrım yüzeyinin belirlenmesinde bu özellik göz önünde bulundurulmalı, parça üzerindeki görünür yüzeylere zarar vermemelidir.(Şekil 5-59)

2. Kalıp ayrım yüzeyinin görünür yüzeylerde olması istenmez. Bunun için kalıp ayrım çizgisine bir kenar yada tümsek üzerinde yer verilmelidir.(Şekil 5-59) Bu nedenle kalıp yarısındaki küçük bir kalıp ayrım çizgisi fazla göze çarpmaz.



Şekil 5-59: Kalıp ayırım yüzeyinin belirlenmesi (Kunz, Land ve Wierer 1996)

3. Çekmeye uğrayan iş parçası iç kısmın soğuması ile şekil verilen dış konturdan ayrılmaya çalışır. Burada dikkat edilmesi gereken iş parçasının itici tarafında kalan kalıp yarısına yapışık olarak kalmasının sağlanmasıdır.

4. Kalıbın doldurulması esnasında havanın kalıp ayırım yüzeyinden dışarı çıkması söz konusu olabilir. Burada kalıp ayırım yüzeyinde ihtiyaç duyulan boşluk değerleri yaklaşık olarak aşağıda bulunabilir.

- **Parça kristalli termoplastikler:** **0,01-0,025 mm**
- **Amorf termoplastikler:** **0,03-0,04 mm**

Bu değerlerden küçük boşluklar söz konusu olduğunda yetersiz hava çıkışı sağlandığından yüzey üzerinde hatalar (yanma izleri) ve/veya eksik kalıp doldurmaya yol açar. Büyük boşluklarda ise ergiyiğin kalıp yüzeyine ani nüfuz etmesi sonucu çapak oluşumu söz konusu olabilmektedir. Bir diğer taraftan boşluğun büyüklüğü bu tür problemlere yol açmamaktadır. Bir diğer temel proses faktörü de ergiyik ile kalıp yüzeyi arasındaki ilk temasın zaman aralığı ve kalıp boşluğundaki basınç durumudur. Düşük basınçlı soğuma sonucu ergiyik kalıp ayırım yüzeyinde çapak oluşumunu engeller.

5. Çıkma doğrultusu da kalıp maliyetlerini belirleyen bir unsurdur. Bundan dolayı iş parçasının tamamı ile maçasız olarak kalıptan çıkarılıp çıkarılamayacağı göz önüne alınmalıdır.(Şekil 5-60)

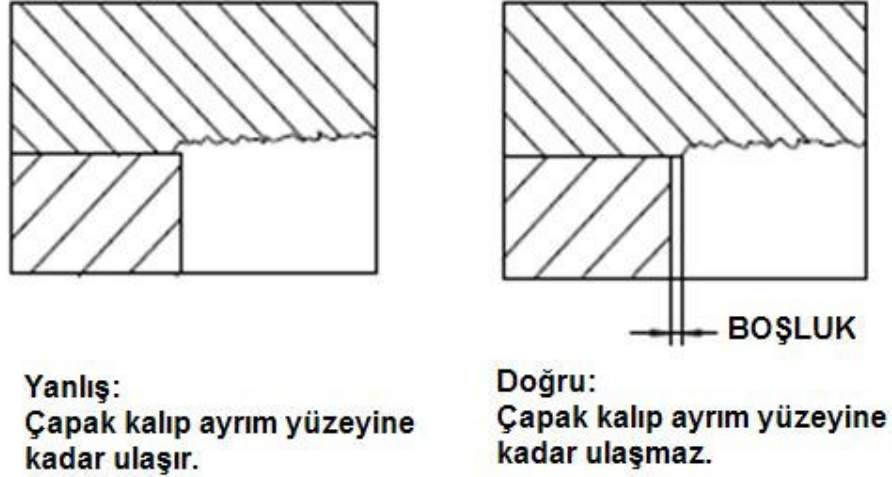


Şekil 5-60: Kalıp ayırma yüzeyinin olası bırakabileceği izler (Thienel 1997)

6. Kalıp yüzeylerinin tasarlanmasında desen bölgesi (kalıp yüzeyi) tam olarak kalıp ayırma yüzeyine ulaşmamalıdır (Şekil 5-63)

Neden: Çapak oluşumu nedeni ile optimal bir sızdırmazlık yüzeyi oluşturulamaz

*Bosluk  $\geq 0,5mm$  olmalıdır.*



Şekil 5-61: Desenli yüzeylerde kalıp ayırma yüzeyi

### 5.11 Toleranslar

Plastik iş parçalarının imalatında istenilen ölçüsel değerlerden farklılıklar olması kaçınılmazdır. Bu durum plastik malzemelerin fiziksel özelliklerinin metalik malzemelere oranla daha etkili olduğunda bu malzemelere daha farklı regülasyonlar uygulanır.

İki önemli nokta iş parçasının toleranslandırılmasında akıldan çıkarılmamalıdır:

1. Tasarımın görevini yerine getirebildiğinden daha dar toleranslar öngörülmemelidir.
2. Üretim sonucunda elde edilen tolerans tasarım toleransı ile uyumlu olmalıdır.

#### 5.11.1 DIN 16901'e göre Toleranslar

Toplam çekme (işlem esnası ve sonrası) iş parçasının son ölçülerine en çok etki eden etmenlerdir. Bu nedenle değişik plastik malzemelerin değişen çekme değerlerini içeren genel bir standardizasyona ihtiyaç duyulmuştur.

Bununla birlikte sağlanan toleranslar çok dar olmayıp pratik olarak üretim toleransları dolayısı ile tasarım toleransları ile fazla farklılık göstermemelidir.

DIN 16901 Normunun Geçerlilik Aralığı ve Kabul şartları:

Tolerans tanımlaması plastik iş parçasının veya termoplastik malzemelerin doğrusal ölçülerinin el alır. İş parçalarının preslerle, püskürtmeli preslerle, püskürtme enjeksiyonlarla vb. yöntemlerle üretilmiş olması gerekir.

Gerçek ölçülerin tanımlanması için parçanın üretiminden (veya takip eden işlemden sonra, örneğin fırınlama) sonra 16 saat geçmiş olması gerekmektedir.

Ölçümler DIN 50014'e göre (%50 Nem;  $23 \pm 2^{\circ}C$  sıcaklık altında) yapılmalıdır.

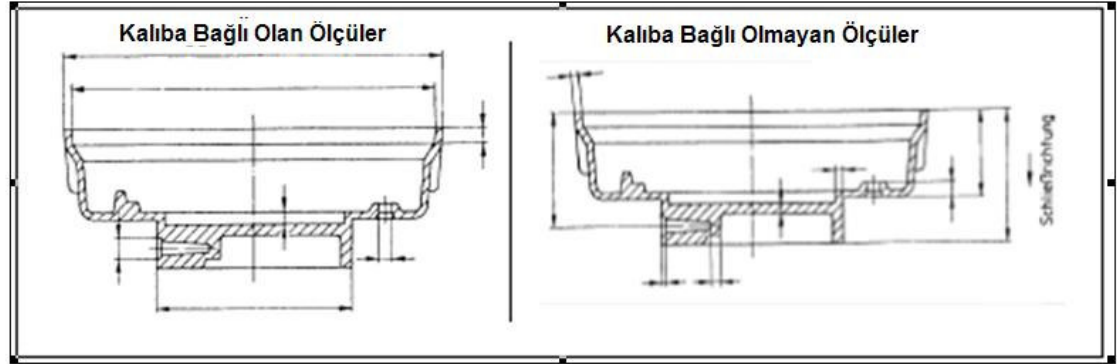
Tolerans Grupları

Her plastik malzeme çekme davranışlarına göre üç tolerans grubuna ayrılır. Bu grupların her birinde en büyük tolerans genel tolerans olarak alınır.

Tolerans gruplarının içerisinde yine kalıba bağlı ve kalıba bağlı olmayan ölçüler diye farklılıklar mevcuttur.

Kalıba bağlı olan ölçüler demek tüm ölçülerin aynı kalıp yarısında yer almasıdır. Bunun anlamı parçanın tamamı ile tek taraf ile şekillendirilmiş olmasıdır. İlgili toleranslar “B” belirteci altında bulunabilir.

Kalıba bağlı olmayan ölçüler ile ilgili olan toleranslar ise “A” belirteci altında bulunabilir. Bunlar beraber çalışan hareketli kalıp parçaları tarafından ortaya çıkarılan ölçülerdir (Not: Cidar kalınlığı bundan dolayı kalıba bağlı bir ölçü değildir). Hareketli kalıp parçaları her zaman aynı son pozisyona ulaşmadığından (kalıp yarıları, maçalar v.b.) bu toleranslar daha büyük seçilir.



Şekil 5-62: Kalıba Bağlı Olan Olmayan Ölçüler (Thienel 1997)

### Direkt Olarak Alınan Üst Değerler ile Ölçüler

Direkt olarak değerler için toleranslar iki grupta toplanır. Bunlardan birincisi özel üretim harcaması gerektirmeyecek nispeten daha geniş toleransları içerir (Reihe 1). İkinci grupta ise daha yüksek üretim harcamaları gerektirir (Reihe 2).

Bu toleranslar alt ve üst değerler olarak ikiye ayrılır. Bu ayrım teknik istekler doğrultusunda simetrik ve asimetrik olabilir.

60 nominal ölçüsüne göre 0,8 mm toleransının ayrılmasını ele alalım:

$$60_0^{0,8} \text{ veya } 60_{-0,8}^{+0} \text{ veya } 60_{-0,4}^{+0,4} \text{ veya } 60_{-0,5}^{+0,3} \text{ v.b.}$$

### Pratik Tecrübelerle Dayalı Toleranslar:

DIN 16901 normundan bağımsız olarak tamamen pratik tecrübeler baz alınarak daha dar toleranslar elde edilerek bir tolerans tablosu oluşturulmuştur. DIN 16901 normundan farklı olarak burada ölçüler arasında kalıba bağlı veya kalıba bağlı olmayan ölçüler olarak bir ayırım yoktur.

Tablo 5-3: Pratik tecrübelerle dayalı toleranslar (Anonim)

| Malzeme        |                                       | Üretim Maliyetlerine Göre Toleranslar |        |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Kısaltma       | Kimyasal Tanım                        | Normal                                | Yüksek |
| ABS            | Acrylnitril-Butadien-Styrol           | 3                                     | 4      |
| CA             | Celluloseacetat                       | 2                                     | 3      |
| CAB            | Celluloseacetubotyrat                 | 2                                     | 3      |
| CP             | Celluloseproionat                     | 2                                     | 3      |
| EVA            | Ethylen Vinylacetat                   | 1                                     | 2      |
| PA 6           | Polyamid 6                            | 1                                     | 2      |
| PA 6-GF        | Polyamid 6 Cam elyaf katkı            | 2                                     | 3      |
| PA 66          | Polyamid 66                           | 1                                     | 2      |
| PA 66-GF       | Polyamid 66 Cam elyaf katkı           | 2                                     | 3      |
| PA 11          | Polyamid 11                           | 2                                     | 3      |
| PA 11-GF       | Polyamid 11 Cam elyaf katkı           | 3                                     | 4      |
| PBT            | Polybutylenterephthalat               | 3                                     | 4      |
| PBT-GF         | Polybutylenterephthalat glfv..        | 3                                     | 4      |
| PC             | Polycarbonat                          | 3                                     | 4      |
| PC-GF          | Polycarbonat Cam elyaf katkı          | 3                                     | 4      |
| PE             | Polyethylen                           | 1                                     | 2      |
| PMMA           | Polymethylmethacrylat                 | 3                                     | 4      |
| POM            | Polyacetal                            | 3                                     | 4      |
| POM-GF         | Polyacetal Cam elyaf katkı            | 3                                     | 4      |
| PP             | Polypropylen                          | 1                                     | 2      |
| PPO            | Polyphenylenoxid                      | 2                                     | 3      |
| PPO-GF*)       | Polyphenylenoxid glfv.                | 2                                     | 3      |
| PPO mod. m. PS | Polyphenylenoxid PS ile değiştirilmiş | 3                                     | 4      |
| PS             | Polystyrol                            | 3                                     | 4      |
| PUR            | Polyurethan                           | **)                                   |        |
| SAN            | Styrol-Acrylnitril                    | 3                                     | 4      |
| TFE-POM        | Polyacetal Teflon katkı               | 3                                     | 4      |

\*) Diğer katkılarla dahil

\*\*) Dar toleranslar malzeme tipine bağlı olup satıcının yorumu alınmalıdır.

Tablo 5-4: Tolerans Aralıkları (Anonim)

| Anma Ölçüsü |       | İzin Verilen Genel Toleranslar | Toleranslı Ölçülerde Tolerans Grupları |      |      |      |
|-------------|-------|--------------------------------|----------------------------------------|------|------|------|
| den         | kadar |                                | 1                                      | 2    | 3    | 4    |
|             | 5     | $\pm 0,1$                      | 0,10                                   | 0,08 | 0,06 | 0,04 |
| 5           | 10    |                                | 0,12                                   | 0,10 | 0,07 | 0,05 |
| 10          | 13    |                                | 0,14                                   | 0,12 | 0,08 | 0,06 |
| 13          | 16    | $\pm 0,12$                     | 0,16                                   | 0,14 | 0,09 | 0,07 |
| 16          | 19    |                                | 0,18                                   | 0,16 | 0,10 | 0,08 |
| 19          | 22    |                                | 0,20                                   | 0,18 | 0,11 | 0,09 |
| 22          | 25    | $\pm 0,14$                     | 0,22                                   | 0,20 | 0,12 | 0,10 |
| 25          | 30    |                                | 0,24                                   | 0,22 | 0,14 | 0,12 |
| 30          | 40    |                                | 0,28                                   | 0,24 | 0,18 | 0,16 |
| 40          | 50    | $\pm 0,17$                     | 0,30                                   | 0,26 | 0,20 | 0,18 |
| 50          | 66    |                                | 0,32                                   | 0,28 | 0,22 | 0,20 |
| 60          | 70    |                                | 0,34                                   | 0,30 | 0,24 | 0,22 |
| 70          | 80    | $\pm 0,25$                     | 0,36                                   | 0,32 | 0,28 | 0,24 |
| 80          | 90    |                                | 0,40                                   | 0,36 | 0,30 | 0,26 |
| 90          | 100   |                                | 0,46                                   | 0,40 | 0,34 | 0,30 |
| 100         | 120   | $\pm 0,33$                     | 0,52                                   | 0,46 | 0,40 | 0,36 |
| 120         | 150   |                                | 0,62                                   | 0,54 | 0,48 | 0,40 |
| 150         | 200   |                                | 0,80                                   | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| 200         | 250   | $\pm 0,42$                     | 0,98                                   | 0,86 | 0,74 | 0,60 |
| 250         | 300   |                                | 1,16                                   | 1,00 | 0,86 | 0,70 |
| 300         | 400   |                                | 1,50                                   | 1,30 | 1,10 | 0,90 |
| 400         | 500   | $\pm 0,55$                     | 1,70                                   | 1,50 | 1,30 | 1,10 |

### 5.12 Tırnaklı bağlantılar

Tırnaklı bağlantı plastik parçalar için kolay, ekonomik ve hızlı bir bağlantı olanağı sağlar. Burada plastiklerin esneklik özelliğinden yararlanılır. Bu bağlantı çeşidi montaj kolaylaştırıcı yapısından dolayı daha büyük bir anlam kazanır.

Tüm tırnaklı bağlantılar genel olarak karşı bağlantı parçasının girintisi, çentiği veya ters açısı ile iş parçası geometrisinden (dışa çıkıntılı, tırnak veya menteşe vb.) yararlanılarak oluşturulur.

Montaj işlemleri esnasında en azından birleşen parçalardan bir tanesi elastik olarak şekillendirilebilir olmalıdır. Plastik deformasyona izin verilemez. Yüksüz durumda bağlantı da yalnızca çok düşük gerilmelere izin verilebilir. Yani bağlantı

genelde çok sıkı değildir. O-ring veya yapıştırıcı gibi uygun sızdırmazlık elemanları kullanılması ile tırnaklı bağlantılar sıvı ve gaz sızdırmazlığı konularında kullanılabilir. Uygun birleşimler kullanılması ile aynı zamanda sökülebilen veya sökülemeyen bağlantılar elde etmek de mümkündür. Sökülemeyen bağlantılar ile yüksek sıcaklıklarda yorulma dayanımının istendiği yerlerde kullanılabilir.

### **Tırnaklı Bağlantılarda İstenen Özellikler**

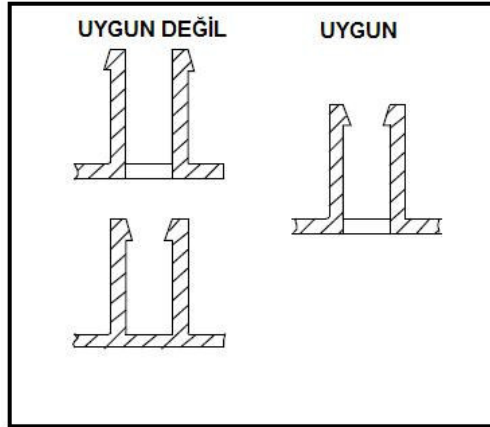
- Kolaylıkla monte edilebilir olmalı
- Montaj esnasındaki kısa süreli deformasyon sonrasında malzeme hızlı bir şekilde eski haline gelebilmelidir.
- Tırnaklı bağlantılar plastik enjeksiyon yöntemi ile kolaylıkla üretilebilmelidir.
- Karşılıklı elemanlar belirli bir pozisyonda birbirileri ile sabitlenebilmelidir.

### **Tırnaklı Bağlantıların Oluşturulmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler**

1. Tırnaklı bağlantılar ters açiya neden olmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

(Şekil 5-63)

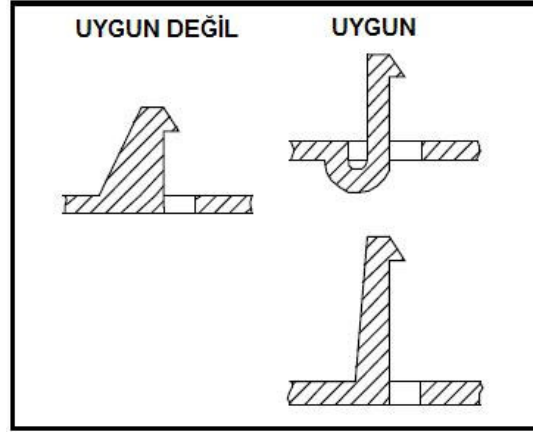
2. Gerilmeler ve montaj kuvvetleri aynı yönde olmamalıdır.
3. Montaj hareketi mümkün olduğunca lineer olmalıdır.



Şekil 5-63: Ters açı olmadan tırnaklı bağlantı tasarımı (Schönwald 1995)

4. Montaj işlemi esnasında malzemeye bağlı maksimum uzama sınırı aşılmamalıdır. (Şekil 5-64)
5. Uzun ve esnek tırnaklar tercih edilmelidir. (Şekil 5-66)

6. Tırnaklar tırnak oturma yüzeylerinin engellenmeden uzayabileceği şekilde tasarlanmalıdır.
7. Tırnakların formlu parçanın duvarlarının sınırlarında yeterli yuvarlatma yapılmalıdır. ( $R > 0,5 \text{ mm}$ )
8. Optimum malzeme kullanımı ile tırnak kesiti ilgili momenti taşıyabilir hale getirilmelidir.
9. Artan tırnak yükseklikleri bası ve çeki gerilimlerinden dolayı eğilme gerilmesine uğrayan tırnaklar tercih edilir.
10. Yuvarlak kesitler delinerek işlenebildiğinden daha düşük kalıp maliyeti sağlarlar.



Şekil 5-64: Tırnaklar uzun ve esnek olarak tasarlanmalıdır (Schönwald 1995)

### 5.13 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüksek kalitedeki yüzey pürüzlülüğü ancak uygun kalıplama şartları sağlandığında ve kalıp çekirdekleri parlatıldığında mevcuttur. Yüksek parlaklığa sahip kalıpların üretilmesi işlem sırasında çok büyük hassasiyet ve dikkat gerektirir. Kalıp bakımı da aynı şekilde büyük hassasiyet ister. Çok büyük boyuttaki yüksek parlaklıktaki parçalar kalıptan çıkartılırken çizilmemesine büyük önem gösterilmelidir. Şekil 5-65'te genellikle kullanılan yüzey pürüzlülük sınıflarının (ISO-1302) karşılaştırılmalı fiyat ilişkisi görülebilir.

| Pürüzlülük (µm) |       | Tanım                                    | Fiyat İndeksi |
|-----------------|-------|------------------------------------------|---------------|
| ≤0,05           | NO-N2 | Yüksek parlatma. Çiziksiz, akış çizgisiz | 1000          |
| 0,1             | N3    | Parlak, az miktarda Çizik                | 500           |
| 0,2             | N4    | Teknik işlem                             | 200           |
| 0,8             | N5    | Estetik gereksinim yok                   | 100           |

Şekil 5-65: Yüzey pürüzlülük sınıflarının karşılaştırmalı fiyat ilişkisi (DSM 2005)

Düşük parlaklıktaki, yarı mat veya mat yüzey parlaklıklarında kalıp çekirdekleri desenli yüzey yapılarına ulaşmak için ek işlemlere ihtiyaç duyarlar. Mat bir yüzey üzerinde bu işlem yüzey üzerine kızgın buhar üflenmesi ile gerçekleştirilir. Çelik yüzey pürüzlülüğü N3 olmalıdır (  $ra < 0,1 \text{ mm}$  )

Desenli yüzey özel görsel bir görünüme sahiptir. Diğer yüzey işlemlerine göre daha ucuzdur. En önemli özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Görünüm (Ağaç veya deri görümlü)
- Fonksiyonellik (kaymaya karşı)
- Kalıplama problemlerinin gizlenmesi

En önemli desen teknikleri de aşağıda sıralanmıştır:

- Fotokimyasal desenleme
- EDM
- Oyma işlemi
- Fırçalama işlemi
- Lazerle oyma işlemi

Yüksek kaliteli desenli yüzeyler elde edilmek istendiğinde ise düşük alaşımlı ve karbon oranı sınırlandırılmış (<%0,45) çelikler kullanılmalıdır. Nitritleme gerektiriyorsa

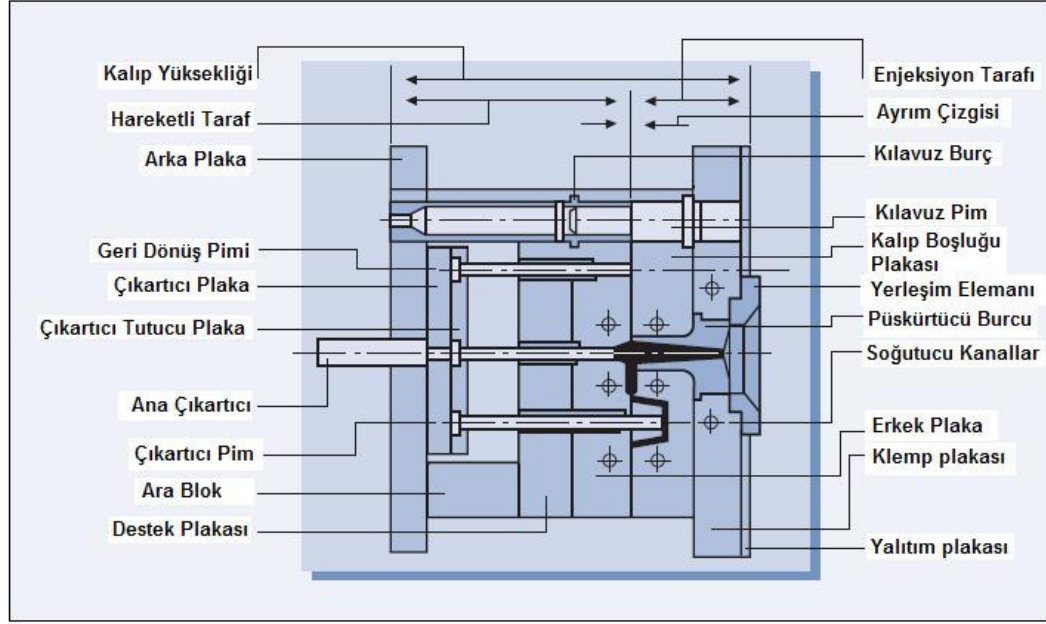
önce desenleme yapılmalıdır. Uzun zaman kullanımda desen yüzeyleri aşınmadan dolayı kötüleşir. Bu yüzden sürekli işlem sürekli kontrol edilmelidir.

Kalıpta kalan tortular nedeni ile iş parçalarının belirli bölgelerinde lokal matlaşmalar oluşabilir. Bunu engellemek için belirli zamanlarda kalıpta temizleme yapılmalıdır. Özellikle yarı kristal malzemelerde çok iyi kalitede desenler oluşturulduğunda düşük çizilme dayanımına sahiptirler. Mikroskobik desen bölgeleri tırnak darbesi ile kolaylıkla deforme olabilir.

Desensiz yüzeyler için kalıp çıkma açısı için minimum değer her bir duvar için 0,5 derecedir. Kalıp açılma yönünde parlatma yapılarak özel yüzey işlem teknikleri kullanılarak daha düşük çıkma açılarında da çalışılabilir.

## 6 PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI

Standart bir enjeksiyon kalıbı bir veya daha fazla çekirdekten oluşan enjeksiyon tarafı veya bir diğer ismi ile hareketsiz taraf ile çıkartıcı veya bir diğer ismi ile hareketli taraftan oluşur. Daha detaylı açıklama Şekil 6-1’de bulunabilir (DSM 2005).



Şekil 6-1: Standart enjeksiyon kalıp elemanları (DSM 2005)

Yüksek kaliteli kalıplar pahalıdır. Çünkü bu kalıplar hem ayrıntılı hem de yüksek hassasiyetli birçok işleme operasyonu çok fazla zamana ihtiyaç duyacaktır. Ürün geliştirme ve üretim maliyetleri şayet ürün ve kalıp tasarımına gereken dikkat gösterilecek olursa önemli miktarda düşer. Bir kalıp imal edilirken aşağıdaki etmenler dikkate alınmalıdır:

- Parçanın şekli
- Çekirdek sayısı
- Yolluk çeşidi ve pozisyonu
- Malzeme viskozitesi
- Kalıp havalandırma

Ters açılı yüzeylere sahip ve yan çekirdekli (maçalı) daha karmaşık kalıplar kademeli kalıp ayırım yüzeyleri ile hareketli çekirdekler (hareketli maçalar) kullanılır.

Bu çekirdekler manuel, mekanik, hidrolik, pnömatik veya elektromekanik olarak tahrik edilirler.

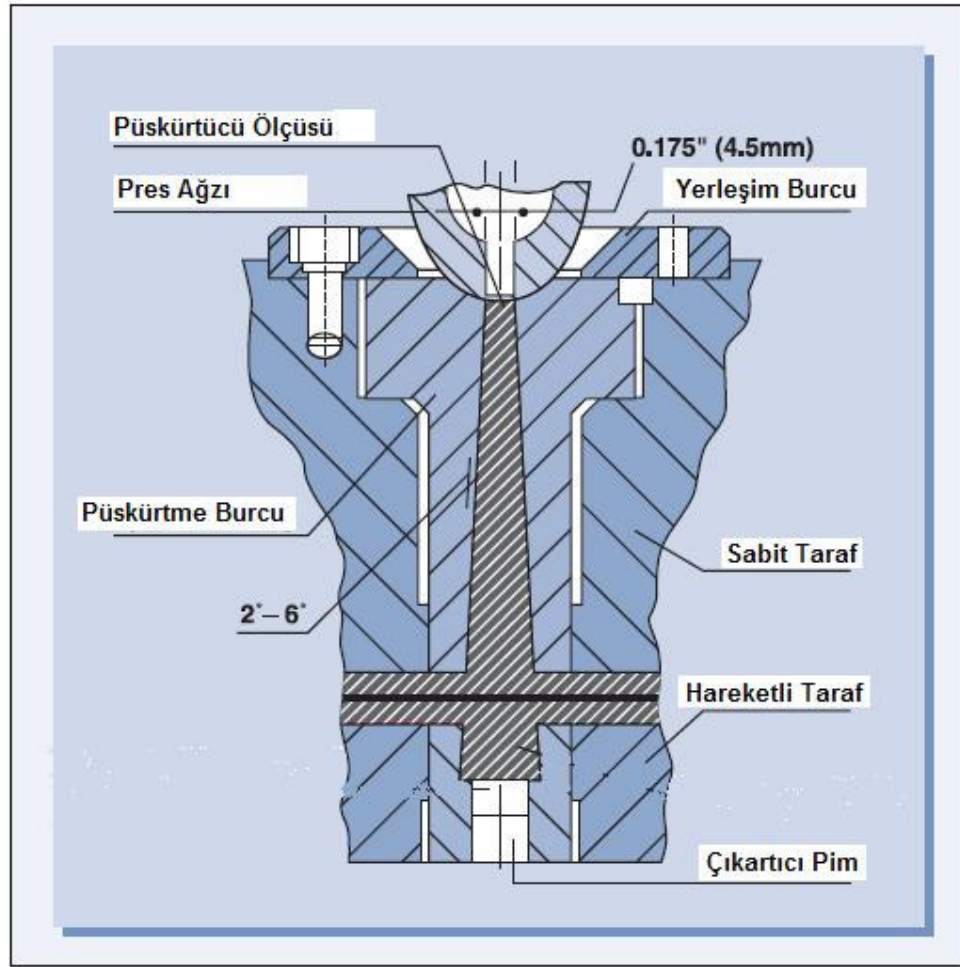
**Çok Çekirdekli Kalıplar:** Çekirdeklerin sayısı ve kalıp konstrüksiyonu hem ekonomik hem de teknik faktörlere bağlıdır. Kalıplanacak parça sayısı, ihtiyaç duyulan zaman ve kalıp üretim maliyetlerin de büyük öneme sahiptir

Çok çekirdekli kalıplarda yolluk sistemi ve yerleşimi tasarımı sınırlandırılabilir. Ölçüsel doğruluk ve kalite gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Çok çekirdekli kalıplarda dağıtıcı (runner) eş zamanda yapılmalı ve kalıp doldurma eş zamanda tamamlanmalıdır. Kalıptaki maksimum çekirdek sayısı maksimum hacim kapasitesi ile ilişkili olan dağıtıcı hacimlerini de içeren toplam çekirdek hacmine ve enjeksiyon makinesinin kapanma kuvvetine bağlıdır.

### *6.1 Püskürtme Burcu*

Püskürtme burcu enjeksiyon memesi ile dağıtıcı sistemi birbirine bağlayan elemandır. Püskürtme burcu, burcun parçadan rahat bir şekilde ayrılmasını sağlayacak şekilde pürüzsüz, iç kısmı açılı, iyi işlenmiş ve çıkma yönünde çok iyi parlatılmış olmalıdır. Ayrıca bitmiş parçanın son özelliklerin etkileyecek olan parçanın basılması esnasında dağıtıcı bölüme soğuk malzeme girmesi engellenmelidir. Diğer taraftan püskürtücünün ölçüleri temel olarak iş parçasının ölçülerine özellikle de cidar kalınlığına bağlıdır (DSM 2005). Tasarım ilkesi olarak:

- Püskürtücü hiçbir şekilde hiçbir kesitte diğer kesitlerden önce tutma basıncının üniform bir şekilde geçişinin sağlanması için malzeme donması yaşanmamalıdır.
- Püskürtücü kolaylıkla kalıptan çıkarılmalı ve güvenilir olmalıdır.



Şekil 6-2: Standart bir püskürtme burcunun şematik gösterimi (DSM 2005)

## 6.2 Dağıtıcı Sistemler

Dağıtıcı sistemler termoplastik malzemenin enjeksiyon memesinden kalıp boşluğuna dağıtılmasında kullanılan bir elemandır. Püskürtme memesi ve dağıtıcılar kalıp içerisindeki basınç düşümünü sınırlı tutmayı garantilemek için mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.

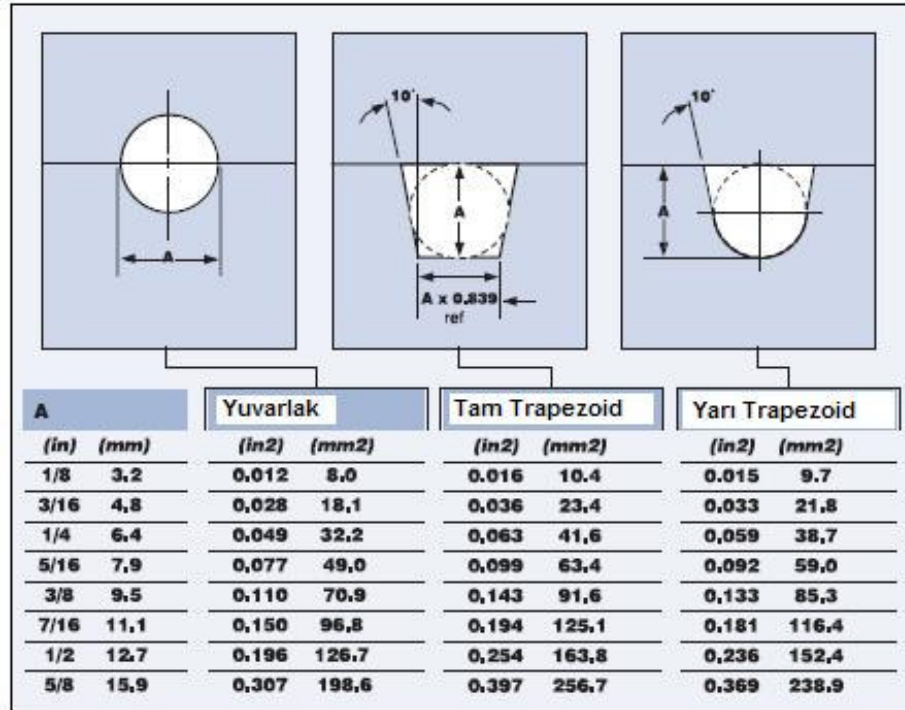
Bir dağıtıcı sisteminin doğru bir şekilde tasarlanabilmesi için aşağıdaki maddeler dikkate alınmalıdır:

- Ergiyiği kalıp boşluğuna ulaştırmalıdır.
- Çoklu kalıp boşluklarını dengeli bir şekilde doldurmalıdır.

- Çok enjeksiyon noktalı kalıp boşlukları dengeli bir şekilde doldurulmalıdır.
- Çapaklar minimize edilmelidir.
- Kolay bir şekilde kalıptan çıkarılmalıdır.
- Enerji tüketimi mümkün olduğunca az olmalıdır.
- Kalıp doldurma, ütüleme ve çevrim zamanı kontrol altında tutulmalıdır.

**Dağıtıcı Geometri:** İdeal dağıtıcı kesit şekli akışı ve soğutmayı en iyi şekilde sağlayan dairesel kesittir. Bununla beraber dairesel kesitin biri hareketli diğeri sabit kalıp tarafta kalan kalıp yarılarında işlenmesi büyük zorluktur.

İki kalıp yarısının tek tarafında yer alan tam trapezoidal kanallar daha ucuz bir alternatif sunarlar (Şekil 6-3). Keskin köşeli dağıtıcılar kalıbın tek yarısının rahat bir şekilde işlenebilmesini sağlaması ve arzu edilen dairesel kesite sahip olmasını bir arada sunar. Trapezoidal dağıtıcıların yüksekliği en geniş yerinin genişliğinin en az %80'i olmalıdır (DSM 2005).



Şekil 6-3: Dağıtıcı geometri alternatiflerinin şematik gösterimi (DSM 2005)

**Dağıtıcı Ölçüleri:** Dağıtıcının çapı yolluk boyutu, pres kapasitesi, iş parçası akış uzunluğu, iş parçası hacmine ek olarak dağıtıcı yüksek oranda dağıtıcı uzunluğuna da

bağlıdır. Genel olarak bu çap ölçüsü iş parçasının en kalın bölgesindeki cidar kalınlığından daha küçük olmamakla beraber çoğunlukla 3 ile 15 mm aralığında yer almalıdır. Tavsiye edilen dağıtıcı ölçüleri Şekil 6-4'te gösterilmektedir.

| Dağıtıcı Çapı |      | Maksimum Dağıtıcı Uzunluğu |      |                  |      |
|---------------|------|----------------------------|------|------------------|------|
|               |      | Düşük Viskozite            |      | Yüksek Viskozite |      |
| (in)          | (mm) | (in)                       | (mm) | (in)             | (mm) |
| 1/8           | 3    | 4                          | 100  | 2                | 50   |
| 1/4           | 6    | 8                          | 200  | 4                | 100  |
| 3/8           | 9    | 11                         | 280  | 6                | 150  |
| 1/2           | 13   | 13                         | 330  | 7                | 175  |

$$D = \frac{W^{1/2} \times L^{1/4}}{3.7}$$

D = Dağıtıcı Çapı (mm)  
 W = Parça Ağırlığı (g)  
 L = Dağıtıcı Uzunluğu (mm)

Şekil 6-4: Tavsiye edilen dağıtıcı şekilleri (DSM 2005)

### 6.3 Yolluk Sistemleri

Yolluklar dağıtıcı sistem ve kalıp boşluğu arasında bir geçiş bölgesidir. Yollukların yerleşimi bitmiş parçanın görünüm ve özellikleri açısından büyük öneme sahiptir. Ergiyik kalıp boşluğunu tam ve hızlı bir şekilde doldurmalıdır (DSM 2005). Yolluk tasarımı için aşağıdaki noktalar göz önüne alınmalıdır:

- Yolluk en kalın kesite yerleştirilmelidir.
- Yolluk izine estetik nedenlerle çok dikkat edilmelidir.
- Yolluğun ölçülerinin ve pozisyonunun değişiminde jettingden kaçınılmalıdır.
- Akış yollarındaki denge üniform kalıp doldurma ve ütülemeyi garanti etmelidir.

- Kaynak çizgileri önlenmeli ya da kritiki olmayan kesitlere yönlendirilmelidir.
- Hapsolmuş hava malzeme yanmalarını engellemek için minimize edilmelidir.
- Çarpma ve mekanik gerilime maruz alanlardan kaçınılmalıdır.
- Yolluk kesimi için uygun yer bırakılmalı

**Tekli ve Çoklu Yolluklar:** Ergiyik akış uzunluğu pratik sınırları geçmediği sürece tek yolluk kullanımı tercih edilmelidir. Çoklu yolluklar daima ayrı yollukların birleştiği bölgelerde malzeme birleşimlerine neden olmaktadır.

Merkezi yolluk ile kenar yolluk arasında ayırım yapmak gerekirse; merkezi yolluk ile üretilen parçalarda ergiyik radyal akış gösterir. Bu tip yolluklar özellikle dişli gibi yuvarlak parçalarda iyi sonuç verir. Çünkü malzemenin, sıcaklığın dağılımının ve daha kestirilebilir sonuçlar veren iyi yönelimlerin daha üniform olmasını garantilemektedir. Diğer taraftan dikey akış ve doğrusal akış sıklıkla farklılık gösterir. Bu durum düzlemsel parçalarda ek gerilimlere ve çarpılma ve değişken çekmelere neden olabilmektedir (DSM 2005).

Basitlikleri ve üretim kolaylıkları nedeni ile kenar yolluklar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yolluk tipi enjeksiyon kalıplama tekniğinde çok çeşitli parçalarla kullanıma sahiptir. Uzun ince parçalarda tipik olarak kullanılan kenar yolluklar parçanın bir ucuna ya da bir ucuna en yakın yerlerine çarpılmayı azaltmak amacıyla yerleştirilirler. Fakat yuvarlak parçaların bu tip yolluklar kullanılarak üretilmesi oval şekilli parçaların çarpılmaya daha elverişli olduklarından çok zordur. Tek yolluk yüksek kalıp maliyetlerine neden olmakla beraber çapaksız ve yüksek kalitedeki parça üretimi bu maliyeti dengeleyecektir (DSM 2005).

**Yolluk ölçüleri:** Yolluk kesiminin rahat bir şekilde yapılabilmesi ve parça üzerinde iz bırakmaması için yolluğun kesiti dağıtıcının kesitinden küçük olmalıdır. Yolluk kalınlığı tipik olarak parça kalınlığının yarısı ya da 2/3'ü kadar olmalıdır. Ütöleme sonundan itibaren yolluktaki malzeme katılaşma (donma sıcaklığı) sıcaklığının altına düştüğü an olarak belirlenebilir. Yolluk kalınlığı ütöleme zamanını belirler.

Geniş yolluklar sürtünme ısıtmasını azaltacak, düşük hızlara izin verecek, uzun zaman alan yüksek ütöleme basınçlarına gereksinim duyan uygulamalara imkan sağlayacaktır. Şayet, iyi bir görünüm, düşük kalıcı gerilim ve iyi bir ölçüsel doğruluğa ihtiyaç duyuluyorsa geniş yolluklar büyük avantajlara sahiptir.

Katkısız malzemeler için 0,8 mm yolluklar için önerilen minimum değerdir. Katkılı termoplastiklerde ise yolluk çapı 1 mm'den çok az daha büyük olmalıdır. Kural olarak dağıtıcı veya püskürtücü çapını geçmemelidir.

**Yolluk yerleşimi:** Aşağıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır:

*Görünüm:*

Eğer yolluklar görünmeyen bölgelere yerleştirildiğinde yolluk kesildikten sonraki kalıcı izlerin görünmesini engelleyecektir.

*Gerilim:*

Yüksek gerilimin ortaya çıktığı alanlardan kaçınılmalıdır. Yolluk bölgesi fazla miktarda kalıcı gerilime sahip olup bunun yanı sıra kaba bir yüzey kalitesine sahiptir.

*Basınç:*

İş parçasının ütülenmesini garanti kılmak için yolluk en kalın kesite yerleştirilmelidir. Bu hem boşluk oluşumunu hem de çökmeleri engellemeye yardımcı olacaktır.

*Yönelim:*

Moleküler yerleşim özellikle ince kesitlerde molekülleri akış yönünde sıralandıklarından önem kazanır. Aşırı miktardaki yönelimler iş parçasının yalnızca tek yönde kuvvete karşı dayanıklı kılar. Moleküler yönelimi azaltmak için yolluk ergiyiğin kalıp içerisine girerken kalıp boşluğunun duvarları veya çıkartıcı pimler aracılığı ile engellenerek yönlendirileceği bir yere yerleştirilmelidir.

*Malzeme Birleşim Bölgeleri:*

Yolluklar malzeme birleşim bölgelerinin büyüklüğünü ve sayısını azaltacak, görünüm veya fonksiyonellik açısından sorun olmayacak yerlere kaydırılmalıdır. Malzeme birleşim bölgesinden kaçınmak hiç mümkün değilse yolluk söz konusu bölgeye yerleştirilmeli bu durumda yüksek ergiyik sıcaklığı kuvvetli bir malzeme birleşim bölgesinin oluşumuna yarar sağlayacaktır.

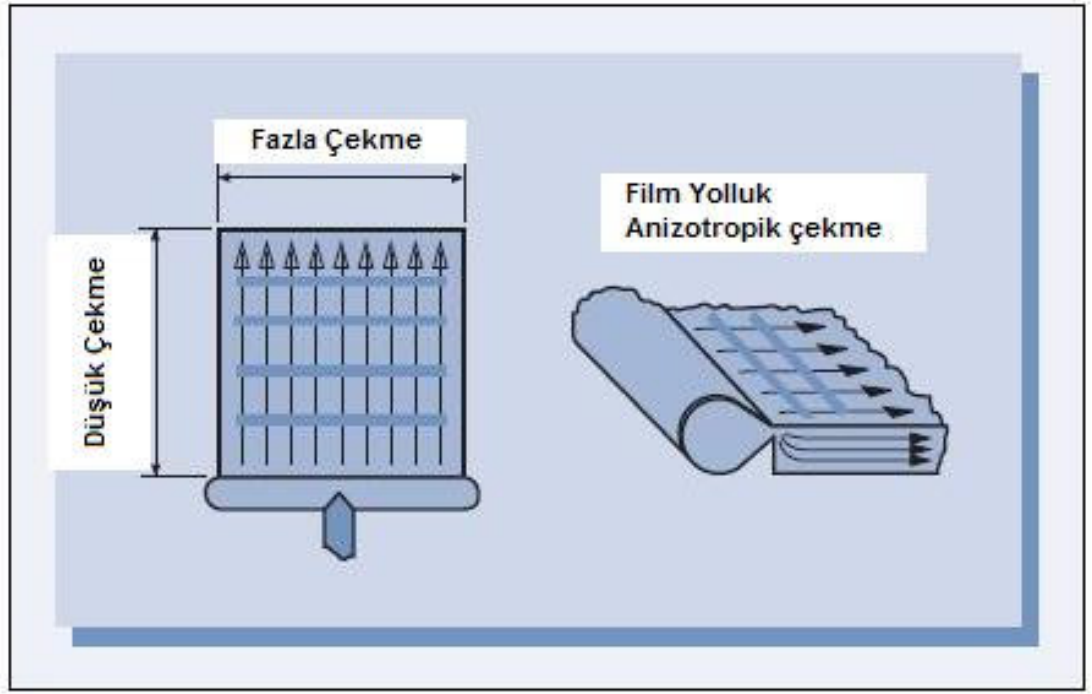


Şekil 6-5: Yolluk yerleşiminin ergiyeğin akış davranışlarına etkisi (DSM 2005)

*Cam fiber katkılı malzemeler:*

Fiber katkılı malzemeler fiberlerin yolluk içerisinde geçerken kırılmasını engellemek için bu tip yolluklar geniş tutulmalıdır. Denizaltı tipi, tünel tipi ve iğne tipi yolluklar kullanılması katkılı malzemelerin katkılarına zarar verebilir. Kenar yolluk gibi üniform kalıp doldurma sağlayan yolluk çeşitleri nokta tipi yolluklara göre daha iyi bir yönelim dağılımı sağladıklarından tercih edilirler. Fiber yönelimleri çarpılma problemi ile ilgili olarak büyük öneme sahiptir. Yolluk yerleşimi ve yolluk tipinin belirlenmesi yönelimi etkileyen iki en büyük etkidir.

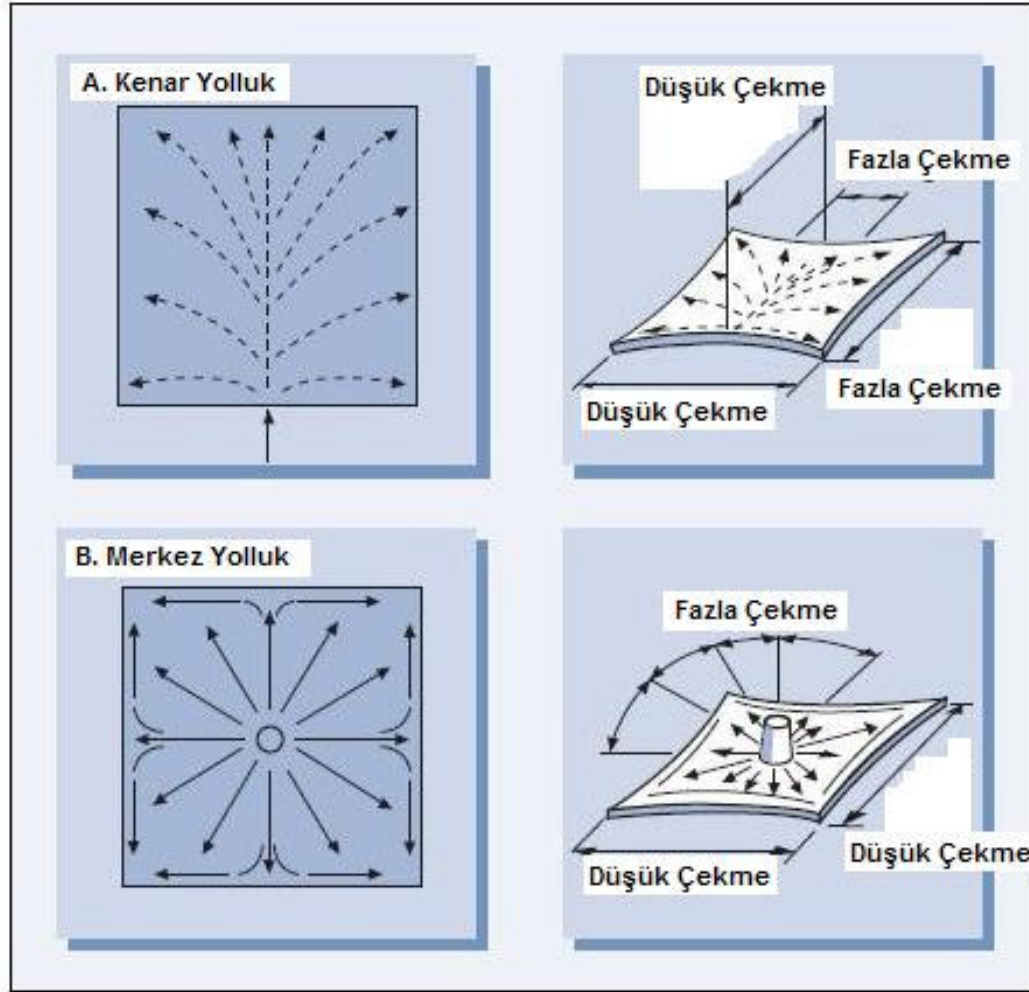
Genel olarak yüksek derecede cam fiber yönelimi daha ince kesitlerde görülecektir. Örneğin: 2 mm'den daha küçük kesitlerde enjeksiyon hızı arttığında. Yüksek enjeksiyon hızı pürüzsüz yüzey elde etmek için gereklidir. Yönelimler yolluğun tipi, yolluğun yerleşiminden etkilendiği gibi iş parçasının şeklinden de etkilenirler. (Şekil 6-6)



Şekil 6-6: Yolluk yerleşiminin çekmeye ve cam elyaf yönelimine etkisi (DSM 2005)

#### Çarpılma:

Yanlış olarak yerleştirilmiş ve yanlış ölçülendirilmiş yolluklar kalıp boşluğuna istenmeyen akışlara yol açmaktadır. Bu durum iş parçasında görünür malzeme birleşim bölgelerinin oluşumuna neden olup çarpılma, bükülme gibi istenmeyen oluşumlara neden olmaktadır. (Şekil 6-7)



Şekil 6-7: Yolluk yerleşiminin çarpılmaya etkisi (DSM 2005)

## 6.4 Soğutma

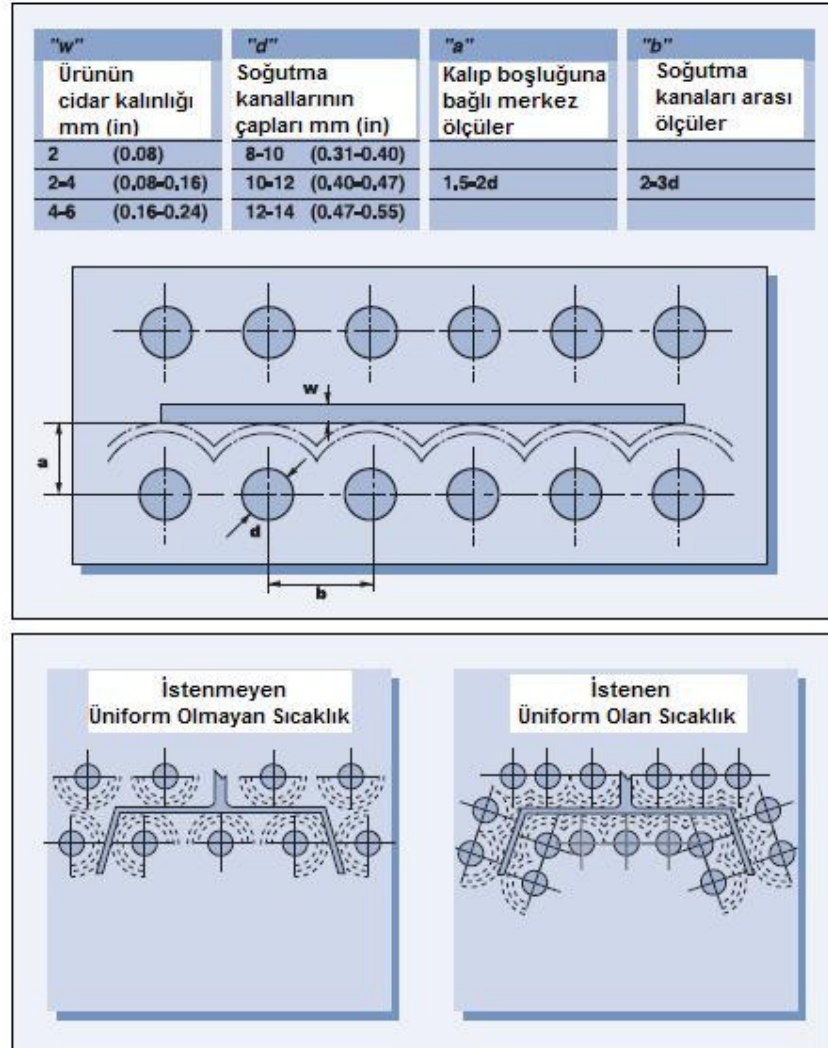
Kalıp soğutma kalıbın ısınısını çabuk ve üniform bir şekilde dağıtmayı sağlar. Çabuk soğutma ekonomik üretim, üniform soğutma ise ürün kalitesi için gereklidir. Kalıp sıcaklık kontrolü istikrarlı kalıplama için şarttır. Soğutma işleminin ürün çevrim zamanının 2/3'ünü teşkil ettiği göz önüne alınırsa soğutma işleminin önemi daha iyi kavranmış olur (DSM 2005).

Mühendislik plastiklerinin optimal özellikleri ancak doğru kalıp sıcaklığının ayarlanmasına ve bunun tüm işlem boyunca sürdürülmesine bağlıdır. Kalıp sıcaklığı aşağıdaki unsurlar üzerinde temel etkiye sahiptirler:

- Mekanik özellikler
- Çekme davranışı
- Çarpılma
- Yüzey kalitesi
- Çevrim zamanı

**Soğutma kanalı geometrisi:**

Genel olarak soğutma kanalları kaba olarak delme veya frezeleme işlemleri ile elde edilirler. Kaba işlenmiş iç yüzeyler türbülanslı akışı arttıracak, bunun sonucunda daha iyi bir sıcaklık değişimi sağlanacaktır. Türbülanslı akış türbülanssız akışa göre yaklaşık 3-5 kat daha iyi soğutma sağlayacaktır. Soğutma kanalları kalıp boşluğuna yakın konumlandırılmalı ve birbirileri arasındaki merkez mesafeleri eşit tutulmalıdır (Şekil 6-8). Soğutma kanallarının tasarımı kalıp çeliklerinin mekanik dayanımı da göz önünde tutulmalıdır (DSM 2005).

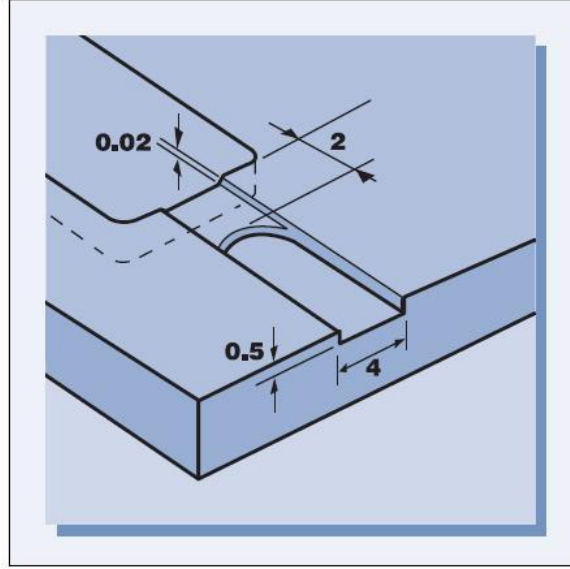


Şekil 6-8: Soğutma kanallarının geometri ve pozisyonlarının şematik gösterimi (DSM 2005)

## 6.5 Havalandırma

Kalıp içerisindeki hava kalıp doldurma esnasında kalıp dışına tahliye edilmelidir. Eğer bu tahliye yetersiz kalırsa içerideki hava basıncı artar. Basınç ve lokal sıcaklık hızlı bir şekilde yükselir. Bu kalıbın dolmamasına bunun sonucu da malzemenin yanmasına neden olur.

Tahliye bölgelerinin sayısı genellikle maliyet açısından sınırlandırılır. Ama ideal olarak daha tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır. Malzeme viskozitesi yüksek tutulmalı ve havalandırma bölgesinin ölçüleri büyük tutulmalıdır. İlgili ölçüler Şekil 6-9'da görülebilir.



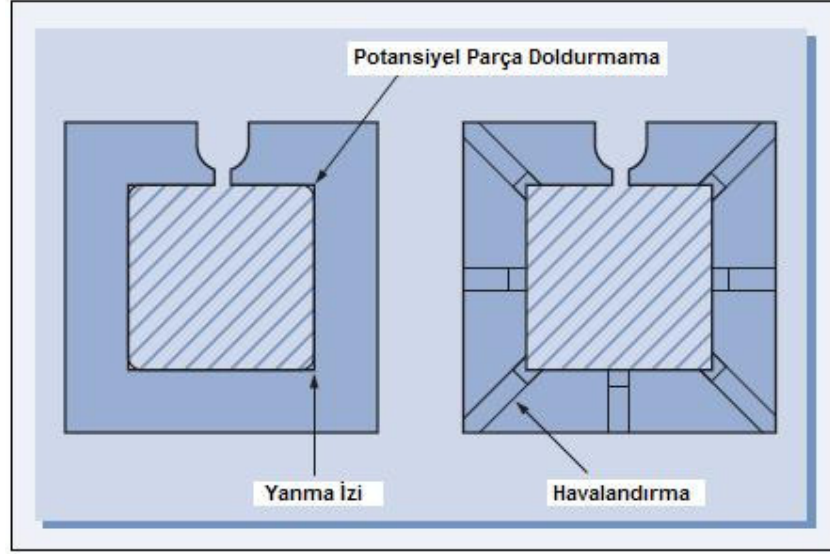
Şekil 6-9: Havalandırma kanallarının tasarlanması (DSM 2005)

Hava tahliye bölgeleri kalıp ayırım bölgesinde özellikle en son doldurulacak bölgelere yerleştirilmelidir. Her bir havalandırma tahliye bölgesinin arası 25 mm olmalıdır. Eğer hava kalıp ayırım bölgesinde hapsolup dışarıya çıkamazsa havalandırma pimleri pim ile delik arasından havanın çıkmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bir diğer alternatif sinterlenmiş metal insertler kullanmaktır. Bu insertler içlerinden gaz çıkmasına izin verirler. Bu insertler ancak görünmeyen yüzeylerde son çare olarak kullanılmalıdırlar.

Yetersiz havalandırmanın kalıplamada yol açacağı problemler şunlardır:

- Yanmış bölgeler
- Zayıf ve görünen malzeme birleşim bölgeleri
- Kötü yüzey kalitesi
- Kötü mekanik özellikler
- Özellikle ince kesitlerde kalıp dolmaması

- Ölçülerde tutarsızlık
- Kalıp çekirdek yüzeyinde lokal korozyon oluşması



Şekil 6-10: Havalandırma bölgelerinin kalıp içerisindeki yerleşimi (DSM 2005)

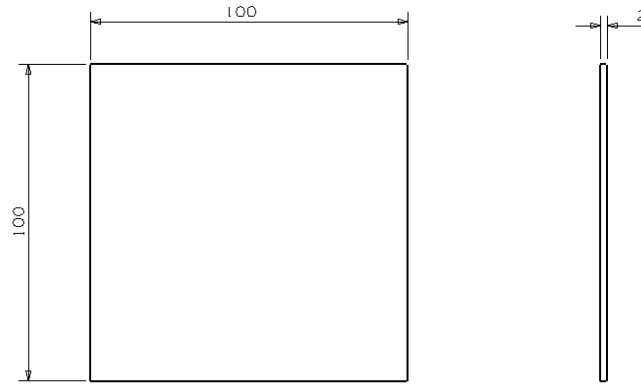
## 7 UYGULAMALAR

### 7.1 Cam Elyafın Çekme Davranışına Etkisi

Bu analizde 100 x 100 x 2 ölçülerindeki bir eleman üzerinde PA6, PBT ve PC plastik malzemelerine cam elyaf ilavesinin çekme davranışına etkisi incelenmiştir.

- Analiz Öncesi CAD modelin hazırlanarak analiz ortamına alınması

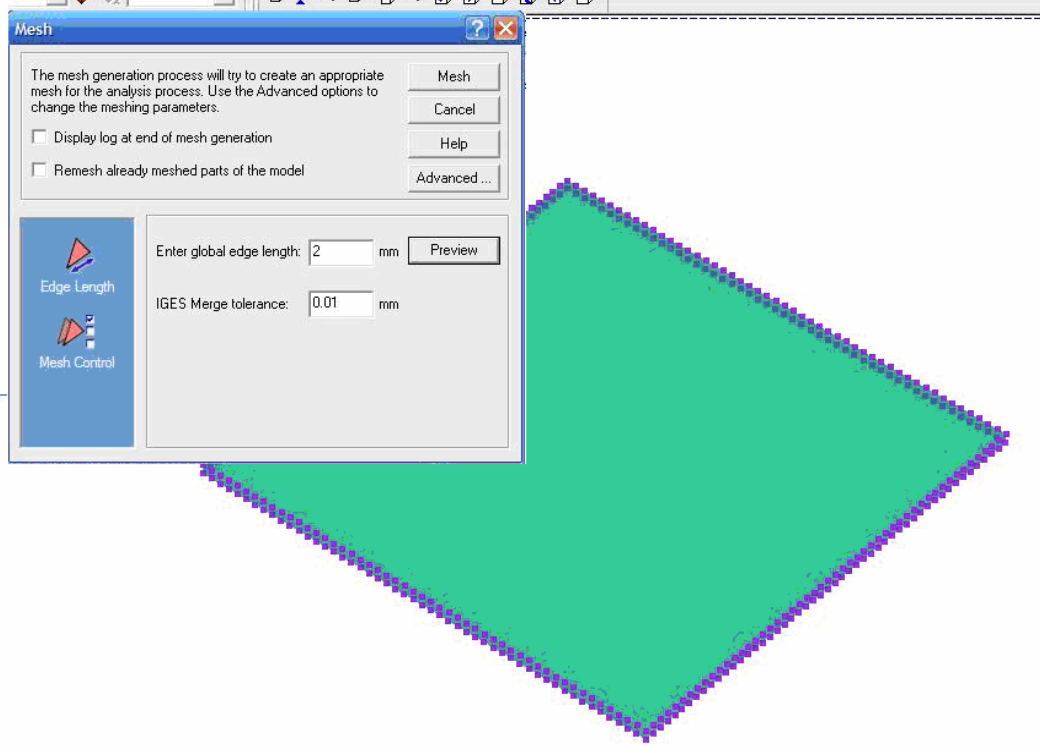
İlk olarak Unigraphics NX3 CAD ortamında ilgili eleman modellenmiştir. (Şekil 7-1). Ardından ilgili model ilgili analizin yapılabilmesi için STL formatında export edilerek MOLDFLOW Plastic INSIGHT 3.1 akış analizi ortamına alınmıştır.



Şekil 7-1: 100 x 100 x 2 ölçülerindeki eleman

- Analiz için ilgili modelin birim elemanlara bölünmesi (Mesh)

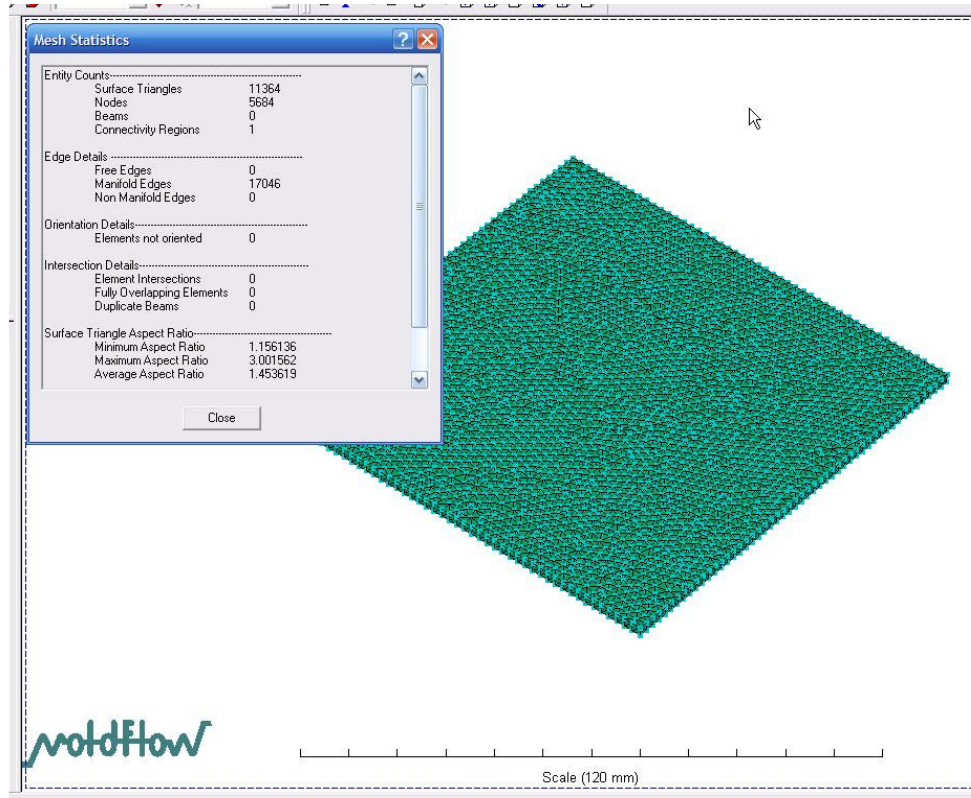
Analiz yapılmadan önce bilindiği gibi matematiksel olarak basitleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla eleman boyutu 2 mm olarak alınarak parça birim elemanlara bölünür. (Şekil 7-2)



Şekil 7-2: Parçanın birim elemanlara ayrılması

- Mesh sonuçlarının incelenmesi

İlgili analizin sonuçlarının doğru olarak elde edilebilmesi için bazı sonuçların belirli sınırları vardır. Şekil 7-3'te görüldüğü üzere serbest kenarların, eleman kesişimlerinin, üst üste binmelerin olmaması ve üçgen kenar oranlarından (aspect ratio) maksimum olanının 6 değerinden küçük olması ve ortalama değerin minimum değere yakın olması şartları sağlandığından analiz öncesi diğer elemanların seçimine başlanabilir.



Şekil 7-3: Mesh analiz sonuçları

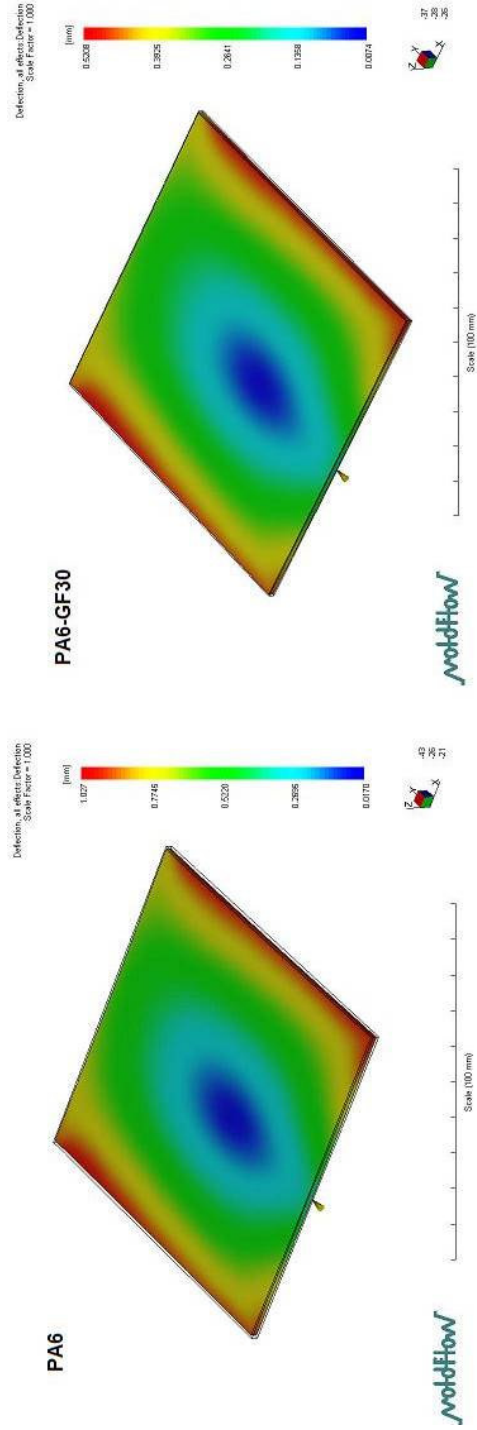
- Malzeme, analiz tipi, enjeksiyon noktası ve proses parametrelerinin belirlenmesi  
Bu analizde malzeme olarak sırası ile PA6, PBT, PC ile PA6-GF30, PBT-GF20 ve PC-GF20 kullanılmıştır.

Analiz tipi: Akış-çarpılma analizi

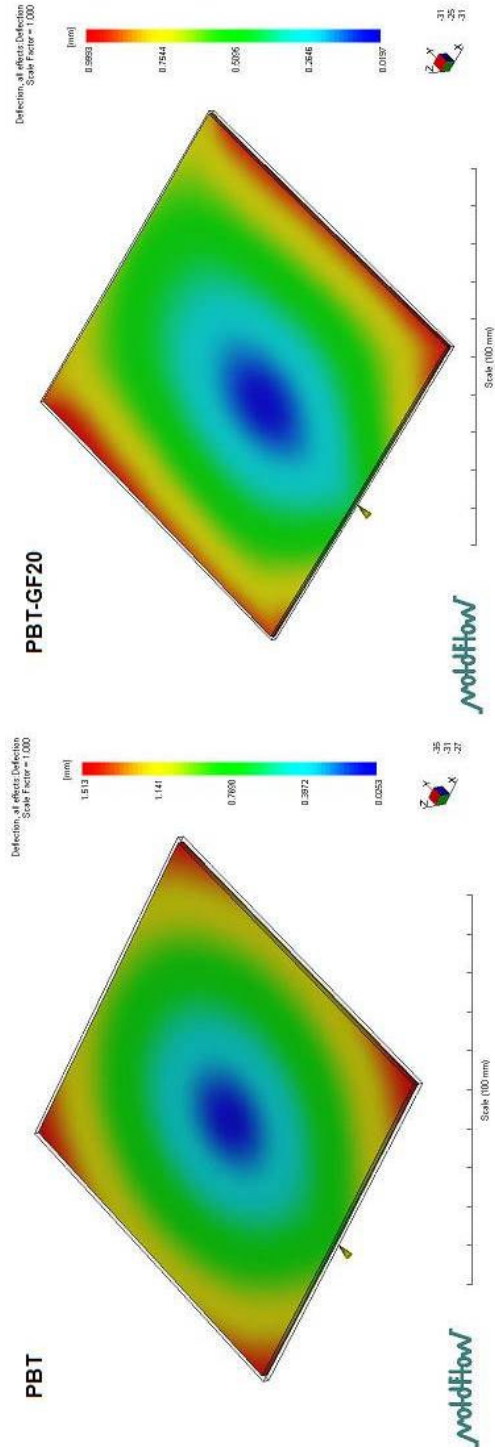
Enjeksiyon noktası: Nokta kenar yolluk

Proses parametreleri: Default olarak alınmıştır.

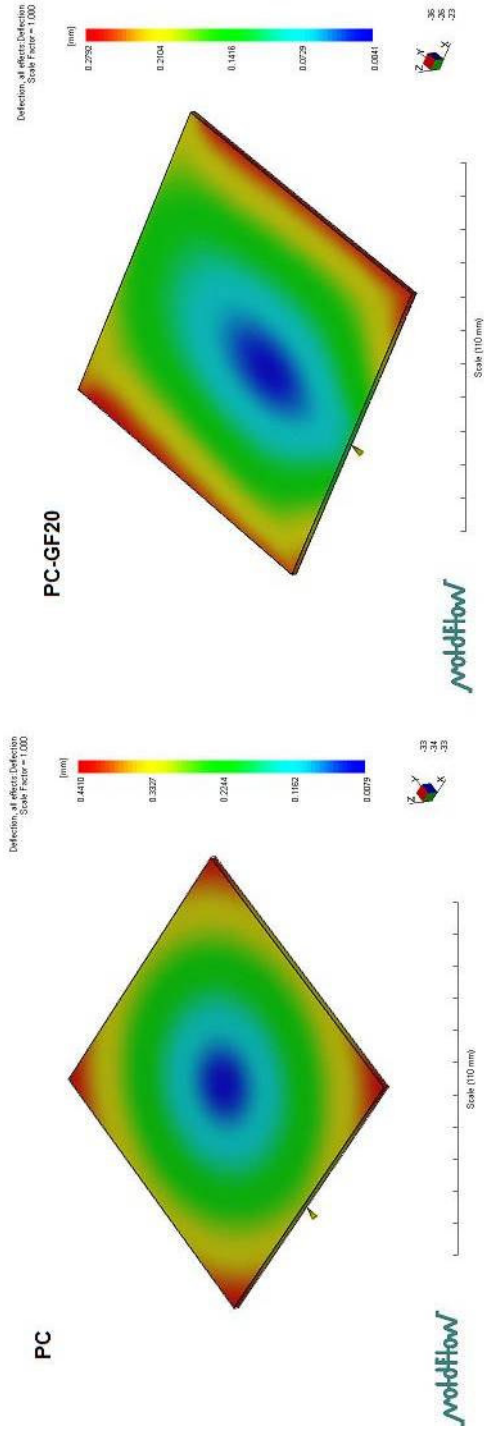
- Analizin yapılması ve sonuçların alınması  
Yukarıdaki malzemelerin her biri için yapılan analizler sonucu çekme miktarları aşağıdaki gibi oluşur:



Şekil 7-4: PA6 için cam elyafın çekmeye etkisi



Şekil 7-5: PBT için cam elyafın çekmeye etkisi

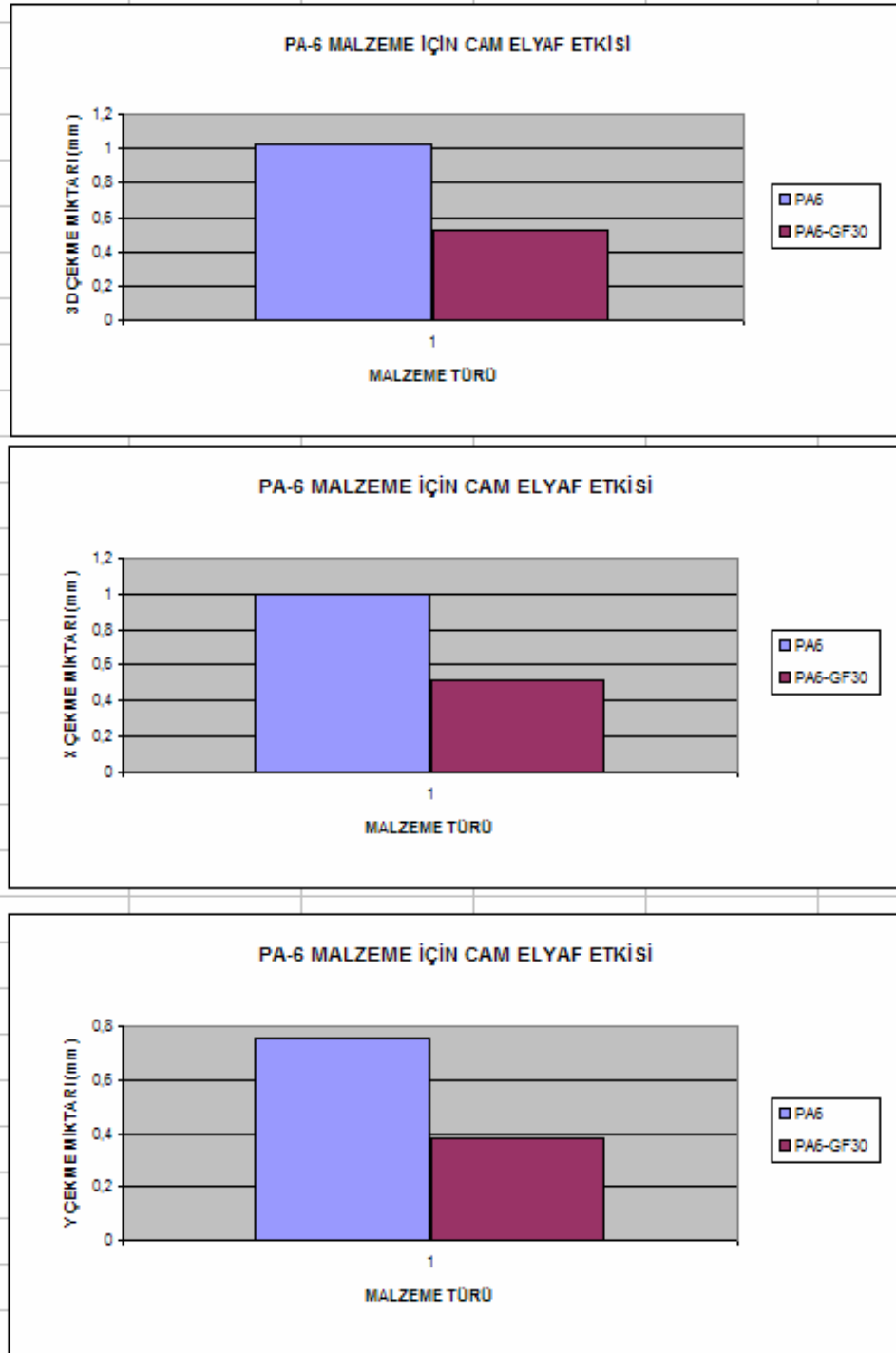


Şekil 7-6: PC için cam elyafın çekmeye etkisi

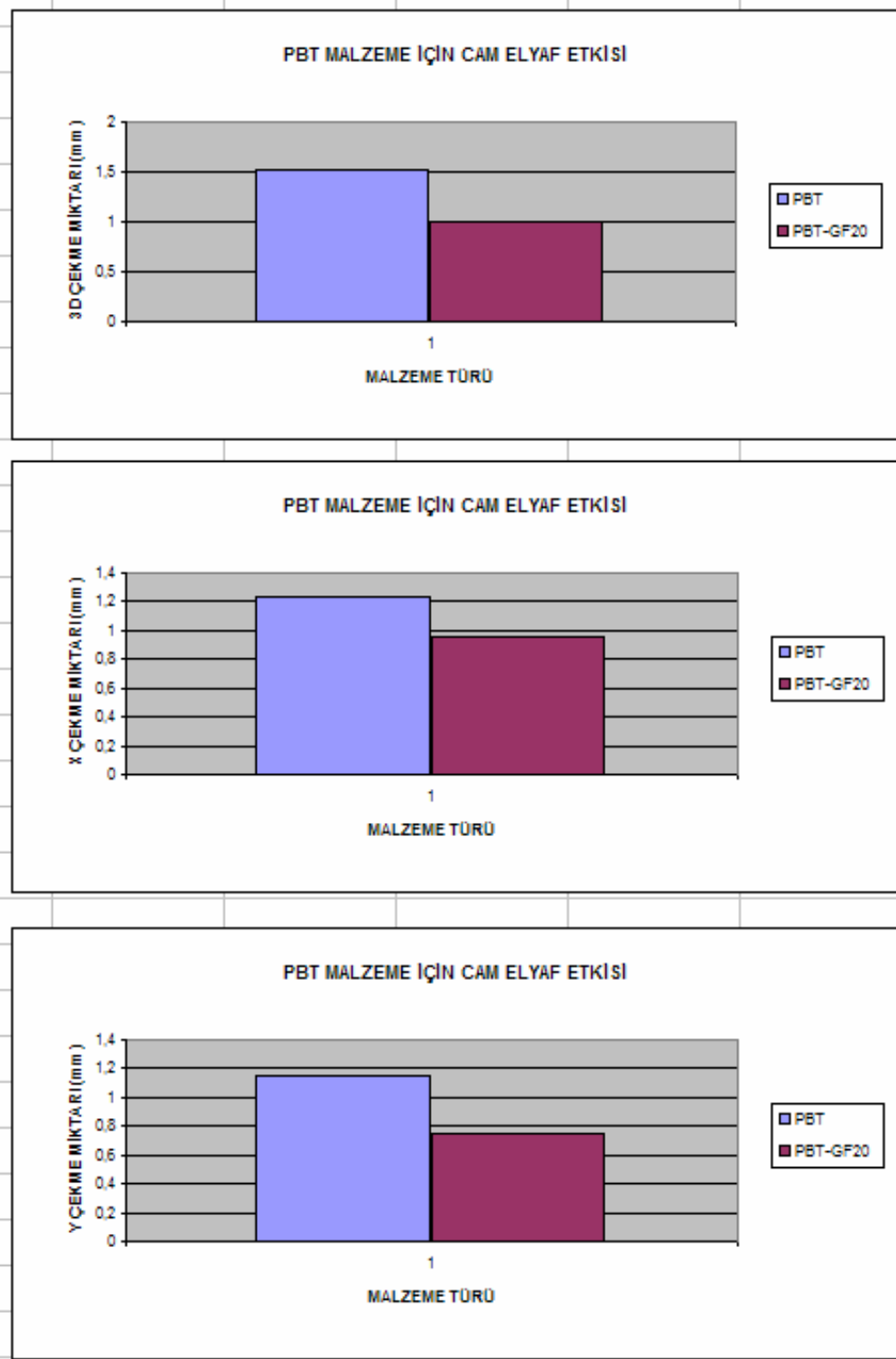
Bu veriler bir tablo haline getirildiğinde takip eden sayfalardaki tablo elde edilir. Ayrıca bu veriler grafik halinde ele alındığında cam elyaf etkisinin boyutu hakkında fikir sahibi olunabilir.

Tablo 7-1: Cam elyaf etkilerinin değişik malzeme gruplarına etkisi

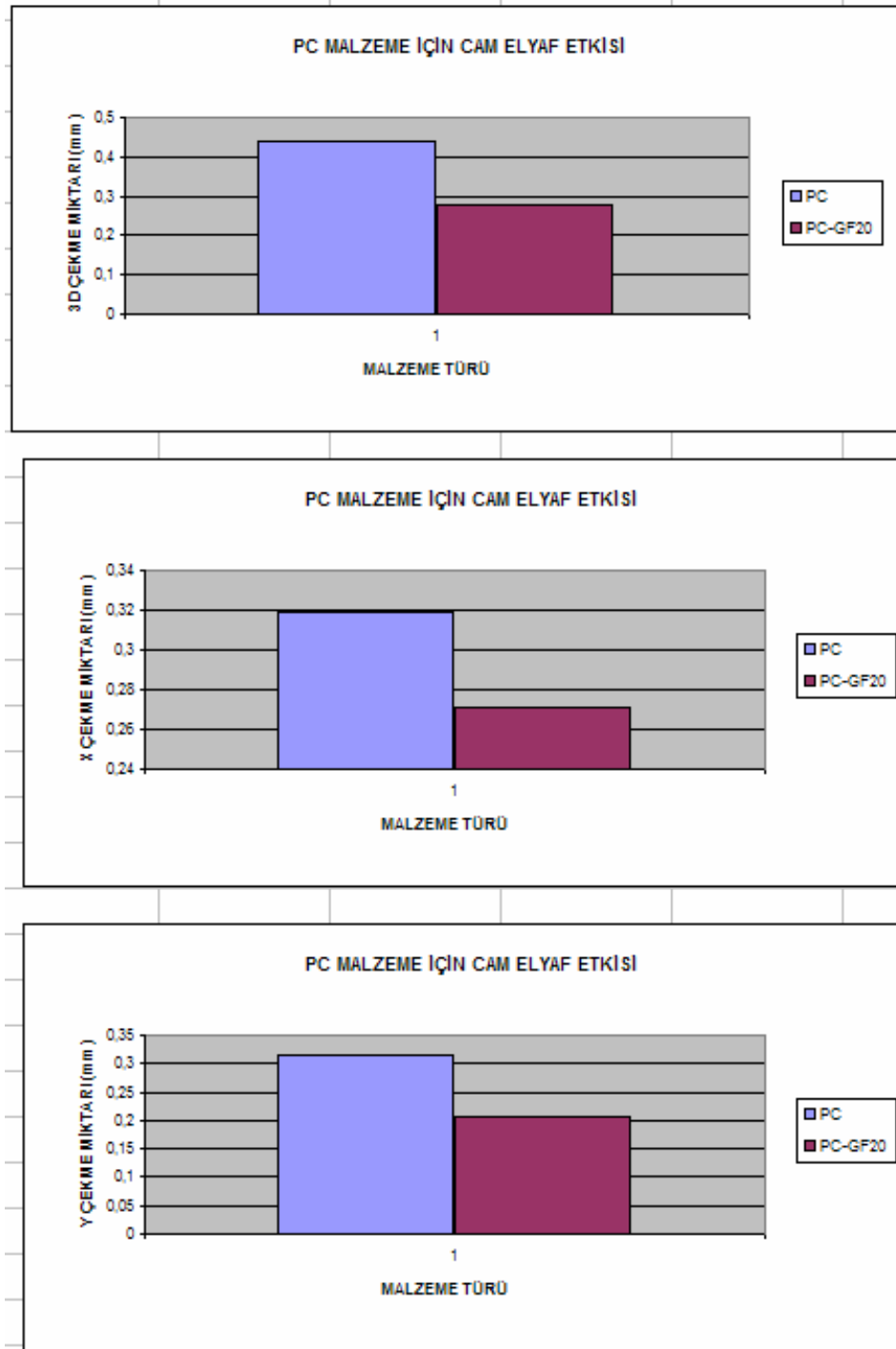
| MALZEME  | Yer Değiştirme mm |        |        |        |
|----------|-------------------|--------|--------|--------|
|          | 3D                | X      | Y      | Z      |
| PA6      | 1,027             | 1,002  | 0,7538 | 0,0178 |
| PA6-GF30 | 0,5208            | 0,5127 | 0,3846 | 0,0093 |
| PBT      | 1,513             | 1,232  | 1,144  | 0,0212 |
| PBT-GF20 | 0,9993            | 0,9633 | 0,7464 | 0,0172 |
| PC       | 0,441             | 0,3191 | 0,3164 | 0,0062 |
| PC-GF20  | 0,2792            | 0,2711 | 0,2081 | 0,0049 |



Şekil 7-7: Cam elyafın PA6 için çekmeye etkisine dair grafikler



Şekil 7-8: Cam elyafın PBT için çekmeye etkisine dair grafikler



Şekil 7-9: Cam elyafın PC için çekmeye etkisine dair grafikler

**Sonuçlar:**

PA6 için cam elyaf katkısı 3 boyutta çekme miktarında %49 iyileşme sağlarken PBT için bu değer %34 PC için ise %37 olmuştur.

PA6 için cam elyaf katkısı akış doğrultusunda çekme miktarında %49 iyileşme sağlarken PBT için bu değer %35 PC için ise %34 olmuştur.

PA6 için cam elyaf katkısı akışa dik doğrultuda çekme miktarında %49 iyileşme sağlarken PBT için bu değer %22 PC için ise %15 olmuştur.

## 7.2 Tutma Basıncının Çekme Davranışına Etkisi

Aşağıda ilk olarak yine aynı eleman üzerinde PBT plastik malzemelerde tutma basıncı değiştirilip enjeksiyon hızı sabit tutularak çekme davranışına etkisi incelenmiştir.

Malzeme, analiz tipi, enjeksiyon noktası ve proses parametrelerinin belirlenmesine kadar olan aşamalar incelenen parça aynı olduğu için aynen alınmıştır.

Bu analizde malzeme olarak PBT ele alınmıştır.

Analiz tipi: Akış-çarpılma analizi

Enjeksiyon noktası: Nokta kenar yolluk

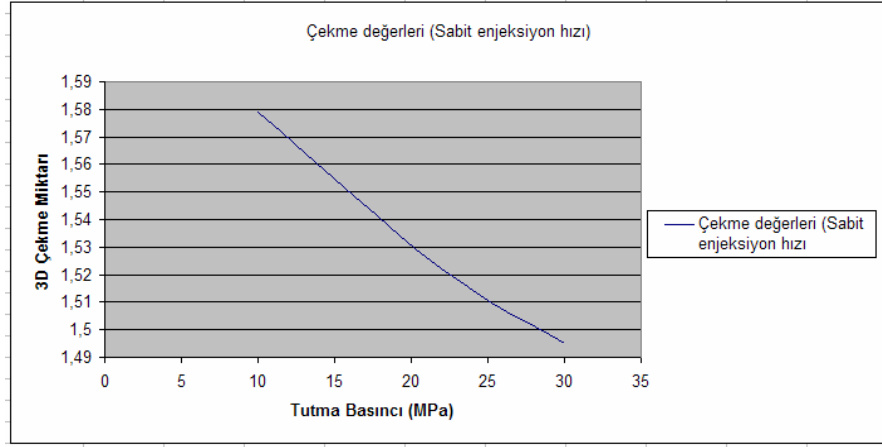
Proses parametreleri: Sırası ile 10, 22 ve 30 MPa olarak alınmıştır.

- Analizin yapılması ve sonuçların alınması

Yukarıdaki malzemelerin her biri için yapılan analizler sonucu çekme miktarları aşağıdaki gibi oluşur:

Tablo 7-2: PBT malzeme için sabit enjeksiyon hızında çekme değerleri

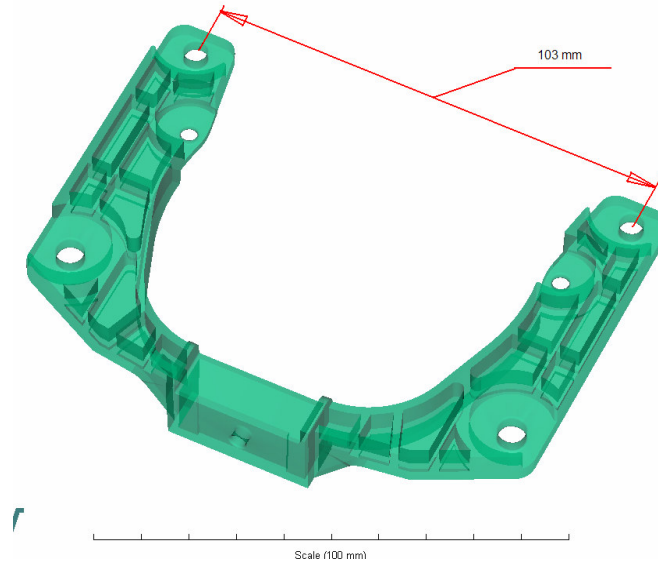
| Tutma Basıncı Mpa | Yer Değiştirme mm |       |       |        |
|-------------------|-------------------|-------|-------|--------|
|                   | 3D                | X     | Y     | Z      |
| 10                | 1,579             | 1,287 | 1,145 | 0,0218 |
| 22                | 1,522             | 1,25  | 1,134 | 0,0211 |
| 30                | 1,495             | 1,197 | 1,112 | 0,0209 |



Şekil 7-10: PBT malzeme için sabit enjeksiyon hızındaki çekme değerleri

### 7.3 Çekme Miktarının Toleranslandırma ile İlişkisi

Aşağıda ilk olarak otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olan bir sis braketini üzerinde sis braketinin (Şekil 7-11) tampona bağlanmasında kullanılan üst bağlama delikleri arasındaki **103 mm'lik** ölçünün PC, PA66 ve PBT plastik malzemeleri ele alınarak ne kadar çekmeye uğrayabileceği ve bu sapma değerlerinin Tablo 5-4'deki genel tecrübi tolerans değerlerini aşıp aşmadığı incelenmiştir.



Şekil 7-11: 103 mm ölçü sapması incelenecek sis braketini

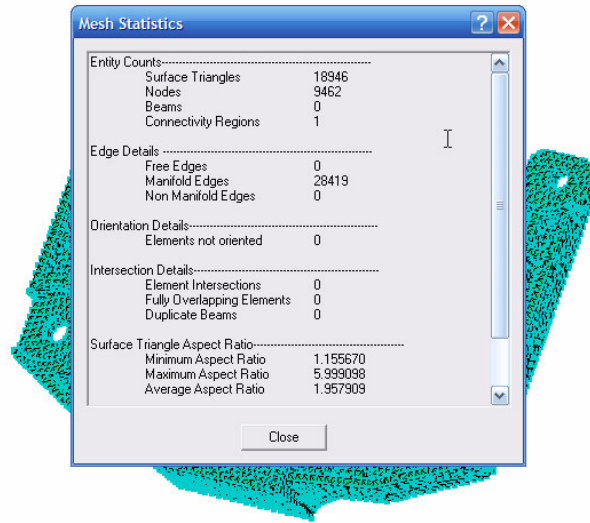
Analiz tipi: Akış-çarpılma analizi

Enjeksiyon noktası: Nokta kenar yolluk

Malzemeler sırası ile PC, PA66 ve PBT olarak alınmıştır.

İşlem parametreleri Default olarak alınarak kalıp iki gözlü olarak düşünülmüştür.

İlk işlem olarak bilindiği gibi parçanın matematik modeli düğüm noktalarına ayrılmış yani mesh edilerek analize hazır hale getirilmiştir.



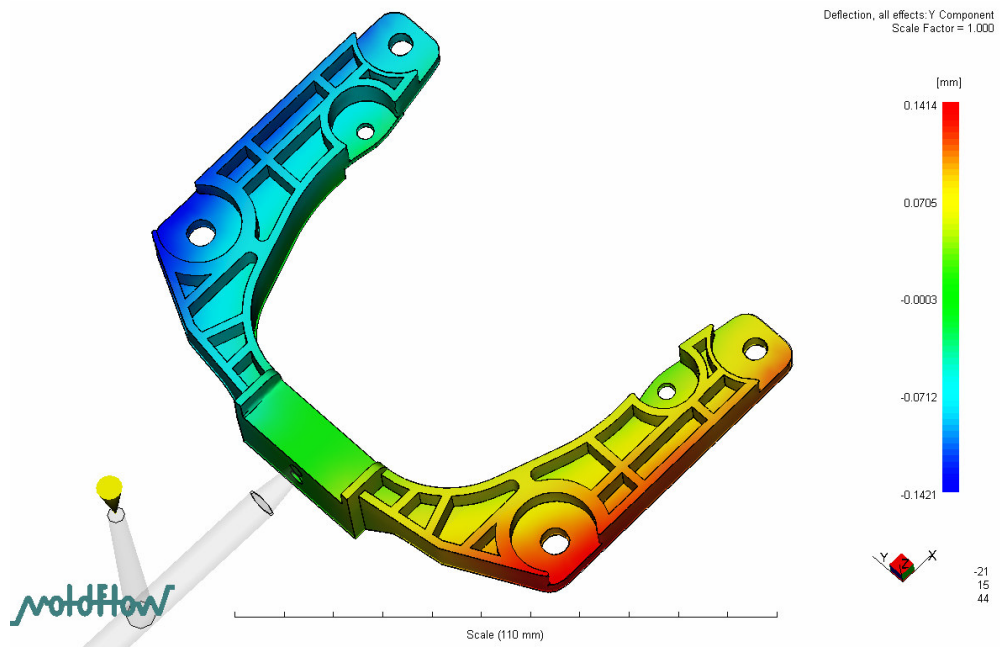
oldFlow

Scale (150 mm)

Şekil 7-12: Mesh istatistikleri analize uygun sis braketi

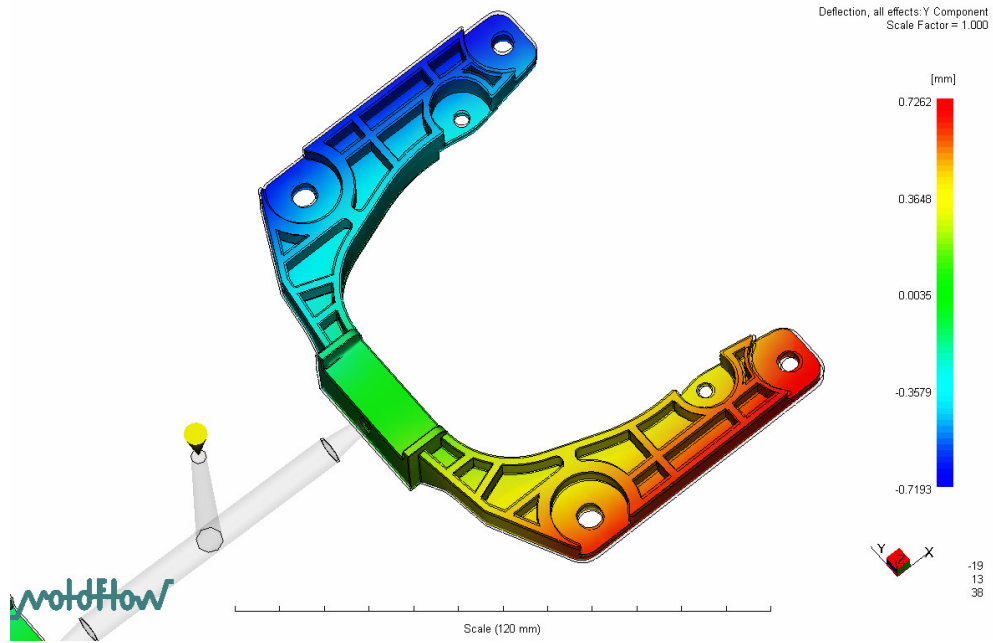
Ardından mesh istatistikleri incelenerek hatalı üçgenler düzeltilerek model analize hazır hale getirilmiştir. (Şekil 7-12)

Söz konusu analiz ilk olarak PC malzeme ile yapılarak çarpılma sonuçları incelendiğinde her bir tarafta yaklaşık 0,14 mm'lik bir sapma elde edilmiş olur. (Şekil 7-13)



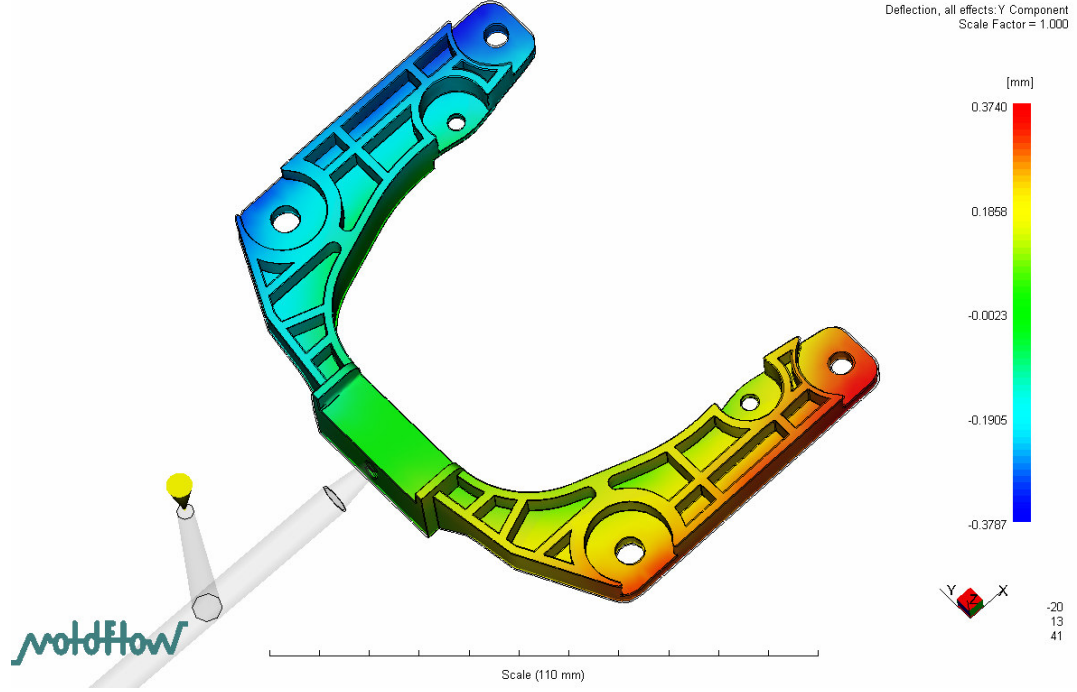
Şekil 7-13: PC malzeme için çarpılma miktarı

Aynı analiz PA66 malzeme ile yapılarak çarpılma sonuçları incelendiğinde de her bir tarafta yaklaşık 0,73 mm'lik bir sapma elde edilmiş olur. (Şekil 7-14)



Şekil 7-14: PA66 malzeme için çarpılma miktarı

Aynı analiz son olarak PBT malzeme ile yapılarak çarpılma sonuçları incelendiğinde de her bir tarafta yaklaşık 0,37 mm'lik bir sapma elde edilmiş olur. (Şekil 7-15)



Şekil 7-15: PBT malzeme için çarpılma miktarı

İlgili değerler Tablo 5-4'ten okunursa PC için 103 mm'lik ölçü için genel tolerans değeri +/- 0,55 mm olarak okunur.

## SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu çalışmada bir ürünün geliştirme ve kontrol aşamasında olası durum ve zorluklara karşı okuyucunun karşılaşılabileceği zorluklara dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Doğru bir bileşim yakalayabilmek için malzeme seçimi ve temel hesaplamaları da içerecek şekilde geniş örneklerle öneriler verilmiş ve yol gösterilmeye çalışılmıştır.

İnceleme kriterleri belli bir sıra ile incelenmekle kalmayıp özellikle konstrüksiyon aşaması oldukça geniş bir şekilde ele alınmıştır.

İlk bölümde plastik parça imalatında uygulanabilecek enjeksiyon yöntemleri belirtilmiş avantaj ve dezavantajları sıralanarak ne tip parçalarda hangi tip enjeksiyon yöntemi kullanılabileceğine değinilmiştir.

İkinci bölümde ise plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılabilecek malzemelerin seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiği ve bu seçimin hangi yöntemlerle ve ne şekilde yapılabileceği ele alınmış ve plastik enjeksiyon kalıplama tekniğinde kullanılabilecek malzeme grupları 3 ana grupta incelenerek birbirileri ile karşılaştırılmış avantaj ve dezavantajları sıralanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde plastik parça tasarımında çekme, çarpılma, çıkma açısı, ters açı, cidar kalınlığı gibi birçok parametreden etkilenen malzeme özellikleri incelenmiş bu özelliklerin malzeme türleri ile ilişkileri incelenerek daha iyi bir parça tasarımı için nelere dikkat edilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca yine daha iyi bir parça tasarımı yapabilmek için ne tür konstrüktif önlemler alınabileceği belirli konstrüktif elemanların tasarımında nelere dikkat edilmesi gerektiği ele alınmıştır. Bunun sonucunda elde edilecek iş parçasının ne tür boyutsal hassasiyete sahip olacağı ve hangi malzeme tiplerinin ne derece hassasiyet sağlayabileceği tablolarla belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde plastik enjeksiyon kalıplama tekniğinin diğer bir önemli kısmı olan plastik enjeksiyon kalıplarının hangi elemanlardan oluştuğu bu elemanların kullanımının etkili bir şekilde kullanımı adına nelere dikkat edilmesi gerektiği ele alınarak sırasıyla püskürtme burcu, dağıtıcı sistemler, yolluk sistemleri, soğutma ve havalandırma konuları incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise plastik enjeksiyon kalıplama tekniği ile ilgili olarak uygulamalara yer verilmiş sırasıyla cam elyaf katkısının plastik malzemelerde çekme davranışına etkisi akış doğrultuda ve akışa dik doğrultuda değerlendirilmiş bu etkinin özellikle PA esaslı malzemelerde %50'ye yakın pozitif katkı yaptığı görülmüş PC gibi daha yüksek ölçüsel doğruluğa sahip malzemelerde dahi akışa dik doğrultuda %15 akış doğrultusunda %34 civarında iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca cam elyaf katkısının her üç malzeme grubunda çekmeye pozitif etkide bulunup çekmeyi azaltmış ve PC ve PBT gibi izotropik çekme davranışı gösteren malzemelerde akış yönündeki çekme miktarı akışa dik yöndeki çekme miktarına göre daha fazla azalmıştır. PA6'da çekme değerleri akış yönünde ve akışa dik yönde eşit oranda azalmıştır.

İkinci uygulamada kalıp doldurma aşamasından sonra kalıpta tutma esnasındaki tutma basıncının PBT üzerindeki çekme davranışına etkisi incelenmiş az da olsa olumlu etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bir diğer uygulamada otomotiv endüstrisinde şu anda kullanılmakta olan bir sis braketini ele alınmış tasarımın doğrulanması esnasında çok önemli bir yere sahip olan toleranslandırma konusu ele alınarak hangi malzemede belirli bir ölçüde maksimum ne kadar hassasiyete ulaşılabileceği ele alınmıştır. Bu doğrultuda PC, PBT ve PA66 malzemelerle ilgili sis braketini çarpılma analizine tabi tutulmuş bunun sonucunda PC malzeme için her bir tarafta 0,14 mm, PA66 malzeme için 0,73 mm, PBT malzeme için 0,37 mm çekme görülmüştür. Tablo 5-4'teki tecrübi genel tolerans değerini (+/- 0,55mm) PC'nin bu değeri aşmadığı PA66 ve PBT'nin ise bu değerleri karşılamadığı görülmüştür. Burada çekme değerleri PC'ye göre çok daha büyük olan PBT ve PA66 ele alınırken kalıpta verilen çekme payının önemi daha iyi kavranmıştır.

## KAYNAKLAR

Anonim, 1996. Richtlinien für das Gestalten von Formteilen aus technischen Kunststoffen, Information der Hoechst AG, Frankfurt am Main.

Anonim, Das Spritzgießteil, VDI - Gesellschaft Kunststofftechnik.

DSM Design Guide, 2005. Performance and Value with Engineering Plastics, 52 p.

Gutjahr, L. M., Becker H., 1989. Herstellen von techn. Formteilen mit dem Gegentakt - Spritzgießverfahren, Technische Information der Fa. KLÖCKNER FERROMAIK DESMA, Malterding.

Homes, W. 1996. Kaskadenspritzgießen vermeidet Bindenähte, Kunststoffe 86 p.

Lappe, U. 1995. Gestaltung von Formteilen aus techn. Kunststoffen, VDI Bildungswerk, Duesseldorf.

Kunz, Land, Wierer. 1996. Neue Konstruktionsmöglichkeiten mit Kunststoffen, WEKA Fachverlag, Augsburg.

Menges G., Mohren P. 1989. Anleitung für den Bau von Spritzgießwerkzeugen, Mohren, P. Carl Hanser Verlag München, Wien.

Michaeli, W. Brinkmann, Th. Lessenich-Henkys, V. 1995. Kunststoff-Bauteile werkstoffgerecht konstruieren, Carl Hanser Verlag , München.

Niederhöfer, K.-H. 1989. Konstruieren mit Kunststoffen, Verlag TÜV Rheinland.

Schneider, W. 1995. Vorlesung: Konstruieren mit Kunststoffen, MFH Iserlohn.

Schönwald, H. 1995. Methodik des Konstruierens von Kunststoff-Formteilen, VDI Bildungswerk, Duesseldorf.

Steinbichler, G. 1997. Entwicklungspotentiale der Verbundspritzgießtechnik Denkanstöße zur Umsetzung, VDI Bildungswerk, Seminar, Iserlohn.

Thienel P., Hoster P., Kürten A., Kürten C., Nawroth M. 1997. Formteil und Werkzeug Begutachtung, Märkische Fachhochschule Iserlohn Kunststoffverarbeitungslabor 1, Iserlohn. 136 p.

Wimmer W. 1989. Kunststoffgerecht konstruieren, Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag.

Yurci M. E. 2005. Plastik İşleme Yöntemleri ve Enjeksiyonu ile Parça Tasarım İlkeleri Seminer Notları, 1-5, 13-14.

Zoetelief W. F. 1995. Multi-component injection-moulding, Technische Universitaet Eindhoven, 142 p.

## TEŞEKKÜR

Makina mühendisliği alanına adımımı attığım ilk günden beri lisans ve yüksek lisans düzeyinde bana her türlü desteğini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Agah UĞUZ ve Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR'a, beni bu günlere getiren babama ve rahmetli anneme, Yüksek Lisansımın pürüzsüz şekilde yürüebilmesi için desteğini esirgemeyen sayın departman müdürüm Engin ÜÇKARDEŞ'e, Mako Elektrik San. Ve Tic. A.Ş. kalıp uzmanlarından Serkan ACAR ve Eray ŞENTÜRK ile Moldflow konusunda yardımını esirgemeyen Celalettin ÇAĞLAR ve burada ismini sayamadığım emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Bursa’da doğdu. Lise öğrenimini Tophane Teknik Lisesi Makine Ressamlığı Bölümünde 2000 yılında birincilikle tamamladıktan sonra aynı yıl başladığı Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında birincilikle mezun oldu. Halen Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim dalı’nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. Aynı zamanda 2004 yılında BILTIM Bilgisayar Destekli Tasarım Merkezinde başladığı çalışma hayatını 2006 yılından beri Mako Elektrik San. Tic. A.Ş. ‘de Ürün ve Tasarım Mühendisi olarak sürdürmektedir.