

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON  
KALIP TASARIMI VE ANALİZİ**

Mak. Müh. Çiğdem KOYUN

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doc. Dr. E. Muharrem BOĞOÇLU**

**İSTANBUL, 2005**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vi
KISALTIMA LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiii
ÖNSÖZ .....	xiv
ÖZET .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
1 GİRİŞ .....	1
2 BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIMI VE ANALİZİ .....	3
2.1 Bilgisayar Destekli Tasarımın Önemi .....	3
2.2 Plastik Parça ve Kalıp Tasarımında CAD Uygulamalar .....	3
2.3 Kalıp Tasarımında Akış Analizi ve Uygulamaları .....	4
2.4 Pratikte Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz Uygulamaları .....	4
3 PLASTİK MALZEMELER .....	7
3.1 Genel Bilgi .....	7
3.2 Plastiklerin Sınıflandırılması .....	7
3.3 Plastiklerin Genel Özellikleri .....	9
3.4 Plastiklerde Çekme ve Çarpılma .....	10
3.4.1 Çekme .....	10
3.4.2 Çekme oranına etki eden faktörler .....	12
3.4.3 Çarpılma .....	13
3.4.4 Çarpılmaya etki eden faktörler .....	14
3.5 Plastik Alaşım ve Harmanları .....	15
3.6 Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri .....	15
3.7 Plastiklere Şekil Verme Yöntemleri .....	16
4 PLASTİK ÜRÜN TASARIMI .....	18
5 PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ .....	21
5.1 Plastik Enjeksiyon Tezgahı .....	21
5.2 Tezgah Tipi ve Şekillendirilmeleri .....	22
5.3 Makina Teknik Özellikleri .....	23
5.4 Enjeksiyon Parametreleri .....	23
5.5 Plastik Enjeksiyon Çevrimi .....	23
5.6 Enjeksiyon Çevriminin Parça Tasarımı ve Kalıp Tasarımı ile İlişkisi .....	25
6 PLASTİK ENJEKSİYON KALIBININ TASARIM İLKELERİ .....	26
6.1 Genel Bilgi .....	26
6.2 Akış Karakteristiği .....	26
6.3 Ergime (İşlem) Sıcaklığı .....	27
6.4 Plastik Malzemenin Isıya Duyarlılığı .....	27
6.5 Kalıplama Çevrimi .....	28
6.6 Parçanın Tanımlanması .....	28
6.6.1 Belirginlik .....	28

6.6.2	İzdüşümler .....	28
6.6.3	Toleranslar .....	29
6.6.4	Parçanın kullanım yeri .....	30
6.6.5	Parça resimleri üzerindeki notlar .....	30
6.6.6	Çıkış açıları .....	31
6.6.7	Çekmenin rolü .....	31
6.7	Plastik Enjeksiyon Kalıplar .....	32
6.8	Plastik Enjeksiyon Kalıbının Fonksiyonları .....	34
6.9	Kalıpların Sınıflandırma Kriterleri .....	35
6.10	Kalıp Tasarımının Temel Prosedürü .....	38
6.10.1	Kalıp boyutlarının belirlenmesi .....	38
6.10.1.1	Maksimum kavite sayısı .....	39
6.10.1.2	Kilitleme kuvveti .....	39
6.10.1.3	Maksimum kilitleme alanı .....	40
6.10.1.4	Gerekli açılma stroku .....	40
6.10.1.5	Akış boyu / cidar kalınlığı oranı .....	40
6.10.1.6	Kalıpta çekme ve etkileri .....	42
6.10.2	Kavite sayısının hesaplanması .....	44
6.11	Kavitelerin Yerleştirilmesi .....	45
6.11.1	Enjeksiyon süresince kalıptaki kuvvetlerin dengesi .....	45
6.11.2	Ayırma yüzeyi sayısı .....	46
6.12	Kalıp Malzemelerinin Seçimi .....	47
6.12.1	Kalıp kavite , çekirdek ve maça yapımında kullanılan çelikler .....	47
6.12.2	Kalıbın diğer kısımlarında kullanılan malzemeler .....	49
7	YOLLUK SİSTEMLERİ VE TASARIMI .....	51
7.1	Komple Bir Yolluk Sisteminin Karakterize Edilmesi .....	51
7.2	Yolluk Girişi .....	52
7.3	Yolluk İtici ve Çekiciler .....	55
7.4	Yolluk Çekicilerin Sayısı ve Yerleşimi .....	56
7.5	Yolluk Kavramı Ve Tanımı .....	57
7.5.1	Yolluk sisteminden beklenenler .....	57
7.5.2	Yolluk sistemlerinin sınıflandırılması .....	58
7.5.3	Yollukların tasarımı .....	58
7.5.4	Yolluk şekli belirlenirken dikkat edilmesi gereken faktörler .....	61
7.5.5	Standart yolluk sistemleri .....	62
7.5.6	Sıcak yolluk sistemleri .....	63
7.5.6.1	Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve sistemi oluşturan elemanlar .....	66
8	KAVİTE GİRİŞLERİNİN TASARIMI .....	68
8.1	Kavite Girişlerinin Tasarımı .....	68
8.1.1	Girişin parça üzerindeki yeri .....	70
8.2	Giriş Çeşitleri .....	73
8.2.1	Direk giriş .....	73
8.2.2	Kenar giriş .....	76
8.2.3	Disk giriş .....	77
8.2.4	Halka giriş .....	78
8.2.5	Tünel giriş .....	80
8.2.6	Yolluksuz kalıplar .....	82
9	SOĞUTMA SİSTEMİ .....	83

9.1	Genel Bilgi.....	83
9.2	Soğutma Sisteminin Tasarımı.....	85
9.3	Soğutma Zamanı.....	86
9.4	Soğutma Sistemi ile İlgili Hesaplamalar.....	87
9.5	Enjeksiyon Makinelerinde Kalıp Soğutma Suyunun Debi Soğutma Kapasitesi... 91	
9.6	Plastik Malzeme Sıcaklığı ve Isı Dengesi.....	92
9.7	Soğutucu Sıvının Akışı.....	94
9.8	Yolluk Sisteminin Soğutmaya Etkisi.....	95
9.9	Kalıp Plakalarının Sıcaklığı.....	95
9.10	Su Kanalı Verimliliği.....	96
9.11	Parçaların Kritik Kesitlerinin Soğutulması.....	96
9.12	Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı.....	97
9.12.1	Çekirdekler ve dairesel kesitli parçalar için soğutma sistemleri.....	97
9.12.2	Düzlemsel parçalar için soğutma sistemleri.....	103
9.12.3	Kanallarda tıkaç kullanımı.....	107
9.12.4	Soğutma sisteminin yalıtılması.....	108
10	İTİCİ SİSTEMİ.....	110
10.1	Genel Bilgi.....	110
10.2	İtme Çevriminin Genel Prensipleri.....	110
10.2.1	Strok, açıklık ve ürün yüksekliği.....	110
10.2.2	Gaz çıkışı.....	112
10.3	İtici Sistemi Seçimi.....	112
10.4	Komple İtici Sistemi.....	114
10.5	İtme Metodları.....	116
10.5.1	Pimler ve bıçaklar.....	116
10.5.2	İtici bilezik.....	117
10.5.3	Valf başlıklı iticiler.....	118
10.5.4	Sıyırma halkalı ve plakalı itici.....	119
10.5.5	Havalı itici.....	120
10.6	İtici Pimlerin Yerleri.....	120
10.7	İtici Pim Sayısı.....	122
10.7.1	İtici kuvvetinin hesaplanması.....	123
11	MAÇA SİSTEMİ.....	124
11.1	Giriş.....	124
11.2	Maçanın Geri Çekilmesi.....	125
11.3	Maça Çalışma Metotları.....	125
11.3.1	Hareketli maça çalışması.....	125
11.3.2	Hareket kaybetmiş maça pimi.....	127
11.3.3	Hareketli kenarlar.....	128
11.3.4	Hidrolikle çalışan maça.....	129
11.3.5	Pnömatikle çalışan maça.....	130
11.3.6	Elektro-mekanik hareketli maça.....	131
12	KALIPLARIN İÇİNDEKİ HAVANIN BOŞALTILMASI.....	133
13	PLASTİK ENJEKSİYON PARÇA HATALARI ve ÇÖZÜMLERİ.....	137
13.1	Genel Bilgi.....	137
13.2	Örnekler.....	138
13.2.1	Yolluk girişi çevresinde mat bölgeler.....	138
13.2.2	Tam doldurulamamış parçalar.....	139

13.2.3	Gaz kabarcıkları.....	139
13.2.4	Köşelerden sonra mat bölgeler .....	140
13.2.5	Boşluklar / kabarcıklar.....	141
13.2.6	Parçada siyah gri duman izleri.....	141
13.2.7	Hızlı akış izleri .....	142
13.2.8	Çapak .....	143
13.2.9	İtici izleri .....	144
13.2.10	Soğuk birleşme izleri .....	144
13.2.11	Çarpılma .....	145
13.2.12	Çöküntü izleri .....	146
13.2.13	Yolluk girişi uzağında Diesel etkisi.....	147
14	<b>BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIM ve ANALİZ UYGULAMASI.</b>	148
14.1	Kalıp Tasarım İlkeleri.....	148
14.1.1	Parça bilgileri.....	148
14.1.2	Enjeksiyon makine bilgileri .....	148
14.1.2	Tam doldurulamamış parçalar .....	148
14.1.3	Kalıp bilgileri.....	148
14.2	Kalıp Tasarımı .....	148
14.3	Kalıbın Analizi .....	149
14.3.1	Akış analizi .....	149
14.3.2	Yapısal analiz .....	151
14.4	Uygulama.....	152
14.4.1	Kalıplanan parçanın modeli.....	152
14.4.2	Plastik enjeksiyonda kullanılacak olan enjeksiyon tezgahı .....	153
14.4.3	Plastik enjeksiyon kalıbının katı modeli.....	154
14.4.4	Analiz uygulamaları .....	157
14.4.4.1	Moldex3D ve Moldflow ile akış analizi .....	157
14.4.4.2	Pro Mechanica ile gerilme analizi .....	185
14.5	3D model, tasarım ve analizden sonra kalıp yapımı ve enjeksiyon işlemi.....	191
15	<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	195
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	199
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	201

## SİMGE LİSTESİ

$a$	Malzemenin termal yayılma sabiti
$A$	Yüzey alanı
$a_i$	Kısmi projeksiyon alanı
$A_{max}$	Toplam projeksiyon alanı
$A_p$	Su giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı
$B$	Kalıpta soğutulması gereken alanın yüksekliği
$c$	Özgül ısı
$C$	En az soğuma zamanı
$C_p$	Özgül ısı değeri
$d$	Soğutma kanalı çapı
$d_F$	Kesit kalınlığı
$d_N$	Plastik ünitesi lülesinin orifis çapı
$d_S$	Yolluk burcunun orifis çapı
$D$	Soğutma kanalı derinliği
$E$	Viskozite için aktivasyon enerjisi
$f_L$	Düzeltilme faktörü
$F$	Kuvvet
$F_{kilitleme}$	Kilitlemem kuvveti
$G$	Parça ağırlığı
$h$	Zaman
$H$	Hidrolik yarıçap
$I_C$	Kavite boyutu
$I_M$	Parça boyutu
$K$	Üstel davranış sabiti
$L$	Yolluk boyu
$L_k$	Soğutma kanallarının kalıp çeperine olan ortalama uzaklığını
$m$	Sürtünme katsayısı
$m$	1 saatte eritilen granül miktarı
$M_v$	Parça ve yolluk hacmi
$\eta$	Poisson oranı
$n$	Üstel davranış endeksi
$N_c$	Basınç denklik katsayısı
$N_1$	Maksimum teorik kavite sayısı
$N_2$	İnce cidarlı parçalar için kavite sayısı
$P$	Basınç
$P_{enj}$	Maksimum enjeksiyon basıncı
$q$	Plastiğin $t_g$ ve $t_c$ sıcaklıklarındaki entalpilerinin farkı
$Q$	Ortama atılan ısı miktarı
$Q_d$	Doğal taşınım ile atılan ısı miktarı
$Q_{sog}$	Soğutma Kapasitesi
$Q_{Erg}$	Ergime kapasitesi
$Q_2$	Uzaklaştırılacak ısı miktarı
$r_1$	Geçiş yarıçapı
$R$	Gaz sabiti
$R_e$	Reynold sayısı
$R_N$	Plastik ünitesi lülesinin küresel uç yarıçapı
$R_S$	Yolluk burcu küresel girintisinin yarıçapı
$R_v$	Isıl direnç
$s$	Parça cidar kalınlığı

$S$	Strok mesafesi
$S_{max}$	Parçanın en kalın kesiti
$S_V$	Maksimum malzeme miktarı
$t$	Ürünün et kalınlığı
$T$	Sıcaklık
$T_c$	Silindir sıcaklığı
$t_{\phi}$	Plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığı
$T_{er}$	Hammaddenin kalıba akması için gerekli ergime ısısı
$t_g$	Plastiğin kalıplama sıcaklığı
$t_{gr}$	Granülün ortamdaki sıcaklığı
$t_k$	Kalıp sıcaklığı
$t_o$	Ortam sıcaklığı
$t_s$	Soğutma kanallarının çeperlerinin ortalama sıcaklığı
$t_{s\phi}$	Suyun çıkış sıcaklığı
$t_{sg}$	Suyun giriş sıcaklığı
$T_x$	Kalıbın itme sıcaklığı
$v$	Hız dağılımı
$V$	Hacim
$V_{enj}$	Optimum enjeksiyon hızı
$v_f$	Akış hızı
$w$	Akış hızı
$W$	Genişlik
$x$	Mesafe
$X_m$	Ağırlık merkezi
$\Delta P$	Basınç farkı
$\Delta t$	Kalıba giren ve çıkan su sıcaklığı farkı
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$\alpha$	Çıkış açısı
$\alpha_1$	Kalıbın ısı transfer katsayısı
$\alpha_3$	Akış hızının ve kanal çapının fonksiyonu
$\delta t$	İzdüşüm yüzeyinin çapına göre plastiğin termal ilişkisi veya kalıp boşluğu
$\gamma$	Kayma oranı
$\eta$	Viskozite
$\eta_0$	Düşük kayma oranı sınır viskozitesi
$\lambda$	Karakteristik zaman
$\nu$	Dinamik viskozite
$\sigma$	Kayma gerilmesi

## KISALTIMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril Butadien Stiren
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
HRC	Rockwell Sertlik Değeri
PA	Poliamid
PA6	Poliamid 6
PC	Policarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen Terephalat
PMMA	Polimetilmetakrilat
POM	Polioksimetilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PSU	Polysulfon
PTFE	Politetrafloretillen
PVC	Ploivinilklorür
P-V-T	Basınç-Hacim-Sıcaklık
SAN	Stirol Akiril Nitril
TS	Türk Standartları
UV	Ultraviyole

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Plastiklerin sınıflandırılması .....	8
Şekil 3.2 Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri .....	8
Şekil 3.3 Polimerlerin morfolojisi .....	9
Şekil 3.4 Plastik üçgeni .....	10
Şekil 3.5 P-v-T Diyagramı üzerinde enjeksiyon çevrimi ve çekme .....	11
Şekil 3.6 Farklı et kalınlıklarında farklı çekme oranı .....	13
Şekil 3.7 Plastiklerde çarpılma etkisi .....	14
Şekil 4.1 Ürün tasarım gerçekleşme süreci .....	20
Şekil 5.1 Enjeksiyon makinesi .....	21
Şekil 5.2 Enjeksiyon makinesinin şematik gösterimi .....	22
Şekil 5.3 Kalıbın kapatılması .....	23
Şekil 5.4 Enjeksiyon çevrimi .....	24
Şekil 6.1 Malzeme bozunma eğrisi .....	27
Şekil 6.2 Enjeksiyon kalıbı .....	33
Şekil 6.3 Standart kalıp .....	36
Şekil 6.4 Çok plakalı kalıp .....	37
Şekil 6.5 Sıcak yolluklu kalıp .....	38
Şekil 6.6 Akış boyu-cidar kalınlığı arasındaki ilişki .....	41
Şekil 6.7 Zamana bağlı olarak boyutların değişimi .....	43
Şekil 6.8 Kavite sayısını etkileyen maliyetler .....	44
Şekil 6.9 Kavite yerleşimlerinin karşılaştırılması .....	45
Şekil 6.10 Eksantrik ve konsantrik yolluklu kavite yerleşimleri .....	46
Şekil 6.11 Kalıp ayırım çizgisine örnekler .....	47
Şekil 7.1 Yolluk sistemi .....	51
Şekil 7.2 Makine lülesi ve yolluk burcu .....	52
Şekil 7.3 Kontak bölgesinin doğru ve yanlış tasarımları .....	53
Şekil 7.4 Yolluk girişinin boyutlandırılması .....	53
Şekil 7.5 Yolluk burcuna etkiyen kuvvetler .....	54
Şekil 7.6 Yolluk çekicinin bulunduğu yerde görülen plastik yoğunlaşması .....	55
Şekil 7.7 A) Sıyırıcı plakalı çekici B) İtici pimlerle beraber çekici uygulaması .....	55
Şekil 7.8 Yumuşak ve sert malzemeye göre yolluk iticilerinin yerleşimi .....	56
Şekil 7.9 Yay ile sıkıştırılmış yolluk burcu .....	57
Şekil 7.10 Yolluk kesitleri .....	59
Şekil 7.11 Yolluk kesitini hesaplamak için kullanılacak nomogramlar .....	60
Şekil 7.12 Yanlış ve doğru ikincil yolluk uygulamaları .....	62
Şekil 7.13 Kalıba gömülmüş meme .....	62
Şekil 7.14 Kalıba gömülmemiş meme .....	63
Şekil 7.15 Sıcak yolluk .....	63
Şekil 7.16 Konvansiyonel yolluk sisteminden sıcak yolluk sistemine geçiş .....	64
Şekil 7.17 Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve elemanları .....	66
Şekil 8.1 Kavite girişini etkileyen faktörler .....	68
Şekil 8.2 Giriş kesitleri ve yolluk üzerindeki pozisyonları .....	69
Şekil 8.3 Nokta ve tünel girişler için önerilen boyutlar .....	70
Şekil 8.4 Ergimiş malzemenin değişik pozisyonlardaki girişlerde izlediği akış yolu .....	71
Şekil 8.5 Uzun kenarda konumlandırılmış giriş .....	71
Şekil 8.6 Kısa kenarda konumlandırılmış giriş .....	71
Şekil 8.7 Parça kalitesi üzerinde giriş pozisyonunun etkisi .....	72
Şekil 8.8 Deliklerin ve kanalların ardında oluşan birleşme hatları .....	72
Şekil 8.9 Çoklu nokta, kenar girişler ve eşit akış boylan prensibi .....	72

Şekil 8.10 Ek girişli direk giriş.....	74
Şekil 8.11 Direk giriş.....	74
Şekil 8.12 Eğri yolluk girişi.....	75
Şekil 8.13 Yolluk burcu kullanılan ve yolluk girişi kalıba işlenen yolluk girişi.....	75
Şekil 8.14 Dairesel dağıtım kanallı kenar giriş.....	76
Şekil 8.15 Üniform akış için ayarlanmış kenar giriş.....	77
Şekil 8.16 Disk girişler.....	77
Şekil 8.17 45° açılı disk giriş.....	78
Şekil 8.18 Halka giriş ve çekirdek destekleri.....	78
Şekil 8.19 Dairesel kesitli halka giriş.....	79
Şekil 8.20 Kare kesitli halka giriş.....	79
Şekil 8.21 İç halka giriş.....	80
Şekil 8.22 Tünel giriş.....	80
Şekil 8.23 Otomatik yolluk iticili tünel giriş.....	81
Şekil 8.24 Eğri tünel giriş.....	81
Şekil 8.25 Tünel giriş ile içten giriş.....	82
Şekil 8.26 Yolluksuz giriş.....	82
Şekil 9.1 Tavsiye edilen kalıp soğutma kanalları çap ve hatve değerleri.....	83
Şekil 9.2 Kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi.....	87
Şekil 9.3 Kalıp sıcaklığının çevrim zamanına göre değişimi.....	93
Şekil 9.4 Plastik yüzeyinden farklı mesafede aynı kesitte su kanalları.....	96
Şekil 9.5 Köşelerde malzemenin katılaşması.....	97
Şekil 9.6 Çekirdek soğutma teknikleri.....	99-100
Şekil 9.7 Soğutma borulu bir çok kaviteli kalıp ve soğutma suyu bağlantıları.....	101
Şekil 9.8 Çekirdeklerin seri soğutulması.....	102
Şekil 9.9 Çekirdeklerin paralel soğutulması.....	102
Şekil 9.10 Spiral soğutma kanalının tasarımı.....	104
Şekil 9.11 Doğrusal soğutma kanalları.....	104
Şekil 9.12 Dikdörtgensel parçalar için spiral soğutma kanalı tasarımı.....	105
Şekil 9.13 Ekonomik bir soğutma sistemi örneği.....	105
Şekil 9.14 Büyük yüzeyler için farklı soğutma kanallarının paralel dizilişi.....	106
Şekil 9.15 Çekirdek soğutulmasında kullanılan paralel soğutma kanalları.....	106
Şekil 9.16 Bir kutu kalıbında soğutma sistemi.....	107
Şekil 9.17 Tıkama örnekleri.....	108
Şekil 9.18 O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi.....	109
Şekil 10.1 Kalıp stroku, açıklık ve ürün yüksekliği.....	111
Şekil 10.2 İki farklı üründe itme sırasında oluşan vakum.....	112
Şekil 10.3 Komple itici sistemi.....	115
Şekil 10.4 İtici pim tipleri.....	116
Şekil 10.5 Pim ve bıçakların pozisyonu.....	117
Şekil 10.6 Standart boru formatları.....	117
Şekil 10.7 İtici boru pozisyonları.....	118
Şekil 10.8 Standart valf başlıklı itici format ve takılma metottan.....	118
Şekil 10.9 Sıyırma halkası ve plakası.....	119
Şekil 10.10 Hava destekli karışık itici metodu.....	119
Şekil 10.11 Parça dayanımına ve çıkartma kuvvetine göre önerilen itici çapları.....	120
Şekil 10.12 İtici pimlerin uygun yerleştirme noktaları.....	121
Şekil 10.13 Hassas delik boyu.....	122
Şekil 11.1 Kayarak kapama yöntemiyle girintilerin oluşturulması.....	124
Şekil 11.2 Tipik maçalı baskılardan özellikler.....	124
Şekil 11.3 Kam pin hareketi.....	126

Şekil 11.4 Köpek ayağı maça pimi.....	127
Şekil 11.5 Hareketli kenarlar.....	128
Şekil 11.6 Hidrolikle çalışan maça.....	130
Şekil 11.7 Elektrikli vida açma mekanizması (maçası).....	132
Şekil 12.1 Hava tahliyesi örnekleri.....	134
Şekil 12.2 Federli parçalarda havanın tahliye edilmesi.....	134
Şekil 12.3 Yandan giriş yapılan parçada hava tahliyesi için alınmış olan önlem.....	134
Şekil 12.4 Hava tahliye kanallarının boyutları.....	135
Şekil 12.5 İtici pimden hava tahliyesi.....	135
Şekil 12.6 Yolluklardaki havanın tahliyesi.....	136
Şekil 13.1 Yolluk girişi çevresindeki mat bölgeler.....	138
Şekil 13.2 Tam doldurmamış parçalar.....	139
Şekil 13.3 Gaz kabarcıklarına örnekler.....	139
Şekil 13.4 Keskin köşe sonrasında mat bölgesi parçalar.....	140
Şekil 13.5 Boşluklar/kabarcıklar.....	141
Şekil 13.6 Parçada siyah-gri izler.....	142
Şekil 13.7 Hızlı akış izleri.....	142
Şekil 13.8 Çapaklı parçalar.....	143
Şekil 13.9 Parçayı itmek için çok fazla kuvvet uygulanıyor.....	144
Şekil 13.10 Soğuk birleşme izleri.....	145
Şekil 13.11 Çarpılmaya bir örnek.....	145
Şekil 13.12 Çöküntü izleri olan parçalara örnekler.....	146
Şekil 13.13 Diesel etkisine örnekler.....	147
Şekil 14.1 Ürünün katı modeli.....	152
Şekil 14.2 Enjeksiyon işleminde kullanılacak olan tezgahın teknik ölçüleri.....	153
Şekil 14.3 Kalıbın perspektif görünüşü.....	154
Şekil 14.4 Kalıbın enjeksiyon (dişi) yarımının perspektif görünüşü.....	155
Şekil 14.5 Kalıbın itici (erkek) yarımının perspektif görünüşü.....	155
Şekil 14.6 Kalıbın iç görünüşü.....	156
Şekil 14.7 Sonlu sayıda elemanlara ayrılmış ürün modeli.....	157
Şekil 14.8 Viskozite-kayma oranı-sıcaklık diyagramı.....	158
Şekil 14.9 Basınç-yoğunluk-sıcaklık diyagramı.....	158
Şekil 14.10 Sıcaklık ve ısı kapasitesi diyagramı.....	159
Şekil 14.11 Isıl iletkenlik-sıcaklık diyagramı.....	159
Şekil 14.12 Akış oranı-zaman diyagramı.....	160
Şekil 14.13 Et kalınlığı dağılım oranı.....	161
Şekil 14.14 Yolluk bölgesi belirleme analizi.....	161
Şekil 14.15 Yaprak yolluk ile uygun giriş bölgesi.....	162
Şekil 14.16 Merkezden sıcak yolluk ile direk giriş bölgesi.....	162
Şekil 14.17 Tünel yolluk ile uygun giriş bölgesi.....	163
Şekil 14.18 Yolluk dağılımı.....	164
Şekil 14.19 Çeliklerin boyutlarının tanımlanması.....	164
Şekil 14.20 Doldurmanın %30'unun tamamlanmış hali (analiz sonuçları).....	165
Şekil 14.21 Doldurmanın %30'unun tamamlanmış hali (baskı sonuçları).....	166
Şekil 14.22 Doldurmanın %40'ının tamamlanmış hali (analiz sonuçları).....	166
Şekil 14.23 Doldurmanın %40'ının tamamlanmış hali (baskı sonuçları).....	167
Şekil 14.24 Doldurmanın %47'sinin tamamlanmış hali (analiz sonuçları).....	167-168
Şekil 14.25 Doldurmanın %47'sinin tamamlanmış hali (baskı sonuçları).....	168
Şekil 14.26 Doldurmanın %60'ının tamamlanmış hali (analiz sonuçları).....	169
Şekil 14.27 Doldurmanın %60'ının tamamlanmış hali (baskı sonuçları).....	169
Şekil 14.28 Doldurmanın %73'ünün tamamlanmış hali (analiz sonuçları).....	170

Şekil 14.29 Doldurmanın %73'ünün tamamlanmış hali (baskı sonuçları).....	170
Şekil 14.30 Doldurmanın %88'inin tamamlanmış hali (analiz sonuçları) .....	171
Şekil 14.31 Doldurmanın %88'inin tamamlanmış hali (baskı sonuçları) .....	171
Şekil 14.32 Doldurmanın %95'inin tamamlanmış hali (analiz sonuçları) .....	172
Şekil 14.33 Doldurmanın tamamlanmış hali (analiz sonuçları) .....	173
Şekil 14.34 Doldurmanın tamamlanmış hali (baskı sonuçları) .....	173
Şekil 14.35 Doldurma zamanı .....	174
Şekil 14.36 Sıkıştırma sonrasındaki sıcaklık dağılımı.....	174
Şekil 14.37 Enjeksiyon basınç dağılımı .....	175
Şekil 14.38 Basınç düşümü dağılımı .....	175
Şekil 14.39 Hacimsel çekme .....	176
Şekil 14.40 Soğutma kanalları.....	177
Şekil 14.41 Erkek ve dişi sıcaklıkları (56°C ~ 80°C).....	178
Şekil 14.42 Sıcaklık farklılıkları.....	179
Şekil 14.43 X eksenindeki ölçü değişikliği .....	180
Şekil 14.44 Z eksenindeki ölçü değişikliği.....	180
Şekil 14.45 Y eksenindeki ölçü değişikliği .....	181
Şekil 14.46 Problem çıkartacak bölgeler.....	181
Şekil 14.47 Yüzey kalitesi dağılımı.....	182
Şekil 14.48 Kaynak izleri .....	182
Şekil 14.49 Hava kabarcıkları .....	183
Şekil 14.50 Malzeme akış yönü.....	183
Şekil 14.51 Analizde harelenme.....	184
Şekil 14.52 Malzeme mekanik özellikleri .....	185
Şekil 14.53 Dişi çelik mesnet yüzeyi .....	186
Şekil 14.54 Erkek çelik mesnet yüzeyleri .....	186
Şekil 14.55 Dişi çeliğin yüke maruz kalan yüzeyleri .....	187
Şekil 14.56 Dişi çeliğe etki eden yük dağılımı .....	187
Şekil 14.57 Erkek çeliğin yüke maruz kalan yüzeyleri .....	188
Şekil 14.58 Erkek çeliğe etki eden yük dağılımı .....	188
Şekil 14.59 Dişi çelikteki şekil değiştirme miktarı.....	189
Şekil 14.60 Erkek çelikteki şekil değiştirme miktarı.....	189
Şekil 14.61 Dişi çelikteki gerilme oranı .....	190
Şekil 14.62 Erkek çelikteki gerilme oranı .....	191
Şekil 14.63 Enjeksiyon işleminin yapılacağı tezgah .....	191
Şekil 14.64 Kalıp enjeksiyon makinesine bağlıyken.....	192
Şekil 14.65 Kalıp enjeksiyon makinesinde açık halde bağlıyken .....	193
Şekil 14.66 Enjeksiyon makinesinde kalıbın enjeksiyon (dişi) tarafı .....	193
Şekil 14.67 Enjeksiyon makinesinde kalıbın itici (erkek tarafı) tarafı.....	194
Şekil 14.68 Enjeksiyon sonrası elde edilen ürün.....	194

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Farklı malzemelerin çekme oranları.....	11
Çizelge 6.1 Tasarımı etkileyen faktörler .....	35
Çizelge 7.1 Yolluk sisteminin tasarımını etkileyen faktörler.....	58
Çizelge 9.1 Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları.....	84
Çizelge 10.1 Çok kullanılan plastiklerin çeliğe sürtünme katsayıları .....	123

## ÖNSÖZ

Plastik malzeme kullanımının hızla arttığı günümüzde teknolojiden faydalanarak, üretim daha hızlı ve güvenilir bir şekilde sağlanılabilmektedir. Bu tez aşamasında bilgisayar ortamında üç boyutlu programla kalıp tasarımının yapımı, analiz programları yardımıyla imalat yapıldıktan sonra karşımıza çıkabilecek problemlerin ve hataların önceden görülmesi, ve bu sonuçların gerçek hayattaki sonuçlarıyla kıyaslanıp çözüm yöntemlerinin bulunması incelenmiştir.

Çalışma süresince bana yol gösterip destek olan değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Muharrem Boğoçlu'ya, hayatım boyunca her konuda yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli aileme, yüksek lisans eğitimimi tamamlamam için her türlü bilgi ve destekle yol gösteren Sayın Gülnaz Ardalı ve Serkan Ali Altınel'e, tecrübelerinden ve bilgilerinden istifade ettiğim Sayın Kubilay Erel, Göktuğ Tüfekçi, Ümit Yılmaz'a, beni bu alanda bilgilendiren ve yetiştirmemi sağlayan Karel Kalıp A.Ş işletmesine, tez aşamasında imkanlarından faydalandığım ve sınırsız kaynak ve bilgi sağlayan Viko Elektrik Malzemeleri A.Ş. işletmesine, ayrıca bu süreçte bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mak. Müh. Çiğdem Koyun

## ÖZET

Her geçen gün gelişen teknoloji ve yazılımlar yardımıyla hızlı, güvenilir ve kaliteli üretim yapmak başarılı olmak adına önemlidir. En yaygın üretim şekli olan plastik enjeksiyon yöntemi için de bu geçerlidir. Hız ve kaliteyi yakalamak için kontrolden tasarıma, tasarımdan üretime, üretimden analize her aşamada bilgisayar kullanılarak üretim süresi ve maliyeti minimuma indirgenebilir.

Bu çalışmada plastıklere kısaca değinilmiş, plastik enjeksiyon tezgahı ve prosesi hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca plastik enjeksiyon kalıpları ve çeşitleri tanıtılmış; bu kalıpların yolluk sistemleri, soğutma sistemleri, itici sistemleri, maça sistemleri anlatılmıştır. Kısacası plastik enjeksiyon metoduyla üretim konusunda teorik bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu teorik bilgiler desteğiyle örnek bir ürünün kalıbı üç boyutlu program kullanılarak tasarlanmıştır. Yapılan tasarımın önce akış analizi yapılmış ve muhtemel karşılaşılabilecek sorunlar tespit edilmiştir. Bu sorunlara çözümler üretilip gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra kalıbın yapısal analizi incelenmiş ve kalıbın maruz kaldığı yükler karşısında nasıl davranacağı ve ne derece güvenilir olduğu kontrol edilmiştir. Son olarak ta bu tespitler doğrultusunda gerekli önlemler alınarak üretilen kalıptan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca uygulamada analiz programlarından nasıl faydalanılması gerektiği de vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik enjeksiyon, plastik enjeksiyon kalıpları, kalıp tasarımı, bilgisayar destekli analiz, bilgisayar destekli tasarım

## **ABSTRACT**

In recent days advances in manufacturing and software technology enable to make fast, accurate and high quality production. It is the same for plastic injection which is the one of the most common and well known manufacturing process. For getting high quality and fast manufacturing rates it is important to use computer in all phase of production such as design, quality, manufacture and analysis. Moreover production time and cost can be reduced with the usage of computer.

In this study, plastic materials are summarized briefly and some informations are given about plastic injection machine and process. Apart from these types of plastic injection moulds, runner systems, cooling, ejection and slider systems are explained and some theoretical informations are given. After that the mould is designed for a commercial product with CAD program and flow analysis is made with a simulation program to realize the possible manufacturing problems. Some solutions are proposed after simulation and mould is re-designed according the simulation results. Moreover structural analysis is made to find how safety is the mould under process loads. At the end simulation results and the real manufactured samples are compared and usage of simulation programs is emphasized.

**Keywords:** Plastic injection, plastic injection molds, mold design, computer aided analysis, computer aided design

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıp tasarımının bilgisayar ortamında nasıl yapıldığı ve tasarım sonunda yine bilgisayar desteği ile analizlerin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

Önceki yıllarda kalıp tasarımında olduğu gibi bütün tasarım işlemleri resim tahtaları üzerinde cetvellerle yapılmaktaydı Çok uzun zaman alan bu yöntem ile hatalar çok olduğu gibi, toleranslarda çok geniş tutulmaktaydı. Yani enjeksiyon kalıpcılığı oldukça ustalık isteyen ve son işlemleri el becerisine dayanan bir meslek dalı idi. Ürünün kalıplama sonrası ise ancak tecrübelerle tahmin edilmekteydi. Fakat son yıllarda tasarım ve üretim alanında geliştirilen CAD(Bilgisayar Destekli Tasarım), CAM (Bilgisayar Destekli Üretim), CAE (Bilgisayar Destekli Analiz) beraberinde katı modelleme, parametrik tasarım, analiz, hızlı talaş kaldırma daha kaliteli ürünler üretilmesine ve imalat sürecinin büyük ölçüde azalmasına neden olmuştur.

Günümüzde plastik malzeme kullanımı hızla artmaktadır. Beyaz eşya sektörü, uçak sanayi, gıda sektörü, ilaç sanayinde olduğu gibi otomobil üretiminde kullanılan plastiklerin miktarı da, gün geçtikçe artmaktadır. Otomobil üretiminde kullanılan malzemelerin yaklaşık %90'ını metaller oluşturmasına rağmen, hızla metal malzeme yerini plastik malzemelere bırakmaya başlamıştır.

Fakat yine de her ne kadar analiz programları kullanılmaya başlanmışsa da modelin ilk girdilerini oluşturmak ve sonucu doğru olarak yorumlayabilmek için geçmişten günümüze kadar elde edilen deneyimlerin süzgeçten geçirileceği unutulmamalıdır. Kaliteli ürünler elde edebilmekte doğru ürün tasarımının etkisi çok fazladır. Çünkü üretimin başlangıç noktası olan ürün tasarımı diğer aşamaları bire bir etkileyecektir.

Kalıp tasarımı ve üretimi yapmak için plastik malzemeyi tanımak ve doğru ürün tasarımı yetmemektedir. Bu çalışmada enjeksiyon makinesinin özellikleri ve enjeksiyon döngüsü hakkında bilinmesi gereken teknik bilgiler de verilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıplarıyla seri üretim sağlanmakta, artık malzeme miktarı en az düzeye indirilmekte, büyük hacimlerdeki ürünler üretilebilmekte, çok düşük toleranslarda çalışılabilmekte, plastik ürün içine metal parça konulabilmekte, işçilik ve parça maliyeti düşürülmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde plastik enjeksiyon kalıp tasarım ilkelerine değinilmiş, enjeksiyon kalıp çeşitleri incelenmiş ve kalıp tasarımını etkileyen faktörler açıklanmıştır. Ayrıca kalıp tasarımını tamamlayan yolluk sistemleri, kavite girişleri,

soğutma sistemi, itici sistemi, maça sistemi ve bunların tasarımları detaylı biçimde anlatılmıştır.

Daha sonra enjeksiyon sonrasında karşılaşılabileceğimiz problemlere örnekler verilmiş ve bu hataların nelerden kaynaklanıyor olabileceği ve giderilmesi ile ilgili çözüm yöntemleri verilmiştir.

Son bölümde ise örnek bir ürün ele alınarak, daha önce verilen teorik bilgiler doğrultusunda yapılan kalıplama işlemi uygulamalı olarak açıklanmıştır. Ürüne ve enjeksiyon işleminin yapılacağı makineye ait bilgiler verilmiştir. Ürünün üç boyutlu kalıp tasarımı hazırlanmış, ve hazırlanan kalıp tasarımı analiz programları yardımıyla incelenmiştir. Kalıbın doldurulması esnasında akışkan plastiğin hareketi ve doldurma esnasında karşılaşılabilecek sorunlar akış analizi programları ile incelenmiştir. Ayrıca kalıbın yapısal analizi de yapılarak kalıbın maruz kalınan yükler karşısında nasıl davranacağı irdelenmiştir. Tüm bu analizler yardımıyla tasarım gözden geçirilerek gerekli düzeltmeler uygulanmış ve son olarak son tasarıma göre imal edilmiş olan kalıp ile yapılan enjeksiyon işlemi sonucunda elde edilen ürün incelenmiştir.

## **2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIMI VE ANALİZİ**

### **2.1 Bilgisayar Destekli Tasarımın Önemi**

CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) adından da anlaşılacağı gibi bilgisayar yardımı ile tasarım yapma eylemidir. Bu eylem oluşmadan önce, teknoloji ilk olarak bilgisayarları ortaya çıkarmıştır. Bilgisayarlar önceleri, sürekli yapılan matematiksel işlemleri kolaylaştırmak amacıyla çıkmış, daha sonraları sabit disklerin bulunması ile birlikte bilgi depolama amacıyla kullanılmaya başlanılmışlardır. Teknoloji geliştikçe bilgisayarlar birçok sektörde yer almaya başlamış ve tasarımlar da bilgisayar yardımı ile yapılmaya başlanmıştır. Tasarımdaki teknolojik gelişme sürecinde ilk olarak çizim programları oluşmuş, daha sonra da bilgisayar destekli tasarım programları piyasaya çıkmıştır.

Bu iki araç, tasarımcılara görevlerini kısa zamanda, verimli olarak ve tasarımlarını uygulamaya geçirmeden önce malzeme ve işçilik kaybına yol açmadan revize etmelerine olanak sağlamıştır. Bu yüzden ki, bilgisayar destekli tasarımın insan hayatının birçok alanında, sağlık sektöründe, ulaşımda, mimarlıkta, bilim kurgu filmlerinde kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Mühendislik uygulamalarında, tasarım ile birlikte esas olarak analiz ve üretim metotlarının önemi bilinmektedir. Tasarımı yapılmış bir parçanın analiz ve üretim simülasyonu bilgisayar ortamında üç boyutlu geometrik modelleme ile yapılmaktadır. Bu sebeple, tasarımın üç boyutlu geometrik modelleme ile yapılması tasarımın görsel olarak sunulmasına, analiz yazılımlarının kullanılmasından önce veri hazırlanmasına, analiz yazılımlarının kullanılmasından sonra sonuçların değerlendirilmesine ve bilgisayar destekli üretime olanak sağlamaktadır.

### **2.2 Plastik Parça ve Kalıp Tasarımında CAD Uygulamaları**

Plastik parça ve kalıp tasarım teknolojisi yıllar boyu gelişme göstermiş ve bununla birlikte birçok problem ortaya çıkarmıştır. Günümüzde kullanılan birçok kalıp tasarımları, uzun yıllar gelişme ve büyüme gösteren plastik endüstrisinde pratik yapmış; uzman, sanatkar ve usta tarafından deneme yanılma yöntemleriyle ortaya çıkmıştır. Plastik endüstrisinin gelişmesiyle birlikte polimer malzemelerin anlaşılması ve proses parametrelerinin değiştirilmesi ile gösterdikleri reaksiyonlar hakkındaki bilgilerde de gelişme meydana gelmiştir. Sonuç olarak, şimdiye kadar sanat olarak düşünülen plastik tasarımındaki birçok olgu hakkında, plastik teknolojisinin gelişme göstermesiyle, açıklama elde edilmiştir. Geçmişte elde edilmiş bu

kurallar günümüzde çeşitli analiz araçlarına aktarılmış ve bilgisayarlar yardımıyla hızlı, verimli, hassas ve kaliteli plastik tasarımına olanak sağlanmıştır.

Plastik teknolojisinin gelişmesine paralel olarak ta CAD ve CAM konuları da yüzyılın en önemli gelişmesi olmaya aday hale gelmiştir. Geçmişte analiz ve bilgi işleme amaçlı kullanılan bilgisayarlar günümüzde tasarım işleminin temeline yardımcı olmakta ve grafiksel mühendislik bilgileri oluşturmaktadır.

Günümüzde CAD teknolojisi mühendislik tasarımına tamamıyla farklı bir metot getirmiştir. Öyle ki, CAD 'in uygulamadaki kabul edilebilirliğine karşı çıkanlar olmuştur. Tasarımdaki bu farklı metodoloji tasarım bürolarında eski yöntemlerle tasarım yapan insanlar için anlaşılması ve kabul etmesi zor kavramları ortaya çıkarmıştır. Bütün bunlara rağmen CAD, plastik tasarım fonksiyonlarının hızını ve verimini arttırarak bir devrim gerçekleştirmektedir.

### **2.3 Kalıp Tasarımında Akış Analizi ve Uygulamaları**

Akış analizi, plastik enjeksiyon işleminde anlaşılması zor etkenlerden kaynaklanan problemlere rasyonel çözüm sağlar. Bu etkenlere: burkulma, enjeksiyon sırasındaki gerginlikler, aşırı enjeksiyon basıncı, parçada parlak bölgeler ve diğer uygunsuzluklar dahildir. Endüstride parça tasarımı ve enjeksiyon prosesi parametrelerinden kaynaklanan problemlerle ilgili ilişki tam olarak anlaşılammıştır. Akış analizi ile ilgili olan bütün enjeksiyon problemlerini çözmek için pratik tecrübenin kullanılması yeterli olmamıştır. Sonuca ulaşmak için birçok prototip ve enjeksiyon parametreleri ile ilgili iterasyon yapmak gereklidir.

Bu noktada, ürünleri geniş bir spektrum içinde plastik enjeksiyonunu yorumlayacak CAD ile bağlantılı çalışan Bilgisayar Destekli Mühendislik(CAE) uygulaması olarak bilinen analiz programları kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarların kompleks hesaplamaları çok kısa zamanda gerçekleştirmeleri de bu tip analiz araçlarının yeni parçaların tasarımında uygulanabilirliğine olanak sağlamıştır. (18)

### **2.4 Pratikte Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz Uygulamaları**

Pratikte plastik enjeksiyon kalıp tasarımında, işlemler art arda yapılmalıdır. Deneme yanılma yöntemi ile yapılan bu imalat çok uzun sürer ve hata ihtimali yüksek bir imalat şeklidir. Bu yöntemde hatalar, kalıp imalatı son aşamalara gelindiğinde fark edildiğinde çoğunlukla telafisi mümkün olmamaktadır. Bilgisayarla tasarımda ise, modellenen ürün ve kalıp üzerindeki işlemler ayrı tezgahlarda çok hızlı ve hassas bir şekilde işlenebilmektedir.

Pratikte üründe veya kalıpta yapılacak bir düzeltme çok zor olmasına karşın, bilgisayarda çok kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir. Bilgisayarla tasarımda standart parçaları çizmek için vakit kaybedilmemekte, kütüphaneden hazır halde çağrılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarımın parametrik olmasından kaynaklanan bu kolaylık ile ürünlerdeki düzeltmeler otomatik olarak kalıba yansımaktadır.

Karmaşık ürünlerin imalatı pratikte çok zor olmakla birlikte, çok karmaşık yüzeyler bazen oluşturulamamaktadır. Bilgisayar destekli tasarım programlarında en karmaşık yüzeyler bile oluşturulabilmektedir. Pratikte prototip maliyetleri önemli bir yer tutmakta ve zaman almaktadır. Prototiplerin yerini simülasyon almaktadır.

Ürün tasarımından başlayıp, kalıp tasarımına, analizine ve imalatına uzanan süreç birbiri ile çok sıkı ilişkili ve uyumludur. Pratikte yaşanan en büyük sorunlardan biri de firmalar arasında, hatta departmanlar arasında veri alışverişi olup, bu sistemler veri alışverişlerinde çok esneklikler ve kolaylıklar sağlamaktadır.

Günümüzde yaygınlaşmaya başlamış olan CAD, CAM, CAE biraz önce saydığımız farklılıkların çözümünü sunmakta olduğundan, kalıp imalatçıları bu programlara geçiş yapmak mecburiyetinde kalmıştır. Bu sürecin ilk adımının CAD sistemi olması temeli oluşturması açısından da yarar sağlayacaktır. Bu sistemlerle tanışmayan kalıp tasarımcılarının bir araştırma döneminden sonra kendilerine en uygun sistemlere geçmesi problemlerin çözümünü sağlayacaktır.

Günümüzde plastik enjeksiyon kalıpçılarına yardımcı olacak çok çeşitli modelleme ve analiz programları bulunmaktadır. Çok geniş kapsamlı olan bu programlar sadece sektöre hitap edecek özel modüllerde geliştirmişlerdir. Bu modüller sayesinde ise kalıp tasarımının insan üzerindeki yükü ve hata oranı yok denebilecek seviyeye düşürülmüştür. Bu modüller yardımı ile kalıp tasarımı olması gereken işlem sırasına göre kolaylıkla yapılmaktadır. Bu modüllerin içinde bu sektörde en çok kullanılan standart eleman firmalarının kütüphaneleri bulunmakta, standart dışı çalışanlar için ise kendi kütüphanelerini oluşturma fırsatı verilmektedir. Bu kütüphaneler sayesinde ise her kalıpta tek tek, defalarca kez çizilen standartlaşmış parçalar hiç uğraşmadan çizime yerleştirilmekte ve zamandan büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır. Parametrik olan bu çizimler daha sonra uygulanması gereken bir değişiklik olduğunda birkaç komutla çizimi bozmadan hata yapmadan kalıbın modelinin revize olmasına yardımcı olmaktadır. Bu programlara örnek verecek olursak; Unigraphics, Catia, Pro Engineer, Solidworks, Autocad, Cadkey, vb gibi profesyonel programların yanında adını saymadığımız kadar çok olan daha amatör sayılan birçok çizim programı mevcuttur.

Ayrıca bu programlarla hazırlanan onlarca yüzlerce kalıp parçası tek tek detaylandırma, ölçümlendirme işlemlerini de otomatik olarak yapıp yine hata oranını sıfıra indirip zamandan tasarruf konusunda bir kez daha etkin olmaktadır.

Bilgisayar desteği sadece kalıp tasarımı ve modellemesi ile sınırlı kalmayıp analiz programları ile baskı sonucunu baskıdan önce görüp yüksek fiyatlara mal olmadan geri dönüş yapıp telafi edilebilmektedir. Her ne kadar modelleme programları hata oranını sıfıra indirmektedir desek de nihayetinde düşünce hatalarını engelleyemeyeceğini kabul etmek gerekmektedir. Burada tasarım için gerekli olan bilgi ve tecrübe donanımı önemlidir. Bir malzemenin seçimi, bir soğutma sisteminin yeri, itici pimlerin yeri, bağlantı merkezleme elemanları bilgisayar tarafından değil tasarımcı tarafından belirlenmektedir. Bunların belirlenmesinden kaynaklanan hataları da yine amaca uygun geliştirilmiş analiz programları ile imalattan önce sonuçları görüp iyileştirmeler yapılarak en uygun sonuca ulaşılmaktadır.

Mesela bir akış analizi ile kalıbın dolup dolmadığını görebilir, problemler ve çözümler bu sonuçlara göre saptanabilmektedir. Veya kalıbın baskı esnasındaki deformasyonunu görebiliriz. Analiz programlarına örnek verecek olursak; Ansys, Matlab, Cosmosworks gibi çok geniş kapsamlı programları sayabiliriz.

Kısacası gelişen teknoloji ile adeta zamanla yarışır duruma gelmiş olan insan gücü mühendislik bilgileri ile en mükemmelle ulaşmak için hizmet vermektedir. Bu teknolojilerin gerisinde kalmış olan firmalar hızla yok olmaya başlamıştır. Gelişen teknoloji ve tecrübe bir arada kullanıldığı taktirde çok hızlı bir şekilde her seferinde daha iyi ve daha karmaşık kalıplar üretilmekte ve ürünler piyasaya çıkmaktadır. Bu, ürünlerde çeşitlilik olarak piyasaya gelmektedir.

### 3. PLASTİK MALZEMELER

#### 3.1 Genel Bilgi

Plastik enjeksiyon kalıbı ve bilgisayar destekli tasarım konularını ele almadan önce plastikler hakkında biraz bilgi edinmek faydalı olacaktır.

Polimer, mer adı verilen moleküllerin birleşmesiyle oluşan molekül zinciridirler. Poli kelime anlamı çoktur. Böylece bu iki kelimenin birleşimi polimer olarak ifade edilir. Bu zincirleri oluşturan mer'lerin (propilen, stiren, vb.) çeşitleri bu zincirlerin oluşturduğu plastik türünü belirler. Örneğin PS, PP, PA6 vb. Bu merlerin önüne poli eki ilave edilerek plastik türü belirlenir. Bu merler polimerizasyon adı verilen kimyasal bir işlemle birleştirilirler. Termoplastiği oluşturan bu zincirleri bir arada zayıf Van Der Waals kuvvetleri tutarlar. Plastik ısıtıldığında bu zayıf kuvvetler daha da zayıflar veya kaybolurlar. Buna bağlı olarak plastik esneklemeye (kauçuk gibi davranmaya), daha sonra da sıcaklık miktarına bağlı olarak akmaya başlar. Plastiği işlemek için kimyasal yapısını detaylı olarak bilmeye gerek yoktur. Fakat bu yapı hakkında bilinecek ön bilgi plastik kullanıcıları için gereklidir. Çünkü bu bilgilerin ışığında plastiğin kullanıldığı ortamda performansını bilerek mükemmel dizayn yapma imkanı bulunabilir. Plastik yapısı hakkındaki bilgi plastiğe uygulanan kuvvetin zamana bağlı olan performansını anlamamızı sağlar. Akriliğin neden sert ve saydam, polietilenin opak ve esnek olduğunu anlamamıza yardım eder. Plastiği işlemek için polimer kimyasında uzman olmamıza gerek yoktur. Polimer ve plastik kelime olarak aynı kabul edilmekle beraber aralarında bir farklılık da vardır. Polimer polimerizasyon sonucunda oluşmuş saf, uzun moleküllü malzemedir. Polimer saf olarak nadiren kullanılır.

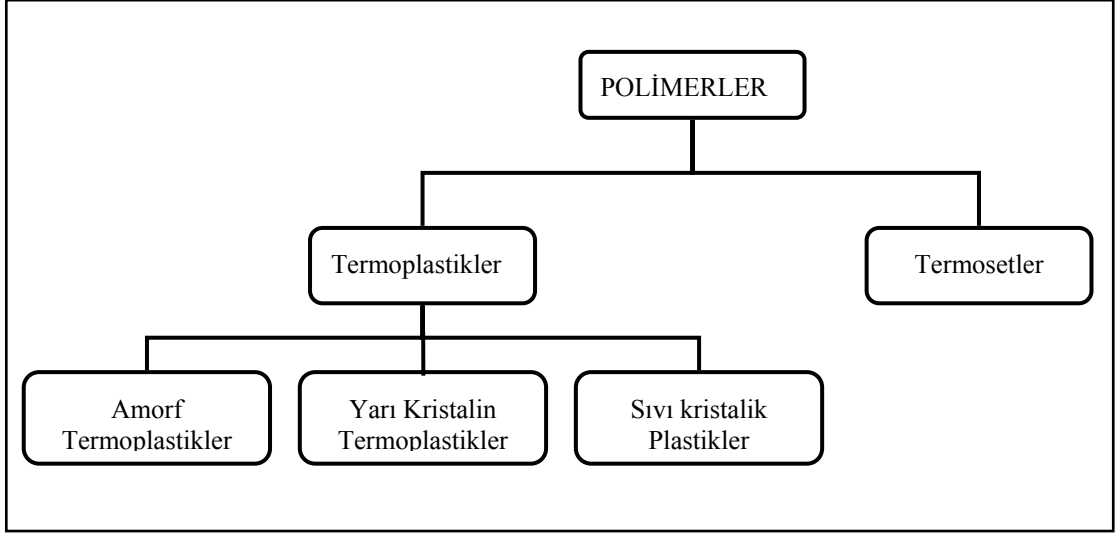
Polimere çeşitli sebeplerle katkı maddesi ilave edilir. Bu halde polimer plastik olarak ifade edilir. (Turaçlı, 1999)

#### 3.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler değişik kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Genel olarak kendi içlerinde kabaca kimyasal yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Kendi içlerindeki bu sınıflandırmadaki farklılık çapraz bağlı olanlar ve çapraz bağlı olmayanlar şeklindedir. Termoplastikler çapraz bağa sahip değildirler. Elastomerler ve termosetler ise çapraz bağ yapısına sahiptirler. Plastikler doğrusal veya dallanmış makromoleküllerden meydana gelirler. (Akyüz, 1983)

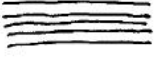
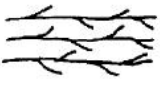


Termoplastik malzemeler ısı ve basıncın etkisi altında yumuşayıp, akabilen, bu durumda şekillendirilebilen ve soğutulduğunda sertleşip şeklini muhafaza edebilen şekil alabilen ve

soğutulduğunda sertleşebilen maddedir.(Şeker, 1999). Bu şekillendirme sırasında kimyasal yapılarında herhangi değişiklik olmazken fiziksel özellikleri değişim gösterir.



Şekil 3.1. Plastiklerin sınıflandırılması

Termoplastiklerde makromoleküller arası kimyasal bağ yoktur. Bu yüzden bu tür plastikler yeniden kullanılabilirler. Ancak dezavantajları kimyasal olarak çözülmemeleridir. Termoplastikleri makromoleküllerin rast gele veya belli bölgelerde düzenli bir şekilde bulunmalarına göre de farklılaşırlar. Eğer makro moleküllerin dizilişi rast gele ise bu tür malzemeler amorf olarak adlandırılır. Eğer herhangi bir renklendirici malzeme katılmamışsa

	Doğrusal zincir moleküller	Termoplastikler	Ergitilebilir Çözülebilir Oda sıcaklığında tok veya kırılğan
	Dallanmış zincir moleküller		
	Zayıf çapraz bağlı zincir moleküller	Elastomerler	Ergitilemez Esnek Çözülemez Oda sıcaklığında elastik ve yumuşak
	Kuvvetli çapraz bağlı zincir moleküller	Termosetler	Ergitilemez Çözülemez Esnek değil Oda sıcaklığında sert ve kırılğan

Şekil 3.2 Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri

bu tür termoplastikler saydamlıkları ile tanımlanabilirler. Bazı bölgelerde makro moleküllerin

düzenli bir şekilde bulunduğu termoplastikler ise yarı kristalize olarak adlandırılırlar. Bunlar herhangi bir renklendirici katılmasa da saydam değildirler. Makromoleküller birbiri üzerinde dolandıkları veya karışık halde buldukları için tam olarak kristalizasyon mümkün değildir. Bunun anlamı kristalize olmuş bölgeler arasında halen amorf bölgelerinde bulunuyor olmasıdır. Kristalize olmuş bölgelerin tüm yapıya oranı kristalize olma derecesi olarak tanımlanır ve bu oran işlem esnasında işlem şartlarından etkilenebilir. Kristalize olma derecesi büyük oranda, malzemenin kendisine bağlıdır. Daha basit zincir yapısında olan malzemeler daha yüksek oranda kristalize olabilirler. Ayrıca plastikler, üretim işleme parametrelerine bağlı olarak amorf veya yarı kristalize olarak üretilebilirler. Üretim işlemine göre amorf ve yarı kristalize plastikler farklı özelliklere sahiptirler ve aynı zamanda farklı performans özellikleri gösterirler.



Şekil 3.3 Polimerlerin morfolojisi

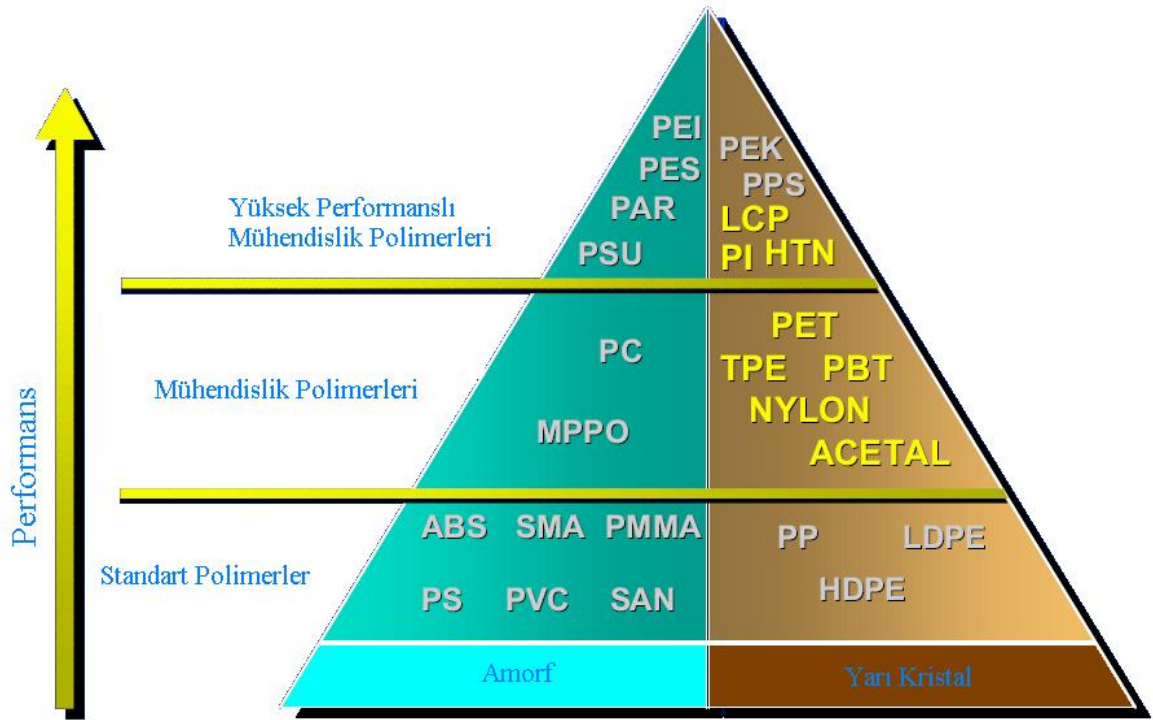
Termoplastiklerin yanı sıra plastiklerin diğer büyük bir grubu ise, zayıf ve güçlü çapraz bağlı olmak üzere ayrılan çapraz bağlı plastiklerdir. Termoplastiklerden farklı olarak bu malzemeler geri dönüşümsüzdür ve defalarca kullanılamazlar. Çapraz bağlanmanın anlamı makromoleküllerin bir kimyasal reaksiyonla çapraz olarak bağlanmasıdır.

Zayıf çapraz bağlı olanlar elastomerler olarak adlandırılırlar. Bunlar solventlerle çözülemezler. Çok sayıda karşılıklı çapraz bağlar malzemeyi daha sert ve kırılğan yapar ve kimyasal olarak şişmesine de engel olur. Bu şekildeki güçlü çapraz bağlara sahip malzemeler termosetler olarak adlandırılır. Bu malzemelerde çok sayıdaki makromolekül çok kompleks çapraz bağlı tek bir moleküle dönüşür (Akyüz ve Faruk, 1983). Termoset malzemeler ise bir defaya mahsus olmak üzere ısıtıldığında istenilen biçimlendirmeyi elde ettikten sonra, yeniden ısıtıldığında eski biçimine dönüştürülemeyen plastikler grubudur (Şeker, 1999).

### 3.3 Plastiklerin Genel Özellikleri

Çok çeşitli ve diğer birçok malzeme grubundan daha farklı özelliklere sahip plastiklerin ana özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Özgül ağırlıkları azdır.
- Çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptirler.
- Kolay şekil verilebilir ve kolay işlenebilir.
- Katkı maddeleri ile özellikleri değiştirilebilir.
- Isı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür.
- Saydamdırlar
- Korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar.
- Yeniden işlenip kullanılabilir hale gelebilirler.
- Ucuz bir şekilde üretilebilirler.



Şekil 3.4 Plastik üçgeni

### 3.4 Plastiklerde Çekme ve Çarpılma

Eğer plastikler enjeksiyon yöntemiyle işleniyorsa, üretilen parçanın boyutlarının kalıp boşluğu boyutlarından sapması kaçınılmazdır. Nominal boyutlardan bu sapmalar çekme veya çarpılma olarak adlandırılır.

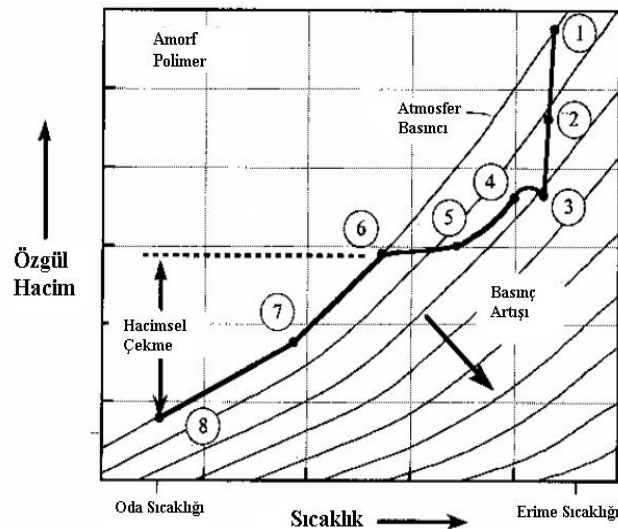
### 3.4.1 Çekme

Bütün malzemeler soğuması esnasında çekerler. Plastik erime sıcaklığında kalıp sıcaklığına soğumasına kalıp çekmesi adı verilir. Plastikteki çekmenin ana nedeni plastiğin termal genişleme miktarına bağlıdır. Bu genişleme katsayısı ile ölçülür. Plastik malzemenin termal genişleme katsayısı metallerle karşılaştırıldığında yüksektir. Genel olarak 100 °C sıcaklık artışı veya azalışında malzemeye bağlı olarak 0.001 ve 0-0.02 mm genişleme veya çekme görülür. Kristalleşen termoplastikler, kristalleşme oranına göre ilave bir çekmeye maruz kalırlar, bu kristalleşme ve çekme oranı soğuma hızına bağlıdır (Turaçlı, 2000)

Çizelge 3.1 Farklı malzemelerin çekme oranları

AMORF		YARI KRİSTALİN	
ISO Sembolü	Kalıpta Çekme Oranı %	ISO Sembolü	Kalıpta Çekme Oranı %
ABS	0,4-0,7	PE	1,5-3
PS	0,3-0,6	PE	1,5-4
SB	0,3-0,6	PP	1-2,5
SAN	0,4-0,6	PA66	1,2-2,5
CA	0,3-0,7	PA66	0,8-2
CAB	0,3-0,7	PA610	0,8-2
CP	0,3-0,7	PCM	1,5-3,5
PC	0,5-0,8	PBTP	1,2-2,8
PMMA	0,4-0,8	PETB	1,2-2
PPO	0,5-0,8	FEB	3,5-5

Enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalarda çekmenin doğal sebebi malzemenin termodinamik davranışdır. Bu davranış P-V-T (Basınç-Hacim-Sıcaklık ) davranışı olarak da adlandırılır ve plastik malzemelerin sıkıştırılabilirlik ve termal genişleme davranışlarıdır.



Şekil 3.5 P-v-T Diyagramı üzerinde enjeksiyon çevrimi ve çekme

Bir enjeksiyon çevriminde malzemenin P-V-T değişimi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.Buna göre:

- 1: Plastiğın kalıba girişı – atmosferik basınç
- 1-2: Kalıp gözünün doldurulması
- 2: Kalıp gözünün tamamen dolduęu an
- 2-3: Ütüleme fazı
- 3: Maksimum kalıp göz içi basıncına erişilmesi ve tutma basıncı kontrolüne geçiş başlangıcı
- 3-4: Tutma basıncına geçiş
- 4: Tutma basıncı fazı başlangıcı
- 4-5: Kalıptaki soğuma ve katı tabaka kalınlıklarının artması sonucu basınç düşüşü. Özgül hacimdeki küçülmeyi karşılayacak malzeme beslemesi devam etmektedir
- 5: Yolluk girişinin donması ile malzeme akışının durması,tutma fazının sonu
- 5-6: Parçanın soğuması ve çekmesi sonucu basınç düşüşü
- 6: Atmosferik basınca düşülmesi,parça boyutları kalıp boyutlarına eşit. Kalıpta çekmenin başlangıcı
- 6-7: Kalıpta sabit basınç altında soğuma
- 7: Kalıbın açılması, parçanın düşürülmesi
- 7-8: Kalıp dışında atmosferde soğuma
- 8: Parçanın son hacmine erişmesi

### 3.4.2 Çekme oranına etki eden faktörler

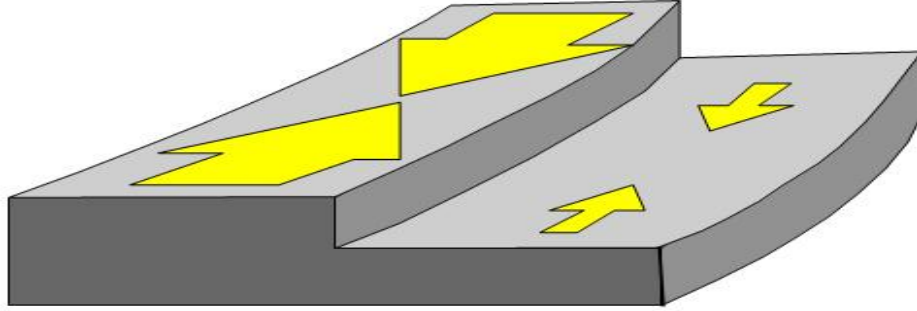
1. Kalıp ve eriyik sıcaklıkları: Katkısız Amorf malzemeler için sıcaklık en baskın etkidir. Enjeksiyon sonrası 20-30 dakika içinde nihai ölçüsüne ulaşabilir.
2. Ütüleme ve Tutma basınçları: Yolluk girişı donana kadar tutma basıncı ile çeken hacmin yerine malzeme doldurulduğundan parçanın nihai ölçüleri daha az çeker. Çekme oranının yüksek olduğu yarı-kristalin malzemelerde tutma ve ütüleme basınçlarının etkisi daha fazladır.
3. Kristalleşme: Kristalleşme sırasında malzeme özgül hacmi küçülür. Yarı-kristalin malzemelerde kristalleşme oranı arttıkça çekme oranı artar. Kristalleşme ve kristallerin

yeniden sıralanması süreci enjeksiyondan saatler ve günler sonra da devam eder DIN 16901 'e göre parçanın enjeksiyondan 16 saat sonraki ölçüleri kalite kontrol için referans alınır.

4. Soğutma hızı / Parça Et Kalınlığı: Yarı-kristalin malzemelerde kristalleşme yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır.

Yavaş soğutma: - Kristalizasyon için daha fazla zaman  
- Daha fazla çekme

Yüksek et kalınlığı: -Daha uzun soğuma  
-Daha fazla çekme

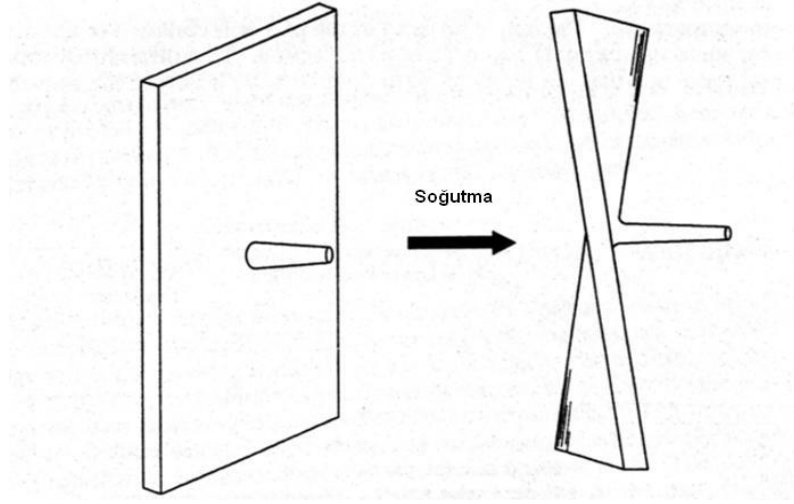


Şekil 3.6 Farklı et kalınlıklarında farklı çekme oranı

5. Nem emme : Plastikler enjeksiyon öncesi “kurutulurlar”. Enjeksiyon sonrası ortamdan nemi tekrar emerler ve parça boyutları büyür. Bazı plastiklerin nem tutma oranı daha yüksektir. Nem emme malzeme ve parça et kalınlığına göre günler, haftalar sürebilir. Süreyi kısaltmak için enjeksiyon sonrası suda bekletme, ambalaj içine su doldurma vb. yöntemler uygulanır.
6. Akış yönü / İzotropi: Kalıbın dolması sırasında esnek polimer molekül zincirleri akış yönünde uzar ve yönlenir. Tekrar eski boyutlarına dönmeden soğuma ve donma gerçekleşir. Moleküler yönlenme çekmenin akış yönüne göre değişkenlik göstermesine neden olur. Katkısız malzemeler akış yönünde daha fazla çekerken, elyaf katkılı malzemeler çekmesi elyaf yönünde daha düşüktür.
7. Malzeme katkıları: Partikül katkıları genellikle inorganiktir. Çekme oranları polimerlere oranla çok daha küçüktür. Katkıları oranında çekme oranını düşürürler. Elyaf (fiber) katkıları akışa göre yönlendiklerinden akış yönünde ve akışa dik yönde çekme oranları arasında önemli farklılıklar yaratırlar (Akkaya, 1998)

### 3.4.3 Çarpılma

Parçanın, farklı bölgelerinde, farklı yönlerde, farklı miktarda, farklı zamanlarda oluşan çekmedir. Parçanın şeklinin bozulmasına neden olur.



Şekil 3.7 Plastiklerde çarpılma etkisi

### 3.4.4 Çarpılmaya etki eden faktörler

1. Akış nedeniyle malzeme moleküler yönlenmesine bağlı anizotropik çekme davranışı:  
Moleküler yönlenme nedeniyle farklı bölgelerde farklı yön ve miktardaki çekmeler parçanın şekil değiştirmesine neden olur.
2. Eşit olmayan soğutma nedeniyle farklı ısıl çekmeler:
  - Eşit olmayan soğutma nedeniyle farklı ısıl çekmeler oluşur.
  - Kalıbın Erkek ve dişi taraflarında tamamen aynı soğutmayı sağlamak genellikle zordur.
  - Parça geometrisi soğutma dengesini bozar.
  - Farklı et kalınlığı farklı soğuma zamanlarına neden olur. Buda çarpılmaya neden olur.
3. Kalıp göz içinde homojen olmayan basınç dağılımı:
  - Yolluk girişinden parçanın uzak noktalarına kadar olan yol boyunca oluşan basınç profili çekme oranını etkiler.
  - Yolluğa yakın, ütüleme basıncının yüksek olduğu yerler daha az, uzak bölgeler daha çok çeker. Özellikle ince uzun ve ince et kalınlıklı parçalarda bu etki daha fazla hissedilir.
  - Farklı yolluk tasarımları çekme / çarpılma davranışını etkiler.

#### 4. Malzeme etkileri:

-Akış yönüne bağlı farklılaşma, özellikle yüksek moleküler ağırlıklı malzemeler için daha fazladır.

-Soğutma hızına bağlı farklılıklar yarı-kristalin malzemelerde daha fazladır. Daha yavaş soğuma hızı daha fazla oranda kristalleşme ve daha fazla çekme getirir.

-Dengesiz soğutma farklı çekmeler oluşturur. Bu da çarpılmaya neden olur.

-Fiber katkılı malzemelerde fiber yönlenmesi çekme dağılımını etkiler, çarpılmaya neden olur.

Sonuç olarak plastiklerde çekme ve çarpılmanın etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çekme ve çarpılmayı
  - Parça tasarımı,
  - Kalıp tasarımı,
  - Enjeksiyon şartları,
  - Malzeme özellikleri etkiler.
- Tasarımcı parça fonksiyonuna etkilerini önceden düşünmelidir.
- Kalıp tasarımı buna uygun yapılabileceği gibi tasarımda alınabilecek tedbirler ile çarpılmanın fonksiyona etkisi azaltılabilir.

### 3.5 Plastik Alaşım ve Harmanları

Yapısal farklılık gösteren plastikler yalnız başlarına özellikleri yeterli olmadığı zamanda iki veya daha fazla sayıda plastiğin özel yöntemlerle istenen özelliklerde homojen özelliklere getirilmesidir. Moleküller arası kovalent bağlar Van der Waals kuvvetleri gibi faktörler farklı moleküllerin rijit bir kütle meydana getirmesini sağlar, böylece plastik kullanımında beklenen optimal veya ara özellik değerleri ile ucuz maliyet ve daha başka isteklere ulaşılmış olunur.

### 3.6 Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri

Birçok plastik kendilerine çeşitli özellikler kazandıran dolgu maddeleriyle işlenmeden veya işlendikten sonra piyasaya sürülür. Belirli amaçlara yönelik dolgu maddelerinin en önemlileri aşağıda çıkarılmıştır.

- Pekiştirici ve dayanım arttırıcılar
- Renklendiriciler (boyar maddeler veya pigmentler)

- Plastikleştiriciler
- Kaydırma ve işlemeyi kolaylaştırıcılar
- Antistatikler (statik elektriklenmeyi önleyiciler)
- Ultraviyole ışınım dengeleyiciler (UV stabilizatörleri)
- Oksitlenme önleyiciler
- Köpük yapıcılar (genleştiriciler)
- Diğer dolgu maddeleri: Yataklarda kaymayı arttırıcılar, yanmayı güçleştiriciler ve ısı dengeleyiciler (ısı stabilizatörleri)

### 3.7 Plastiklere Şekil Verme Yöntemleri

"Plastik" sözcüğünün sözlükte geçen anlamı yoğrulabilen, yoğrularak istenilen biçim verilebilendir. Böylece incelenmekte olan plastik sınıfı elemanlarının önemli bir özelliği tariflenmiş oluyor.

Sanayide üretilen plastikler ancak iyi bir biçimlendirme ile değer kazanırlar. Plastikler türlerine ve kullanım amaçlarına göre değişik yöntemlerle biçimlendirilirler. Bu yöntemlerin başlıcaları aşağıda gösterilmiştir:

Başlıca kalıplama yöntemleri:

- Basınç kalıplama
- Döner kalıplama
- Döner döküm kalıplama
- Enjeksiyon kalıplama
- Enjeksiyon ile şişirme kalıplama
- Santrifüj döküm kalıplama
- Döküm

Diğer biçimlendirme yöntemleri:

- Ekstrüzyon
- Şişirme ile film çekme
- Kalıpsız ekstrüzyon

Basınçta ısı ile biçimlendirme (Thermoforming)

- Lif sarma
- Köpük plastik (Tamer ,1994 ; Anapa, 2003)

Termoset veya termoplastik türünden plastiklerin biçimlendirilmesinde uygulanan temel yöntemlerden her biri, plastiğe belirli geometrik formların verilmesini sağlamaktadır. Plastiğin kullanılabilirdiği durumlarda, parça dizaynının öngördüğü geometri ve tolerans gereklerini belirleyebildiğimiz takdirde, parçayı imal etmek için en avantajlı yöntemi seçmemiz mümkün olabilmektedir. Yöntem seçimini etkileyebilecek dizayn faktörlerini önceden saptayarak yöneme uygun dizaynı geliştirecek olursak söz konusu seçimi en iyi bir şekilde çözümlemiş oluruz. Böylelikle, gerek fonksiyonel ve gerekse imalat açısından en uygun dizayn sekline ulaşılabilir (Yurci, 1998)

Bu tezde, bu imalat yöntemlerinden sadece birisi olan enjeksiyonla kalıplama anlatılacaktır.

#### 4. PLASTİK ÜRÜN TASARIMI

Kaliteli bir ürün elde edebilmek için ürün bir çok süreçten geçer. Bu süreçlerden kaliteyi en belirleyici olan süreç ürün tasarım sürecidir. Başarılı bir ürün tasarımı kalıp tasarım sürecini kısaltır ve kolaylaştırır. Başarılı kalıp tasarımı da üretimin kalitesini belirler. Dolayısı ile ilk süreç olan ürün tasarımı çok önemlidir. Bir ürünün oluşum evreleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

- Ürün ihtiyacının belirlenmesi : Müşteri anketleri, pazar araştırmaları, şirket stratejileri doğrultusunda belirlenir.
- Planlama : Talepler doğrultusunda tasarım planı hazırlanır. Bu planda;
- Girdi şartlarının belirlenmesi : Ürün tasarımı yapılırken tasarım girdi şartlarının ayrı ayrı detaylandırılması gerekmektedir. Bu tasarım girdileri; hammadde, renk, boyut, kullanım amacı ve fonksiyonel özellikler, estetik ve görünüş, güvenlik, performans, ürün veya üründe kullanılacak parçalarla ilgili yerli ve yabancı ürün standart şartları, müşteriye sunum şekli, işaretleme, muadili tasarımlardan yararlanılacak özellikler vb.
- Fizibilite raporunun hazırlanması : Belirlenen girdi şartlarına bağlı olarak bir fizibilite raporu hazırlanmalıdır. Fizibilite raporu; detaylı malzeme listesi, hammadde seçimi, mevcut girdilerden (parçalardan) hangilerinin kullanılıp kullanılmayacağı, kalıp adedi, göz sayıları ve yaklaşık olarak kalıp üretim süresi, yeni aparat ve teçhizat ihtiyacı, fason montaj işçilik kapasitesi, gerekli eleman sayısı, prototip maliyetleri bilgilerini içerir. Fizibilite raporunda yukarıda verilen ve belirlenecek olan bilgilere bağlı olarak tahmini yatırım ve üretim maliyetleri detaylandırılır. Fizibilite raporunun sonuçlarına göre tasarım çalışmaları başlar, revize edilir yada iptal edilir.
- Prototip Çalışması : Ürünün prototip resimleri hazırlanır ve bu resimlerden uygun olanlar seçilir. Seçilen prototip resimlerine göre gerekli görülen parçaların prototip üretimi gerçekleştirilir. Prototipler tamamlandıktan sonra onaya sunulur. Prototipi onaylanmayan ürünler için belirtilen şekilde yeni prototip resimleri hazırlanarak yeni prototip üretimi gerçekleştirilir.
- Parça resimlerinin hazırlanması : Prototip çalışması onaylanan ürünlerin parça resimleri hazırlanır.
- Kalıp üretimi ve kalıp onayları : Kalıplanacak olan parçaya ait tasarım verileri kalıphaneye (kalıp tasarımcılarına) iletilir. Kalıp tasarımcıları kalıplanacak olan parçaya göre kalıbın tasarımını bilgisayar ortamında gerçekleştirir. Tasarımı tamamlanan kalıbın;

gerek üretiminde kullanmak üzere gerekse kalıbın yapım aşamalarını kontrol altına almak üzere kalıp tasarım dosyası kalıp tasarımcıları tarafından hazırlanır. Kalıp üretimi için gereken tüm malzemeler temin edilir. Kalıp tasarım dosyası, kalıp yapımının ilk aşaması olarak başlar. Kalıplar kalıp ustaları tarafından üniversal takım tezgahları ve gerekli teçhizat kullanılarak kalıp tasarım dosyasındaki resimlere göre işlenir ve kalıp toplanır.

Biten kalıplar kontrol edilir. Uygun olan kalıplardan deneme baskısı alınır. Deneme baskısından çıkan parçanın üretim resmindeki tüm boyutları ölçülür. Boyut ölçümleri dışında, bu numunelerin tümünde ; renk, parlaklık, çapak, çöküntü, göz no vurulup vurulmadığı, işaretleme, çizik, kırılmalık, hammadde, şişkinlik, simetriklik, montaj uygunluğu kontrolleri yapılır.

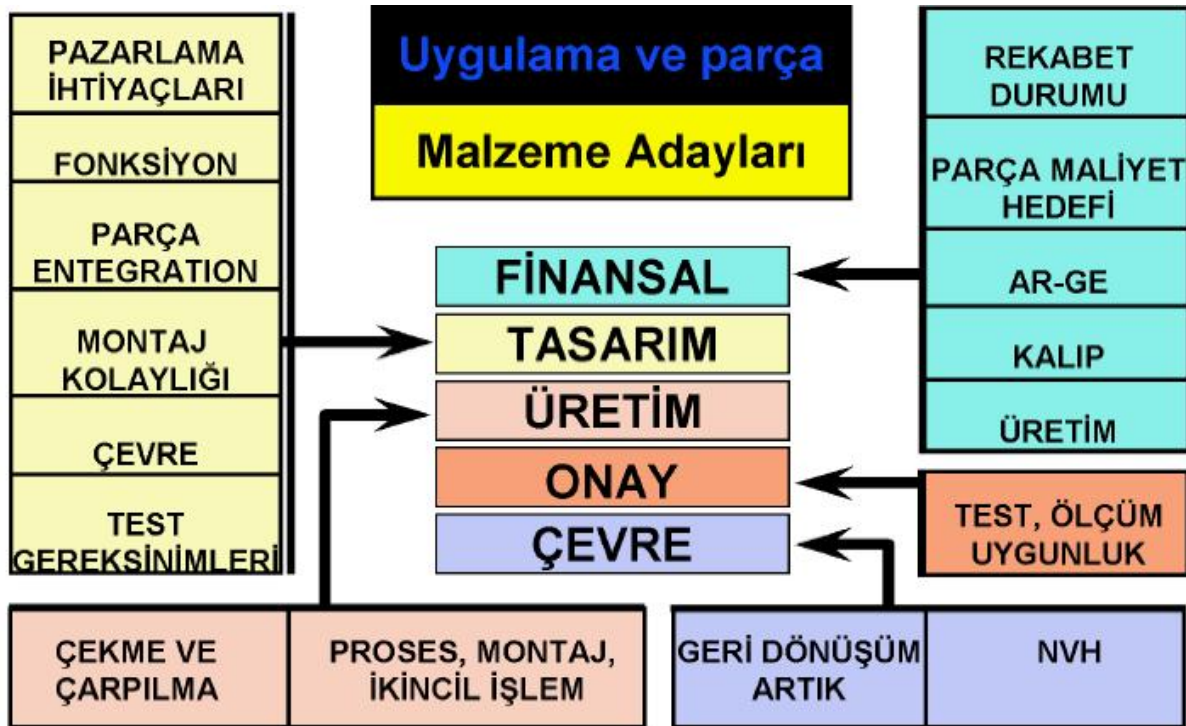
Yapılan boyut ve fiziki kontrol sonuçları; parça baskılarıyla ve kalıbın çalışmasıyla ilgili olarak görüşleri, tasarım çalışması yapılan yeni ürünün (rakip firmaların piyasada aynı üretimi varsa), rakip ürünlerine göre olan farklılıklar doğrultusunda değerlendirilir. Uygun bulunması halinde kalıp onayı verilir. Kalıplardan kaynaklanan bir uygunsuzluk tespit edilmesi halinde uygunsuzlukların giderilmesi istenir.

Deneme baskılarının incelenmesinden sonra, gerekirse uygun görülen deneylerin yapılması talep edilir. Deney raporlarına göre tasarım tekrar irdelenir. Gerekirse tasarım planı revize edilir.

- Hammadde, teçhizat, ve tedarikçi (fasoncu) temini : Belirlenmiş olan yeni hammadde, malzeme, parça, tedarikçi (fason işçilik), ihtiyaçlarının nereden, nasıl, hangi fiyata temin edileceği araştırılır ve sözü edilen girdilerin belirlenen sürede temini gerçekleştirilir. Tasarım için ihtiyaç duyulan makine, ölçü aleti, teçhizat, eleman ihtiyacı, üretim adetleri, kalıp göz sayıları ve tahmini üretim aşamalarını içeren bilgiler ilgili bölümlere ulaştırılır. İlgili bölümler söz konusu bilgilerle ilgili araştırma, takip, satın alma, eleman istihdamı ve gerçekleştirmeyi sağlar. Ambalaj ve kullanma kılavuzu temininde grafik tasarım çalışmaları onaylanır.
- Deneme üretimi : Kalıpları onaylanan ve hammadde, cihaz, makine, aparat vb. teçhizat ihtiyacı temin edilen yeni ürünlerin deneme üretimleri gerçekleştirilir. Deneme üretimi gerçekleştirilen ürünlerin, tasarım girdi şartlarında belirlenmiş olan testler ve deneyler yapılır.
- Tasarım çıktıları : Deney sonuçları tasarım çıktıları, olarak değerlendirilir ve tasarım girdi şartlarını karşılayıp karşılamadığı incelenir. Tasarım çıktıları olarak; boyut ölçüm

sonuçları, görünüş ve estetik, baskı, montaj, ve seri üretime uygunluk, ilgili yerli ve/veya yabancı standart ürün şartlarının karşılanması, güvenlikle ilgili deney sonuçları, performansla ilgili deney sonuçları, fonksiyonel özelliklerle ilgili deney sonuçları, rakip firmaların mevcut ürünleri ile mukayesesi, müşteriye sunum şartları, teknik verilerin uygunluğu/yeterliliği, önceki üretilen ürün ile farklılıklar incelenir.

- Tasarım doğrulama : Onaylanmayan (doğrulanmayan) tasarım çalışmaları, uygunsuzluk teşkil eden hususun düzeltilmesi için uygunsuzluğun niteliğine göre yapılarak çalışma bu prosedürün ilgili maddesine göre tekrarlanır. Tasarım çalışması doğrulanana kadar çalışmalara devam edilir. Tasarım doğrulamasının yapıldığı ürünlerin seri üretimine başlanılır.
- Tasarımın geçerliliği : Tasarımı doğrulanan ve seri üretimine başlanan ürün aylık hata bildirim, laboratuvar test ve müşteri şikayetleri ile takip edilir. Tasarım planında belirlenen süre sonunda tüm bu raporlar incelenerek değerlendirilir.



Şekil 4.1 Ürün tasarım gerçekleştirme süreci

## 5. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

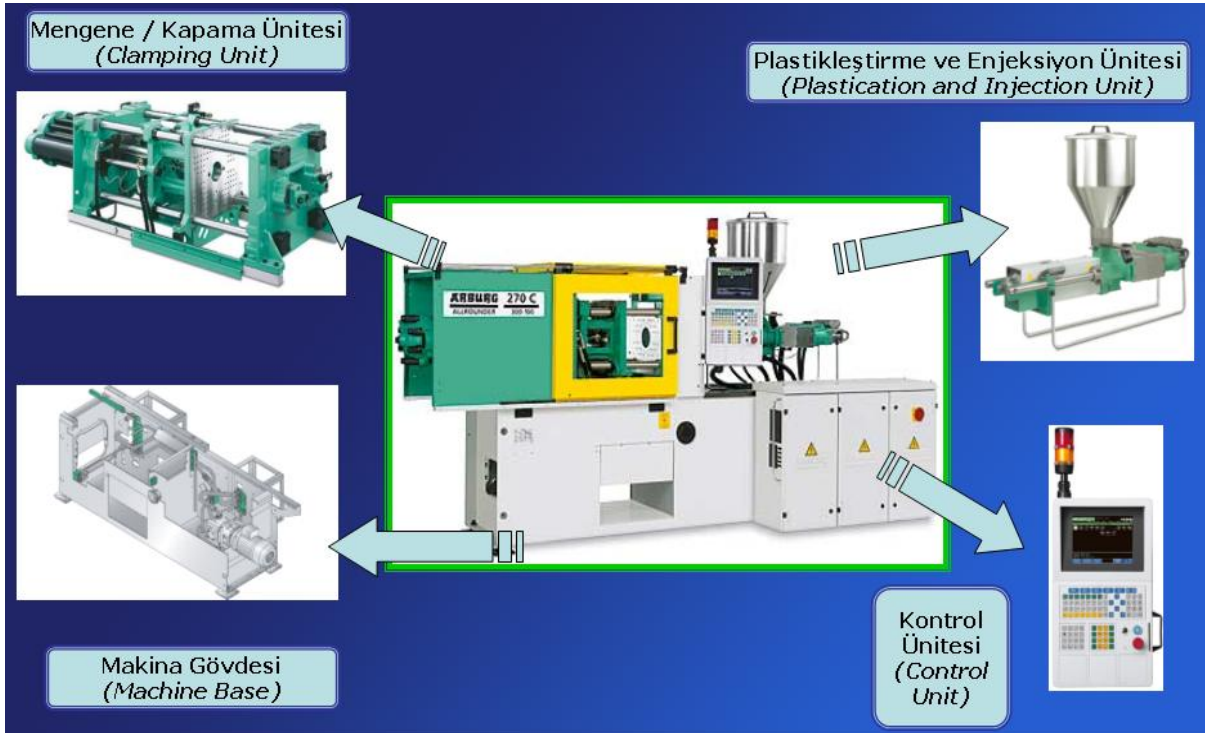
### 5.1 Plastik Enjeksiyon Tezgahı

Enjeksiyon baskı makinesi, birçok dizayn ve şekilde üretilir. Genellikle, kullanma yerine göre uygunluğu belirlenir. Birçok faktör, kalıp dizayn edilmeden önce makine dizaynına uygunluğu hesaba katılmalıdır. Kalıp dizaynının, makineye uygunluğunu seçerken ve işlemin tamamını anlamak için aşağıdaki faktörleri göz önüne almalıyız.

- Enjeksiyon baskısı yapılacak parçanın kullanım yeri,
- Kullanılan polimerin yapısı,
- Prosesten istenilenler; parça kalitesi ve üretim hacmi bakımından,
- Ekonomik geçerliliği (Hammadde- Enerji- Kalıp)

Enjeksiyon baskı makinesi 3 ana bölüme ayrılır:

- Makine gövdesi,
- Enjeksiyon ünitesi,
- Kapama ünitesi.

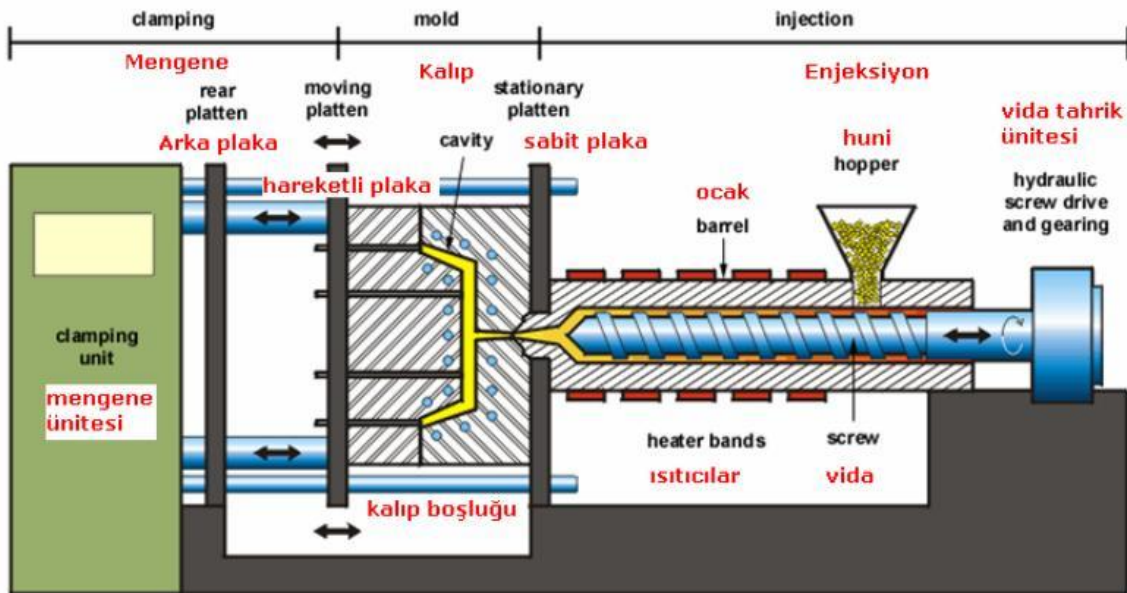


Şekil 5.1 Enjeksiyon makinesi

## 5.2 Tezgah Tipi ve Şekillendirilmeleri

Enjeksiyon makinesinin ünitelerinin planlanıp montajlandığı şekil makine şeklini belirtir. makine şekillendirilmesinin seçimine etki eden faktörlere, işlenecek malzeme tipi veya kullanılacak proses tipi dahildir. En çok kullanılan makine şekillendirilmesi yatay ve dikeydir. Kilitleme ünitesi ve enjeksiyon ünitesi yüz yüzedir.

- Yatay makine Tipi: En çok kullanılan dizayndır. Kalıp açılınca, parça yere yerçekimiyle düşer, genel kullanımlıdır.
- Dikey Tip: Bu enjeksiyon daha az yer kaplar. Kullanım yeri metal parça konulan baskılarda veya baskı üzerine baskı yapılıncaya kullanılır.
- Yatay Kilitleme Dikey Enjeksiyon: Bunun avantajı, kalıp ayırım çizgisine doğrudan enjeksiyon yapma olanağı sağlar.
- Dikey Kilitleme Yatay Enjeksiyon: Enjeksiyonun direkt olarak kalıp içine yapılmasını sağlar. İçine yabancı parça konan çok renkli parçaların baskısında kullanılır.
- Çok Üniteli: Genellikle müşterilerin isteği üzerine yapılan makinelerdir. Örneğin; çifte kilitleme ve enjeksiyon sistemi kullanılır.



Şekil 5.2 Enjeksiyon makinesinin şematik gösterimi

### 5.3 Makine Teknik Özellikleri

İyi bir kalıp dizaynı ve etkinliği için makine özellikleri ve şekline özen gösterilmelidir. Kalıp dizaynı esnasında, yetersiz makine özelliği bilgisi, daha sonra pahalı kalıp değişikliğine neden olur. En çok yapılan hata; yapılan kalıbın, makineye göre büyük olmasıdır. Kalıp değişikliği yapılmalı veya kalıp daha büyük ve işleme maliyeti daha fazla, büyük makineye takılmalıdır.

Makine üreticileri makinelerini kilitleme dozajları veya eritme kapasitesiyle (enjeksiyon ünitesinin) belirler.

### 5.4 Enjeksiyon Parametreleri

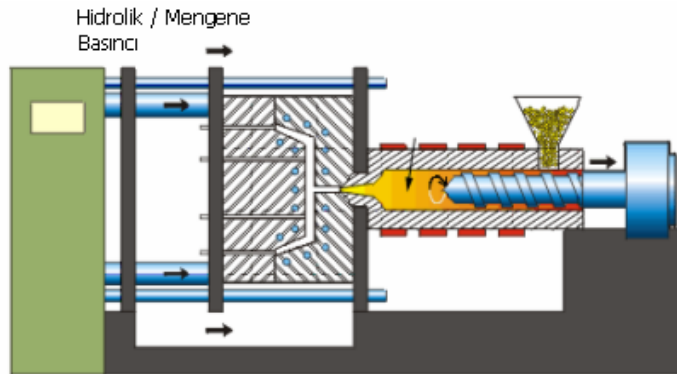
Plastik enjeksiyon prosesi, dört ana değişken ile kontrol edilir.

- Sıcaklık
- Basınç
- Zaman
- Hız

### 5.5 Plastik Enjeksiyon Çevrimi

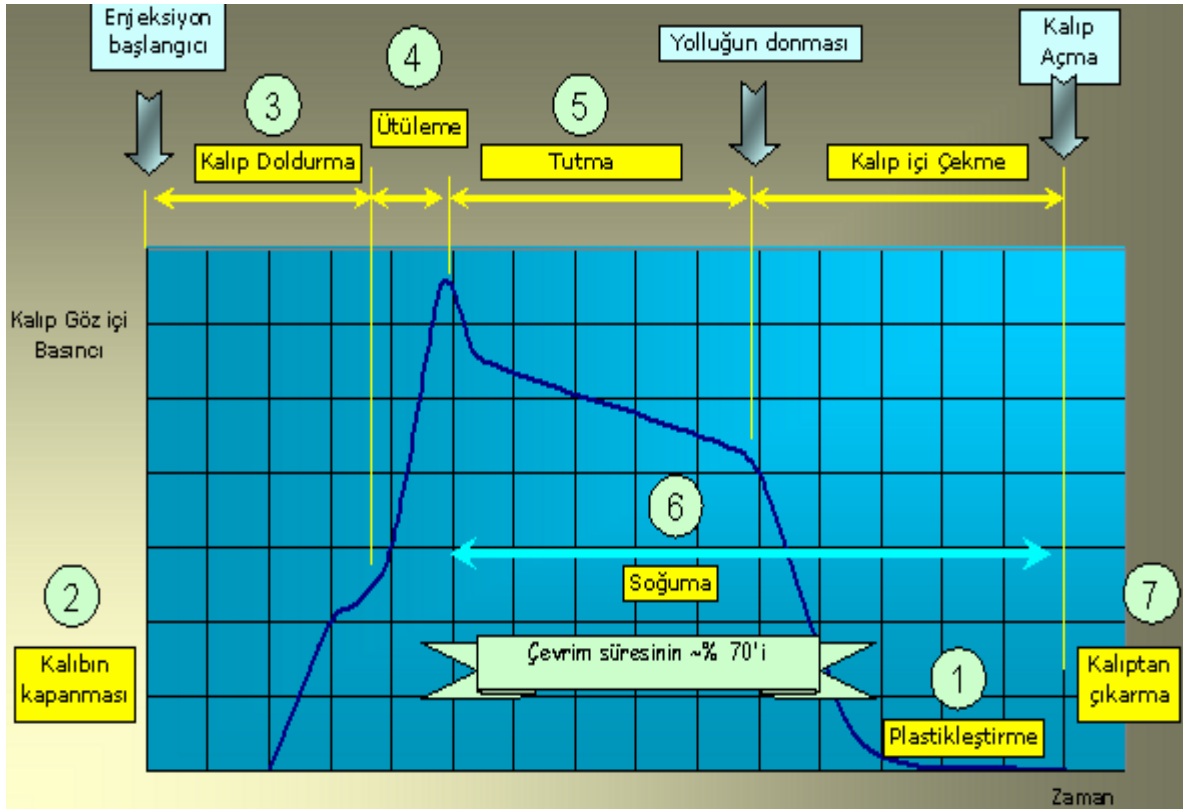
Enjeksiyon çevriminin yedi adımı:

- Plastikleştirme: Plastik hammaddenin eritilmesi, kalıba enjekte edilmeye hazır hale getirilmesidir. Vida döner; huniden ocağa granül hammadde alınır. Hammadde eritilir (ısıtıcılar ve vida sürtünmesi ile). Eriyen plastik öndeki vida boşluğuna ulaşır. Vida boşluğunda biriken plastik vidayı geriye doğru iter. Vidanın geri gitmesine Geri Basınç karşı koyar.
- Kalıbın Kapatılması: Makinenin mengene ünitesi kalıbın iki parçasını birbirine kapatır ve yüksek basınç uygular.



Şekil 5.3 Kalıbın kapatılması

- **Kalıbın Doldurulması:** Vida hidrolik piston tarafından ileri itilir. Eriyik plastik kalıp boşluğuna dolar. Kalıp gözünü doldurmak için gerekli olan basınç (Enjeksiyon Basıncı) ve kalıp göz içi basıncı artar. Plastik kalıp boşluğunu doldururken sıcaklık artışına karşı viskozite ve basınçta azalma gerçekleşir. Eriyik plastiğin kalıp boşluğunu tamamen doldurduğu anda dolun aşaması sona erer.
- **Ütüleme:** Basınç yükseltilecek (Ütüleme Basıncı) kalıbın tam olarak dolması, ince detayların da oluşması sağlanır.
- **Tutma (Holding):** Çekmeyi azaltmak için parça, kalıp içinde basınç (Tutma Basıncı) altında bekletilir. Parça çektikçe, içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder.
- **Soğutma:** Yolluk donduktan sonra parça kalıp içinde soğur ve çeker. Soğutma; parça vicat yumuşama sıcaklığına ulaşınca kadar devam eder.
- **Kalıptan Çıkarma:** Vicat Yumuşama Sıcaklığı'na ulaşmış parça artık çıkarılabilecek kadar katılaştı. Kalıp açılır. Parça itici sistemi yardımı ile kalıptan çıkarılır.



Şekil 5.4 Enjeksiyon Çevrimi

## 5.6 Enjeksiyon Çevriminin Parça Tasarımı ve Kalıp Tasarımı ile İlişkisi

Parça tasarımında enjeksiyonu ve kalıp tasarımını kolaylaştırıcı tedbirler alınabilir.

- Kalıbın Doldurulması
- Parça tasarımında Enjeksiyon basıncını gereksiz artırıcı unsurlardan kaçınılmalı
  - Keskin köşe
  - Çok ince kesitli detaylar
  - Malzemenin akış uzunluğunu aşan akış mesafeleri
  - Dar ve uzun akış mesafeli detaylar
- Yolluk yeri ve sayısı dengeli ve rahat doluma uygun olmalı
  - Parça üzerinde dengeli basınç dağılımı, kalıbın dengeli çalışması
  - Düşük birinci basınç gereksinimi
  - Yolluk yeri seçim kriterlerine göre parçada uygun yere yolluk girişi yapılmalı
- Parçanın soğutulması
- Soğutması zor detaylar dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmeli
  - İnce ve derin girintiler
  - Sık ve yüksek feder ağırları
- Kalıpta yeterli soğutma kanalı uygulanmasını zorlaştıran detaylardan kaçınılmalı
  - Yakın ve çok sayıda iç maça kullanımı
  - Yakın ve çok sayıda değişken lokma kullanımı
- Parçanın kalıptan çıkarılması
- Yeterli sayı ve yüzey alanına sahip ve dengeli dağılmış itici yerleşimi sağlanabilmeli
- Parçada iticiler için özel detaylar yapılmalı
- İtici koyulmasının istenmediği bölgeler belirtilmeli
- Deforme olmadan çıkarma için dengeli ve yeterli itici konabilecek bölgeler belirlenmeli
- Yüzey dokusu uygulamasında yeterli kalıp açıları verilmeli
- Dışide kalma problemi yaşanmalı

Parçanın üretim yönteminin (Plastik Enjeksiyon) gereksinimleri parça tasarım kriterleri arasındadır. Tasarımcı plastik enjeksiyon prosesi ile parça tasarımı arasındaki ilişkiyi kurmalı ve gözetmelidir.

## 6. PLASTİK ENJEKSİYON KALIBININ TASARIM İLKELERİ

### 6.1 Genel Bilgi

Kalıp tasarımı, parçanın teknik resminin, bir örneğinin veya modelinin tasarımcıya verilmesi ve kalıplanacak olan parçaya ait tasarım verilerinin oluşturulması ile başlayan bir süreçtir. Ayrıca kalıbın birlikte çalışacağı makine kavite sayısı ve eğer verilmemişse parçanın üretileceği hammaddenin seçimi de ilave olarak gerekli olan bilgilerdir. Bu bilgiler kalıp dizaynı için gerekli olmakla birlikte yeterli değildirler. Bunlara ilave olarak aşağıdaki soruların da cevaplandırılması gereklidir.

- Seçilen plastik malzemenin kalıplanabilme karakteristiği,
- Kaç adet parçanın üretileceği,
- İstenen kalıplama çevrimi,
- Ürünün nerede ve nasıl kullanılacağı,
- Ürün başka parçalarla birlikte mi çalışacak veya kullanılacak (toleranslar)
- Çekme,
- Çıkış açıları,
- Ne tür bir yolluk sisteminin gerekli olduğu,
- Kavite giriş noktaları, akış ve birleşme hatları, itici izleri,
- Yüzey kalitesi.
- Parça üzerinde istenen yazılar veya şekillerin olup olmaması,
- Kalıp için gerekli başka ekipmanlar,
- Kullanılacak makinenin tonaj, parça büyüklüğü ve plastik kapasitesinin uygunluğu,
- Parçanın kalıptan alınmasının ne şekilde olacağı (otomatik veya elle)
- Proje süresi

Bu sorular ve varsa daha başkaları kalıbın yapımını isteyen müşteri ile karşılıklı görüşülüp cevaplandırılmalıdır. Aşağıdaki bölümde bahsedilen bu konuların kalıp tasarımını nasıl etkileyebileceği anlatılmaktadır.

### 6.2 Akış Karakteristiği

Kolay akan malzemeler genellikle problemsiz olarak kalıplanabilirler ancak daha zor akanlar daha yüksek enjeksiyon basıncı gerektirirler. Bu yüzden kalıp daha ağır olur. Ayrıca bu tür malzemelerin kalıplandığı kalıplarda merkezleme elemanlarının hassasiyeti ve dayanımı daha yüksek olmak zorundadır.

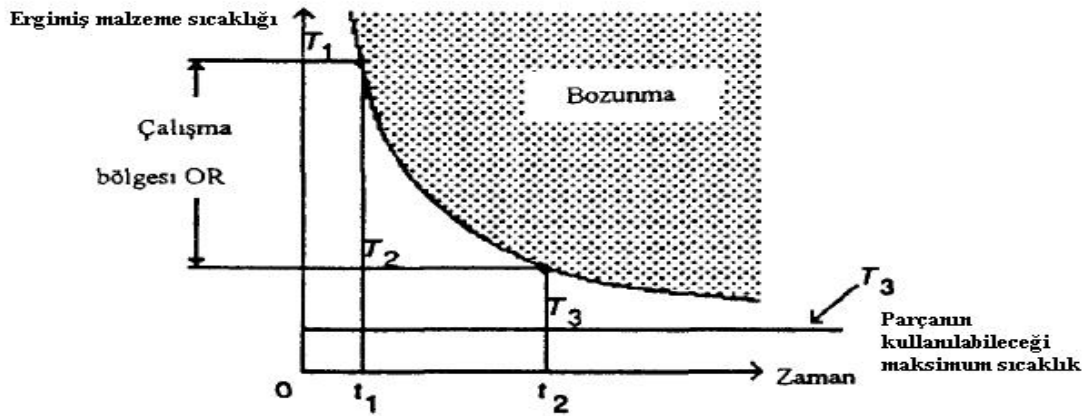
### 6.3 Ergime (İşlem) Sıcaklığı

Bu sıcaklık ne kadar yüksek olursa soğutma sisteminin tasarımı da o derecede dikkatli yapılmak zorundadır. Hatta bazen kalıbın sıcak ve soğuk kısımları arasında ısı yalıtımı yapılmak zorunluluğu ortaya çıkabilir.

### 6.4 Plastik Malzemenin Isıya Duyarlılığı

Her termoplastiğin ısıya belli bir duyarlılığı vardır ve belli bir sürenin üzerinde yüksek sıcaklığa maruz kalırsa bozunur. Aşağıdaki grafikte (Şekil 6.1) bu olay görülmektedir. Şöyle ki,  $t_1$  malzemenin güvenli bir şekilde enjekte edilebileceği en yüksek sıcaklık,  $t_1$  bu sıcaklıkta kalabilme süresi,  $T_2$  malzemenin enjekte edilebileceği en düşük sıcaklık  $t_2$  bu sıcaklıkta kalabilme süresi olmak üzere  $T_1$  ve  $T_2$  arasındaki bölge kalıplama sıcaklığı aralığıdır.

PVC gibi düşük sıcaklıklarda kalıplanan dar  $T_1 - T_2$  ve  $t_1 - t_2$  aralıklarına sahip malzemeler sıcaklığa çok duyarlıdırlar. Daha yüksek sıcaklıklarda kalıplanabilen bazı plastikler daha geniş bir  $t_1 - T_2$  aralığına sahip olmakla beraber dar bir  $t_1 - t_2$  aralığına sahip olduklarından bunlarda ısıya duyarlıdırlar. PET, bütün asetatlar bu tür malzemelerdir.



Şekil 6.1. Malzeme bozunma eğrisi

Her malzeme için bu bozunma eğrileri hammadde üreticileri tarafından verilmektedir. Her kalıp tasarımcısı zaman ve sıcaklık arasındaki bu ilişkiyi anlamak zorundadır çünkü bu ilişki yolluk sisteminin tasarımı ile sıcak yollukların tasarım ve konstrüksiyonunu etkiler. Ayrıca yine bu ilişki plastik malzeme içindeki korozif maddeler dolayısı ile kalıbın yapımında kullanılacak çeliğin seçimini etkiler.

Asetal gibi bazı malzemeler verilen güvenli sıcaklık ve zaman sınırlarının üzerinde kısa süre ile bile kalsalar başlangıçta gözle görülür bir bozunma olmasa bile zehirli gazlar çıkarırlar.

Başka diğer malzemelerde yüksek korozif etkiye sahip gazlar çıkarırlar ve bu durum kalıp malzemelerinin ve yüzey kalitesinin özel olarak belirlenmesine neden olabilir. Bütün malzemeler renkleri sarıya dönerek bozunurlar. Bozunmanın son hali karbonlaşma ve kararmadır. Eğer malzeme çok az derecede bile bozunmuş olsa sadece çok kötü bir görüntüye sahip olmakla kalmayıp fiziksel özelliklerini de kaybettiği için istenen performansı sağlayamayacağından kullanılmamalıdır.

### **6.5 Kalıplama Çevrimi**

Tasarımcının istenen kalıplama çevrimini bilmesini gerektiren farklı sebepler vardır. Bir kalıbın her zaman mümkün olan en kısa kalıplama çevrimini sağlayacak şekilde yapılması istenir ancak bu sadece belirli bir maliyetle elde edilebilir. Özel soğutma metotları, itici sistemine eklenen özellikler, özel kalıp malzemeleri, yağlama vb. gibi ilave özelliklerin hepsi kalıp maliyetini arttırır.

Tasarımcı her zaman çevrimden beklenen veya önerilen çevrim zamanını öğrenmelidir. Nadiren herhangi iki parça çevrim zamanları aynı olacak şekilde benzerdir. Plastikler arasındaki farklılıklar, cidar kalınlıkları, çıkış açıları, yolluk sistemleri ve girişler ve diğer faktörler kalıplama çevrimi üzerinde önemli etkilere sahiptirler.

### **6.6 Parçanın Tanımlanması**

Tasarımcının ilk görevi istenen parçayı tanımdır. Bunun için gerekli adımlar aşağıda sıralanmıştır.

#### **6.6.1 Belirginlik**

Parçanın gerekli tüm görünüşleri ve kesitleri gösterilmiş olmalıdır. Tasarımın bu safhasında bütün ölçülerin verildiğinden ve doğru olduğundan emin olmak imkansız gibidir. Genellikle parçayı çok iyi tanıyan ürün tasarımcısı, kalıp tasarımcısının ürünü çok iyi tanımıyor olabileceğini unutmaz ve bu yüzden parça resimlerinde kendisinin bildiği ancak resim tarafından tam olarak yansıtılmayan detaylar yüzünden hatalar meydana gelebilir.

#### **6.6.2 İzdüşümler**

Parçanın teknik resmindeki izdüşümlerin Avrupa standardında mı yoksa Amerikan standardında mı olduğu belirtilmelidir. Bu belirtmenin yapılamamış olması yaygın bir hata sebebidir ve istenen parçanın aynada yansıyan görüntüsü ile aynı olan yanlış bir parça üretimine neden olur. Ayrıca parçanın tüm görünüşleri işleme sırasında herhangi bir hataya

neden olmamak için dikkatlice kontrol edilmelidir.

### 6.6.3 Toleranslar

Belki de kalıbın tasarımına başlamadan önce kontrol edilmesi gereken en önemli nokta toleranslardır. Tasarımcı verilen toleransları kontrol etmeli gerektiği halde doğrulukları hakkında emin olmalıdır. Kalıp elemanlarının işleme maliyetleri doğrudan verilen tolerans aralığı ile ilgili olduğu için, kritik toleransların doğru olarak verilir verilmediği incelenmelidir.

Genellikle parça tasarımcıları parça resimlerine parçanın fonksiyonu için gerekli olmayan dar tolerans aralıkları isterler. Bazı yerlerde bu dar toleranslar değiştirilebilirken, çoğu yerde değiştirilemez. Ayrıca parçaya ait genel tolerans değeri gereksiz olarak dar bir tolerans aralığında verilmiş olabilir. Parça tasarımcısı için biraz daha fazla bir iş ve düşünme gerektirmesine rağmen uygun bir metot başlangıçta parça için rölatif olarak geniş bir tolerans aralığı saptayıp daha sonra parçanın fonksiyonu ve birlikte kullanılacağı diğer parçalarda göz önüne alınarak gerekli yerlere uygun toleransların verilmesidir.

Plastik malzemelerin büyük bir çekme aralığına sahip olmaları dolayısı ile çok dar tolerans aralıklarında üretilmeleri mümkün değildir. Eğer bu kadar dar tolerans aralıkları gerçekten gerekli ise uygun boyutlardaki parçalar seçilip, tolerans sınırlarının dışında olanların ise atılması gerekir ki bu çok pahalı bir yöntemdir.

Kalıp çeliklerinin istenilen dar tolerans aralıklarında işlenmeleri yeteri kadar kolay olmasına rağmen, bu her parçanın tolerans dahilinde olacağı anlamına gelmez. Parça boyutu arttıkça toleranslarında arttığını gösteren değişik yöntemler mevcuttur.

Parça toleransları boyutun bir yüzdesi olarak verilebilir. Örneğin genel tolerans her 10 mm için  $\pm 0.05$  mm yani 1 mm için  $\pm 0.005$ mm olarak belirlenebilir. Bu yöntemle küçük boyutlu parçalar için toleranslar azalırken büyük boyutlular için artar. Ancak şu da bilinmelidir ki dar tolerans aralıkları parçanın istenilen şekilde üretilmesini büyük ölçüde kısıtlar ve engeller.

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, tasarımcı parça resimlerinde verilen toleransların uygun ve elde edilebilir olduğundan emin olmalıdır. Tasarımcı aynı zamanda parça boyutlarının işlem sıcaklığına bağlı olduğunu ve bazı durumlarda parçanın çekmesinin kalıplama işlemi bittikten sonra dahi"saatler hatta günler aldığını unutmamak zorundadır. Bazı kritik ölçüler ve belirli malzemeler için parçanın hangi koşullarda ve ne zaman ölçüleceği de bilinmelidir.

#### **6.6.4 Parçanın kullanım yeri**

Parça nerede ve nasıl kullanılacak ? Bu sorunun cevabı tasarımcıya, parçanın diğer parçalara takılacak yerleri, yüzey kalitesi, fiziksel dayanımı, kavite girişlerinin yerleri, iticiler gibi belirli konularda ve parçanın kritik bölgeleri hakkında belirli bir fikir sağlar. Bundan sonra kalıp tasarımcısı özellikle kalıp çekirdeklerinde kırılabilecek bölgeler veya ince federler gibi sadece kalıbın kolay üretilebilirliğini değil aynı zamanda kalıbın ömrünü ve bakım ihtiyacını da etkileyen konularda belirli değişiklik önerilerinde bulunabilir.

Parçanın ne olduğunu tam olarak anlamak tasarımcıya parçanın nerelerinin parlatılması gerektiğini, nerelerde dar toleransların gerekli olduğunu, nerelerde yuvarlak köşeler yerine keskin köşelerin kullanılması gerektiğini gösterir. Projenin başlangıcında plastiğin akış yolunda yapılabilecek ve parça şeklini de değiştiren küçük değişiklikler dolma işleminin süresini kısaltacağı için kalıplama süresini de kısaltır.

Bu tür değişiklik önerileri sadece tasarımcıya yarar sağlamakla kalmayıp kalıbı yapana ve parçanın üretimini yapana da belirli kolaylıklar sağlayacağı için en sonda müşteri bu durumdan en fazla yarar sağlayan kişi olacaktır. Çünkü hem kalıp tasarımı kolaylaştığı için tasarım maliyeti, hem üretimi kolaylaştığı için üretim maliyeti, hem de parça üretimi kolaylaştığı için parça üretim maliyeti azalacaktır.

#### **6.6.5 Parça resimleri üzerindeki notlar**

Parça resimleri üzerindeki bütün notlar dikkatlice incelenmelidir. Bu işlem konvansiyonel resim teknikleri ile kolayca verilemeyecek bilgileri yada çok fazla detayın bulunmasından dolayı resimlerden kolayca elde edilemeyecek bilgileri tasarımcıya sağlar. Bu notlar toleranslar, çıkış açıları, yüzey işlemleri, eşmerkezlilik, geçmeler, malzeme seçimi gibi konularda tasarımcıya ek bilgiler sağlar.

Bu notların açık ve anlamlı olması gereklidir. Yanlış anlaşılabilir veya görmezden gelinen bir not bir ölçünün de yanlış anlaşılması veya görmezden gelinmesi anlamına gelebileceğinden önemli bir hata anlamına gelir.

Notlar tasarımın ilk halinde yapılmış değişiklikleri de gösterebileceğinden, parça üzerindeki hangi bölgelerin parça tasarımcısı tarafından değişiklik gerektirdiği için değiştirildiğini işaret eder. Bu durum kalıp tasarımcısına ileride ne tür değişikliklerin yapılabileceği konusunda bir fikir sağlayabilir. Buradan da kalıp tasarımcısı nerelere geçme parçalar koyup nerelere koymayacağını anlar.

### 6.6.6 Çıkış açıları

Parça üzerindeki çıkış açıları kontrol edilmelidir. Genellikle her kenara verilen  $1^\circ$  den daha büyük çıkış açıları parçanın kalıptan sorunsuz olarak çıkarılması için yeterlidir.  $1^\circ$  den daha küçük çıkış açlarına dikkat edilmeli, gerekiyorsa bu açılar büyütülmelidir. Eğer kalıp yüzeylerinde herhangi bir çıkış açısı yoksa veya negatif çıkış açıları varsa maça kullanmak, iki kademeli enjeksiyon veya hareketli çekirdek kullanmak gibi kalıbın karmaşıklığını ve maliyetini arttırıcı çözümlere gidilmek zorunda kalınır.

İnce cidarlı parçalar genellikle daha narindirler ve küçük çıkış açılarından daha fazla etkilenirler. Bu tür parçaların kalıpları daha iyi bir yüzey kalitesi, kalıbın açılma yönü doğrultusunda yapılmış parlatmaya ve başka bir durumda kullanmaya gerek olmamasına rağmen insert parçaların kullanımına gereksinme gösterirler. Kalıpta insert parçaların kullanma oranı arttıkça maksimum soğuma miktarı azalır ve bu da kalıplama çevrimini etkiler.

Kalıp için kullanılması planlanan enjeksiyon makinesinin rijitliği ve çalışma şartları da kalıbın minimum çıkış açılarını etkiler. Eğer mengene açılma hareketi tam olarak doğru ve parçanın merkez hattı boyunca değilse, kalıbın hareketli yarısı bir parça eksenden kaçacak ve bu da kalıbın açılma süresince parça üzerinde sürmeden meydana gelecek izler yapacaktır. Eğer makine kalıbı merkez hattı boyunca sabit tutabilecek kadar rijit değilse, kalıp maliyetini arttıran ilave desteklerle bu sağlanabilir.

Eğer her kenarda küçük çıkış açlarına sahip ince federler var ise, bu durumda itici sisteminin özel bazı nitelikleri olması gerekir. İtici pimler federlerin kırılıp kalıp içinde kalmadan çıkabilmesi için daima bu ince federlerin altına konulmalıdır. Ayrıca bu iticileri işlevlerini tam olarak yapabilmeleri için federlere temas ettikleri yerlerde ince ve düz kesitli olmaları gereklidir. Bu tür iticilerin ise üretimi ve bakımı çok zordur.

Çapları federin kalınlığına eşit yuvarlak iticiler ise genellikle çok küçük ve kırılıp giderler. Feder kalınlığından daha kalın itici kullanmak ise federlerde dairesel olarak bir kalınlaşmaya neden olacağı için kalıp tasarımcısı bu konuda parça tasarımcısının fikrini almak zorundadır.

### 6.6.7 Çekmenin rolü

Sadece parça resmi ve malzemesi belli olduğunda parçada meydana gelecek çekmelerin kim tarafından göz önüne alınacağı ve uygun çekme değerlerinin seçileceği bilinmelidir. Bazı durumlarda parça tasarımcısı çekme miktarlarını belirler ve kritik kalıp ölçüleri için gerekli ölçüleri sağlar. Bu genellikle daha önce veya deneysel olarak benzer parçalarla çalışılmış

olması durumunda söz konusudur.

Diğer bir nokta kalıbın farklı çekme özelliklerine sahip farklı malzemelerle kullanılıp kullanılmayacağıdır. Eğer kalıp %0.6 oranında çekme miktarına sahip polistirene göre tasarlanıp imal edilmişse, polipropilen gibi çekme oranı %1.5 olan başka bir malzeme ile de kullanılabilir ancak daha yüksek çekme oranından dolayı parça daha küçük olacaktır, Ayrıca kalıpta kullanılan farklı malzemelerinde ne tür etkilerinin olabileceğinin bilinmesi gerekir çünkü bunlar parçanın yüzey kalitesini ve kalıp yüzeylerini etkiler. (Öztop, 2003)

### 6.7 Plastik Enjeksiyon Kalıpları

Kalıp, enjeksiyon kalıplama işleminin kilit elemanıdır. Bir veya daha fazla kalıplama boşluğuna sahip olan kalıp her parça geometrisine göre ayrı olarak yapılmalıdır. Bir enjeksiyon kalıbının yerine getirmesi gerekenler şunlardır:

- Ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna veya boşluklarına iletmek parçanın son şeklini vermek
- Ergimiş malzemeyi soğutmak
- Soğumuş parçayı kalıptan çıkartmak

Kalıbın yukarıda sayılan işlemleri yapan fonksiyonel grupları ise şunlardır:

- Enjeksiyon sistemi
- Soğutma sistemi
- İtici Sistemi

Bu fonksiyonel kısımlardan ayrı olarak kalıbın işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için ek gereksinimler vardır. Kalıp enjeksiyon makinesinin plakalarına bağlanabilmelidir. Hem kalıp taşıyıcı plakalarının kapanmasını kolaylaştırmak, hem de plastik ünitesindeki silindirin ergimiş malzemeyi kalıp içine gönderen kısmının kalıbının girişine tam olarak oturmasını sağlamak için kalıbın hareketli veya sabit tarafında merkezleme elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu merkezlemeyi sabit kalıp tarafında merkezleme burcu ve kalıp üzerindeki merkezleme elemanları yapar.

Kalıplanan parçayı şekillendirmenin yanı sıra kalıbın önemli bir görevi daha vardır. Bu görev üretilen parçanın kalıptan çıkabilmesidir. Bu ise kalıbın kolayca açılan, tam ve doğru olarak kapanabilen en az iki kısımdan meydana gelmesi ile mümkündür. Bunun için, kalıp parçaları birbirlerine göre kılavuzlanmalıdır. Parça geometrileri değişiklik gösterdiği için kalıp tasarımları da çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Şekil 6.2 de bir enjeksiyon

kalıbının şematik gösterimi ve ana elemanları yer almaktadır (Alkaya, 1998)

Kısaca kalıp elemanları:

Sabit taraf (dişi taraf)

Dişi Kalıp Plaka: Parça geometrisinin işlendiği çelik

Merkezleme Flanşı: Kalıbı tezgah plakasına merkezler.

Yolluk Burcu : Kalıp ayrılma hattına malzemeyi getirir

Neden ayrı parça ? :

-İşleme kolaylığı

-Parlatma gereksinimi

-Bakım Kolaylığı

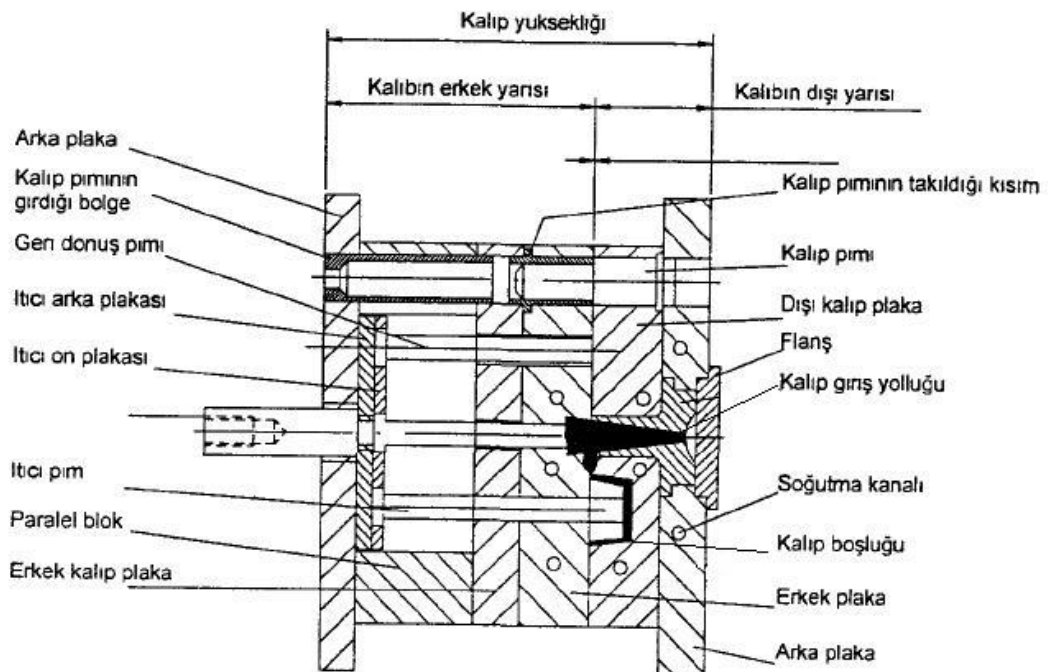
-Standart eleman olarak temin edilebilir

Dişi Bağlantı Plakası: Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanmasını sağlar.

Yalıtım Plakası: Isı kayıplarını azaltarak kalıbın ısı dengesine yardımcı olur

Soğutma Kanalları: Hamilde ve tercihen çekirdekte soğutma kanalları açılır.

Merkezleme Milleri: Kalıbın dişi ve erkek yarılarını merkezleyen miller



Şekil 6.2 Enjeksiyon kalıbı (Turaçlı, 2000)

### Hareketli Taraf (erkek taraf)

Erkek Kalıp Plaka: Parça geometrisinin işlendiği çelik

Destek Plakası: Erkek kalıp plakasının yüksek basınçlara dayanabilmesi için destekler. Opsiyoneldir; Erkek kalıp plakası ile tek parça da yapılabilir.

İticiler: İticiler parçayı çıkarmaya yararlar.

İtici Plakası: İticilerin bağlandığı plaka

İtici Destek Plakası: İtici hareketini sağlayan plaka

Paraleller: İtici plakasının hareketi için yeterli boşluğu sağlarlar.

Destek Sütunu: Destek plakasının eğilmesini engeller.

Yolluk Çekici (Burcu): Yolluğun dışıde kalmaması için yolluğu erkek tarafa çeker. Farklı yolluk çekici ve burcu tasarımları vardır.

Soğutma Kanalları: Kalıp plakalarında soğutma kanalları açılır.

İtici Yataklama Milleri: İtici plakasını yataklar.

Geri Döndürücü: Kalıp kapanırken itici plakasını geri döndürür.

Erkek Bağlantı Plakası : Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanmasını sağlar.

## **6.8 Plastik Enjeksiyon Kalıbının Fonksiyonları**

Basit veya karmaşık parçaların bir çevrim içinde üretilmeleri için bir enjeksiyon kalıbında bir veya birden fazla kaviteye ihtiyaç vardır. Kalıp her parça için ayrı yapılır. Bir kalıbın temel görevi ergimiş malzemeyi gerekli yerlere dağıtmak, oralarda kalmasını sağlamak, şekillenmesini ve soğuyarak katılaşmasını sağlamak ve elde edilen parçayı kalıptan çıkartmaktır. Kalıptan yerine getirmesi beklenen bu işler aşağıdaki fonksiyonel sistemler tarafından sağlanır.

- Yolluk sistemi
- Kavite (Kalıp boşluğu)
- Soğutma sistemi
- İtici sistemi
- Kılavuzlama ve merkezleme sistemi
- Makineye bağlantı plakaları
- Kuvvetlerin yayılması
- Hareketlerin iletilmesi

Parçayı şekillendirmesinin yanı sıra kalıbın parçayı kalıptan çıkartmak gibi önemli bir görevi daha vardır. Ekonomik açıdan, kalıplama çevrimi mümkün olduğu kadar kısa bir süre içinde

tamamlanmalıdır, ancak kalite beklentileri açısından ise özellikle karmaşık parçaların üretiminde parçanın kalıptan çıkarılması parçada ve kavite de herhangi bir hasar meydana gelmeden olmalıdır. İtici sisteminin tasarımı kalıbın maçalı, dıştan maçalı yada içten maçalı olmasına bağlıdır. Diğer önemli faktörlerin yanında tasarım olasılıklarının sayısı bu sınıflandırma ile de artar. İtici sistemleri parçanın kalıptan itilerek, sıyrılarak, gevşetilerek, kesilerek veya ayrılarak çıkarılmasına göre farklılaşır, sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma yapılmıştır çünkü itici sisteminin doğru seçimi maliyetleri etkilemektedir. Ayrıca bu sınıflandırma yer gereksinimi nedeniyle uygun boyutların ve kavite sayısının saptanmasında yardımcı olur. Aşağıdaki tasarımı etkileyen faktörler tasarıma ve parçaya bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 6.1 Tasarımı etkileyen faktörler

Tasarıma bağlı faktörler	Parçaya bağlı faktörler
Hareketin iletilmesi	Kavite
İtici sistemi	Kavite yerleşimi
Ayırma yüzeyi sayısı	Yolluk sistemi
Hareketli plaka sayısı	Soğutma sistemi
Merkezleme	Kızaklar
Kuvvetlerin iletilmesi	İtici sistemi
Makine plakalarına bağlama	

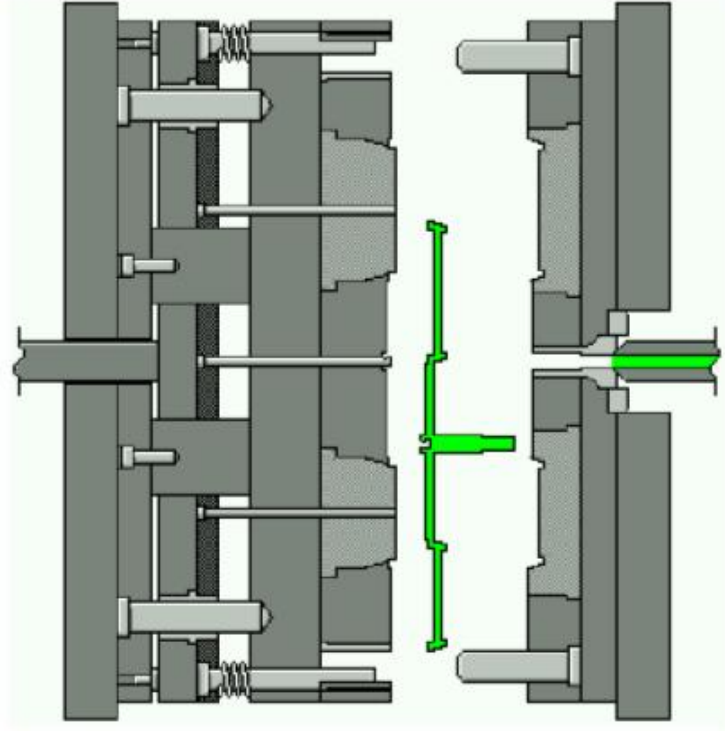
## 6.9 Kalıpların Sınıflandırma Kriterleri

Bir önceki kısımda tasarımı etkileyen faktörler tasarıma ve parçaya bağlı olarak sınıflandırılmıştı. Birincil tasarım konularına göre diğer bir farklılık aşağıda anlatılmaktadır. Burada farklı kalıp tiplerinin, hangi tasarım kriterlerine ve bunların ilgili oldukları diğer etkilere bağlı olduklarından bahsedilmektedir.

Kalıpların tasarımı her zaman aynı şekilde değildir. Tasarımlar çoğunlukla özel bir takım bileşenlere ve parçanın kalıptan çıkarılma şekline dayanır. Aşağıda temel kalıp türleri ve genel özellikleri verilmiştir.

1) Standart Kalıp: En basit tasarımdır. Tek ayırma yüzeyine ve tek yönlü açılma hareketine sahiptir. Parça kalıptan itici pimlerle çıkarılır ve kendi ağırlığı ile düşer. Standart kalıp, kalıp endüstrisinde en çok kullanılan enjeksiyon kalıbıdır. Kalıp dizayncıları, kullanıcıya kolaylık sağladığı için ve basit dizayn edilmesinden dolayı tercih ederler. Standart kalıp seti kullanıldığı için, bütün bunların dışında en ucuz dizayn edilebilen kalıptır.

- Standart kalıbın ana dizayn dezavantajları;
- Yolluk giriş pozisyonlarında sınırlamalar
- Klasik besleme sisteminde çoklu kalıplarda kalıp boşluklarını doldurmak için balanslı yolluk sisteminde yeterli alanın olmaması
- Yüksek oranda artık malzeme çıkışı



Şekil 6.3 Standart kalıp

2)Kızaklı Kalıp: Tek ayırma yüzeyi vardır. Açılma hareketi ana hareket yönündedir ve kızakların yana doğru açılma hareketi açılı pimlerle sağlanmaktadır.

3)Sıyırıcı Plakalı Kalıp: Standart kalıba benzer ancak parçanın kalıptan çıkarılması bir sıyırıcı plaka vasıtası ile gerçekleştirilir.

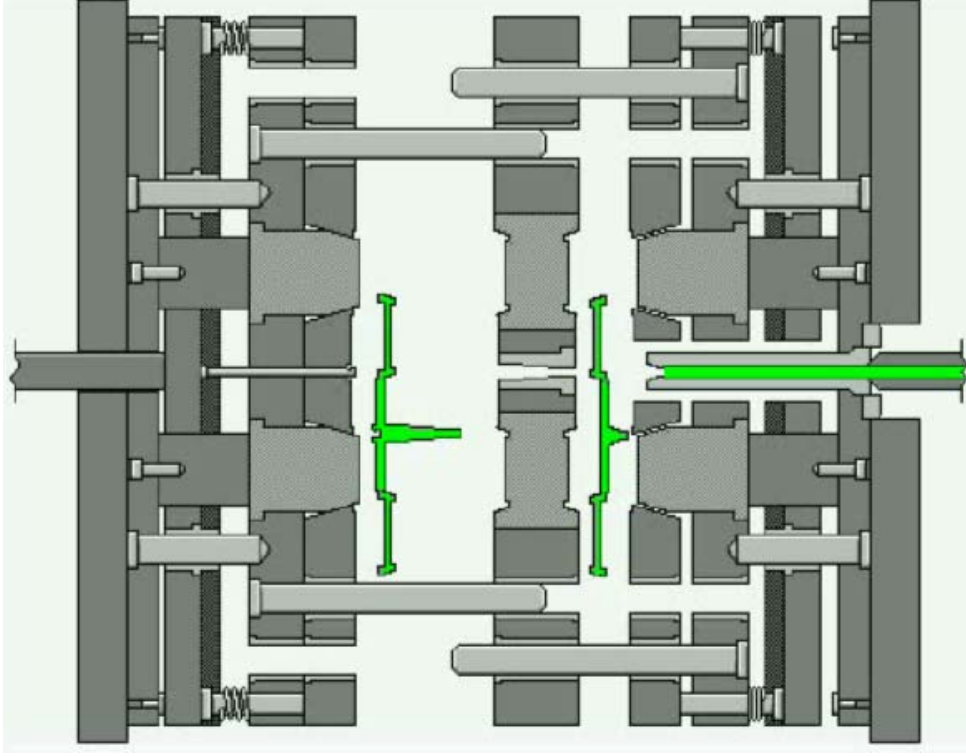
4)Parçayı Yolluktan Ayıran Kalıp: Standart kalıba benzer ancak parça yolluklardan ilave bir plakanın hareketi ile ayrılır.

5)Parçalı Kaviteli Kalıp: Tek ayırma yüzeyi vardır. Açılma hareketi hem ana hareket yönünde hem de yanaldır. Kaviteyi oluşturan parçalar eğik bir yüzey üzerinde kayabilir ve yanal kuvvetlere dayanabilirler.

6)Vidalı Kalıp: Vidalı bir parçanın otomatik olarak çıkarılabilmesi için mekanik tahrikli sistem

7)Parçayı Yolluktan Koparan Kalıp: Parçayı ve yolluğu ayrı çıkarmak için iki farklı ayırma yüzeyi vardır. Parça ve yolluk ayrıldıktan sonra iki aşamalı ve tek yönlü açılma hareketi meydana gelir.

8)Çok Plakalı Kalıp: Kavite plakaları farklı ayırma yüzeyleri halinde ard arda dizilmişlerdir. Sırt sırta iki kalıp halinde çalışır. Kalıp üç parçaya ayrılmaktadır. (sabit taraf , hareketli orta bölüm, hareketli taraf)



Şekil 6.4 Çok plakalı kalıp

Avantajları:

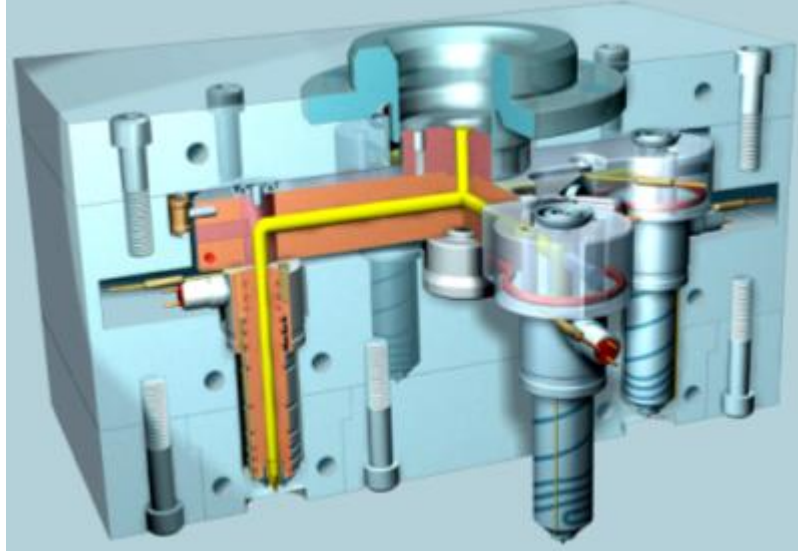
- Bir kalıp ile iki kalıbın üretimi
- Aynı makine kapasitesi
- Yaklaşık aynı çevrim süresi
- Üretimin yaklaşık % 80 artırılması
- Düşük parça maliyeti

9)İzole Yolluklu Kalıp: İki ayırma yüzeyine sahiptir. Klasik yolluk sistemine sahip değildir. Ancak geniş kesitli kanalları vardır ve donmuş yüzey tabakası içinden sıcak malzemenin akarak geçmesi sağlanır.

10)Sıcak Yolluklu Kalıp: Yolluk elektrikle ısıtılan bir manifolda yerleştirilmiştir.

11) Özel Kalıplar: İkinci ve onuncu türlerin çeşitli kombinasyonlarından meydana gelir ve basit kalıp tasarımı ile karşılanamayacak gereksinimleri karşılamak için kullanılır.

Kalıpların parçanın kalıptan çıkarılması temeline dayanan sınıflandırılması ise aşağıda anlatılmaktadır. Daha karmaşık tasarıma sahip kalıplar bu sisteme göre meydana getirilebilir. Bunun yanı sıra istatistikler günümüzde daha çok daha basit tasarımların yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 6.5 Sıcak yolluklu kalıp

## 6.10 Kalıp Tasarımının Temel Prosedürü

Herhangi bir kalıbın tasarımının sistematik olarak yapılması tavsiye edilir çünkü bir kalıp ve o kalıbın gerçekleştirdiği operasyon çeşitli koşulları gerçekleştirmek zorundadır.

### 6.10.1 Kalıp boyutlarının belirlenmesi

Kalıp boyutları öncelikli olarak kalıbın birlikte kullanılacağı makinenin boyutlarına bağlıdır. Genellikle varolan veya belirli bir makinenin boyutları, tasarımcının uyması gereken sınırlamalar getirir. Bu sınırlamalar:

- Maksimum malzeme miktarı : Plastik ünitesinin bir çevrimde kalıp içine sevk edebileceği ergimiş malzeme miktarı.
- Plastikleştirme hızı : makinenin her birim zaman için plastikleştirilebileceği malzeme miktarı

- Kilitleme kuvveti : Kalıp boşluğu içinde meydana gelen maksimum basıncı yol açacağı reaksiyon kuvvetini karşılayan kuvvet makine kolonları arasında kalan maksimum makine plakaları alanları maksimum enjeksiyon basıncıdır.

### 6.10.1.1 Maksimum kavite sayısı

İlk olarak maksimum teorik kavite sayısı belirlenir. Bu hesaplama makinenin vida çapı ve vida hareket miktarından hesaplanmış makinenin maksimum kapasitesinin kullanılacağı varsayımına dayanmaktadır.

Bunun için;

$$N_1 = S_v / M_v \quad (6.1)$$

$N_1$  = Maksimum kavite sayısı

$S_v$  = Maksimum malzeme miktarı (cm<sup>3</sup>)

$M_v$  = Parça ve yolluk hacmi (cm<sup>3</sup>)

İnce cidarlı parçalar için kavite sayısı maksimum plastikleşme hızı kullanılarak aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanır. Modern plastik makineleri sadece ince cidarlı parçalar için büyük malzeme miktarlarında  $N_2$ 'nin kontrol edilmesini gerektiren plastikleşme hızlarına sahiptirler. Bunun için aşağıdaki ampirik ifade kullanılabilir.

$$N_2 = R/Z \quad (6.2)$$

$N_2$  = İnce cidarlı kavite sayısı

$R$  = Plastikleşme hızı (cm<sup>3</sup>/dak.)

$Z$  = Dakikadaki çevrim sayısı

Bunun için aşağıdaki ampirik ifade kullanılabilir.

$$0.4N_1 \leq N_2 \leq 0.8N_1 \quad (6.3)$$

### 6.10.1.2 Kilitleme kuvveti

Minimum kilitleme kuvveti, maksimum kavite basıncı ile bütün kavitelerin izdüşüm alanının çarpımı sonucu ortaya çıkar.

$$F = A.p \quad (6.4)$$

$F$  = Reaksiyon kuvveti

$A$  = Kavitelerin ve yollukların izdüşüm alanı

$p$  = Kavite basıncıdır

Kavite basıncı, işlemin doğru olduğu varsayılarak, 20 - 200 MPa arasında değişir. Eğer işlem hatalı ise basınç enjeksiyon basıncı seviyesine kadar yükselir. Bu yüzden kilitleme kuvvetinin maksimum enjeksiyon basıncı ve toplam projeksiyon alanı esas alınarak hesaplanması tavsiye edilir. Buna göre;

$$F_{\max} = A_{\max} p_{enj} < F_{kilitleme} \quad (6.5)$$

ifadesi kullanılmalıdır.

#### 6.10.1.3 Maksimum kilitleme alanı

Bu alan makine kolonları arasındaki mesafe yardımıyla hesaplanır. Kalıbın makine içine yerleştirilmesinde herhangi bir sorunla karşılaşmamak için genellikle maksimum kalıp boyutları makinenin kolonları arasındaki ölçüden 10 mm. daha küçük yapılır. Kilitleme üniteleri meydana gelebilecek maksimum kavite basıncının ortaya çıkarabileceği maksimum reaksiyon kuvvetine dayanabilecek şekilde imal edilirler. makine plakalarının yük altında birkaç mikrometreden daha fazla eğilmemesi gereklidir. Aksi halde kalıp yeterince rijit olsa bile ayırma yüzeyleri arasındaki boşluğun müsaade edilen sınırlar içinde tutulması mümkün olmayacaktır.

#### 6.10.1.4 Gerekli açılma stroku

Açılma stroku özellikle uzun çekirdekli parçalarda parçanın kalıptan kolayca çıkmasını sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Bu şartın yerine gelmesi için minimum strokun çekirdek boyunun iki katından daha fazla olması gerekir.

Öte yandan çevrim zamanı uzatarak maliyetin yükselmemesi için de strokun gerekenden daha fazla olmaması gereklidir.

#### 6.10.1.5 Akış boyu / cidar kalınlığı oranı

makine ile ilgili diğer bir kriter akış boyu ile cidar kalınlığı arasındaki orandır. Hagen - Poiseuille kanununa göre akış boyu  $L$  ile parçanın cidar kalınlığının karesi  $H^2$  arasındaki oran

enjeksiyon basıncı  $P_{enj}$ , makinenin kapasitesi ve eğer ergimiş malzemenin akış hızı verilmişse, ergimiş malzemenin viskozitesi tarafından belirlenir. Termoplastikler için, moleküllerin oryantasyonu tarafından belirlenen belirli optimum hız değerleri vardır. Bu değerler  $V_{enj} \sim 30$  cm/s civarındadır.

Ancak genellikle hammadde üreticilerinin ürünleri için hazırlamış oldukları akış boyu / cidar kalınlığı diyagramı şeklindeki ampirik veriler kullanılır. Bu veriler her malzeme için yapılan deneyler sonucu elde edilir.

Ergimiş malzemenin kavite içindeki maksimum akış boyu ve ilgili en ince cidar kalınlığı tarafından karakterize edilen ve parçanın üretiminde kullanılan bu veriler tamamen ampiriktir.

Benzerlik prensibine göre Hagen-Poiseuille kanunundan türetilen akış boyu / cidar kalınlığı oranı:

$$\frac{L}{H^2} = \frac{\Delta p}{32 \cdot \phi \cdot V_f \eta_{Aeff}} \quad (6.6)$$

olarak elde edilir.

L : Akış boyu

H :  $2W.T/(W+T)$  hidrolik yarıçap (W : Genişlik , T : Kalınlık)

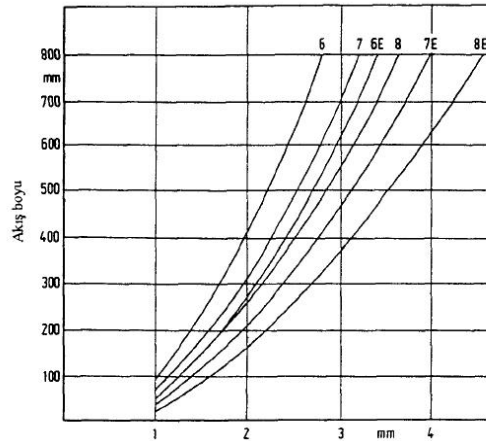
$\phi$  : 1.5 (Genişlik kalınlıktan çok büyük olduğu genel hal için)

$V_f$  : Akış hızı

$\Delta p$  : maksimum enjeksiyon basıncı ( en yaygın olarak kullanılan makineler için yaklaşık olarak 120Mpa)

$\eta_{a\text{eff}} = 250 - 270$  Pa.s Amorf malzemeler için

$\eta_{a\text{eff}} = 170$  Pa. s Kristalin malzemeler için



Şekil 6.6 Akış boyu-cidar kalınlığı arasındaki ilişki

Bu ifade kullanılarak genel olarak kullanılan kalıplar ve 120 Mpa enjeksiyon basıncına sahip makineler için hesap yapılacak olursa L ve H cm olmak üzere Amorf malzemeler için  $L = 325 H^2$  (cm), kristalin malzemeler için  $L = 500 H^2$  (cm) bulunur. Eğer malzeme hacimsel olarak %30 kadar cam elyafı veya toz ile katkılanırsa azaltma faktörü iki alınabilir ve buradan da akış boyunun azalacağı görülebilir.

#### 6.10.1.6 Kalıpta çekme ve etkileri

Sadece parça resmi ve malzemesi belli olduğunda parçada meydana gelecek çekmelerin kim tarafından göz önüne alınacağı ve uygun çekme değerlerinin seçileceği bilinmelidir. Bazı durumlarda parça tasarımcısı çekme miktarlarını belirler ve kritik kalıp ölçüleri için gerekli ölçüleri sağlar. Bu genellikle daha önce veya deneysel olarak benzer parçalarla çalışılmış olması durumunda söz konusudur.

Diğer bir nokta kalıbın farklı çekme özelliklerin sahip farklı malzemelerle kullanılıp kullanılmayacağıdır. Eğer kalıp %0.6 oranında çekme miktarına sahip polistrene göre tasarlanıp imal edilmişse, polipropilen gibi çekme oranı %1.5 olan başka bir malzeme ile de kullanılabilir ancak daha yüksek çekme oranından dolayı parça daha küçük olacaktır. Ayrıca kalıpta kullanılan farklı malzemelerinde ne tür etkilerinin olabileceğinin bilinmesi gerekir çünkü bunlar parçanın yüzey kalitesini ve kalıp yüzeylerini etkiler. (Alkaya, 1998)

Enjeksiyon kalıplama tekniğinde çekme kavite boyutları referans alındığında, kavite boyutlarıyla parça boyutları arasındaki farktır. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$S = \frac{I_C - I_M}{I_C} \cdot 100\% \quad (6.7)$$

Burada

S : Çekme miktarı %

$I_C$  : Kavite boyutu

$I_M$  : Parça boyutudur.

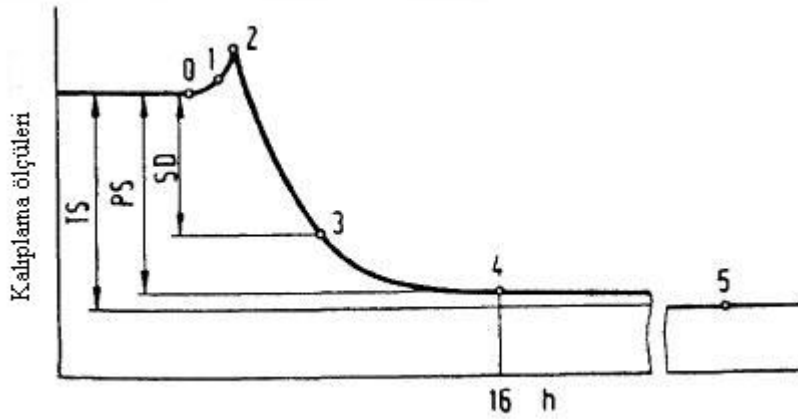
Çekmeyi tam olarak tanımlamak için bu ifade tek basma yeterli değildir.

Bir yandan kavitenin boyutları ısıl genişmeden (0-1) ve mekanik yüklemekten (1-2) dolayı değişirken, öte yandan zamanın parça boyutları üzerindeki etkisi göz önünde tutulmalıdır (2-5) (Şekil 6.7).

Parçanın kalıptan çıktığı andaki çekmesi (3) ile belirli bir süre geçtikten sonraki çekmesi

(proses çekmesi) (4) arasında bir fark vardır. Proses çekmesi normal ortam şartlarında 16 saat sonra ölçülür. Bu durumda kavite boyutları  $23 \pm 2 \text{ C}^\circ$  sıcaklık için belirlenir.

Eğer parça uzun süre stokta bekletilirse sıcaklık ve ortam değişikliklerinden dolayı parça boyutları değişebilir.(5) Bu değişiklik kalıntı gerilmelerin boşalmasından, malzemenin reoryantasyonundan ve kristalin malzemelerin yeniden kristalizasyonundan dolayı meydana gelir. Kristalin malzemeler hariç bu ikincil çekme ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Proses çekmesi ve ikincil çekmenin toplamına toplam çekme adı verilir.



Şekil 6.7 Zamana bağlı olarak boyutların değişimi

Ayrıca parçadaki malzeme akış yönüne de bağlıdır. Radyal çekme akış doğrultusundaki çekme, teğetsel çekme de akışa dik doğrultudaki çekmedir. Proses çekmesindeki fark radyal ve teğetsel çekmeler arasındaki farktır ve çekme anizotropisinin ölçüsüdür. Kalınlıktaki çekme kesit çekmesi olarak ölçülür ancak pratikte dikkate alınmaz.

Ölçüm için herhangi bir mekanik veya optik ölçü aleti kullanılabilir ancak özellikle yumuşak malzemeler için ölçme esnasında uygulanan ölçüm kuvvetinden dolayı meydana gelebilecek hatalar gözden kaçırılmamalıdır. Yukarıdaki ifadedeki boyutlar parça ve kavite hacmi ile değiştirilecek olursa aşağıdaki ifade ile verilen hacimsel çekme elde edilir.

$$S_v = \frac{V_c - V_M}{V_c} \quad (6.8)$$

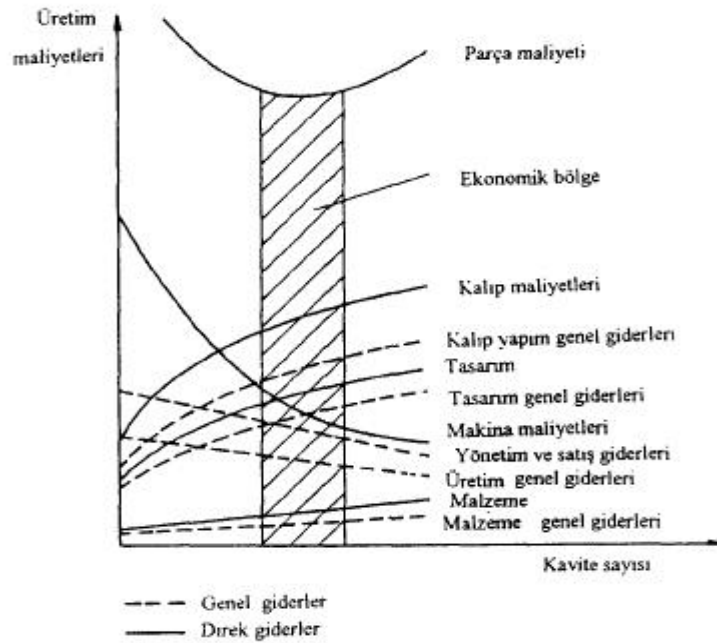
Boyutsal ve hacimsel çekmeden her biri diğeri ile ilgilidir ancak anizotropiden dolayı lineer çekme hacimsel çekme kullanılarak hesaplanamaz. Diğeri bir problem de hacimsel çekmeyi ölçmenin imkansız oluşudur.(Menges vd., 2001)

### 6.10.2 Kavite sayısının hesaplanması

Tasarımın ilk adımı kavite sayısının hesaplanmasıdır. Mevcut makine, ekipmanlar, istenen kalite ve maliyetler gibi teknik kriterler yanında kalıbın teslim tarihi gibi ekonomik kriterler de göz önüne alınmalıdır.

Herhangi bir parçanın üretim metodunun o parçanın maliyeti" ile yakından ilgili olduğu varsayımından hareket edilecek olursa, optimal çözümü bulabilmek için, özellikle kalıp tasarımında, maliyet hesaplaması daha tasarım aşamasında başlamalıdır. Burada önemli olan nokta maliyetlerin kaynağıdır. Bu maliyet kaynakları makine maliyetleri ürünle ilgili maliyetler, dolaylı kalıp maliyetleri, sabit giderlerdir.

Yukarıda gösterilen tüm maliyet grupları parça maliyetini ve kalıp maliyetini etkilerler. Bu grupların kavite sayısına göre değişimleri ve toplam maliyete etkileri de aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Kavite sayısını etkileyen maliyetler

Başlangıçta kavite sayısı, kalıp sistemi ve enjeksiyon makinesinin hangi kombinasyonunun en ekonomik çözümü verdiği bilinmediği için bu üç büyüklük daha önceden saptanmış limitler içinde değiştirilerek en ekonomik çözüm bulunmalıdır. İlk olarak kavite sayısının değişim aralığı daraltılmalıdır. Eğer kalite ve teslim zamanı ile ilgili herhangi bir özel istek yok ise birinci adımda parça boyutuna da bağlı olarak, pratik olarak uygun bir kavite sayısı ile başlanabilir. (Şekil 6.8) Eğrinin 10.000 den başladığına dikkat edilmelidir. Daha az sayıda

parça için kalıp amortisman bedeli çok yüksek olacağından işlem karlı olmaz çıkar ve azalan parça sayısı ile de ekonomik olmaktan iyice uzaklaşır. Bu yaklaşıma göre parçaların teslim zamanı ek bir zorlama getirmediği, 100.000 taneye kadar olan parçalarda tek kaviteli bir kalıp en ekonomik çözüm olacaktır. Eğer en uygun kalite ve üretilebilirlik göz önünde tutulacak olursa bu kural her zaman işe yarayacaktır.

### 6.11 Kavitelerin Yerleştirilmesi

Kavite sayısı bulunduktan sonra kavite kalıba mümkün olduğu kadar mantıklı bir şekilde yerleştirilmelidir. Modern enjeksiyon makinelerinde plastik ünitesinin kalıpla temas eden kısmı sabit makine plakasının ortasındadır. Bu durum yolluk burcunun yerini tayin etmiş olur. Kavite yolluk burcuna göre aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir;

- Bütün kavite aynı sıcaklıktaki ergimiş malzeme ile aynı zamanda dolmalıdırlar.
- Akış boyu atık malzeme miktarını minimum seviyede tutmak için kısa olmalıdır.
- Kavite arasındaki uzaklık soğutma kanallarına ve itici pimlere izin verecek kadar fazla olmalı ve enjeksiyon basıncının ortaya çıkaracağı kuvvetlere dayanabilecek yeterli kesit alanı sağlamalıdır.
- Bütün reaksiyon kuvvetlerinin bileşkesi plakaların ağırlık merkezinde olmalıdır.

Aşağıdaki şekilde kalıptaki kavite yerleşimlerinin temel seçeneklerini göstermektedir.

Kavite Yerleşimi	Avantajları	Dezavantajları
	Tüm kavitelere eşit akış boyu, özellikle vidalı parçalar için kalıptan kolay çıkarma	Kavite sayısının sınırlı olması
	Dairesel yerleşime göre aynı alanda daha fazla kavite	Eşit olmayan akış boyları Tüm kavite için özel tedbirler
	Özel tedbirler alınmaksızın tüm kavite için uniform olarak dolması	Daha büyük yolluk hacmi ve daha fazla atık malzeme Malzemenin çabuk soğuması

Şekil 6.9 Kavite yerleşimlerinin karşılaştırılması

#### 6.11.1 Enjeksiyon süresince kalıptaki kuvvetlerin dengesi

Eğer kavite merkezdeki yolluk burcuna göre eksantrik olarak yerleştirilmişlerse, kalıp ve

kilitleme ünitesi düzensiz kuvvetlerle yükleneceklerdir. Bu durumda kalıp bir tarafından açılmaya zorlanabilir. Bunun sonucu olarak çapak oluşumu ve makine kolonlarında olası bir hasar meydana gelebilir. Kalıpta bir kez çapak meydana gelip kalıbın sızdırmazlık sağlayan yüzeyini hasara uğrattırsa, kalıp bu andan sonra devamlı olarak çapak yapacaktır. Bu neredenle tasarım aşamasında ilk kural kalıpta meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin ve bunların sonucu olarak kilitleme sisteminde meydana gelen kuvvetlerin bileşkesi yolluk burcunun merkezine etkimelidir. Aşağıdaki şekil (Şekil 6.10) bir eksantrik ve bir de konsantrik yolluk sistemini göstermektedir.



Şekil 6.10 Eksantrik ve konsantrik yolluklu kavite yerleşimleri

Kompleks kalıplarda ağırlık merkezi bulunmalı ve kalıptaki kavite yerleri buna göre tespit edilmeye çalışılmalıdır. Her kalıp eksenine için ağırlık merkezi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$X_m = \frac{\sum (a_i \cdot x_i)}{\sum a_i} \quad (6.9)$$

Burada  $a_i$  kısmi projeksiyon alanıdır.

### 6.11.2 Ayırma yüzeyi sayısı

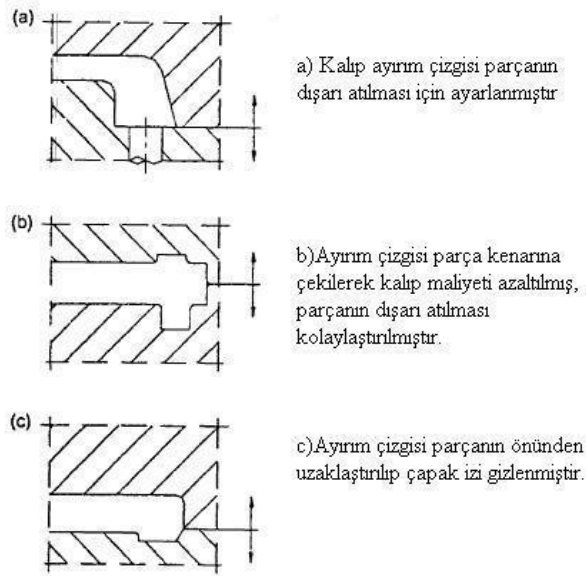
Kalıp açılırken parça ve yolluk ayırma çizgisinin içinde olduğu bir yüzey boyunca serbest kalırlar. Böylece katılmış plastik parça kalıptan çıkartılır ve kalıp bir sonraki çevrime hazır hale gelir. Standart bir kalıp tek bir ayırma yüzeyine sahiptir. Parça ve yolluk birlikte kalıptan çıkarlar.

Çoğunlukla çoklu girişe veya birden fazla kaviteye sahip kalıplardaki gibi yolluğun parçadan otomatik olarak ayrılması gerekiyorsa, yolluk sistemi için ilave bir ayırma yüzeyi (üç plakalı kalıplarda olduğu gibi) gereklidir ya da sıcak yolluklu bir kalıp kullanılır (tünel giriş hariç). Ayırma yüzeyini etkileyen parametreler ise ;

- Parça geometrisi
- Kavite sayısı
- Yolluk sistemi ve kavite girişi
- İtici sistemidir.

## 6.12 Kalıp Malzemelerinin Seçimi

Bir enjeksiyon kalıbı birçok parçanın bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Kalıp içindeki fonksiyonlarını sağlıklı yerine getirebilmeleri için uygun malzemenin seçimini gerektirir. Kavite ve çekirdek için malzeme seçimini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörler ekonomik şartlardan, parçanın şeklinden, kullanma alanından ve kalıplama malzemesinin spesifik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Alkaya, 1998;Esenlik, 2001) Burada öncelikle kaviteler için kullanılan malzemelerden bahsedilecektir. Taşıyıcı gövdeler ve diğer işlevsel elemanlar için ise genel yapım çelikleri kullanılır.



Şekil 6.11 Kalıp ayırım çizgisine örnekler

### 6.12.1 Kalıp kavite , çekirdek ve maça yapımında kullanılan çelikler

Çelikler kalıbın uzun ömürlü çalışmasını sağlayan tek malzeme grubudur. Uzun servis ömrü ise çelik üreticileri tarafından verilen ve çeşitli işlemlerle istenilen, kullanım için gerekli değerlere getirilen özelliklerle sağlanır. Bu da öncelikle uygun kimyasal bileşim ile elde edilir. Her alaşım elementi miktarına göre istenen malzeme karakteristiği üzerinde pozitif olduğu kadar negatif etkilere de sahiptir. İstenen malzeme özellikleri ise kalıbı tasarlayan ve yapanlarca belirlenir. Çeliklerden aşağıdaki özellikler beklenir;

- Talaş kaldırım işleminin ekonomik olmasına izin vermeleri
- Sorunsuz olarak ısıl işleme tabi tutulabilmeleri
- Yeterli tokluk ve dayanıma sahip olmaları
- Parlatmasının kolay olması

- Isıya ve aşınmaya dayanıklı olmaları
- Yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmaları
- Korozyona karşı dirençli olmaları

Kavite ve çekirdeklerin yüzey konturları genelde talaş kaldırma yöntemi ile oluşturulur. Dayanımları 600-800 Mpa civarında olan çelikler ekonomik olarak işlenebilmektedirler ancak dayanım değerleri 1500 Mpa kadar olan çelikler kullanılabilir. Dayanım değerleri 1200 Mpa'nın altındaki çelikler kullanım için yeterli olmadıklarından, işlendikten sonra sertleştirme ve temperleme gibi ilave ısıl işlemlerle istenilen dayanım seviyesine getirilirler.

Yüksek aşınma en etkili şekilde yüksek yüzey sertliği ile karşılanır. En iyi sertleşme ve üniform yüzey kalitesi yüzeyde katık olmayan en yüksek saflıkta ve en üniform yapıdaki çeliklerin kullanılması ile elde edilir. Tamamen saflaştırılmış çelikler kalıp yüzeyinin kusursuz olarak parlatılabilmesi için ön şarttır. Saflaştırma mekanik özelliklerinde iyileşmesini sağlar. Bu çelikler kalıp yapımında kavite lokmalarının yapımında özel bir önem kazanırlar.

Kalıp sıcaklığı ve kalıptaki soğutma kalıplanan plastik malzeme tarafından belirlenir. Termoplastiklerin büyük bölümünde işlem esnasında kalıp sıcaklığından (genellikle 120°C'nin altında ) kaynaklanan ısıl etki kalıp malzemesinin seçiminde pratik olarak önem taşımaz. Bununla birlikte ergime sıcaklıkları 400°C'ye ve işlem esnasındaki sabit kalıp malzemesinin mekanik özellikleri etkilenmektedir. Aşınma ve distorsiyon eğilimi artmakta, sürtünme ve yorulma değerleri azalmaktadır. Bu durum en uygun malzemenin seçimi yapılırken dikkate alınmalıdır.

Katılaştıran parçadan kalıba doğru meydana gelen ısı akışı parça maliyetinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu ısı değişimi yapı içindeki alaşım elementleri tarafından etkilenen malzemenin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Alaşım elementlerinin farklı olması ısı iletim katsayısını değiştirir. Kabuk sertleşen veya nitrasyon işlemine tabi tutulan malzemelerde bu işlemler yüzeyde basma gerilmelerine neden olduğu için çentik duyarlılığıda göz önüne alınmalıdır. Yinede tasarım ve üretim aşamalarında çentik oluşumundan kaçınmak için belirli bir dikkat gösterilmelidir.

Bazı plastikler işlem sırasında hidroklorik asit, asetik asit ve formaldehit gibi kalıp malzemesini etkileyecek kimyasal maddelerin serbest kalmasına neden olurlar. Bu maddeler eğer korunmamışsa kalıp yüzeyine hasar verirler. Eğer kalıplar uygun tasarlanıp üretilmedilerse yüzeye elektrokimyasal yöntemlerle kaplanmış sert krom veya nikel tabakası yüzeyden ayrılma eğilimine sahip olacağı için, bu şartlar altında çalışan kalıplarda korozyon dirençli çelikler kullanılır. Böylelikle nemden veya soğutucudan dolayı meydana gelecek olası

korozyondan korunmak için de daha fazla önlem almaya gerek kalmaz. Burada bahsedilen gereksinimler kısmi olarak birbiriyle zıttırlar. Bu yüzden kalıp tasarımcısı ve üreticisi yapılacak işe uygun çelik türünü seçmelidirler. Kaviteilerin ve çekirdeklerin yapımında kullanılacak çelik türleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Kabuk sertleşen çelikler (2162, 2341, 2764)
- Nitirasyon çelikleri (2307, 23917Z89T)
- Tüm kütlece sertleşen çelikler (2343,2379,2767, 2842)
- Martenzit sertleşmesi yapan çelikler (2311, 2312, 2711, 2738)
- Korozyona dayanıklı çelikler (2083; 2316, 2394)
- Saflaştırılmış çelikler (2767)

### 6.12.2 Kalıbın diğer kısımlarında kullanılan malzemeler

Plastik enjeksiyon kalıplarının kavite, çekirdek ve maçaların malzemeleri belirlendikten sonra diğer kısımların malzemelerin seçimi parçayı şekillendiren kısımlarinkine göre daha kolaydır. Bu kısımlar içinde en önemlileri ise iticiler ve yolluk burcudur. Bu kısımlardan iticiler için, kullanılan itici sistemi önem kazanmakla birlikte itici pimler için 1.2344 gibi sıcak iş takım çeliklerinden yapılmış iticiler kullanılır. Yolluk burcu için ise kullanılan malzemeye göre aşınmaya ve korozyona dayanıklı ve kolay parlatılabilen çelikler kullanılmalıdır. Bunlara örnek olarak 52-56 HRC ye sertleştirilmiş 1.2826 malzemesi verilebilir. Daha sonra taşıyıcı gövdeler ve plakalar gelmektedir. Bu tür elemanlarda kalıp boyutuna göre standart setler halindedir. Bu tür setlerin kullanılması işçilik zamanlarını kısaltmaktadır. Standart kalıp setlerinde eğer kavite doğrudan kalıp plakasına işlenecekse, kalıp plakası 1.2312, 1.2162, 1.2344, 1.2767, 1.2311 gibi malzemelerden yapılır. Eğer kalıp plakası taşıyıcı gövde olarak kullanılacaksa C45W vb. takım çeliklerinden yapılırlar. Bu elemanlar atölye şartlarında ham plakalardan da üretilebilir. Bu durumda kalıp setlerindeki sınırlamalardan kurtulmak mümkündür. Atölye şartlarında üretimde de C45W, St37 vb. malzemeler kullanılarak kalıp plakaları üretilir.

Merkezleme elemanları da hazır olarak bulunmaktadır. Bunlar merkezleme pimleri ve burçları, merkezleme halkaları, konik merkezleyiciler ve doğrusal merkezleyicilerdir. Merkezleme pimleri tipik olarak 1.7131 malzemelerden üretilirler. Yüzey sertlikleri 60-62 HRC civarındadır. 800-1100 N/mm<sup>2</sup> mukavemet değerlerine sahiptirler. Merkezleme yapan kısımların tamamı taşlanmış olarak üretilir.

Merkezleme elemanları da hazır olarak bulunmaktadır. Bunlar merkezleme pimleri ve

burçları, merkezleme halkaları, konik merkezleyiciler ve doğrusal merkezleyicilerdir. Merkezleme pimleri tipik olarak 7131 malzemedan üretirler. Yüzey sertlikleri 60-62 HRC civarındadır. 800-1100 N/mm<sup>2</sup> mukavemet değerlerine sahiptirler. Merkezleme yapan kısımların tamamı taşlanmış olarak üretir.

Merkezleme burçları da merkezleme pimleri ile aynı malzemedan üretirler. Sertlik ve mukavemet değerleri pimlerinki ile aynıdır. Merkezleme yapan kısımlar tamamen taşlanmış olarak üretirler. Merkezleme halkaları sabit kalıp yarısında yolluk burcunun hemen arkasında yer alırlar. Görevleri makinenin lülesi ile kalıbın merkezlenmesini sağlamaktır. Tipik olarak St 37-2 den üretirler. Kalıpta merkezleme pimleri ve burçlarına ilave olarak konik veya doğrusal merkezleme elemanları da kullanılabilir. Bunlar da tipik olarak 71 JT7 malzemelerden yapılırlar. Sertlikleri 58-62 HRC civarındadır.

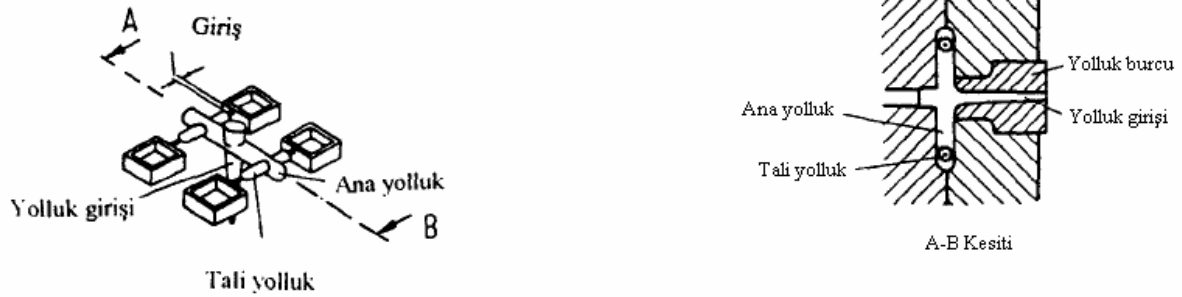
## 7. YOLLUK SİSTEMLERİ VE TASARIMI

### 7.1 Komple Bir Yolluk Sisteminin Karakterize Edilmesi

Yolluk sistemi plastik ünitesinden gelen ergimiş malzemenin kavitelere sevk edilmesini sağlar. Konfigürasyonu, boyutları ve parça ile olan bağlantısı kalıbın dolma işlemi dolayısı ile de parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Çabuk katılaşma ve kısa çevrim zamanı gibi ekonomik unsurları baz alarak yapılan bir tasarım özellikle teknik olarak bir takım özelliklere sahip olması istenen parçalardan beklenen kalitenin sağlanması için uygun değildir.

Bir yolluk sistemi genellikle farklı kısımlardan oluşur. Bu durum özellikle çok kaviteli kalıplarda daha da belirgindir. Aşağıdaki şekil (Şekil 7.1) bir yolluk sistemini oluşturan kısımları göstermektedir. Bu kısımlar şunlardır;

- Yolluk girişi
- Yolluklar (birincil (ana) ve ikincil (tali) yolluklar)
- Parça girişi



Şekil 7.1 Yolluk sistemi

Yolluk burcu ergimiş malzemeyi plastik ünitesinden alır ve genellikle kendisine dik olan ayırma yüzeyi boyunca ona kılavuzluk eder. Çok sık rastlanan bir durum olarak tek kaviteli kalıplar da sadece yolluk girişi vardır ve parça ileride inceleneceği şekilde sadece yolluk girişlidir.

Yolluklar, yolluk girişini parça girişine veya girişlerine bağlarlar. Yolluğun ana amacı özellikle çok kaviteli kalıplarda kaviteletin aynı zamanda ve aynı şartlar (eş sıcaklık ve basınç) altında dolmasını sağlamaktır.

Parça girişleri ise yollukla kavite arasındaki geçişi sağlarlar. Yolluğun parçadan kolayca ayrılabilmesi ve ayrıldıktan sonra bıraktığı izin parça görünümünü etkilememesi için parça girişleri ince yapılırlar.

## 7.2 Yolluk Girişi

Yolluk girişi genellikle yolluk burcu içinde şekillendirilir. Kalıp kapandıktan sonra ve makine plastik ünitesinin lülesi, kalıp ve plastik ünitesi arasındaki geçiş noktasını dışarıya izole edecek şekilde ileri doğru itildiğinde, malzeme plastik ünitesinden yolluk girişine doğru akar. Bu olay kalıbın bu bölgede lokal olarak önemli ölçüde yüklenmesine neden olur ve bu bölgenin diğer kısımlara göre daha çabuk aşınmasına neden olur. Bu nedenle yolluk burcu çelikten yapılarak sertleştirilir ve kalıba insert olarak takılır. Böylelikle aşındığı zaman kolaylıkla değiştirilebilir.

Temas yüzeyi yalıtma yüzeyi de olması nedeniyle özel bir önem taşır. Düzlem ve küresel temas yüzeyleri arasında fark vardır. Düzlem temas yüzeyleri sızdırmazlığı sağlamak için daha yüksek basınçlar gerektirirler. (Şekil 7.2) Bu yüzden çoğu halde küresel temas yüzeyleri sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kullanılırlar. (Şekil 7.2) Yolluk burcuna, makine lülesinin uç kısmının yerleştirileceği fazla derin olmayan küresel bir girinti yapılır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 7.2) gösterilen küresel temas yüzeyinin boyutları aşağıdaki genel koşullar çerçevesinde saptanır.

$$R_N + 1 < R_S \cdot d_S < (d_x - 1) \quad (7.1)$$

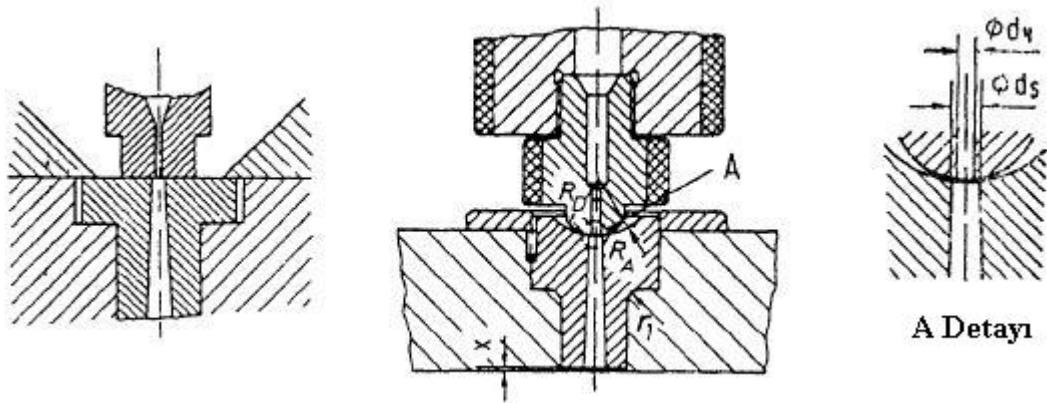
Burada;

$R_N$  : Plastik ünitesi lülesinin küresel uç yarıçapı

$R_S$  : Yolluk burcu küresel girintisinin yarıçapı

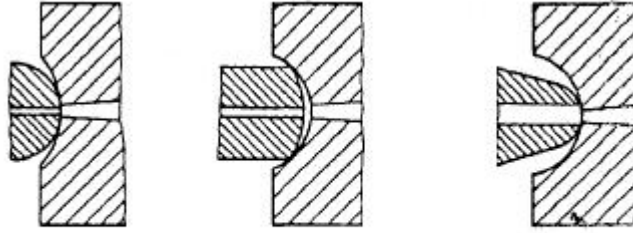
$d_N$  : Plastik ünitesi lülesinin orifis çapı

$d_x$  : Yolluk burcunun orifis çapı



Şekil 7.2 Makine lülesi ve yolluk burcu

Eğer bu koşullar sağlanmazsa aşağıdaki şekilde (Şekil 7.3) gösterildiği gibi katılaşmadan sonra yolluk girişinin kalıptan çıkışını engelleyen bir çıkıntı meydana gelir.

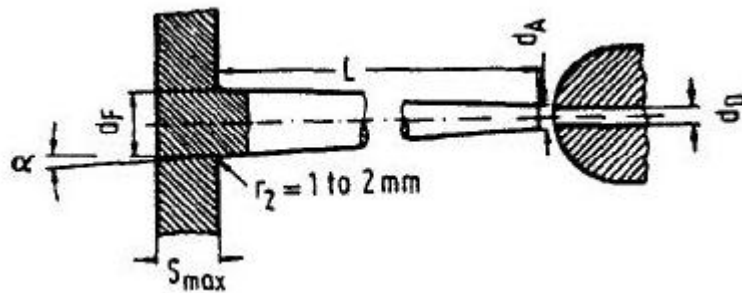


Şekil 7.3 KONTAK BÖLGESİNİN DOĞRU VE YANLIŞ TASARIMLARI

Yolluk girişinin dip kısmının boyutları parçanın boyutlarına ve özellikle de parçanın kesitlerinin kalınlığına bağlıdır. Göz önüne alınması gereken kurallar şunlardır;

- Yolluk girişi, enjeksiyondan sonraki tutma safhasında ki tutma basıncını iletebilmek için diğer herhangi bir kesitten daha önce katılaşmamalıdır. Ancak bu şartın sağlanması için de çevrim zamanını uzatacak şekilde çok kalın olmamalıdır.
- Yolluk girişi kalıptan kolaylıkla çıkartılabilmelidir, bu yüzden uç kısma doğru inceltilmelidir. Bu inceltme miktarı çoğu halde en iyi sonucu sağlamak için  $1^\circ$  den fazladır ve  $4^\circ$  civarındadır.

Bu şartlar aşağıdaki şekilde (Şekil 7.4) gösterilen kuralların ortaya çıkmasına neden olur.



Şekil 7.4 YOLLUK GİRİŞİNİN BOYUTLANDIRILMASI

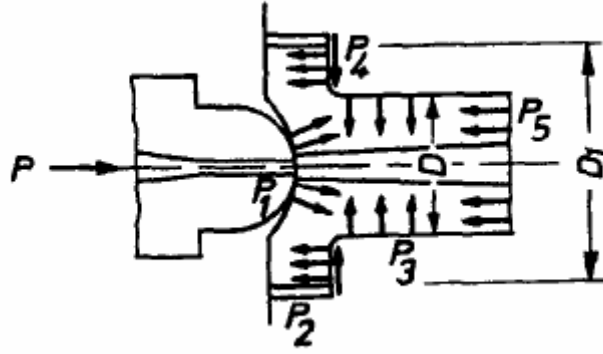
$$d_F \geq S_{\max} + 1.5 \text{ mm} \quad \alpha \geq 1^\circ \dots 2^\circ \quad (7.2)$$

$$d_A \geq d_D + 1 \text{ mm} \quad \text{tg } \alpha \geq (d_F - d_A) / 2L \quad (7.3)$$

Yolluk girişi ve parça (tek kaviteli kalıplarda) arasındaki geçişin keskin olmasını önlemek ve malzemenin akışını kolaylaştırmak için yolluk girişinin dip kısmında  $r_2$  gibi bir geçiş

yarıçapının bulunması önerilir.

Plastik ünitesinin lülesi yolluk burcuna sızdırmazlığı sağlamak amacı ile belli bir kuvvetle itildiğinde yolluk burcu üzerine aşağıdaki şekilde (Şekil 7.5) görülen kuvvetler etkir. Yolluk burcu değişken kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu yüzden burcun flanş kısmının D çapı (eğilme momentinin etkisini azaltmak için) çok büyük olmamalıdır. Silindirik kısmın D çapı da yolluk burcu ve kalıp arasındaki sıcaklık farkının minimum olması için mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Sabit kalıp yarısının sıcaklığının üniformluğunu bozan daha sıcak bir yolluk burcu, istenmeyen izlere, çökmelere, distorsiyonlara v.b. sebep olur.



Şekil 7.5 Yolluk burcuna etkiyen kuvvetler

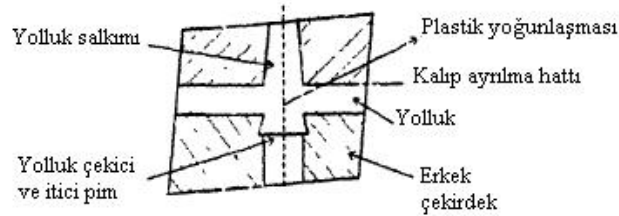
Dayanım yönünden Şekil 7.2 deki  $r_1$  geçiş yarıçapı sertleştirilmiş yolluk burcunun keskin köşesindeki çentik etkisini azaltmak için mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Plastik ünitesinin lülesinin itmesi ile oluşan kuvvetlerin meydana getireceği deformasyonu kompanze edebilmek amacıyla yolluk burcu maksimum 0.2 mm kısa yapılabilir. (Şekil 7.2 deki x mesafesi)

Yarı mamul halde yolluk burçları standart kalıp elemanı üreticileri tarafından yapılmaktadır. Kalıp üreticisi sadece konik delik kısmını işleyerek bu burçları kullanabilmektedir. Bu deliğin yüzey kalitesine özel bir önem verilmelidir. Parçanın kalıptan çıkış doğrultusuna dik yönde yapılan taşlama ve parlatma işlemleri parçanın kalıptan çıkışını zorlaştıran ve özellikle otomatik çalışmada kalıplama çevrimini kesintiye uğratabilecek girintiler meydana gelmesine neden olabilir. Bunu engellemek için delik çok iyi parlatılmalı hatta korozif özellik taşıyan malzemelerin kalıplanması durumunda krom kaplanmalıdır. Bu koşullar sağlandığında tek kaviteli kalıplarda, yolluk girişi hareketli kalıp yarısında kalmış bulunan parça ile birlikte sabit kalıp yarısından ayrılacaktır. Yolluk girişinin yolluklarla irtibatlı olduğu çok kaviteli kalıplarda veya birden fazla girişi olan tek kaviteli kalıplarda ise yolluk girişini sabit kalıp

tarafından ayırmak için ek konstrüktif tedbirler gereklidir. Yolluk girişinin tam karşısına profili bir girinti oluşturarak yolluk girişini çeken bir çekici yerleştirilir (Şekil 7.6). Parçanın kalıptan çıkarılması esnasında çekici profil yolluk girişini serbest bırakır ve parça kalıptan boşluğa düşer (Menges, 2001).

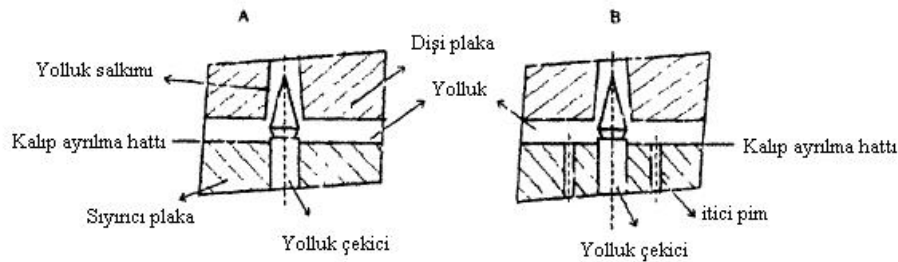
### 7.3 Yolluk İtici ve Çekiciler

Yolluk çekiciler kalıp açıldığında plastik ürünle beraber yolluğun ve yolluk salkımının erkek çekirdek üzerinde kalmasını sağlamak üzere itici deliğinin bir kısmında ters açı verilerek yaratılan bölümdür. Kalıbın otomatik olarak çalışması tercih edildiğinden yolluğun her zaman risksiz bir şekilde ürünle beraber kalıptan çıkması gerekir. Çekici etrafındaki plastik yoğunluğu ve hacmi arttığından itici çevrimi başlamadan önce kalıp sıcaklığının istenen seviyeye kadar düşmüş olması gerekmektedir. Çünkü çekicinin etrafını çevreleyen plastik hala tam soğumamış ve hala yumuşaksa çekici görevini tam olarak yerine getiremeyecektir. Şekil 76'da görüldüğü gibi yolluk çekici etrafında oluşan plastik yoğunluğu tam soğuma sağlayabilmek için soğutma çevrimini uzatacaktır. Yolluk kesitinin, yolluk salkımının veya çekicinin altında yer alan itici pim çapını daha küçük tutarak buranın plastik yoğunluğu bir ölçüde azaltılmış olur.



Şekil 7.6 Yolluk çekicinin bulunduğu yerde görülen plastik yoğunlaşması

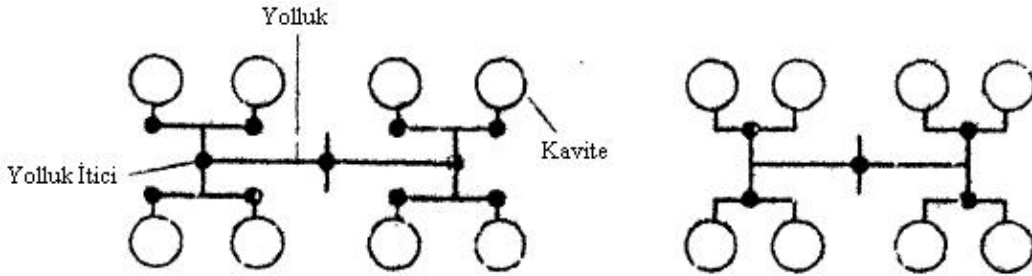
Yukarıda bahsedilen plastiğin çekici etrafında yoğunlaşmasını önlemek için Şekil 7.7'de gösterildiği gibi değişik konfigürasyonlar uygulanabilir. Böylece çekici etrafında plastik kütlelerinin artması önlenir ve bu bölgenin soğuma verimi artmış olur.



Şekil 7.7 A) Sıyrıcı plakalı çekici B) İtici pimlerle beraber çekici uygulaması

#### 7.4 Yolluk Çekicilerin Sayısı ve Yerleşimi

Yolluk çekicilerin sayısı ve yerleşimi kullanılan plastik malzemeye bağlıdır. Tasarımcı bu sayıyı minimumda tutmaya çalışmalıdır. Çünkü ilave her yolluk çekici kalıp maliyetini, işçiliğini ve süresini arttıracaktır. Ayrıca kalıp plakasında çok sayıda delik açmak plakadan geçirilecek su kanallarını olumsuz etkileyecektir. Genellikle sert veya tok plastik malzemeler kullanılıyorsa daha az yolluk çekici veya iticiye ihtiyaç duyulur. Yolluk et kalınlığı plastik ürünün et kalınlığından her zaman daha fazla olduğu için yolluğun geçtiği bölgede aşırı ısınma gözlenecektir. Bu bölgenin ardından su kanalı geçirilerek etkili bir soğutma yapılmalıdır. Oysa burada kullanılan yolluk itici veya çekiciler için açılan delikler istenildiği gibi su kanalı geçirilmesine izin vermeyecektir. Yumuşak veya oldukça esnek plastik kullanıldığında sert, tok plastiğe göre çok daha fazla yolluk çekici kullanmak gerekir (şekil 7.8). Dengeli yolluk dağılımı kalıbın dolmasını nasıl etkiliyorsa, dengeli bir yolluk itici sistemi kurmak da plastik ürünün kalıptan dengeli bir şekilde çıkması için önem taşır. Yolluğun kalıptan ürünle beraber uzaklaştırılmaması kalıbın güvenliği için büyük tehlike yaratabilir.



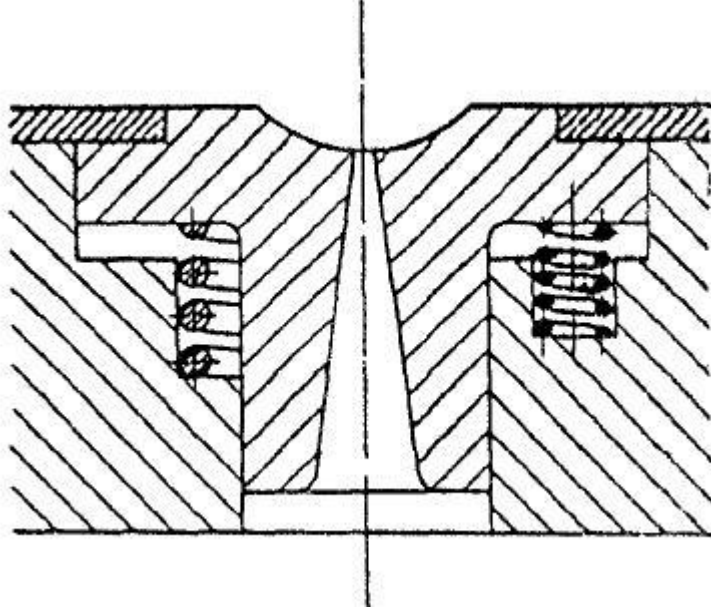
Şekil 7.8 Yumuşak ve sert malzemeye göre yolluk iticilerinin yerleşimi

Şekil 7.8'de solda yumuşak malzemeye göre, sağda ise daha sert malzemeye göre yolluk iticilerin yerleşimi görülmektedir

Yolluğun otomatik olarak üründen koparılıp kalıptan çıkarılabilmesini sağlayan metotlardan biri de üç plakalı kalıp tasarımı yapmaktır, iki plakalı kalıplarda tünel yolluk girişi kullanıldığında yolluk otomatik olarak üründen kopar. Fakat her ürüne tünel yolluk girişi yapmak mümkün olmayabilir. Bununla beraber yolluğun otomatik olarak atılması istendiğinde üç plakalı kalıp tasarımı iyi bir çözüm olacaktır. (Kamber, 2003)

Yolluk girişini yolluk burcundan ayıran ancak daha az kullanılan bir başka yöntem de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. (Şekil 7.9) Yolluk burcu bir yay tarafından sıkıştırılmaktadır. Kalıp dolduktan sonra plastik ünitesi lülesi yolluk burcundan ayrılır ayrılmaz yay veya yaylar

yolluk burcunu geriye doğru iterek yolluk girişinden ayrılmasını sağlarlar. Şekilde iki farklı tasarım gösterilmektedir. Birincisinde büyük bir yay tek başına kullanılırken ikincisinde çevresel olarak sıralanmış küçük yaylar kullanılmaktadır. Bu yöntem sadece plastik ünitesinin vida kısmının içinde bulunduğu silindirik kısmın ileri geri hareket ettiği makinelerde kullanılabilir.



Şekil 7.9 Yay ile sıkıştırılmış yolluk burcu

## 7.5 Yolluk Kavramı Ve Tanımı

### 7.5.1 Yolluk sisteminden beklenenler

Yolluk sisteminin boyutlandırılması temel olarak parçanın konfigürasyonu, kullanılacak olan plastik malzeme, enjeksiyon makinesi ve kalıp gibi bir çok faktörden birden etkilenir. Bütün bu faktörler aşağıdaki şekilde (Çizelge 7.1) daha detaylı olarak gösterilmiştir. Bunun yanı sıra yolluk sisteminin kalite istekleri ve ekonomik beklentiler gibi konularda yerine getirmesi gereken fonksiyonlar da vardır. Bunlar Çizelge 7.2 de özetlenmiştir.

Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler;

- Kavite en az birleşme hattı oluşumu ile dolmalı
- Akışı zorlaştıran engeller mümkün olduğu kadar az olmalı
- Toplam ağırlık içindeki payı mümkün olduğu kadar az olmalı
- Kalıptan kolay çıkartılabilmeli
- Parça görünüşü etkilenmemeli

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

Çizelge 7.1 Yolluk sisteminin tasarımını etkileyen faktörler

Parça ile ilgili faktörler	Kalıplanacak malzeme
Geometri	Viskozite
Hacim	Kimyasal kompozisyon (amorfor veya yarı kristalize)
Cidar kalınlığı	Dolgu maddeleri
Boyutsal	Donma süresi
Optik	Yumuşama aralığı
Mekanik kalite beklentileri	Yumuşama sıcaklığı
	Isıya duyarlılık
	Çekme
Makine	Kalıp
Kilitleme türü	Parçanın otomatik olarak çıkarılması
Enjeksiyon basıncı	Parçanın elle çıkarılması
Enjeksiyon hızı	Yolluk sisteminin sıcaklığı

### 7.5.2 Yolluk sistemlerinin sınıflandırılması

Kendisinden beklenenleri yerine getirmesi için yolluk sisteminin tasarımında tasarımcı daha basit veya daha zor olan çeşitli seçeneklere sahiptir. Bu yüzden aşağıdaki tasarım çözümlerinden herhangi birini seçebilir.

- I. Yolluklar parça üzerinde kalırlar ve daha sonra kesilirler.
- II. Yolluklar parçadan otomatik olarak ayrılırlar ve ayrı olarak kalıptan çıkartılırlar.
- III. Yolluklar parçadan otomatik olarak ayrılırlar ancak kalıp içinde kalırlar.

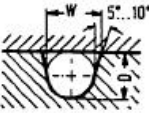
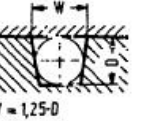

### 7.5.3 Yollukların tasarımı

Yolluklar, yolluk girişini kavite girişleri ile kaviteye bağlar. Malzemeyi ergimiş halde iken

aynı halde, aynı sıcaklıkta, aynı basınçta ve aynı zamanda kavitelere dağıtılmalıdırlar. Plastikleşmiş malzeme soğutulmuş kalıbın yolluklarına büyük bir hızla girer. Kalıp duvarlarına yakın olan malzemedan ısı hızla çekilir ve malzeme soğuyarak katılaştır. Bu durum kanalın merkezinde akan malzeme için bir ısı yalıtım tabakası meydana getirir. Kaviteyi doldurmak için akan plastik, sıcak akışkan bir çekirdek haline gelir. Bu sıcak çekirdek parça tamamen katı hale gelene kadar korunmalıdır. Enjeksiyondan sonraki tutma safhasındaki tutma basıncı ancak bu halde katılaşma süresince meydana gelecek olan hacimsel çekmeyi kompanze edebilmek için tam olarak etkiyebilir.

Bu gereksinim yolluğun geometrisini belirler. Malzeme tasarrufu ve soğuma koşullarından dolayı yüzey/hacim oranı oldukça küçük olmalıdır. Yolluğun boyutları, parça büyüklüğüne, kalıbın tasarımına ve kalıplanan plastik malzemenin cinsine bağlıdır. Genel bir kural olarak, artan parça boyutu ve cidar kalınlığı ile yolluk kesiti arttırılmalıdır. Büyük kesitler akışa gösterilen direncin kesit alanı ile ters orantılı olması nedeniyle ince kesitlere göre kalıbın daha kolay dolmasını sağlar. Düşük viskoziteye sahip plastikler de daha uzun veya ince kesitli yolluklara (daha uzun akış boylarına) izin verirler.

Bunların yanında parçanın mümkün olduğunca ekonomik üretilme gereksinimi söz konusudur. Yolluk artık malzeme miktarını ve parça boyutuna göre büyük ise muhtemelen soğuma zamanını da etkiler. Bu yüzden gerekli yolluk çapı Hagen-Poiseuille yasasının yardımı ile de dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır. Yolluktaki basınç kaybı da bu şekilde hesaplanabilir.

 <p><math>D = s_{max} + 15 \text{ mm}</math></p>	<p><b>Avantajlar:</b> Kesit alanına göre en küçük yüzey, yavaş soğuma hızı, düşük ısı ve sürtünme kayıpları, kanal merkezinin en son donması nedeniyle tutma basıncının etkili bir şekilde iletilebilmesi</p> <p><b>Dezavantajlar:</b> Her iki kalıp yarısına işlenmesi zor ve pahalı</p>
	<p><b>Avantajlar:</b> Dairesel kesite en iyi yaklaşım, tek bir kalıp yarısına kolayca işlenebilme</p> <p><b>Dezavantajlar:</b> Dairesel kesite göre daha fazla ısı ve malzeme kaybı</p>
 <p><math>W = 1,25 \cdot D</math></p>	<p>Parabolik kesite alternatif</p> <p><b>Dezavantajları:</b> Parabolik kesite göre daha fazla ısı ve malzeme kaybı</p>
	<p>Kaçınılması gereken istenmeyen kesitler</p>

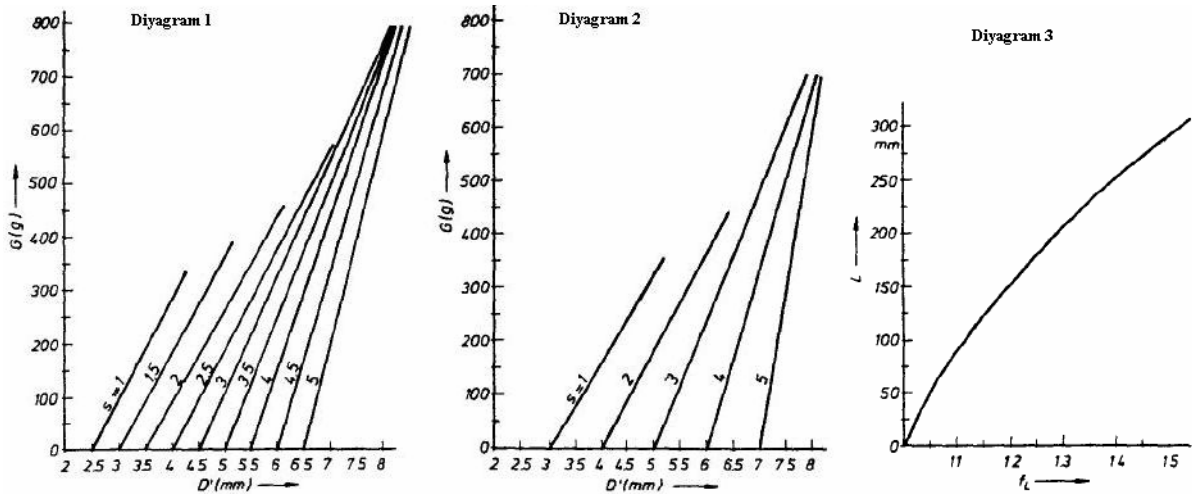
Şekil 7.10 Yolluk kesitleri

Yolluğun kesin boyutları ve yüzey kalitesi parçanın kalitesi için olduğu kadar ekonomiklik açısından da önemlidir. Yukarıdaki şekil (Şekil 7.10) en yaygın kullanılan yolluk kesitlerini, avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. Buradan parabolik kesitli yolluğun en uygun kesit olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yollukların en son katılaşması gerektiğinden çapları kalıplanan parçanın kesit kalınlığına bağlıdır. Yolluk çapı en kalın kesitten 1.5 mm. daha kalın olmalıdır.

$$D = S_{\max} + 1.5 \text{ mm} \quad (7.4)$$

Aşağıdaki şekilde (Şekil 7.11) değişik malzemeler ve yolluktan geçen hacimleri veya kütleleri için nomogramlar gösterilmiştir. Veriler ampirik olmakla beraber 30 Mpa dan daha küçük olan kabul edilebilir basınç kayıpları için yolluk boyuna bağlı olarak yolluk çapının hesaplanmasını sağlar.



Şekil 7.11 Yolluk kesitini hesaplamak için kullanılacak nomogramlar

Şekil 7.11 deki nomogramlar şu şekilde kullanılır.

- Önce parça ağırlığı G (gram) ve parça cidar kalınlığı s(mm) saptanır.
- İlgili malzemeye ait diyagramdan D' değeri alınır.
- Yolluk boyu L (mm) saptanır.
- 3 no'lu diyagramdan L'ye karşılık gelen  $f_L$  düzeltme faktörü bulunur.

Yolluk çapı  $D = D' \cdot f_L$  ifadesi ile hesaplanır.

Yolluğun yüzey kalitesi kalıplanan plastiğin cinsine bağlıdır. Katılarak ısı yalıtımı yapan katı kabuğun akan sıvı malzeme tarafından yerinden alınıp götürülmemesi için parlatılmamış yolluk yüzeyinin avantaj olduğu düşünülebilir. Ancak PVC, polikarbonat ve poliasetal gibi

bazı plastikler için parçada oluşabilecek hatalardan kaçınmak için yolluk yüzeyinin çok iyi parlatılması hatta krom kaplanması gereklidir.

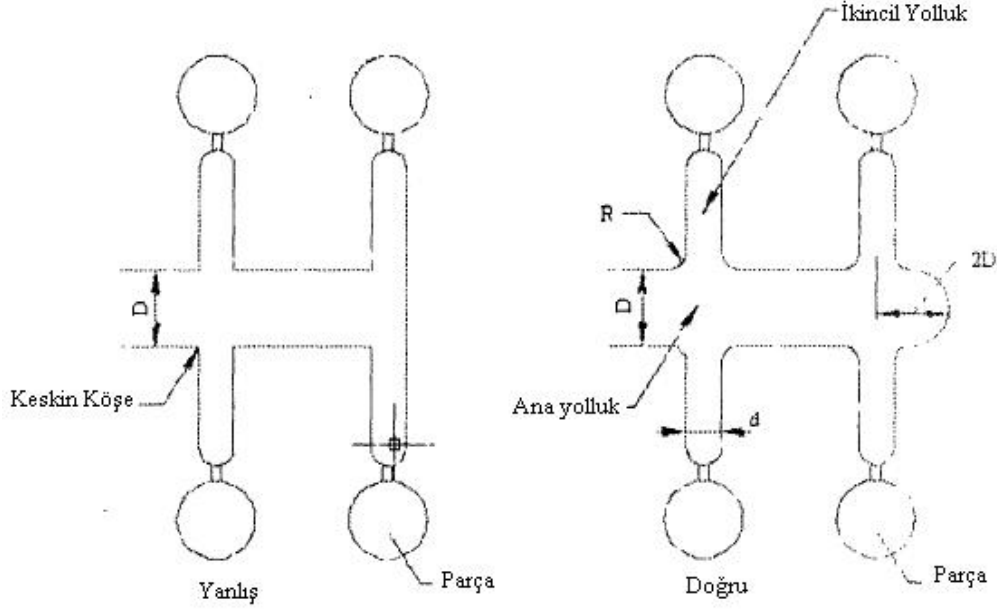
Birden fazla kaviteli kalıplarda malzemenin bütün kavileri üniform olarak ve aynı anda doldurması özellikle önemlidir. Yalnızca eşit tutma basma uygulandığında plastik her yerde aynı anda katılır. Bu koşulun kolayca gerçekleşebilmesi için bütün akış yolları aynı uzunlukta yapılır. Tamamen aynı olan akış yolları çoğunlukla yolluk girişinin merkezde olduğu kavilerin dairesel şekilde yerleştirildiği düzenle elde edilir. Yine çok sıklıkla kullanılan bir diğer tasarım da kavilerin ardışık olarak yerleştirildiği ve bir ana yolluğa bağlı tali yolluklarla beslendikleri seri yerleşimdir. Ancak bu yerleşim şekli ile eşit akış boylarının elde edilmesi mümkün değildir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için ise kavilerin simetrik olarak dizildiği düzen kullanılır (Menges, 2001)

#### **7.5.4 Yolluk şekli belirlenirken dikkat edilmesi gereken faktörler:**

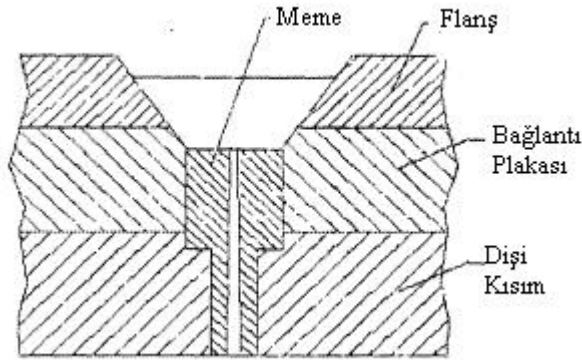
- a ) Kalıbın her gözüne eşit basınç nakledilmesi sağlanmalıdır.
- b ) Her kalıp gözüne giren yolluğu mümkün olduğunca kısa yapmalıdır.
- c ) Kalıptan kolayca çıkması sağlanmalıdır. Profilleri umumiyetle trapez veya yuvarlak olmalıdır.
- d ) Uygun şekilde fonksiyonunu yerine getirirken en düşük ağırlıkta olmalıdır.
- e ) Kalıp yolluk girişi içi kesinlikle konik rayba ile raybalanmış ve çok özel bir şekilde parlatılmış olmalı. Aksi takdirde yolluğun memeden çıkmaması gibi problemlerle karşılaşılabilir.
- f ) Bütün yolluk sistemleri ve bütün yan yolluklar veya bağlantıları mümkün olduğunca basınç düşmesini minimize etmek için yuvarlanmalı ve dairesel formlar kazandırılmalıdır.
- g ) Yolluğun sonuna, erimiş akan plastiğin önündeki daha az sıcak plastiği, hapsetmek için boşluk yapılmalıdır. Bu daha az soğuk plastik parça içinde kaynak etkisi yapar boşluğun boyu, yolluk çapına eşit olmalıdır. Şekil 7.12
- h ) Tüm yolluklar parlatılmalı kesinlikle freze çakısı izleri bulunmamalıdır.
- i ) İkincil yolluklar ana yolluklarda daha ince olmalıdır. Plastik, yolluk sayesinde her göze doğru ilerlerken hiçbir zaman sert köşelere rastlamamak, her zaman radyüs veya yuvarlak bir açı ile diğer ikincil yolluğa bağlanmalıdır.
- j ) Otomatik çalışan kalıplarda yolluk kopması kolayca olabilecek şekilde açılmalıdır.

k ) Kalıp giriş yolu boyu mümkün olduğunca kısa tutulmalı gerekirse meme kalıp içerisine gömülmelidir. (Şekil 7.13-7.14)

Bu tür uygulamalarda meme boyu kısa olduğu için ana yolluk boyuda kısılacaktır. Bu da hem zaman, hem de hammaddeden tasarruf sağlamaktadır (Kamber, 2003)



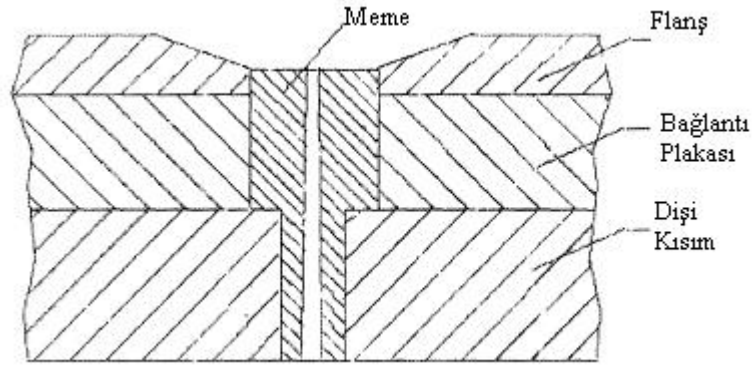
Şekil 7.12 Yanlış ve doğru ikincil yolluk uygulamaları



Şekil 7.13 Kalıba gömülmüş meme

### 7.5.5 Standart yolluk sistemleri

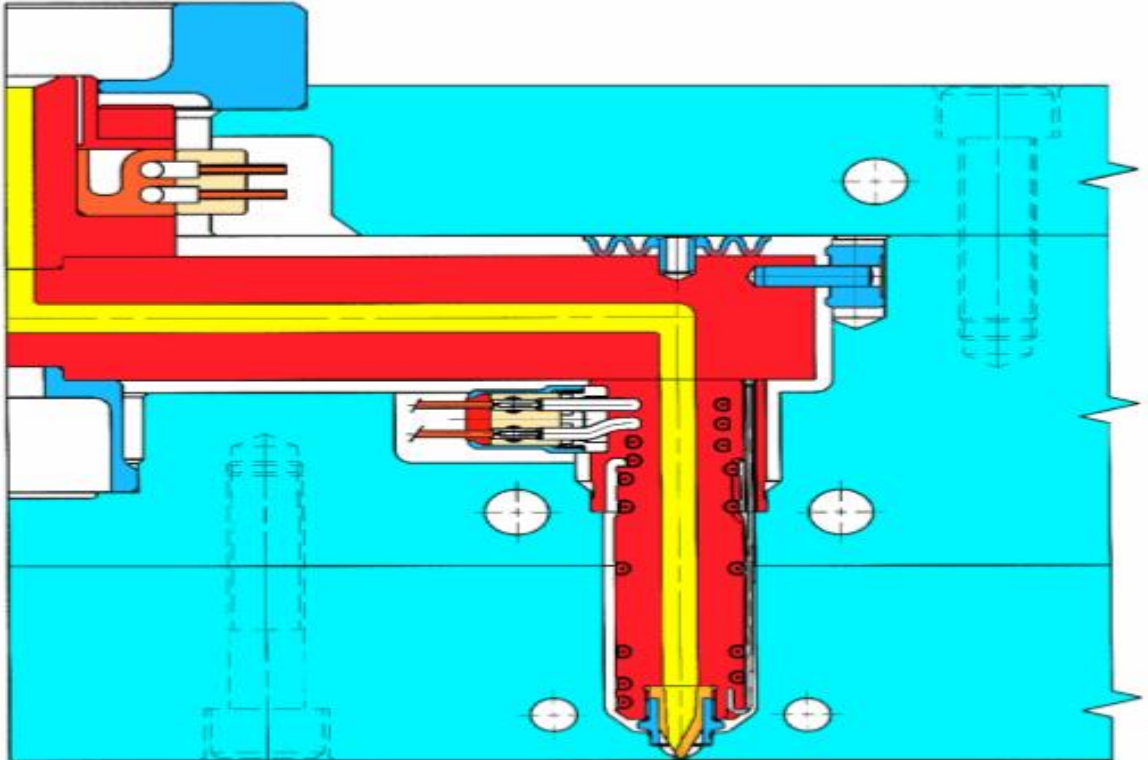
Standart yolluklar doğrudan kalıp plakaları üzerine açılırlar. Bu yüzden sıcaklıkları kalıp sıcaklığı ile aynıdır. Yolluk içindeki malzeme enjeksiyondan sonra katılaştır ve her çevrimden sonra parça ile birlikte kalıptan çıkartılmalıdır. Termoplastik malzemelerin yollukları kırma makinelerinde kırılarak tekrar hammadde olarak kullanılırlar.



Şekil 7.14 Kalıba gömülmemiş meme

### 7.5.6 Sıcak yolluk sistemleri

Bir termoplastik kalıbının sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak karakterize edilir. 180 °C den fazla olan sıcaklığı ile termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ile 120 °C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar.

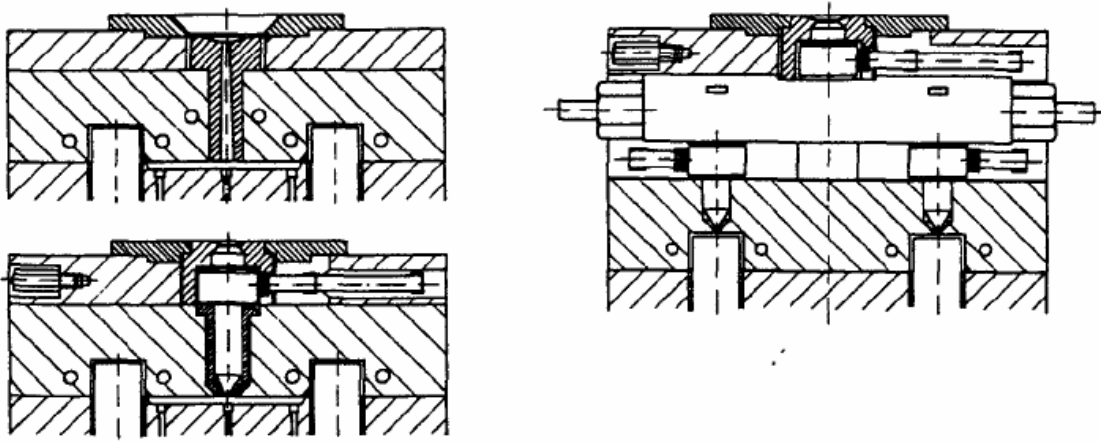


Şekil 7.15 Sıcak yolluk

Basit olarak sıcak yolluklar makine plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilirler. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk

içinde sıvı olarak kalır. Bu yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanılmaya hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır (Menges, 2001)

Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerinden, sisteme hazır olarak monte edilmiş sistemlere geçişteki en önemli ve geniş aşamayı temsil etmektedir (Şekil 7.16). Bu otuz yıllık teknolojik gelişmeye sadece kalıp tasarımcıları, kalıp yapımcıları ve standartları yapanlar değil aynı zamanda malzeme üreticilerinin uygulama departmanları da katkıda bulunmuşlardır. Bu durum çok sayıda yayında ve teknik broşürde dökümanteye edilmiştir.



Şekil 7.16 Konvansiyonel yolluk sisteminden sıcak yolluk sistemine geçiş

Otomobil konsolları, tamponlar, bilgisayar gövdeleri gibi büyük parçalar birden fazla ergimiş malzeme girişi olmadan pratikte üretilemezler. Bu tür büyük parçaların üretilmesinde 800 mm. uzunluğuna ulaşan lüleler ve 1800 mm uzunluğuna varan yolluklar kullanılmaktadır.

Belirli bir sıcak yolluk sisteminin seçimi kalıplanacak malzemeye bağlıdır. Günümüzde takviye edilmiş plastik malzemeler dahil hemen hemen tüm plastik malzemeler sıcak yolluk sistemleri kullanılarak kalıplanabilmektedir. Uygulanabilirliği belirleyen sınırlamalar, plastiklerin termal duyarlılığı ve malzemenin alevlenme direncidir. Sıcak yolluklar iki bileşenli kalıplar gibi modern enjeksiyon kalıplama teknolojilerinde de kullanılmaktadır.

Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerine göre ekonomik ve teknolojik olarak birçok avantaja sahiptirler. Sıcak yolluk sistemlerinin ekonomik avantajları şunlardır:

- Yolluklar için kullanılan malzeme miktarında ve malzemenin tekrar kullanılması için gereken kırma maliyetlerinden tasarruf sağlarlar.

- Daha kısa çevrim zamanları sağlar, yollukların kalıptan çıkarılması için ilave sistemlere gerek kalmaz, soğuma zamanı geç soğuyan yolluklar tarafından belirlenmez, lülelerin tıkanma sorunu yoktur.
- Gerekli makine boyutları küçülür, yolluk sistemi reaksiyon kuvvetleri meydana getirmez, bir çevrimde kalıplanan malzeme miktarı yolluk miktarı kadar azalır veya daha büyük parçalar ya da daha çok kaviteli kalıplar kullanılabilir, üç plakalı kalıplar için daha kısa açılma strokları sağlar. Kalıp yapımı kalıp standartları içinde gerçekleştirilir.

Teknolojik avantajlar ise şunlardır;

- Yolluk sistemini çıkarmak için herhangi bir düzeneğe gerek olmaması sistemin otomatize edilmesini kolaylaştırır.
- Yolluğun ısıtılması daha uzun akış yollarının gerçekleşmesine izin verir. Ayrıca girişlerinde optimum noktalardan yapılmasını sağlar.
- Yollukları, kesiti daha az basınç kaybına sebep olacak şekilde arttırılabilir.
- Daha uzun tutma basıncı zamanları mümkün olur.
- Yolluk sisteminin dengelenmesi mekanik olarak veya sıcaklık kontrollü olarak yapılabilir.
- Özel lüleler kullanılarak birleşme hatlarının oluşumu önlenir.

Bu avantajların yanında sıcak yolluk sistemleri aşağıdaki dezavantajlara da sahiptirler. Ekonomik olarak;

- Kalıp ve yolluk sistemi gerekli sıcaklığa ulaşana kadar daha fazla bozuk malzeme çıkar.
- Kalıp tasarımı için harcanan zaman ve efor daha fazladır.
- Isıtıcılar, sıcaklık sensörleri ve kontrol üniteleri gibi yardımcı ekipmanların varlığı ve montajı kalıp maliyetlerini artırır.
- Isıtıcı elemanlarda sızdırmazlık veya arıza olasılığının daha yüksek olması
- Sistem daha kompleks olduğu için daha eğitimli eleman bulma veya elemanları eğitme zorluğu

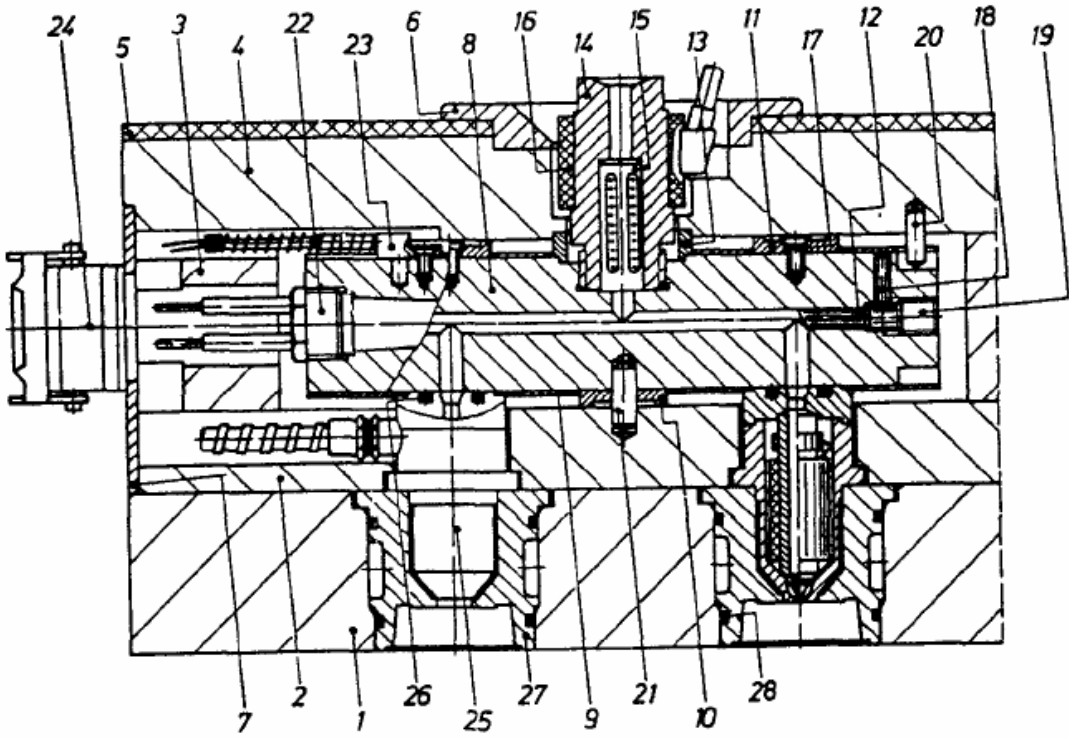
Teknolojik olarak;

- Uzun akış yolları ve yüksek kayma oranından dolayı duyarlı malzemelerde ısıl bozulma olasılığının artması
- Heterojen sıcaklık dağılımları, ergimiş malzeme içinde, kalıbın dolmasının üniform bir şekilde olmasını engelleyen sıcaklık farkları meydana getirir.
- Kavite girişlerinde basınç kontrolü yapılamaz.

### 7.5.6.1 Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve sistemi oluşturan elemanlar

Sıcak yolluklu kalıplar teknolojik açıdan çok iddialı sistemlerdir. Asıl fonksiyonu olan malzemeyi herhangi bir zarara yol açmadan kavite girişine taşımak için oldukça karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu tür bir tasarım aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Şekil 7.17)

Bir sıcak yolluk sistemi enjeksiyon ünitesi ile bağlantılı olan bir yolluk burcu, malzemeyi kalıp içinde dağıtan bir manifold ve malzemeyi istenilen yerlerden kaviteye sokan lülelerden meydana gelir. Sistem uygun bir şekilde ısıtılmalıdır. Sıcaklık kontrolü sağlamak için termoçiftleri içermelidir. Isıtıcıların ve termoçiftlerin bağlantı uçları dışarı çıkarılmalıdır. Isı kaybını engellemek için yalıtım yapılmalıdır. Bu sayılanlar sistemde mutlaka bulunması gereken elemanlardır (Alkaya, 1998).



Şekil 7.17 Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve elemanları

Şekildeki elemanlar numara sırası ile şöyledir:

1. Kavite taşıyıcı plakası
2. Aralık plakası
3. Destek bloğu
4. Bağlantı plakası
5. Yalıtım tabakası

6. Merkezleme halkası
7. Muhafaza
8. Sıcak manifold
9. Isı reflektörü
10. Aralık parçası
11. Aralık parçası
12. Tıkaç
13. Merkezleme halkası
14. Lüle uzantısı
15. Filtre
16. Isıtıcı
17. Düz şapkalı cıvata
18. Set screw
19. Dişli pim
20. Tutucu pim
21. Tutucu pim
22. Yüksek güçlü ısıtıcı
23. Termoçift
24. Bağlantı kutusu
25. Isıtılan lüle
26. Metal O-ring
27. Kavite
28. Viton O-ring

## 8. KAVİTE GİRİŞLERİNİN TASARIMI

### 8.1 Kavite Girişlerinin Tasarımı

Kavite girişleri (giriş) kaviteyi (ya da parçayı) yolluğa bağlar. Genellikle tüm sistemin en ince bölümüdür. Boyutu ve yeri çeşitli gereksinimler göz önüne alınarak belirlenir. Girişin yerini, şeklini ve boyutunu belirleyen faktörler aşağıda belirtilmiştir. Genel olarak giriş küçük, kalıplanması basit ve parçadan kolayca ayrılacak şekilde olmalıdır. Parçaya, onu distorsiyona uğratmayacak ve görünüşünü bozan izler bırakmayacak şekilde bağlanmalıdır. Girişin parça üzerindeki yeri bu yüzden özel bir önem kazanmaktadır.

Kavite girişini etkileyen unsurlar	
Parça ile ilgili unsurlar	Geometri Cidar kalınlığı Parçanın yüklenme yönü Boyutsal, kozmetik ve mekanik kalite istekleri Akış boyu/Cidar kalınlığı oranı
Kalıplanacak malzeme ile ilgili unsurlar	Viskozite Sıcaklık Akış Karakteristiği Katkı Maddeleri Çekme
Diğer unsurlar	Distorsiyon Birleşme hatları Kalıptan çıkarılma kolaylığı Parçadan ayrılma Maliyetler

Şekil 8.1. Kavite girişini etkileyen faktörler

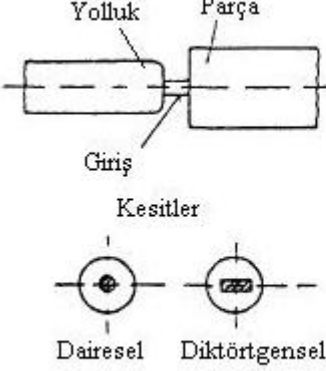
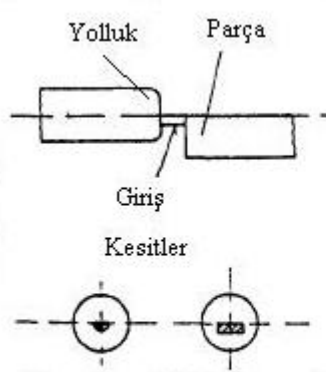
Giriş çeşitli konfigürasyonlardan herhangi birine sahip olabilir. Nokta giriş veya kenar giriş şeklinde olabilir. İleride daha detaylı olarak anlatılacak olan yolluk girişi ile aynı olan direk giriş şeklinde özel bir formda olabilir. Bu durumda giriş sistemin en dar noktası olmaz ve parçadan ayrılması için ilave bir kesme işlemi gereklidir.

Bütün diğer giriş türleri sisteme birtakım kısıtlamalar getirirler ve sistem kolay kalıplama ve ayrılma yönünden gerçekleşmesi daha zor bir hal alır. Malzeme, yolluklar yada girişler gibi dar kanallarda akarken, akışa karşı ciddi bir dirençle karşılaşır. Enjeksiyon basıncının bir kısmı bu direnci yenmek için kullanılır ve ergimiş malzemenin sıcaklığı fark edilebilecek bir şekilde artar. Bu çok istenen bir durumdur çünkü;

- Kaviteye giren ergimiş malzeme daha akışkandır ve kaviteyi daha iyi doldurur,
- Giriş civarlarındaki malzeme ısındığı için girişteki donma gecikir.

Optimum giriş boyutları malzemeyi ısıl olarak hasara uğratmayacak ve çok yüksek basınç kayıplarına neden olmayacak şekilde olmalıdır. Giriş boyutları hesaplama ile veya deneme baskısı sırasında deneme yoluyla saptanır. Bu esnada yolluklar da dengelenebilir. Bunun anlamı her girişin ergimiş malzemenin kavitelere aynı zamanda girmesini sağlayacak şekilde yapılmasıdır. Bu şartın önemi aşağıdaki şekillerde gösterilen hatalı üretilmiş parçalarda kolaylıkla görülebilir. Pratikte özellikle çok kaviteli kalıplarda girişler önce gereğinden küçük yapılır. Daha sonra denemeler esnasında elde edilen verilerle girişler bütün kavite uniform olarak dolana kadar genişletilir. Bu işlem oldukça fazla uzmanlık ve mekanik üretim yeteneği gerektirmektedir. Bu zaman alıcı işlem günümüzde yerini yolluk sisteminin boyutlarının hesaplama ile bulunması yöntemine terk etmiştir. Bu durumda bütün girişler aynı boyutta olmaktadır.

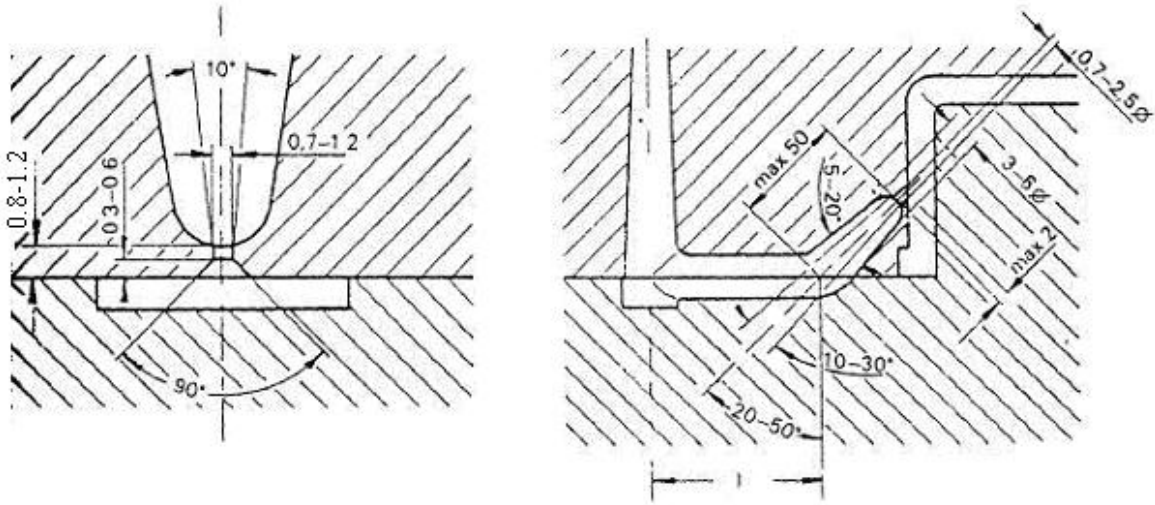
Aşağıda (Şekil 8.2) girişlerin uygun yerlerini ve boyutlarını göstermektedir. Giriş dairesel, yan dairesel veya dikdörtgensel şekilde olabilir. En uygun olanı dikdörtgensel olanıdır. Kalıptan en kolay ayrılabilen ise yarı dairesel olanıdır.

 <p>Yolluk Parça</p> <p>Giriş</p> <p>Kesitler</p> <p>Dairesel Dikdörtgensel</p>	<p>Merkezi giriş</p> <p>Dairesel kesitin küçük yüzey-hacim oranı ısı ve sürtünme kayıplarını azaltır, Her iki kalıp yarısında işlenmeyi gerektirir ki bu da pahalı bir işlemdir. Dikdörtgensel kesitte bu maliyetler yüzünden sınırlayıcıdır. Merkezi pozisyon yolluğun parçadan ayrılmasını zorlaştırır ve ilave işlem gerektirebilir. Giriş jetting olayına neden olabilir.</p>
 <p>Yolluk Parça</p> <p>Giriş</p> <p>Kesitler</p> <p>Yarı dairesel Dikdörtgensel</p>	<p>Merkezden kaçık giriş</p> <p>Girişin merkezden kaçık pozisyonu işlenmesini kolaylaştırır. Kalıptan çıkması ve parçadan ayrılması kolaydır. Kavite duvarı ile aynı hat üzerindeki giriş jetting olayını engeller.</p>

Şekil 8.2 Giriş kesitleri ve yolluk üzerindeki pozisyonları

Girişin yolluğa en iyi şekilde bağlanması da yine aynı şekilde gerçekleşmektedir. Bu bağlantı tek başına kalıbın dolması süresince kavite içindeki, en iyi akış karakteristiğini sağlamaz. Bazı plastiklerde donmuş olan yüzey tabakası yerinden koparak kavite içine taşınır ve parçada istenmeyen izlere neden olur. Ergimiş plastik kavite içine jet halinde de girmemelidir ancak giriş orifisinden başlayarak kaviteyi üniform şekilde doldurmalıdır. Jet halinde kaviteye giren malzeme, arkasından gelen malzeme tarafından tekrar ergitilemediği için, parçanın görünümünü bozan izlere neden olur. Kritik olmayan hallerde geçiş bölgesinde yapılacak olan bir geçiş yarıçapı bu etkiyi azaltacaktır.

Nokta ve tünel girişler için ise önerilen boyutlar aşağıdaki şekilden (Şekil 8.3) bulunabilir. Daha önceden de bahsedildiği gibi girişin boyutları kalıplanacak malzeme ve parçanın kesit kalınlığı tarafından belirlenir. Daha büyük viskoziteli ve daha kalın kesitli parçalarda daha büyük giriş kullanılır. En kalın kesit giriş boyutunu belirlediği için girişin buraya konulması tek mantıklı çözümdür. Eğer giriş en kalın kesitten yapılmazsa parçada boşluklar ve çökme izleri meydana gelir. Bunun nedeni giriş bölgesinin gereğinden önce dolmasından dolayı tutma basıncının etkime süresinin çok kısa olmasıdır.



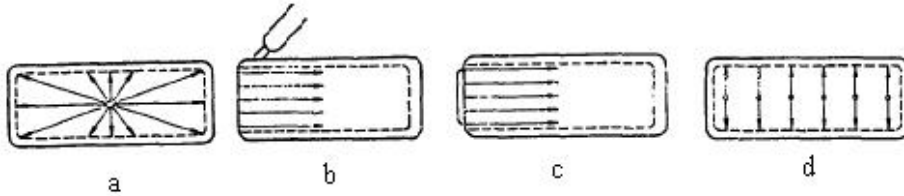
Şekil 8.3 Nokta (solda) ve tünel (sağda) girişler için önerilen boyutlar

Parçanın kalitesi de girişin parça üzerindeki yeri tarafından belirlenir. Bu konu bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

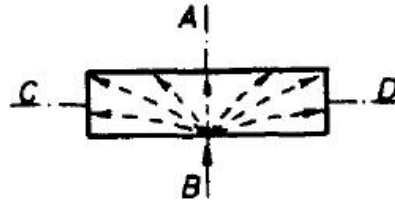
### 8.1.1 Girişin parça üzerindeki yeri

Girişin pozisyonu kavite içindeki malzeme akışının doğrultusunu tespit eder. Akış doğrultusundaki fiziksel özellikler ve çekme çoğu durumda akışa dik doğrultuda olanlardan farklıdır. Bu durum moleküllerin oryantasyonundan kaynaklanmaktadır. Bu oryantasyonun

derecesi özellikle ince cidarlı parçalarda daha fazladır. Çekme ve kırılma dayanımları için en iyi değerler akış yönünde elde edilirken, akışa dik doğrultuda tokluğu azalır ve gerilmelerden dolayı meydana gelen çatlak oluşumu eğilimi artar. Aşağıdaki şekiller farklı giriş yerlerinin akış yolunu ve parçanın dayanımını nasıl etkilediğini göstermektedir. (Şekil 8.4-8.5-8.6). Kalıp yapılmadan önce parça üzerindeki yüklemelerin ve asal gerilmelerin saptanması gerekir. Bu durum elyaf takviyeli malzemeler için daha da önemlidir çünkü elyaflar parçanın maruz kaldığı maksimum çekme gerilmesi ile aynı doğrultuya sahip olmalıdır. Takviye olarak kullanılan elyaflar ancak bu doğrultuda gerektiği gibi yük taşıyabilirler. Takviye edilmemiş yüksek viskoziteli malzemelerde çekme, oryantasyon yönü ile aynı yönde olur (Şekil 8.8). Eğer elyaf takviyeli malzemelerde akışa dik doğrultuda bir oryantasyon varsa parçada distorsiyonlar oluşur. Ancak bu durum olayın sadece bir yanıdır.

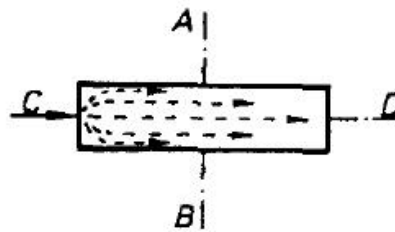


Şekil 8.4 Ergimiş malzemenin değişik pozisyonlardaki girişlerde izlediği akış yolu



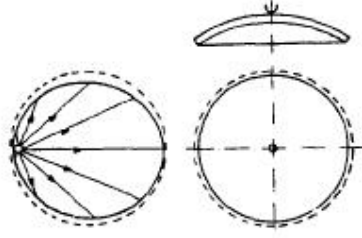
Şekil 8.5 Uzun kenarda konumlandırılmış giriş

Şekil 8.5'te görüldüğü üzere moleküler oryantasyon akış yönüne diktir C-D kesitindeki mekanik dayanım A-B kesitinden fazladır.



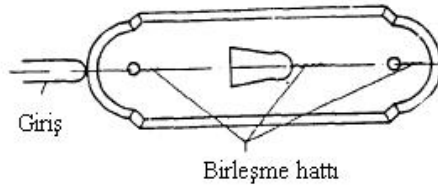
Şekil 8.6 Kısa kenarda konumlandırılmış giriş

Şekil 8.6'da moleküler oryantasyon akış yönüne diktir. A-B kesitindeki mekanik dayanım C-D kesitindekinden fazladır.



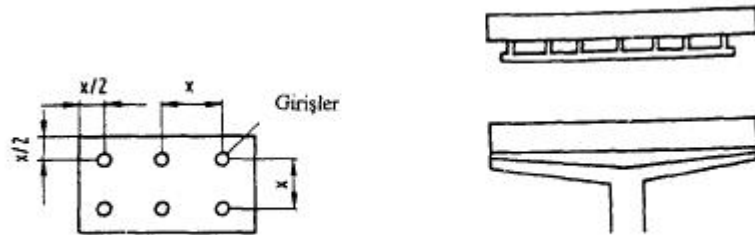
Şekil 8.7 Parça kalitesi üzerinde giriş pozisyonunun etkisi

Öte yandan ergimiş malzemenin farklı taraflardan akarak birleştiği yerlerde kaynak hatları oluşur. (Şekil 8.8). Bunlar her zaman görünüş bozukluklarına yol açarlar ve likid kristal yapıdaki malzemelerde veya elyafla takviye edilmiş malzemelerde mekanik olarak çok zayıf bölgelerdir. Kaynak hatlarına daha yakın girişlerde malzeme daha sıcak olacağından daha iyi bir birleşme meydana gelir. Bu durum özellikle dolmanın devam ettiği veya tutma basıncı altında birleşme bölgesinden malzeme akışının devam ettiği durumlar için geçerlidir. Bu durumda mekanik özellikler daha iyi olacaktır.



Şekil 8.8 Deliklerin ve kanalların ardında oluşan birleşme hatları

Büyük yüzey alanına sahip veya yanıl federleri olan parçalarda üniform soğuma ve aynı anda ergimiş malzemenin homojenliğini arttırmak için parçanın bir kenarından diğerine birden fazla giriş yerleştirilebilir. Eğer birleşme hatları ve girişler arasındaki mesafe kısa ise birleşme daha iyi olacak ve parça bir bütün olarak daha uygun özelliklere sahip olacaktır.



Şekil 8.9 Çoklu nokta, kenar girişler ve eşit akış boylan prensibi

Yukarıdaki şekil (Şekil 8.9) bu duruma ait örnekleri göstermektedir. Kolay ve muhtemelen otomatik olarak parçadan ayrılabilen çoklu nokta giriş genellikle tercih edilir. Öte yandan kenar giriş bu tür parçalar için daha iyi özellikler sağlar.

## 8.2 Giriş Çeşitleri

### 8.2.1 Direk giriş

Direk giriş en basit ve en eski giriş çeşididir. Dairesel bir kesite sahiptir, kesiti gittikçe artar ve en büyük kesitine ulaştığı yerde parça ile birleşir. Direk giriş parçanın her zaman en kalın kesitinde olmalıdır. Uygun boyutlarda yapıldığında parçanın katılaşması süresince tutma basıncı etkin olur ve hacimsel çekmenin kompanze edilmesi için kalıp içine katılaşma süresince ilave malzeme transfer edilebilir. Bu durumda parçada boşluklar ve çökmeler meydana gelmez.

Direk girişin çapı parça üzerindeki yerine bağlıdır. Giriş içindeki malzemenin en son katılaşabilmesi için kesit kalınlığı parçanın en kalın kesitinden biraz daha fazla olmalıdır. Kesit kalınlığı;

$$d_F > S_{\max} + 1.5 \text{ (mm)} \quad (8.1)$$

ifadesi ile saptanabilir. Bu değer daha büyük olmamalıdır, çünkü bu durumda katılaşması uzun sürer ve soğuma zamanını gereksiz biçimde uzatır. Yolluk girişinin kalıptan sorunsuz olarak çıkması için bir çıkış açısına sahip olması gerekmektedir. Bu açı  $\alpha > 1-2^\circ$  dir.

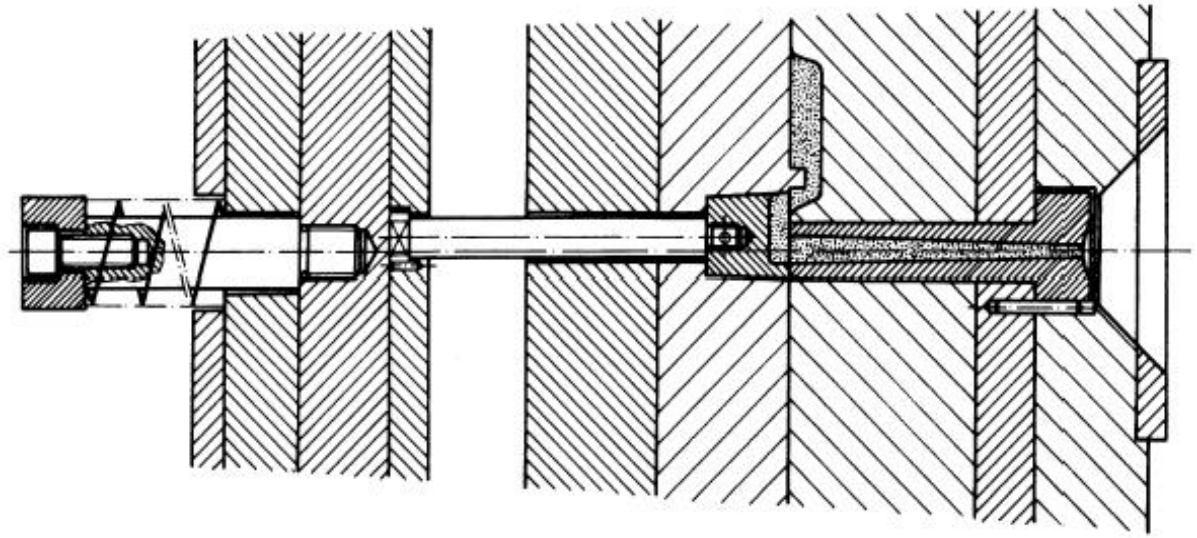
Makinenin enjeksiyon lülesi tarafına doğru olan orifis çapı makinenin enjeksiyon lülesinin orifis çapından büyük olmalıdır.

$$d_s > d_N + 1 \text{ mm} \quad (8.2)$$

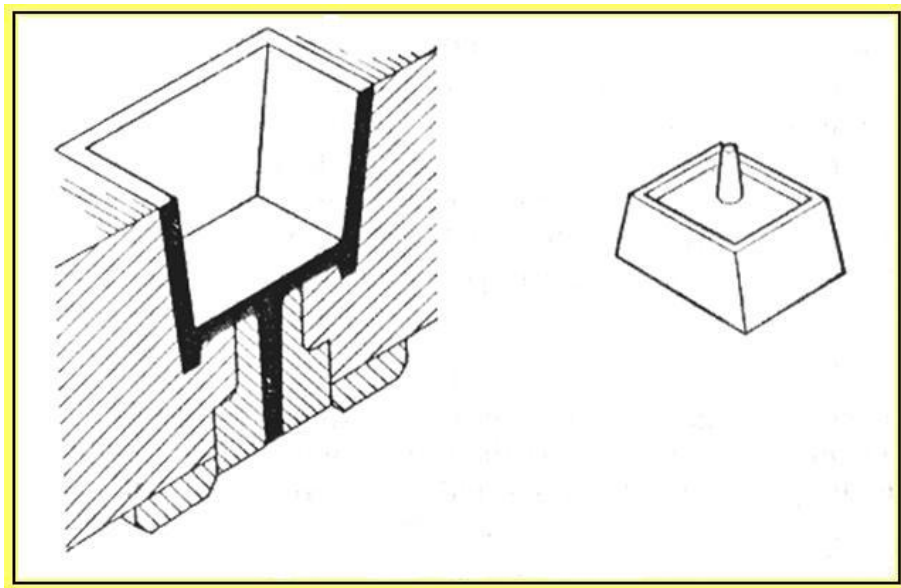
Bu şart sağlanmazsa yolluk girişinin ucunda yolluk burcundan çıkmasını engelleyen bir girinti oluşur. Yolluk girişinin kalıptan çıkabilmesi büyük oranda içinde olduğu konik kanalın yüzey kalitesine bağlıdır. Parçanın kalıptan çıkma doğrultusuna dik yönde meydana getirilebilecek olan izler malzemenin yolluk burcuna yapışmasına neden olarak yolluk girişinin yolluk burcundan ayrılmasını önler. Kural olarak yolluk burcunun içi çok iyi parlatılmalıdır.

Daha önce yolluk girişi kısmında da bahsedilmiş olan yolluk girişinin dip kısmındaki  $r_2$  geçiş yarıçapı keskin köşeden kurtulmayı sağlar ve malzemenin enjeksiyon süresince daha rahat akmasını sağlar.

Direk girişin dezavantajı parçadan ayrılmak için kesilmek zorunda olmasıdır. Bu işlem çok dikkatli yapılırsa bile parçada nokta şeklinde görünür bir iz kalmaktadır. Bu istenen bir durum değildir. Bu yüzden bu tür izlerin bulunduğu parçalarda giriş, parça diğer parçalarla birleştikten sonra görülmeyecek şekilde parça üzerinde konumlandırılmalıdır. Bu işlem genellikle pratikte mümkün olmadığından giriş parçanın içinde kalacak şekilde parçanın iç kısmına veya görünmeyecek bir yerine endirek olarak bağlanır (Şekil 8.10). Bu tür bir endirek girişin bir avantajı da malzemenin jet halinde kalıp içine girmesini engellemesidir. Malzeme önce ek girişin karşı duvarına çarpar ve kalıbı buradan doldurmaya başlar. Yolluğun parçadan ayrılması için burada da kesilme işlemi gereklidir.

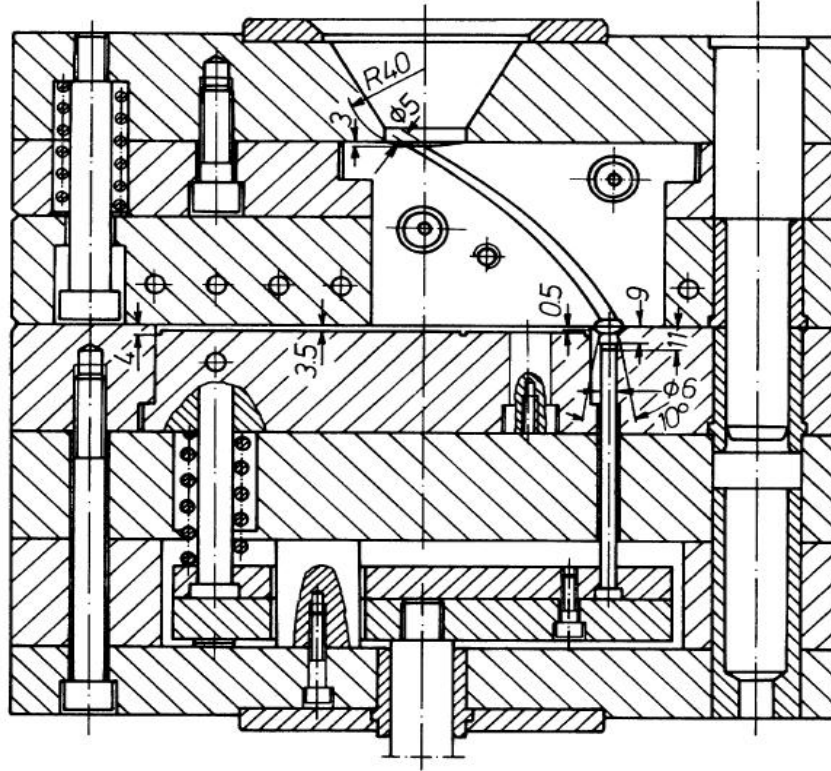


Şekil 8.10 Ek girişli direk giriş



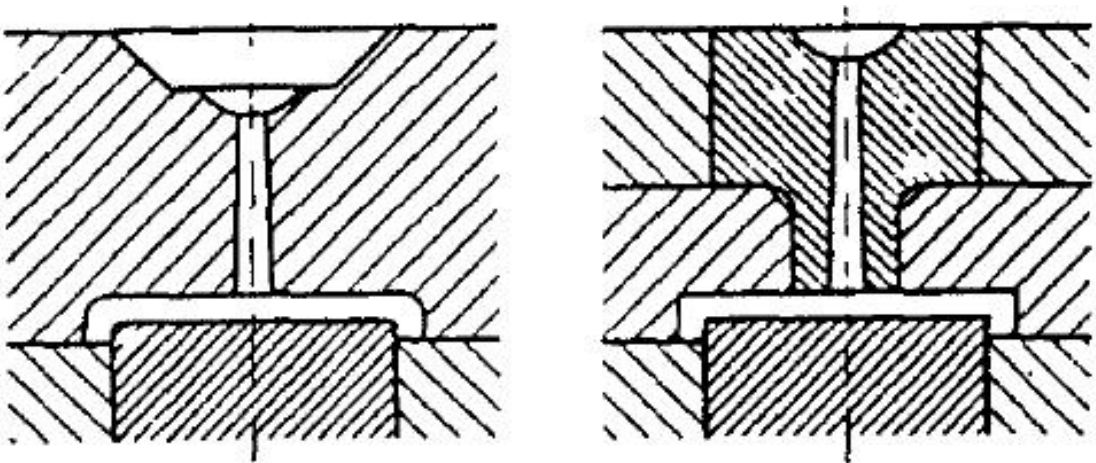
Şekil 8.11 Direk giriş

Bu tür girişin değişik bir türü de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Şekil 8.12) Bu parçaya yandan girişe izin veren bir eğri yolluk girişidir.



Şekil 8.12 Eğri yolluk girişi

Yolluk girişinin iki şekilde elde edilebileceği akılda tutulmalıdır. Eğer bir yolluk burcu kullanılacak ise parçada engellenmesi çok zor olan bir iz bırakacaktır. Eğer bu istenmiyorsa, bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için yolluk girişi doğrudan sabit kalıp plakasına açılır. (Şekil 8.13)



Şekil 8.13 Yolluk burcu kullanılan (solda) ve yolluk girişi kalıba işlenen (sağda) yolluk girişi

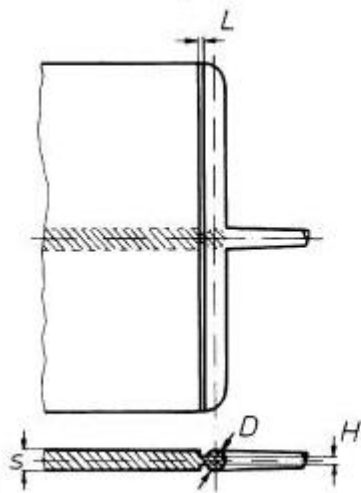
### 8.2.2 Kenar giriş

Kenar giriş öncelikle geniş yüzeylere ve ince et kalınlıklarına sahip parçalarda kullanılır. Aşağıda sayılan avantajlara sahiptir.

- Bütün parça genişliği boyunca paralel oryantasyon (özellikle optik parçalar için önemli)
- Her durumda akış doğrultusunda ve yanal doğrultuda üniform çekme
- Parça yüzeyinde istenmeyen giriş izlerinin bulunmaması.

Yolluk girişini terk eden ergimiş malzeme önce kaviteyi dar bir kısım ile yolluk sistemine bağlayan ilave dağıtıcı kanala girer. (Şekil 8.14) Bu dar kesitli bölge kalıbın dolması süresince bir boğaz görevi görür. Böylece malzeme kaviteye girmeden önce kanal malzeme ile dolar. Bu tür bir boğazın genişliği viskozite değiştiğinde modifiye edilebilmelidir.

Dağıtıcı kanal genellikle dairesel bir kesite sahiptir. Aşağıdaki şekildeki (Şekil 8.15) bağlantılar boyutları belirler. Bu boyutlar kenar girişin bir varyantı olan ve daha sonra bahsedilecek olan halka girişin boyutları ile mukayese edilebilir.



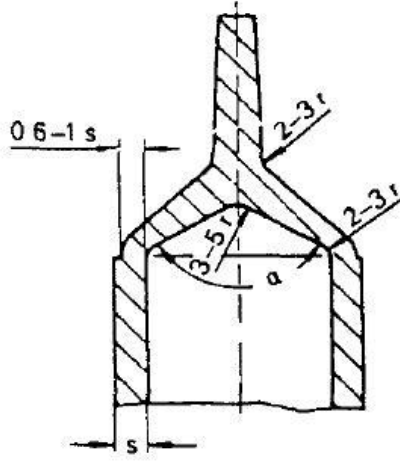
$$D = s \frac{4}{3} s + k$$

$k = 2 \text{ mm}$  kısa akış boylan ve kalın kesitler için  
 $k = 4 \text{ mm}$  Uzun akış boylan ve ince kesitler için  
 $L = 0.5 - 2.0 \text{ mm}$

Şekil 8.14 Dairesel dağıtım kanallı kenar giriş

Dairesel kanalın yanı sıra bazen balık kuyruğu şeklinde bir kanal ile de karşılaşılabilir. (Şekil 8.15). Bu şekilde bir giriş daha fazla işçilik ve daha fazla malzeme sarfiyatı ile birlikte kavite içinde plastik malzemenin paralel olarak akması sonucu beraberinde mükemmel bir parça kalitesini de getirmektedir.



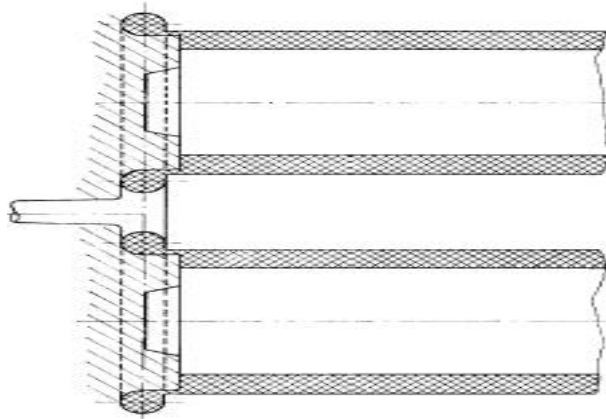


Şekil 8.17 45° açılı disk giriş

#### 8.2.4 Halka giriş

Halka giriş uzun oldukları için her iki tarafları da çekirdek tarafından desteklenen uzun silindirik parçaların kalıplanmasında kullanılır.

Ergimiş malzeme yolluk girişinden sonra parçaya ince bir kanal ile bağlanan ana kanala girer (Şekil 8.18). İnce kanal dar bir kesite sahiptir ve kalıbın dolması süresince bir boğaz görevi görür. Böylece, boğazdan geçerek kaviteye ulaşan malzeme önce ana kanalı doldurur. Halka giriş içinde bir birleşme hattı olmasına rağmen bu birleşme hattının etkisi boğazın ince kesiti tarafından sınırlanarak kompanze edilir ve birleşme hattı ya çok zor fark edilir yada hiç fark edilmez.

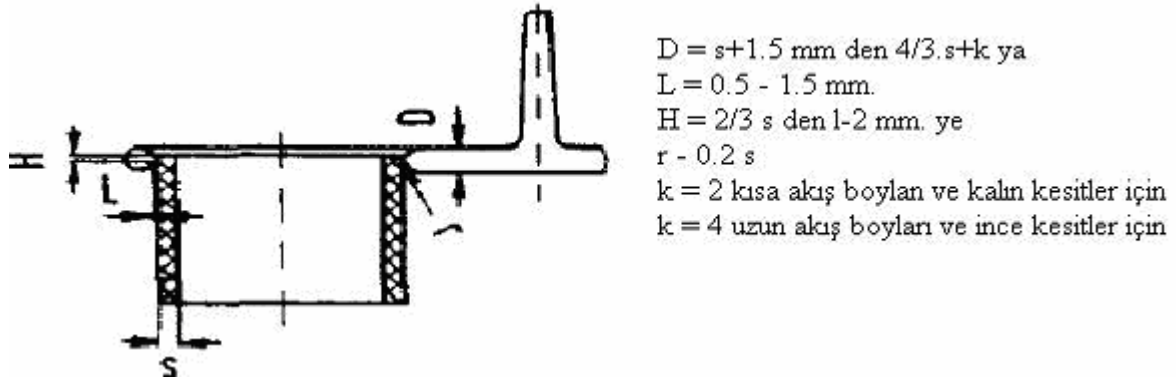


Şekil 8.18 Halka giriş ve çekirdek destekleri

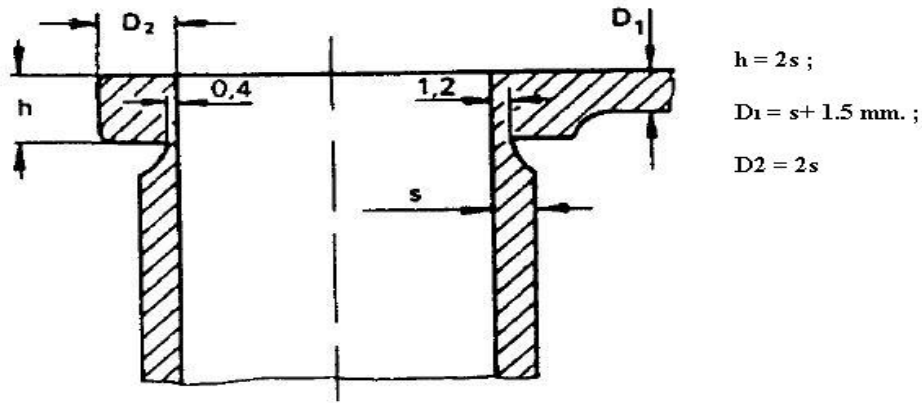
Bu girişin özel avantajı parçayı oluşturan çekirdeklerin her iki uçtan da desteklenmesine olanak sağlamasıdır. Bu durum göreceli olarak uzun (boy/çap oranı 5/1 den büyük olan) silindirik parçaların cidar kalınlığı sabit kalarak kalıplanabilmesini sağlar. Halka giriş

silindirik parçaların kalıplandığı birden fazla kaviteli kalıplarda da kullanılır. Disk giriş de tasarım olarak halka girişe benzemesine rağmen ne kalıbın çok kaviteli olmasına ne de çekirdeklerin her iki uçtan desteklenmesine izin verir.

Halka girişin boyutları kalıplanan plastiğin türüne, parçanın ağırlığına, boyutlarına ve akış boyuna bağlıdır. Aşağıdaki şekil (Şekil 8.19) dairesel kesitler için genellikle literatürde rastlanan boyutları göstermektedir. Halka girişler aşağıdaki şekilde (Şekil 8.20) gösterildiği gibi farklı türde kesitlere de sahip olabilirler. Bu tür kesitlerin tasarım için gerekli veriler yine aynı şekilde gösterilmiştir.

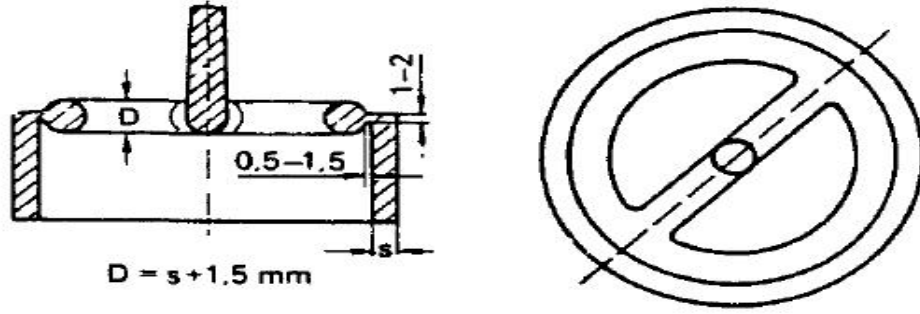


Şekil 8.19 Dairesel kesitli halka giriş



Şekil 8.20 Kare kesitli halka giriş

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 8.20) gösterilen halka girişler literatürde dış halka giriş olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 8.21) gösterilen halka giriş ise iç halka giriş olarak adlandırılır. İki birleşme hattının oluşmasına neden olan bu tür halka girişin işlenmesi daha pahalıdır ve çekirdeklerin her iki uçtan da desteklenmesi daha kompleks bir hal alır.



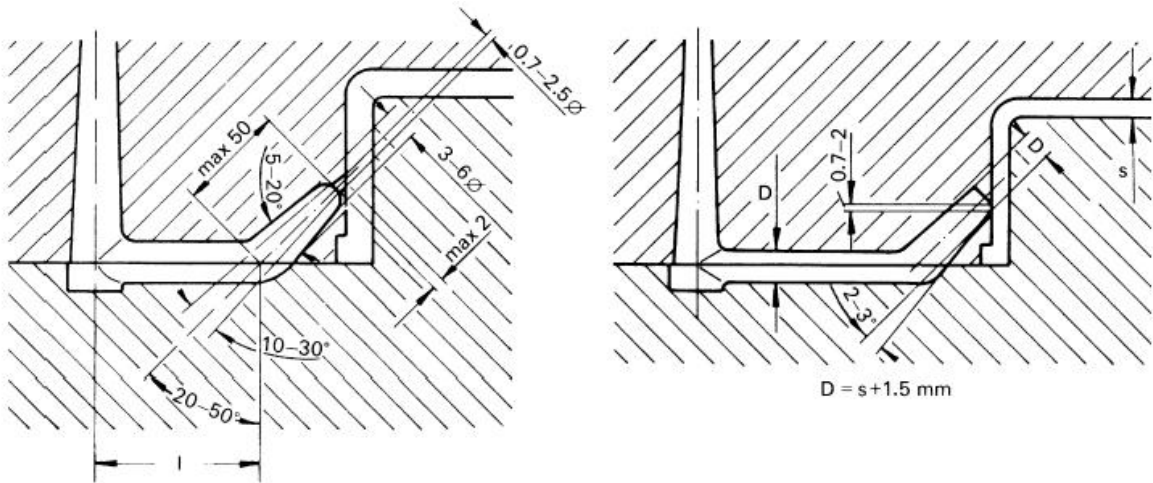
Şekil 8.21 İç halka giriş

### 8.2.5 Tünel giriş

Tünel giriş öncelikle yandan giriş yapılabilecek küçük parçaların üretimi için çok kaviteli kalıplarda kullanılır. Tek ayırma yüzeyi olan kalıplar için yolluğu parçadan otomatik olarak ayırabilen tek giriş şekli tünel giriştir.

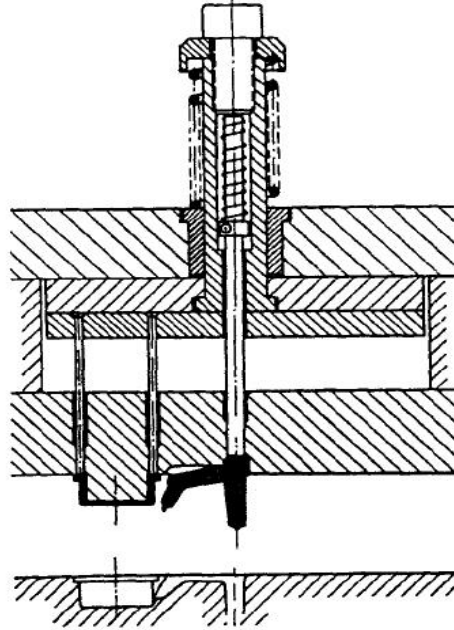
Parça ve yolluk ayırma yüzeyi üzerinde aynı düzlemedirler. Yolluk kaviteye yakın olan bir noktaya kadar açılı olarak devam eder. Açılı kısım konik şekilde daralarak kavite girişindeki dar kanala bağlanır. Kavite duvarına açılmış olan tünele benzeyen kanal kavite ve tünel arasında keskin bir kenar oluşturan dar bir açı meydana getirir. Bu keskin kenar parçayı yolluk sisteminden ayırır.

Tünel için iki tasarım seçeneği vardır (Şekil 8.22). Tünel ya bir noktasal giriş ile parçaya bağlanır yada keskin köşeli kanalın bir köşesi kaviteye patlatılarak oluşan delikten bağlantı sağlanır. İlk halde parçaya geçiş dairesel, ikinci de ise eliptiktir. İkinci bahsedilen tür daha yavaş soğuduğu için tutma basıncı için daha uzun bir zaman sağlar. İşlenmesi de bir pantograf çakısı ile bir seferde yapılabildiği için pahalı değildir.



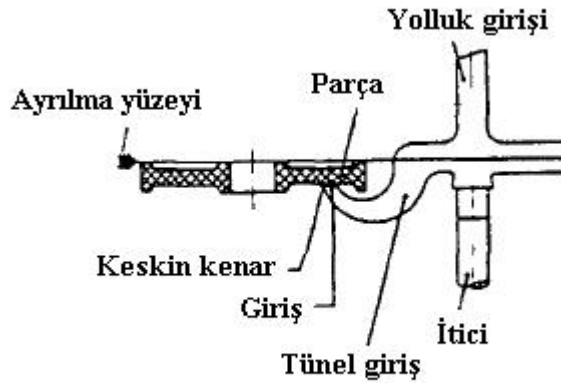
Şekil 8.22 Tünel giriş

Parçanın kalıptan çıkarılması için parça ve yolluk sistemi hareketli kalıp yansında kalmalıdır. Bu parça ve yollukta bir girinti yapılarak gerçekleştirilebilir. Eğer bir girinti yapmak mümkün değil de kase şeklinde parçalarda olduğu gibi kalıp sıcaklık farkından yararlanılarak parça hareketli kalıp yansında bırakılabilir. Eğer kesici kenar sabit kalıp yansında ise parça yolluk sisteminden kalıp açılır açılmaz ayrılır. Ardından parça ve yolluk kalıptan çıkartılır.

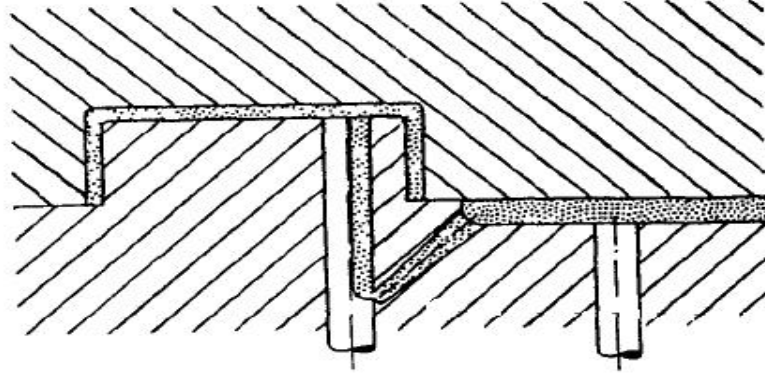


Şekil 8.23 Otomatik yolluk iticili tünel giriş

Bu sistem sünek malzemeler için sorunsuz olarak çalışır. Kırılgan malzemeler için ise kalıbın açılması süresince oluşan engellenmesi mümkün olmayan eğilmeden dolayı kırılma riski vardır. Bu yüzden yolluk sisteminin kalın yapılarak kalıptan çıkarılma süresince sıcak, dolayısı ile daha esnek kalmasının sağlanması tavsiye edilir.



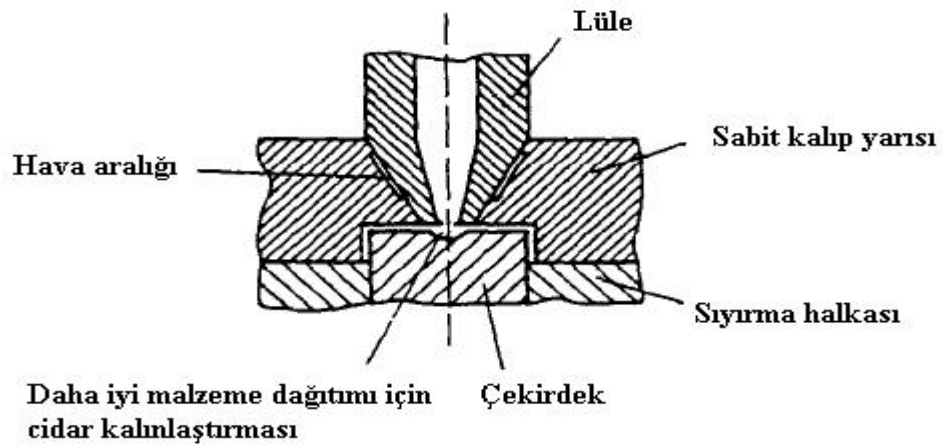
Şekil 8.24 Eğri tünel giriş



Şekil 8.25 Tünel giriş ile içten giriş

### 8.2.6 Yolluksuz kalıplar

Yolluksuz kalıplarda makine lülesi parçaya kadar ilerler. Malzeme bir nokta girişten kavite içine enjekte edilir. Aşağıdaki şekil (Şekil 8.26) yolluksuz bir kalıpta makine lülesinin durumunu göstermektedir. Lülenin yüzeyi kavite yüzeylerinden birini oluşturur. Bu durum doğal olarak mat görünüş ve dalgalı yüzey gibi giriş izlerine neden olur. Bu yüzden lüle yüzeyi mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Çapın 6-12 mm.yi geçmemesi tavsiye edilir. Lüle enjeksiyon ve tutma basıncı süresince soğuk kalıpla temas ettiği için bu işlem sadece kısa çevrim sürelerinde üretilecek kalın cidarlı parçalarda kullanılır. İşlem sadece ısı iletimi ile ısıtılan lülenin donmasını engellemek için dakikada üç çevrimden az olmamalıdır. Bu prosedürün uygulanabilirliği sınırlıdır.



Şekil 8.26 Yolluksuz giriş

Bu prensip malzemenin üç plakalı bir kalıpta yolluklar tarafından dağıtıldığı zamanlarda başarıyla uygulanabilir. Çünkü lüle yolluğa kadar girişi elimine edilmiştir (Menges, 2001).

## 9. SOĞUTMA SİSTEMİ

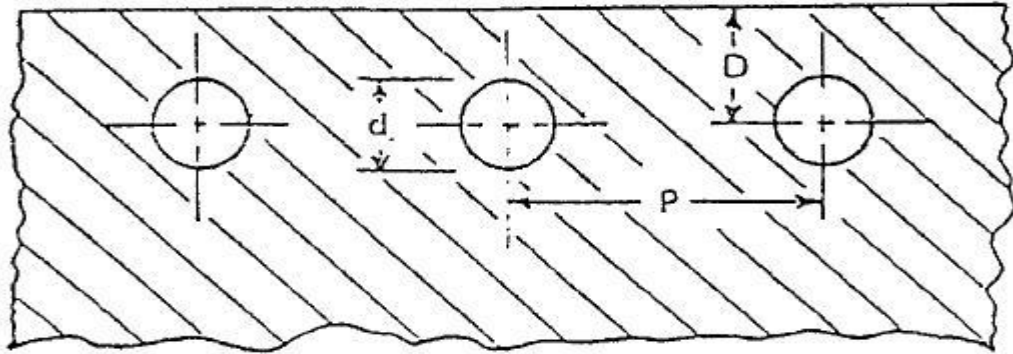
### 9.1 Genel Bilgi

Kalıp tasarımında en önemli etkenlerden birisi de yeterli ve uygun kalıp soğutmasıdır. Bütün plastik enjeksiyon kalıplarında, sıcak kalıplar da dahil olmak üzere, kalıbın diğer bir görevi ergimiş plastiğin soğumasını sağlamaktır. Kalıp tasarımında soğutma sisteminin ayrı bir önemi vardır.

Sıcak kalıpta erimiş plastik, kolayca akmasına rağmen, baskının soğuyup kalıptan dışarı atılabileceği sıcaklığa düşme süresi uzar. Bunun tersi olarak, soğuk kalıpta erimiş plastiğin soğuması çabuk olur, bazı durumlarda kalıbı doldurmadan soğuyup sertleşir. Bu iki durum arasında bize en uygun baskı süresini elde ederiz.

Hızlı soğuma proses maliyetini düşürecek, her yerde aynı olan soğuma parça üzerinde oluşan farklı çekmeleri, iç gerginlikleri, kalıp ayırma problemlerini azaltacak ve ürün kalitesini arttıracaktır. Kalıp soğutma işlemi yeterli ve uygun şekilde yerleştirilecek soğutma kanalları ile sağlanır. Bu kanalların yerleşimi kalıbın şekli ile uyumlu olmalı ve oyuk duvarlarına mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır.

Soğutma kanallarının kalıp yüzeyinden olan uzaklığı arttıkça ısı transferinin veriminde azalma olur ve kanallar arası mesafe arttıkça kalıp yüzeyindeki sıcaklık dağılımı değişir (Şekil 9.1). (Öz, 1988)



Şekil 9.1 Tavsiye edilen kalıp soğutma kanalları çap ve hatve değerleri

$d$  = Soğutma kanalı çapı = 11 - 14 mm

$D$  = Soğutma kanalı derinliği =  $d - 2d$

$P$  = Hatve (Kanallar arası mesafe) =  $3d - 5d$

Kalıp dolma esnasında en sıcak erimiş plastik, kalıp girişinde ve en soğuk erimiş plastik, yolluk girişinden en uzak noktadır. Soğutma suyunun sıcaklığı, bu kanallardan geçtikçe artar, bundan dolayı baskıda eşit soğuma sağlamak için, kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı ve parçanın soğuk kısımlarına sıcak (ısıtılmış) sıvı girişi sağlamak gereklidir. Bununla beraber ideal soğutma sistemini bulmak zordur ve tasarımcılar gereksiz pahalı baskıya engel olmak için, mantıklarını kullanarak soğutma devrelerini planlarlar.

Genelde en basit sistem, kalıbın boydan boya delinmesiyle sağlanan soğutma sistemidir. Fakat bu sistem baskılar için en etkin metot değildir.

Çizelge 9.1 Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı ( °C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polietilen(PE)	170-320	0-70
Polistyren(PS)	200-250	0-60
Polyamide (Naylon)	240-320	40-120
Acrylonitril- styren	230-260	50-80
Polikarbonat(PC)	280-310	85-140
Poliasetal	180-230	70-130
Polipropilen(PP)	180-280	0-80
ABS	180-240	50-120

Çizelge 9.1’de görüldüğü gibi plastik malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları oldukça geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu sebeple tasarımcının ve malzeme tedarikçisinin tecrübeleriyle tavsiye ettiği en uygun sıcaklıklar seçilmelidir. Tecrübeli bir kalıp tasarımcısı kalıplanan ürüne ait plastik malzemenin fiziksel özelliklerinin ve görünüşünün soğutma sistemine bağlı olarak nasıl değişeceğini bilmelidir. Örneğin kalıplanan ürün kırılğan veya yetersiz parlaklıkta olmasının sebebi çok hızlı soğuma veya çok düşük kalıp sıcaklığı olabilir. Çok yavaş soğumada veya kalıp yeterli soğuklukta olmaması halinde ise üründe istenmeyen kristalleşme gözlenebilir.

Soğutma sıvısı olarak genellikle su kullanılır. Kullanılan suyun kireçli olması kalıbın uzun

sürekli çalışmasında soğutma kanallarının tıkanmasına yol açabilir. Ayrıca kanal çeperini kaplayan kireç tortusu ısı transferini olumsuz etkileyecektir. Kalıp çıkışında ısınan su kapalı bir çevrim ile soğutma kulesine veya kulelerine gönderilerek kuleler vasıtasıyla sıcaklığı düşürülür ve soğumuş olarak tekrar kalıbın soğutma kanalları girişine gönderilir. Bazı plastik malzemelerde ise ABS veya PC gibi kullanılacak soğutma suyu kalıba girmeden bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklık belli bir seviyeye getirilir. Çünkü kalıbın sağlıklı çalışabilmesi için kalıbın belli bir sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. ABS ve PC kalıp içerisinde çok çabuk akıcılığım kaybettiği için kalıbın sıcak tutulması plastiğin ikisini kolaylaştıracaktır. (Esenlik, 2001)

Su ile soğutmanın uygun olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba ve kalıplanan parçaya yarar verdiği hallerde, basınçlı havayla soğutulur. Basınçlı havayla yapılacak kalıp soğutma sisteminde basınçlı hava, kalıp içerisine açılan kanalları dolaşarak kalıptan ayrılır. Soğutma etkisi, su soğutmalı sisteme oranla daha yavaştır. Bu nedenle genellikle et kalınlığı az ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesi gerekmeyen kalıplama işlemlerinde, basınçlı havalı soğutma sistemi kullanılır. (Esenlik, 2001)

## 9.2 Soğutma Sisteminin Tasarımı

Enjeksiyon kalıbı, hızlı ve her yerde aynı olacak şekilde soğutulmalıdır. Soğutma devresi, bazen soğutma kanalının kalıptaki diğer kanallara yakın delinmemesi gerektiğinden karmaşık (zor) hale gelebilir. Kalıp plakasında birçok delik mevcuttur, örneğin; burç delikleri, itici pim delikleri, lokma delikleri vb. Soğutma kanalının diğer deliklere emniyetli olarak ne kadar yakın açılacağı delinecek soğutma kanalının uzunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Derin delerken delmenin daima belirlenen yolundan kaçma eğilimi gösterdiği (düz delinmediği) görülür. Genelde 150mm'lik deliklerde kullanılan kural, soğutma kanalının herhangi bir deliğe 3mm'den daha yakın delinmemesidir. Daha uzun soğutma kanalları için bu uzaklık 5mm'dir. Kalıp tasarımında soğutma ünitesinin de var olacağı düşünülerek kalıpta bulunacak komponentlere ve iticilere tolerans verilmelidir veya soğutma devresinde en iyi pozisyonu yakalamak için, dizayn esnasında bunu mümkün olduğunca erken planlamak gerekir. (Turaçlı, 2000)

Soğutma kanalları yüzeye uzak olursa gerekli soğuma istenen sürede yapılamayacaktır. Eğer soğutma kanalları yüzeye çok yakın olursa soğuma süresi azalır fakat yüzey sıcaklığı plastiğin akışkanlığını olumsuz yönde etkileyecek şekilde azalmış olur ve ürünün yüzey kalitesi kötü olur. Soğutma kanallarının arasındaki mesafeler yüzeye olan mesafeleri dikkatlice hesaplanmalıdır. Ayrıca kalıbın alt ve üst tarafındaki soğutma da dengeli olmalıdır çünkü

kalıptan çıktıktan sonra farklı sıcaklıkta olan alt ve üst yüzeylerde deformasyon oluşur.

Soğutucu kanallarının boyutları kanal içerisinde türbülans olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yanlış soğutma sistemi parçada çarpılmalara, iç gerilmeler oluşmasına, doldurma problemlerine ve parçada izler oluşmasına sebep olabilir. Ayrıca soğutma sistemi, çevrim süresini etkileyen en önemli parametredir zira kalıpta bekleme süresinin yaklaşık %80'i soğuma sürecine ayrılır. (Charrier, 1997)

Optimum bir soğutma çözümü için oldukça teorik olan bir çok yaklaşımlar mevcuttur. Bu tür sayısal analiz yöntemleri bilgisayarlar yardımıyla üniversitelerde veya bu konuda uzman firmalarda yapılmaktadır. Bu tür çalışmaların sonucunda kalıp tasarımcıları için pratik bilgiler elde edilebilmektedir. Fakat bu teorik çalışmaları her zaman uygulamaya almak üretim şartları gereği veya ekonomik sebeplerden dolayı mümkün olmamaktadır.

### 9.3 Soğutma Zamanı

Enjeksiyon işleminin maliyetini arttıran bir diğer etken parça başına düşen enjeksiyon zamanıdır. Enjeksiyon zamanını etkileyen en önemli etken, parçayı kalıptan almak için gerekli olan sıcaklığa kalıbın soğutulması için geçen zamandır.

Prensip olarak, kalıptan parçayı almak için yeterli olan sıcaklık, ergimiş plastik ürünün dış yüzeyinin sertleştiği sıcaklıktır. Bu durumda, parçanın iç yüzeyi daha sıcak olacaktır. Parçayı kalıptan almak için gerekli olan sıcaklığa ulaşılmasında geçecek olan en az zamanı aşağıdakiler etkiler;

- Ürünün et kalınlığı
- Polimer ile kalıp sıcaklığı arasındaki fark
- Ürünün kalıptan alınması için gerekli olan zamanla kalıp sıcaklığı arasındaki fark

En az soğuma zamanı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir. (Injection Handbook, 1988)

$$C = \frac{-t^2}{2\pi\alpha} \log_e \left[ \frac{\pi (T_x - T_m)}{4 (T_c - T_m)} \right] \quad (9.1)$$

C=En az soğuma zamanı (sn)

t=Ürünün et kalınlığı (cm)

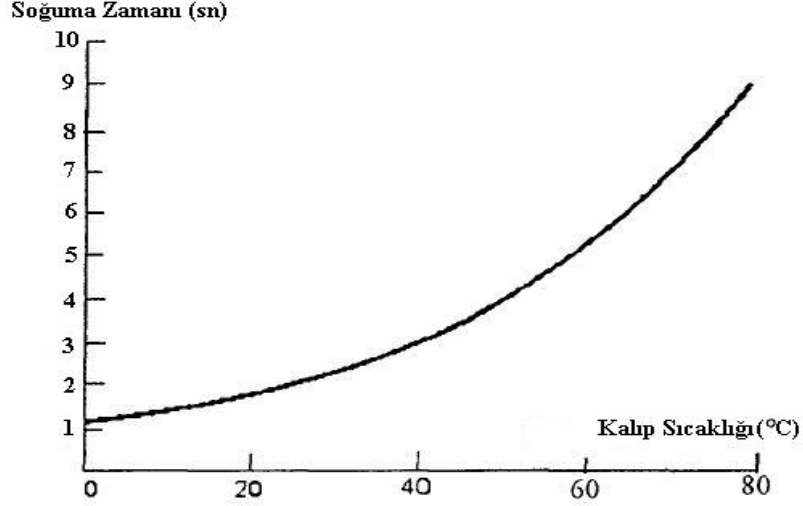
a=Malzemenin termal yayılma sabiti (cm<sup>2</sup>/sn)

T<sub>x</sub>=Kalıbın itme sıcaklığı (°C)

$T_m$ =Kalıp sıcaklığı (°C)

$T_c$ =Silindir sıcaklığı (°C)

Bu formülden yola çıkarak Şekil 9.2’de kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 9.2 Kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi

#### 9.4 Soğutma Sistemi ile İlgili Hesaplamalar

Soğutma işlemi ile ilgili aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

- Taşınım ile ortama atılan ısı miktarı
- Soğutma kanalı ile ortama atılan ısı miktarı

Ortama atılan ısı miktarı:

$$Q = G \cdot q \cdot n \quad (9.2)$$

$Q$ = Ortama atılan ısı

$q$ = Plastiğin  $t_g$  ve  $t_c$  sıcaklıklarındaki entalpilerinin farkı

$n$ = Bir saatte yapılan baskı adedi

$$q = C_p \cdot (t_c - t_g) \quad (9.3)$$

$C_p$ = Özgül ısı değeri

$t_c$ = Plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığı

$t_g$ = Plastiğin kalıplama sıcaklığıdır.

Plastiğin cinsine göre entalpi değerleri aşağıdaki şekilden tespit edilebilir. Ayrıca bir ürünün baskı süresi öngörülür ve buradan bir saatteki baskı adedi hesaplanır. Böylece atılması gereken toplam ısı miktarı 9.2 formülüyle hesaplanır.

Doğal taşınım ile atılan ısı miktarı;

$$Q_d = \alpha_1 \cdot F \cdot (t_k - t_0) \quad (9.4)$$

$\alpha_1$  = Kalıbın ısı transfer katsayısı olup 9.5 formülüyle hesaplanır.

F = Kalıp yüzey alanı

$t_0$  = Ortam sıcaklığı

$t_k$  = Kalıp sıcaklığı

$$\alpha_1 = A \cdot \Delta t^{1/3} \quad (9.5)$$

$$A = 0,25 + \left( \frac{360}{t_k} + 300 \right) \quad (9.6)$$

bilinen bu değerlerle kalıptan uzaklaştırılacak  $Q_1$  değeri bulunur. Kalıptaki soğutma kanallarının hesabı:

Bunun için önce soğutma kanallarının çeper sıcaklığını hesaplamak gerekiyor. Bunun için paralel yüzeyler arasındaki ısı transferini ifade eden Fourier formülü kullanılacaktır.

$$Q = \left( \frac{\lambda}{\delta} \right) \cdot \varphi \cdot \Delta t \quad (9.7)$$

Bu bağıntı düzenlenerek;

$$Q \cdot \left( \frac{\delta}{\lambda \varphi} \right) = \Delta t = (t_k - t_s) \quad (9.8)$$

Buradaki;

$\frac{\delta}{\lambda \varphi}$  ifadesi ısı direnci olarak ifade edilir ve  $R_v$  olarak gösterilir.

$t_k$  = Kalıp yüzeyinin sıcaklığı

$t_s$  = Soğutma kanallarının çeperlerinin ortalama sıcaklığı

Ancak ısı akışının geçtiği kesitlerin giriş ve çıkış alanı her zaman sabit kalmamaktadır. Isı, sıcak olan yüzeyden soğuk yüzey olan soğutma kanallarına doğru iletilir. Bu alan değişkenlik

gösterir ve bu alanın hesaplanması için Fourier formülünün düzeltilmesiyle elde edilen aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$R_v = \left( \frac{1}{\lambda} \right) \left( \frac{2.3 * L_k}{a * B} \right) \quad (9.9)$$

Burada;

$L_k$ = Soğutma kanallarının kalıp çerperine olan ortalama uzaklığı

$a$ = Soğutma kanalının boyunu

$B$ = Kalıpta soğutulması gereken alanın yüksekliğini ifade etmektedir. Buradan her soğutma kanalı için hesaplanan  $R_v$  değerleri Ohm kanununa benzeşim ile kalıbın toplam ısıl direnci hesaplanır. Sonuçta hesaplanmak istenen  $t_s$  değeri 9.9 bağıntısının 9.8 bağıntısında yerine konmasıyla elde edilen 9.10 bağıntısı yardımıyla bulunmaktadır.

$$t_s = t_k - Q_2 . R_v \quad (9.10)$$

Buradan soğutma kanalının çerperinin sıcaklığı soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı kabul edilirse  $R_v$  bulunur, buradan da  $L_k$ ,  $a$  ve  $d$  tayin edilir.

Soğutmanın verimli olabilmesi için, soğutma kanalları içinde dolaşan sıvının, türbülanslı akış yapması gerekmektedir. Akışın olabilmesi için ise  $Re$  sayısının 2300 değerinden büyük olması gerekmektedir. Ancak  $2300 < Re < 6000$  arasında alınması daha sağlıklıdır.  $Re$  sayısı 9.11 bağıntısıyla bulunabilir.

$$R_e = w . \frac{d}{\nu} > 2300 \quad (9.11)$$

Burada;

$w$ = Akış hızını

$d$ = Kanal çapını

$\nu$ = Dinamik viskoziteyi belirlemektedir. Öte yandan, uzaklaştırılacak ısı miktarı:

$$Q_2 = Q - Q_1 = G . q . n \quad (9.12)$$

Olduğundan dolayı, 9.12 bağıntısı da yazılabilir. Burada suyun özgül ağırlığı  $1000 \text{ kg/m}^3$  ve  $c_{su}=1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$  alınmıştır. Burada;

$t_{sg}$ = Suyun giriş sıcaklığını

$t_{sç}$ = Suyun çıkış sıcaklığını sembolize etmektedir.

$$1000 \cdot \left( d_2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot w \cdot (t_{sç} - t_{sg}) \cdot c_{su} = \left( G \cdot q \cdot \frac{n}{3600} \right) \quad (9.13)$$

Düzenlenerek soğutma kanalları çapı için:

$$d = G \cdot q \cdot \frac{n}{9 \dots 17} \cdot v \cdot (t_{sç} - t_{sg}) \cdot 10^9 \quad (9.14)$$

su akış debisi bağıntısından;

$$s = \left( d_2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot w \quad \text{yada} \quad s = 2830 \cdot d^2 \cdot w \quad (9.15)$$

Ancak pratikte su debisini ya da hızını ölçmek kolay olmadığından, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkından yararlanılmaktadır. Bunun için 9.16 bağıntısı kullanılmaktadır. Burada A katsayısı yaklaşık 0.02 alınabilir.

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta p_{su} \cdot d}{\gamma \cdot l \cdot A}} = \sqrt{\frac{\Delta p_{su} \cdot d}{l}} \quad (9.16)$$

l= Tüm kanalların toplam uzunluğunu (dirsek, köşe, bağlantı elemanları dahil)

A<sub>p</sub>= Su giriş ve çıkış arasındaki basınç farkını ifade eder.

Burada bilinmeyen sayısı fazladır ve bazı kabuller yapılmaktadır. Genelde su giriş sıcaklığı t<sub>sg</sub>=20°C ve t<sub>sç</sub>=50°C olarak seçilebilir. Bu veriler ve kabuller altında soğutma kanalının çapı bulunabilir.

Soğutma kanalının çapı bulunduktan sonra akışın türbülanslı olup olmadığı tekrardan kontrol edilmelidir, eğer türbülanslı değilse gerekli önlemler alınmalı.

Buradan su debisi 9.16 numaralı denklem kullanılarak bulunur. Soğutma kanallarının, iyi bir soğutma yapabilmesi için soğutma yüzeyi yeterli olmalıdır. Burada önemli olan soğutma sıvısının soğurduğu ısı yüzey alanı dolayısıyla soğutma kanallarının boyuyla ilgilidir. Bu yüzden 9.17 bağıntısı kullanılır.

$$Q_2 = Q - Q_1 = \alpha_3 \cdot \varphi \cdot (t_k - t_{sg}) \quad (9.17)$$

α<sub>3</sub>, akış hızının ve kanal çapının fonksiyonudur ve 9.18'deki gibi bulunur.

$$\alpha_3 = 1755 \cdot (1 + 0,015 \cdot t_{sg}) \cdot \left( \frac{w^{0,87}}{d^{0,13}} \right) \quad (9.18)$$

d soğutma kanallarının yüzey alanı Σφ, 9.19 bağıntısı ile bulunur.

$$\sum \varphi = d \cdot \pi \cdot \sum l \quad (9.19)$$

olarak ifade edilir. Böylece  $Q_2$  için 9.7 bağıntısı 9.20 ye dönüşür.

$$Q_2 = Q - Q_1 = 1755 \cdot (1 + 0,015 t_{sg}) \cdot \left(\frac{w^{0,87}}{d^{0,13}}\right) \cdot d \cdot \pi \cdot (t_k - t_{sç}) \sum l \quad (9.20)$$

Bu denklemde  $w$  yerine, denklem 9.16'dan bulunan bağıntı kullanılabilir.

$$w = \frac{S}{2830} \cdot d^2 \quad (9.21)$$

Son olarak  $\sum l$  çekilirse, soğutma için gerekli toplam kanal uzunluğu, 9.22 bağıntısında görüldüğü gibi ortaya çıkmıştır.

$$\sum l = Q_2 \cdot \frac{d}{3,53} (1 + 0,015 t_{sg}) \cdot S \cdot (t_k - t_{sç}) \quad (9.22)$$

Bu hesaplamaların neticesinde gerekli soğutma çapı ve boyu bulunmuş olur fakat kullanılması gereken soğutma kanalı sayısı hesaplanandan fazla uygulanabiliyorsa %20 daha fazla yapılmalı çünkü soğutma kanallarının tamamı plastiğe eşit mesafede bulunmamaktadır. (Anapa,2003)

## 9.5 Enjeksiyon Makinelerinde Kalıp Soğutma Suyunun Debi Ve Soğutma Kapasitesi

Soğutma suyunun sıcaklığı ve debisi kalıbın, dolayısıyla mamulün büyüklüğü ve cinsi ile direkt olarak ilgilidir.

Her şeyden evvel mamulün kalıptan kısa sürede çıkması yani çabuk soğuması için, kalıp cidarları içerisinde yeterli debide suyun geçebilmesi , bunun içinde gerekli çaplarda kanalların açılmış olması gerekmektedir.

Enjeksiyon makinelerinde kalıp soğutma suyunun debi ve gerekli soğutma kapasitesi şu şekilde hesaplanmalıdır.

Soğutma Kapasitesi Hesabı:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (9.23)$$

$Q_{sog}$  (kcal /h)= Soğutma Kapasitesi

$Q_{Erg}$  (kcal/h)= Ergime kapasitesi

$m$  (kg)= 1 saatte eritilen granül miktarı

$$A_t = T_{er} - t_{gir} \quad (9.24)$$

$T_{er}$  (°C)= Hammaddenin kalıba akması için gerekli ergime ısısı

$t_{gir}$  (°C)= Granülün ortamdaki sıcaklığı

$c$  (kcal /kg°C)= Gralünün özgül ısısı.

Soğutma Suyu Debisi:

$$V = \frac{Q}{g.c.\Delta t.1000} \quad (9.25)$$

$V$  (m<sup>3</sup>/h)= Su debisi

$Q$  (kcal/h)= Soğutma kapasitesi

$g$  (kg/dm<sup>3</sup>)= Suyun yoğunluğu

$c$  (kcal/kg°C)= Suyun özgül ısısı

$\Delta t$  (°C)= Kalıba giren ve çıkan su sıcaklığı farkı

Üretimde optimum hıza ulaşabilmek için genellikle istenilen su sıcaklığı 10-12°C arasındadır.

Suyun soğutma kanallarından belirli hızda geçebilmesi içinde gerekli basınç 3-5 bar değerinde olmalıdır.

Soğutma suyunun giriş ile çıkış arasındaki sıcaklık farkı soğutma kanalı yüzeyine göre 2.5-5°C arasında değişmelidir.

Bu şartlar pompa istasyonlu bir su grubu tarafından sağlanabilir.

## 9.6 Plastik Malzeme Sıcaklığı ve Isı Dengesi

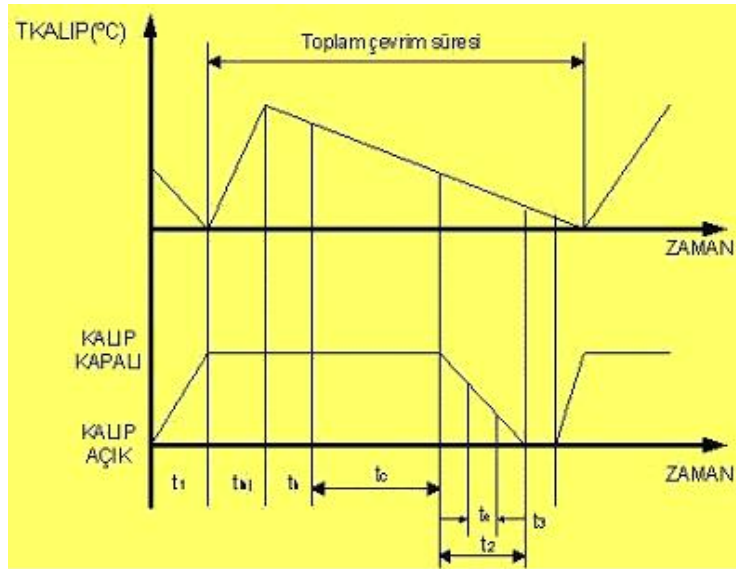
Soğuk taneli haldeki plastik malzemeyi viskoz bir akışkana dönüştürüp kalıba enjekte edebilmek için belirli miktarda enerji vererek ısıtmak gerekir. Bu işlem ise enjeksiyon makinelerinde elektrikli ısıtıcılar ve basınçlı sonsuz vida yardımıyla gerçekleştirilir. Vidanın plastik malzemeye uyguladığı mekanik enerji ısıya dönüşürken vida dış çeperlerine yerleştirilmiş olan ısıtıcı bantlar da ilave bir ısı vererek malzemeyi akıcı duruma getirir. Eriyik halde ve oldukça yüksek bir sıcaklıkta kalıp boşluğuna giren plastiğin bir an önce soğuyup kalıptan çıkarılabilmesi için kalıba soğutma uygulamak gerekir.

Sıcaklığın kalıptan uzaklaştırılması sadece soğutma çevrimi (°C) esnasında değil tüm toplam kalıp çevrimi (t) boyunca olur(şekil 8.3). Kalıp enjeksiyon makinesine bağlandığında oda

sıcaklığında bulunur. Plastik kalıba enjekte edilmeden önce soğutma sistemi bağlanır ve çalıştırıldığında kalıp yavaş bir şekilde soğutma suyunun sıcaklığına ulaşır ve sıcak plastik enjekte edilene kadar bu sıcaklıkta kalır.

Enjeksiyon çevrimi esnasında soğutma suyu ısıyı uzaklaştırırken kalıp sıcaklığı yükselecektir. Unutulmamalıdır ki kalıbın ısını sadece soğutma sistemi azaltmaz aynı zamanda itici çevrimiyle kalıptan çıkarılan plastik üründen de önemli miktarda ısı uzaklaştırılmış olur. Kalıplan yeni çıkmış plastik ürün ele alındığında oldukça sıcak olduğu görülür.

Eğer soğutma çevrim zamanı kalıptan ısıyı uzaklaştırmak için yeterli olmayacak kadar kısaysa kalıbın sıcaklığı gittikçe artacak, ve sonucunda da kullanılmaz ürünler elde edilecektir. Bunu önlemek için soğutma zamanı arttırılmalıdır. Tam tersi olarak soğutma çevrim zamanı çok uzunsa yani oluşan ısı itici çevrimi başlamadan önce kalıptan uzaklaştırılıyorsa çevrim zamanı gereksiz uzuyor ve verim düşüyor demektir. Soğutma zamanı azaltılarak bu önlenmelidir.



Şekil 9.3 Kalıp sıcaklığının çevrim zamanına göre değişimi

$t_1$  = Kalıp kapanma süresi

$t_{inj}$  = Enjeksiyon süresi

$t_h$  = Enjeksiyon tutma süresi

$t_c$  = Soğutma süresi

$t_2$  = Kalıp açılma süresi

$t_e$  = Parça çıkarma süresi

$t_3$  = Kalıp açık kalma süresi

### 9.7 Soğutucu Sıvının Akışı

Kalıp içerisinde geçirilen soğutma suyunun akışına çeşitli faktörler etki eder. Kalıptan uzaklaştırılan ısının miktarı plastik malzeme ile soğutma suyunun sıcaklık farklarıyla orantılıdır. Kalıp içerisinde dolaşan ve ısınan su yerini daha soğuk ve taze suyla değişmedikçe kalıbın soğumasından söz edilemez. Bu sebeple soğutma suyunun devamlı bir akış halinde bulunması gerekir. Suyun akışına etki eden faktörler şöyle sıralanabilir: soğutma suyunun kalıba giriş ve çıkışındaki basınç farkı, su kanallarının kesitleri, kanalların uzunluğu ve düzeni, suyun vizkozitesi, Reynold sayısı ve su kanallarının durumu. Suyun kalıba giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı akışı sağlar. Çıkıştaki basınç atmosfer basıncının çok az üzerinde bir değerdayken girişteki basınç ise 5-6 barı geçmez. Normal olarak giriş basıncının daha yüksek olması daha iyi bir akış sağlar. Fakat pratikte maliyeti arttırdığı için daha yüksek giriş basınçları kullanılmamaktadır.

Soğutma kanallarının kesit alanları büyüdükçe bu alandan geçen su miktarı da artmış olur. Suyun debisi kanalın kesit alanıyla doğru orantılıdır. Bu sebeple tasarımcı su kanallarını kalıp içerisinde geçirirken kanal kesit alanını göz önünde bulundurmalıdır. Plastik malzemeye göre su kanallarının yapı seçilmelidir. Mümkün olduğunca fazla ve etkili bir soğutma arzu ediliyorsa kesit alanını da mümkün olabilen en büyük değerde olmalıdır. Kalıba uygulanan soğutma hattının uzunluğu da suyun akışını etkiler. Çok büyük kalıplar haricinde su hattının toplam uzunluğunun akışa olan etkisi ihmal edilebilir. Fakat su hattındaki ani kesit değişimleri veya yön değiştirmeler akışı olumsuz etkileyebilir. Tasarımcının dikkat etmesi gereken önemli hususların biri de su hattında hareketsiz, akışın olmadığı su ceplerinin oluşmamasıdır. Bu su cepleri zamanla aşın ısınarak ısı transferini engeller.

Su kanallarının durumu da akışı etkileyen önemli faktörlerdendir. Özellikle sudaki kireçle kanalların çeperini kaplayarak hem kesit alanını azaltır hem de ısı geçişim kötü yönde etkiler. Bu husus özellikle küçük kesitli su kanallarının tamamen tıkanmasına yol açabilir. Bu yüzden su kanalları tasarımının zaman zaman temizliğe izin verecek şekilde olması gerekir.

Araştırmalar sonucunda kanal çeperlerinden suya olan ısı geçişinin Reynold sayısı 3200'den yukarı olduğu zaman çok daha iyi olduğu görülmüştür. Eğer Reynold sayısı 3200'den küçük ise laminer bir akış, 4000'den büyük ise türbülanslı bir akış söz konusudur. Laminer bir akış sırasında akışkanın sadece kanal duvarlarına yalçın olan moleküller kanalın çeperiyle temas halindedir. Oysa türbülanslı akışta akışın tabiatı gereği çok daha fazla akışkan molekülü çeperle temas geçer ve ısı geçişini kolaylaştırır. Dolayısıyla Reynold sayısı arttıkça ısı geçişi iyileşeceğinden daha iyi bir soğutma elde edilecektir. Bu sebeple su kanallarında türbülanslı

bir akış istenir. Fakat büyük çaplı kanallarda akış laminer akışa meyillidir. Dununla beraber genellikle büyük kanallar ana dağıtım kanalları olup gerçek soğutma kanalları daha küçük çaplıdır ve buralarda yeterli türbülans elde edilir. (Esenlik, 2001)

### **9.8 Yolluk Sisteminin Soğutmaya Etkisi**

Sıcak yolluk veya soğuk yolluk sistemleri kalıbın soğutmasına değişik şekillerde etki eder. Soğuk yolluk sistemli kalıplarda yolluk kanalını dolduran plastik kalıp boşluğundaki plastik ürün gibi soğur. Soğuk yolluk itici mekanizması yardımıyla kalıplanan plastik ürünle birlikte kalıptan çıkarılır. Özellikle kalıpta yolluk kanallının açıldığı ayrı bir plaka kullanılıyorsa ve yolluk kanallarına dolan plastik hacim olarak kalıplanan üründen çok fazla ise bu plakanın da ayrıca soğutulması gerekmektedir. Bununla beraber bu plakanın aşın soğutulması da sakıncalı olup malzemenin kalıp boşluğuna yürümesi zorlaşacaktır. Hacim olarak oldukça küçük fakat çok gözlü yapılan kalıplarda eğer ekonomik sebeplerden dolayı sıcak yolluk yapılamıyorsa yolluk plakasının optimum şekilde soğutulması gerekmektedir. Yolluk tasarımı yapılırken yolluğun kalıbı doldurabilecek ve iticilerin kolayca kalıptan çıkarabilecek minimum kesitte yapılmasına dikkat edilmelidir. Sıcak yolluk kullanılan kalıplarda ise eriyik halde bulunan plastik enjeksiyon makinesinin lülesinden dişi kalıp boşluğunun olduğu hacimde sıcak halde tutulmak zorundadır. Plastik malzemenin kalıba dolması için kullanılan sıcak yolluk manifoldunun sıcaklığı ne normal eriyik plastiğin sıcaklığından düşük olmalı ne de kalıptan ilave bir ısı geçişi olmayacak şekilde sabit tutuluyor olmalıdır. Çünkü sıcak yolluk manifoldu ve ekipmanları kalıp plakasına bağlı olduğu için kalıptan ısı geçişi olabilir ve manifoldu soğutma ihtiyacı ortaya çıkabilir. (Esenlik, 2001)

### **9.9 Kalıp Plakalarının Sıcaklığı**

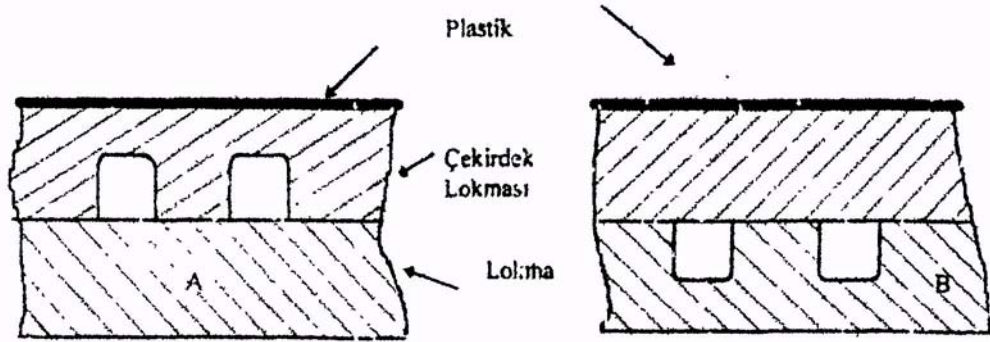
Tasarımcı tam ve yeterli bir soğutma yapabilmek için erkek veya dişi çekirdeklerin soğutulmasının yanında diğer kalıp elemanlarının da ısınacağı ve bu ısınmanın ürünü ne kadar etkileyeceğini düşünüp ona göre kalıp bağlama plakalarının veya maçalarının da soğutulması gerekebileceğini düşünmelidir. Kalıptaki ısınmanın asıl sebebi dişi ve erkek çekirdekleri dolduran eriyik plastik olmasına rağmen çekirdek lokmaları ile veya yollukla temas halindeki diğer kalıp elemanlarına da sıcak plastikten ısı geçişi vardır. Hatta ısınan kalıbın sıcaklığının bir kısmı da kalıbın bağlı olduğu enjeksiyon makinesinin plakalarına ve ortama da geçer. Bir enjeksiyon fabrikasına girildiğinde ortamdaki sıcaklık çok rahat bir şekilde hissedilebilir.

Enjeksiyon makinesine bağlı olan kalıbın erkek, ve dişi plakalarının her ikisinin de sıcaklıklarının mümkün olduğunca aynı sıcaklıklarda olmasına dikkat edilmelidir. Eğer büyük

bir sıcaklık farkı varsa kalıbın açılıp kapanması sırasında düşük bir toleransla çalışan merkezleme mili ve burcunun, açılı kitleme plakalarının veya maçaların birbirlerini konumlamalarında farklar oluşur ve bu farklar yukarıda bahsedilen hareketli kalıp elemanlarının çok çabuk aşınmalarına sebebiyet verebilir. Çekirdeklerin yer aldığı kalıp plakalarına herhangi bir soğutma uygulanmıyorsa bu plakaların aşın ısınıp ısınmadığı gözlenmelidir. (Esenlik, 2001)

### 9.10 Su Kanalı Verimliliği

Su kanalları plastiğin formunun yer aldığı çekirdek lokmasından geçirilmeye dikkat edilmelidir. Çekirdekte temas halinde olan lokmadan su kanallarını geçirmek soğutma verimini ve etkinliğini düşürmektedir.



Şekil 9.4 Plastik yüzeyinden farklı mesafede aynı kesitte su kanalları

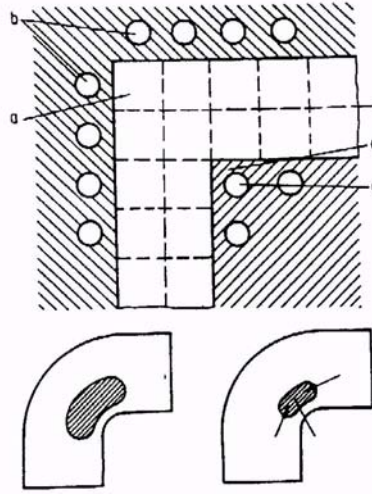
Şekil 9.4-A'da üç kez daha etkili soğutma B'de tek yüzey teması zayıf soğutma gösterilmiştir. (Esenlik, 2001)

### 9.11 Parçaların Kritik Kesitlerinin Soğutulması

Parça üzerinde noktadan noktaya değişen soğuma hızları farklı soğuma zamanlarına, çekme farklılıklarına ve kalıntı gerilmelere yol açar. Parçanın farklı bölgeleri farklı basınç altında katılaştır ve daha geç katılaştıranlar çekme sınırlamalarına maruz kalırlar.

Parçaların köşeleri yüzey alanlarının farklılığından dolayı dış kısımlarda yüksek, iç kısımlarda düşük soğuma hızlarına sahiptirler (Şekil 9.5). Enjeksiyondan hemen sonra ergimiş malzeme yüzeyde katılaştır ve kesitin merkezindeki sıcaklık maksimumdur. Katılaştırmanın devam etmesiyle dış kısımlarda ısı geçişi için mevcut olan alanın büyük olması ve dış yüzeylerden daha fazla ısının kaçması nedeniyle daha fazla katılaştırma olur. Şekil 8.5 kalan ergimiş malzemenin kenardan içe doğru hareketini göstermektedir. Soğuma zamanının sonunda en

son katılaşılan ergimiş malzeme iç yüzeyde kapalı kalmış olmalıdır.



Şekil 9.5 Köşelerde malzemenin katılaşması

Katılma süresince bir malzeme eksikliği oluşur, çünkü tutma basıncı tarafından sağlanan ergimiş malzeme ile çekme kompanze edilemez. Buna bağlı olarak da çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmeler kalıp tarafından karşılanır. Parça kalıptan çıkarıldıktan sonra dış gerilmeler ortadan kalkar ve iç gerilmelerin dengelenmesi için parçada çarpılmalar ve distorsiyonlar meydana gelir. Bunun yanı sıra boşluklar, çökmeler ve ani kırılmalar bile oluşabilir. Açıkçası katılma işlemi dışarıdan içeriye doğru devam ettiği için merkezin en son katılması kaçınılmazdır. Bununla birlikte eğer kalan ergimiş malzeme ve onun meydana getirdiği çekme kuvvetleri bir simetri düzleminde tutulabilirlerse deformasyon engellenebilir.

Ayrıca eğer parçada distorsiyon oluşması istenmiyorsa sıcaklık gradyanının maksimumu kesitin merkezinde tutulmalıdır. Kalıp duvarı ters yönde ısı akısı olan iki kesite bölünebilir. Distorsiyondan kurtulmak için soğuma süresince köşelerdeki ısı akıları ayarlanmalıdır.

## 9.12 Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı

### 9.12.1 Çekirdekler ve dairesel kesitli parçalar için soğutma sistemleri

Parçada tüm kesitlerde ve özellikle de kritik kesitlerdeki gerekli ısı akısını sağlamak için önemli zorlukların aşılması gerekebilir.

İnce bir kalıp çekirdeği bahsedilen bu zorlukların aşılması gereken karakteristik bir örnektir. Artan soğuma zamanı gibi yol açacağı ciddi sonuçların farkına varılmadığından dolayı veya üretimden kaynaklanan sebeplerden dolayı bu tür çekirdekler çok sık olarak özel bir soğutma

önlemi alınmaksızın bırakılırlar. Soğuma kalıp gövdesinden çekirdeğin uç kısmına doğru olur. Enjeksiyon ve itici zamanlan arasındaki zamanın azalması ile azalan çekirdeğin soğuma zamanı dolayısıyla ayrı bir soğutma yapılmadığı için çekirdeğin sıcaklığının artması kaçınılmaz olur. Parçanın kalıptan çıkarılma sıcaklığını çekirdek sıcaklığı olarak tanımlamak mümkündür. Eğer çekirdeğin tabanı tam olarak soğutulursa, çekirdeğin ucu ile tabanı arasında istenmeyen bir sıcaklık gradyanı oluşur. Çekirdek duvarı ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması kalıbın kararlı ısıl dengeye gelmesi için önemli olan dinamik karakteristiğini bozar. Bunun anlamı kalıbın çok uzun bir zaman süresi içinde ısıl olarak kararlı denge durumuna ulaşacağıdır.

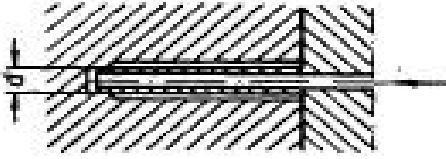
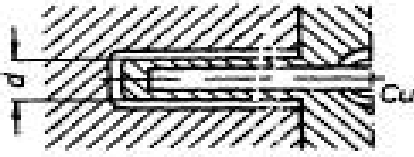
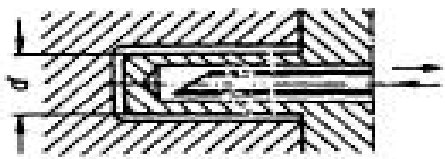
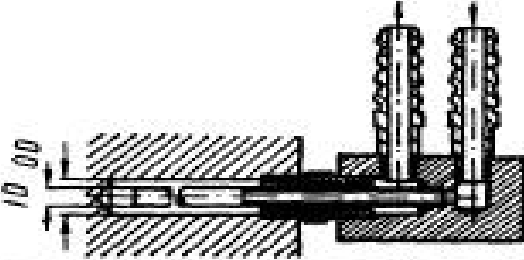
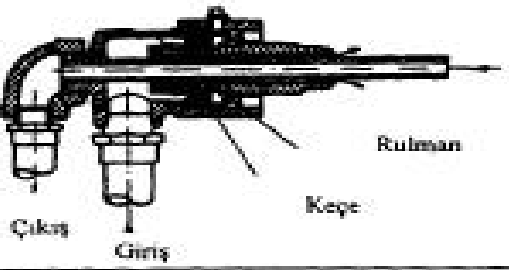
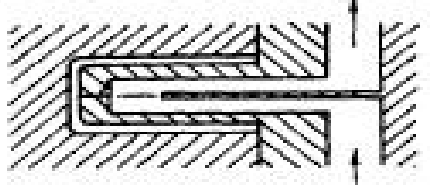
Daha önce bahsedilen çevrim zamanındaki artmadan dolayı, soğutulmayan bir çekirdek parça kalitesinin düşmesine hatta üretimin tamamen durdurulmasına neden olabilir. Bu olay özellikle kare veya dikdörtgen kesitlere sahip çekirdeklerde daha görünür hale gelir. Soğutulmayan çekirdeklerin bulunduğu kalıplardan üretilen parçalarda çökmeler ve distorsiyon kaçınılmaz olur. Bu yüzden çekirdeklerde soğutma için mutlaka tedbir alınmalıdır. Bunu yapmak için aşağıdaki şekilde (Şekil 9.6) gösterilen önlemler alınabilir.

Eğer genişlik veya çap küçükse çoğu zaman hava ile soğutma mümkün olur. Kalıp açıkken hava çekirdeğin dışından ya da içeride merkezdeki bir delikten akar. Bu çekirdeğin kalıbın çalışma sıcaklığında kalması için uygun değildir (Şekil 9.6a).

Bu tür ince çekirdeklerin daha iyi soğutulması ise bakır, berilyumlu bakır yada yüksek dayanımlı sinterlenmiş bakır-tungsten gibi yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kullanılarak yapılmaları ile mümkün olur (Şekil 9.6b).

Bu tür çekirdekler insert şeklinde yapılırlar ve girdikleri yere pres veya sıkı geçme şeklinde geçirilirler. Geçirildikleri taban ise içinden soğutma kanalı geçecek kadar büyük olmalıdır.

İnce çekirdeklerin soğutulmasında en etkili yöntem ise ince borular kullanmaktır. İç kısımdaki bir boru soğutucu akışkanı çekirdek içindeki kör bir deliğe kanalize eder. Borunun çapı ve kör deliğin çapı tüm kesitlerde akışa karşı olan direncin aynı olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Bunun için gerekli koşul  $ID/OD=0.5$  olmasıdır. Bu yöntemde hipodermik iğnelerin kullanılması ile 1.5mm.lik boyutlara inilebilir. Bu durumda soğutma sıvısının saflığı sıvının geçtiği deliklerin tıkanmaması için özel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür soğutucu borular ticari olarak- bulunmaktadır ve genellikle çekirdeğe vidalanarak kullanılmaktadırlar (Şekil 9.6d). 4mm. ye kadar boru uçlan şekilde görüldüğü gibi çıkış kesitini arttırmak için çapraz olarak kesilirler (Şekil 9.6c).

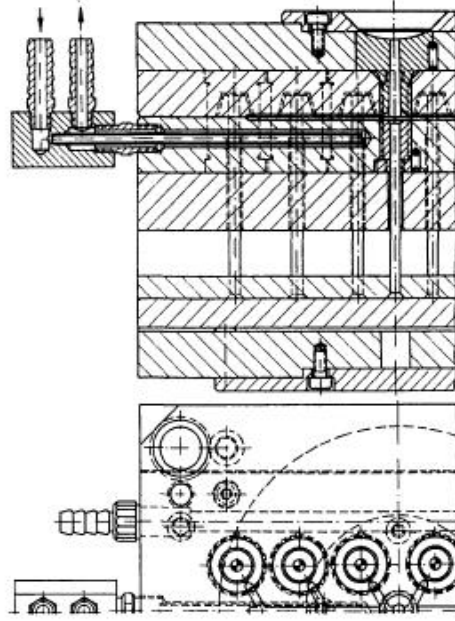
Şekil	Çekirdek çapı veya genişliği	Tasarım
a	$\geq 3$ mm	
b	$\geq 5$ mm	
c	$\geq 8$ mm	
d		
e		
f		

Şekil 9.6 Çekirdek soğutma teknikleri

Şekil	Çekirdek çapı veya genişliği	Tasarım
g		
h		
i		<p>Kapiler eley</p> <p>Dış gövde</p> <p>Buhar</p> <p>Sıvı</p> <p>Evaporatör</p> <p>Kondanser</p>
j	$\geq 40 \text{ mm}$	
k	İç çekirdek $S \geq 4 \text{ mm}$	
l		<p><math>b &gt; 3 \text{ mm}</math></p> <p><math>3 \text{ mm} &gt; b^*</math></p>

Şekil 9.6 (devam)

Soğutma boruları sadece çekirdeklerin soğutulmasında değil aynı zamanda soğutma kanallarının delinemeyeceği düz kalıp kısımlarında da kullanılırlar (Şekil 9.7).



Şekil 9.7 Soğutma borulu bir çok kaviteli kalıp ve soğutma suyu bağlantıları

Vidalalı kalıp çekirdekleri için de dönebilen özel soğutma borulu sistemler geliştirilmiştir. (Şekil 9.6e)

Bir çekirdeğin iç kısmına soğutma için açılan bir kör deliğin su giriş ve çıkışının ince bir metal levha ile ayrılması da sıklıkla önerilen bir yöntemdir. (Şekil 9.6f) Bu yöntem soğutucu sıvıya maksimum kesiti sağlar ancak levhanın tam merkeze yerleştirilmesi de oldukça zordur. Soğutma etkisi ve bunun sonucu olan sıcaklık dağılımı bir taraftan diğer tarafa fark edebilir. Bu dezavantaj metal plakanın helisel şekilde yapılması ile ortadan kalkar. Bu tür bir soğutucu ile, soğutma sıvısını helis şeklinde dönerek ilettiği için çok üniform bir sıcaklık dağılımı elde edilir. (Şekil 9.6g)

Bu tür spiralli soğutucular bir veya iki spiralli olabilirler. (Şekil 9.6h)

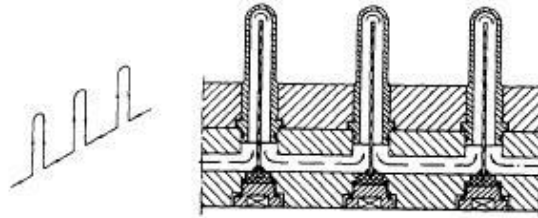
Soğutma sistemlerinde kullanılan en son ve gelişmiş tekniklerden biri de ısı borusu adıyla da anılan sistemdir. (Şekil 9.6i). Bu sistem kompozisyonu kullanım sıcaklığına bağlı olan sıvı bir ısı ileticisi ile dolu, kapalı bir silindirik borudan ibarettir. Sıvının ısı ile buharlaştığı bir buharlaşma bölgesi ve buharın tekrar yoğunlaşarak sıvı hale geldiği bir yoğunlaşma bölgesi vardır. Merkez bölümü adyabatik ısı transferini sağlar. Isı boruları boru ve kalıp arasındaki ısı direncinin minimum olmasını sağlayacak şekilde çok hassas bir şekilde yerleştirilmelidir. Daha

önce bahsedilen yüksek ısı iletim katsayısına sahip insertlere benzer olarak tabanlarından soğutulmalıdırlar. Isı boruları ticari olarak 3mm. ve daha büyük çaplarda bulunmaktadırlar. Nikel kaplı olabilirler ve çekirdeklerle hemen kullanılabilirler.

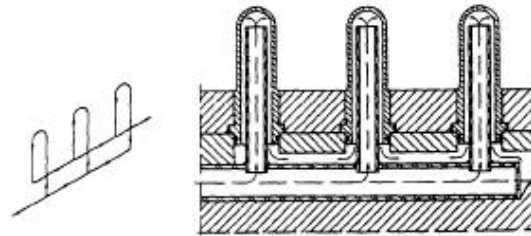
40mm ve daha büyük çaplı çekirdekler için soğutucunun pozitif hareketi sağlanmalıdır. Bu ise soğutucunun çekirdeğin ucuna kadar bir borunun içinden gitmesi ve helisel bir kanaldan dolaşarak çıkması ile gerçekleştirilir. Bu tasarım çekirdeği önemli olmayan miktarda zayıflatır. (Şekil 9.6j)

Silindirik çekirdeklerin ve diğer dairesel parçaların soğutulması çift helisel bir soğutma sistemi ile yapılmalıdır. Soğutucu çekirdeğin ucuna bir helisel kanal ile ulaşır ve çekirdeği yine bir helisel kanaldan terk eder (Şekil 9.6k). Bu durumda tasarımın gerektirdiği minimum çekirdeğin cidar kalınlığı 3mm'dir. Daha ince cidarlı parçalar için daha farklı bir çözüm önerilmiştir (Şekil 9.6l). Burada ısı tabanında soğutma yapılan berilyumlu bakırdan bir silindir ile uzaklaştırılır.

Kalıpta aynı şekilde soğutulması gereken birden fazla çekirdek varsa çözümler aşağıdaki şekillerde (Şekil 9.8 ve 9.9) gösterilmiştir. Bu şekiller çekirdeklerin seri ve paralel soğutulmasını göstermektedir.



Şekil 9.8 Çekirdeklerin seri soğutulması



Şekil 9.9 Çekirdeklerin paralel soğutulması

Seri soğutmada her bir çekirdek soğutucunun birinden çıkıp diğerine girmesi yoluyla

soğutulur. Soğutucunun sıcaklığı yükseldiği ve parça ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkı artan soğutucu akış boyu ile azaldığı için çekirdeklerin ve parçaların üniform soğuması sağlanamaz. Bu tür bir sistemle çok kaviteli kalıplarda üretilen parçaların kalitesi de aynı değildir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için paralel soğutma kullanılır.

Paralel soğutma ile her bir çekirdek aynı ana kanaldan sağlanan soğutucu ile soğutulur. Diğer bir toplayıcı kanalda soğutucuyu kalıptan uzaklaştırır. Böylece her çekirdek aynı sıcaklıktaki soğutucu ile soğutulur. Bu da üniform soğuma sağlar ve ayrıca soğutucu da hacimsel olarak eşit olarak bölünür.

Daha gelişmiş ancak daha yüksek maliyetli bir diğer çözüm de her çekirdeğin, soğutucunun da ayrı olarak sağlandığı soğutma boruları ile soğutulmasıdır.

Tüm bu soğutma sistemleri dairesel kesitli parçaların soğutulması için uygundur. Tek veya çift helis kanallı soğutma sistemi hem kaviteler hem de çekirdekler için aynı derecede etkin olarak kullanılabilir.

### 9.12.2 Düzlemsel parçalar için soğutma sistemleri

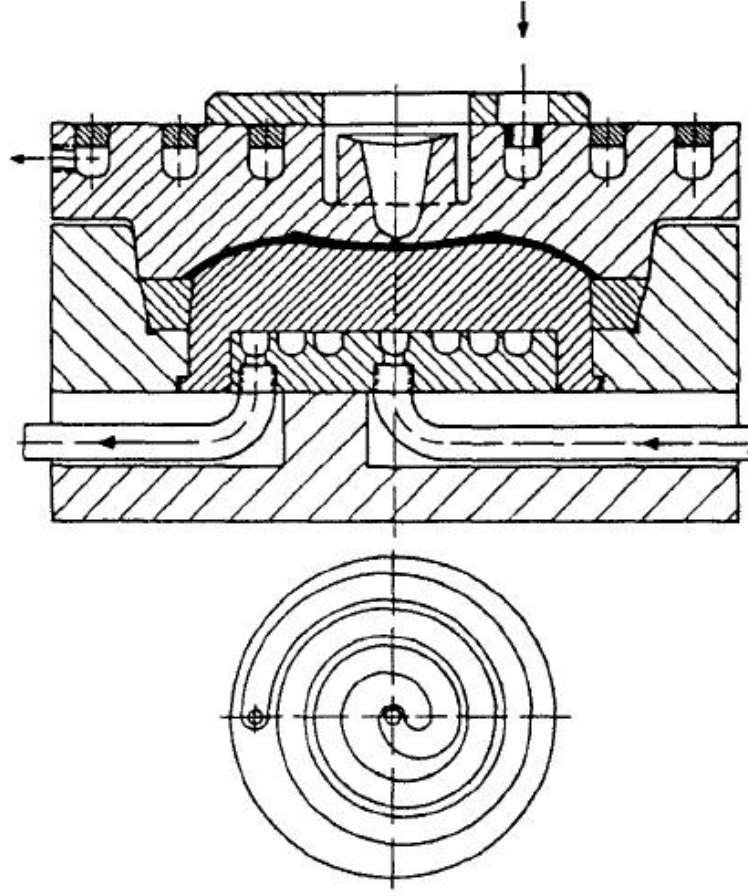
Dairesel parçalar için pratikte başarı ile kullanılan sistem aşağıdaki şekilde (Şekil 9.10) gösterilmiştir. Soğutucu merkezden (girişin tam karşısı) parçanın kenarına spiral bir kanal içinde akar. Bu sistem en sıcak noktada, parça ve soğutucu arasındaki en yüksek sıcaklık farkını sağlar. Soğutucu spiral kanal boyunca akarak sıcaklığı yükselirken ergimiş malzeme de akış boyundan dolayı aynı oranda soğur. Sıcaklık farkı gittikçe azaldığı için daha az ısı uzaklaştırılır. Bu da daha üniform bir soğuma sağlar. Dahası ilk spiral kanala paralel olarak açılan ve soğutucunun dönüş yolunu meydana getiren ikinci bir spiral kanal açılacak olursa soğuma çok daha üniform olur. Bu sistem daha pahalıdır ancak daha yüksek kaliteli ve distorsiyonsuz parçaların üretilmesine imkan sağlar.

Yüksek kaliteli parçaların üretilmesi için her iki kalıp yarısı da bu soğutma sistemi ile donatılmalıdır.

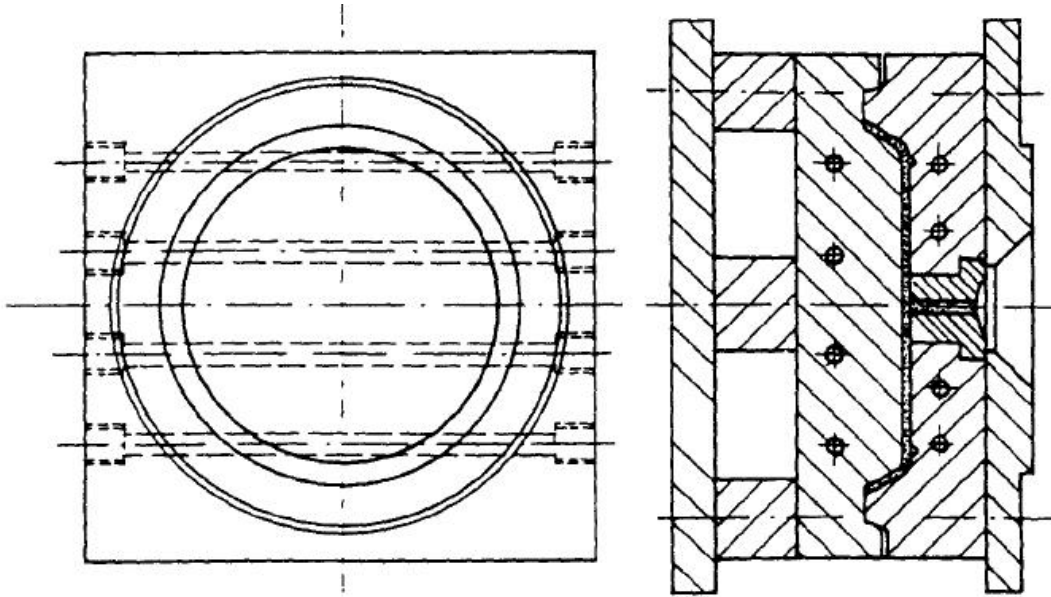
Ekonomik sebeplerden dolayı çok sık olarak dairesel parçalar için kalıp içinden düz olarak geçen doğrusal soğutma kanalları açılır. Bu yöntem üniform bir sıcaklık dağılımı sağlayamaz ve parçada distorsiyonlar meydana gelebilir (Şekil 9.11).

Düz soğutma kanalları sadece dikdörtgen parçaların kalıplarında kullanılmalıdır. Bu tür kalıplarda kalıp plakasına soğutma kanallarını delmek çok ekonomiktir. Deliklerin uç kısımları tıkanır ve soğutucu tıkaçlarla ve çubuklarla gerekli yerleri tıkanarak hazırlanmış

kanallardan akar.

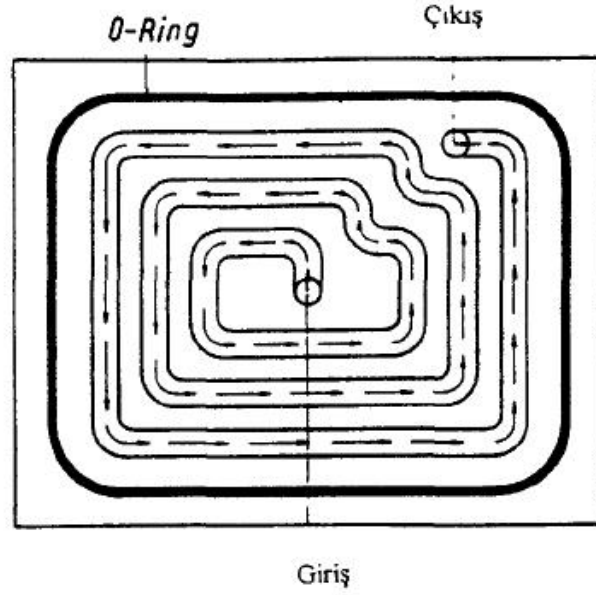


Şekil 9.10 Spiral soğutma kanalının tasarımı

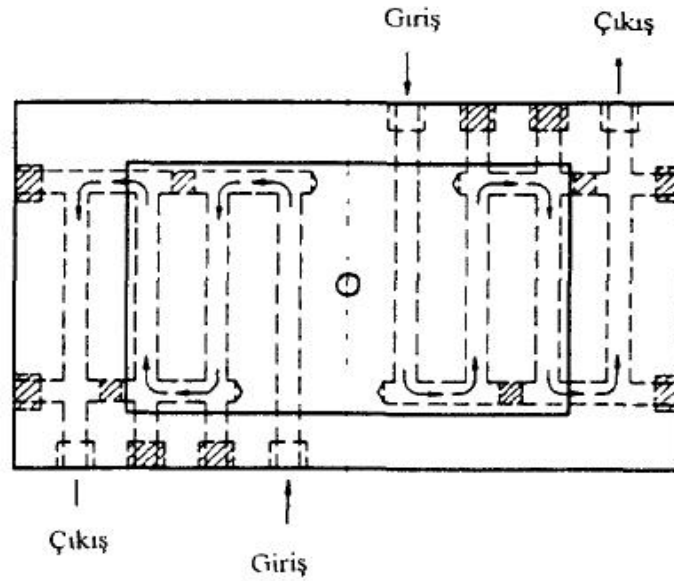


Şekil 9.11 Doğrusal soğutma kanalları (Dairesel parçalar için kötü bir tasarım)

Göreceli olarak daha pahalı bir soğutma sistemi de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 9.12). Soğutma kanalı, soğutucuyu spiral bir kanal içinde merkezden kenara doğru taşıyacak şekilde plakaya oyulmuştur. Bu sistem maliyetinden dolayı sadece merkezden girişli kalıplar için uygundur. Merkezden girişli dikdörtgenel parçalar için diğer soğutma sistemleri de aynı oranda etkilidir ve bunlar maliyet açısından daha avantajlıdır (Şekil 9.13). Sistem kalıp plakasına delinmiş kör deliklerden meydana gelmiştir.



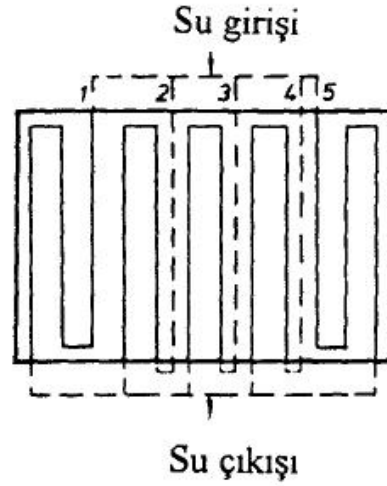
Şekil 9.12 Dikdörtgenel parçalar için spiral soğutma kanalı tasarımı



Şekil 9.13 Ekonomik bir soğutma sistemi örneği

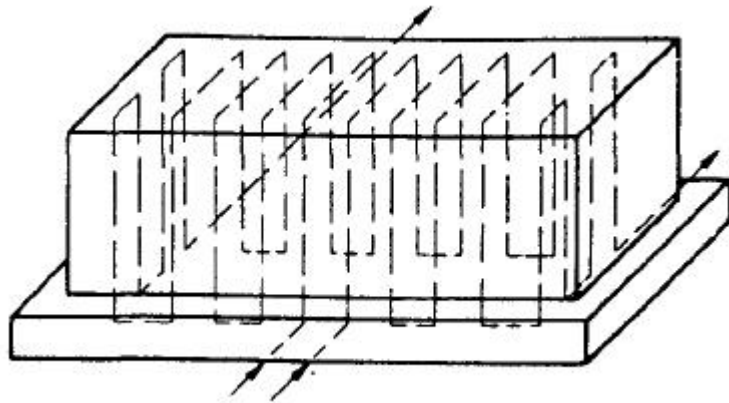
Eğer parça yandan girişli ise soğutucu da yandan girebilir. Çok kaviteli kalıplarda yüksek kaliteli parçalar her kavite için aynı soğuma koşullarının sağlanması ile elde edilebilir. Bunun için de her kavite ayrı olarak soğutulmalıdır. Kavitelerin ayrı olarak soğutulması aşağıdaki şekilde (Şekil 9.14) gösterildiği gibi çok sayıda soğutma devresinin paralel olarak dizilmesi ile elde edilir.

Ancak bu tasarım eşit akış hızlarını tam olarak sağlayamadığı için ilave kontrollere ihtiyaç vardır.



Şekil 9.14 Büyük yüzeyler için farklı soğutma kanallarının paralel dizilişi

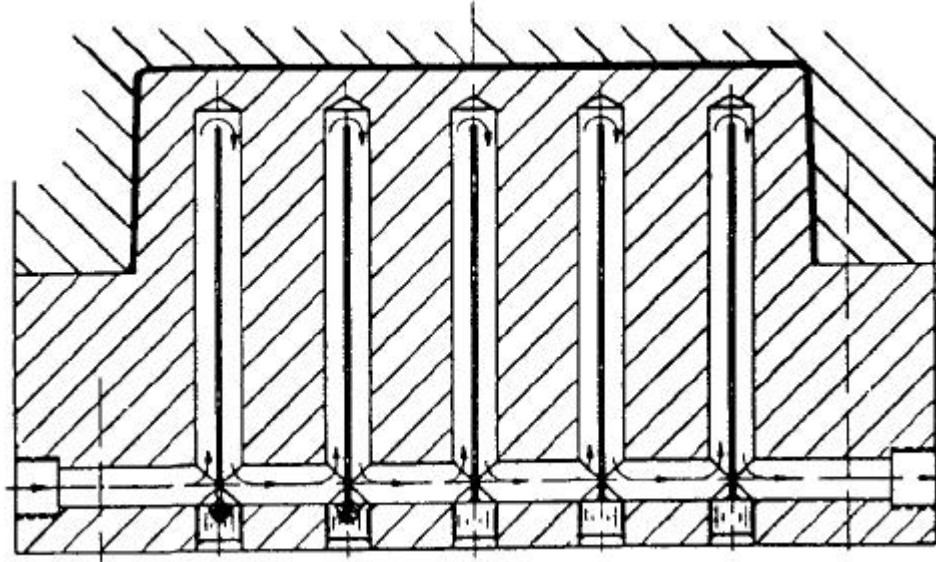
Düz parçaların soğutulması için kullanılan bütün bu sistemler uygun düzenlemeler yapılarak kutu şeklindeki parçaların kalıplarının soğutulmasında da kullanılabilir. Girişin yeri soğutma kanallarının şeklini ve seri mi paralel mi olacağını belirler.



Şekil 9.15 Çekirdek soğutulmasında kullanılan paralel soğutma kanalları

Paralel sistem için bir örnek yukarıdaki şekilde (Şekil 9.15) bir buzdolabı çekmecesinin kalıbının soğutulmasında gösterilmiştir. Bu sistem kör ve patlayan delikler delinmesi suretiyle maliyet açısından uygun bir şekilde elde edilebilir. Soğutucunun istenen yoldan akması için kaynaklar ve tıkaçlar kullanılmalıdır. Bu işlem çekirdekte zayıf yada başka bir deyişle tehlikeli noktaların oluşmasına neden olur. Tıkaçlar, şeffaf parçalarda izlere sebep olabilirler ve kaynak işlemi de çekirdekte bitirme işlemleriyle giderilemeyecek distorsiyonlara neden olabilir.

Bu yüzden dikdörtgenel çekirdeklerin soğutulması için de daha önce dairesel çekirdekler için kullanılan ve bir örneği aşağıdaki şekilde (Şekil 9.16) görülen sistem benzeri sistemler önerilmektedir.(Menges vd, 2001)

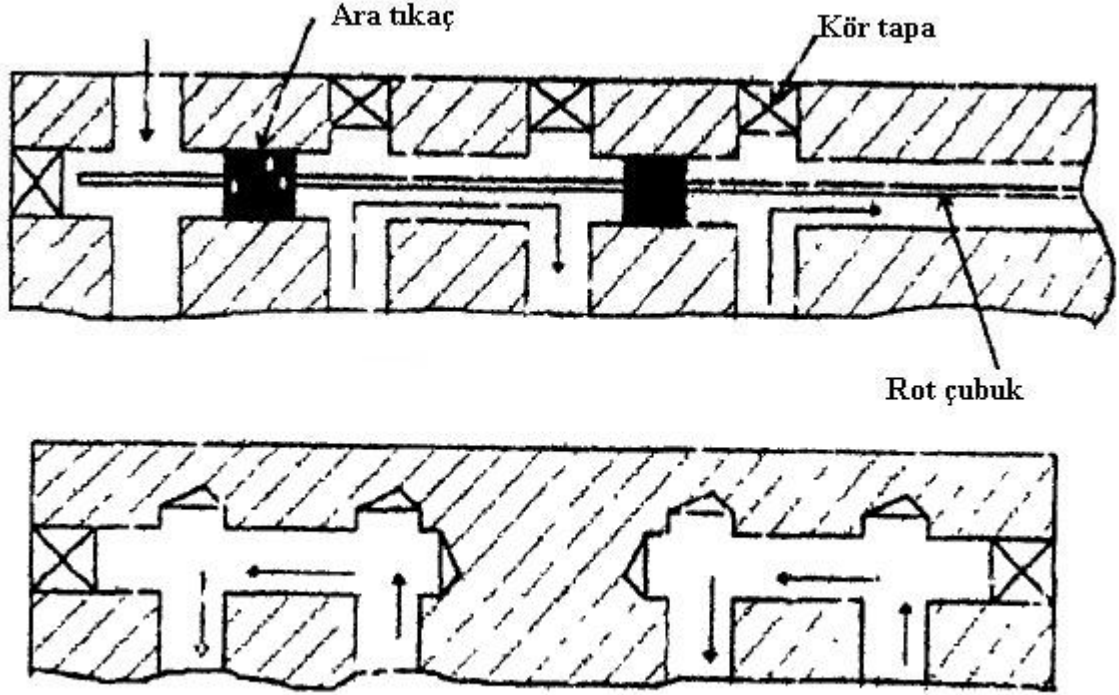


Şekil 9.16 Bir kutu kalıbında soğutma sistemi

### 9.12.3 Kanallarda tıkaç kullanımı

Kalıp plakalarına soğutma kanalları genellikle matkap ile delinerek açılır. Bunun sonucu olarak da kanal kesiti dairesel olur. Kanal girişi bir su rekoru ile bağlanmaya veya kör tapa ile tıkanmaya elverişli olmalıdır. Etkili bir soğutma yaparken plakaya açılan su kanalları birbiriyle kesişebilir. Bu kesişme aynı delik düzleminde olabileceği gibi ofsetinde de olabilir. Suyu kanallar boyunca istediğimiz gibi yönlendirip akıtılabilmek için plakalara açılan kanalların veya içerde kesişen kanalların uygun görülen yerlerde tıkanması gerekir. Eğer tıkanma işi delik sonunda veya başında değil de kanalın ortalarında ise bakır veya alüminyum gibi silindirik bir tapa sıkı geçme olarak buraya çakılır. Aşağıdaki Şekil 9.17'de örnekli

uygulamalar verilmiştir. (Esenlik, 2001)



Şekil 9.17 Tıkama örnekleri

#### 9.12.4 Soğutma sisteminin yalıtılması

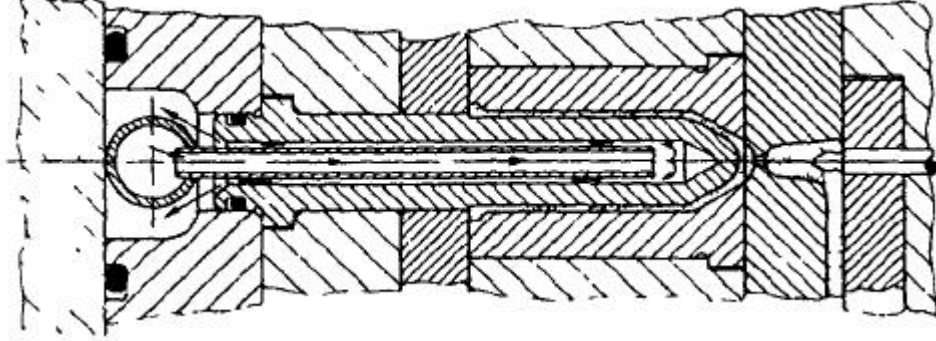
Soğutma kanallarının uçlarını kapatmak için kullanılan tıkacılar ve kaynaklar kadar üzerinde buldukları plakalardaki sızdırmazlık sistemi de halledilmesi gereken bir problemdir (Şekil 9.12). Plakaların hafifçe eğilmesinden dolayı kanalların birbirlerine veya dışarıya karşı daima bir sızdırmazlık problemi söz konusudur. Hatta kanallar arasında oluşabilecek bir kısa devre soğutulmayan bölgeler ortaya çıkmasına neden olacağı için hasara bile neden olabilir.

Bu yüzden plakalar kısa aralıklarla civata ile bağlanmalıdırlar. Diğer bir sorun itici pimlerin delikleridir. Bu deliklerin her biri ayrı ayrı O-ringlerle veya başka elemanlarla izole edilmelidir.

Sızdırmazlık elemanları temiz yüzeylere çeşitli şekillerde uygulanırlar. Bu tür elemanlar 0.15mm.ye kadar olan aralıkları izole edebilirler. Sıcaklık dirençleri ise -55 ile 200 °C arasındadır.

Kolayca sökülebilmeleri için genellikle O-ringler kullanılır. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak, sentetik veya doğal ve silikon veya flor kauçuğundan yapılırlar. O-ringin yerleştirileceği kanal, O-ring yerleştirildikten ve montaj yapıldıktan sonra O-ringin emniyetli bir şekilde

sızdırmazlığı sağlayabilmesi için %10 civarında deforme olmasına izin verecek şekilde yapılmalıdır. Aşağıdaki şekildeki gibi (Şekil 9.18) soğutma yapılan bir çekirdekte sızdırmazlık için O-ringin kullanılmasını göstermektedir.



Şekil 9.18 O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi

Kullanma sıcaklığına göre farklı malzemelerden yapılan O-ringler aşağıdaki sıcaklık aralıklarında kullanılırlar.

-20 ° C nin altında sentetik kauçuk

-20 ° C nin üstünde silikon veya flor kauçuğu

## 10. İTİCİ SİSTEMİ

### 10.1 Genel Bilgi

Plastik ürün kalıp boşluğunda soğuduktan ve kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılması gerekir. Bunun için hemen hemen her plastik enjeksiyon kalıplarında bir itici sistemi kullanılır. Sadece birkaç örnek almak için yapılmış prototip kalıplarda pahalı bir itici sistemi uygulamak yerine ürün elle kalıptan alınabilir. Aynı zamanda oldukça büyük ve hacimli, şekil olarak kompleks ürünler de elde veya robot yardımıyla kalıptan çıkarılır.

İtici mekanizmasının çalışması iki türlü olabilir. Bunlar otomatik itme ve yan otomatik itme sistemleri olarak adlandırılabilir. Otomatik itme sisteminde itme olayının başlaması ve bitmesi tamamen otomatik olarak operatöre ihtiyaç duyulmaksızın olur. Genellikle kalıpların otomatik itme sistemiyle çalışılması tercih edilir. Yan otomatik itme sisteminde ise operatörün her itme çevrimi bittikten emniyet kapısını açmak ve kalıp kapanmadan da kapamak zorundadır (Bucaklıgil, 1998; Esenlik, 2001)

### 10.2 İtme Çevriminin Genel Prensipleri

İtme çevriminde temel kural kalıp açıldığında ürünün itme olayının gerçekleşeceği tarafta kalmış olmasıdır. Eğer ürüne yeterli ve doğru bir şekilde çıkış açısı verilmişse ürün istenilen tarafta kalacaktır. Hatta ürünün kalacağı tarafı garanti etmek için kalıbın uygun yerlerine ters açı verilebilir.

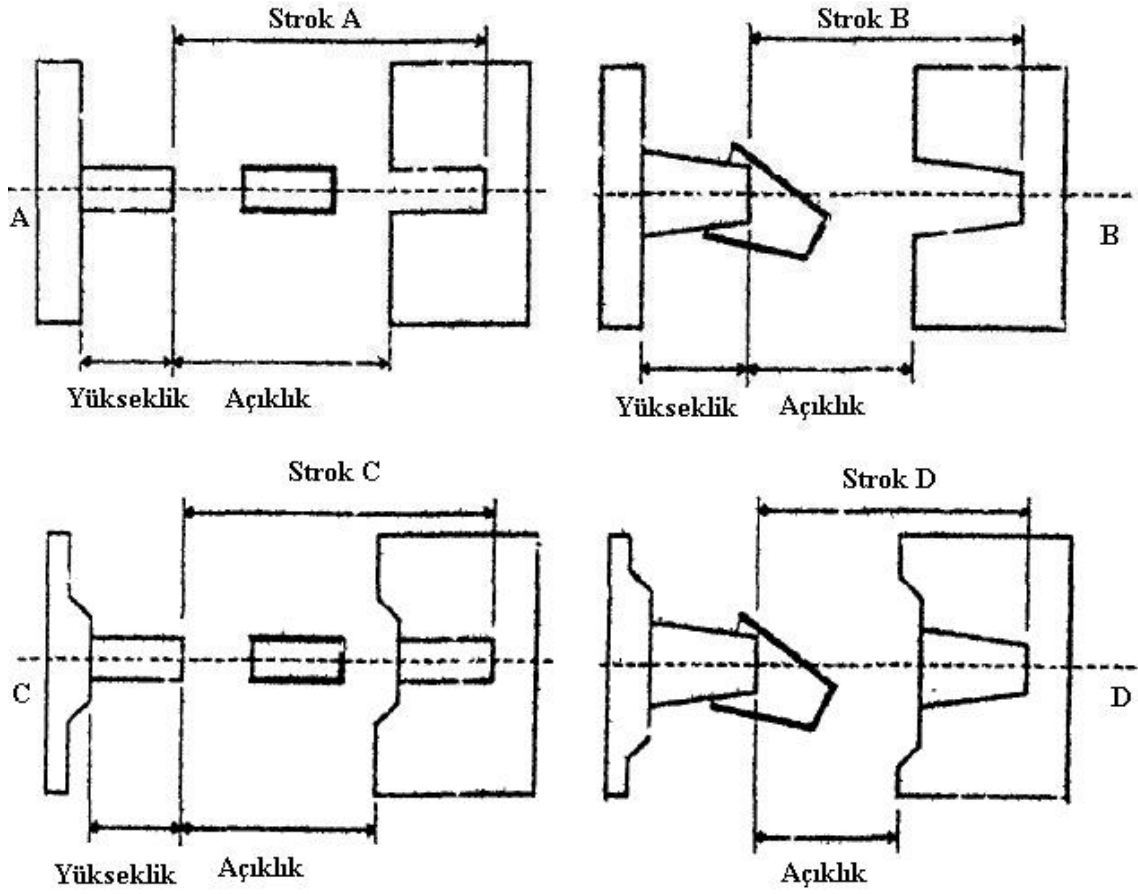
Enjeksiyon makinelerinde kitleme mekanizmasının bulunduğu tarafta itici mekanizması da yer alır. Bu sebeple çoğu kalıpta itici sistemi enjeksiyon makinesinin kitleme tarafına gelecek şekilde yerleştirilir. Fakat bazen ürünün getirdiği kozmetik zorunluluktan ötürü kalıbın itici sistemi enjeksiyon tarafında yer alabilir. Üç plakalı kalıplarda da yolluk itici sistemi enjeksiyon tarafında yer alırken normal iticiler ise kitleme mekanizması tarafında yer alır. (Bucaklıgil, 1998; Esenlik, 2001)

#### 10.2.1 Strok, açıklık ve ürün yüksekliği

Erkek kalıp plakası ile dişi kalıp plakası arasında ürünün erkek forma takılmadan serbestçe düşebilmesi için yereri kadar açıklığın bulunması şarttır. Benzer şekilde eğer ürün elle veya robotla alınacak ise erkek ve dişi plakaların bu işlemi güçleştirmeyecek kadar birbirlerinden uzaklaşmış olmaları gerekir.

Genel bir kural olarak derin ürünler için strok mesafesi  $S=2.5H$  , daha derin ve az açılı

ürünlerde ise bu değer daha da büyük olabilir. ( H: ürün yüksekliği veya derinliği).



Şekil: 10.1 Kalıp stroku, açıklık ve ürün yüksekliği (Bucaklıgil, 1998; Esenlik, 2001)

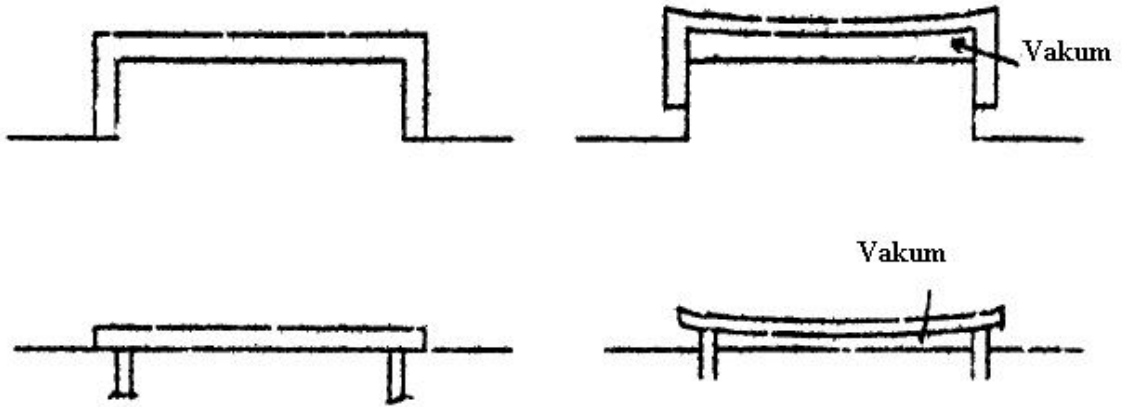
Şekil 10.1.A da görüldüğü gibi çok az çıkma açısına sahip derin ürünlerde ürünün maksimum uzunluğundan daha fazla bir itme uygulanmalıdır. B de ise oldukça büyük bir çıkış açısına sahip ürünün serbestçe düşmesi için daha az, bir açıklığın yeterli olacağı görülmektedir. Açıklık miktarı daha az olacağı için strok da daha küçük olacaktır. Böylece kalıp daha hızlı çalışır ve çevrim zamanı daha düşük olur. Eğer erkek ve dişi çekirdek lokmalarında birbirlerini hizalamaya veya pozisyonlamaya yardım edecek açılı bir girinti ve çıkıntı kullanıldığında strok boyu açısız metoda göre artacaktır. Artış miktarı ise dişi taraftaki içe dönük açılı kısmın uzunluğu kadar olur. Bununla her iki durumda da açıklık mesafesi aynı kalır. Stroğun çok fazla olmasının çevrim zamanını uzatmanın haricinde herhangi bir mahsuru yoktur. Fakat özellikle ürün derinliği veya yüksekliği çok az olan kalıplarda strok mesafesinin mümkün olan en küçük değerinde tutulması kalıbın hızlı çalışması açısından oldukça önemli bir husustur. Şekil 10.1 de kalıp stroku ürünün serbestçe düşebileceği kadar açıklığa sahip olmalıdır. A çıkış açısı az olan ürünün en az kendi boyu kadar açıklığı olmalıdır. B çıkış açısı büyük ürünün açıklığı daha az olabilir. C hizalama açısının yüksekliği kadar strok artar. D

büyük çıkış açısı strok mesafesini azaltır

### 10.2.2 Gaz çıkışı

Enjeksiyon esnasında kalıp boşluğundaki havanın plastik malzeme kalıbı doldururken mevcut aralıklardan dışarı atılması gerekir. Aksi halde ürünün dışarı itilmesi sırasında vakum oluşabilir. Şekil 10.2 deki gibi .derin veya düz ürünlerde vakum sonrası deformasyon görülmektedir. Oluşan kuvvetli bir vakum ürünün sadece deforme etmez aynı zamanda çatlamasına da sebep olabilir. Bu durum yan çıkış açılarının az olması halinde daha da tehlikeli olabilir. Hatta yeterli çıkış açısı olsa bile hızlı itme sonucunda sıkışan hava ürün eteklerinden dışarı çıkmaya vakit bulamadan aşın ısınarak plastiğin yanmasına yol açabilir.

Düz ve geniş ürünlerde iticileri ürünün kenarlarına koymak itme sırasında vakum oluşmasına sebep olabilir. Oysa merkeze veya merkezin iki yanına konacak ilave iki itici sıkışmış havanın dışarı atılması için yeterli aralığı oluşturmuş olacaktır. Eğer plastik malzeme PE gibi esnek bir malzeme ise ürün enjeksiyon sonrası deformasyonunu gidererek kendini toplayabilir. Fakat PS gibi kırılğan ise sonuç çatlama veya kırılma ile bitebilir. Kullanılan malzemeye göre vakumun ürüne ne kadar zarar vereceği önceden düşünülmelidir.



Şekil 10.2 İki farklı üründe itme sırasında oluşan vakum (Bucaklıgil, 1998; Esenlik, 2001)

### 10.3 İtici Sistemi Seçimi

İtici mekanizmanın çok çeşitleri vardır, fonksiyon ve dizayn olarak. İtici metotlarının seçimi genelde bazı faktörlere bağlıdır. Örneğin,

- Dışarı atılacak parçanın dizaynına
- Parçanın estetik görünüşüne
- Üretimin ihtiyaçlarına

Parçayı ve kalıbı enjeksiyon baskı işlemi için tasarladığımız zaman, itici metotlarının seçimine dikkat edilmesi gerektiğini göz önüne almalıyız. İtici sistemini seçmeden önce, yeterli şekilde çeşitli parçalar ve üretim istekleri üzerinde durulmalıdır. Basılacak parçaya bağlı olarak, itici yapımıyla ilgili kısa bir istekler listesinin yapılmasının faydalıdır. Bu liste aşağıdaki referans noktalarını içermektedir.

#### a) Parça estetiği

I) İtici pimlerin izleri gözle görülen yerlerde giderilebilir mi? Baskıyı kalıp dizaynında ters yönünden yapmak, bu problemin üstesinden gelmede kullanılan bir yöntemdir.

II) Parçanın dışarı atılması esnasında, parçanın duvarlardan sürtünerek çıkmasına engel olmak için, kalıp boşluğunda uygun eğim açısı var mı?

Uygun parça eğim açısı, parçanın dışarı kolay atılması için gereklidir. Kalıp yapım dizaynına başlamadan önce parça dizaynı esnasında bu göz önüne alınmalıdır.

#### b) Parçanın Boyutlarıyla İlgili

I) Ne miktarda itici kuvveti ile, parçada yapılan boyutsal bozukluk giderilebilir? Parçanın dışarı atılması esnasında, basılmış parçanın şekli kolayca bozulabilir (eğer desteklenmemişse). Özellikle ince parçalarda bu bozulma daha çok görülür.

II) Bozulma olmadan parçanın dışarı atılması için, parçaya destek verecek ilave rib (kaburga, atkı) gerekecek mi?

#### c) Makineyle İlgili

I) Enjeksiyon makinesinin çalışma sınırları arasında, itici kuvvet parçayı dışarı atacak kadar yeterli mi? Kalıp dizayncıları, kalıbı dizayn ederken gerekli itici kuvvetleri düşünmeden hareket ederlerse, bunun sonucu da başarısızlık olur.

II) Kullanılacak enjeksiyon makinesi, kalıp dizaynındaki itici sistemini çalıştırabilecek mi? Makine dizaynları itici çalışma metotlarına göre çeşitlilik gösterir. Enjeksiyon makinelerinin çoğunluğunda, itici plakaların ortasından enjeksiyon ünitesiyle aynı hat üzerinde hareket eder. Bununla beraber makinelerin çoğu çapraz başlı piston veya çekici plakayla çalışırlar, çok büyük makineler çapraz başlı sistem kullanarak büyük itici gücünü eşit olarak dağıtırlar.

III) İlave core çekme veya hareketlendirici devreye ihtiyaç var mı? Karmaşık kalıp dizaynında itici sistemi istenebilir. Bu işlem için baskı makinesi, ilave hidrolik itici devreye sahip olmalıdır ve bu sistemi kontrol eden mekanizma gereklidir.

IV) Kalıp bağı olduğu halde, enjeksiyon makinesi tam olarak açıldığında basılan parçanın dışarı atılması için gerekli açıklık var mı? Yeterli açıklığın olmaması, kalıbın daha büyük, dolayısıyla çalıştırma maliyeti daha yüksek makineye takılması demektir. Bu makinenin açılma stroku (mesafesi) daha büyüktür.

Ufak kalıbı büyük makineye bağlamak, aşağıdaki problemlere sebep olur:

- Malzemenin, ocakta uzun kalma süresinden dolayı, degrede (bozulma) olması.
- Yüksek kalıp kilitleme tonajından dolayı fazla kalıp eskimesi.
- Kalıptaki izdüşüm alanının, ufak olmasından dolayı, kalıp plakalarının hızlı çarpışması sonucu parçada çapak oluşması.
- Büyük enjeksiyon hacimli ünite ile ufak hacimde enjeksiyon yapma sonucu, enjeksiyon miktarında düzensizlik olması.
- Baskı süresinin uzaması, büyük makineler ufak makinelere göre daha yavaş hareket ederler.
- İstenilen itici mesafesine makine sahip mi?

Büyük (yüksek) derinlikteki baskı, örneğin tüp vb. uzun itici mesafesine parçanın kalıptan atılması için ihtiyaç duyar. Maksimum itici mesafesi makinenin itici silindirinin uzunluğuyla belirlenir. Örneğin, çalışma esnasındaki pistonun hareket hacmi. Eğer itici mesafesi hakkında şüpheye düşülürse, bu tasarımcılar tarafından araştırılmalıdır.

#### d) Kalıp-kalıp parçasıyla ilgili:

I) Kullanılan ilave itici sistemi, kalıp boşluğunu havalandırma için mi? İtici pimler vb. kalıp boşluğunda kör noktaların olduğu ve gazın kaçamadığı yerlere havalandırma olarak ilave edilir.

II) Parça kalıptan atılmadan önce, parça ve erkek kalıp arasında oluşan vakumu kaldırmak için mi itici sistemi isteniyor? Büyük ince duvarlı baskılar, örneğin kapaklar kalıp açılması esnasında erkek kalıba iyi yapışır ve kalıptan atılması (itilmesi) esnasında altında vakum oluşur. İnce duvarlı brittle (kırılgan sert) baskı eğer bunu tutan vakum zamanında kaldırılmaz veya havalandırılmazsa kolayca çatlar veya kırılır.

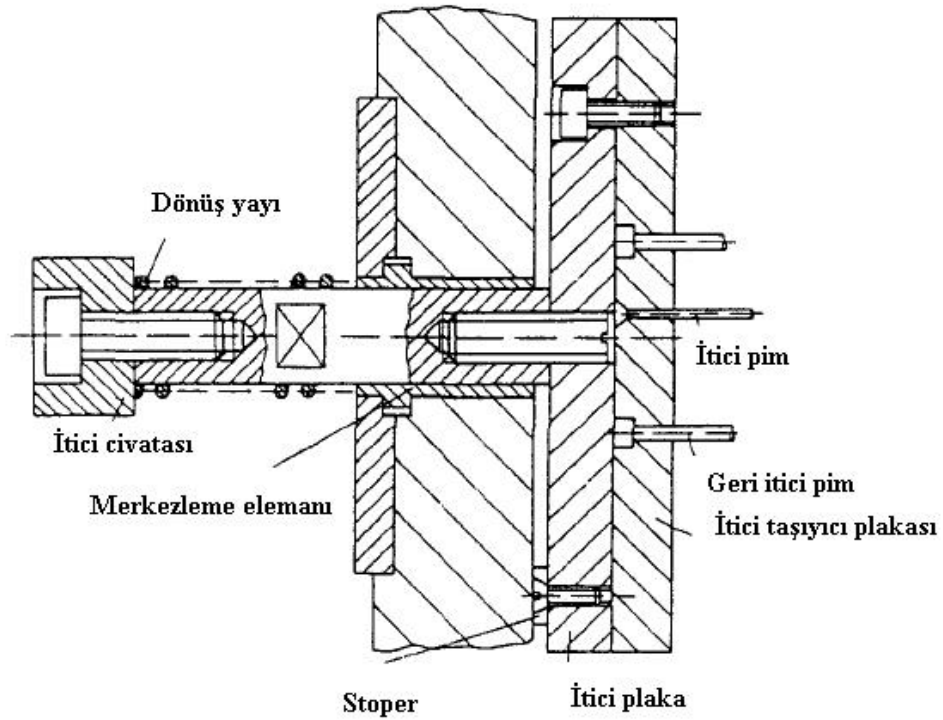
III) İtici parçalar, örneğin pimler ve çubuklar kullanılmaları esnasında erkek kalıbı yüksek oranda eskitirler (Turaçlı, 2000).

#### 10.4 Komple İtici Sistemi

İtici pimler ile birlikte itici taşıyıcı plakası, itici kapak plakası, stoperler ve geri dönüş mekanizmasının tamamı komple itici sistemini oluşturur. Eğer parçaya birden fazla itici pim etkiyorsa bunların hepsinin aynı anda etkimesi gerekir. Bu yüzden bütün iticiler itici taşıyıcı plakasına monte edilirler ve aynı anda hareket ettirilirlir. Diğerlerinden farklı hareket eden bir itici parçada hasara sebep olabilir.

İtici pimler itici kapak plakasına bağlı olan itici taşıyıcı plakası üzerinde bulunurlar. Bu plaka bir vidalı bağlantı ile makinenin itici sistemine bağlanır. Stoperler ise itici plakaların çalışma esnasında hareketlerini sınırlarlar.

İtici pimler kendilerini çalıştıkları deliklere göre ayarlayabilmek için itici taşıyıcı plakası içinde yeteri kadar yanal hareket yapabilmelidirler (Şekil 10.3). Bu her plakanın işlem sırasında farklı sıcaklıklara sahip olması nedeniyle gereklidir. Plakalar iticiler tarafından taşınmamalıdır çünkü bu durumda plakalar eğilir ve bu da iticilerin sıkışmasına neden olur. Bu nedenle itici plakalar bir merkezleme sistemi ile merkezlenmelidir. Bunun için özel merkezleme pimleri kullanılabilir.



Şekil 10.3 Komple itici sistemi

Parçanın kalıptan çıkarılması esnasında tüm itici kuvveti itici plakaların merkezinde toplanır. İtici pimlerin aynı anda hareketinin sağlanması için bu kuvvet itici plakalarına üniform olarak

iletilmelidir. Bu yüzden plakalar kuvvet uygulandığında deforme olmayacak kadar rijit olmalıdırlar. Kalıp kapandığında itici pimler karşı taraftaki kalıp yarısı tarafından hasara uğratılmadan gerçek yerlerine dönmelidirler. Bu işlem ise genellikle geri itici pimlerle, bir yay vasıtasıyla yada bir mekanizma yardımıyla olur.

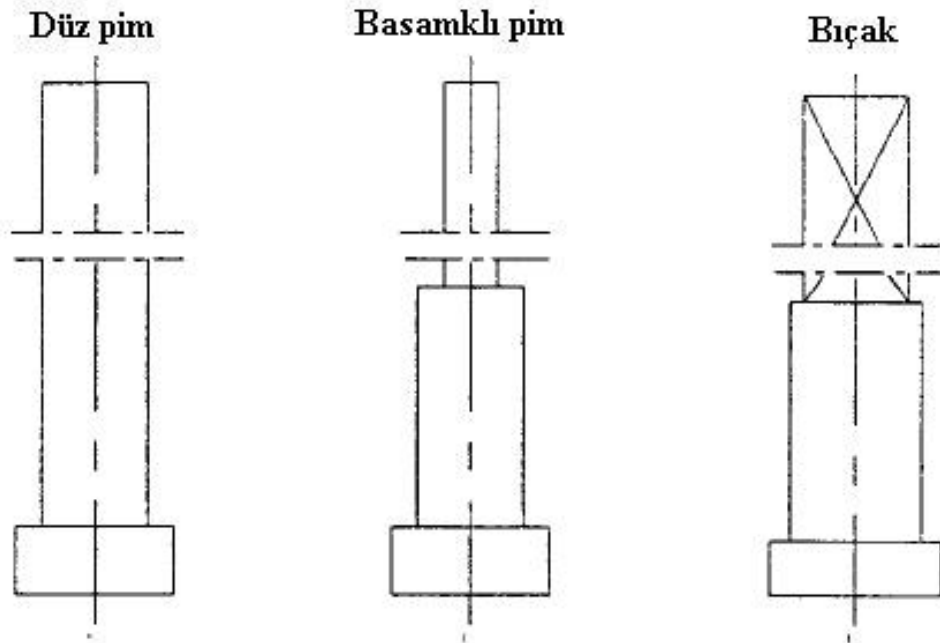
Normalde, özellikle tek kaviteli kalıplarda, itici sistemi kalıbın merkezinde bulunur. Kalıbın içindeki bir boşlukta hareket eder. Bu durum kavite taşıyıcı gövdesinin aşırı şekilde deforme olması tehlikesini ortaya çıkarır. Bundan kaçınmak için özellikle çok kaviteli kalıplarda kavite taşıyıcı gövdesine destek olarak deforme olmasını engelleyen bir parça itici plakaların çalıştığı boşluğa yerleştirilir (Menges, 2001).

## 10.5 İtme Metotları

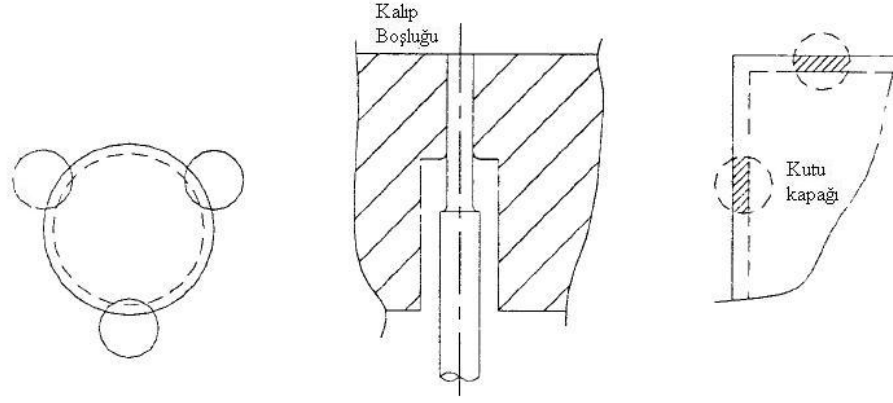
### 10.5.1 Pimler ve bıçaklar

İtici pimler, en ucuz itici sistemi sunarlar. Fakat bunların kullanımı sınırlıdır. Bu sınırlamalardan biri, ufak kesitlerinden dolayı, yüksek miktarda itici kuvveti baskıdaki bir noktaya uygulanır. Pimin yerleştirildiği noktadan dolayı parçada bozukluk veya kırılma olur, özellikle ince duvarlı parça veya kırılğan malzeme kullanıldığı zaman.

İtici pimler standart kalıp parçası olarak genelde ucuz olduklarından dolayı ve standart format olarak metrik ve parmak ölçü birimlerinde bıçak, düz, basamaklı pim olarak Şekil 10.4 ve 10.5 de görüldüğü gibi üretilirler.



Şekil 10.4 İtici pim tipleri



Şekil 10.5 Pim ve bıçakların pozisyonu

### 10.5.2 İtici bilezik

İtici bilezikler, belirli özellikteki parçaları dışarı atmak için kullanılırlar, örneğin, içi boş delikler. Ufak yuvarlak parça bir tane itici bilezik kullanılarak parçanın çevresinden itilirler, itici bilezik kullanmak, pim kullanmaktan daha pahalıdır ve kullanılmaları esnasında bilezik içinde ve dışında sürtünmeden dolayı daha hızlı eskime eğilimindedir.

Standart pimlerle karşılaştırıldığında itici kuvvetler bileziğin daha geniş kesit alanına daha düzgün (eşit) şekilde dağıtılması ile birlikte kalıp havalandırmasını iki katına çıkararak daha etkin havalandırma da sağlar. (Şekil 10.6 ve 10.7)

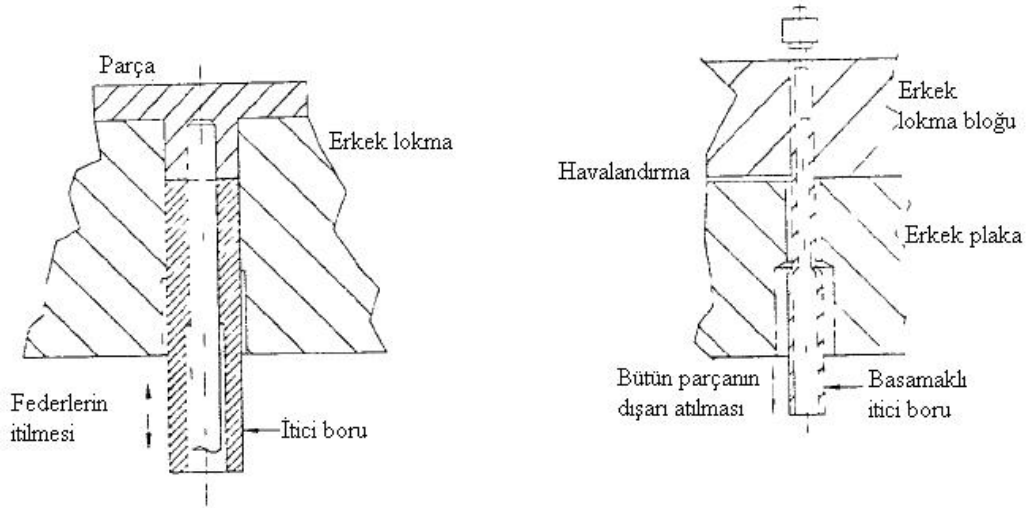
Standart boru



Basamaklı itici boru



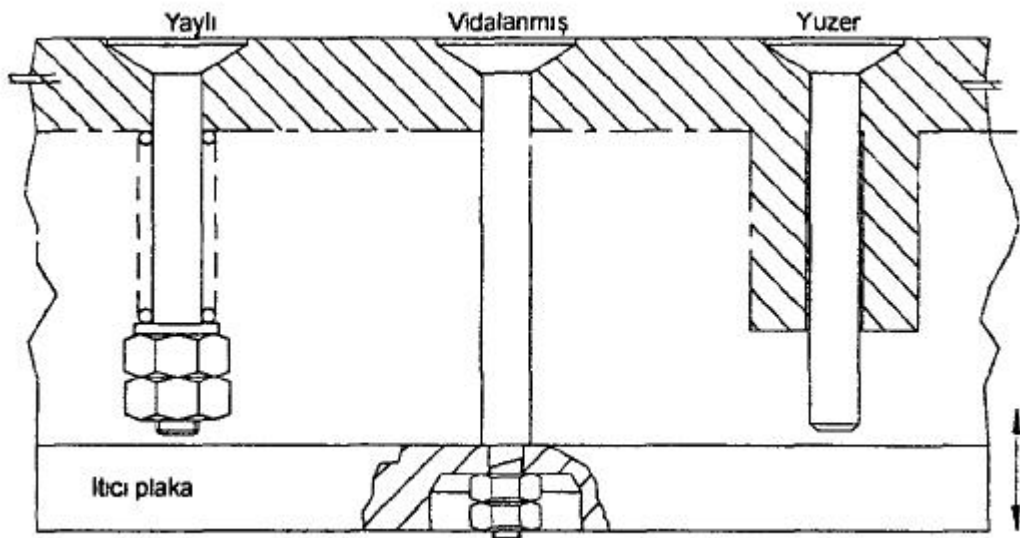
Şekil 10.6. Standart boru formatları



Şekil 10.7 İtici boru pozisyonları

### 10.5.3 Valf Başlıklı iticiler

Valf başlıklı iticilerin bir çok kullanım alanı vardır ve bir çok sebepten kullanılırlar. Çeşitli valf dizayn iticileri takılma veya çalıştırılma metotlarıyla birlikte ilgilenilir. Valf iticileri, itici kuvvetlerin transferinde daha geniş bir izdüşüm alanı sunar. Düz başlı dizayn ince duvarlı parçaların dışarı atılmaları sonucu, şekillerinin bozulmadan dışarı atılmasını temin eder. Esnek yumuşak polimerler ve parçalar, örneğin, YYPE şişe kapakları, bu tip itici kullanılarak parçanın dışarı atılmasına yardımcı olur. Yüzer valf iticiler dik enjeksiyon baskıda kullanılabilirler veya melamin kalıpta yer çekimini kullanarak, iticilerin hareketinden sonra tekrar geri dönmesini sağlar. (Şekil 10.8)



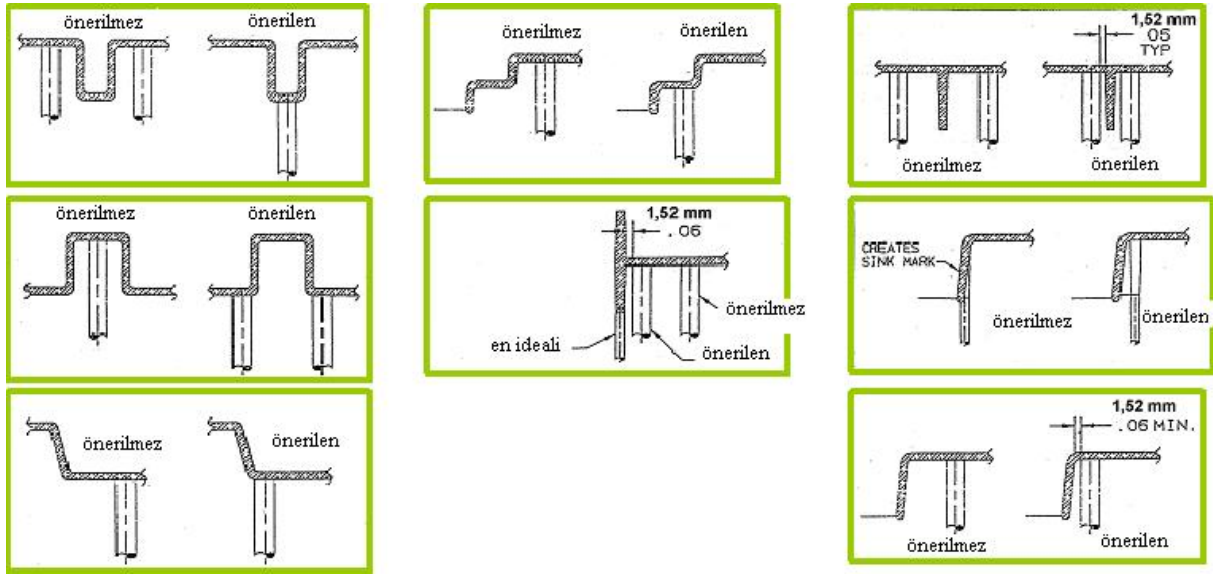
Şekil 10.8 Standart valf başlıklı itici format ve takılma metotları





Sayı, tasarım (itici pimlerin etkidikleri yüzey mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır) ve yerleşim parçanın konfigürasyonuna olduğu kadar kalıplanan malzemeye de bağlıdır. Rijitlik ve tokluk belirleyici faktörlerdir.

Her itici parça üzerinde görünür bir iz bırakır. Bu durum itici sisteminin tasarımında göz önüne alınmalıdır. Dahası işçilik yeteri kadar iyi olmadığı zaman iticinin etkime noktasında çapak oluşumu bile söz konusu olabilir. Çapak parça üzerinden temizlenebilir ancak bunun için yapılan işlem parçanın görünüşünü bozar. Bu yüzden itici ve çalıştığı deliğin toleransları mümkün olduğunca dar olmalıdır.

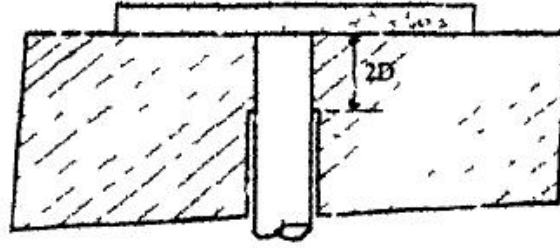


Şekil 10.12 İtici pimlerin uygun yerleştirme noktaları (Menges, 2001)

İtici pimler ürünün en derin yerine, bos yapısı veya uzun riblerin altları gibi, yerleştirilmelidirler. Aynı zamanda ürünün köşe noktaları da itici pimlere gerek duyan yerlerdir. İtici pimlerin her zaman ürün üzerine simetrik bir şekilde dağılım göstermesine dikkat edilmelidir.

Derin ürünler için genel kural ürünün en sıkı veya yoğun olduğu yerden itmektir. Derin olmayan ürünlerin itici pimlerle itilmesi gerektiğinde iticiler tüm ürün üzerine dengeli bir şekilde dağıtılarak ürünün dengesiz momentler sonucu çarpılması veya zorlanması önlenmelidir. Eğer rib veya bos yapısı mevcutsa iticiler bu yapıların en alt seviyesine yerleştirilmelidirler. İticilerin birer tabii gaz çıkış kanalı veya aralığı görevi gördüğü unutulmamalı ve iticinin hassas H7 toleransla çalıştığı bölgenin uzunluğu çok fazla uzun tutulmamalıdır. Bu mesafe ne kadar kısa olursa sıkışan gazın bu aralıktan çıkması da o kadar kolay olur (Şekil 10.13) İticinin hassas çalışma boyu genel bir kural olarak itici çapının iki

katından (2D) fazla olmamalıdır. Bu aynı zamanda hassas delinecek deliğin uzunluğunu da kısa tutmak ve böylece imalatı kolaylaştırmak demektir.



Şekil 10.13 Hassas delik boyu (Bucaklıgil, 1998)

Şekil 10.13'te görüldüğü şekilde hassas delik boyu 2D den fazla olmamalıdır.

İtici pimler ürün üzerinde iz bırakırlar. Fakat iticiler genellikle ürünün erkek tarafından yani endüstriyel tasarım açısından önem taşımayan iç kısımlarda çalıştığından ve buralarda iz bırakacağından çoğu uygulama için bunun bir önemi yoktur. Bununla beraber bazı uygulamalarda özellikle şeffaf malzemeden basılan ürünlerde ürünün kullanım yeri ve nemine göre itici izinin ürün üzerinde görülmesi istenmeyebilir. Bu durumda itici yerleri daha dikkatli seçilmeli veya sıyrıcı kullanılmalıdır. Boslardan (vida bağlantı yerleri) itme uygulaması bosun şekline veya rijitliğine bağlıdır. Dairesel veya herhangi bir şekilde ve yeterli rijitliğe sahip bir bos yapısında eğer bos yüksekliği bosun çapından veya genişliğinden daha küçükse ve çıkış açısı  $5^\circ$  den az değilse buradan itme uygulamaya gerek yoktur.

İtici pim çapının daima standart çapta olmasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda itme uygulanacak bos çapından itici çapı mutlaka daha küçük olmalıdır (Tek taraftan en az 0.12 mm kalacak şekilde). Böylece itme sırasında oluşabilecek çizilmeler önlenmiş olur.

### 10.7 İtici Pim Sayısı

İtici pimlerin kavite sayısı başına ne kadar olacağına dair kesin bir kural yoktur. Fakat ne kadar çok itici kullanılırsa itme de o kadar etkili olur ve parçanın deforme olmadan kalıptan rahat bir şekilde çıkması sağlanır. Bununla beraber gereksiz yere kullanılan iticiler maliyeti gereksiz yere arttıracaktır. Kalıpta maliyet ve itme yeterliliği optimizasyonu açısından gerektiği kadar ve gereken yerlerde itici pim kullanılmalıdır. Bu durumda çarpıcı bir örnek vermek gerekirse, 24 gözlü bir kalıpta kavite başına iki adet gereksiz itici kullanılması sonucunda tüm kalıpta 48 adet fazladan itici kullanılacaktır. Bu ise ekstradan itici pim maliyetiyle beraber kalıbın imalatı sırasında erkek çekirdek lokması, erkek kalıp plakası ve

itici plakasında fazladan delik delme işlemi getirilecektir. Aynı zamanda yoğun itici delikleriyle kaplı bir erkek çekirdek lokmasında etkili bir soğutma yapabilmek için gerek su kanallarını istenildiği gibi geçirmek her zaman mümkün olmayacaktır. İtici pimleri yerleştirirken pimlerin tabii gaz çıkışını sağlayan birer eleman oldukları hatırlanarak gaz sıkışmasının olabileceği yerlere itici yerleştirilmelidir (Bucaklıgil, 1998; Esenlik, 2001).

### 10.7.1 İtici kuvvetinin hesaplanması

Parçayı kalıbın erkek veya dişi kısmından, dışarı atmak için gerekli itme kuvvetinin miktarı hesaplanabilir. makinenin ne kadar itici kuvveti sağlayacağı belirlenir. Basit formül kullanılarak, gerekli itici kuvveti tahmin edilebilir.

$$P = \delta.t.E.A.m/d \cdot ((d/2t) - d/4t).n \quad (10.1)$$

P= İtici kuvvet (KN)

E= Polimerin elastik modülü (N/cm<sup>2</sup>)

A= Baskıyla kontak halindeki toplam alan (yüzey) ve çizim esnasındaki kalıp yüzeyi (cm)

m= Sürtünme katsayısı (plastığın çeliğe sürtünme katsayısı)

d= Baskının çevresine eşit dairenin çapı (cm)

t= Baskının kalınlığı (cm)

n= Poisson oranı

$\delta t$  = İzdüşüm yüzeyinin çapına göre plastiğin termal ilişkisi veya kalıp boşluğu

$\delta t$  = Polimerin genleşme katsayısı x d x  $\Delta T$

$\Delta T$ =Plastiğin yumuşama sıcaklığı(camsı geçiş sıcaklığı)-kalıp sıcaklığı

Çizelge 10.1 Çok kullanılan plastiklerin çeliğe sürtünme katsayıları (Rees, 2001)

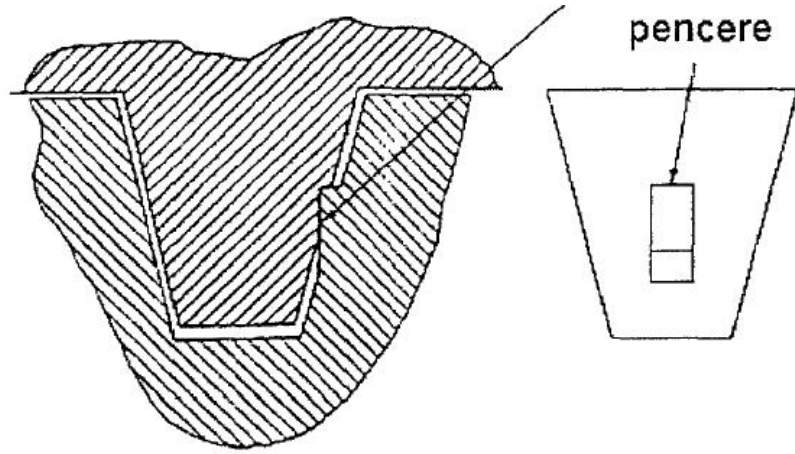
ABS	0.24
ASETAL	0.13
PA66	0.2
PC	0.25
PVC	0.22
SAN	0.29

## 11. MAÇA SİSTEMİ

### 11.1 Giriş

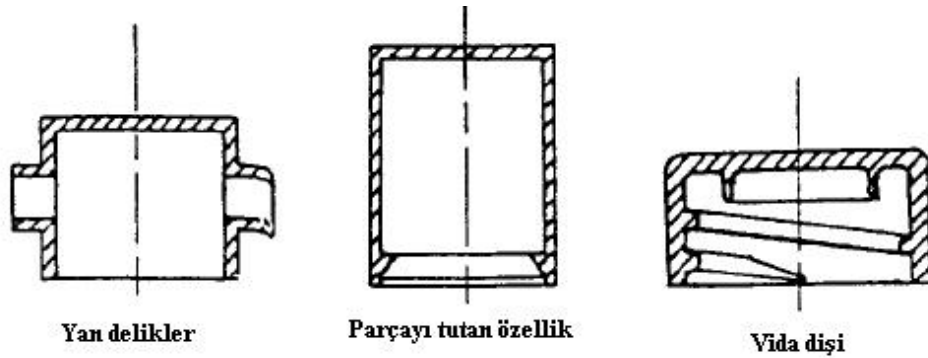
Enjeksiyon işleminden elde edilen ürün, enjeksiyon kalıbının iki veya daha fazla parçaya ayrılmasıyla kalıptan alınır. Kalıptan parçanın bir problemle karşılaşmadan alınması için geometrik sınırlara uyulması gerekir. Bu sebeple, mümkün olduğu kadar tasarımlarda girintili, çıkıntılı yüzeylerden kaçınılmalıdır, aksi takdirde kalıp işlem esnasında kilitlenecektir.

Parça üzerinde girintiler kaçınılmaz ise girintileri oluşturacak şekilde çok daha ayrıntılı kalıba ihtiyaç duyulur. Bu şekildeki bir tasarım enjeksiyon işlemini ve kalıp imalatını zorlaştırır ve daha yüksek maliyet çıkarabileceği gibi parça kalitesini de zayıflatabilir. Basit girintili parçalarda Şekil 11.1'deki yöntem kullanılabilir.



Şekil 11.1 Kayarak kapama yöntemiyle girintilerin oluşturulması

Girintili parçalar için tasarlanan kalıplarda birden fazla kalıp birleşme yüzeyi olmalıdır. Parça üzerinde girintileri çıkaracak şekilde kalıba kenar yüzeylerden hareket edecek kenar göbekler veya piyasada geçen adıyla maçalar kullanılmalıdır. (Öz, 1997)



Şekil 11.2 Tipik maçalı baskılardan özellikler

Çeşitli maçalı kalıp dizaynını anlamak için, önce maçalı kalıbın tanımlaması nedir bunu anlamalıyız. En basit şekilde maça şeklini tanımlamak, baskının kalıptan dışarı atılmasına engel olan veya direnen parçasıdır. Bu baskıda maçalı kalıplara örnek, parçadaki çıkıntı, oyuklar, baskının yanındaki delikler, yüzeyin çok derin şekilde kumlu olması, baskının dışarı atılmasına engel olan ters yöndeki aç, dahili ve harici dişliler maçalı olarak sınıflandırılabilir. Özelliklerdir, bunlar parçanın dışarı atılmasına engel olurlar, (şekil 11.2). Bu parçaların kalıptan dışarı atılması için bu maçayı oluşturan kalıp parçası, parça dışarı atılmadan önce geri çekilmelidir.

## 11.2 Maçanın Geri Çekilmesi

Maça sistemi genellikle pahalı bir sistemdir ve bu sistem başka bir alternatif olmadığı zaman üzerinde çalışılacak metottur. Maça sistemi kalıp dizaynının başlangıcında belirlenmelidir. Maça sistemi parçanın dışarı atıldığı hattan dışarı çekilir, kalıp ana plakası içinde yeterli alan maça çekme mekanizmasını yerleştirmek ve mekanizmayı işletmek için gereklidir. Maça sistemini çekmek için yeterli hareket gereklidir. Örneğin, açılacak vida dişli uzunluğu veya yandaki geri çekilmesi gereken maça uzunluğu, artı geri çekilen maçanın hareket edeceği boşluk önceden belirlenir ilave olarak, maça çekme sistemi dizaynı göz önüne alınır ve bunun plaka boyutuna göre müsaade edilen hareket miktarıyla ilgilenilir. Bunu yapmak için tasarımcılar çeşitli dizaynların çalışması hakkında bilgi sahibi olmalı ve kullanılacak yerlere göre bunlardan hangisinin en uygun olduğu seçimini yapabilmeli.

## 11.3 Maça Çalışma Metotları

### 11.3.1 Hareketli maça çalışması

Hareketli maça sistemi, en çok kullanılan maça çekme metodudur. Kolayca montaj edilen ve ucuz olarak satın alınabilen standart kalıp parçasıdır, hareketli maça sistemi (şekil 11.3) dört temel parçadan oluşmuştur.

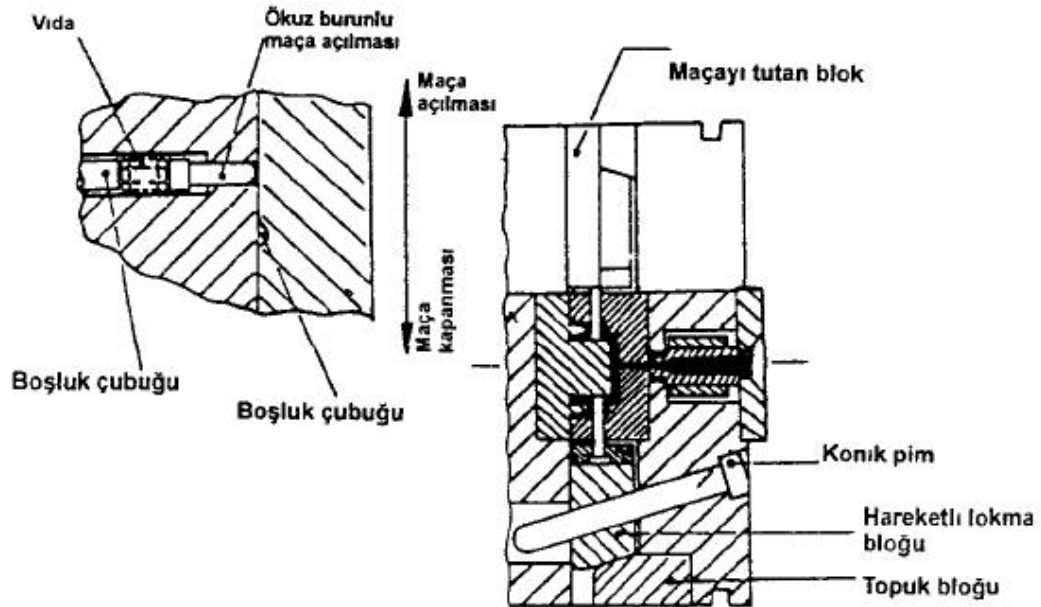
- Konik pim
- Maçayı tutan blok
- Baskı parçası
- Hareketli maça

Hareketli maça ve baskı parçası kalıba takıldığı zaman genellikle kalıbın dişi tarafına yerleştirilir. Insert blok ve kayan parça sistemi kalıbın erkek kısmına hareketli baskı parçası

sistemin karşı yüzüne takılır. Kalıp kapanması esnasında açılı hareketli maça kayan bloğun içindeki eğimli deliğe girer. Kalıp kapanması devam ederken, hareketli maça eğimli deliğin içine doğru kayarak girerken bloğu erkek lokmaya doğru zorlayarak hareket ettirir. Plaka ve blok öyle bir şekilde yerleştirilmelidir ki, yandaki erkek pim, kalıp erkek kısmına fazla kuvvet göndermeden tamamen kapanmalıdır. Maçanın açısına bağlı olarak kayan bloğun hareket miktarı kontrol edilir. Bu açı diklemesine en az  $10^\circ$  den en çok  $45^\circ$  ye kadar çok çeşitlidir, bu istenilen yan hareket miktarına bağlıdır. Maça ve bloğunun eskimesini en aza indirmek için hareketli maça kısa tutulmalı ve maça açısı mümkün olduğunca ufak olmalıdır. Maça sistemi yanlış kalıp kapatma süreci kullanıldığında, kırılmaya eğilimlidir. Örneğin, maça piminin kalıp içerisindeki deliğinde kalıp kapanmadan önce yerinden oynaması.

Hareketli maçanın yerinden oynaması riskini azaltmak için aşağıdaki önlemler alınmalıdır.

- Maça bloğunun kalıp açıldığında tam açık olmasını sağlamak için kuvvet uygulama, bu bloğa yay takılarak sağlanır. Kalıp kapandığında veya kısmen kapandığında bu yay tam kuvvet uygulanır. Kısaca bu yay kalıp açıldığında maçayı açık tutar.
- Blok hareketini açık pozisyonda tutulması yaylı hareketli topla sağlanır ki bu bloğun altına yerleştirilmiştir (Şekil 11.3). Yalnızca topla açma, normal işlem şartlarında bloğun ufak hareketini durdurmakta etkindir. Kullanım esnasında maça pimi sistemindeki ufak uyumsuzluklardan dolayı eskimeyi bilyalı kapatma (tutma) azaltır.
- Kalıp emniyeti için kullanılan mikro-switchli ünite maça bloğunun hareketiyle çalışır.



Şekil 11.3 Kam pin hareketi



### 11.3.3 Hareketli kenarlar

Kenar hareket tekniği (Şekil 11.5) maçanın minimum yan hareketi istenildiği zaman sıkça kullanılır. Bu çeşit hareket metodu parça kumluysa, ters basılacak parçada eğim varsa veya çok küçük maça hareketi isteniyorsa kullanılır. Kenar sistemi dört temel parçadan yapılmıştır.

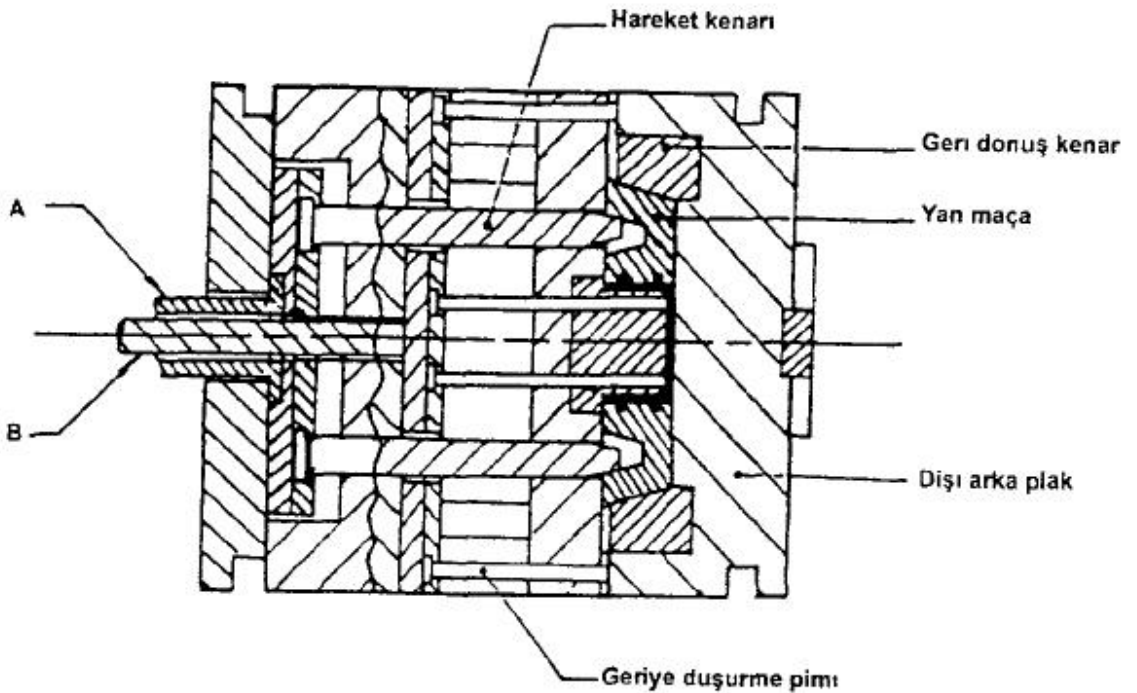
Hareket kenarları

Kenar maça bloğu

Blokların kaydığı kenarlar

Kenarın geri dönüşü

Hareketli kenar tarafından kuvvet yan maça bloğunun eğimli alt tarafına uygulanır, bloğu kalıbın merkezinden dışarı doğru hareket ettirir. Hareketli kenar, kalıbın itici plaka sisteminde, itici sisteminin gerekli parçası gibi kalır. Parçanın kalıptan dışarı atılmasından önce kenar maça bloğunun hareket etmesi için hareketli kenar iticilerden daha uzun olmalıdır. Kalıp açıldıktan, hareketli kenarın (pimin) hareketinden ve parçanın dışarı atılmasından sonra kenar maça bloğu kalıp merkezine doğru hareket ederek orda kalır. Bu kalıp kapanması esnasında geri dönüş kenarlarının eğimli kenar maça bloklarına kalıp kapanması esnasında itilmesiyle sağlanır. Kalıp itici sisteminin kalıp kapanmadan hemen önce geri çekilmesi gerekir, aksi takdirde kenar maça bloklarının alt tarafına ve hareketli kenarlara zarar verilir.



Şekil 11.5 Hareketli kenarlar

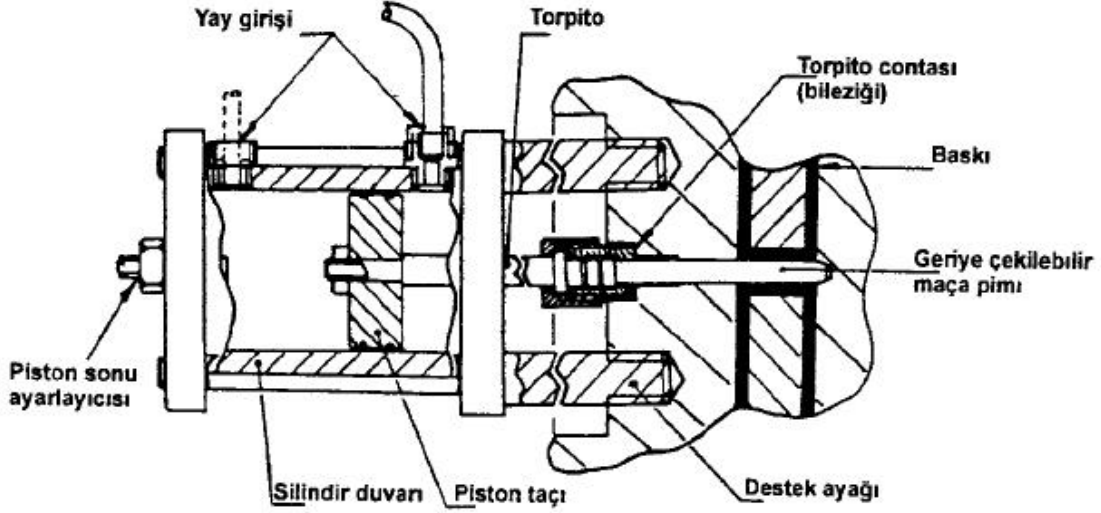
Kalıp emniyet devresi itici plakanın geri dönmesiyle çalışarak, kalıp kapanmadan önce hareketli kenarı uzaklaştırır. Kenar hareketli maça çalışma prensibi teori olarak basittir, bu iyi standart kalıp yapımı gerektirir, böylece kalıp kapanması için gerekli şartları yerine getirir. Bazı çok karşılaşılan hareketli kenar maça sistemi problemleri aşağıda açıklanmıştır.

- Gres kirlenmesi. Maça sisteminin yan kısmındaki gres sızıntısı kalıp boşluğuna girer ve baskıyı kirletir. Bu maçaların birbiri üzerindeki kayarak hareket ettiği bölgedeki gres seviyesini minimum tutarak kirlenme riskini azaltabiliriz. Bu da kalıbın kullanılması esnasında yandaki hareketli bloğun düzenli olarak çıkarılıp temizlenmesiyle sağlanır. Açık renkli baskılardaki ufak kirlenme durumlarında, beyaz silikon gres kullanma daha iyi sonuç verir.
- Hareketli kenar ve maça eskimesi, geri dönüş kenarı ve maça bloklarının yüzeylerinin eskimesi (aşınması) sonucunda kötü kalıp kapanması ve baskıda çapak oluşumuna sebep olur. Bu yüzeylere sertleştirilmiş yüzeyinde gres olukları olan çelik parçalar takılarak bu eskiyen kısımlar takviye edilir. Bu parçaların arkasına takviye edilerek yükseltilir ve yüzeyleri tekrar taşlanarak bu problemin üzerinden gelinir.
- Kalıbın takılması: Maça durması genellikle hareketli maça kenarları arasında ve kenar bloğunda oluşur. Yetersiz gres yağı sürtünmeyle aşırı ısınmaya sebep olur. Bu ısınmada kalan yağları kurutarak kalıbın hareketli parçalarının durmasına sebep olur. Hareketli pimlere açılan ilave gres kanalları bu problemi azaltır. Bununla beraber bazı durumlarda seçilen çelik tipi ve sertliği hareketli parçalarda aşınma direnci sağlar.

#### 11.3.4 Hidrolikle çalışan maça

Modern makinelerin çoğunluğu hidrolikle çalışır. Fakat makinelerin hepsi yardımcı hidrolik devresiyle donatılmamıştır.

Yardımcı hidrolik devrenin mevcut olduğu durumlarda bu devre kalıptaki maça hareketini sağlamak için kullanılır. Şekil 11.6 basit hidrolikle çalışan maça sistemini gösteriyor. Burada basınçlı hidrolik yağ kullanılarak piston silindiri hareket ettirilir. Pistonun ileri hareketi bağlantılı olduğu maçayı merkeze doğru hareket ettirir. Maçanın dışarı doğru hareketi basınçlı yağın ters yönde hareketiyle sağlanır. Kalıp doldurma ve soğuma süresinde maça yerinde hidrolik kuvvet kullanılarak sağlanır. Enjeksiyon esnasında uygulanan kuvvet nedeniyle bu maçaların geriye gelmesi yeterli basınç uygulanarak engellenir. Maçaların kalıbın zarar görmemesi için kalıp emniyeti uygun şekilde seçilmelidir.



Şekil 11.6 Hidrolikle çalışan maça

Bu zararın çoğunluğu kalıp açırken maçanın içeri doğru hareketiyle oluşur. Bunu takip eden kalıp kapanma esnasında maça kırılır. Hidrolikle çalışan maçalı kalıplarda kalıp emniyeti devresi maçanın geri pozisyonundaki tek mikro-switchle kontrol etmemelidir. Bu durumda iki switch kullanılmalıdır, bir tanesi maça bloğunun ön pozisyonunda diğeri, maça bloğunun arka pozisyonunda olmalıdır. Bu şekilde düzenlenmiş sisteme çiftli emniyet devresi denilir. Buradan gelen sinyaller enjeksiyon makinesinin açılmasını ve kapanmasını kontrol eder. Hidrolikle çalışan maça sisteminin avantajları:

- Kalıbın kullanımı esnasında kolayca kontrol edilir ve ayarlanabilir.
- Yüksek kapanma gücü kullanılabilir ve bu gücün kullanma süresi ayarlanabilir.

Bu sistemin dezavantajları:

- Yüksek kapatma basıncında yavaşlatılarak kapatma sağlamak zordur.
- Hidrolik sistem kirlidir ve çalışma bölgesini kirletmeye eğilimlidir.

### 11.3.5 Pnömatikle çalışan maça

Pnömatiği hidrolik yerine kullanmak daha ucuz bir alternatif olarak görülebilir. Fakat bazı problemler vardır. Birçok modern fabrikada basınçlı hava 80 psi civarındadır. 80 psi'in üzerindeki sıkıştırılmış havayı üretmek daha pahalıdır ve bundan dolayı nadiren kullanılır. Bu olay pnömatik sistemdeki ana problemleri aydınlatır, bu problemlerden birisi, düşük kapatma gücü; Birçok durumda ilk enjeksiyon basıncı uygulanmasında pnömatikle tutulan maça geri doğru açılır. Bununla beraber ufak baskılarda veya düşük enjeksiyon basıncının uygulandığı

durumlarda örneğin köpüklü baskılarda maçıyı pnömatik kuvvetle yerinde tutmak mümkündür. Pnömatik sistemin dizayn planı hidrolik sisteme çok benzer, fakat pnömatik silindir ve parçalardan yapılmıştır. Pnömatik parçalarda birçok yerden standart parça olarak satın alınabilir ve değiştirilebilir. Hidrolik sistemdeki aynı kalıp emniyeti pnömatik sistem içinde geçerlidir.

Pnömatik maça sisteminin ana avantajları :

- Hızlı maça hareketi : pnömatik sistem hızlı ve etkin şekilde çalışır, hızlı baskı yapıldığında bu sistem uygundur
- Temizlik : Filtrelenmiş hava kullanıldığında, pnömatik sistem temiz oda uygulamasında kullanılabilir. Örneğin, medikal baskı ve robotlarda
- Ucuzluk : Pnömatik parçalar daha ucuzdur.

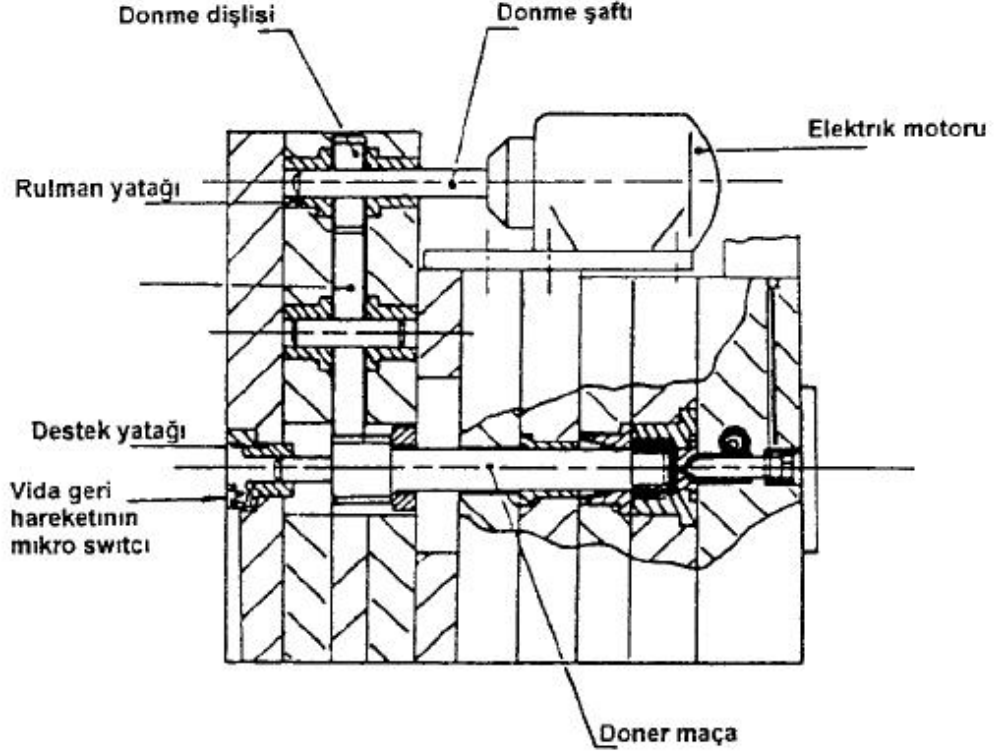
Bu sistemin dezavantajları :

- Düşük maça kapatma kuvveti
- Gürültü-pnömatik sistemin kullanımı esnasındaki egzoz gazı nedeniyledir. Pnömatik gürültü oldukça yüksek seviyededir. Kulakları korunmadığı ortamda işitme bozukluğu yapar.
- Nem-Sıkıştırılmış havadan dolayı fabrika içinde buharlaşmış hava bulunur ve bunun için kompresör fabrikanın dışına konulur. Bu problem hava hattı üzerine nem yakalama cihazı konularak azaltılır. Ayrıca nem kalıp plakalarına gömülmüş pnömatik silindirler içinde de oluşur, özellikle kalıp soğutma için soğutulmuş su kullanıldığı yerlerde. Pistonun çürümesi ve yapışması eğer piston gömleği ve borular kalıp kullanılmasından sonra temizlenmezse kaçınılmaz sonuçtur.
- Basınç dalgalanması: Pnömatik hat basıncı bir yönde isteğe göre değiştirilmesiyle farklılık oluşturur. Basınç düşmesi maça kapatma hızını ve kapatma kuvvetini düşürür. Basınç artmasında da bunun tersi olur.

### 11.3.6 Elektro-mekanik hareketli maça

Elektrik motoru genellikle maçıyı hareket ettiren vida mekanizmasında kullanılır. Birçok durumda motordaki güç dişli sistemiyle maçaya iletilir ve döndürülür (Şekil 11.7). Maçaya (erkek kısma) basılmış parça kalıp kapalıyken çıkarılır. Bunun için bu sökme esnasında basılmış parça dişlilerden sokulurken hareket etmemeli ve dönmemelidir. Erkek dişlili kısmın dönmesi için gövde her iki tarafından dönme dişlisiyle desteklenmiştir. Erkek gövde serbestçe desteklenir. Erkek maça dişlisi baskıdan söküldükten sonra tekrar kalıp içine girebilir. Erkek

parçadan ayrıldıktan sonra geriye doğru gelerek mikro-switchi kapatır ve elektrik motoru durdurur. Bundan sonra kalıp açılır parça normal yolla dışarı atılır. Parça dışarı atıldıktan sonra kalıp kapanır dişlili erkek maça ileri hareket ederek ikinci baskı yapılır. Ve bu işlem tekrarlanır. Daha önce belirttiğimiz elektro mekanik vida sökme dışında birçok vida sökme tekniği vardır.



Şekil 11.7 Elektrikli vida açma mekanizması (maçası) (Turaçlı, 2000)

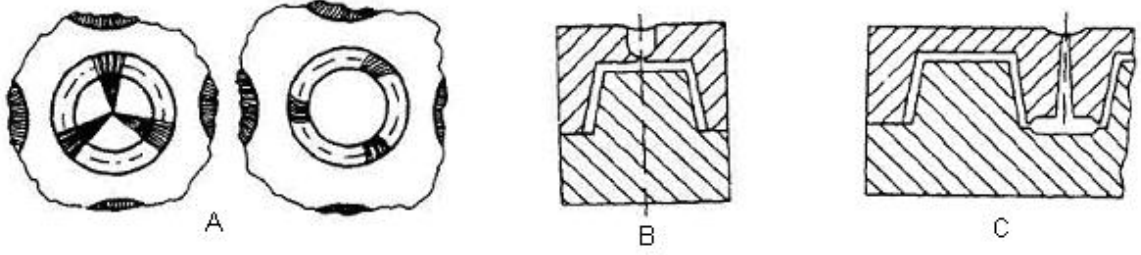
## 12. KALIPLARIN İÇİNDEKİ HAVANIN BOŞALTIMASI

Kalıbın dolması süresince ergimiş malzeme kavite içinde bulunan hava ile yer değiştirmek zorundadır. Eğer bu işlem olmazsa hava kavitenin tam olarak dolmasına engel olur. Bunun yanı sıra sıkışmadan dolayı çok ısınan hava etrafındaki malzemeyi yakar. Termoplastik malzemelerin içindeki katkı maddeleri parçalanırlar ve kavite duvarlarında korozif etkiler meydana getirebilirler. Bu etki hava tahliyesi kötü olan kalıplarda birleşme hatlarında, köşelerde veya girişlerin karşısındaki flanşlarda zaman zaman görülebilmektedir.

Yanma parçanın koyu renkli görünmesine ve kullanılamaz hale gelmesine neden olur. Eğer bu kalıntı kalıptan tekrar tekrar ve dikkatli bir şekilde uzaklaştırılmazsa kalıpta korozyondan ve abrazyondan dolayı tamiri mümkün olmayan belirli bir pürüzlülükle imal edilmişse doğrudur. Taşlama çizgilerinin yönü dışa doğru olmalıdır. Bu şekilde dolmakta olan kavite içindeki havanın ayrılma yüzeyine doğru akarak dışarı çıkması beklenir. Kaviteye radyal yöndeki (Şekil 12.1) taşlama yönünün çok iyi sonuçlar verdiği deneyimlerle ortaya konulmuştur. Eğer bu işlem yapılmazsa kalıp içindeki havanın tahliyesi için özel birtakım önlemler gerekir. Parçanın konfigürasyonu, kalıp içindeki yerleşimi ve parça girişi kalıp içindeki havanın hasarlara yol açabilir.

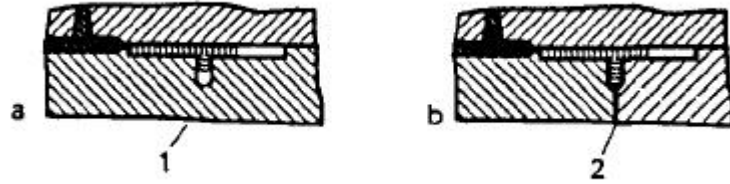
Çoğu kalıp, havanın itici pimlerden veya ayrılma yüzeyinden kaçabilmesi nedeniyle içindeki havanın tahliyesi için özel tasarım detaylarına ihtiyaç duymaz. Bu durum özellikle ayrılma yüzeyi kaba bir taşlama taşı (tane boyutu 240) ile taşlanarak tahliyesini önemli biçimde etkilerler. Bu durum çeşitli örneklerle gösterilebilir. Şekil 12.2 de kase şeklindeki bir parçanın üstten giriş yapılmış hali görülmektedir. Kavite içinde hapsedilmiş olan hava kalıbın dolmaya başlaması ile birlikte ayrılma yüzeyine doğru itilir ve buradan dışarı kaçabilir. Havanın tahliyesi için özel önlemlere gerek yoktur. Şekil 12.3 de ise tasarım daha farklıdır. Aynı parçaya giriş yandan yapılmıştır. Kalıp dolmaya başladığında ergimiş malzeme önce kalıp çekirdeğinin etrafından dolaşarak akar, ayrılma yüzeyini kapatır ve kavite içindeki havayı parçanın üst tarafına doğru sıkıştırarak yükselmeye başlar. Burada hava sıkışır ve aşırı derecede ısınır.

Bunu engellemek için özel tasarım aşamaları gereklidir. Benzer bir durum aşağıdaki şekilde de mevcuttur (Şekil 12.2-a). Feder içinde sıkışan hava ergimiş malzeme ince federin dip kısmını doldurduğu için dışarı çıkamaz.



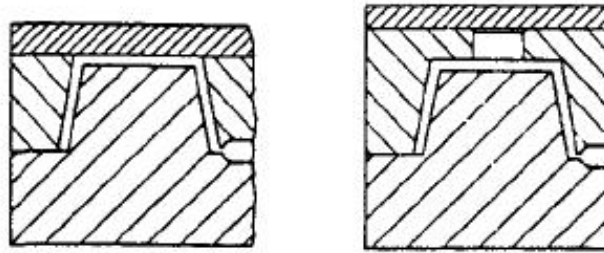
Şekil 12.1 Hava tahliyesi örnekleri

- Şekil 12.1 A) Ayrılma yüzeyinin taşlanarak hava tahliye kanallarının oluşturulması  
 B) Hava tahliyesi için uygun giriş pozisyonu  
 C) Hava tahliyesi için uygun olmayan giriş pozisyonu



Şekil 12.2 Federli parçalarda havanın tahliye edilmesi

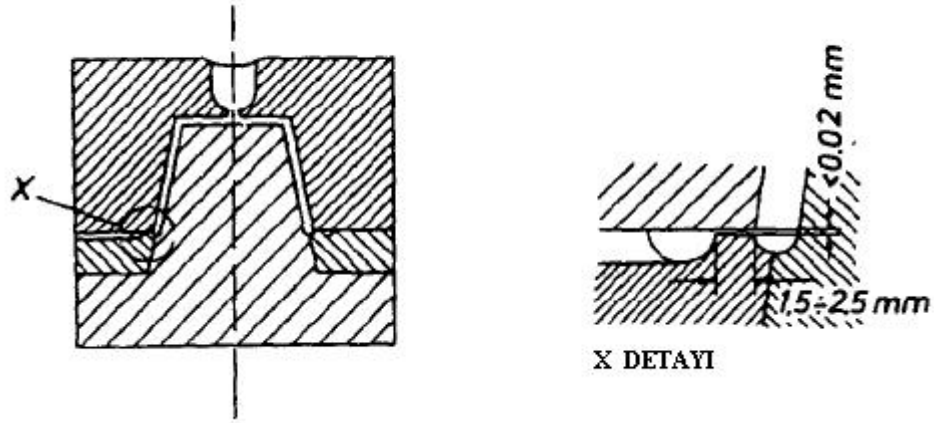
Her iki durumda da (Şekil 12.2 a-b) meydana getirilen bir birleşme bölgesi kavite içindeki havanın tahliyesini sağlar. İlk örnekteki parçada hava tahliyesi parçanın üst kısmı ayrı bir parça olarak yapılırsa veya silindirik bir insert kullanılırsa gerçekleşir ve parça üretilebilir (Şekil 12.3). Bu durumda tabii ki parça üzerinde bir izin oluşması kaçınılmazdır. Eğer bu istenmiyorsa bu iz dekoratif bir çizgiye de dönüştürülebilir. İkinci örnekteki parçada ise havanın kaçması için gerekli birleşme yüzeyi parçaya formu veren kısmın iki parça olarak yapılması ile gerçekleşir. (Şekil 12.2 b)



Şekil 12.3 Yandan giriş yapılan parçada hava tahliyesi için alınmış olan önlem

Bahsedilen bu çözümlerde hava birleşme yüzeylerinden kaçabilir ancak bu durum birleşme yüzeylerinin belirli bir pürüzlülükte yapılması ve enjeksiyon işleminin havanın kaçmasına izin verecek derecede yavaş olması ile mümkün olur. Bu çözüm kısa enjeksiyon zamanına sahip ince cidarlı parçalarda işe yaramaz. Bu durumda özel tahliye kanalları gereklidir.

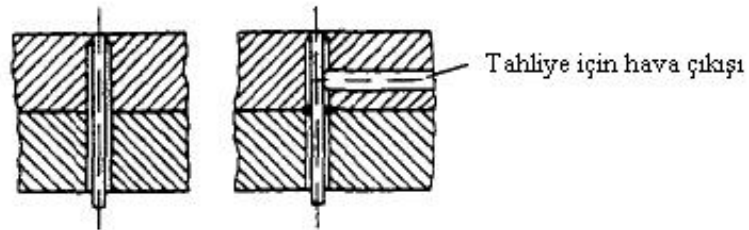
Parçaya girişin üstten yapıldığı ilk örnek için diğer bir çözüm ise ayrılma yüzeyi düzlemine kanallar açmaktır. Hava enjeksiyon süresince buralara girer, genişler ve bu kanallardan dışarı çıkar. Bu kanallara ait boyutlar aşağıdaki şekillerden alınabilir. (Şekil 12.4)



Şekil 12.4 Hava tahliye kanallarının boyutları

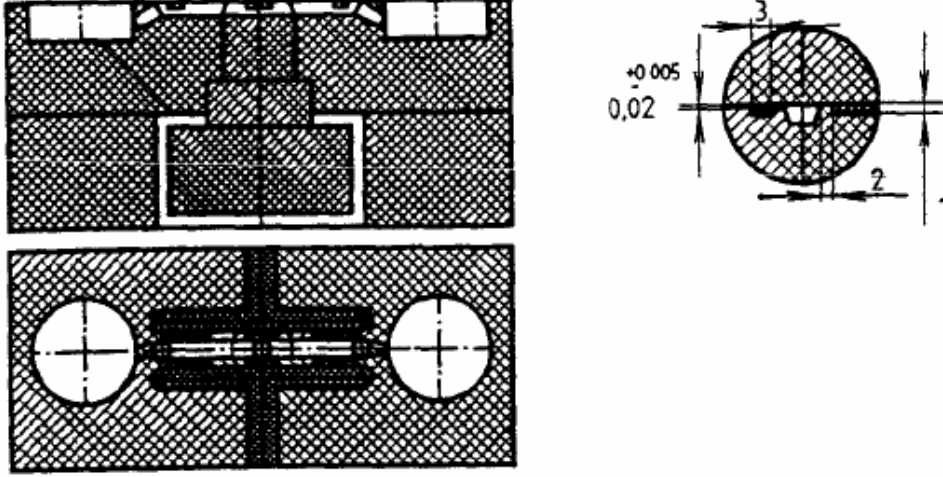
Geniş yüzey alanına sahip kalıplarda lamellerin kullanılması ile hava tahliyesinin sağlanması diğer bir yöntemdir. Burada akıldan çıkarılmaması gereken şey bu tahliye elemanlarının da kalıp üzerinde izler bırakacağı ve kalıbın soğutma sistemine ait kanallarla çakışabileceğidir.

Eğer itici pimler havanın sıkışabileceği yerlere yerleştirilirse, hava tahliyesi için kullanılabilirler. Tahliye, itici pimin çalıştığı delik genişletilerek daha kolay yapılabilir. (Şekil 12.5). Bu çözüm ilave bir avantaj daha sağlar. Eğer gerekiyorsa boşluğa akan hava sıkışarak parçanın kalıptan çıkarılmasına da yardımcı olur. Ek olarak boşluklar pimlerin hareketi ile temizlenir.



Şekil 12.5 İtici pimden hava tahliyesi

Çok kaviteli kalıplarda veya birden fazla girişli kalıplarda yolluklardaki hava kaviteye giremeyeceği için tahliye yolluklardan başlamalıdır. Aşağıdaki şekilden de (Şekil 12.6) görüleceği gibi akış yollunun sonunda tahliye kanalları için uygulanan kurallar burada da uygulanır.



Şekil 12.6 Yolluklardaki havanın tahliyesi

Son olarak yanıtlanması gereken soru ise tahliye aralığının ne kadar olacağıdır. Çapak oluşumunu engellemek için kalıp kapanıp kilitlendikten sonra belirli bir aralık ölçüsü aşılmamalıdır.

Kalıp içine dolan malzeme ilk önce herhangi bir basınçla karşılaşmaz. Kalıbın dolması devam ettikçe basınç yükselmeye başlar. Bir aralıkta malzemenin soğuması ve aynı noktada basıncın yükselmesi aynı zamanda meydana gelir. Malzemenin geçmesine engelleyen aralık genişliği birincil olarak ilk temas ile basıncın yükselmeye başladığı an arasındaki zaman aralığına bağlıdır. Kalıp ve malzeme sıcaklığından az da olsa etkilenen soğutucu etkiler çapak oluşumunu azaltabilir. Enjeksiyon hızı çok yüksek olmadığı zaman veya çok ekstrem bir basınç düşmesi meydana geldiğinde bu kuraldan uzaklaşılarak farklı aralık genişlikleri söz konusu olabilir. Akış yolu boyunca meydana gelen basınç düşmesi nedeniyle aralık genişliği artabilir.

Plastik malzemeye göre kritik aralık genişlikleri aşağıdaki gibidir.

- Kristalin termoplastikler : PP, P A, GR-PA, POM, PE      0.015 mm.
- Amorf termoplastikler : PS, ABS, PC, PMMA      0.03 mm.
- Aşırı akışkan malzemeler      0.003 mm

### 13. PLASTİK ENJEKSİYON PARÇA HATALARI ve ÇÖZÜMLERİ

#### 13.1 Genel Bilgi

Bir problemi çözerken probleme doğru yaklaşılmalıdır. Üretilen parça istenildiği gibi değilse problem;

- Malzeme
- Kalıp
- Proses çalışma şartları
- Makine dördlüsünden birine ya da birkaçına birden müdahale edilerek çözülür.

Temel olarak, bir parçada problem;

- Proses öncesinde (malzeme tedariki ve depolama)
- Proses sırasında (çevrim sırasındaki çalışma şartları)
- Veya proses sonrasında (parçalara son işlem uygulanması, paketlenme, taşınma) meydana gelir. Proses öncesinde ya da sonrasında meydana gelen problemler genelde “malzeme kirlenmesi, renklendirme, tozlanma, nem alma” gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu tür problemlerin çözümleri genelde açık ve kolaydır. Ama proses sırasında meydana gelen problemler daha karışık ve dikkat isterler. Bu problemler de;
- Makineden
- Kalıptan
- Çalışma şartlarından (zaman -sıcaklık-basınç)
- Malzemedan
- Ürün tasarımından kaynaklanırlar.

Proses sırasında oluşan problemlerde, plastik malzemeye çalışma parametrelerinin ne tür etkilerde bulunduğu araştırılmalıdır. Bu parametreler;

- Enjeksiyon zamanı
- Tutma basınçları değerleri ve zamanı
- Soğutma zamanı
- İtme (parçayı kalıptan çıkarma) zamanı
- Mengene bekleme zamanı
- Kalıp sıcaklığı
- Yolluk tasarımı
- Yolluk geçidi ve büyüklüğü

- Parça et kalınlığı
- Akış yolu uzunluğudur.

Çevrim sırasında oluşan problemler ana olarak üç faktöre bağlıdır. Bunlar:

- Enjeksiyon makinesi: Kapama kuvveti yeterli mi? Baskı kapasitesi yeterli mi?, vs.
- Kalıp: Kalıp doğru tasarlanmış mı? Kendinden istenen fonksiyonları yerine getirebiliyor mu?, vs.
- Malzeme: Üretilen parça için doğru malzeme mi seçildi? Gerekli çalışma şartlarında istenildiği verimi verebiliyor mu? vs,

Enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve malzemenin performansları, yani verimli bir şekilde çalışabilmesi de üç ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler "zaman, basınç ve sıcaklıktır. Enjeksiyon prosesi sırasında meydana gelebilecek problemlerin bir çoğu bu üç değişkenin doğru şekilde ayarlanması ile giderilebilmektedir. Bu arada bu üç değişkenin birbiriyle bağlantılı olduğu unutulmamalı ve ayarlar buna göre yapılmalıdır. (Akyüz, 1993)

## 13.2 Örnekler

### 13.2.1 Yolluk girişi çevresinde mat bölgeler

Hata Nedeni : Yolluk girişi çevresinde malzeme akış problemi olabilir.

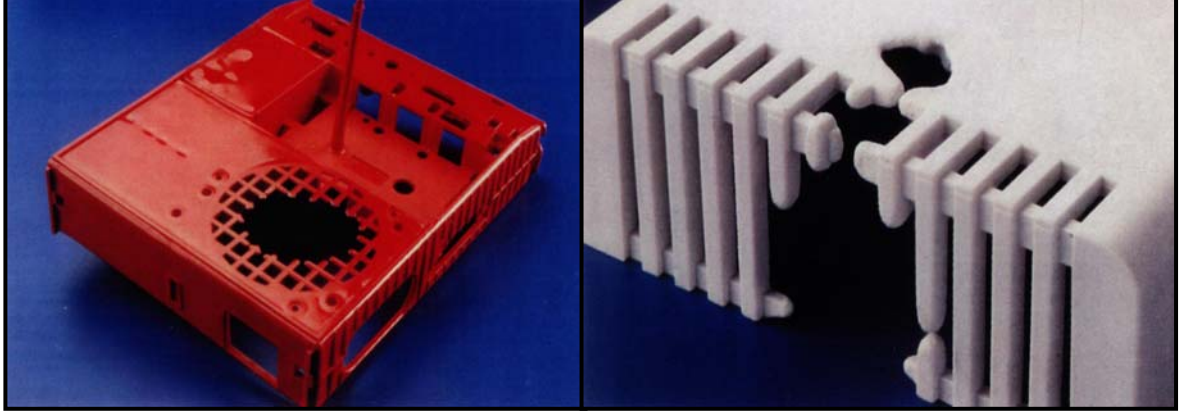


Şekil 13.1 Yolluk girişi çevresindeki mat bölgeler

Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri	
Erime hızı çok yüksek	Değişken enjeksiyon hız profili kullanılır. Yavaş-Daha Hızlı-Hızlı
Erime sıcaklığı çok düşük	Silindir sıcaklığı artırılır, vida hızı artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı artırılır.

### 13.2.2 Tam doldurulamamış parçalar

Hata Nedeni : Basınç kalıbı tam doldurmak için yetersiz, malzeme kalıp dolmadan önce katılaşiyor olabilir.

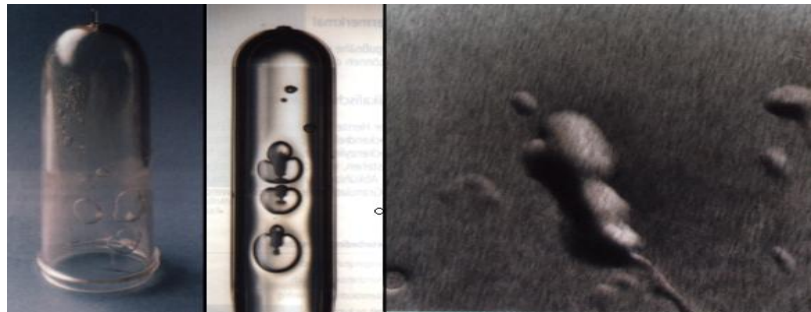


Şekil 13.2 Tam dolduramamış parçalar

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Enjeksiyon basıncı çok düşük	Enjeksiyon basıncı artırılır.
Enjeksiyon hızı çok düşük	Enjeksiyon hızı artırılır.
Geri basınç çok düşük	Geri basınç artırılır.
Tutma basıncına çok erken geçilmiş	Tutma basıncına daha sonra geçilir.
Erime sıcaklığı çok düşük	Ocak sıcaklığı artırılır, vida geri basıncı artırılır.
Tutma süresi çok düşük	Tutma basıncına daha sonra geçilir.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı artırılır.

### 13.2.3 Gaz kabarcıkları

Hata Nedeni : Gaz kabarcıkları plastikleştirme sırasında oluşur

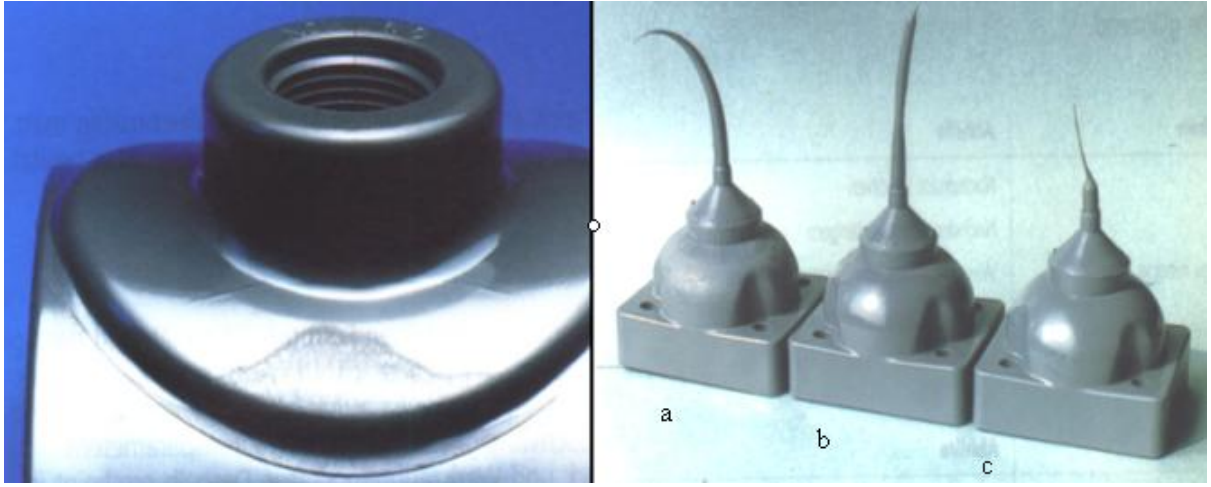


Şekil 13.3 Gaz kabarcıklarına örnekler

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Eriyik sıcaklığı çok fazla	Ocak sıcaklığı düşürülür, geri basınç düşürülür. Vida devir hızı düşürülür.
Eriyik ocak içinde çok fazla kalmış	Daha küçük çaplı vida kullanılır.
Uygun olmayan vida geometrisi	Daha düşük sıkıştırma oranlı vida kullanılır.

### 13.2.4 Köşelerden sonra mat bölgeler

Hata Nedeni : Kalıp boşluğunda malzeme akış problemi olabilir.

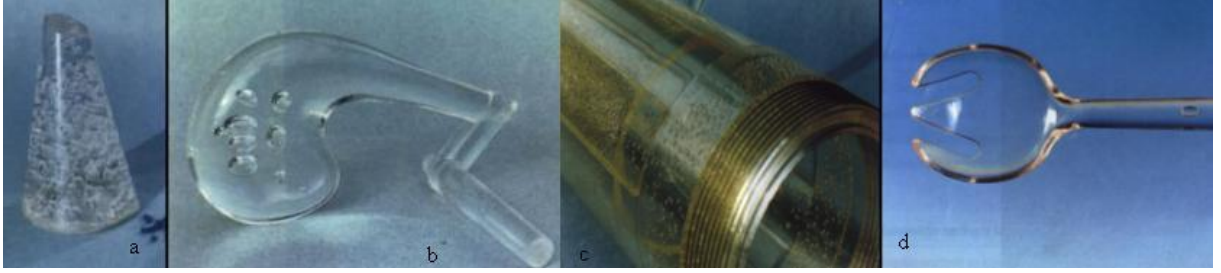


Şekil 13.4 Keskin köşe sonrasında mat bölgeli parçalar  
a) Büyük mat bölge : Enjeksiyon hızı çok yüksek (Sol)  
b) Küçük mat bölge : Azaltılmış Enjeksiyon hızı (Orta)  
c) En iyi parça : Değişken enjeksiyon hızı (Sağ)

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Erime ön hızı	Değişken enjeksiyon hız profili kullanılır. Yavaş-Daha Hızlı-Hızlı
Erime sıcaklığı çok düşük	Silindir sıcaklığı artırılır, vida hızı artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı artırılır.
<u>Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Yolluk girişinden parçaya çok keskin geçim	Yolluk giriş ve parça arasında küçük yarıçaplı geçim sağlanır.
Yolluk giriş çapı çok küçük	Yolluk giriş çapı artırılır.
Yanlış yolluk giriş pozisyonu	Yolluk girişi parçanın herhangi başka bir yerine taşınır.

### 12.3.5 Boşluklar / kabarcıklar

Hata Nedeni : Kalın kesitli bölgedeki çekme tutma basıncı ile karşılanamamaktadır.



Şekil 13.5 Boşluklar/kabarcıklar

- a) Vakum kabarcıkları  
 b) Kalın duvarlı PMMA parçada boşluklar : Kabarcık bölgesinde duvar kalınlığı 28mm, yolluk giriş bölgesinde 15 mm. Yolluk giriş bölgesindeki malzeme daha çabuk soğumakta ve parçadaki çekmeyi karşılayamadığından vakum boşlukları oluşmaktadır.  
 c) Farklı et kalınlıklarındaki Polysulfon (PSU) parça : Et kalınlığının büyük olduğu bölgede kabarcıklar  
 d) Salata Kaşığı (PMMA) : Yolluk girişinden uzak kalın bölgede kabarcık

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Tutma basıncı çok düşük	Tutma basıncı artırılır.
Tutma basıncı uygulama süresi çok düşük	Tutma basıncı artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı artırılır.
Eriyik sıcaklığı çok düşük	Eriyik sıcaklığı artırılır.
<u>Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Yolluk girişi çok küçük	Yolluk girişi büyütülür.
Yolluk burcu çok küçük	Dağıtım yolluğu çapı büyütülür.
Yolluk girişi ince kesitten yapılmış	Yolluk girişi parçanın kalın kesitli yerinde olmalı.
Yolluk girişi yer seçimi hatalı	Yolluk giriş yeri değiştirilir.

### 13.2.6 Parçada siyah - gri duman izleri

Hata Nedeni : Plastikleştirme sırasında sıkışarak yanan hava; vidadaki ergitme sırasında hava besleme bölgesi yönüne kaçabilmektedir. Malzemenin çok hızlı ergitilmesi durumunda hava kaçamamakta, sıkışan hava siyah veya gri duman izlerine neden olmaktadır.



Şekil 13.6 Parçada siyah-gri izler

- a) Çift Renkli Lamba : Sarı parçada (PMMA) , eritme sırasında sıkışan hava parçada siyah duman izlerine neden olmaktadır  
b) İç yapısında gri duman izleri bulunan kalın duvarlı PMMA parça  
c) Parça yüzeyinde koyu gri akış hatları

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Geri basınç çok düşük	Geri basınç artırılır.
Besleme tarafındaki ocak sıcaklığı çok fazla	Besleme tarafındaki ocak sıcaklığı düşürülür.
Vida devri çok yüksek	Vida devri düşürülür.
Plastikleştirme ünitesinde yabancı madde var	Plastikleştirme ünitesi temizlenir.
Uygun olmayan vida geometrisi	Daha uzun ve daha büyük vida derinlikli besleme ünitesi olan vida kullanılır.
Plastikleştirme ünitesinde aşınma var	Plastikleştirme ünitesi veya parçaları değiştirilir. Aşınma ve pas dayanımlı bir plastikleştirme ünitesi kullanılır.

### 13.2.7 Hızlı akış izleri

Hata Nedeni : Plastik'in yolluk girişinden akış hızının çok yüksek olması.



Şekil 13.7 Hızlı akış izleri

- a) Kalın etli parçada yolluk girişinde akış izleri  
b) İnce şeffaf parçada tüm boyda açıkça görülen akış hattı  
c) İnce etli parçada akış hattının oluşumu

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :</u>	
Enjeksiyon hızı çok fazla	Enjeksiyon hızı düşürülür
Sabit enjeksiyon hızı	Yavaş-hızlı değişken enjeksiyon hız profili kullanılır.
Eriyik sıcaklığı çok düşük	Ocak sıcaklığı yükseltilir, geri basınç artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Yolluk girişi bölgesinde kalıp sıcaklığı yükseltilir.
Yolluk girişi ile parça arasındaki geçişte keskin kenar / geçiş	Geçiş yuvarlatılmalı.
Yolluk girişi çok küçük	Yolluk girişi büyütülür.
Yolluk girişi parça kesitinin tam ortasında	Yolluk yeri değiştirilir. Parça bir dirence karşı doldurulur. (örn : karşı duvara çarptırılır)

### 13.2.8 Çapak

Hata Nedeni : Malzemenin uyguladığı basınç kuvveti tezgah kapama kuvvetini aşarak kalıbın açılmasına neden oluyor.



Şekil 13.8 Çapaklı parçalar

Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :

Kapama kuvveti çok düşük	Kapama kuvvetini artırılır.
Geri basınç çok fazla	Geri basıncı düşürülür.
Enjeksiyon hızı çok yüksek	Enjeksiyon hızını düşür. Değişken hız profili kullanılır.
Tutma basıncına geç geçiliyor	Tutma basıncına daha erken geçiler.
Eriyik sıcaklığı çok fazla	Ocak sıcaklığını düşürülür.
Kalıp sıcaklığı çok fazla	Kalıp sıcaklığını düşürülür.

Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Kalıp boyutsal olarak stabil değil

Daha rijit kalıp tasarımı yapılmalı

Kalıp ayrılma yüzeyinde kalıp alıştırması uygun değil, kalıp yüzeyleri öpüşmüyor

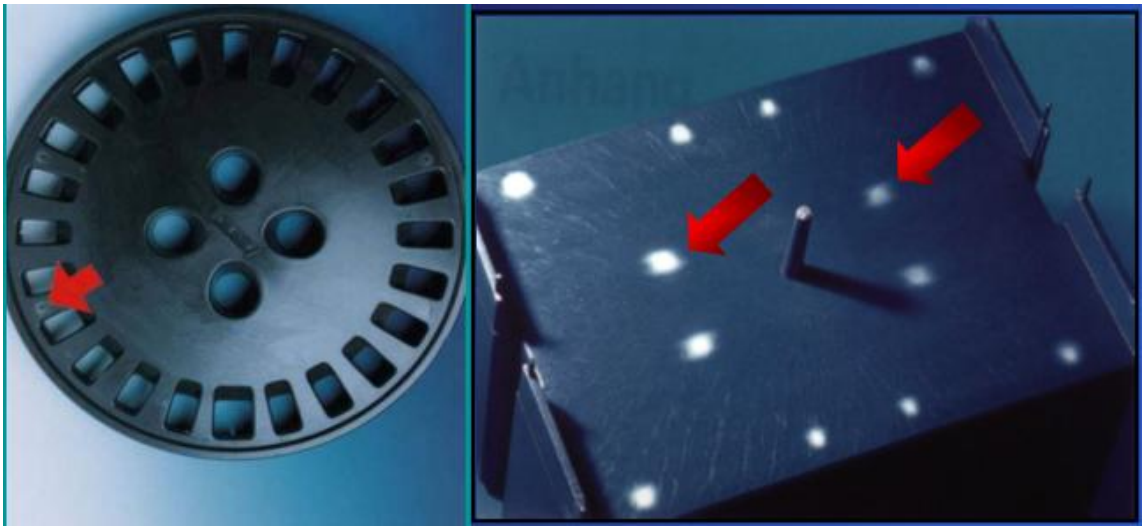
Kalıp imalatı iyileştirilmeli

Kalıp ayrılma yüzeyinde aşınma var

Kalıp ayrılma yüzeyi alıştırılması tekrar yapılmalı

### 13.2.9 İtici izleri

Hata Nedeni : İtici parçaya batacak kadar yüksek basınç kuvveti uyguluyor.

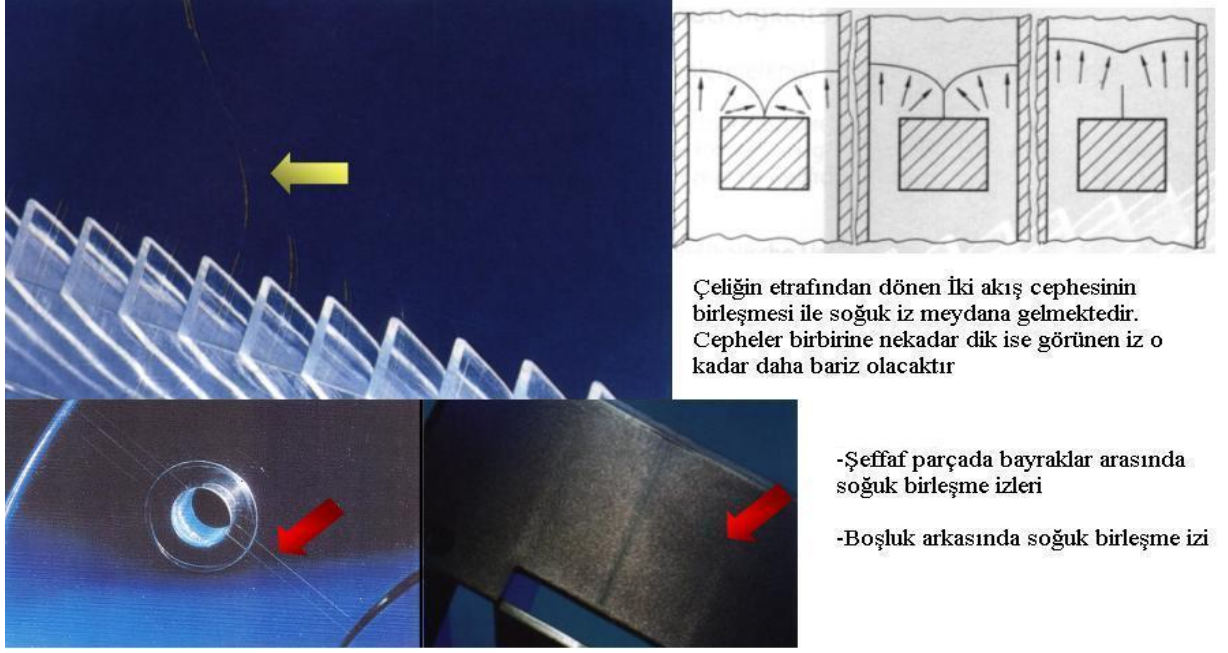


Şekil 13.9 Parçayı itmek için çok fazla kuvvet uygulanıyor

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :</u>	
Geri basınç çok fazla	Geri basınç düşürülür.
Geri basınç zamanı çok fazla	Geri basınç zamanı azaltılır.
Geri basınca çok geç geçiliyor	Geri basınca daha erken geçiler.
Soğutma süresi çok kısa	Soğutma süresi uzatılır.
Kalıp açıları yetersiz	Kalıp açısı artırılır.
Kalıp yönündeki çelik yüzeyleri çok pürüzlü	Çelik yüzeyleri parlatılır.
İtici tarafında vakum etkisi var	Erkek tarafa hava çıkışı, hava ventili koyulur.

### 13.2.10 Soğuk birleşme izleri

Hata Nedeni : İki akış cephesi tam “kaynama” göstermez.



Şekil 13.10 Soğuk birleşme izleri

Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :	
Enjeksiyon hızı çok düşük	Enjeksiyon hızı yükseltilir.
Eriyik sıcaklığı çok düşük	Ocak sıcaklığı artırılır, geri basınç artırılır.
Kalıp yüzey sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı artırılır.
Geri basınç çok düşük	Geri basınç artırılır, geri basınç daha erken etki ettirilir.
Yolluk girişi uygun yerde değil	Birleşme izini görünmeyen bir yere taşıyacak şekilde yolluk giriş yeri değiştirilir.
Kalıp ayrılma hattında hava tahliye edilemiyor	Malzemeye göre hava çıkış kanalları açılır. (ABS 0,02 mm, PA - 0,01 mm. vb. )

### 13.2.11 Çarpılma

Hata Nedeni : Parçanın iç gerilmeleri parçayı deforme ediyor.



Şekil 13.11 Çarpılmaya bir örnek

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :</u>	
Parçadaki basınç çok fazla	Geri basınç düşürülür, geri basınca daha erken geçiler.
Kalıp sıcaklığı çok düşük	Kalıp sıcaklığı yükseltilir.
Akış cephesi hızı çok düşük	Enjeksiyon hızı yükseltilir.
Eriyik sıcaklığı çok düşük	Ocak sıcaklığı yükseltilir, geri basınç yükseltilir.
Kalıp sıcaklığı homojen değil	Soğutma homojen hale getirilmeli.
Et kalınlığı farklılıkları	Parça geometrisi kaynaklı etkenler minimize edilmeli.
Cam elyaf yönlenmesi uygun değil	Parça ve yolluk tasarımı ile uygun elyaf yönlenmesi elde edilir.

### 13.2.12 Çöküntü izleri

Hata Nedeni : Parçaya yeterli ütüleme uygulanamıyor



Şekil 13.12 Çöküntü izleri olan parçalara örnekler

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :</u>	
Geri basınç çok düşük	Geri basınç artırılır.
Geri basınç süresi çok kısa	Geri basınç süresi artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok fazla	Kalıp sıcaklığı düşürülür.
Eriyik sıcaklığı çok fazla	Eriyik sıcaklığı düşürülür, ocak sıcaklığı düşürülür.

<u>Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:</u>	
Yolluk girişi kesiti çok dar	Yolluk girişi büyütülür.
Basınç düşüşü çok fazla	Yolluk yeri veya sayısını artırarak akış uzunluğu düşürülür.
Yolluk burcu çapı çok dar	Yolluk burcu çapını düşürülür.
Yolluk girişi ince kesit üzerinde	Yolluk girişi en kalın kesit üzerine alınmalı.
Feder kalınlığı / taban et kalınlığı oranı hatalı tasarlanmış	Parça tasarımı düzeltilmeli.

### 13.2.13 Yolluk girişi uzağında Diesel etkisi

Hata Nedeni : Sıcak hava malzemeyi ısıtıp yakıyor.



Şekil 13.13 Diesel etkisine örnekler

<u>Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :</u>	
Enjeksiyon hızı çok fazla	Enjeksiyon hızı düşürülür, değişken hız profili kullanılır.
Eriyik sıcaklığı çok fazla	Ocak sıcaklığı düşürülür.
Kapama kuvveti çok fazla	Kapama kuvveti düşürülür.
Hava çıkışı yok	Hava çıkış kanalları eklenir. Hava çıkışı için lokma / pim eklenir. İtici pimler bu bölgelerde kullanılır.
Parça tasarımı uygun değil	Daha iyi doldurma için parça tasarımı değiştirilir. Yolluk yeri değiştirilir.

Bunlar karşılaşılan problemlerden bazılarıdır. Bu örnekleri çoğaltabiliriz.

## 14. BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIM ve ANALİZ UYGULAMASI

### 14.1 Kalıp Tasarım İlkeleri

Bilgisayar destekli kalıp tasarımı, parçanın modelinin tasarımcıya verilmesi ve kalıplanacak olan parçaya ait tasarım verilerinin oluşturulması ile başlayan bir süreçtir. Bu verilerin oluşturulmasına aşağıda daha detaylı olarak değinilmiştir.

#### 14.1.1 Parça bilgileri

Bilgisayar destekli kalıp tasarımı, oluşturulan ürün modelinin kontrolü ile başlar. Ürün modeli teknik resimden farklı olarak genellikle gerçek objenin üç boyutlu gösterimidir. Bu gösterim, yardımcı görünümlere ihtiyaç duyulmadan tasarımı yapılan objeyi net bir şekilde gösterir. Üç boyutlu model, ürün modeli üzerinde bulunan her olguya kolaylıkla tasvir oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Ürün modeli kalıp tasarımcısı tarafından incelenerek; ürünün mukavemetini ve kalitesini ters etkileyebilecek bölgelerin kontrolünü yapar. Herhangi bir düzeltme gerekiyorsa ürün tasarımcısı ile ürün tasarımı tekrar gözden geçirilir.

Ürüne ait kritik bilgiler edinilir.(fonksiyonu, üretim adedi, hammaddesi, erime sıcaklığı, çekme oranı, yüzey deseni, vb...)

#### 14.1.2 Enjeksiyon makine bilgileri

Makineye ait bilgiler edinilmelidir. Çünkü bu bilgiler kalıbın şekillenmesinde dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Bu bilgiler; kapama kuvveti, kolon aralığı, mil-maka kapama, meme radyüsü, meme stroğu, ön-arka flanş çapı, soğutma bağlantı tipi, itici bilgileri, vs.)

#### 14.1.3 Kalıp bilgileri

Yukarıda edinilen bilgiler doğrultusunda kalıp ölçüleri, kalıp ağırlığı, kalıp tipi, kalıp göz adedi, plastik parçanın alınma şekli, kalıp malzemeleri, yolluk tipi, yolluk girişi, itici tipleri, vs belirlenir.

### 14.2 Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı aşağıdaki işlem dizileri ile tamamlanır.

- Ürünün kalıplamaya uygun olup olmadığının kontrolü
- Ayırma yüzeylerinin ve mekanik tasarımın kararı

- Kalıp setinin hazırlanması
- Yolluk sisteminin belirlenmesi
- İtici sisteminin belirlenmesi
- Soğutma sisteminin belirlenmesi

### 14.3 Kalıbın Analizi

Fiziksel bir prototip üretmeden tasarımlarımızın gerçek dünyada nasıl davranacaklarını bilmek ve dolayısıyla ile bunları optimize etmek için çeşitli analiz yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu analiz yöntemlerini akış, yapısal, termal, malzeme, yorulma, titreşim, akustik vs. başlıklar altında toplayabiliriz. (Kumaşdere, 2005)

#### 14.3.1 Akış analizi

Plastik parçaların ve bu parçaların kalıplarının tasarımı sırasında gözden kaçırılan hatalar, üretim aşamasına geçildiğinde, günümüz rekabet koşullarında üretici firmaların büyük para ve zaman kaybetmesine neden olabilir. Enjeksiyon kalıp tasarımından üretime geçilirken ortaya çıkan problemlere, çeşitli analiz programları, etkili ve fonksiyonel çözümler sunar.

Parça ve kalıp tasarımcılarının ihtiyaçları düşünülerek oluşturulan analiz programları, potansiyel üretim problemlerini elemek için, parçaların ve kalıp tasarımlarının ilk aşamasında parça kalitesindeki problem olabilecek kritik üretim noktalarını tanırlar ve çözümler sunar. Bu şekilde, plastik parçaların üretim aşamasına geçilmeden önce, üretim aşamasında doğabilecek problemler minimum seviyeye indirilmiş olur.

Bu programlar bilinen plastik üretim sorularına cevap üretir:

- Tamamen dolacak mı?
- Birleşme çizgileri ve hava boşlukları nerelerde oluşur?
- Hangi malzeme kullanılmalı ve giriş noktası nerede olmalı?
- Yolluk sistemi dengeli mi?
- Düzenli soğuma ve minimum döngü zamanı için soğuma devreleri nasıl tasarlanmalı?
- Üretilebilirliği optimum yapabilmek için geometri nasıl değiştirilmeli?
- Çökmeler nerelerde, ne kadar olacak?
- Yüzey kalitesi benim için yeterli mi, sorunlu bölgeler nerelerde?
- Hacimsel çekme ne kadar olacak, optimum ütüleme şartları neler?
- Kabul edilebilir şartlarda mı çarpılma olacak?

- Çarpılmayı azaltabilmek için gerekli işlem şartları, malzeme ve parça tasarımı nasıl değiştirilmeli?

- Parçanın ortalama üretim maliyeti ne olacak?

Bu programlar yardımı ile;

Parça'da;

- Enjeksiyon ile imal edilecek plastik parçaların imal edilebilirliği
- Belirlenen şartlarda tam dolup dolamayacağı
- Dünya genelindeki polimer üreticilerinden elde edilen malzeme kütüphanesinden yararlanma şansı
- En uygun giriş noktasını otomatik bulma olanağı
- Yüzey hatalarını gözlemleyip, nedenlerini görüp ve giderme olanağı
- Birleşme çizgileri ve hava boşluklarının oluşabileceği yerleri görme olanağı
- Çökmeleri görüp ve düzeltmek için tavsiyeler alma olanağı
- Yüzey kalitesinin size uygunluğunu görme ve sorunlu bölgeleri nedenleriyle beraber tespit etme şansı
- Geometri ve malzemenin parça maliyetine etkileri
- Sorunlar hakkında, tasarımı geliştirecek tavsiyeler alma şansı

Kalıp'ta;

- Kalıp diziliş şeklini belirleme; (Tek göz, çok göz, aile kalıbı)
- Tüm meme, yolluk, giriş sistemlerini oluşturma ve test etme
- Uniform bir akış için tüm yollukları dengeli bir hale getirme
- En iyi yolluk yerleştirilmesi için otomatik yolluk yerleştirme aracını kullanma
- Mengene ağırlıklarını, dönüş zamanını hesaplama
- Plastik enjeksiyonculuğu için ipuçlarından ve pratik önerilerden yararlanma
- Malzeme tedarikçisinin önerdiği kalıp ve erime sıcaklıklarını kullanma
- Doldurma basıncını minimize edecek enjeksiyon süresini otomatik olarak belirleme ve anlık akış sıcaklığını kabul edilebilir bir aralıkta sabit tutmasını sağlama
- Düzenli soğuma için soğuma devreleri tasarlama
- Hacimsel çekmeyi gözleme ve ideal ütüleme şartlarını otomatik bulma
- Çarpılmaları görme ve azaltabilmek için gerekli işlem şartlarını, malzeme ve parça

tasarımının nasıl değiştirilmesi gerektiğini görme

- Parça maliyetini oluşturan dört bileşeni hesaplama
- Malzeme Maliyeti
- Kalıp Üretim Maliyeti
- Makine İşlem Maliyeti
- İşlem Sonrası Maliyetler

gibi birçok konuda çözüm sağlamaktadır.

### 14.3.2 Yapısal analiz

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemlerine çözüm sağlama amaçlı kullanılabilen bir sayısal yöntemdir. Katıların ve sıvıların mekaniği, ısı transferi ve titreşim vb. konulardaki problemler için kullanılır.

Belirli bir sınırı olan, birbirine bağlı bir bölge ve hacmi (model), bir veya birkaç fiziksel değişkenden etkilenme durumu dikkate alındığında problemi analiz etmek için ilgili model sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanların oluşturulması, modele ağ örme veya mesh oluşturma olarak adlandırılır. Bu elemanların şekilleri ve sayıları yapılacak analiz süresi ve hassaslığı bakımından önemlidir. Dolayısıyla kullanılacak eleman şeklinin, modeli daha küçük parçalara ayırabilme özelliği bulunmalıdır. Uygun eleman çeşidini otomatik seçimi ve üzerinde değişiklik yapılabilmesi kullanılan yazılım tarafından da organize edilmektedir.

Bu elemanlar birbirine düğüm (node) adı verilen noktalarla bağlanır. İlgili sınırlamalara ve yükler altında, katı bir modelin elemanlarındaki yer değiştirmeler, noktaların yer değiştirmeleri ile, bunlar ise ilgili elemandaki gerilmeleri ile ilgilidir.

Düğüm noktaları ve belirlenmiş şartlar (yükleme, sınırlamalar) barındıran model, sonlu elemanlar yöntemi tarafından cebrik doğrusal denklemlere çevrilir ve bu denklemler çözülür, neticede modelin bütün elemanlarındaki gerilmeler hesaplanmaya çalışılır. Burada önemli olan nokta, gerçekleştirilen çözüm noktasal cebrik sistem çözümü olduğundan kısmi diferansiyel denklemlerin sürekli çözüm için ne kadar uyumlu olduğudur. Bu bakımdan mesh için küçük elemanların seçilmesi ve artırılması çözümün sağlığı açısından önemlidir. (Göloğlu, 2005)

Bir analiz öncesinde ortam ve çevre şartlarının gerekliliği olan ve kullanılan malzeme özelliklerine göre belirlenen çeşitli tanımlamaların olması gerekmektedir.

Gerekli tasarım girdilerini belirledikten sonra analiz modülünde uygulanması gereken çeşitli

adımlar vardır.

-Malzeme Tayini : Analizi gerçekleştirmek için gerekli adımlardan bir tanesidir. Mevcut kütüphane malzemelerinden birini kullanabilir yada malzeme özelliklerine göre yeni tanımlamalar yapılabilir.

-Sınır Şartları : Modelin simüle edilecek çevre içerisinde nasıl sınırlandırılacağı belirlenir.

-Yük Tanımı : Modelin üzerine gelecek yüklerin tayin edildiği bölümdür.

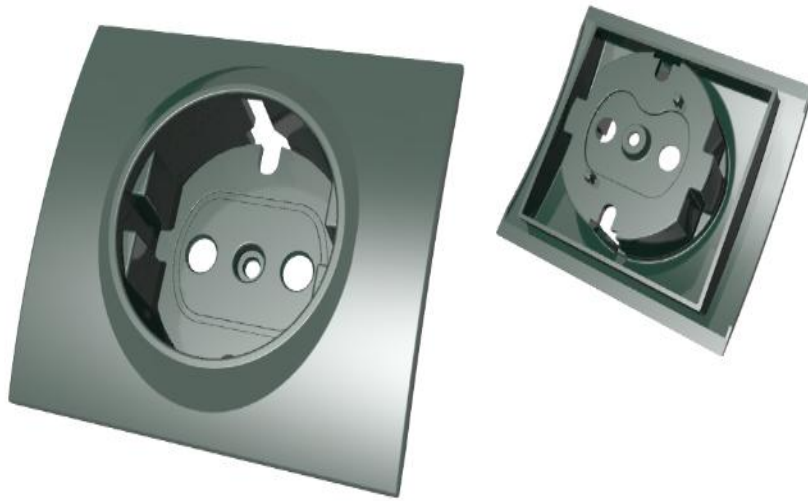
Bir analizi başlatmak için gerekli minimum tanımlamalar yukarıda verilmiştir. Bu aşamadan sonra analiz başlatılabilir. Ancak parçanın özelliklerine göre tanımlanması gereken çeşitli idealizasyon parametreleri de bulunabilir.

Analiz sonuçları yukarıda tanımlanan çevresel şartlar altında malzemelerin nasıl davranacağı konusunda fikir vermektedir. Bu analiz sonuçlarının doğru yorumlanıp gerekli düzenlemelerin yapılması en önemli aşamalardan bir tanesidir. Yapılan değişiklikler doğrultusunda modellerin üzerinde tekrar analiz ihtiyaçları duyulabilmektedir. Bu durum model istenilen şartlara gelene dek sürecektir.(Kumaşdere, 2005)

## 14.4 Uygulama

### 14.4.1 Kalıplanan parçanın modeli

Kalıplama için seçilen ürün modeli topraklı priz kapak modelidir. 3D ürün modeli şekil 14.1'de gösterilmiştir.



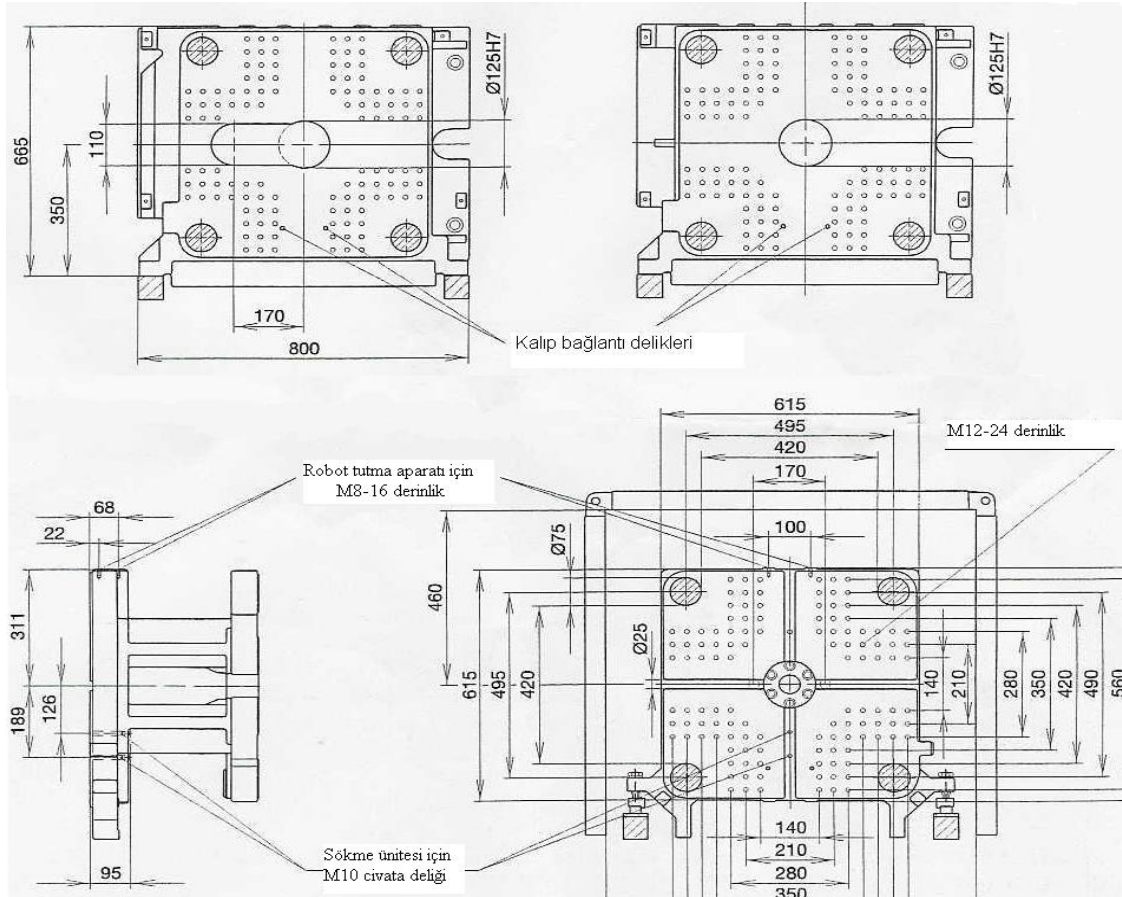
Şekil 14.1 Ürünün katı modeli

Parçaya ait bazı teknik bilgiler şöyledir;

Fonksiyonu	: Başka parçalar ile montajlı haliyle elektrik sektöründe kullanılmakta
Üretim adedi	: 20.000 adet/ay
Hammaddesi	: PC Xantar-22R DSM
Erime sıcaklığı	: 310°C
Çekme oranı	: % 0.5
Et kalınlığı	: 0.9 mm ~ 2.3 mm
Boy	: 70.8 mm
Genişlik	: 61.5 mm
Yükseklik	: 22.8 mm

#### 14.4.2 Plastik enjeksiyonda kullanılacak olan enjeksiyon tezgahı

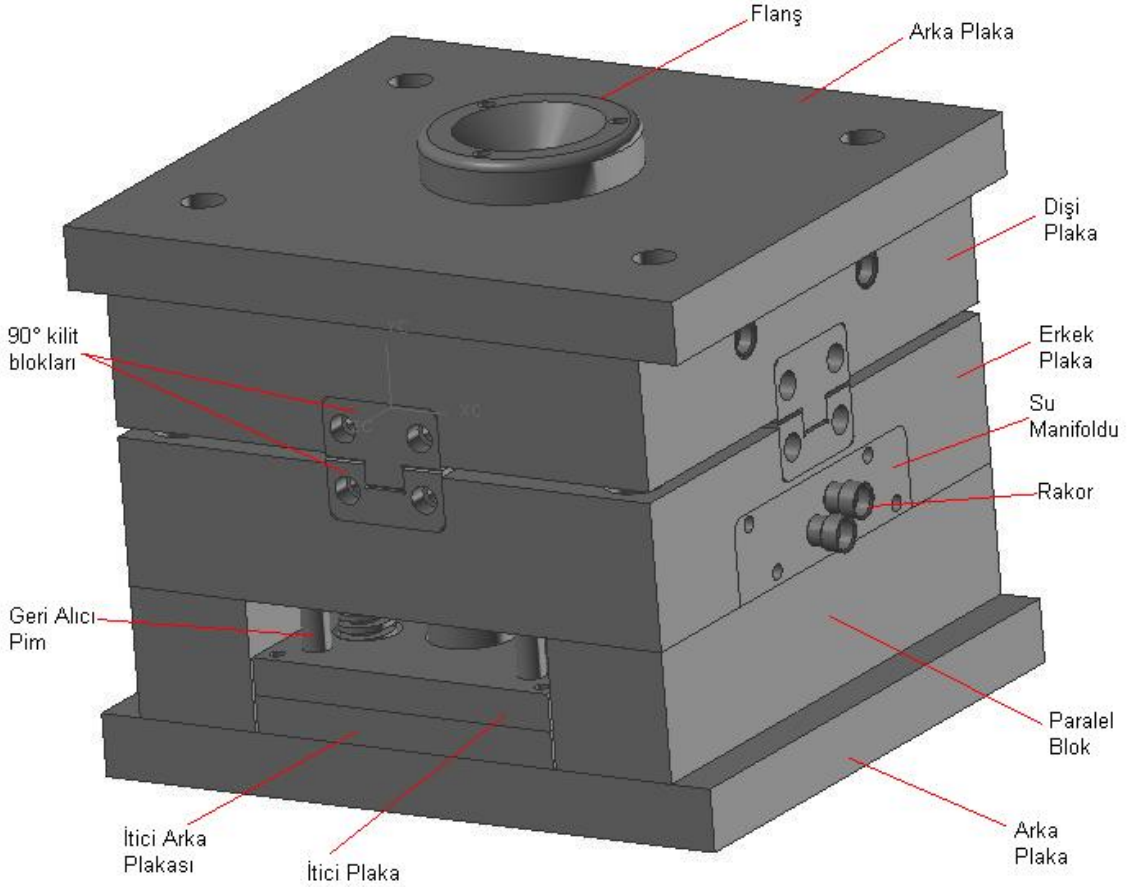
Enjeksiyon işleminde kullanılacak olan makine Arburg 420C olarak belirlenmiştir. Makineye ait teknik bilgilerin verildiği teknik resim aşağıda verilmiştir.



Şekil 14.2 Enjeksiyon işleminde kullanılacak olan tezgahın teknik ölçüleri

### 14.4.3 Plastik enjeksiyon kalıbının katı modeli

Yukarıda edinilen bilgiler doğrultusunda kalıp ölçüleri, kalıp ağırlığı, kalıp tipi, kalıp göz adedi, plastik parçanın alınma şekli, kalıp malzemeleri, yolluk tipi, yolluk girişi, itici tipleri, vs belirlenir.



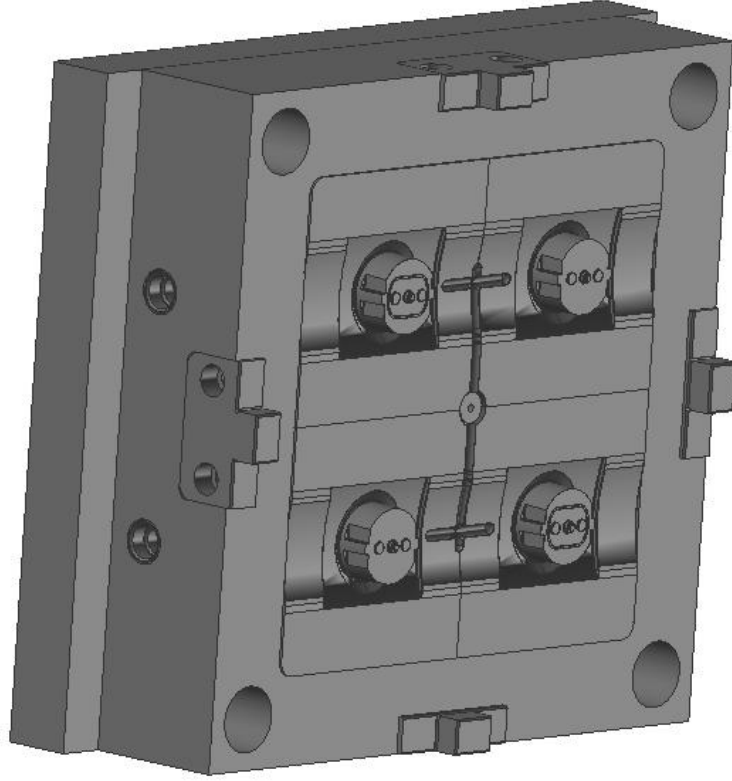
Şekil 14.3 Kalıbın perspektif görünüşü

Kalıp göz adedi : 4 olarak belirlenmiştir. Çünkü ürün yeni bir ürün olduğu için piyasa araştırmalarında fazla pazar payı olmadığı için (daha çok prestij ürün olarak üretildiği için) daha az gözlü bir kalıp maliyetler açısından daha uygun olacak diye düşünülmüştür. Normalde bu sektörde kullanılan ürünlerin kalıpları 8~64 gözden oluşmaktadır. Eğer bu üründe diğer ürünler kadar fazla talep alırsa 8 yada 16 gözlü yeni bir kalıp yapılacaktır.

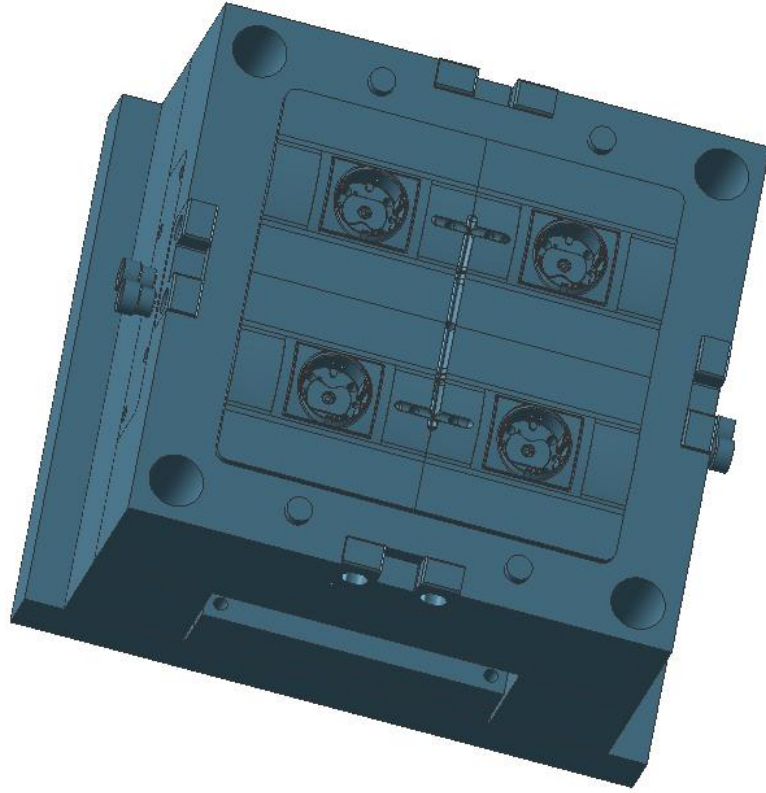
Kalıp ölçüleri : Kalıp 4 göz olarak tasarlanınca kalıbın boyutları 346x396 olarak belirlenmiştir.

Kalıp tipi : Standart kalıp tipi

Parçanın alınma şekli : Herhangi bir metotla alınmayacak, düşürülecek.



Şekil 14.4 Kalıbın enjeksiyon (dişi) yarımının perspektif görünüşü

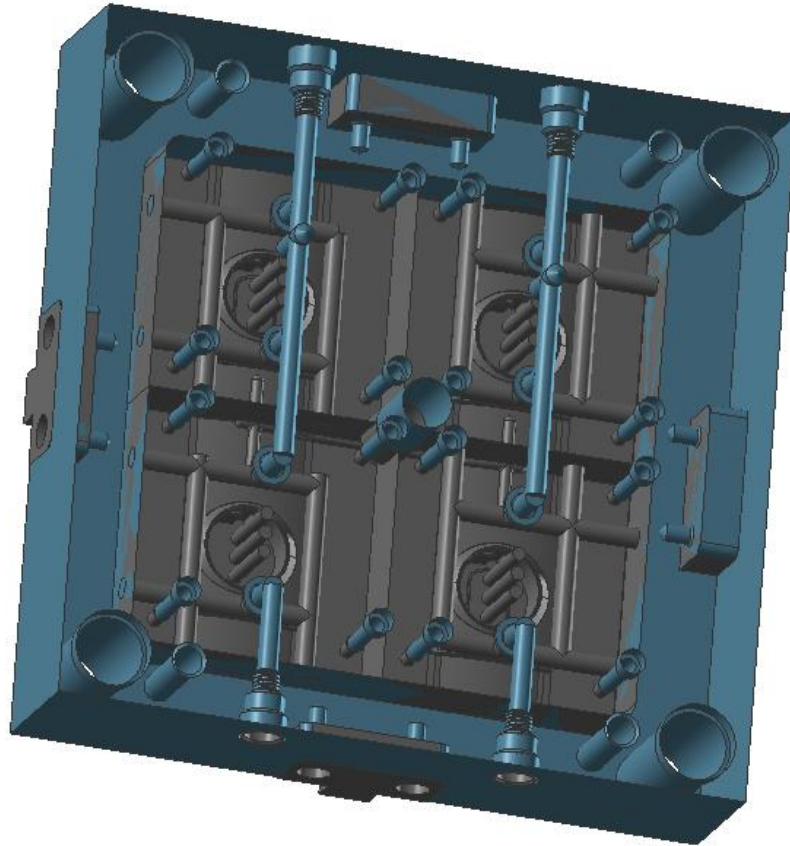


Şekil 14.5 Kalıbın itici (erkek) yarımının perspektif görünüşü

Kalıp Malzemeleri : Basılacak olan malzeme PC olduğu için 1.bölge ocak sıcaklığı 280~290°C ile istenilen kalıp sıcaklığı değerleri kalıp enjeksiyon (dişi) tarafı 70~90°C, itici tarafı 50~70°C de tutulması gerekmektedir. Bu nedenle kapama kuvveti yüksek tutulmalıdır. Birbiri üzerinde çalışan bu parçaların ısı işlem görmüş 52~58 HRC sertliğinde sıcak iş çeliği (1.2344) veya mümkünse (1.2767) darbe çeliği diye adlandırılan tokluk oranı çok yüksek çelikten yapılmalıdır. 1.2344 çelik kullanılmıştır. 1.2344 çeliğinin özelliklerine kısaca değinecek olursak; bu çelik çok yüksek ısı kararlılığı olan bir çeliktir. Yüksek sıcaklıklarda bile aşınma dayanımını yitirmez. Homojen bir iç yapıya sahip ve tokluğu yüksektir. Hafif metallerin enjeksiyon kalıplarında, sıcak kesme bıçaklarında aşındırıcı plastiklerin kalıplarında kullanılır.

Yolluk tipi : Soğuk yolluk ile merkezden 4 göze dağıtılacaktır. Giriş tünel yolluk olarak belirlenmiştir. Çünkü ürün görsel bir parça olduğu için yolluk izi istenilmemektedir. Muz yolluk maliyeti çok arttıracığı için tünel yolluk tercih edilmiştir.

Soğutma tipi : Parça PC olduğu için kalıp sıcaklığı istenilen sıcaklıkta tutulabilmesi için iyi bir soğutma gereklidir.



Şekil 14.6 Kalıbın iç görünüşü

#### 14.4.4 Analiz uygulamaları

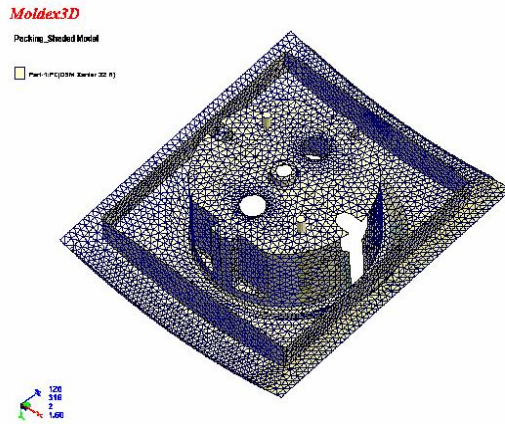
Örnek kalıbın katı modeli hazırlanırken bilgisayar destekli program olarak Pro Engineer kullanılmıştır. Akış analizinde ise iki farklı program Mold Flow ve Moldex3D kullanılmıştır. Bu iki programı ihtiyaçlarımız doğrultusunda etkileşimli olarak kullanılıp gerekli analizler yapılmış ve gerçekte kıyaslamaları incelenmiştir. Bu analizlerde en uygun yolluk girişinin nereden verilebileceği, akışkanın dolun esnasında nasıl bir yol izleyeceği, ne kadar bir enjeksiyon basıncının gerekli olduğu, soğutulmasında dikkat edilmesi gereken bölgeler ve oluşabilecek izler hakkında fikir sahibi olarak daha iyi sonuçlar elde edebileceğimiz bir tasarım yapmaya yardımcı olmuştur. Yapısal analizde ise ProEngineer'ın bir modülü olan ProMechanica kullanılmıştır. Enjeksiyon çevrimi boyunca kalıbın yükler karşısında nasıl davranacağı incelenmiştir. Çelik kalınlıklarının yeterli olup olmayacağı, kalıpta meydana gelebilecek maksimum şekil değişimleri dikkate alınarak tasarım yapılmıştır.

##### 14.4.4.1 Moldex3D ve Moldflow ile akış analizi

Akış analizi için Moldflow ve Moldex3D ticari programları seçilmiştir. Analizler için daha önce bahsedilen gerek ürün tasarımcısının istekleri gerek kalıp tasarımcısının tecrübeye dayalı verdiği kalıpta uygulanabilinir parametreler kullanılmıştır.

##### Girdiler:

Malzeme	:	PC Xantar-22R DSM
Doldurma zamanı	:	0.8 sn
2.basınç	:	1.5 sn
Hammadde Sıcaklığı	:	310°C
Kalıp Sıcaklığı	:	60°C



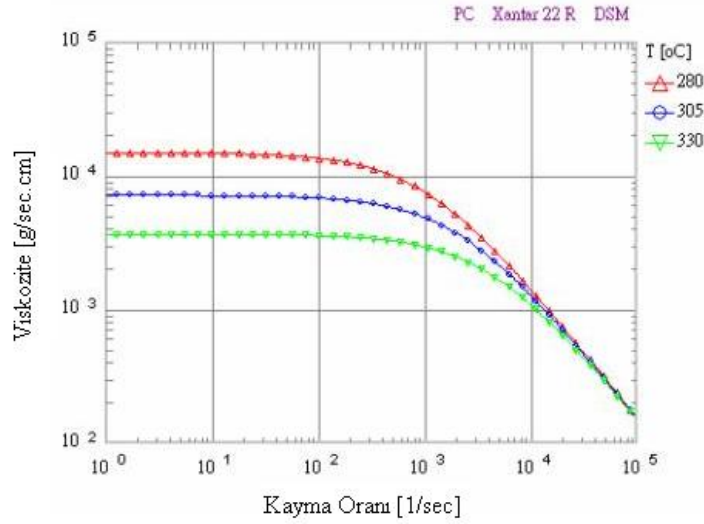
Şekil 14.7 Sonlu sayıda elemanlara ayrılmış ürün modeli

Analizi yapılacak ürün modeline ağ örülerek sonlu sayıda elemanlara bölünmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Bu elemanların şekilleri ve sayıları yapılacak analiz süresi ve hassaslığı bakımından önemlidir.

Toplam eleman sayısı= 9,645

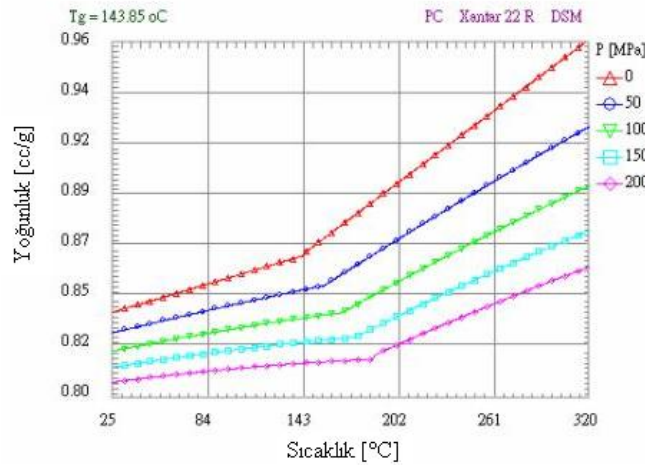
Toplam düğüm (node) sayısı= 4,999

Elde Edilen Malzeme Bilgileri :



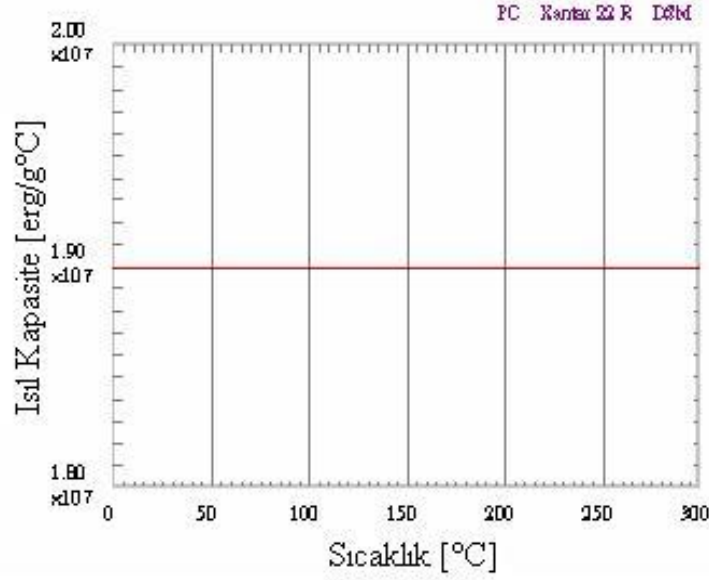
Şekil 14.8 Viskozite-kayma oranı-sıcaklık diyagramı

Viskozite değeri, plastik hammaddenin kalıp içinde ilgili detaylara ulaşabilmesi için önemli bir karşı koyma faktörüdür. Viskozite arttıkça malzemenin kalıp içindeki doldurma direnci de artar. Tipik bir termoplastik malzeme için viskozite değeri; hammaddenin, ısısı, basıncı ve kayma oranı değerlerinin oluşumunda önemli rol oynar.



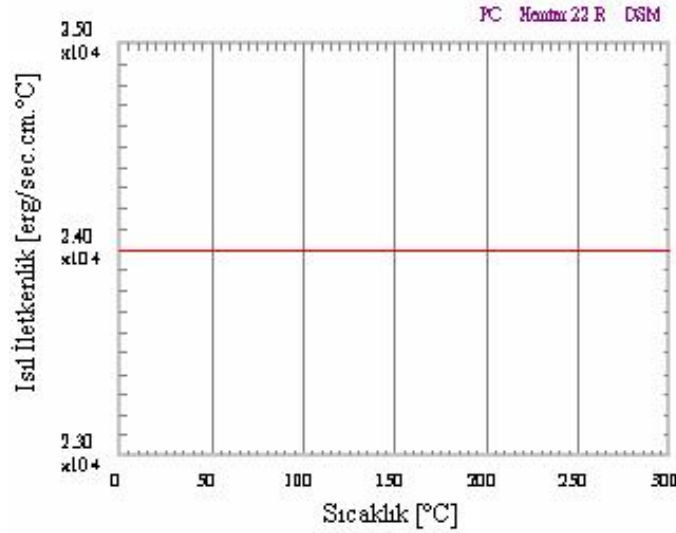
Şekil 14.9 Basınç-yoğunluk-sıcaklık diyagramı

PVT değerleri ile ilgisi; (basınç, yoğunluk, sıcaklık) termoplastiğin akışkanlık yada yoğunluk değeri ; uygulama esnasında kullanılacak ısı, basınç v.s. değerlerini belirleyici faktördür. Başlangıçta PVT parametreleri tecrübi olarak sisteme girilir. Program verilen her bir ısı ve basınç değeri için malzeme yoğunluğunu hesaplar.



Şekil 14.10 Sıcaklık ve ısı kapasitesi diyagramı

Her bir polimer kütlesinin şeklini değiştirebilmek için ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Ancak yüksek ısı gerektiren polimerler ısı değişkenliklere karşı duyarlı değildirler.



Şekil 14.11 Isıl iletkenlik - sıcaklık diyagramı

Isıl iletkenlik (ısıyı iletebilme kabiliyeti) polimerin şeklinin değiştirilebilmeleri için ana faktörlerden biridir. Isı iletme faktörünün artması polimerin akışkanlığının artması ile

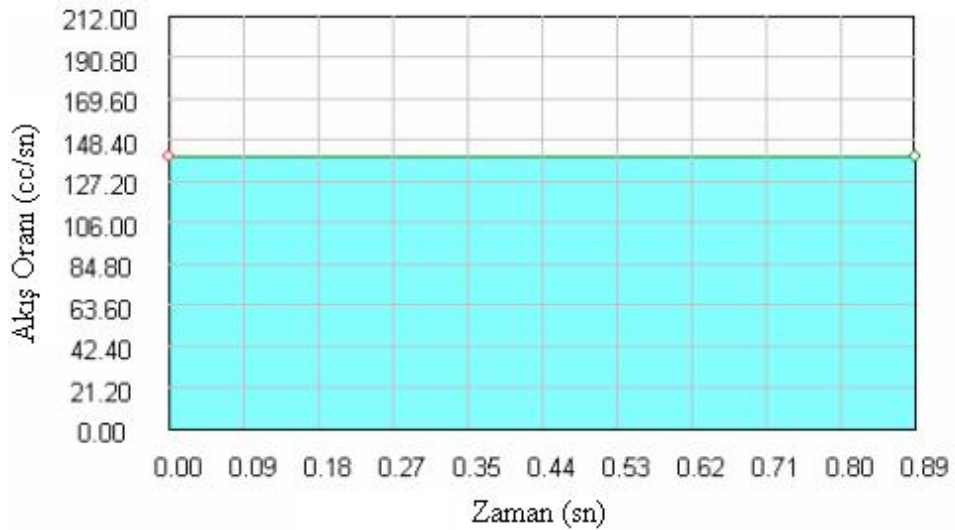
eşdeğerdir. Buna bağlı olarak değişken olmayan, uniform ısıtma / soğutma yapısı gerektirir. Isıl iletkenlik ve sabit ısı; polimerin soğutulması ve ısı transferi özellikleri ile yakından ilgili olan, soğuma süresini de etkileyen faktörlerdir.

Enjeksiyon makinesine ait bilgiler :

Makine kapama kuvveti :	150 ton
Maksimum basınç :	167 MPa
Maksimum akış oranı :	212 cc/sec
Vida Çapı :	45 mm
Maksimum mengene ağızı:	225 mm

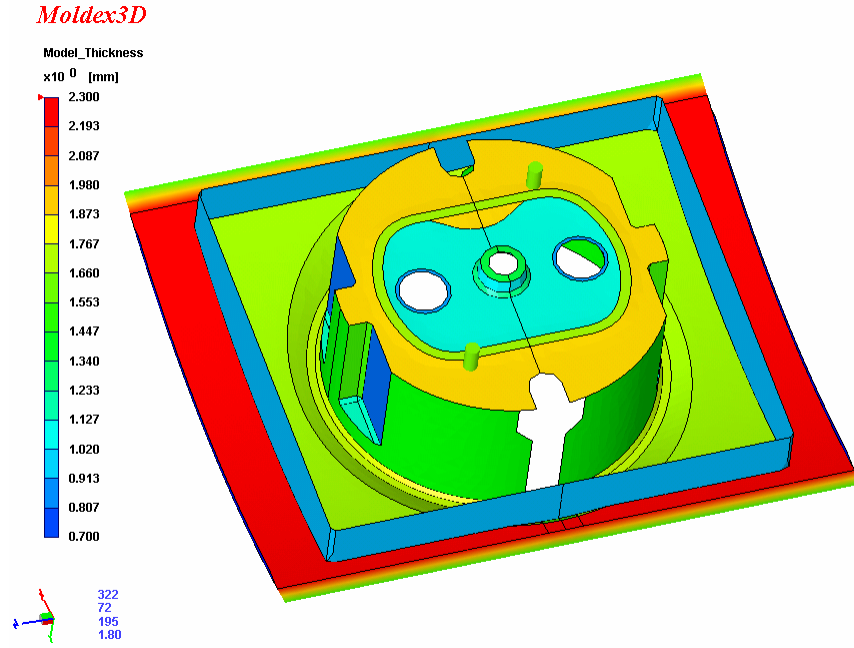
Enjeksiyon makinesine verilen girdiler :

Ergime sıcaklığı :	310 °C
Kalıp sıcaklığı :	60 °C
Maksimum enjeksiyon basıncı :	127 Mpa
Enjeksiyon hacmi :	124.054 cc
Ütüleme zamanı :	1.5 s
Maksimum ütüleme basıncı :	127 Mpa
Soğutma zamanı :	15 s
Açılma zamanı :	5 s
Çıkış sıcaklığı :	127 °C
Ortam sıcaklığı :	25 °C
Çevrim zamanı :	22.3861 s



Şekil 14.12 Akış oranı-zaman diyagramı

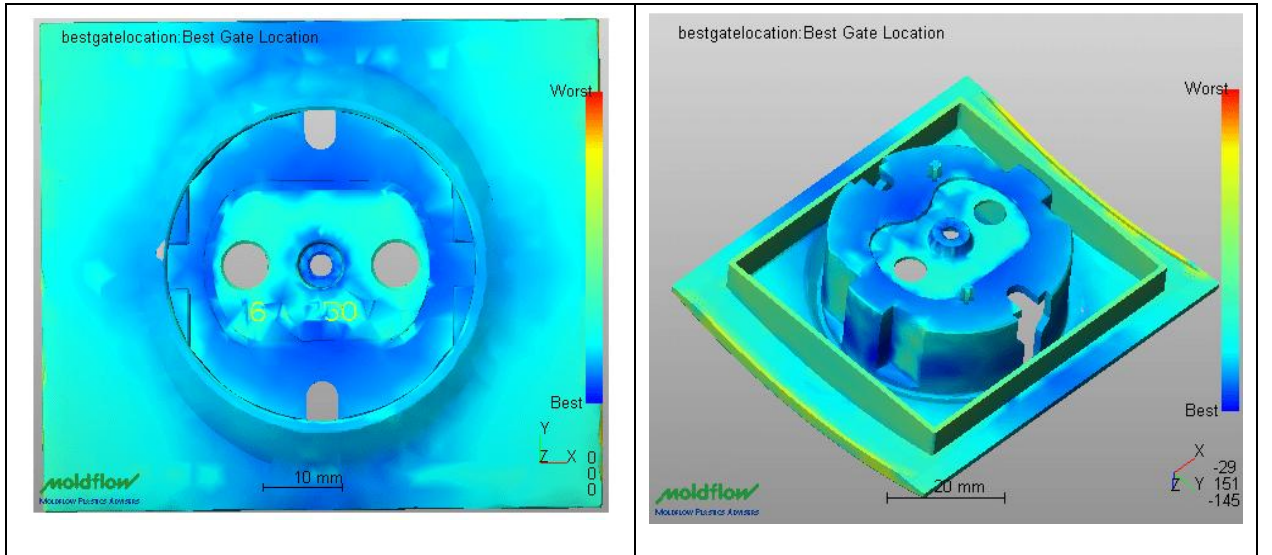
Et kalınlığı :



Şekil 14.13 Et kalınlığı dağılım oranı

Analiz sonucunda et kalınlığının 0.7mm ile 2.3mm arasında değiştiği görülmektedir. Et kalınlıkları renklerle ayrıştırılmıştır.

Yolluk Seçimi :

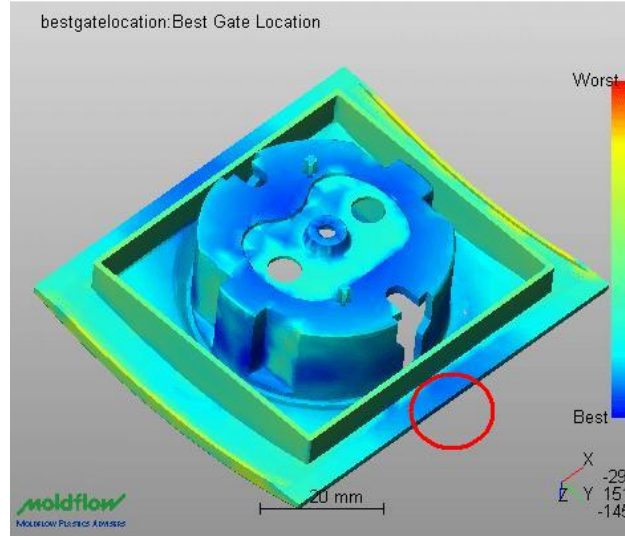


Şekil 14.14 Yolluk bölgesi belirleme analizi

Pratikte analiz sonuçlarından (Şekil 14-14) farklı bir şekilde yolluk girişi verilmiştir. Çünkü yolluk giriş bölgesi seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken başka etkenler de

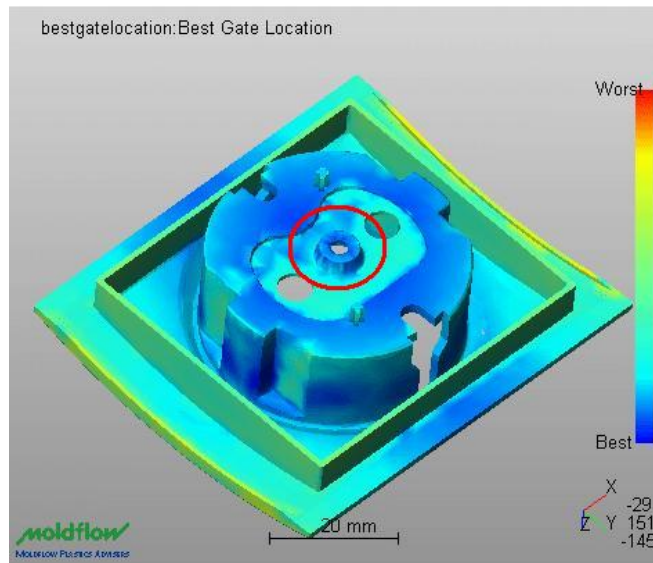
vardır. Bu kalıpta;

- Analiz programının önerdiği giriş bölgelerinden biri olan duvardan (Şekil 14.16) kenar giriş, rahat bir dolunun olabilmesi için en uygun yolluk giriş şekli olacaktır. Fakat yollukların parçalardan ayrılması için ayrı bir aparat ya da işçilik maliyeti doğuruyor. Ayrıca ürün tasarımcısı buna onay vermemektedir; çünkü bu ürün görsel bir ürün olup herhangi bir yolluk izi kabul edilmemektedir.



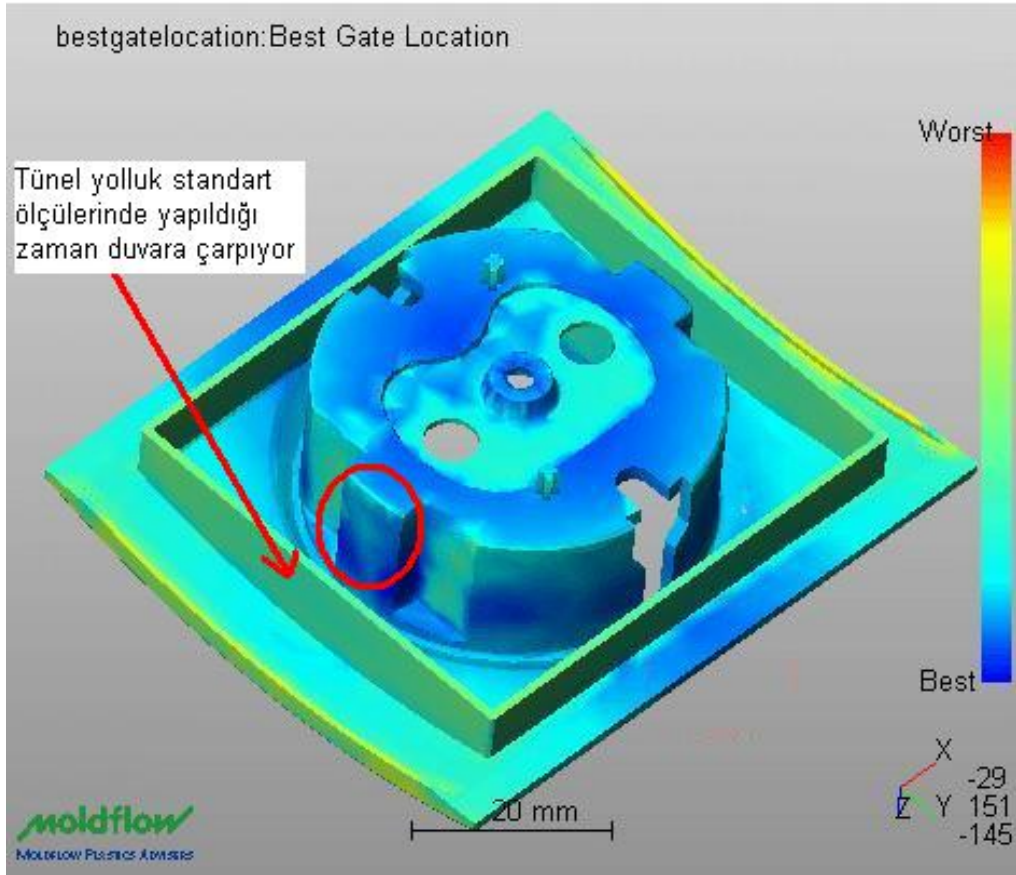
Şekil 14.15 Yaprak yolluk ile uygun giriş bölgesi

- Ayrı bir alternatif olarak tam ortadan (Şekil 14.16) direk sıcak yollukla giriş verilebilirdi. Fakat merkezdeki delik vidalama deliği olduğu için risk teşkil etmektedir. Ayrıca sıcak yolluk maliyet artı bir maliyet getirecektir.



Şekil 14.16 Merkezden sıcak yolluk ile direk giriş bölgesi

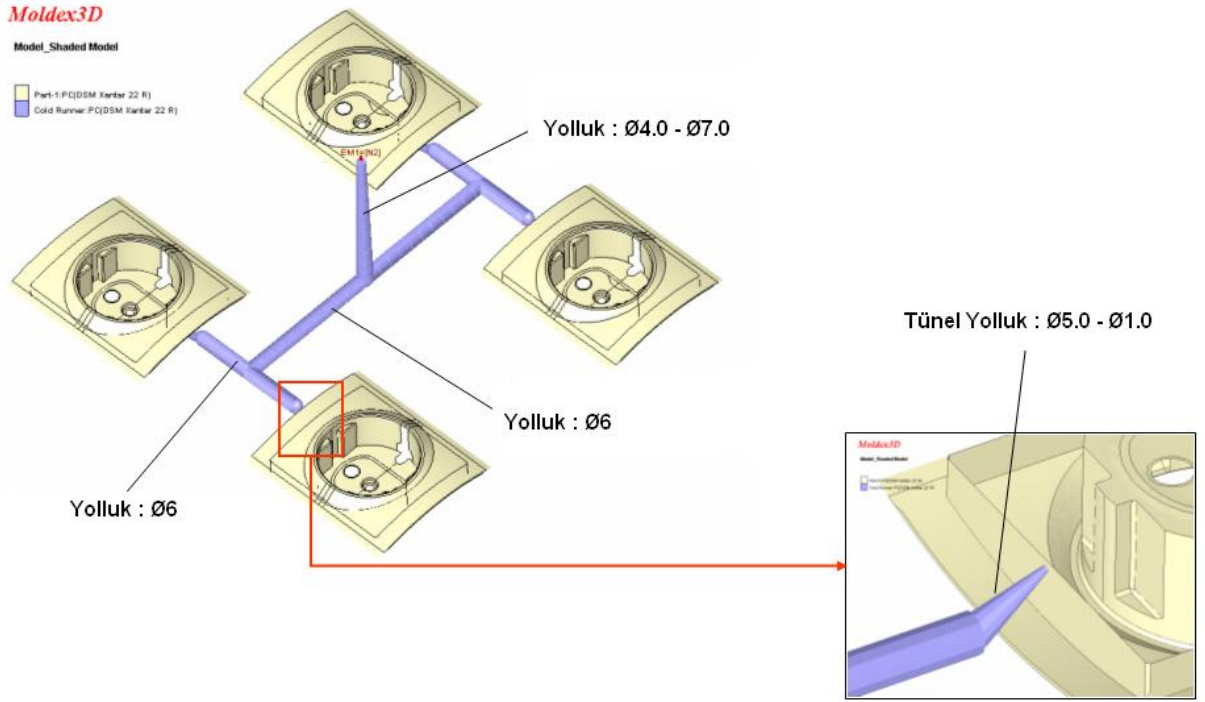
- Yine analizin öngördüğü diğer bölgeden (Şekil 14.17) tünel giriş kullanılabilirirdi, bu görselliği etkilemeyecektir. Bu sefer tasarım problemi ile karşılaşılacaktır. Çünkü tünel yolluğun kalıptan rahat çıkabilmesi için öngörülen açı uygulandığı zaman (bkz. şekil 7.4) tünel yolluk diğer duvara çarpacaktır. Ekstra bir çözüm olarak açı ile oynanarak tünel girişi biraz daha yatık yapılabilir; bu durumda yolluğun kalıptan rahat çıkabilmesi için iticiler kullanılmalıdır. Fakat kalıp tasarımı buna da izin vermemektedir. Parçanın geometrisi gereği sehim yapmaması için soğutmanın çok iyi olması gerekmektedir, bu da itici kullanma özgürlüğünü biraz kısıtlamaktadır.



Şekil 14.17 Tünel yolluk ile uygun giriş bölgesi

- Görselliği etkilemeyecek ve duvara çarpmayacak diğer bir yolluk giriş şekli de eğri tünel giriş (bkz. şekil 7.25) olacaktır. Bu yöntem maliyetli bir yöntem olup aynı zamanda çevrim süresini uzatıp kalıbın çalışmasını zora sokacaktır.

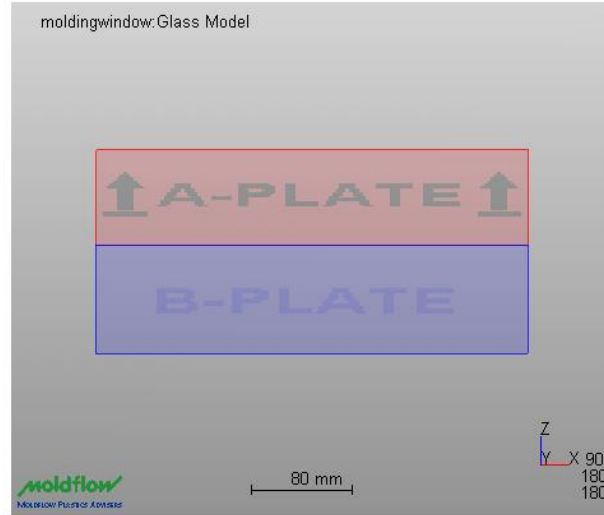
Bu sebeplerden dolayı analiz programlarında risk göstermeyen ve kalıplamaya da uygun olan bir bölgeden tünel giriş verilmiştir, yolluk çapları tecrübeye dayanarak girilmiştir (Şekil 14.18) Analizler bu girdilere göre devam edecektir. Çıkan sonuçlara göre gerekli görülürse değiştirilecektir. Böylelikle geri dönülmesi zor, maliyetli hatalara engel olunacaktır.



Şekil 14.18 Yolluk dağılımı

### Kalıplama :

Bu ölçülerdeki geometrilerin kalıbında, kalıbı daha ucuza mal etmek için çelik boyutları standart seçildi. Plaka kalınlıkları emniyet katsayısı göze alınarak kalın tutulmuştur.

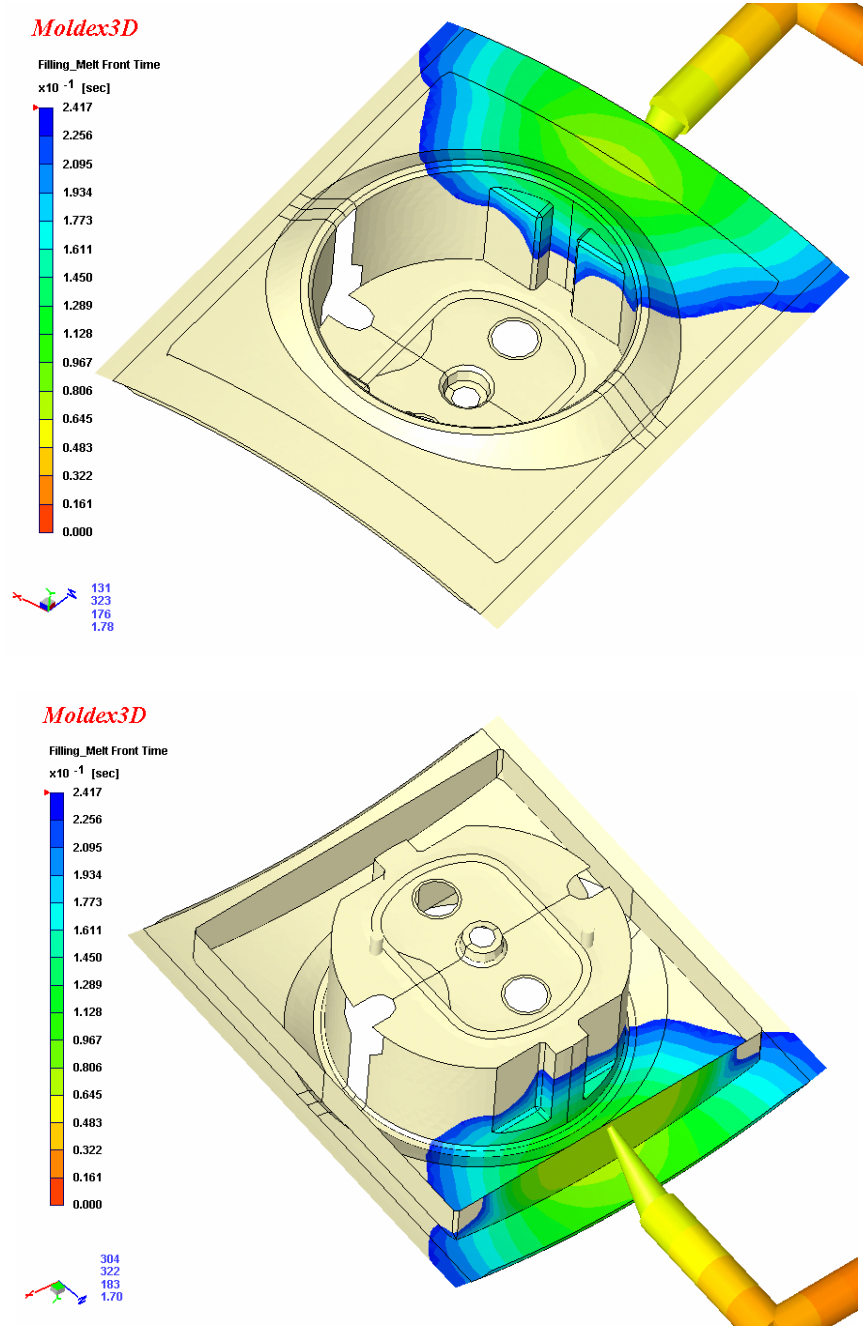


<b>moldingwindow</b>	
<b>Width</b>	346.00 mm
<b>Length</b>	346.00 mm
<b>A-Plate</b>	77.00 mm
<b>B-Plate</b>	87.00 mm

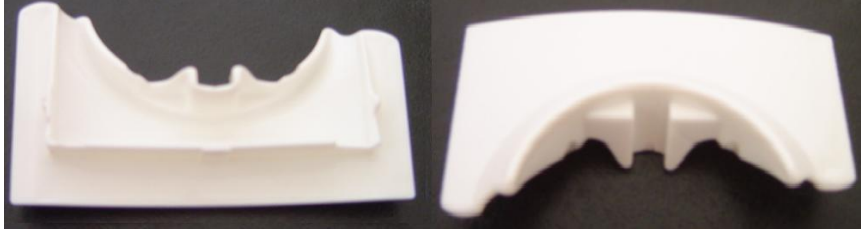
Şekil 14.19 Çeliklerin boyutlarının tanımlanması

### Doldurma :

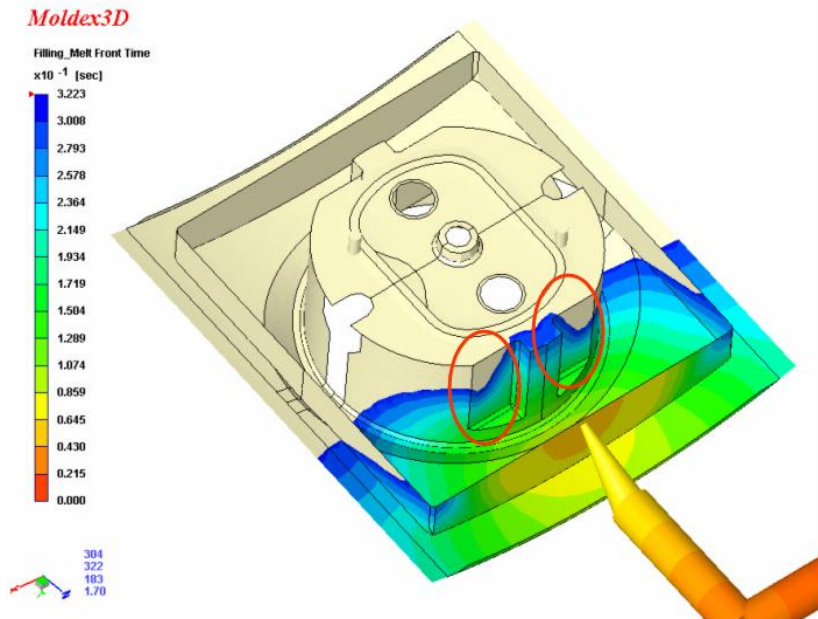
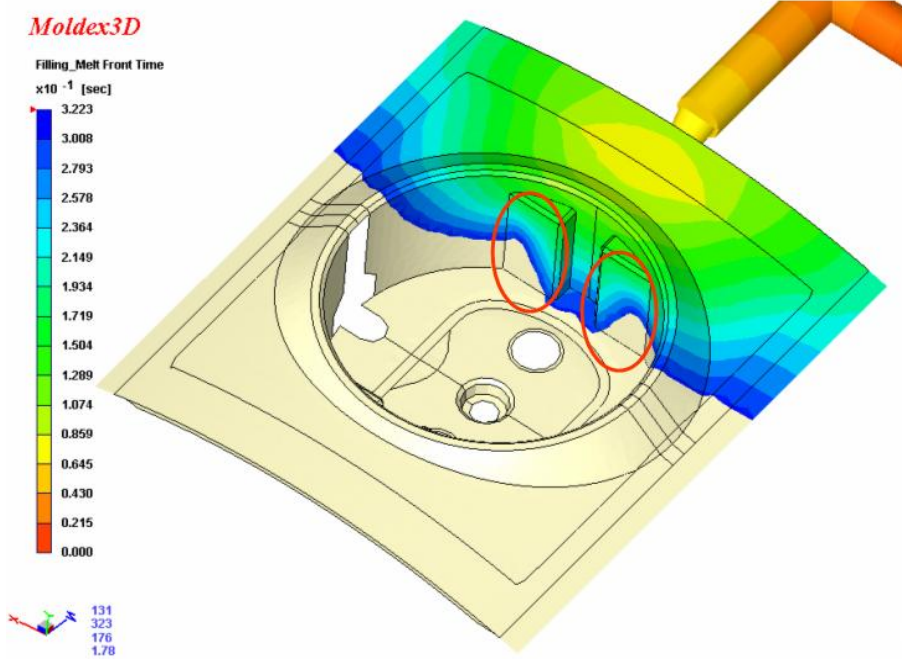
Ergiyik haldeki plastiğin kalıp içindeki ilerlemesi; her bir farklı zaman için değişik bir renk ile gösterilir. Zaman skalası renk çubuğu ile verilir. Bu sayede ergiyik plastiğin kalıp içindeki ilk doldurma ve sıkıştırma aşamalarının çalışmalarını rahatlıkla yapabiliriz. Yarı basınç olarak tabir ettiğimiz, aşırı sıkıştırmadan dolayı oluşan çapak, soğuk birleşme izleri, ve hava sıkışması problemleri gözlenebilir ve bu sayede de kalıp tasarımı ve üretimi öncesinde plastik parçada ve kalıpta olası tasarım-enjeksiyon problemleri karşı değişik önlemler alınması için zaman kazanma avantajı sağlar.



Şekil 14.20 Doldurmanın %30'unun tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

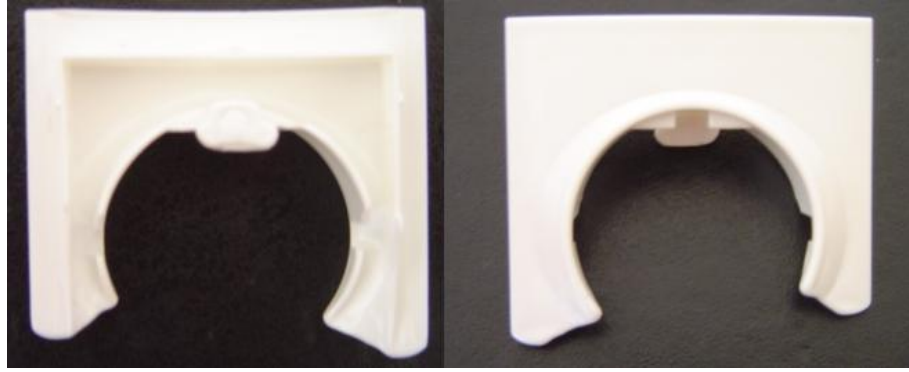


Şekil 14.21 Doldurmanın %30'unun tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

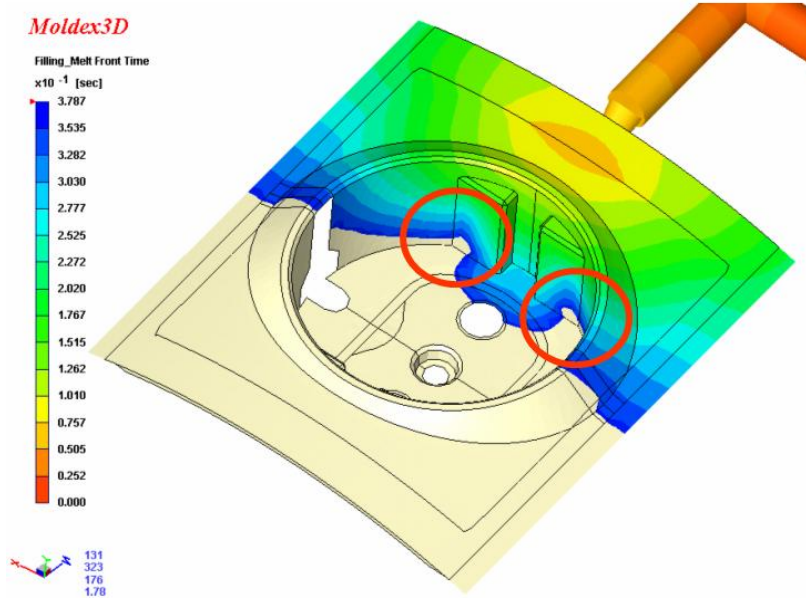


Şekil 14.22 Doldurmanın %40'ının tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

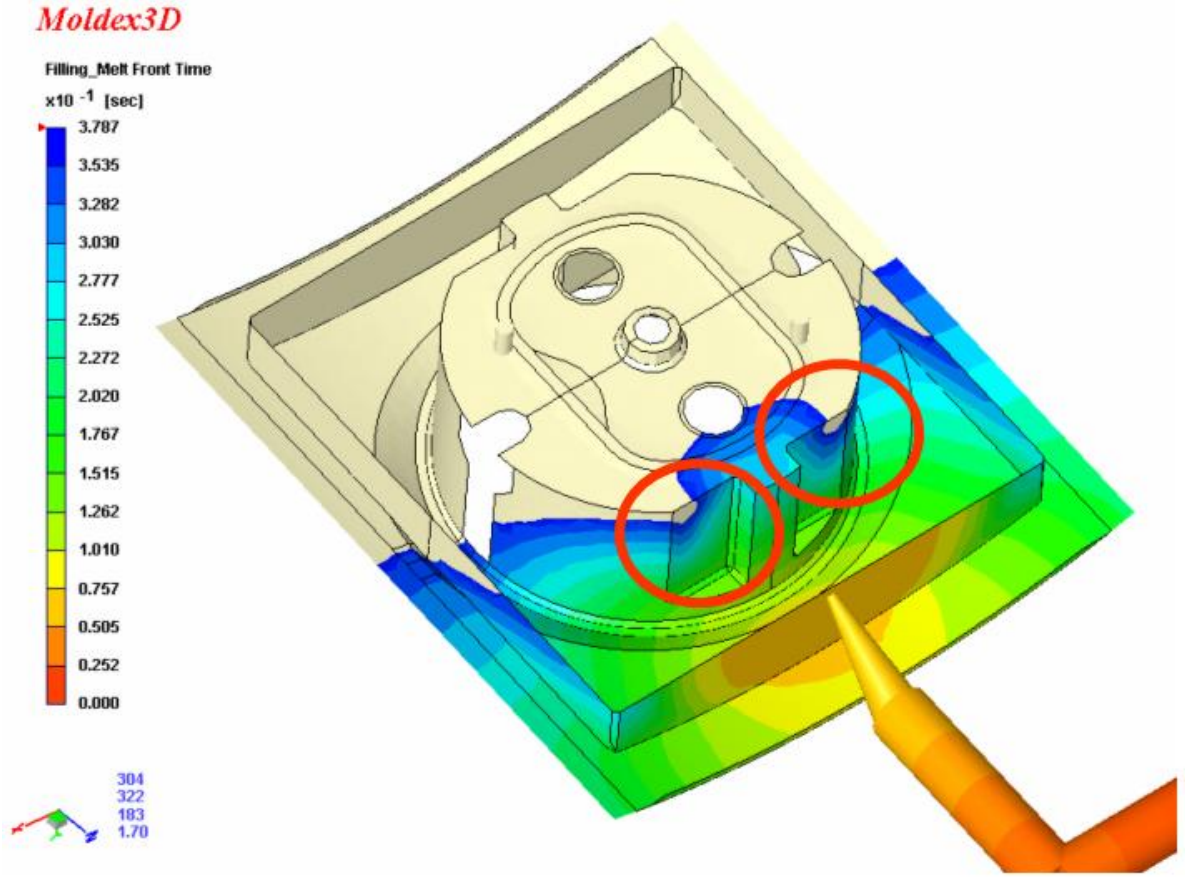
Doldurmada kararsızlık; yukarıda işaretli bölgelerde malzemenin ilerleme konusunda tereddüt gösterdiği görülmektedir. Analiz programı bize bu durumun daha ileriki konumlarda soğuk birleşme ve hava sıkışması olarak karşımıza çıkacağına dair uyarı vermektedir. Fakat aşağıda Şekil 14.23’de görüldüğü gibi baskı sonuçlarında ise malzemenin ilerlemede tereddüt gösterdiğini ve analizdekinden farklı olarak bir yol izlediği görülmektedir. Çünkü akışkan yolluk girişinden girdiği anda duvara çarpıyor ve yayılıyor. Orta bölge daha girif ve yüzey akışkanın zor ilerleyeceği kadar pürüzlü ( o bölgelerde çok rahat bir şekilde polisaj-parlatma-ışlemi yapılamıyor). Buralarda kesici takım izleri çeşitli desen benzeri erezyon izleri vb. argümanların olması akışkanların ilerleyişini yavaşlatır. Eğer ki Moldflow ve Moldex3D gibi analiz programları yüzey işleme hassasiyetlerini göz önünde bulundurabilmiş olsalardı, daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilirdi.



Şekil 14.23 Doldurmanın %40’ının tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

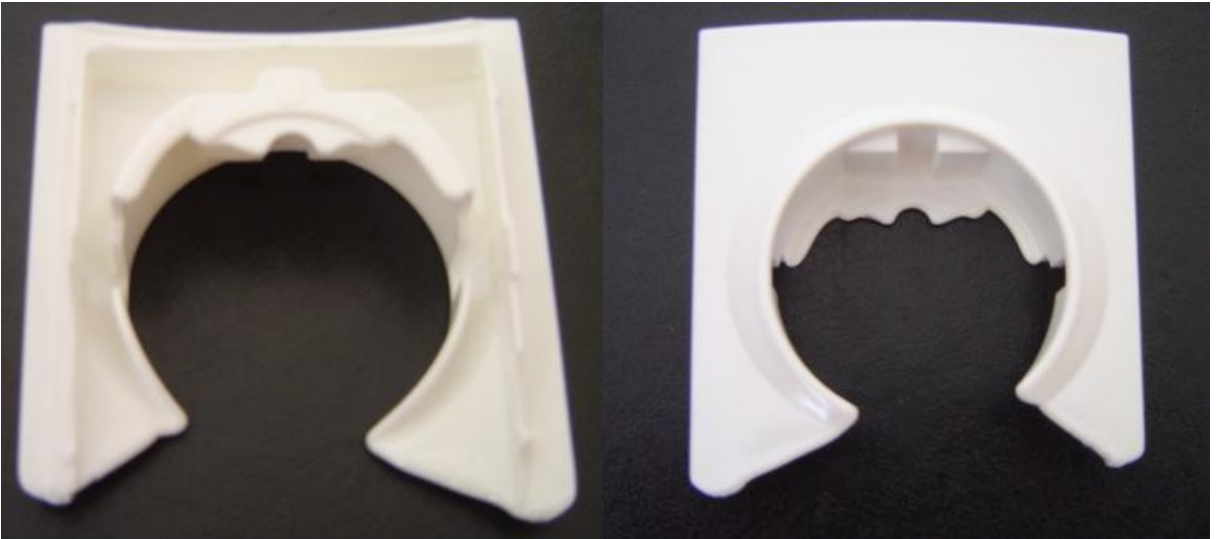


Şekil 14.24 Doldurmanın %47’sinin tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

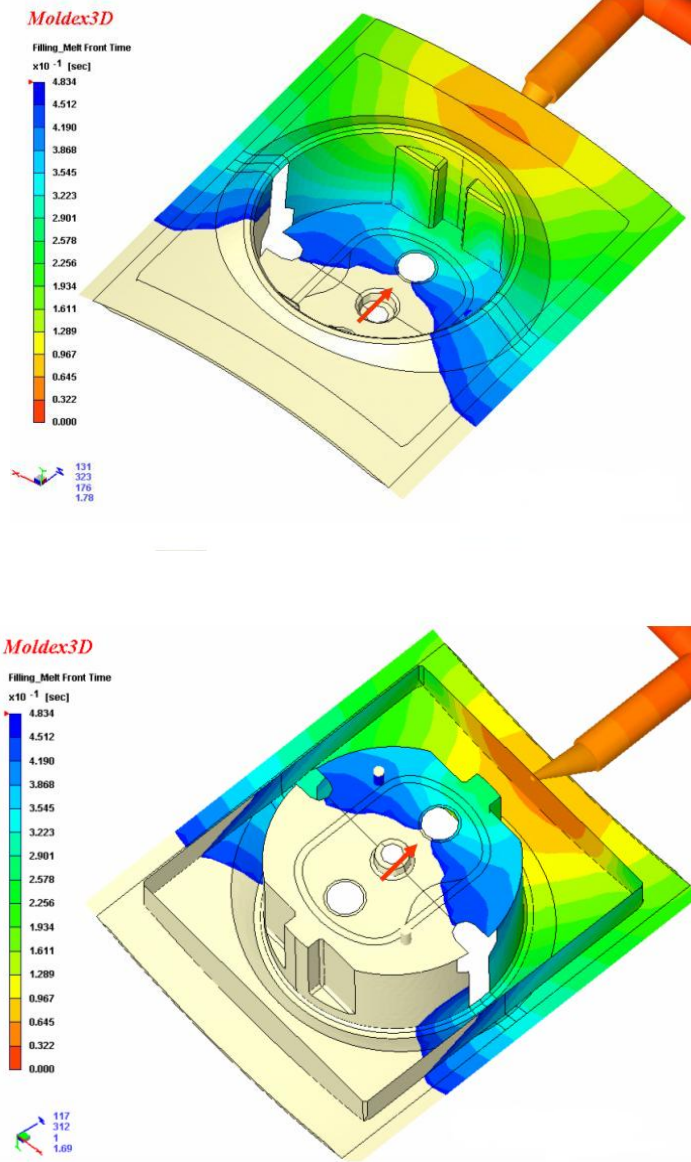


Şekil 14.24(devam) Doldurmanın %47'sinin tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

İşaretili bölgelerde hava kabarcığı oluşma riski görülmektedir.

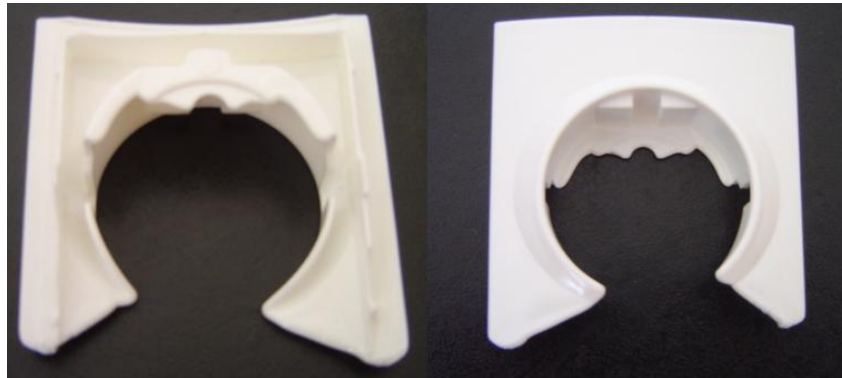


Şekil 14.25 Doldurmanın %47'sinin tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

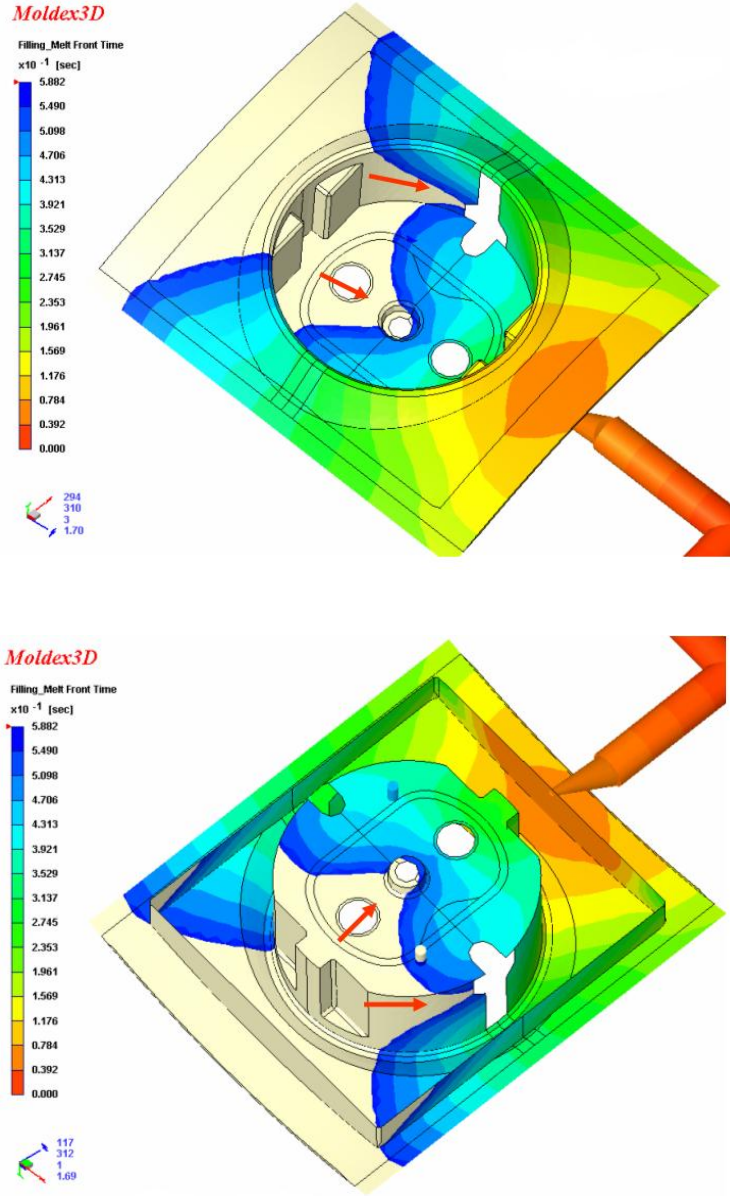


Şekil 14.26 Doldurmanın %60'ının tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

İşaretili bölgede soğuk birleşme başlangıcı olacaktır.

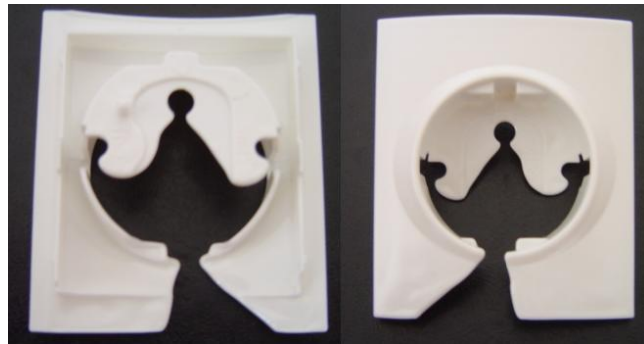


Şekil 14.27 Doldurmanın %60'ının tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

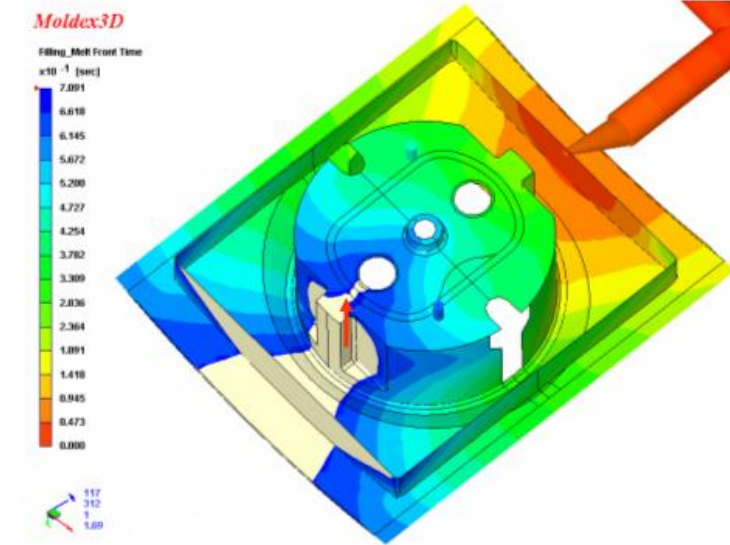
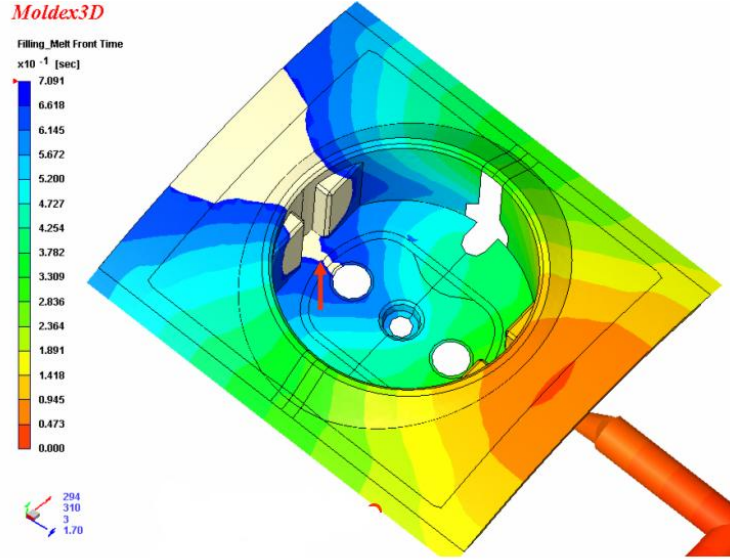


Şekil 14.28 Doldurmanın %73'ünün tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

İşaretili bölgelerde kaynak izleri oluşacaktır.

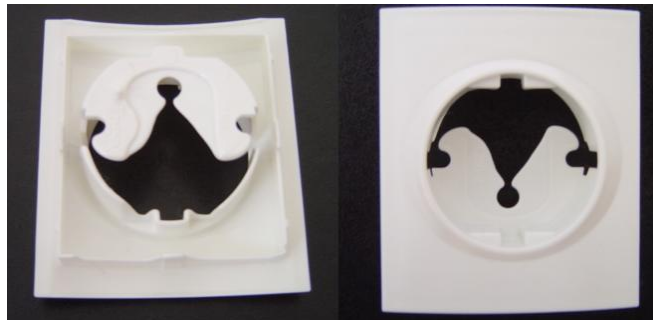


Şekil 14.29 Doldurmanın %73'ünün tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

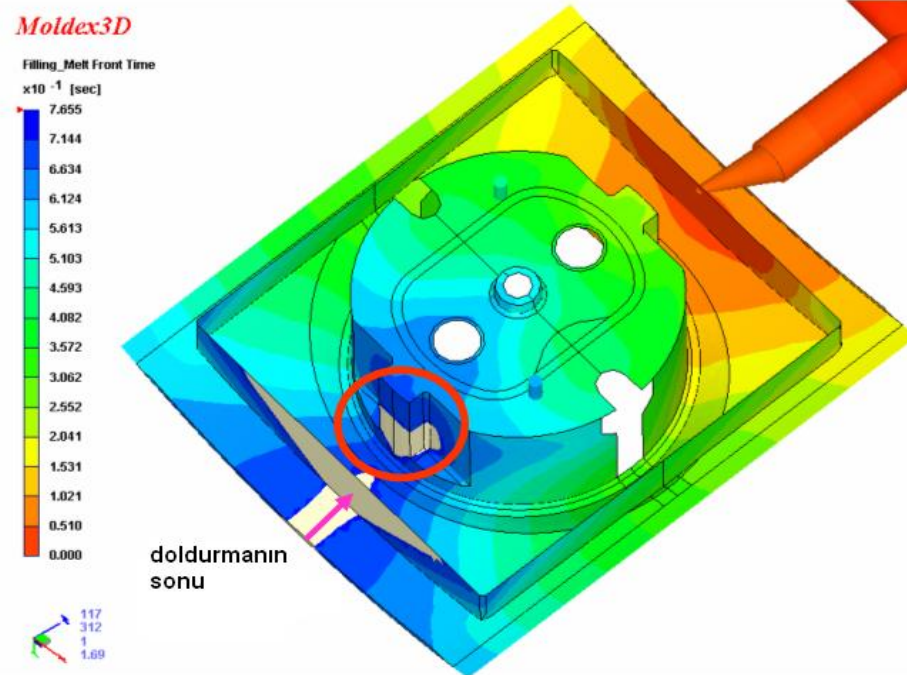
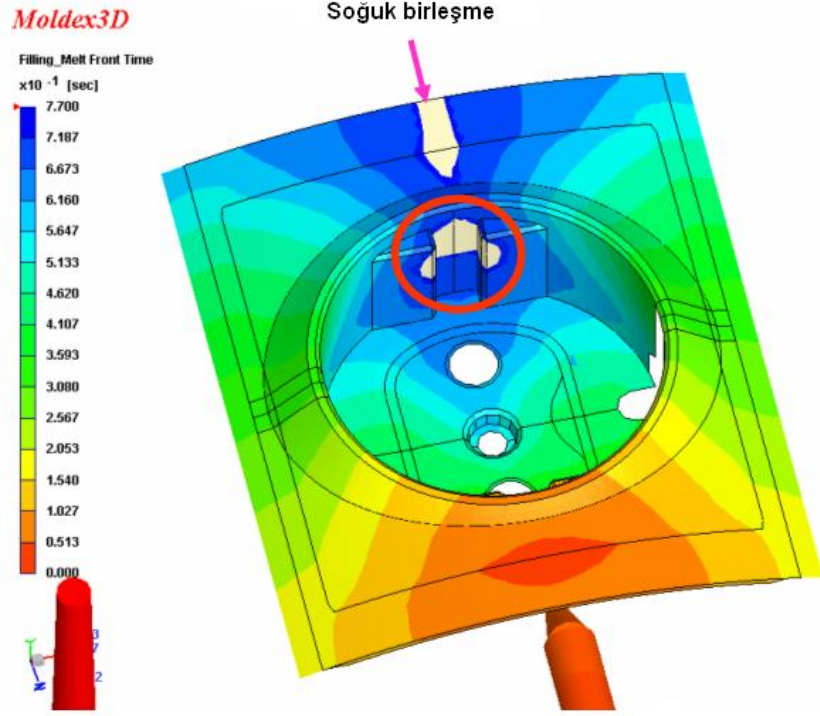


Şekil 14.30 Doldurmanın %88'inin tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

Şekil 14-31'de işaretli bölgede soğuk birleşme izi - kaynak izleri oluşma riski vardır.

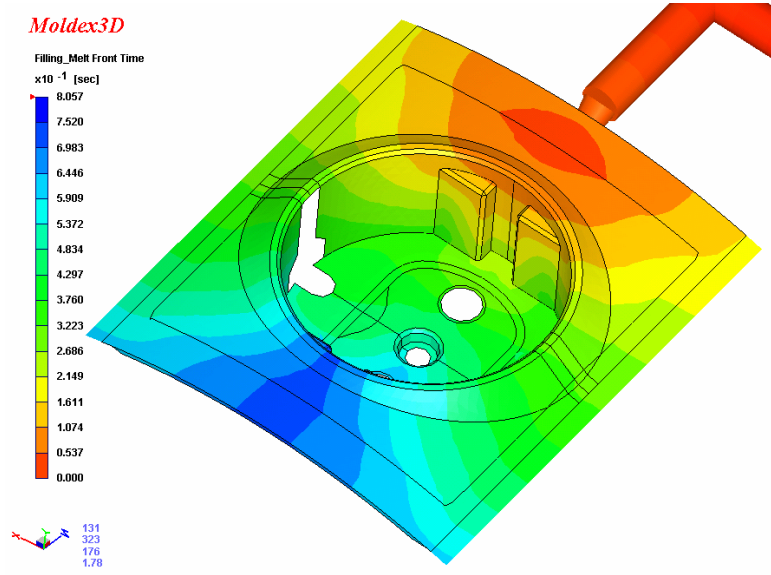
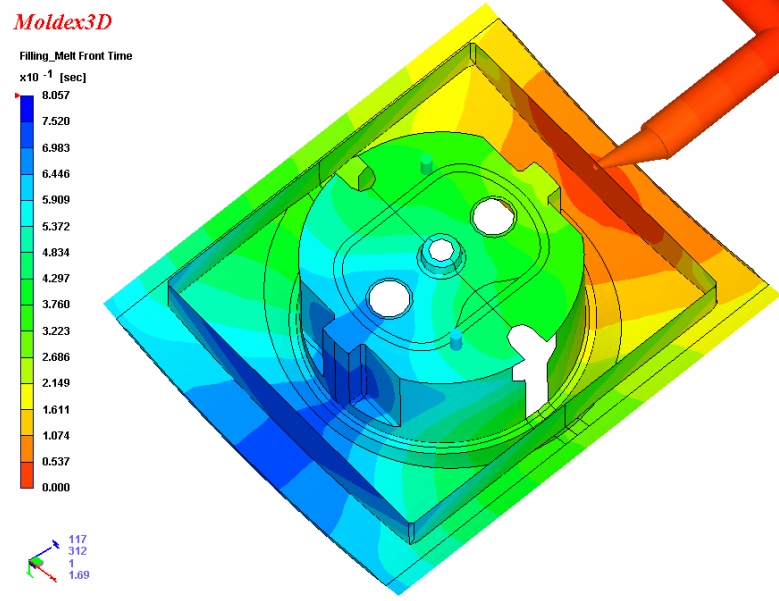


Şekil 14.31 Doldurmanın %88'inin tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

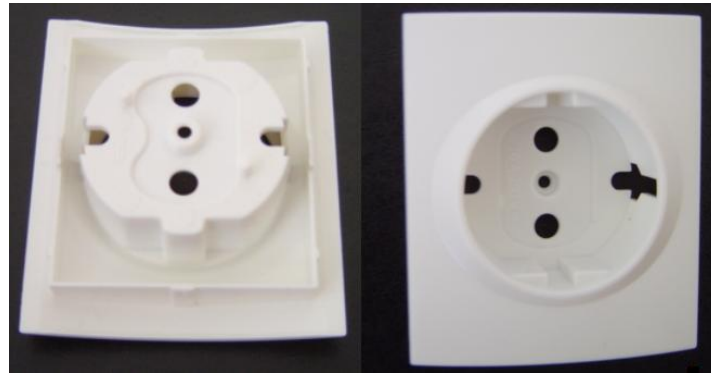


Şekil 14.32 Doldurmanın %95'inin tamamlanmış hali (analiz sonuçları)

Kırmızı yuvarlak içinde gösterilen bölgede muhtemel hava sıkışması olacaktır.

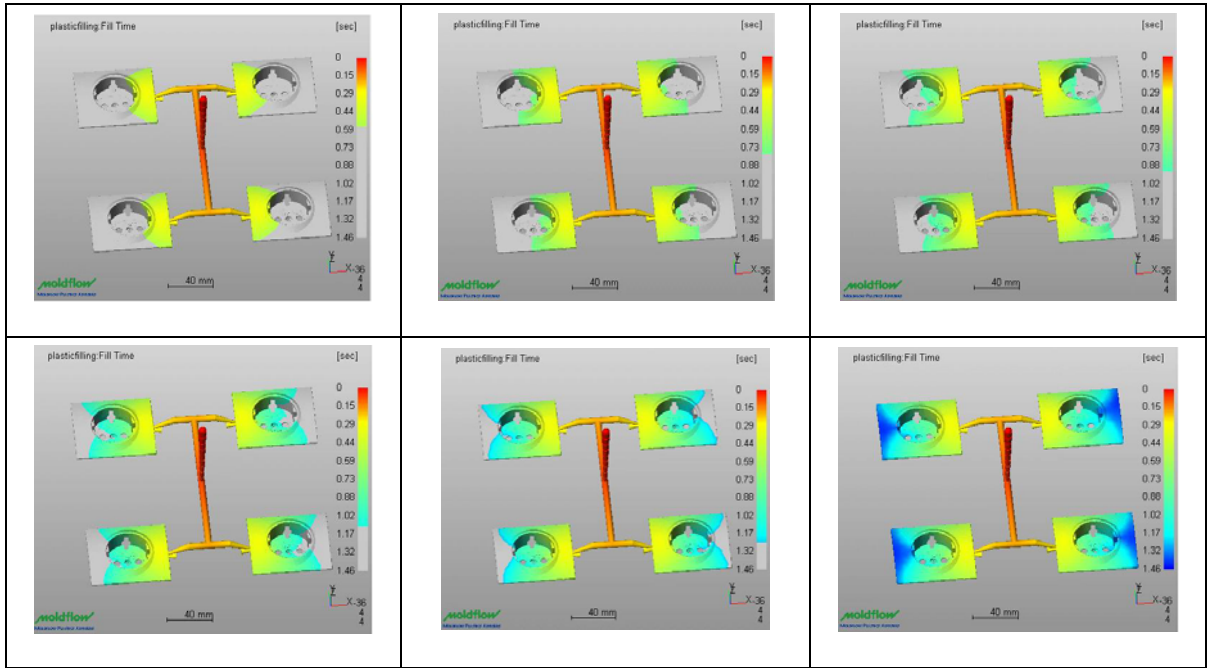


Şekil 14.33 Doldurmanın tamamlanmış hali (analiz sonuçları)



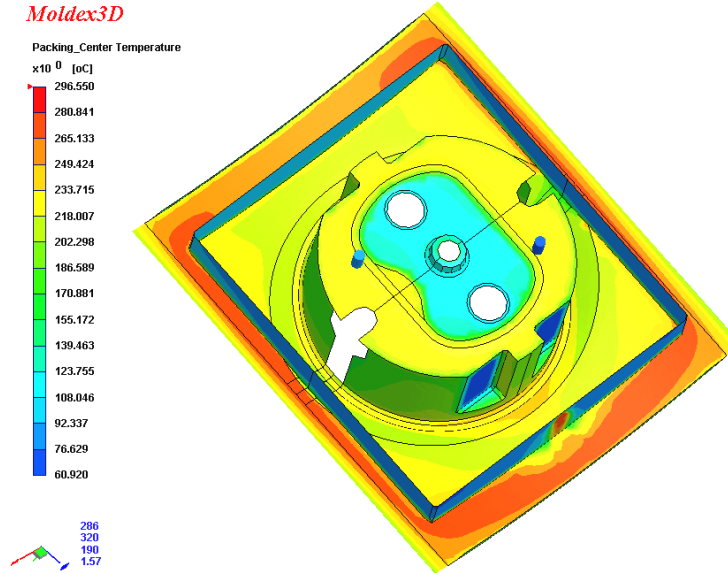
Şekil 14.34 Doldurmanın tamamlanmış hali (baskı sonuçları)

Diğer analiz programında da doldurma ile ilgili benzer sonuçları verdiği görülmektedir.



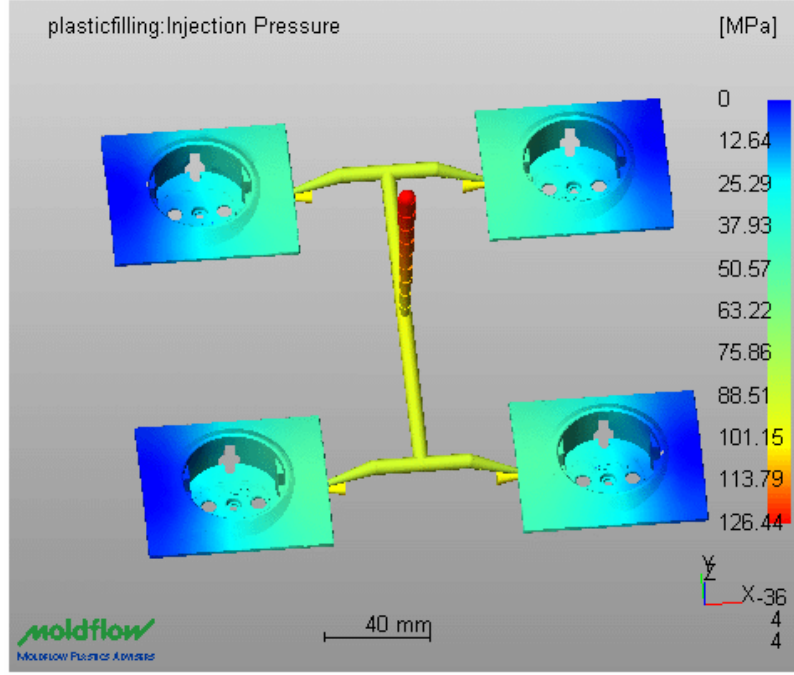
Şekil 14.35 Doldurma zamanı

Şekil 14-36'da et kalınlığının fazla olduğu bölgelerin daha sıcak olduğu gözlenmektedir.

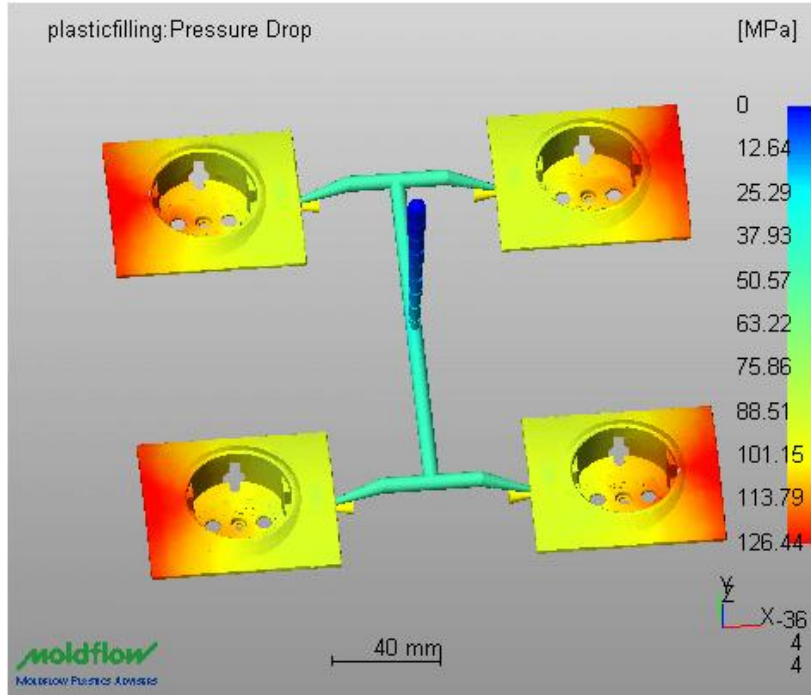


Şekil 14.36 Sıkıştırma sonrasındaki sıcaklık dağılımı

Merkez sıcaklığı; plastiğin et kalınlığı merkezindeki sıcaklıktır. Kalıba henüz dolmuş hammaddenin sıkıştırma sonrası termal enerji kaynağını gösterir. Genelde, merkez sıcaklığı muhtemel doldurmama problemlerinin tespiti için oldukça işe yarayan bir göstergedir. Merkez sıcaklığı çok düşükse doldurmama problemi olacaktır.



Şekil 14.37 Enjeksiyon basınç dağılımı



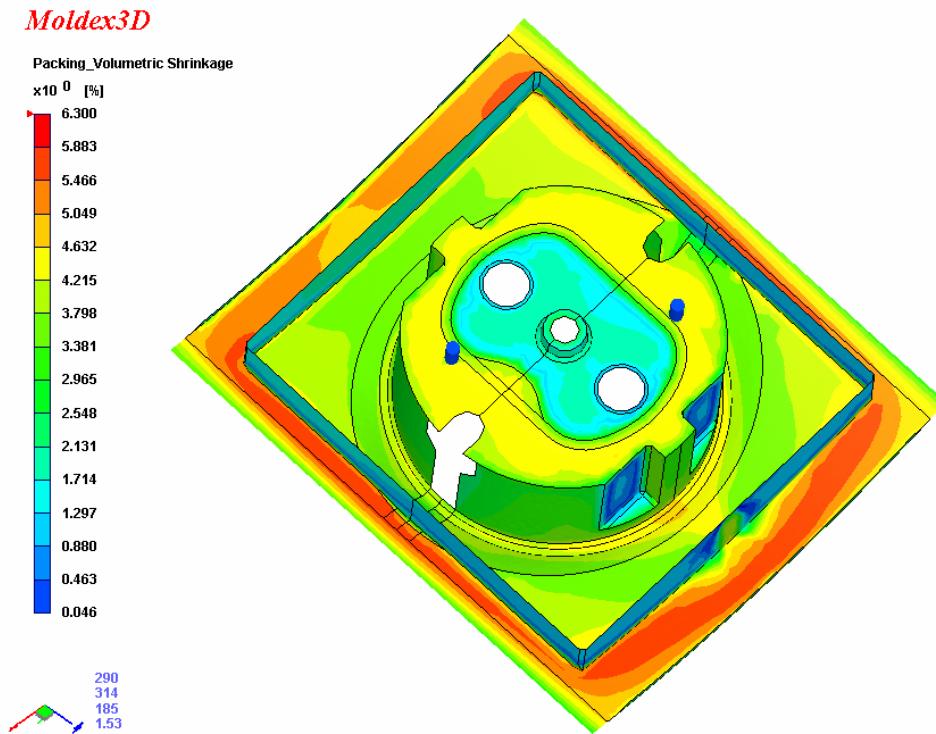
Şekil 14.38 Basınç düşümü dağılımı

Akışkan kalıp içerisinde ilerledikçe soğumaya başlar bunun için gerekli enjeksiyon basınç tayininin çok iyi yapılması gerekmektedir. Düşük sıcaklıktan dolayı malzemenin ince kesitlere dolması zorlaşır. Eğer verilen değerlerde basınç tayini ile dolduramama gibi bir sıkıntı ile karşılaşılır ise yolluklar ve yolluk girişleri büyütülmeli. Sorun yine giderilemiyor ise PC hammadde için 0,03 derinliğini geçmeyecek hava tahliye (gaz atma) kanalları yolluğun

karşı tarafına açılmalıdır. Çünkü sıkışan gaz hem ürünü yakacak, hem doldurmamasına sebep olacaktır hem de kozmetik yüzeyde bozukluklar çıkacaktır. PC basan kalıplarda kapama kuvvetinin yüksek olması hava tahliye işlemini çok zora sokacağından dolayı yolluk karşı tarafına açılmış olan hava tahliye kanalları yetmeyebilir. Bu durumda itici, birbiri üzerinde çalışan alıştırma parçaları (malı kesen) gibi argümanlardan da 0.03'ü geçmeyecek derecede hava tahliyeleri verilmelidir. Eğer bu hava tahliyeleri 0.03'ü geçerse akışkan basıncın etkisiyle bu bölgelerden sızma yapıp çapaklanma dediğimiz uygunsuz durumu ortaya çıkaracaktır.

Analiz sonuçlarına göre yolluk giriş çapının 1.0mm olması, uygulanmak istenen basıncın detaylara ulaşmasını engelliyor görünüyor. Bu da sadece giriş bölgesinin yüksek basınç altında kalması anlamına geldiğinden bu bölgede ve yolluk boyunca çapak ile karşılaşılması kaçınılmaz olduğu görülüyor.

Bu analizler sonucunda sorunu baştan görüp, ilk başta 1 mm olarak tasarlanan giriş patlama çapı kalıpta 1.40~1.60mm olarak işlenmiştir. Aynı zamanda hava tahliyeleri verilmiştir. Böylelikle ek bir işçilik ve zaman kaybı önlenmiştir.



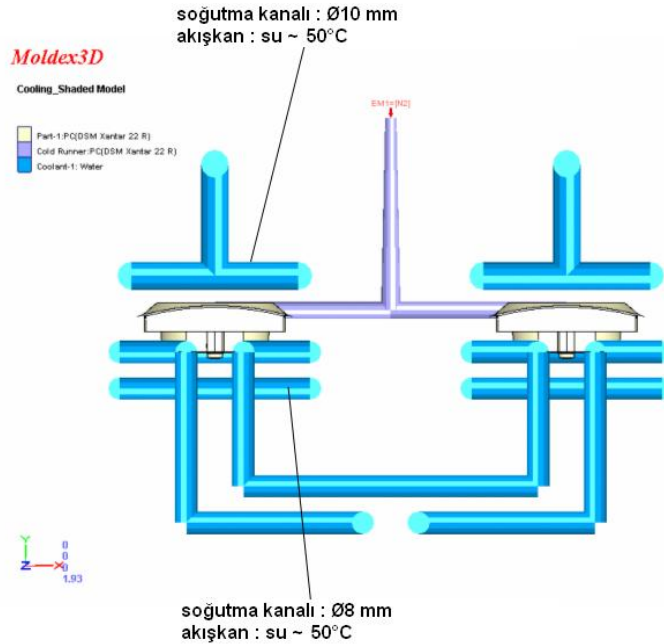
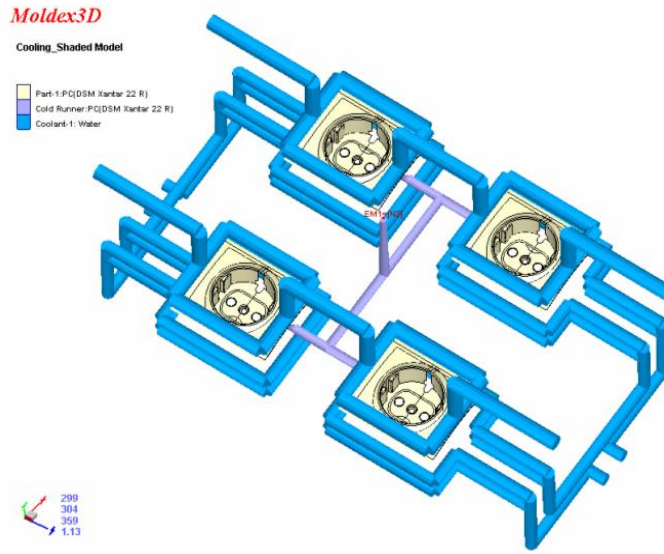
Şekil 14.39 Hacimsel çekme

Şekil 14.39'da görüldüğü üzere et kalınlığının yüksek olduğu bölgelerde hacimsel çekme daha etkin olacaktır.

Moldex3D-Flow/Pack öncelikle hacimsel çekmeyi öngördüğünden kalıplanmış parçanın yüksek basınç ve sıcaklıktan ortam sıcaklığına doğru soğutulur. Negatif değerler hacimsel genişlemeyi gösterirken pozitif olanları ise hacimsel çekmeyi temsil ederler. Üniform olmayan hacimsel çekme parça üzerinde oluşacak çarpılma ve distorsiyonun göstergeleridir.

### Soğutma :

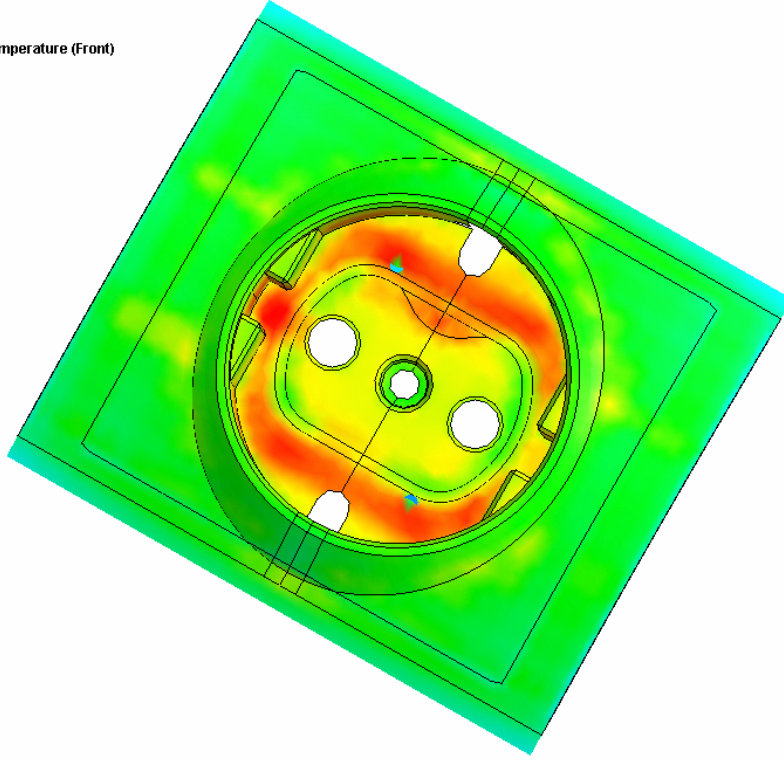
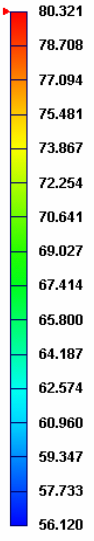
Kalıba enjekte edilen malzeme PC olduğu için kalıp yarımlarının sıcaklıkları yüksek olacaktır, bu nedenle kalıp çok iyi soğutulmalıdır.



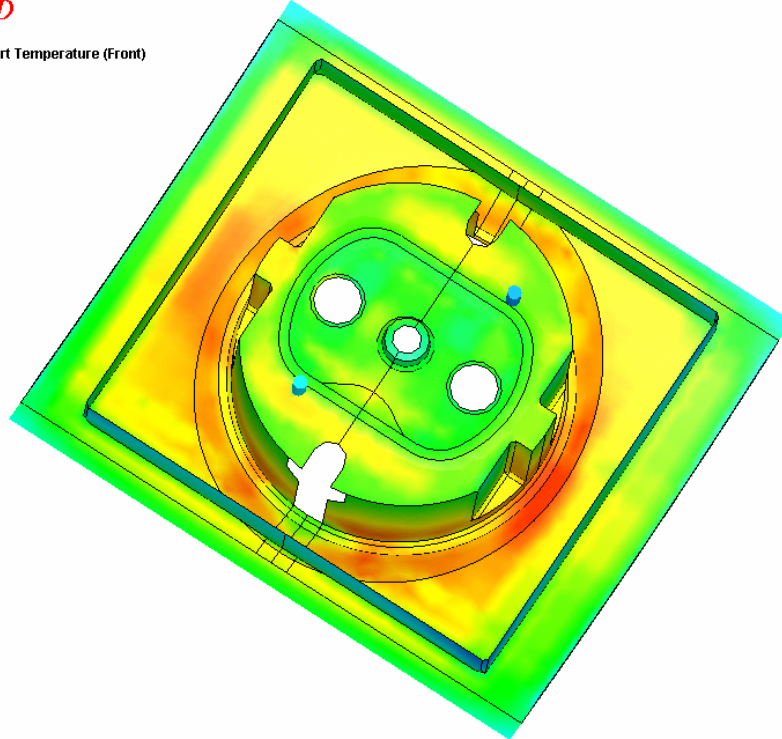
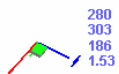
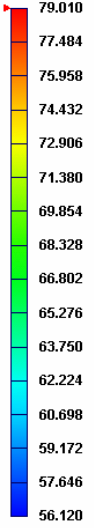
Şekil 14.40 Soğutma kanalları

**Moldex3D**

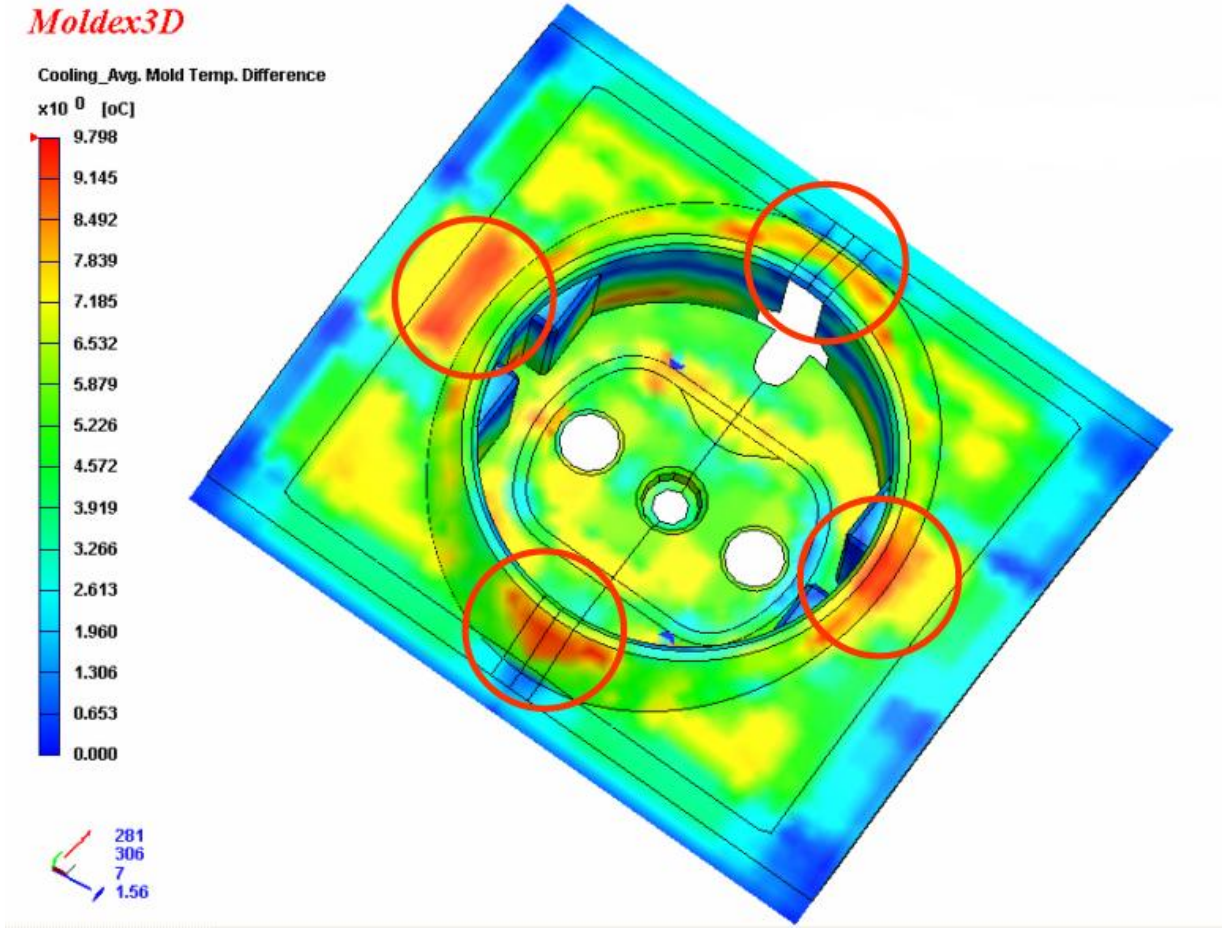
Cooling\_Avg. Part Temperature (Front)

 $\times 10^0$  [oC]**Moldex3D**

Cooling\_Avg. Part Temperature (Front)

 $\times 10^0$  [oC]

Şekil 14.41 Erkek ve dişi sıcaklıkları (56°C ~ 80°C)



Şekil 14.42 Sıcaklık farklılıkları

Şekil 14.42’de kırmızı bölge içerisinde gösterilen yerlerde yüksek sıcaklık farklılığı görülecektir.

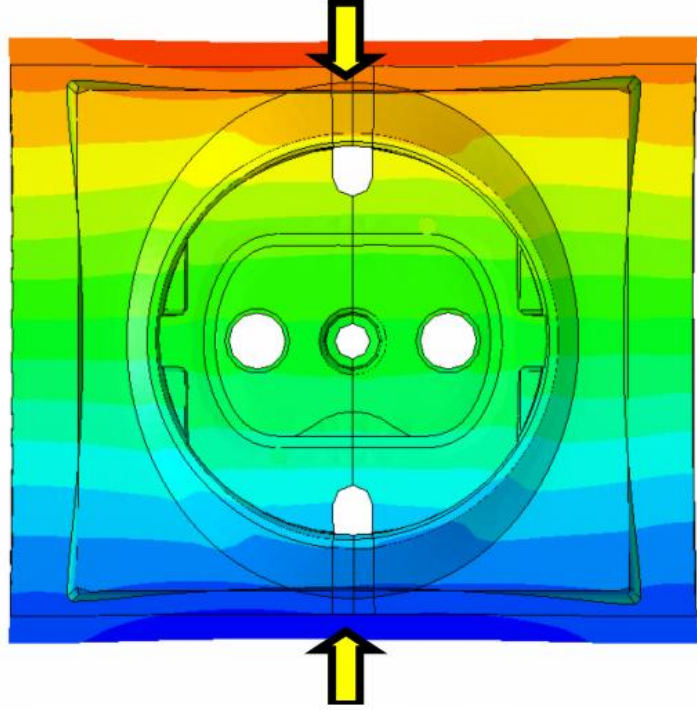
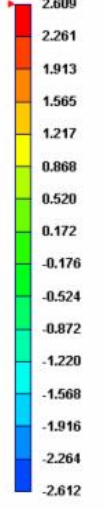
Bu değerler dişi ve erkek çeliklerin ortalama sıcaklık değişim farklılıklarını göstermektedir. Kaliteli bir parça elde edebilmek için bu değerler olabildiğince küçük olmalıdır. Büyük kalıp sıcaklık farklılıkları parça et kalınlığı ile dengesiz bir soğuma olduğunu gösterir ve bölgesel çarpımalara neden olur. Doğru kalıplama için kalıp sıcaklık farklılığı 5°C nin altında kalacak şekilde kontrol edilmelidir.

#### Çarpılma :

Aşağıda parça basıldıktan ve oda sıcaklığına getirildikten sonra basınç-hacim-sıcaklık ve kalıp soğutma etkileriyle x/y/z eksenlerindeki toplam ölçü değişiklikleri gösterilmiştir.

**Moldex3D**

Warpage\_X-Displacement

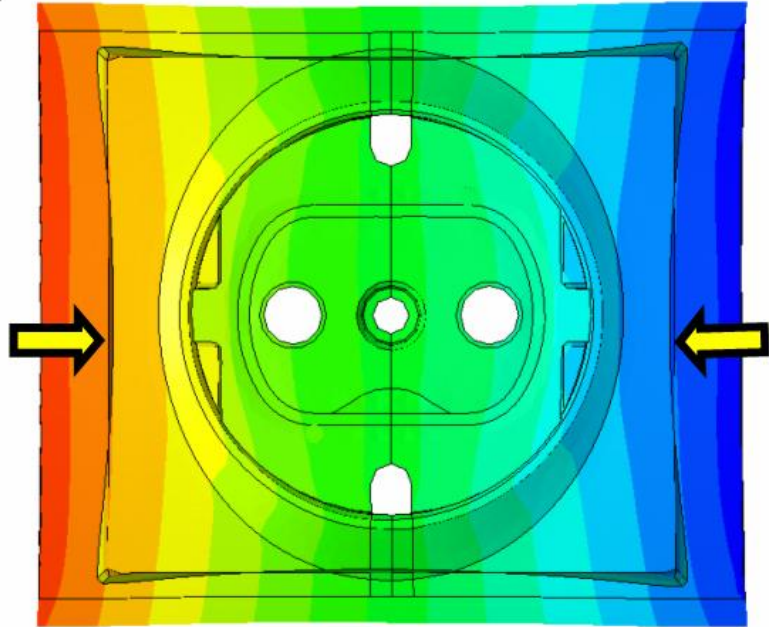
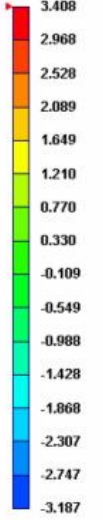
 $\times 10^{-1}$  [mm]

X ekseninde : -0.26mm ~ 0.26 mm

Şekil 14.43 X eksenindeki ölçü değişikliği

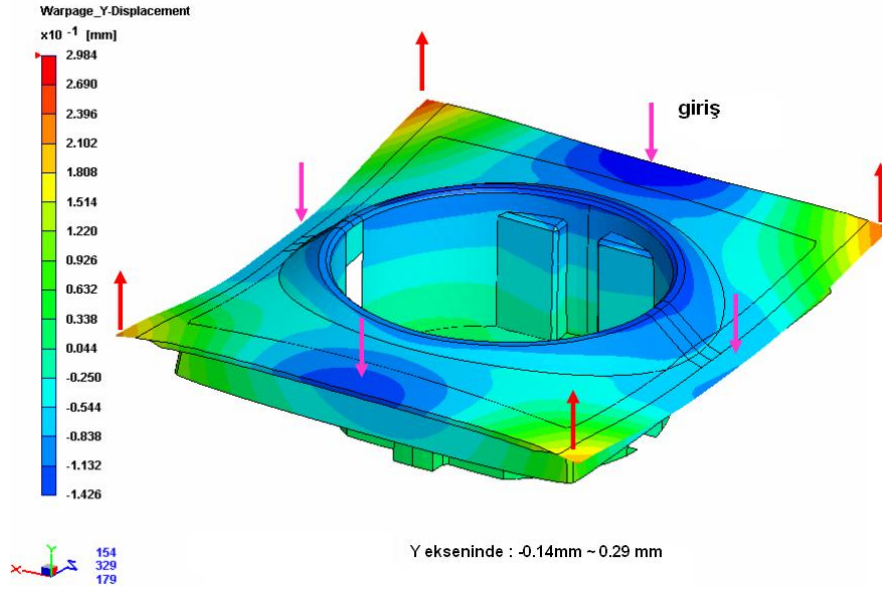
**Moldex3D**

Warpage\_Z-Displacement

 $\times 10^{-1}$  [mm]

Z ekseninde : -0.32mm ~ 0.34mm

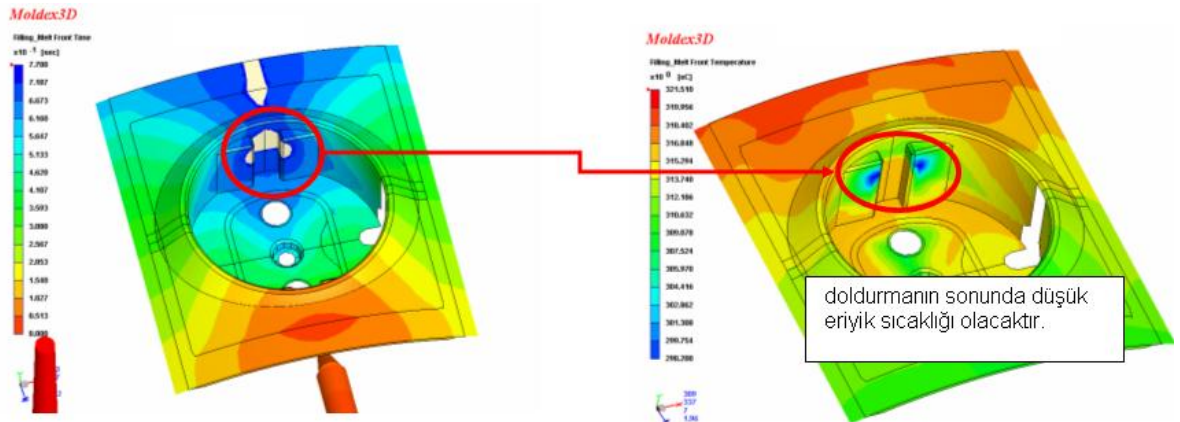
Şekil 14.44 Z eksenindeki ölçü değişikliği



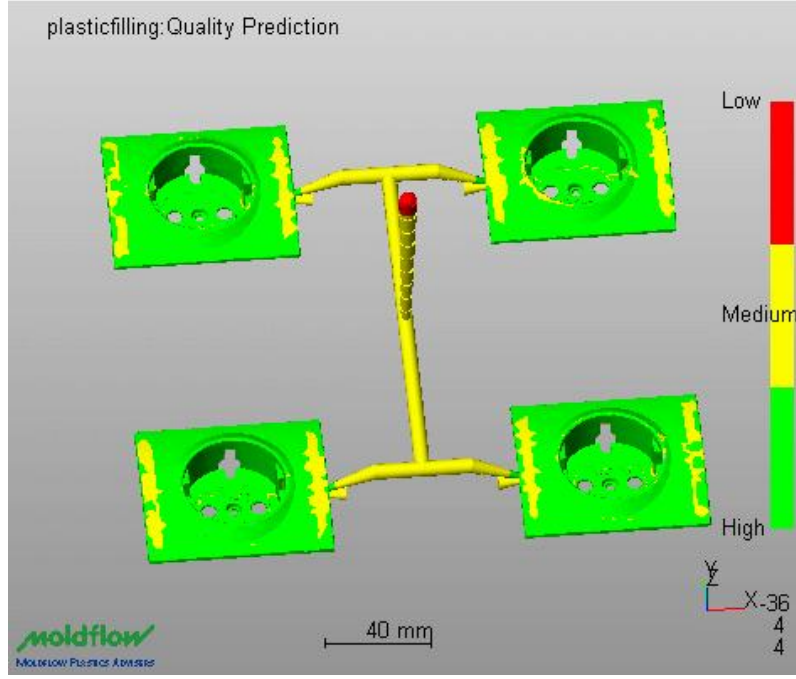
Şekil 14.45 Y eksenindeki ölçü değişikliği

Sonuç :

- Doldurma problemi görülecektir çünkü :
  - Hava kabarcığı oluşacaktır
  - Düşük eriyik sıcaklığı
  - Enjeksiyon basıncı limitte olacaktır.
- Doldurma problemi meydana gelirse parça yüzeyinde parlaklık olacaktır.
- Et kalınlığı dağılımı 0.875mm'den 2.3mm'ye dir. Bu da hava kabarcıklarının oluşmasına neden olacaktır.

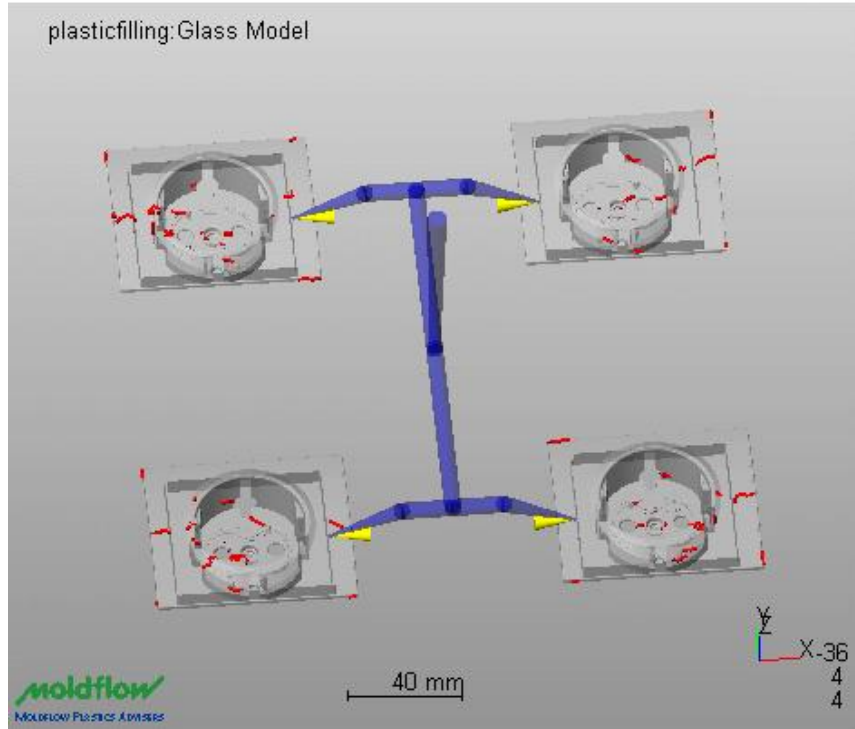


Şekil 14.46 Problem çıkartacak bölgeler



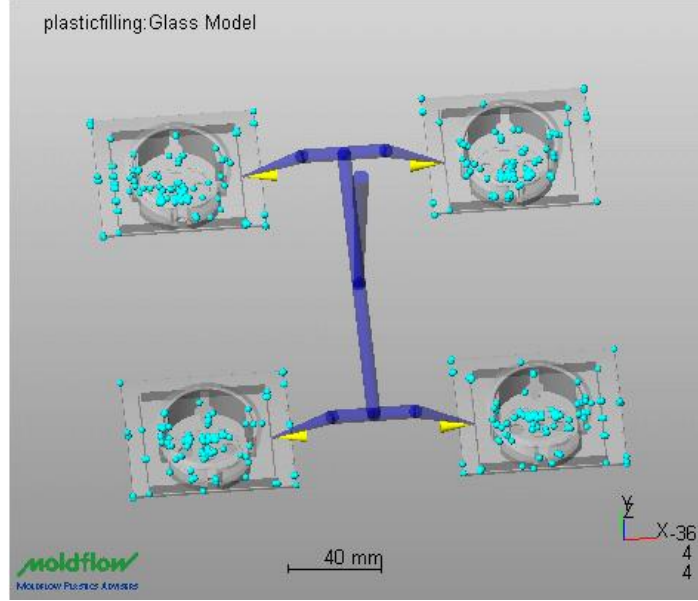
Şekil 14.47 Yüzey kalitesi dağılımı

Ürün üzerinde keskin köşeler veya birden değişen kesit alanları var ise yukarıda görülen yüzey kalitesizlikleri kaçınılmazdır. Bu uygunsuzluğu engelleyebilmek için akışkanın geçeceği kesit genişletilebilir ya da o bölge ayna parlaklığında parlatılmalıdır ki sürtünme minimuma insin.



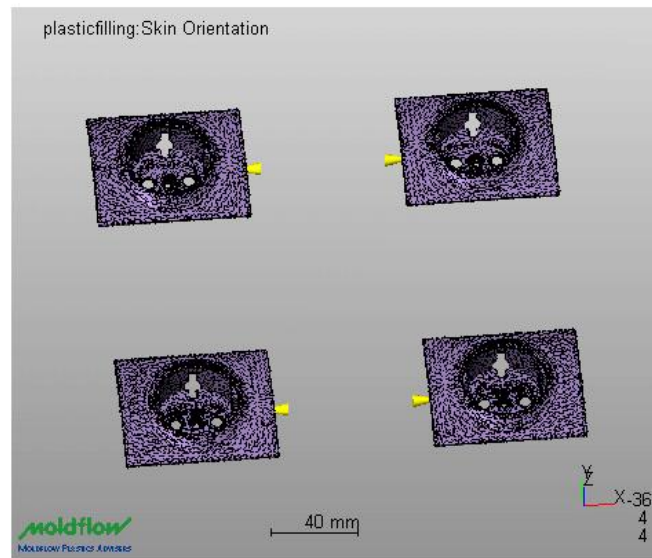
Şekil 14.48 Kaynak izleri

Hava tahliye kanalları yeteri kadar açılmaz ise bu kaynak izleri olacaktır. Bu sonuçlara göre kalıbın yapım aşamasında yeterli hava kanalları açılmıştır. Eğer kalıpta hava kanalları açılmıyorsa cep denilen taşırma bölgeleri yapılabilir. Fakat bu da görsellik olarak tıpkı yolluk girişi gibi uygun olmayacaktır. Bu da yapılmıyorsa farklı yönden ek bir giriş verilmelidir. Bu çözümler izleri hafifletip görünmez kılacaktır. Fakat genelde iyi bir hava tahliyesi bu problemi çözer.



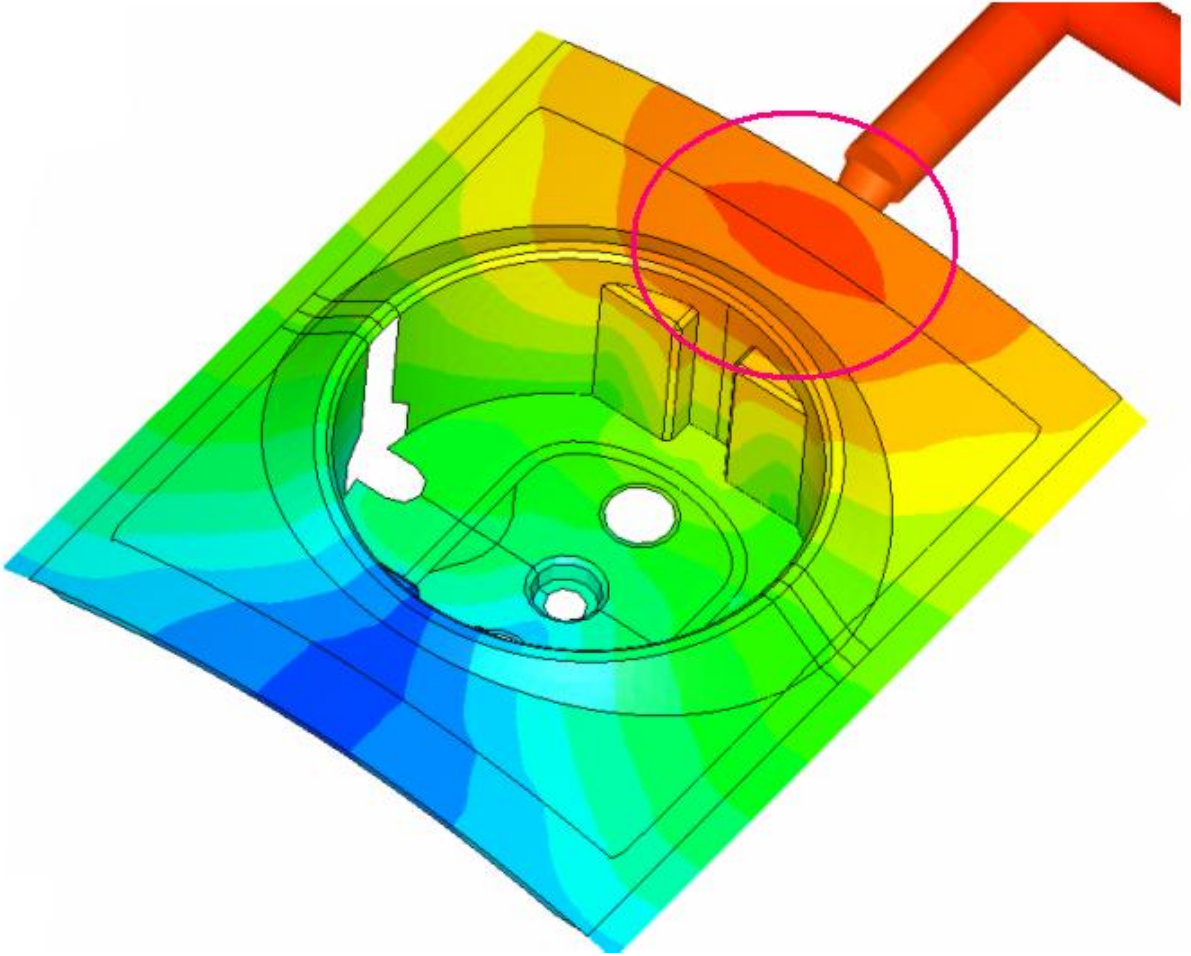
Şekil 14.49 Hava kabarcıkları

Hava tahliyesi çok olduğu için kalıpta böyle bir problemle karşılaşılmayacaktır. Varsa bile içerilerde olup kendini göstermeyecektir.



Şekil 14.50 Malzeme akış yönü

Kalıpçılar için; bu analiz programlarında en önemli olan özellik harenme diye adlandırdığımız lekeyi (izi) göstermesidir (Şekil 14.51). Bu iz, kalıbın itici tarafı diye tabir ettiğimiz bölgesinden verilen akışkanın ilk yüzeye (kozmetik yüzeye) bulunduğu bölgede oluşur. Akışkanın bu izi bırakmasının sebebi, akışkanın girdiği bölgenin kesit alanının çok dar olmasıdır. Bu kesit alanı genişletilemiyor çünkü genişletildiği takdirde soğutamama problemi ortaya çıkacaktır. Bu da çöküntüye sebep olacaktır. Bu harenmeyi eğer ki analiz programlarına göre kesmek istersek yolluk bölgelerini değiştirmek gerekir. Fakat daha önce sayılan sebeplerden dolayı hem ürün tasarımı hem de yolluk yerini değiştiremediğimiz için ürün tasarımına küçük hileler katılabilir. Örneğin kaviteye ilk giren sıcak akışkanın kozmetik yüzeye çarparak harenme oluşmasını engellemek adına, sıcak akışkanın ilk olarak oraya çarpmasını sağlamak için yolluk girişinin olduğu bölgeye küçük bir pencere yapıp sıcak akışkanın doğrudan görünen yüzeye birden çarpmasına engel olmuş oluruz. Böylece akışkan daha yavaş ve dengeli bir şekilde kalıp boşluğunu doldurmaya başlayacaktır.



Şekil 14.51 Analizde harenme

#### 14.4.4.2 Pro Mechanica ile gerilme analizi

Mekanik ve fiziksel özellikleri her noktasında aynı (homojen) olan ve cismin her doğrultuda aynı mekanik ve fiziksel özellikleri olan (izotrop) cisimlerin incelenmesi ile mukavemet bilimi uğraşır. Belirli kısıtlamalarla (serbestlik derecesi sabitlemesi) sabit olan bir cisme uygulanan kuvvet, cisim üzerinde gerilmelere ve şekil değişimlerine neden olur. Bunların belirli sınırlar içinde kalmaları o cisimden istenilen faydanın gereğidir

**Malzeme tayini :** Malzeme tayini edilirken programın kütüphanesinden yararlanılmadı. Kütüphanede kalıp malzemesinin özellikleri bulunmadığı için malzemenin teknik bilgilerinden faydalanarak malzemenin bilgileri kütüphanede oluşturuldu. (Şekil 14.52)

Şekil 14.52 Malzeme mekanik özellikleri

Malzeme tanımı için önemli olan birkaç değer açıklanacak olunursa;

- Young modülü; Cisme uygulanan kuvvetin cisimde şekil değişimi meydana getirip yine kuvvetin kaldırılması ile kalkması durumu, cismin elastik deformasyonu olarak açıklanır. Basit çekme altında gerilme ile gerinme arasındaki bu oran Elastik modülü veya young modülü (E) olarak bilinir ve mühendislik ürünlerinde bu değer önemlidir. Hooke Kanunu olarak da adlandırılır. Kayma gerilmesine maruz yükleme için kayma gerilmesinin kayma gerinmesine oranı da Kayma Modülü (G) olarak adlandırılır.

- Poisson Katsayısı; Çekme ve basma deneylerinde kuvvet altındaki isimlerde yanal gerinme miktarının aksenal gerinme miktarına oranı ilgili cismin malzemesine göre sabit değerler taşımaktadır. Bu oran Poisson katsayısı ( $\nu$ ) denir. Malzemenin yük altındaki davranışlarını ifade etmek için kullanılan bu katsayı 0 ile 0.5 arasında değişmekle beraber, çeliklerde 0,3, alüminyumda 0.34, bakırda 0.32 ve betonda 0.10mm civarındadır.

Sünek malzemeler için akma koşulu belirlemek için kullanılan iki akma kriteri vardır. Bunlar Von Misses ve Tresca'dır.

- Von Misses akma kriteri; distorsiyon enerjisi olarak ta ifade edilen bu kriter gere göre cisme uygulanan gerilmeler ile distorsiyon enerjisi (şekil değiştirme enerjisi) belirli bir değere çıktığı zaman cisimde akma meydana gelir.
- Tresca akma kriteri ; Maksimum kayma gerilmesi kriteri de denen bu kriterde, sisteme uygulanan gerilmeler altında maksimum kayma gerilmesinin, tek aksenal çekme deneyindeki kayma gerilmesi değerine ulaştığı zaman cisimde akma meydana gelmektedir.(Göloğlu, 2005)

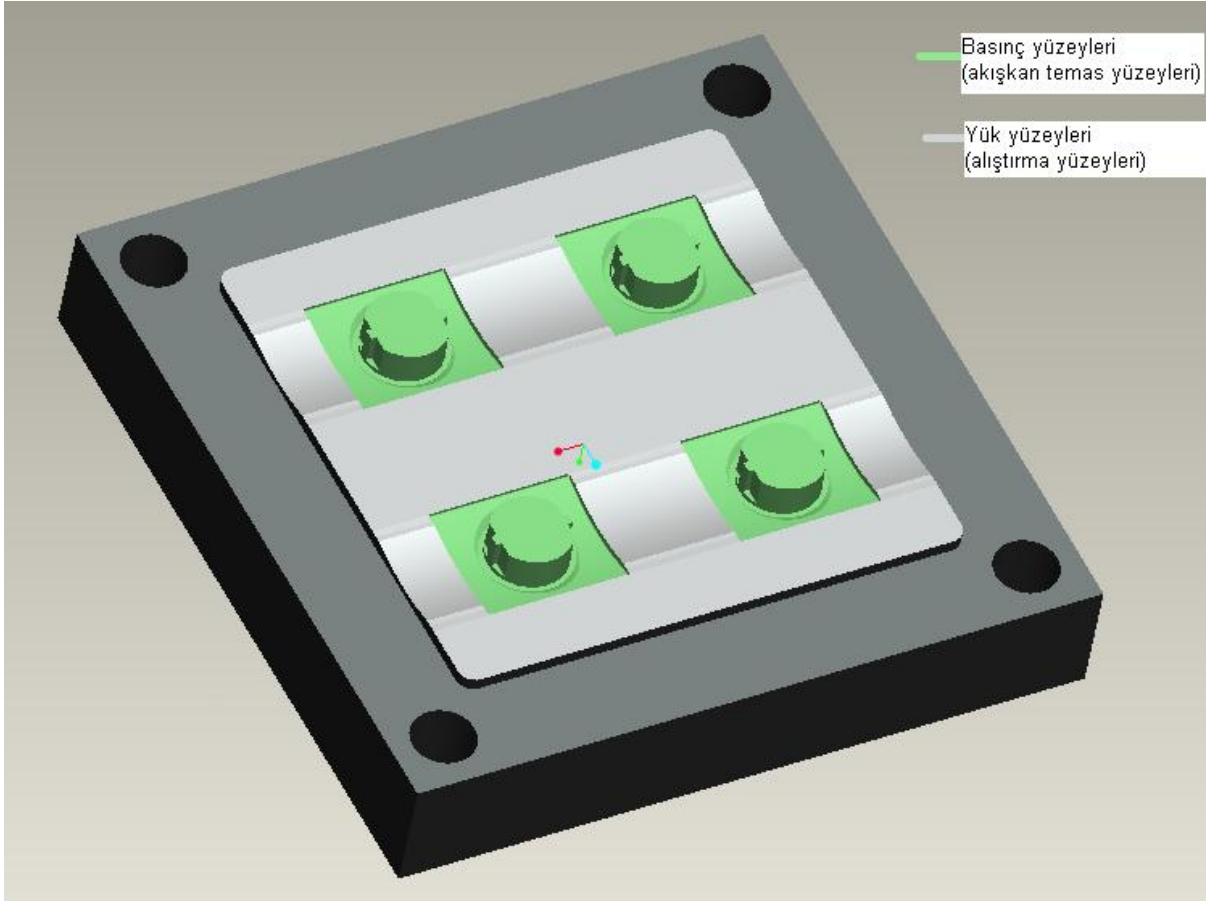
**Sınır şartları :** Dişi çelikte bağlantı plakası yüzeyi (şekil 15.53), erkek çelikte ise paralel yüzeyleri (şekil 15.54) verilmiştir.

	
<p>Şekil 15.53 Dişi çelik mesnet yüzeyi</p>	<p>Şekil 15.54 Erkek çelik mesnet yüzeyleri</p>

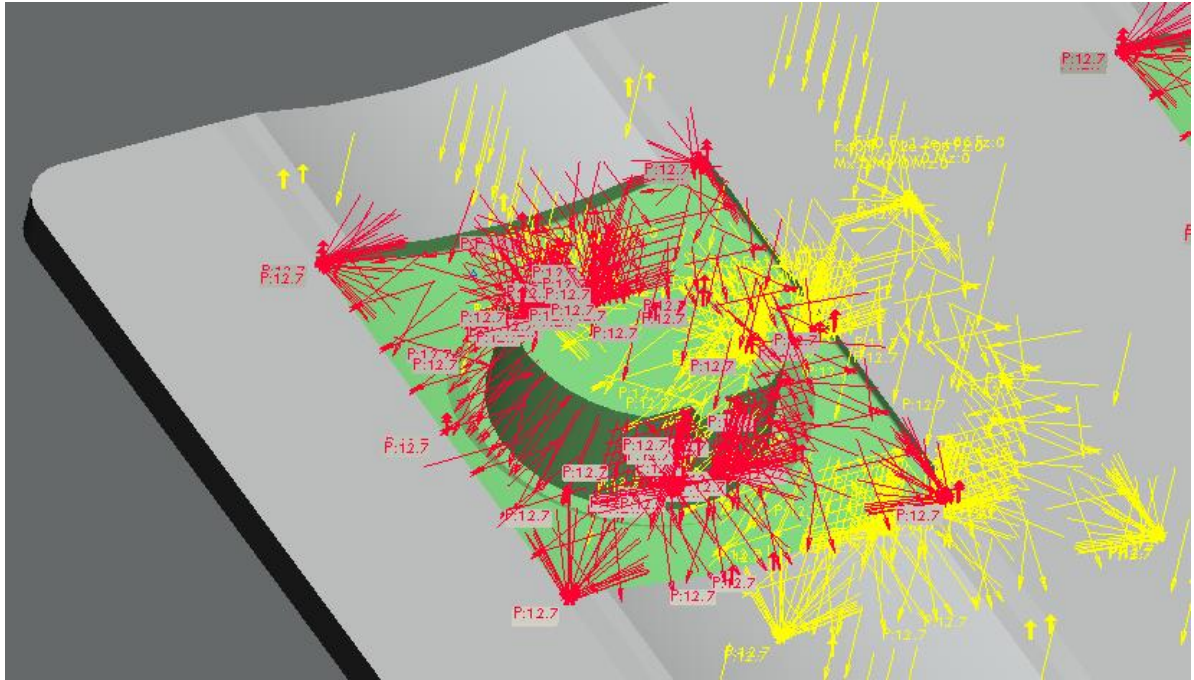
**Yük tanımı :** Alıştırma yüzeylerine enjeksiyon makinesinin kapama kuvveti etki etmekte ürün yüzeylerine ise akışkanın basıncı etki etmektedir.

Enjeksiyon makinesi kapama kuvveti : 1200 kN

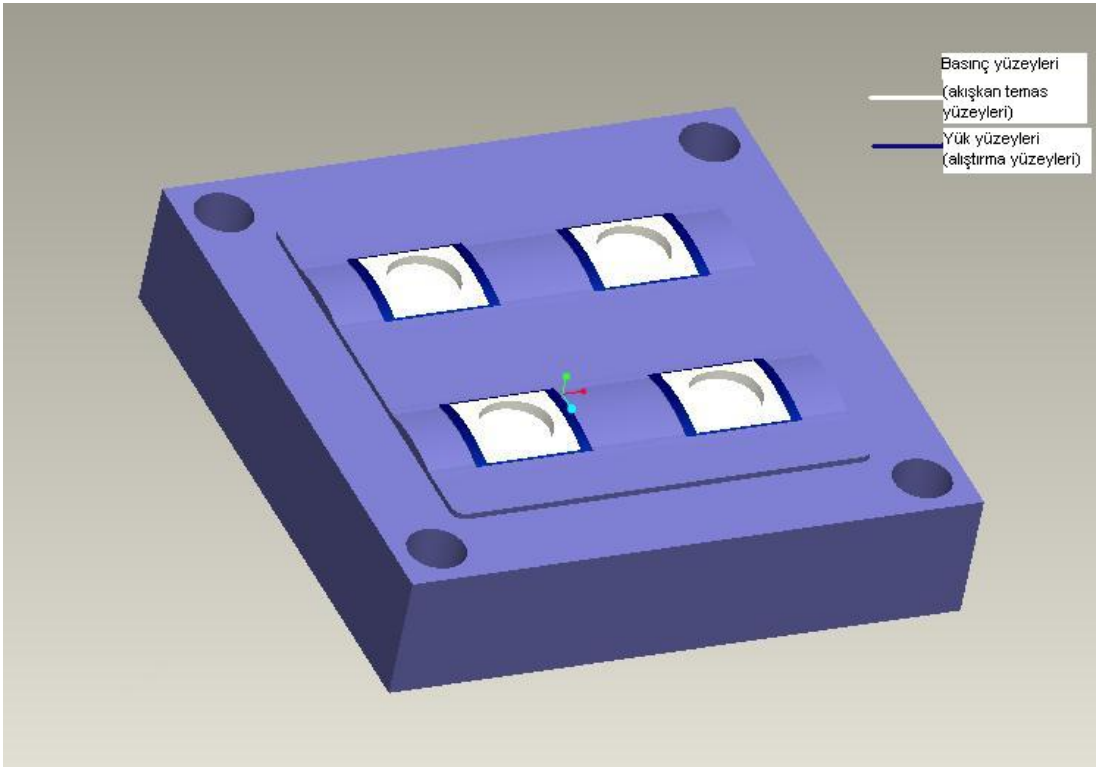
Enjeksiyon basıncı : 127 bar



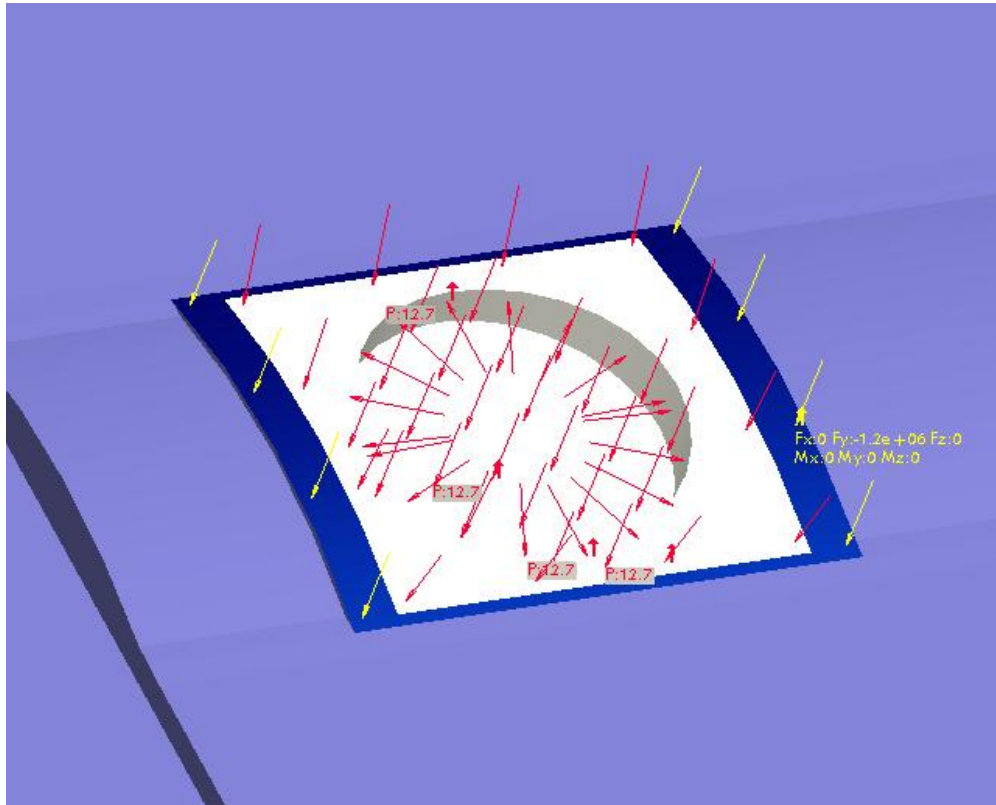
Şekil 14.55 Dişi çeliğin yüke maruz kalan yüzeyleri



Şekil 14.56 Dişi çeliğe etki eden yük dağılımı



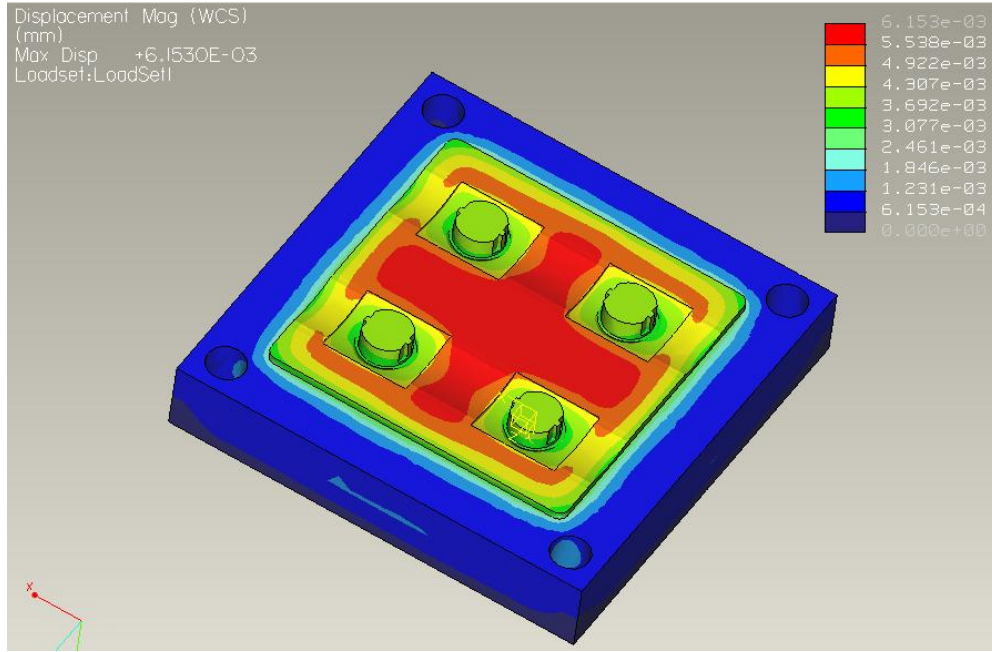
Şekil 14.57 Erkek çeliğin yüke maruz kalan yüzeyleri



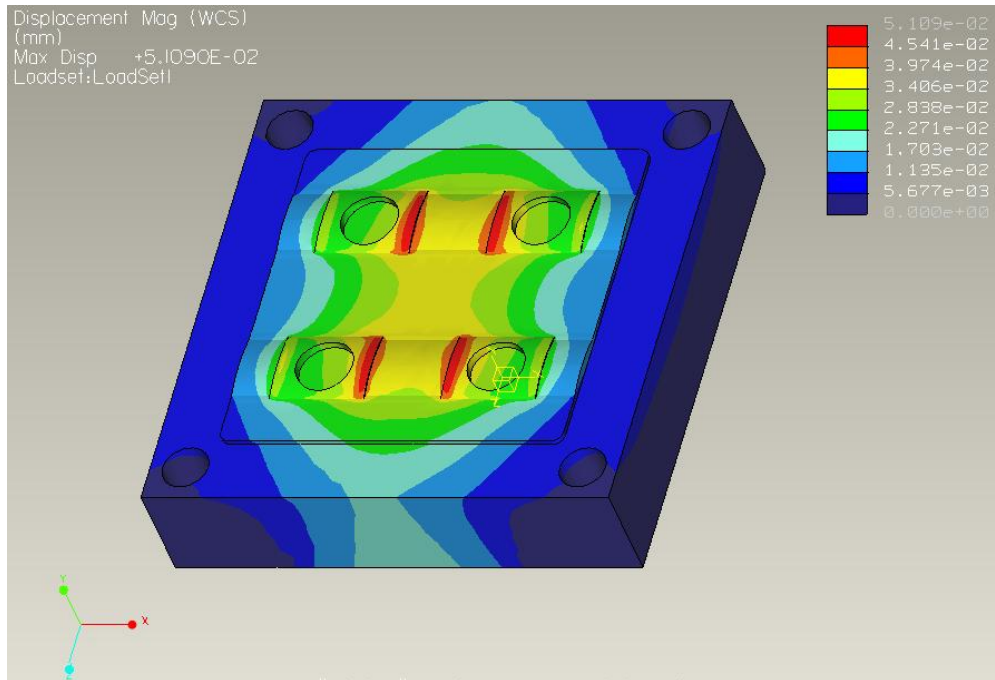
Şekil 14.58 Erkek çeliğe etki eden yük dağılımı

Bu girdiler doğrultusunda analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Şekil değiştirme :



Şekil 14.59 Dişi çelikteki şekil değiştirme miktarı



Şekil 14.60 Erkek çelikteki şekil değiştirme miktarı

Analiz sonuçlarına göre dişi çelikte maksimum şekil değiştirme miktarı 0.0061mm iken erkek çelikte ise şekil değiştirme miktarı 0.051mm olarak görülmektedir. Bu durumda kalıp

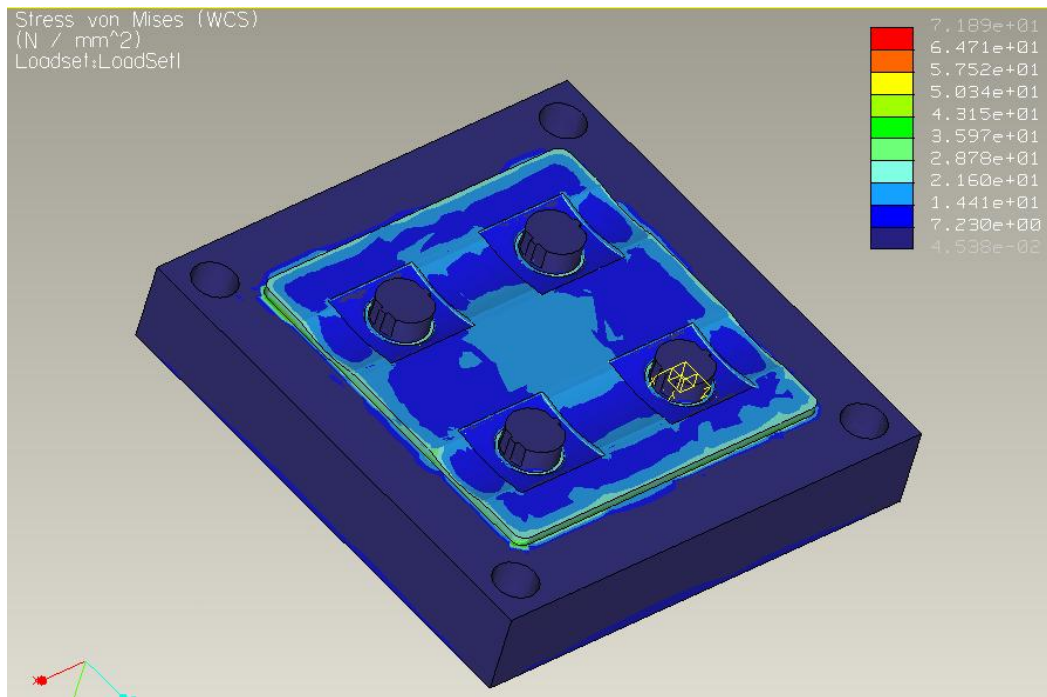
kapandığında 0.051mm boşluk oluşması enjeksiyon esnasında bir sorun oluşturmayacaktır. Bu sonuçlardan yola çıkarak dişi çelikte soğutma tasarımına zarar vermeyecek şekilde çelik kalınlığını azaltmak maliyeti düşürmek adına faydalı olabilecektir. Öte yandan erkek çelikte malzeme kalınlığı yeterli görülmektedir. Eğer malzeme kalınlığı azaltılırsa çelikte daha büyük şekil değiştirmeler meydana gelebilir. Bu durumda özellikle alıştırma yüzeyinde oluşacak boşluklardan plastiğin çapak oluşturması söz konusu olabilir.

### Gerilme :

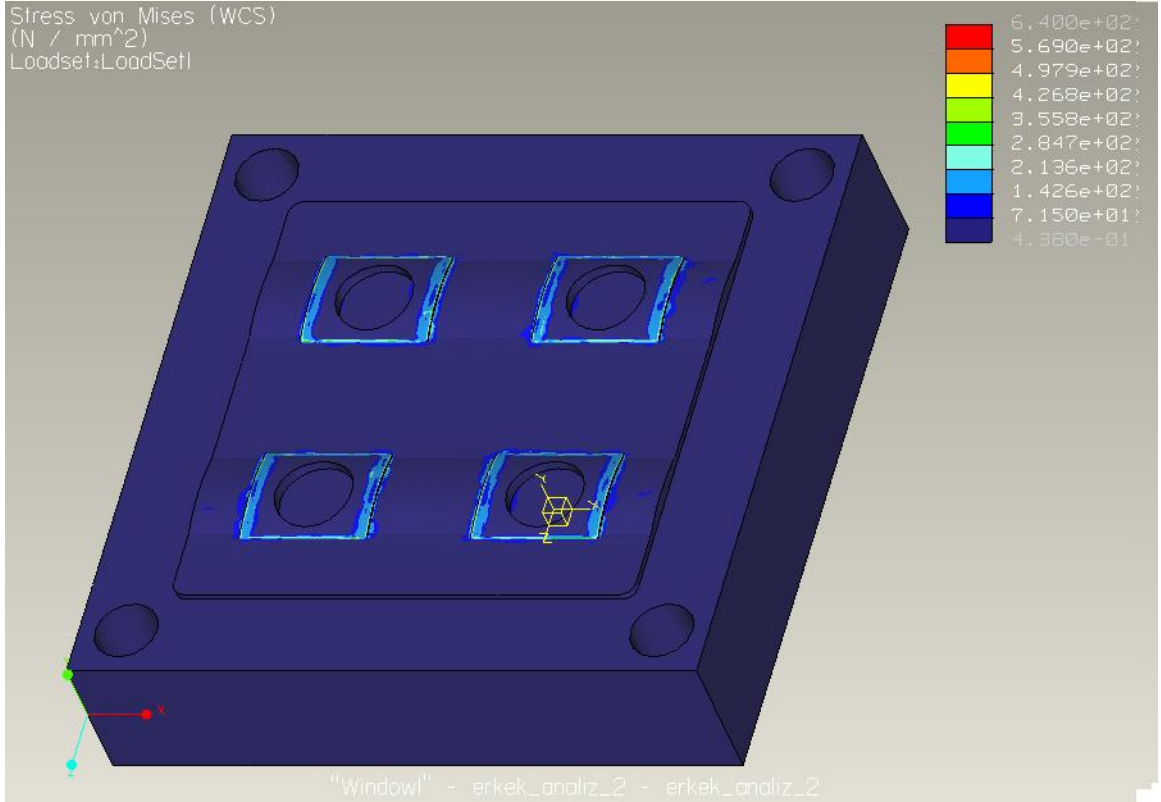
Bir cisme uygulanan kuvvetlerin yoğunluğuna gerilme denir. Bir cismin malzemesinin şekil değişimi ve yük taşıma kapasitesi, o malzemenin gerilme değerine bağlıdır.

İlgili cisimdeki gerilmenin yönü ve şiddeti noktadan noktaya farklılık arz etmektedir. Cismin kesit alanına tekil (üniform) bir şekilde dağılıp, kesit yüzeyine dik olan gerilmeler normal gerilme ( $\sigma$ ), yük alanına paralel etki eden yüklemenin oluşturduğu gerilme ise kayma gerilmesi ( $\tau$ ) olacaktır. Kuvvet etkisi altında olan cisimlerde birim uzama veya kısalma olur, bu gerilme  $\epsilon$  veya birim uzama olarak açıklanır.

Aşağıdaki analiz sonuçlarından elde edilen bilgilerde dişi çeliğin gösterdiği maksimum gerilme  $71.89 \text{ N/mm}^2$ , erkek çeliğin ise  $640 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmüştür. 1.2344 malzemesinin akma sınırı  $2100 \text{ N/mm}^2$  olduğu için çelik kalınlıklarında dayanımla ilgili bir problem olmadığı görülmüştür.



Şekil 14.61 Dişi çelikteki gerilme oranı



Şekil 14.62 Erkek çelikteki gerilme oranı

#### 14.5 3D model, tasarım ve analizden sonra kalıp yapımı ve enjeksiyon işlemi

İmal edilen kalıbın enjeksiyon işlemi aşağıda Şekil 14.59 da resmi görülen Arburg 420 C tip makinede yapılmıştır.

- Plastikleştirme : Enjeksiyon çevrimi plastikleştirme işlemi ile başlar. Plastik hammadde eritilir, kalıba enjekte edilmeye hazır hale getirilir.



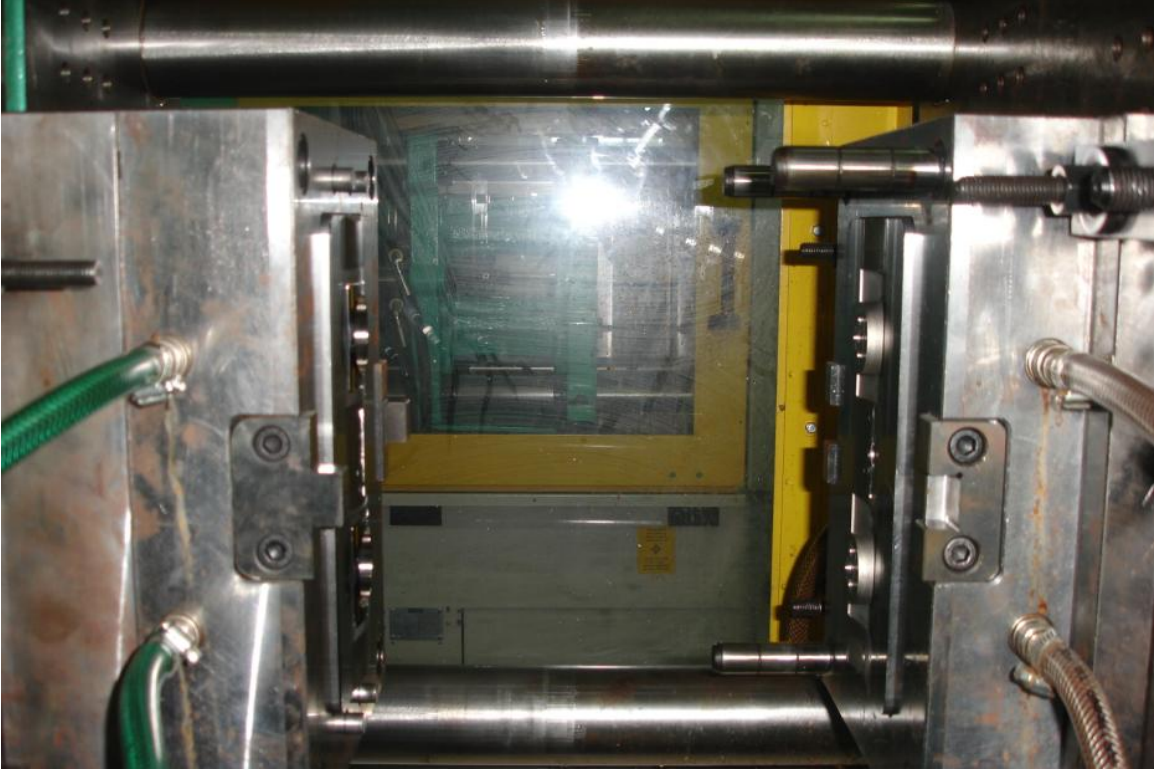
Şekil 14.63 Enjeksiyon işleminin yapılacağı tezgah

- Kalıbın Kapatılması : Makinenin mengene ünitesi kalıbın iki parçasını birbiri üzerine kapatır ve yüksek basınç uygular (Şekil 14.64)

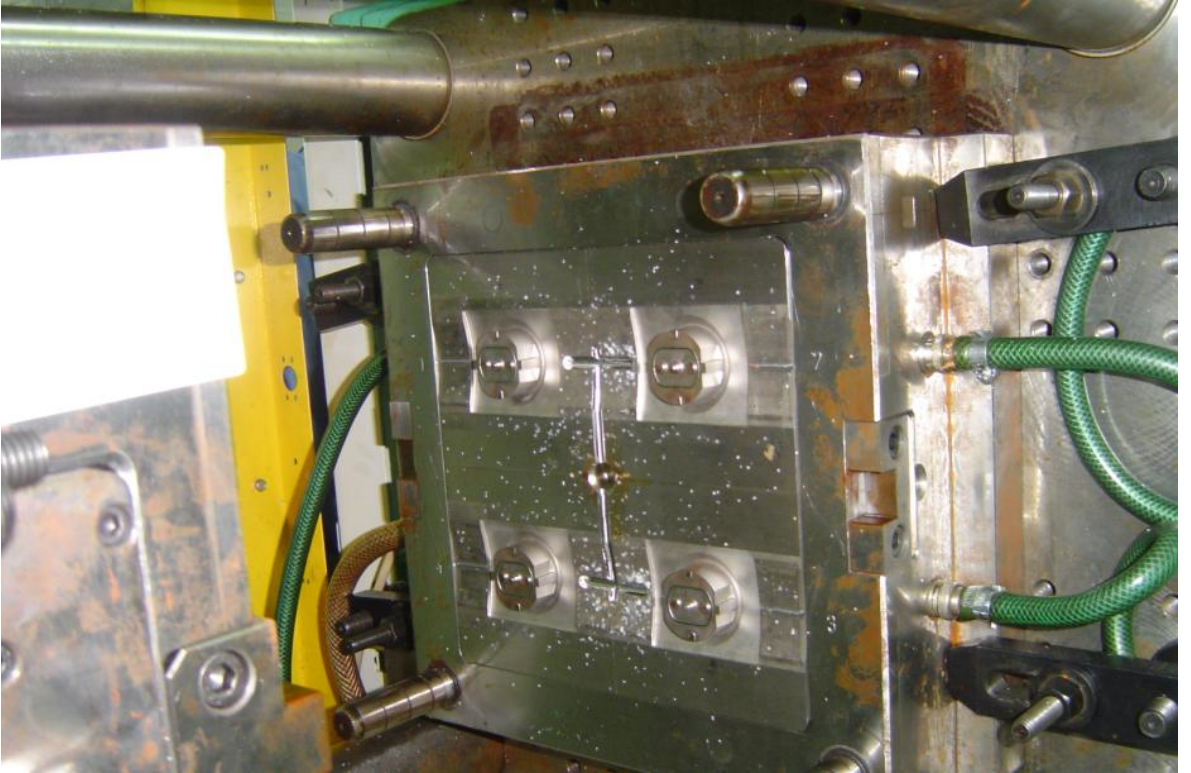


Şekil 14.64 Kalıp enjeksiyon makinesine bağlıken

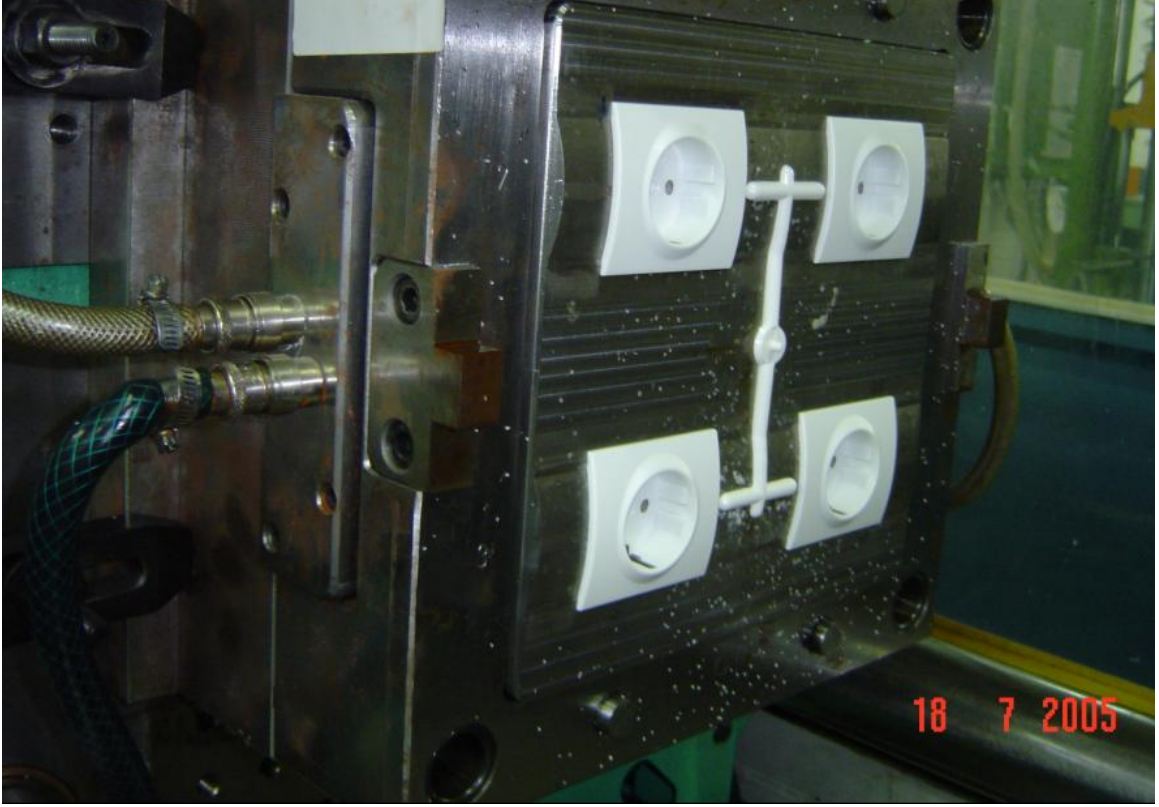
- Kalıbın Doldurulması : Vida hidrolik piston tarafından ileri itilir. Eriyik plastik kalıp boşluğuna dolar. Kalıp gözünü doldurmak için gerekli olan basınç (Enjeksiyon Basıncı=127 bar) ve kalıp göz içi basıncı artar. Eriyik plastiğin kalıp boşluğunu tamamen doldurduğu anda (0.88s sonra) dolum aşaması sona erer.
- Ütüleme : Basınç yükseltilerek kalıbın tam olarak dolması, ince detayların da oluşması sağlanır.
- Tutma : Çekmeyi azaltmak için parça, kalıp içinde basınç altında bekletilir. Parça çektikçe, içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder.
- Soğutma : Yolluk donduktan sonra parça kalıp içinde soğur ve çeker. Soğutma; parça vicat yumuşama sıcaklığı'na ulaşınca kadar devam eder. (14 s)
- Kalıptan Çıkarma : Yumuşama sıcaklığına ulaşmış parça artık çıkarılabilecek kadar katılaştırmıştır. Kalıp açılır (Şekil 14.65). Parça itici sistemi yardımı ile kalıptan çıkarılır.



Şekil 14.65 Kalıp enjeksiyon makinesinde açık halde bağlıken

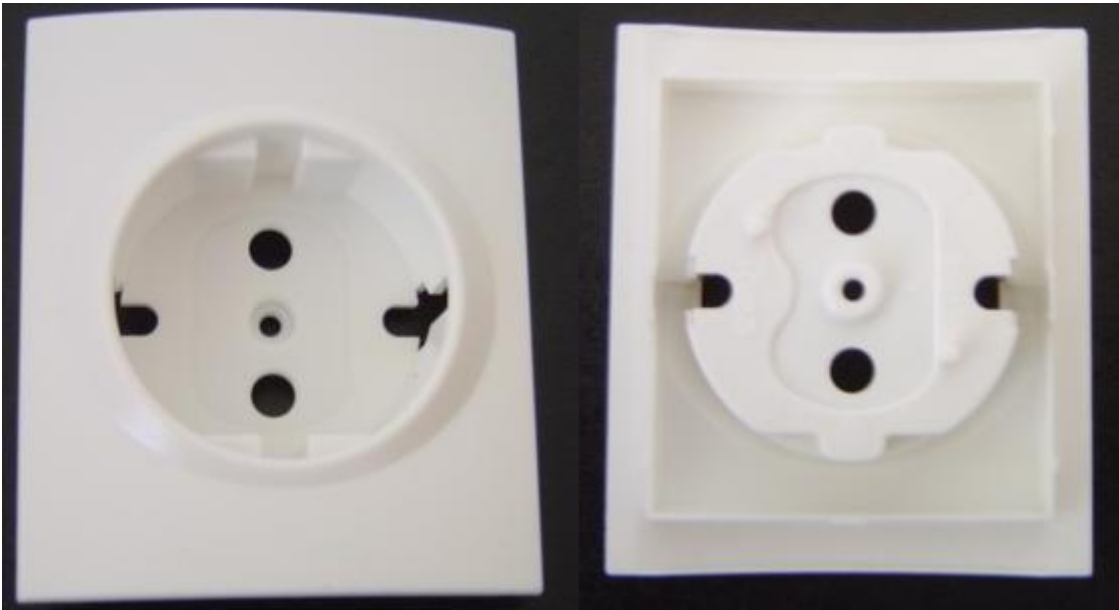


Şekil 14.66 Enjeksiyon makinesinde kalıbın enjeksiyon (dişi) tarafı



Şekil 14.67 Enjeksiyon makinesinde kalıbın itici (erkek tarafı) tarafı

Enjeksiyon işleminden sonra elde edilen ürünler (Şekil 14.68) incelendiğinde ciddi problemlerle karşılaşılmadığı gözlemlenmiştir. Buradan da analiz programlarıyla daha az seferde doğru sonuca ulaşıldığı, deneme yanılma döngüsünün minimuma indirildiği açıkça görülmüştür.



Şekil 14.68 Enjeksiyon sonrası elde edilen ürün

#### 14. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada otomotivden beyaz eşyaya kadar her alanda sık sık kullanılan plastikler ve bu malzemelerden üretilen endüstriyel parçaların imalatı detaylı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümlerinde plastikler hakkında kısaca bilgi verilmiş ve bir ürünün kalıplanma aşamasına gelesiyeye kadar geçtiği süreçlerden bahsedilmiştir.

Ürün tasarımı ürünün kalitesinde baştan sona kadar belirleyici faktör oluşturmaktadır. Ürün tasarımı yapılırken; doğru malzeme seçimi, parçanın kalıplanabilirliği, ve enjeksiyon sırasında yaşanabilecek tüm problemler göz önünde bulundurulmalıdır. Fakat ürün tasarımı ne kadar başarılı olursa olsun, istenilen kalite de ürün alabilmek tamamen doğru kalıplamaya bağlıdır. Erimiş plastiğin kalıp boşluğuna akış biçimi, hızı, basıncı, sıcaklığı, dolma süresi, ürünün kalitesini belirlemede önemli rol oynar. Bu doğrultuda çalışmanın ilerleyen bölümlerinde enjeksiyon makineleri, enjeksiyon prosesi ve enjeksiyon prosesinin parça ve kalıp tasarımı ile ilişkisine değinilmiştir. Ayrıca bunlara ilave olarak kalıp tasarım ilkeleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Kalıp boyutlarının belirlenmesi, kavitelelerin yerleştirilmesi, kalıp malzemelerinin seçimi, yolluk sistemi, soğutma sistemi, itici sistemi, maça sistemi ve tasarımları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca enjeksiyon sonrasında yaşanabilecek muhtemel sorunlar ve çözümlerine de örnekler verilmiştir. Bu nedendir ki başarılı bir plastik ürün tasarımı için plastikler, kalıplama tekniği ve enjeksiyon prosesi hakkında detaylı bilgi donanımına sahip olunması gerekmektedir.

Çalışmanın son bölümünde ise verilen teorik bilgiler doğrultusunda günlük hayatımızda sık sık kullandığımız elektrik priz kapağı için kalıp tasarımı yapılmıştır. Ürün başka parçalarla birlikte montajlı bir şekilde elektrik sektöründe kullanılacak ve ayda 20.000 adet basılacaktır. Parça malzemesi olarak priz standartlarının istekleri (elektriksel özellikler) ve tasarım göz önünde bulundularak PC seçilmiştir. PC malzemenin erime sıcaklığı 310°C olup, çekme payı %0.5 tir. Kalıplanacak ürün yeni bir ürün olduğundan (daha çok prestij ürün olarak piyasaya sürüleceği için) ayda sadece 20000 adet basılacaktır. Kalıplanacak ürün olan parçanın üç boyutlu modeli endüstriyel bir CAD programı (ProEngineer) ile yapılmıştır. Parçanın enjeksiyon baskısı ise Arburg 420C tezgahında yapılmıştır. Ürünün yıllık baskı adedi çok yüksek olmadığı için kalıp göz sayısı dört olarak belirlenmiştir. Dört gözlü bu kalıp için 346x396 ebatlarında hazır kalıp seti kullanılmıştır. Basılacak olan malzeme PC olduğu için 1.bölge ocak sıcaklığı 280~290°C'dir ve istenilen kalıp sıcaklığı değerleri kalıp enjeksiyon (dişi) tarafında 70~90°C, itici tarafında 50~70°C de tutulması gerekmektedir. Bu nedenle kapama kuvveti yüksek tutulmalıdır. Birbiri üzerinde çalışan bu parçaların ısıl işlem

görmüş 52~58 HRC sertliğinde sıcak iş çeliği olmaları gerekmektedir. Bu tasarımda kalıp malzemeleri için yüksek ısı kararlılığı olan, yüksek sıcaklıklarda bile aşınma dayanımını yitirmeyen ve tokluğu yüksek bir çelik olan 1.2344 çelik kullanılmıştır. Kalıbın itici plakalarında, paralellerde ve bağlantı plakalarında ise Ck45 malzeme kullanılmıştır.

Yapılan fizibiliteler sonucunda parçanın iticiler tarafından düşürülerek alınmasına karar verilmiştir. Düşürülerek alma sonucunda ürün üzerinde meydana gelen deformasyonların fazla olmasına rağmen, enjeksiyon tezgahının kolon aralıkları, makineler arasındaki mesafeler robotla alma sistemini kurmaya müsaade etmemektedir. Robot sisteminin kurulması maliyeti ve çevrim süresinin uzamasının maliyeti de hesaplandığında düşürülerek almanın daha uygun olacağı hesaplanmıştır.

Yolluk tasarımını yaparken analiz programlarından destek alınmıştır. Bu amaçla Moldflow programı kullanılarak en uygun yolluk giriş bölgesi belirlenmiştir. Ancak analiz programının önerdiği bölgelerden yolluk girişi verilememiştir. Parçanın görselliği, fonksiyonu ve tasarımı girişin bu bölgelerden verilmesine engel olmuştur. Bu yüzden analiz sonuçları da göz önünde bulundurularak uygulanabilir en uygun giriş bölgesi tespit edilmiştir. Soğuk yolluk Ø6, tünel giriş ise Ø5-Ø1 olarak tasarlanmıştır. Bu tasarımın uygunluğunu kontrol etmek amacıyla iki analiz programında da (Moldex3D ve Moldflow) ayrı ayrı doldurma analizi yapılmış ve doldurmada bazı sorunların yaşanabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca analiz sonuçlarından; doldurmanın %40'ının gerçekleştiği sırada doldurmada kararsızlık görülebileceği, %60'ının tamamladığı sırada soğuk birleşme başlangıcının meydana gelebileceği, %95'inin tamamlandığı sırada ise hava sıkışmasının meydana gelebileceği gözlenmiştir. Aynı zamanda plastiğin kalıbı doldurması sırasında meydana gelebilecek muhtemel izler, hava kabarcıkları, kaynak izleri yapılan analizler sonunda saptanmıştır. Analiz sonuçlarına göre öngörülen yolluk giriş çapının 1.0mm olması uygun görülmemiş, bu çapın akış esnasında plastiğin bazı ince ve detay cidarlara dolmasına yeterli olmayacağı düşünülmüştür. Bu durumda enjeksiyon basıncını arttırmak gerekmektedir. Ancak giriş bölgesinin yüksek basınç altında kalması yüzünden bu bölgede yolluk boyunca çapak ile karşılaşılması kaçınılmazdır. Buna göre analiz sonuçları doğrultusunda, kalıpta bir dizi önlemler alınmış ve akışı rahatlatmak için yolluğun patlama çapı Ø'1'den Ø1.5'a genişletilmiş, hava sıkışmasına engel olmak ve izleri minimuma indirebilmek için de hava tahliye kanalları açılmıştır. Yapılan diğer analizler ile de parçanın et kalınlığının yüksek olduğu bölgelerde hacimsel çekmenin daha etkin olacağı görülmüştür. Soğutma sistemi tasarlanırken bu verilere dikkat edilmiştir. Bu analizler yardımıyla öngörülen enjeksiyon parametrelerinin yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Akış analizine ilave olarak ProMechanica programı ile kalıp elemanları için yapısal analiz yapılmış ve kalıp kalınlıklarının yeterli olup olmadığı kontrol edilmiştir. Kalıpta mesnet yüzeyleri belirlendikten sonra alıştırma yüzeylerinden enjeksiyon makinesinin kapama kuvveti (1200 kN), ürün yüzeylerinden ise enjeksiyon basıncı (127 bar) etki ettirilmiş ve gerilme analizi ile şekil değiştirme oranları irdelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre dişi kalıpta maksimum şekil değiştirme miktarı 0.0061mm iken erkek kalıpta ise şekil değiştirme miktarı 0.051mm olarak görülmektedir. Bu durumda kalıp kapandığında 0.051mm boşluk oluşması enjeksiyon esnasında bir sorun oluşturmayacağı öngörülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak dişi kalıpta soğutma tasarımına zarar vermeyecek şekilde kalıp kalınlığını azaltmanın maliyeti düşürmek adına faydalı olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan erkek kalıpta malzeme kalınlığı yeterli görülmektedir. Eğer malzeme kalınlığı azaltılırsa kalıpta daha büyük şekil değiştirmeler meydana gelebilir. Bu durumda özellikle alıştırma yüzeyinde oluşacak boşluklardan plastiğin çapak oluşturması söz konusu olabilecektir. Gerilme analizi sonuçlarından elde edilen bilgilerde dişi kalıbın gösterdiği maksimum gerilme  $71.89 \text{ N/mm}^2$ , erkek çeliğin ise  $640 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmüştür. 1.2344 malzemesinin akma sınırı  $2100 \text{ N/mm}^2$  olduğu için çelik kalınlıklarında dayanımla ilgili bir problem olmadığı görülmüştür.

Yapılan bu analizler doğrultusunda gerekli tadilatlar kalıp imalatından önce yapılarak, zaman ve maliyet kaybı düşürülmüştür. Kalıp tamamlanıp ilk baskılar alındığında analiz programlarının sonuçları ile elde edilen baskılar karşılaştırılmış ve genel olarak bu analiz programlarının bize gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Gerçek baskıda doldurma analizinde görülenden farklı bir akış olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise henüz analiz programlarında yüzey pürüzlülüğü ve giriftliğinin hesaba katılmıyor olmasıdır. Akışkan yolluk girişinden girdiği anda duvara çarpmakta ve yayılmaktadır. Orta bölge daha girift ve yüzey akışkanın zor ilerleyeceği kadar pürüzlü olduğu için akışkan kendine bulduğu en kolay yoldan kaçmaktadır. Bu nedenle görülüyor ki analiz programları yüzey işleme hassasiyetlerini göz önünde bulundurabilmiş olsalardı, daha gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek mümkün olacaktı. Ayrıca kalıpcılar için; bu analiz programlarında en önemli olan özellik harenme diye adlandırdığımız izi göstermesidir. Baskı sonuçlarında, alınan önlemler sonucunda analiz sonuçlarında görülen kaynak izlerinin azaltılmasına rağmen harenme izi engellenememiştir. Bu izin ürün boyandığı zaman kaybolduğu görülmüş ve ürün de boyanarak piyasaya verildiği için bir sorun teşkil etmemektedir.

Daha önce yolluk çapı, soğutma çapı, alıştırma yüzeyinin yeterliliği gibi parametreler sadece ampirik hesaplar ile hesaplanmaktayken; artık analiz programları yardımıyla ürünün

geometrisi ve çevresel şartlarda hesaba katılarak daha somut veriler elde edilmektedir. Ve bu sorunların yaşanmadan çözümlmesine olanak sağlamaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Akkurt, S., (1995), Plastik Malzeme Teknolojisi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul
- Akkurt, S., Kılıç A.R., (Aralık 1999), Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi I, Makine-Metal Teknolojisi Dergisi
- Akyüz Ö.F., (1993), Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, İstanbul
- Alkaya, A.R., (1998), Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Anapa, H., (2003), Plastiklerin Gaz Enjeksiyon Metodu ile Üretiminde İşlem Parametrelerinin Tasarım ve İmalata Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Annareddy, M., (Nisan 2005), “Working with Moldflow CAD Doctor”, Flowfront, 24-25
- Berins, M., (1991), Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Van Nostrand Reinhold, New York
- Bucaklıgil, C., (1998), Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Charrier, J.M., (1997), Polymeric Materials and Processing, Hanser Publisher
- Dubay, R., (Haziran 2001), “Predictive Control of Cavity Pressure During Injection Filling”, The Journal of Injection Molding Technology, 5/2:72-79
- Esenlik, M., (2001), Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Göloğlu, C. ve Öztürk, A., (2005), Pro/Engineer Wildfire 2.0 Tasarım/Analiz/İmalat, Seçkin Yayınevi, Ankara
- Hoffmann, S. ve Michaeli, W., (Haziran 2001), “Predictive Control of Cavity Pressure During Injection Filling”, The Journal of Injection Molding Technology, 5/2:98-104
- Injection Handbook, (1988)
- Injection Moulding Mini Guide, GE Plastics
- Kamber, Ö.Ş., (2003), Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Bilgisayarla Tasarımı ile Pratikteki Farklılıklarının Karşılaştırılması ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Karadağ, H., (1994), Plastik Kalıpcılığın Esasları, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kumaşdere, İ., (2005), Pro/Engineer Wildfire 2.0, Uygulamalı Tasarım ve Analiz, İber Bilişim Sistemleri, İzmir
- McGraw-Hill, (1992), Modern Plastic Encyclopedia, New York
- Menges, M., Mohren, P., (2001), How To Make Injection Molds, Hanser Publisher, München
- Öz, U., (1997), Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Öztop, Ü., (2003), Plastik Enjeksiyon Kalıp Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans

Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Rees, H., (2001), Understanding Injection Mold Design, Haser Publisher

Suresh, S., (1997), Gas Assisted Injection Molding: a technology overview, Journal of Injection Moulding Technology 1, 21-26

Şafak, D., (2001), Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarım Bakımından İncelenmesi ve Uygulamalı Tasarım Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Şeker, C., (1999), Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Tamer, M., (1994), Plastik Enjeksiyon Makineleri ve Plastik Kalıpları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul

Topbaş, A., (1998), Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayıncılık, İstanbul

Turaçlı, H., (1999), Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri, Pagyay Yayıncılık, İstanbul

Turaçlı, H., (2000), Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, Pagyay Yayıncılık, İstanbul

Yaşar, H., (1992), Plastikler Dünyası, TMMOB Makine Mühendisler Odası Yayınları, 142, Ankara

Yurci, M.E., Plastik İmalat Teknolojisi, Malzemeler ve Hatalar, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Seminer Notları, İstanbul

[www.celikmetal.com.tr](http://www.celikmetal.com.tr)

[www.geoplastics.com](http://www.geoplastics.com)

[www.infoma.biz](http://www.infoma.biz)

[www.moldex3d.com](http://www.moldex3d.com)

[www.moldflow.com](http://www.moldflow.com)

[www.ptc.com](http://www.ptc.com)

[www.umtas.com.tr](http://www.umtas.com.tr)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	20.03.1979	
Doğum yeri	Denizli	
Lise	1989-1996	Şanlıurfa Anadolu Lisesi
Lisans	1996-2000	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurum(lar)**

2000-2004	Karel Kalıp A.Ş.
2004-2005	Takosan A.Ş.
2005-Devam ediyor	Viko A.Ş.