

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA AKIŞ  
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mak. Müh. Serap SÖZER**

**106426**

**F.B.E Makine Malzemesi ve İmalat Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

*Prof. Dr. MEHMET EMİN YURCI*

*Prof. Dr. AYŞEGÜL AKDOĞAN*

**Tez Danışmanı**

**: Prof. Mehmet Emin YURCI**

*PROF. DR. NİŞAN SÖNMEZ*

**İSTANBUL, 2001**

**Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

106426

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. PLASTİKLERİN AKIŞININ ANALİZİ .....	2
2.1 Polimerlerin Genel Davranışı .....	2
2.2 Newtonien Akışkanların Kanallarda İzotermal Akışı .....	4
2.3 Newtonien Akışkanın Uniform Dairesel Kesitli Kanallar Boyunca Akışı .....	5
2.4 Paralel Yüzeyler Arasındaki Newtonien Akışkanın Akışı .....	7
2.5 Newtonien Olmayan Akışkanlar İçin Kanallarda İzotermal Akış .....	10
2.6 Uniform Dairesel Kesitli Kanal Boyunca Güç Kanunu Akışkanının Akışı .....	11
2.7 Paralel Yüzeyler Arasında Güç Kanunu Akışkanının Akışı .....	12
2.8 Üniform Olmayan Kanallarda İzotermal Akış .....	14
2.8.1 Koni-Silindirik Kanallardaki Akış .....	14
2.9 Kaymadan Dolaylı Basınç Düşmesi $P_s$ .....	15
2.10 Uzayan Akış Mesafesinden Dolaylı Basınç Düşmesi $P_E$ .....	15
2.11 Kalıp Girişindeki Basınç Düşmesi $P_0$ .....	17
2.12 Kama Şekilli Kanalda Akış .....	19
3. ENJEKSİYON BASINCI .....	20
3.1 Enjeksiyon Basıncı Etkisi .....	20
3.2 Enjeksiyon basıncı ile parça kalınlığı .....	21
3.3 Doldurma Zamanına Göre Enjeksiyon Basıncı .....	22
3.4 Enjeksiyon Basıncı Ve Malzeme Seçimi .....	22
3.5 Ergiyik Ve Kalıp Duvarı Sıcaklığının Enjeksiyon Basıncı İle İlişkisi .....	23
3.6 Enjeksiyon Basıncı Ve Ergiyik Hızı .....	23
3.7 Ergiyiğin Ön Bölgesi Moleküler ve Fiber Oluşumu .....	25
4. YOLLUK DİZAYNI VE DENGELEME .....	26
4.1 Kavite Sayısı .....	26
4.2 Yolluk Sistemlerinin Düzenlenmesi .....	27
4.3 Yolluk Giriş Ağızı ( Sprue ) .....	28
4.4 Yolluk Kesitleri .....	29
4.5 Yolluk Ölçüleri .....	30

4.6	Kalıp İçerisindeki Yolluk Düzeni .....	32
5.	GEÇİT TASARIMI .....	35
5.1	Geçit Tipleri .....	35
5.2	Otomatik Olarak Temizlenen Geçitler .....	38
6.	SOĞUTMA SİSTEMİ .....	39
6.1	Soğutma - Kanal Konfigürasyonu .....	40
6.2	Baffle, bubbler, ve Thermal Pim .....	41
6.2.1	Reynolds Sayısı .....	44
7.	PARÇA HATALARI .....	47
7.1	Kendini ekme .....	47
7.2	arpılma .....	48
7.3	Jetting .....	50
7.4	Hava Boşlukları .....	52
7.5	Duraksama .....	53
7.6	Kısa Vuruş ( Short Shot) .....	54
7.7	Birleşme izleri, soğuk Kaynak ( Weld Lines ) ve Sıcak Kaynak ( Meld Lines ) Hatları .....	55
7.8	ukurluklar Ve Boşluklar .....	57
7.9	Akış İzleri .....	58
7.10	Yüzeyde gümüşi izler .....	59
7.11	Yanık izleri .....	60
7.12	Soyulma .....	61
7.13	Dalgalanma .....	61
7.14	apaklanma .....	62
8.	ENJEKSİYON MAKİNASI, SİSTEMİ VE OPERASYONLAR .....	64
8.1	ENJEKSİYON SİSTEMİ .....	64
8.2	Kalıp Sistemi .....	66
8.3	Soğutma kanalları .....	66
8.4	Hidrolik sistem .....	66
8.5	Kontrol sistemi .....	66
8.6	Kapama Sistemi .....	66
8.7	Enjeksiyon Kalıplama Sistemi .....	67
8.7.1	Karşı Basınç .....	67
8.7.2	Enjeksiyon Hızı .....	68
8.7.3	Enjeksiyon Makinasının Enjeksiyon Kısımındaki Hidrolik Basıncı .....	68
8.7.4	Malzemenin Etkisi .....	69
8.7.5	Sıcaklığın Etkisi .....	69
8.7.6	Malzemenin Sıcaklığı .....	69
8.7.7	Kalıp Sıcaklığı .....	69
8.7.8	Parça Şeklinin Etkisi .....	70
8.7.9	Parçanın Cidar Kalınlığının Etkisi .....	71
8.7.10	Parçanın Ağırlığının Etkisi .....	71
8.7.11	Yolluk Sisteminin Etkisi .....	71
8.7.12	Enjeksiyon Nozülünün Etkisi .....	71
8.7.13	Enjeksiyon Takımlarının Yüzey Kalitesinin Etkisi .....	72
9.	ENJEKSİYON İŞLEM ŞARTLARININ AYARLANMASI .....	73

9.1	Ergiyik Sıcaklığının Ayarlanması .....	73
9.2	Karşı Basıncın Ayarlanması .....	73
9.3	Kalıp Sıcaklığının Ayarlanması .....	73
9.4	Enjeksiyon Hızının Makinanın Maksimum Değerine Ayarlanması .....	73
9.5	Tutma Zamanının Ayarlanması.....	74
9.6	Kalıp Açma Zamanının Ayarlanması .....	74
9.7	Tutma Basıncının Ayarlanması.....	74
9.8	Kalıp Kapama Kuvveti .....	75
10.	UYGULAMALAR.....	78
10.1	Enjeksiyon kalıplamada bilgisayar destekli mühendisliğin (CAE) önemi .....	87
11.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	95
	KAYNAKLAR.....	97
	ÖZGEÇMİŞ .....	98



## SİMGE LİSTESİ

A	Alan ( $m^2$ )
$\sigma$	Çekme gerilmesi ( $N/m^2$ )
$\epsilon'$	Çekme gerinimi hızı ( $s^{-1}$ )
E	Çekme modülü ( $Ns/m^2$ )
Q	Debi ( $m^3/s$ )
$D_H$	Hidrolik çap (mm)
V	Hız (m/s)
$\tau$	Kayma Gerilmesi ( $N/m^2$ )
$\gamma'$	Kayma gerinimi hızı ( $s^{-1}$ )
$\eta$	Kayma viskozitesi ( $Ns/m^2$ )
G	Kayma modülü ( $Ns/ m^2$ )
$P_0$	Kalıp genişindeki basınç düşmesi ( $MN/m^2$ )
$P_s$	Kaymadan dolayı basınç düşmesi ( $MN/m^2$ )
$\nu$	Kinematik viskozite ( $m^2/s$ )
Re	Reynolds sayısı
$P_E$	Uzamış akıştan dolayı basınç düşmesi ( $MN/m^2$ )
$\rho$	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )
g	Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil.2.1- Kayma gerilmesi $\tau$ ve kayma gerinim hızı $\dot{\gamma}$ arasındaki bağıntı .....	2
Şekil 2.2 Polimer için kayma gerilmesi ile viskozitenin değişimi ( Plastik Engineering ) .....	3
Şekil 2.3 Polimer ergiyik için tipik akış nitelikleri ( Plastik Engineering ) .....	4
Şekil 2.4 Dairesel kesitli kanal boyunca akışta bir hacim elemanına etki eden kuvvetler .....	5
Şekil 2.5 Paralel yüzeyler arasındaki akışta hacim elemanına etki eden kuvvetler .....	8
Şekil 2.6 Koni silindirik kanalda akış elemanına etkiler .....	14
Şekil 2.7 Kama kesitli kanal .....	19
Şekil 3.1 iletim sistemi ve kavite boyunca basıncın azalması ( C-MOLD ) .....	20
Şekil.3.2 Değişik geçit yerleşiminin enjeksiyon basıncına etkisi ( C-MOLD).....	21
Şekil 3.3 Soğutma zamanları ve enjeksiyon hızlarının karşılaştırılması .....	22
Şekil 3.4 İstenilen enjeksiyon basıncına göre enjeksiyon hızı .....	24
Şekil 3.5 EÖB ve EUH (C-Mold) .....	24
Şekil 4.1 Yolluk sistemleri.....	27
Şekil 4.2 Yolluk giriş ağzı ölçüleri.....	28
Şekil 4.3. En çok kullanılan yolluk kesitleri .....	29
Şekil 4.4 Hidrolik çaplar (C-MOLD) .....	30
Şekil 4.5 Bazı plastik malzemeler için yolluk çapı diyagramları.....	31
Şekil 4.6 Yolluk uzunluğunun ve uzunluk katsayısının çap üzerindeki etkileri .....	31
Şekil 4.7 Değişik enjeksiyon hızlarında kavite dolumu .....	33
Şekil 5.1 Geçit tipleri.....	38
Şekil 6.1 Enjeksiyon kalıbı için tipik bir soğutma sistemi .....	39
Şekil 6.2 Soğutma kanal konfigürasyonları .....	40
Şekil 6.4 Spiral baffle ve helis baffle .....	42
Şekil 6.5 Thermal pimin ısı transfer verimi .....	42
Şekil 6.6 Hava ve iletken metal ile soğutma.....	43
Şekil 6.7 Çift helisli bubbler .....	43
Şekil 6.8 Soğutucu kanal çapı için ölçüler.....	45
Şekil 6.9 Akış tipleri.....	46
Şekil 6.10 Soğutma sistemlerinde akışın türbülanslı akış.....	46
Şekil 7.1 Proses ve dizayn parametrelerinin kendini çekmeye olan etkileri.....	47
Şekil 7.2 Parçada uniform olmayan soğutmadan dolayı meydana gelen çarpılma.....	48
Şekil 7.3 Kendini çekme.....	49
Şekil 7.4 Kesitler arası geçiş.....	49
Şekil 7.5 Boşluk ve çöküntü .....	50
Şekil 7.6 Jetting olayında akış.....	51
Şekil 7.7 Geçit tipi-jetting.....	51
Şekil 7.8 İlerleme hızı.....	52
Şekil 7.9 Hava kabarcığının oluşumu.....	53
Şekil 7.10 Duraksama.....	54
Şekil 7.11 Geçit yerinin değiştirilmesi ile duraksamanın önlenmesi .....	54
Şekil 7.12 Kısa vuruş.....	55
Şekil 7.13 Sıcak ve soğuk kaynak hatlarının oluşumu .....	56
Şekil 7.15 Akış izleri .....	58
Şekil 7.16 Parça üzerinde gümüşü izler.....	59
Şekil 7.17 Yanık izleri.....	60
Şekil 7.18 Yüzeyde soyulma.....	61
Şekil 7.19 Dalgalanma oluşumu.....	62
Şekil 7.20 Çapaklanma .....	62
Şekil 8.1 Enjeksiyon makinası .....	64
Şekil 8.2 Enjeksiyon sistemi .....	65

Şekil 8.3 Enjeksiyon vidası, İlerleme bölgesi, dönüştürme bölgesi, dozaj bölgesi.....	65
Şekil 8.4 Enjeksiyon kalıplama sistemi .....	67
Şekil 9.1 Kalıp Kapama Analizi.....	75
Şekil 9.3 Kalıp kapanma kuvvetinde tutma basıncının etkisi (C-MOLD) .....	77
Şekil 10.1 Parçanın üç boyutlu görünüşü .....	78
Şekil 10.2 Parçanın izometrik olarak üç boyutlu görünüşü .....	78
Şekil 10.3 Soğutma kanalları .....	79
Şekil 10.4 Soğutma kanallarının yerleşimi .....	79
Şekil 10.5 Cidar Kayma gerilmesi .....	80
Şekil 10.6 Cidar kayma gerilmesinin tüm parça üzerinde görünümü .....	80
Şekil 10.7 Enjeksiyon hızı .....	81
Şekil 10.8 Enjeksiyon basıncı .....	81
Şekil 10.9 Tam dolumdan sonraki basınç .....	82
Şekil 10.10 Yüzdesele toplam ağırlık .....	82
Şekil 10.11 Ergiyiğin ilerlemesi.....	83
Şekil 10.12 Donmuş tabaka oluşumu .....	83
Şekil 10.13 Parça dolumu esnasında donmuş tabaka oluşumu .....	84
Şekil 10.14 Kalıp kapama kuvveti .....	84
Şekil 10.15 Dolumdan sonraki sıcaklık dağılımı .....	85
Şekil 10.16 Belirli bir zaman dilimindeki sıcaklık dağılımı .....	85
Şekil 10.17 Ortalama hız .....	86
Şekil 10.18 Hava kabarcıkları.....	86

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Değişken Sıcaklıklarda ki Enjeksiyon Basıncı .....	23
Çizelge 4.1 Parça ağırlığına göre yolluk giriş ağız çapı .....	29
Çizelge 6.1 Reynolds sayısına göre akış tipleri.....	44
Çizelge 8.1 Enjeksiyon kalıplamada en çok kullanılan malzemeler için işleme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı kendini çekme ve gerekli enjeksiyon basınç değerleri .....	70
Çizelge 9.1 Kalıp ve ergiyik sıcaklıkları .....	74



## **ÖNSÖZ**

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarında akış karakteristikleri incelenmiş ve parça kalitesi üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Tezin yazımında uygulamalı olarak C-MOLD plastik akış analiz programından faydalanılmıştır.

Analizlerin yapılmasını sağlayan, Sayın Bülent ÖNALIR ve İNFOTRON A.Ş Uygulama Mühendisi Sayın U. Deniz ÖZDEMİR 'e yardımlarından dolayı, Tez danışmanın Sayın Hocam Prof. M.Emin YURCI'ye yapmış olduğu destek ve göstermiş olduğu özveriden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ekim,2001

Serap SÖZER



## ÖZET

Plastik malzemelerden imal edilmekte olan çeşitli parça ve mamuller günümüzde, otomotivden beyaz eşyaya, oyuncaktan elektronik sektörüne kadar tüm alanlara girmiş ve yoğun bir kullanım alanına sahip olmuştur. Böylesine çok talep edilen bir mühendislik malzemesi olması dolayısıyla, plastiğin biçimlendirilme yöntemleri üzerinde yoğun araştırmaların yapılması bir zorunluluk haline gelmiş ve günümüze kadar bu alanda büyük gelişmeler kaydedilmiş bulunmaktadır. Halen bu gelişmelerin sürdüğü; sık sık yeni malzeme türlerinin lanse edildiği ve plastik malzeme üretim prosesleri ile parça ve profil imalatında aşamalar kaydedildiği bilinmektedir.

Plastik mamul üretiminde en popüler imalat yöntemlerinden bir tanesi enjeksiyon metodudur. Enjeksiyon metodu, plastiğin uygun sıcaklıkta ergiyik haline getirilmesi, bunun belli bir basınçta kalıba basılması ve kalıbın soğutulmasıyla mamulün kalıptan dışarı alınmasından meydana gelen bir işlem topluluğu olarak tanımlanabilir. Enjeksiyon makinası, Kalıp soğutma ve havalandırma sistemleri, sıcak ve soğuk yolluk sistemleri gibi bir çok ana ve yardımcı ekipman söz konusu proseste önemli rol oynarlar.

Plastik parça imalatında en çok uygulanan yöntem enjeksiyon olduğundan, bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarındaki malzeme akışımı etkileyen karakteristikler ve bunların parça kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Viskozite, Kayma Gerinim hızı, Kayma Gerilmesi, Enjeksiyon Basıncı, Reoloji

## **ABSTRACT**

Many pieces and products made of plastic materials are used nowadays in every sector from electronics, automotive to toys and has possessed a very intense using field. As it is requested much as an engineering material, researches an plastic processing methods has become an asset and up to day many developments has been observed.

The most preferred method in plastic manufacturing is plastic injection , characteristics effecting material flow and the effect of this product quality is investigated in this project.

Injection method can be explained as series of process which includes melting the material in the appropriate heat level chosen according to the plastic material, ejection of this material in to the mold under determined pressure and extracting the product by cooling the mold. In this process many main and auxiliary equipments, such as injection machine, mold cooling and venting systems, cold and hot runner systems and pushing systems have a great role. During the use of these equipments obtaining the synchronization is very important for producing a perfect product and shortening the cycle periods. By this way decreasing the costs is also intended.

Parameters as reologic qualifications of polimer known as viscosity, viscoelastic behavior of polimer, appropriate process temperature, injection pressure, holding pressure, packing pressure, runner systems, cooling systems and application times in process, holding and cooling times, has a great role in flow characteristics in injection molding .

**Keywords:** Viscosity, shear stress , shear strain, injection pressure, reology

## 1. GİRİŞ

Ergimiş termoplastik malzeme viskoz sıvıların ve elastik katıların kombinasyonu olan viskoelastik bir davranış sergilemektedir. Viskoz sıvının akışı esnasında sarf edilen enerji, öncelikle elastik katıda enerji depolanmasına ve daha sonrada deformasyona neden olmaktadır. Bu esnada, malzemenin ekstrüder içindeki iç ve dış sürtünmeleri ile viskoz ısınma meydana gelmektedir. Viskoz ısınma, prosesi oluşturan diğer parametrelere bağlı olarak, bazı hallerde istenmekte bazen de istenmemektedir. Ergiyik halindeki termoplastik kalıp içerisinde akarken ergiyiğin tüm molekülleri birbirlerine göre kayma ve uzama akışları sergileyerek bir akış tabakası meydana getirmektedir. Moleküller kendi aralarındaki kayma dayanımlarını yenerek, birbirlerinin üzerinden kaymak suretiyle akış olayını gerçekleştirmektedir. Burada kayma gerilmesinin  $\tau$ , kayma gerinim hızına  $\dot{\gamma}$  oranı viskozitenin bir tanımı olmaktadır. Bu şekilde ortaya bir ısıda çıkmaktadır ki bu da viskoz ısınma anlamına gelmektedir. Uygulanan enjeksiyon basıncı artarsa, hız da artacağından kayma gerinim hızı  $\dot{\gamma}$  ve kayma gerilmesi  $\tau$  artacak ve buna bağlı olarak malzeme sıcaklığı da yükselecektir. Bu kez yükselen sıcaklıktan dolayı enjeksiyon basıncında düşmeler meydana geleceğinden, kalıbı tam olarak doldurup parçanın ölçü ve biçim stabilitesini sağlayabilmek için daha yüksek enjeksiyon ve tutma basınçlarının ve tutma sürelerinin uygulanmasına ihtiyaç doğacaktır. Dolayısıyla enjeksiyon parametrelerinin tümü ile ilgili düzenlemeleri plastiğin viskoelastik davranışı tayin etmiş olmaktadır. Genelde, polimer malzemelere uygulanan imalat yöntemlerinin tümü; ısıtma, şekillendirme ve soğutma olmak üzere üç ayrı kademeyi kapsamaktadır. Plastik malzemelerin bir çoğu içinde, üniform veya konik formlar da ve çok ince dikdörtgen kesitlerdeki, matrislerden akış prosesinin uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden söz konusu matris kanallarından Newtonien akış ile ilgili olarak plastiklerin akışını tanımlayan ilk teori geliştirilmiş bulunmaktadır.

Çalışmanın amacı plastik malzemelerin reolojik özellikleri ve etkilerinin ele alınarak kalıp içerisindeki ergiyik malzemenin akışının incelenmesidir. Akışın incelenmesi için C-MOLD Akış analizi programından faydalanılmış, uygulama örneği bu program üzerinde gerçekleştirilmiştir.

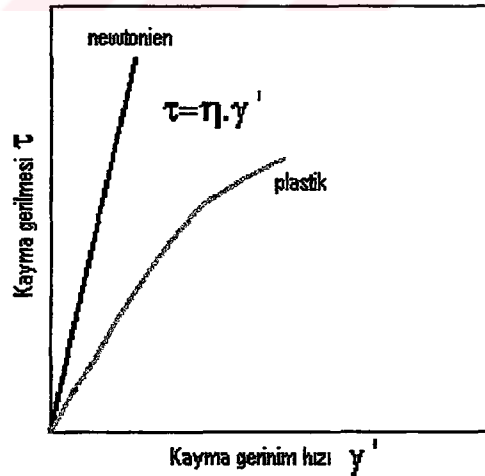
## 2. PLASTİKLERİN AKIŞININ ANALİZİ

Genelde, tüm plastik mamullerin üretim metodları, plastiklerin ısıtılması, şekillendirilmesi ve soğutulması olmak üzere üç kademeyi kapsamaktadır. Birçok plastik mamul üretim metodu, pratik bilgiler deneyimler sayesinde elde edilmişlerdir. En çok da deneme ve yanılma metodu kullanılmıştır.

Bir çok plastik malzemenin üretim metodu uniform veya konik olan formlarda, çok ince veya dar dikdörtgen kesitlerde, akışı gerekmektedir. Bu yüzden bu kanallarda Newtonian akış için ilk teori geliştirilmiştir. Newtonian olmayan durumlarda düşünülmüş, her ne kadar matematiksel olarak biraz fazla kompleks olsa da analiz içerisinde başlangıç için bir basamak olarak görülmüştür.

### 2.1 Polimerlerin Genel Davranışı

Akışkanda, kayma gerilmesinin  $\tau$ , kayma gerinim hızına  $\dot{\gamma}$ , oranı ; kayma viskozitesi olarak  $\eta$  olarak adlandırılmaktadır. İdeal newtonian akışkanda viskozite bir malzeme sabiti olarak kabul edilmektedir. Plastikler için viskozite, kayma gerilmesine, kayma gerinim hızına ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Plastikler için kayma gerilmesi ve kayma gerinim hızı arasındaki bağıntı (Şekil.2.1) 'de gösterilmektedir.

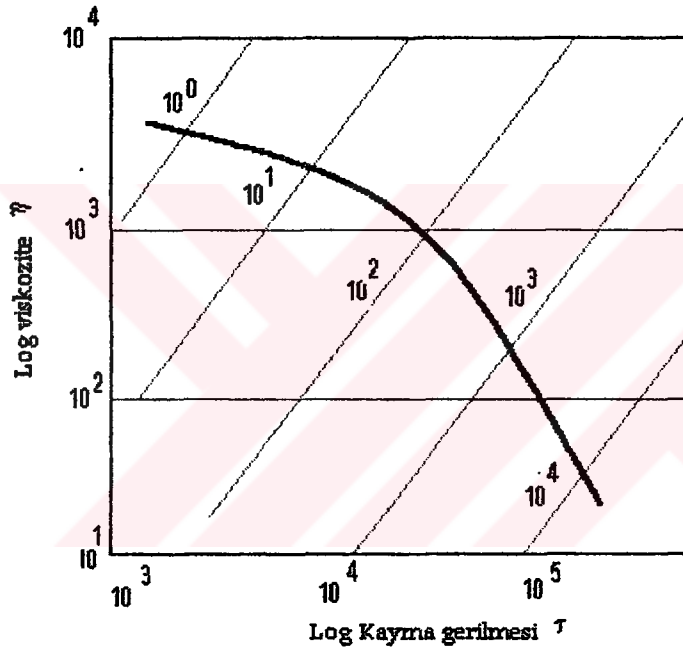


Şekil.2.1- Kayma gerilmesi  $\tau$  ve kayma gerinim hızı  $\dot{\gamma}$  arasındaki bağıntı (Plastic Engineering)

Şekil 2.1'de olarak kayma gerilmesi  $\tau$  ve kayma gerinim hızı  $\dot{\gamma}$  için en uygun ve yararlı

olacak başlangıç noktası seçilmiş bulunmaktadır. Bu durum katılar için gerilme-gerinim karakteristiklerine benzemektedir. Yeniden düzenleme yapılmasıyla istenilen viskozite değerine karşılık gelen kayma gerilmesi değeri Şekil.2.2'de gösterilmektedir. Logaritmik skalada, onluk ifadelerle kayma gerilmesi ve viskozite arasındaki değişim belirtilmiş, sabit kayma gerinim hızı hatları da hızlı referans için çizilmiştir. Viskozite noktasına karşılık gelen kayma gerinim hızı, polimer ergiyiğin akışının karakterizasyonu için kullanılmaktadır.

Üniform olan kesitlerde Kanal boyunca bir akış olduğunda , akış sadece kayma gerilmelerini içermektedir. Akışın davranışı kayma gerilmesinin  $\tau$  , kayma gerinim hızına ( $\gamma'$ ) oranı olan kayma viskozitesi ise  $\eta$  ile ifade edilmektedir.



Şekil 2.2 Polimer için kayma gerilmesi ile viskozitenin değişimi ( Plastik Engineering )

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma'} \quad (\text{Ns/m}^2) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 viskoziteyi ifade etmektedir. Kanal kesitinin değişimi ile çekme gerilmesi değişeceğinden, çekme viskozitesinin  $\lambda$  akış hesaplamaları için sık sık hesaplanması gerekmektedir. Çekme gerilmesinin  $\sigma$  , çekme gerinim hızına, oranı  $\epsilon'$  çekme viskozitesini  $\lambda$ , ifade etmektedir.

$$\lambda = \frac{\sigma}{\epsilon'} \quad (\text{Ns/m}^2) \quad (2.2)$$

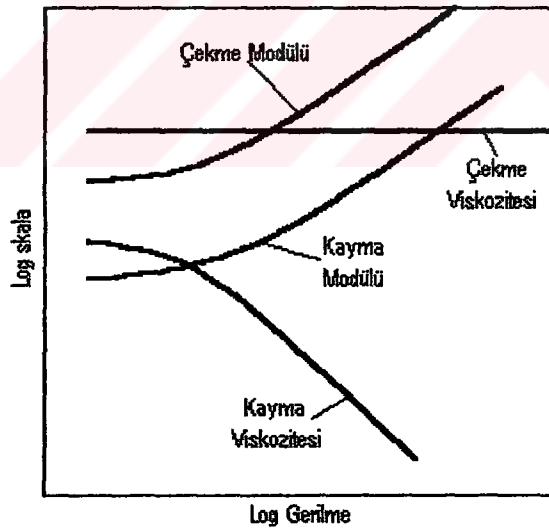
Polimerik ergiyik için çekme vizkozitesi, genelde sabittir ve düşük gerilmelerde yaklaşık kayma vizkozitesinin üç katı değerinde olmaktadır. Plastiklerin viskoelastik bir davranış sergilemesinden dolayı, akışın davranışına etki eden elastik bir parça olarak da kabul edilebilmektedir. Bu yüzden de akışın davranışına bir etkisinin görülmesi söz konusudur. Kayma modülü  $G$  ile ifade edilmektedir ve kanal kesitinin uniform olmadığı durumlarda, çekme modülü  $E$ ' nin de düşünülmesi gerekmektedir.  $\gamma'_R$  ve  $\epsilon'_R$  kayma ve çekme gerinim hızlarının düzenlenmesiyle,

$$G = \frac{\tau}{\gamma'_R} \quad (\text{Ns/m}^2) \quad (2.3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon'_R} \quad (\text{Ns/m}^2) \quad (2.4)$$

İfadeleri elde edilmektedir. Bu iki modül, malzeme sabiti değildir ve tipik değişimleri Şekil 2.3'de gösterilmektedir.

Çekme modülü, düşük gerilmelerde kayma modülünün üç katı olarak düşünülebilir.



Şekil 2.3 Polimer ergiyik için tipik akış nitelikleri ( Plastic Engineering )

## 2.2 Newtonien Akışkanların Kanallarda İzotermal Akışı

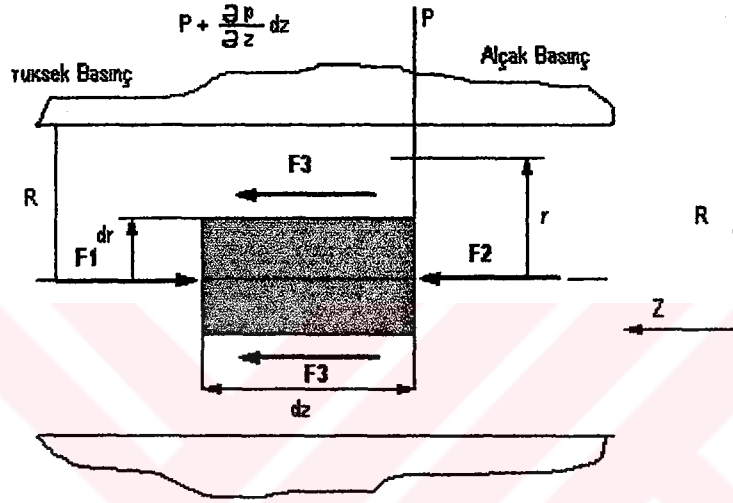
Kanallardaki akışın analizinde şu varsayımlar yapılmıştır.

1. Cidarda kayma yoktur.

2. Ergiyik sıkıştırılmaz.
3. Akış kararlı, laminar ve zaman bağımsızdır.
4. Akış viskozitesi, kanal boyunca basınç değişimiyle etkilenmez.

### 2.3 Newtonien Akışkanın Uniform Dairesel Kesitli Kanallar Boyunca Akışı

Dairesel kesitli kanal boyunca akışın kararlı olduğu düşünülerek etki eden kuvvetler toplamının  $\Sigma F_z = 0$  olması gerekmektedir (Şekil 2.4). Buradan,



Şekil 2.4 Dairesel kesitli kanal boyunca akışta bir hacim elemanına etki eden kuvvetler

$$F_1 = \pi \cdot d_r^2 \left( P + \frac{\partial P}{\partial Z} dz \right)$$

$$F_2 = \pi \cdot d_r^2 P$$

$$F_3 = 2 \pi \cdot d_r \cdot dz \cdot d\tau$$

$$\pi (d_r^2) \cdot P = \pi \cdot d_r^2 \left( P + \frac{\partial P}{\partial Z} dz \right) \cdot 2\pi \cdot d_r \cdot dz \cdot d\tau$$

$$d\tau = \frac{d_r}{2} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)$$

yanıçapın her bir değeri için kayma gerilmesi  $\tau_r$ ,

$$\tau_r = \frac{r}{2} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.5)$$

Basıncın uniform olarak kabul edildiği düşünülmekte, bundan dolayı basınç düşmesi  $P$  için,  $L$  uzunluğunda, cidarda ki maksimum kayma gerilmesi  $\tau_w$ ,

$$r = R \text{ de ;}$$

$$\tau_w = \frac{PR}{2L} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.6)$$

$$\tau = \eta \gamma' = \eta \frac{\partial V}{\partial r} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

(2.5) denkleminin kullanılmasıyla ,

$$\eta \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2} \left( \frac{dP}{dZ} \right)$$

verilerin düzenlenmesiyle ,

$$\int_0^v dV = \int_R^r \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dZ} r dr$$

$$V = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \frac{dP}{dZ} \left( \frac{r^2}{2} - \frac{R^2}{2} \right) \text{ (m/s)}$$

$r = 0$  ,  $V = V_0$  için hız  $V$ ,

$$V_0 = - \frac{1}{4\eta} \frac{dP}{dZ} R^2 \text{ (m/s)} \quad (2.7)$$

$$V = V_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right) \text{ (m/s)} \quad (2.8)$$

debi  $Q$  ,

$$Q = \int_0^R 2\pi r V dr$$

(2.7) denkleminin yeniden düzenlenmesiyle,

$$Q = \int_r^R 2\pi r V_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right) dr = \frac{1}{2} \pi V_0 R^2 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q = - \frac{\pi R^4 P}{8\eta} \frac{dP}{dZ} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.9)$$

Basınç düşmesi uniform ise, düzenlenmiş şekilde debi için aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$Q = \frac{\pi R^4 P}{8\eta L} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.10)$$

2.10 denklemi, kayma gerinim hızı  $\gamma'$  'nın türetilmesine uygun bir hale gelmiştir.

$$\gamma' = \frac{\partial V}{\partial r} \quad \text{'den}$$

$$\gamma' = \frac{\partial}{\partial r} \left[ V_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right) \right] \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.11)$$

cidardaki kayma gerinim hızı  $\gamma'_w$

$$\gamma'_w = \frac{-4Q}{\pi R^3} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.12)$$

elde edilmektedir.

#### 2.4 Paralel Yüzeyler Arasındaki Newtonien Akışkanın Akışı

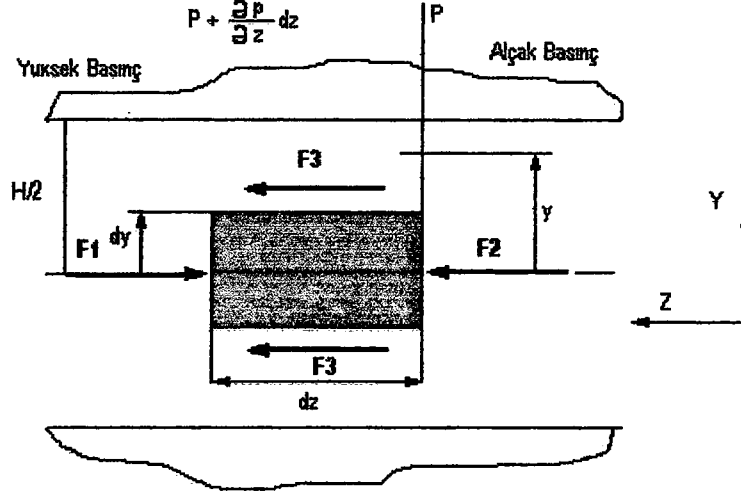
Kuvvetler dengesini sağlamak için z eksenini boyunca kuvvetler toplamı  $\Sigma F_z=0$  olmaktadır (Şekil 4).

Newtonien olmayna akışkan için paralel yüzeyler arasında, akışın gerçekleşmesiyle cidarlardaki kayma gerinim hızı şu şekilde belirlenmektedir.

$$F_1 = \left( P + \frac{\partial P}{\partial Z} dz \right) dy$$

$$F_2 = P dy$$

$$F_3 = d\tau dz$$



Şekil 2.5 Paralel yüzeyler arasındaki akışta hacim elemanına etki eden kuvvetler (Plastic Engineering)

Kuvvetler dengesinden aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$Pdy = (P + \frac{\partial P}{\partial Z} dz)dy - 2\tau dz$$

eşitliğin düzenlenmesiyle aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\frac{1}{2} \frac{\partial P}{\partial Z} dy = d\tau$$

Bu denklemin kayma gerilmesini ( $\tau_y$ ) elde etmek için integrasyonunun alınmasıyla, merkez çizgisinden her  $y$  mesafesindeki kayma gerilmesi değeri,

$$\int_0^{2y} \frac{1}{2} \frac{\partial P}{\partial Z} dy = \int_0^{\tau_y} d\tau$$

$$\tau_y = y \frac{\partial P}{\partial Z} \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.13)$$

denklemlerle ifade edilmektedir.

Basıncın uniform olduğu düşünülerek, ( $\frac{\partial P}{\partial Z} = \frac{\Delta P}{L}$ ) alınabilmektedir. Cidardan  $y = \frac{1}{2}H$

olduğu mesafede  $\tau_w$ ,

$$\tau_w = \frac{PH}{2L} \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.14)$$

formülü elde edilmektedir.

Newtonien akış için kayma gerilmesi,  $\tau$  , aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\tau = \eta \gamma' = \eta \frac{\partial V}{\partial y}$$

(2.13)' ün bu denklemde kullanılmasıyla,

$$\eta \frac{\partial V}{\partial y} = y \frac{\partial P}{\partial Z}$$

verilenlerin integrasyonu ile ,

$$\int_0^y dV = \int_{H/2}^y \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} y dy$$

$$V = \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \left[ y^2 - \left(\frac{H}{2}\right)^2 \right]$$

hız denklemi elde edilmektedir.  $y = 0$  ,  $V = V_0$  'da

$$V_0 = -\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dz} \left(\frac{H}{2}\right)^2 \quad (\text{m/s}) \quad (2.15)$$

$\frac{\partial P}{\partial Z}$  ' in V ifadesi için yerine konulmasıyla

$$V = V_0 \left[ 1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^2 \right] \quad (\text{m/s}) \quad (2.16)$$

debi Q, aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$Q = 2 \int_0^{H/2} TV dy$$

$$Q = 2 \int_0^{H/2} TV_0 \left[ 1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^2 \right] dy = 2TV_0 \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$Q = -\frac{TH^3}{12\eta} \frac{dP}{dZ} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.17)$$

Uniform basınç değeri için debi Q,

$$Q = \frac{TPH^3}{12\eta L} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.18)$$

ifade edilmektedir.

Kayma gerinim hızının  $\gamma'$  ifadesi için, aşağıdaki denklemlerden türetme yapılabilmektedir.

$$\gamma' = \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ V_0 \left( 1 - \left( \frac{2y}{H} \right)^2 \right) \right]$$

$$\gamma' = -\frac{8V_0 y}{H^2} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.19)$$

$$V_0 = \frac{3Q}{2TH} \quad \gamma = \frac{-12Qy}{TH^3}$$

Cidarda kayma gerinim hızı  $\gamma'_w$ ,

$$Y = H/2$$

$$\gamma'_w = -\frac{6Q}{TH^2} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.20)$$

Bu denklemlerin, paralel yüzeyler arasındaki akış ve dairesel halka şeklinde kanallar boyunca akış için uygulanabilmesi mümkündür.

## 2.5 Newtonien Olmayan Akışkanlar İçin Kanallarda İzotermal Akış

Newtonien olmayan akışkanlar, kayma gerilmesi  $\tau$  ve kayma gerinim hızı  $\gamma'$  arasındaki analize çok uymaktadır.

$$\eta = \eta_0 \left[ \frac{\gamma'}{\gamma'_0} \right]^{n-1} = \eta_0 \left[ \frac{\tau}{\tau_0} \right]^{(n-1)/n} \quad (2.21)$$

$\gamma'_0$  ve  $\tau_0$ , kayma gerinim hızı ve kayma gerilmesi değerlerinin verildiği durumda viskozite (2.21) formülü ile elde edilebilmektedir. n güç kanunu indeksidir ve genellikle değeri 0,3 alınmaktadır. Formül (2.21)'in aşağıdaki şekilde düzenlenerek,

$$\frac{\gamma'}{\gamma'_0} = \left[ \frac{\tau}{\tau_0} \right]^{1/n} \quad \text{veya} \quad \tau = \tau_0 \left[ \frac{\gamma'}{\gamma'_0} \right]^n$$

ve  $\gamma'_0 = 1$  olarak alınarak  $\tau = \tau_0 \gamma'^n$  denklemi elde edilmektedir.

Güç kanunu ( Power Law ) bu ifadelerin düzenlenmiş formudur. Proses boyunca, tecrübe edilmiş kayma gerinim hızları aralığı için, polimer malzemenin bu basit kanunu sağladığı rastlantı olarak bulunmuştur.

## 2.6 Uniform Dairesel Kesitli Kanal Boyunca Güç Kanunu Akışkanının Akışı

Dairesel kesitli kanallar için kuvvetlerin dengesi, denklem ( 2.5 )' i türetmek için gereklidi. Türetilen bu denklemin her akışkanın analizi için başlangıç noktası olarak kullanılabilmesi mümkün olmaktadır.

$$\tau = \frac{r}{2} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$\tau = \eta \gamma' = \eta \left( \frac{\partial V}{\partial r} \right)$$

Buradan,

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2\eta} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)$$

$$\eta = \eta_0 \left[ \frac{\gamma'}{\gamma'_0} \right]^{n-1} = \eta_0 \left[ \frac{\partial V / \partial r}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}$$

Buradan

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2\eta_0 \left[ \frac{\partial V / \partial r}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}} \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)$$

$$\left( \frac{\partial V}{\partial r} \right)^n = \frac{r (\dot{\gamma}_0)^{n-1}}{2\eta_0} \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)$$

$r$ ' deki hız  $V$ ,  $R$  'deki hız  $0$  değerlerinin yerine konulmasıyla,

Her radyüsdeki hız şu şekilde ifade edilmektedir.

$$V_0 = - \left( \frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}'_0^{(n+1)/n} \left[ \frac{(\partial P) / (\partial Z)}{2\eta_0} \right]^{1/n} R^{(n+1)/n} \quad (2.22)$$

$$V = V_0 \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right] \text{ (m/s)} \quad (2.23)$$

Q debi ise ,

$$Q = \int_0^R 2\pi r V dr = 2\pi V_0 \int_0^R r \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right) \cdot dr \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$Q = \left( \frac{n+1}{3n+1} \right) \pi R^2 \cdot V_0 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (2.24)$$

kayma gerinim hızı da  $\gamma'$ ,

$$\gamma' = \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ V_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right) \right] \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma' = - \frac{\left( \frac{n+1}{n} \right) V_0}{R} \left( \frac{r}{R} \right)^{1/n} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

denklemlerle ifade edilmekte,

duvarlardaki kayma gerinimi hızı  $\gamma'_w$ ,

$$\gamma'_w = - \left( \frac{3n+1}{4n} \right) \cdot \frac{4Q}{\pi R^3} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

ile ifade edilmektedir.

Newtonien akışı ,  $n = 1$  olduğunda güç akışının özel bir durumudur.

## 2.7 Paralel Yüzeyler Arasında Güç Kanunu Akışkanının Akışı

Daha önce ifade edilmiş bulunan (2.5) ve (2.13) denklemleri akışkan türünden bağımsızdır.

$$\tau = \eta \frac{\partial V}{\partial Z}$$

$$\tau = \eta \frac{\partial V}{\partial Z} \text{ ve } \eta = \eta_0 \left( \frac{\gamma'}{\gamma'_0} \right)^{n-1}$$

Buradan,

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \frac{y}{\eta_0 \left[ \frac{\partial V}{\partial y} \right]^{n-1} \gamma'_0} \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \gamma'_0 \frac{(n-1)}{n} y^{1/n} \left( \frac{1}{\eta_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{1/n}$$

y mesafesindeki hız V, H/2 mesafesindeki hız 0 limitleri arasında bu denklemin integralinin alınmasıyla,

$$V = \left( \frac{n}{n+1} \right) \gamma'_0 \left( \frac{1}{\eta_0 \gamma'_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{1/n} \cdot \left[ y^{(n+1)/n} - \left( \frac{H}{2} \right)^{(n+1)/n} \right] \text{ (m/s)}$$

y = 0, V = V<sub>0</sub> 'da

$$V_0 = - \left( \frac{n}{n+1} \right) \gamma'_0 \left( \frac{1}{\eta_0 \gamma'_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{1/n} \cdot \left( \frac{H}{2} \right)^{(n+1)/n} \text{ (m/s)} \quad (2.25)$$

denklemini elde edilmekte, denklemin basit ifadesiyle,

$$V = V_0 \left[ 1 - \left( \frac{2y}{H} \right)^{(n+1)/n} \right] \text{ (m/s)} \quad (2.26)$$

hız denklemini elde edilmektedir.

debi Q ise ,

$$Q = 2T \int_0^{H/2} V \cdot dy \quad \text{(m}^3\text{/s)}$$

$$Q = 2T \int_0^{H/2} V_0 \left[ 1 - \left( \frac{2y}{H} \right)^{(n+1)/n} \right] \cdot dy \quad \text{(m}^3\text{/s)}$$

$$Q = \left( \frac{n+1}{2n+1} \right) T \cdot V_0 \cdot H \quad \text{(m}^3\text{/s)} \quad (2.27)$$

Öncelikle ,

$$\gamma' = \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ V_0 \left[ 1 - \left( \frac{2y}{H} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \right] (s^{-1})$$

$$\gamma' = -V_0 \left( \frac{2}{H} \right)^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left( \frac{n+1}{n} \right) \cdot y^{\frac{1}{n}} (s^{-1}) \quad (2.28)$$

Cidarda kayma gerinim hızının elde edilmesi için  $y = H/2$  ,  $V_0$  'ın denklem (2.27) da yerine konulmasıyla,

$$\gamma'_{\omega} = -\left( \frac{2n+1}{n} \right) \cdot \left( \frac{2Q}{TH^2} \right) (s^{-1}) \quad (2.29)$$

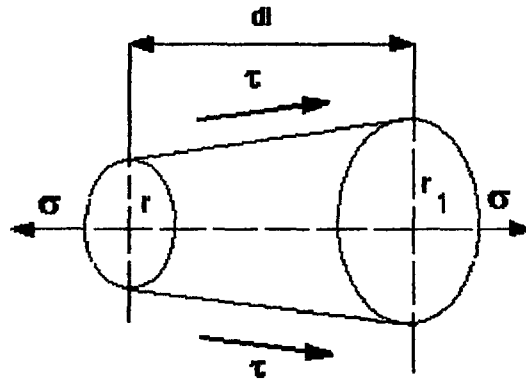
ifadesi elde edilmektedir.

## 2.8 Üniform Olmayan Kanallarda İsothermal Akış

Pek çok durumda ergimiş malzeme kanal boyunca akmaktadır. Konik olan durumlarda ise, çekme gerilmesinin, kayma gerilmesinden etkilenmesi sebebiyle tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. Bu problemin çözümüne ise koni-silindirik kanal boyunca güç kanunu akışkanının akışının analiz edilmesiyle ulaşılabilmektedir.

### 2.8.1 Koni-Silindirik Kanallardaki Akış

Konik kanallarda, giriş etkileri , kayma etkileri , uzamadan dolayı olan etkiler olmak üzere üç faktörün etkileri önemlidir. Koni-silindirik kanalda bir akış elemanı üzerindeki etkiler (Şekil 2.6)' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Koni silindirik kanalda akış elemanına etkiler

## 2.9 Kaymadan Dolayı Basınç Düşmesi $P_s$

Kaymadan dolayı defermasyonun değişik nedenleri ayrılarak, yalnızca kayma gerilmesine bakıldığında kuvvetlerin dengesi düşünülerek ,

$$dP_s \cdot \pi r^2 = 2\pi r dl \sec\theta \cdot \tau \cos\theta$$

$$dP_s = \frac{2\tau}{r} \cdot dl$$

denklemini elde edilmektedir.

Fakat güç kanunu akışı için ,

$$\tau = \tau_0 \cdot \gamma'^n \quad \text{ve} \quad \gamma' = \left( \frac{3n+1}{n} \right) \cdot \frac{Q}{\pi r^3}$$

$$dl = \frac{dr}{\tan\theta} \quad \text{'nın kullanılması ve sonra da ( 2.29 )'in yerine getirilmesiyle ,}$$

$$dP_s = \frac{2\tau_0}{\tan\theta} \left[ \left[ \frac{3n+1}{n} \right] \cdot \frac{Q}{\pi} \right]^n \cdot \frac{dr}{r^{(1+3n)}}$$

bir önceki denklemin integralinin alınmasıyla,

$$P_s = \frac{2\tau_0}{\tan\theta} \left[ \left[ \frac{3n+1}{n} \right] \cdot \frac{Q}{\pi} \right]^n \cdot \int_{R_1}^{R_0} \frac{dr}{r^{(1+3n)}} \quad (\text{MN/m}^2)$$

$$P_s = \frac{2\tau_0}{3n \tan\theta} \left[ \left[ \frac{3n+1}{n} \right] \cdot \frac{Q}{\pi R_1^3} \right]^n \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R_0} \right)^{3n} \right] \quad (\text{MN/m}^2)$$

$$P_s = \frac{2\tau_1}{3n \tan\theta} \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R_0} \right)^{3n} \right] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2.30)$$

kaymadan dolayı basınç düşmesi ifadesi elde edilmiş olmaktadır.

## 2.10 Uzayan Akış Mesafesinden Dolayı Basınç Düşmesi $P_E$

$$dP_E \cdot \pi r^2 = \sigma \left[ \pi \cdot (r + dr)^2 - \pi r^2 \right]$$

$$dP_E = \frac{2\sigma \cdot dr}{r} \text{ ve integrasyonla ,}$$

$$P_E = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2\sigma \cdot dr}{r} \text{ (MN/m}^2\text{)} \quad (2.31)$$

( Kalınlık  $h$ , radyüs  $a$ , açı  $\phi$  ( bir noktaya yaklaşım açısı) )basit geometri uniform yaklaşım için,

$$\tan \phi = \frac{a}{r} \cdot \tan \theta \text{ ve } \frac{dh}{h} = \frac{da}{a}$$

$$\text{çekme gerinimi } (\varepsilon), \varepsilon = \frac{dA}{A}$$

gerinim oranı ( $\varepsilon'$ ),

$$\varepsilon'_a = \frac{1}{\text{area}} \cdot \frac{d(\text{area})}{dt} = \frac{1}{2\pi ah} \cdot \frac{d(2\pi ah)}{dt} = \frac{2}{a} \cdot \frac{da}{dt}$$

$$\frac{da}{dt} = \tan \phi \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{a}{r} \tan \theta \cdot V$$

$V$  akışın hızı, halkanın merkez çizgisine paraleldir. (2.23) ve (2.24) den hız elde edilebilmektedir.

$$V = \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) \cdot \frac{Q}{\pi r^3} \left[ \left( \frac{a}{r} \right)^{(n+1)/n} - 1 \right]$$

$$\varepsilon'_a = \frac{2}{r} \cdot \tan \theta \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) \cdot \frac{Q}{\pi r^3} \left[ \left( \frac{a}{r} \right)^{(n+1)/n} - 1 \right]$$

Ortalama uzama gerilmesi ise aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$\sigma \pi r^2 = \int_0^r \sigma_a \cdot 2\pi a da$$

$\sigma_a = \lambda \cdot \varepsilon'_a$  olarak ifadesiyle

$$\sigma \cdot \pi r^2 = \int_0^r \lambda \varepsilon'_a \cdot 2\pi \cdot a da = \int_0^r \lambda \frac{2}{r} \cdot \tan \theta \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) \cdot \frac{Q}{\pi r^2} \left[ \left( \frac{a}{r} \right)^{(n+1)/n} - 1 \right] \cdot 2\pi \cdot a da$$

$$\sigma = \lambda \cdot \left( \frac{2Q}{\pi r^3} \right) \tan \theta \quad (2.32)$$

(2.31)'de ;

$$P_E = \int_{R_1}^{R_0} \frac{2}{r} \cdot \lambda \left( \frac{2Q}{\pi r^3} \right) \tan \theta dr = \frac{\lambda \tan \theta}{3} \left( \frac{4Q}{\pi R_1^3} \right) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R_0} \right)^3 \right]$$

$$P_E = \frac{2\sigma_1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R_0} \right)^3 \right] \quad (2.33)$$

### 2.11 Kalıp Girişindeki Basınç Düşmesi $P_0$

Ergiyik malzeme, haznesinden, kalıp girişine girdiğinde düz bir akışa ve minimum basınç düşmesine sahiptir. Koni-silindirik geometrilerde, giriş radyüsü  $R_1$  ve çıkış radyüsü  $R_0$  ve iki kenar arasındaki açı  $2\alpha_0$ , olarak düşünüldüğü taktirde,

$$(2.30)'den , \quad P_s = \frac{2\tau_0}{3n \tan \alpha_0} \cdot [1 - X^n]$$

$$(2.33)'ten , \quad P_E = \frac{\lambda \tan \theta}{3} \left( \frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) [1 - X]$$

X yerine bu ifadenin konulmasıyla  $X = \left( \frac{R_0}{R_1} \right)^3$

Basınç düşmesi  $P_1$ , bu şekildeki kalıp için

$$P_1 = P_s + P_E = \frac{a}{\tan \alpha_0} + b \cdot \tan \alpha_0$$

elde edilecektir, a ve b yerine aşağıdaki denklemlerin konulmasıyla,

$$a = \frac{2\tau_0}{3n} [1 - X^n] ; \quad b = \frac{\lambda}{3} \left( \frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) [1 - X]$$

Minimum basınç düşmeleri için, diferansiyel basınç düşmeleri  $\alpha_0$  ile ilgili olarak sıfır olmaktadır.

$$\frac{dP_1}{d(\tan \alpha_0)} = \frac{-a}{\tan^2 \alpha_0} + b = 0 \text{ dan,}$$

$$\tan \alpha_0 = \left(\frac{a}{b}\right)^{1/2}$$

Basıncın minimum değeriyle;

$$P_1 = a^{1/2} \cdot b^{1/2} + a^{1/2} + b^{1/2} = 2a^{1/2} \cdot b^{1/2}$$

Eğer bu prosedür, diğer koni-silindirik kalıplar için tekrar edilirse

$$P_2 = X^{(1+n)/2} \cdot P_1$$

$$P_3 = (X^{(1+n)/2})^2 \cdot P_1 \text{ almır. (Bunun üzerinde)}$$

Toplam giriş basınç kaybı,  $P_0$  ise,

$$P_0 = \lim_{x \rightarrow 1} \sum_{i=1}^{i=\infty} P_i = \frac{2\sqrt{2}}{3} \left( \frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) \cdot \left( \frac{\eta \lambda}{n} \right) \cdot \lim_{x \rightarrow 1} f(x)$$

$$f(x) = [ (1-x^n) \cdot (1-x) ]^{1/2} \cdot [ 1 + x^{(1+n)/2} + (x^{(1+n)/2})^2 + (x^{(1+n)/2})^3 + \dots ]$$

$\eta$  = Viskozitenin kalıp girişinde kayma gerinim hızı ile uygun hale getirilmesiyle,

$$P_0 = \frac{4\sqrt{2}}{3(n+1)} \cdot \left( \frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) (\eta \cdot \lambda)^{1/2} \quad (2.34)$$

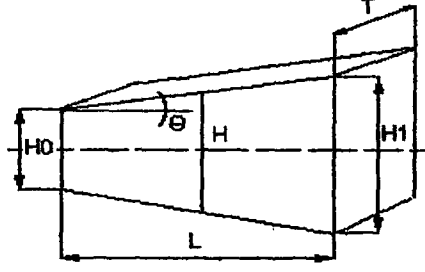
$$\tan^2 \alpha = \frac{2\tau_0}{3n} \cdot \frac{3}{\lambda} \cdot \left( \frac{\pi R_0^3}{4Q} \right) \cdot \lim_{x \rightarrow 1} \left[ \frac{1-x^n}{1-x} \right]$$

$$\tan \alpha_0 = \left( \frac{2\eta}{\lambda} \right)^{1/2}$$

$$(2.32)'den \quad P_0 = \frac{8\sigma}{3(n+1)} \quad (2.35)$$

basınç düşmesi formülü elde edilmiş olacaktır.

## 2.12 Kama Şekilli Kanalda Akış



Şekil 2.7 Kama kesitli kanal

Şekil 2.7' de kama kesitli kalıp için benzer analizin kullanılmasıyla, basınç düşmesi,

$$P_s = \frac{\tau_1}{2n \tan \phi} \left[ 1 - \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^{2n} \right] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2.36)$$

$$P_E = \frac{\sigma_1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^2 \right] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2.37)$$

$$P_o = \frac{4}{(3n+1)} \left( \frac{6Q}{TH^2_o} \right) (\eta \cdot \lambda)^{1/2} \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2.38)$$

Kalıp girişinde kayma gerinim hızı  $\gamma'$  ve viskozitenin  $\eta$  uyumlu hale getirilmesiyle,

$$\gamma' = \left( \frac{2n+1}{n} \right) \cdot \left( \frac{2Q}{TH^2} \right) \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.39)$$

$$\varepsilon' = \left( \frac{\gamma'}{3} \right) \tan \phi \quad (2.40)$$

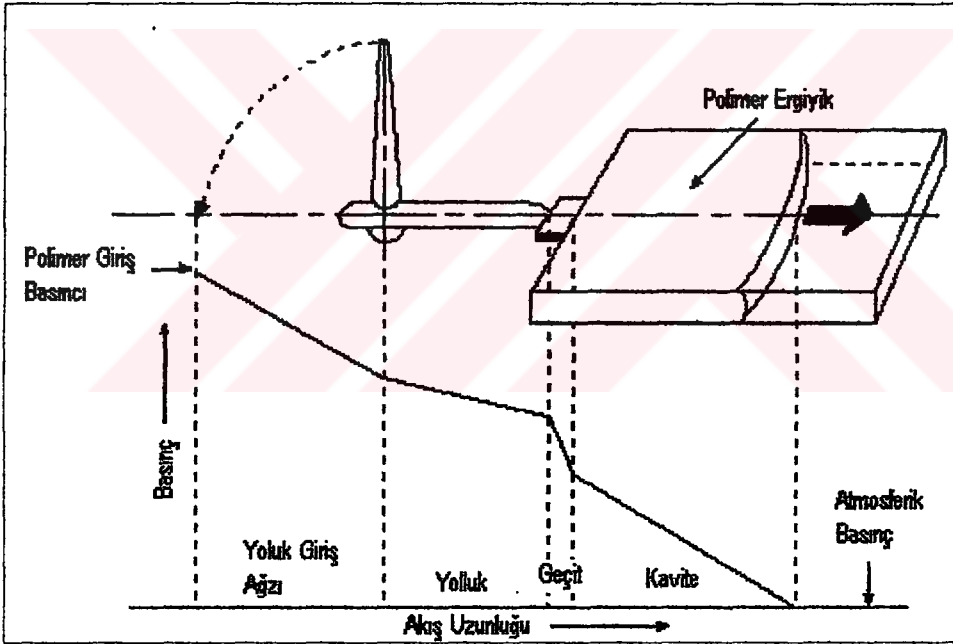
$$\tan \beta_o = \frac{3}{2} \left( \frac{\eta}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (2.41)$$

formülleri elde edilmiş olacaktır.

### 3. ENJEKSİYON BASINCI

Eriyiğin akışı, yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine doğru olmaktadır. (Şekil3.1) de basınç değişim hattı üzerinde en yüksek seviye ile en düşük seviye karşılaştırmalı olarak görülebilmektedir. Enjeksiyon esnasında yüksek basınç, enjeksiyon memesinde meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise polimer ergiyiğin akışa karşı göstermiş olduğu direnç olmaktadır.

Kavitenin havalandırılmasının yapılmış olduğu bölgeye doğru ergiyiğin ilerleyen uç kısmındaki basınç miktarı, basıncın atmosferik basınca yaklaştığı yerde, akış mesafesi boyunca azalmaktadır. Genellikle basınç düşmesi, ergiyiğin akış direnci ile artma eğilimi gösterdiğinden dolayı akış mesafesinin artma miktarı kadar polimer ergiyiğin girişteki basıncının artırılması gerekmektedir, böylelikle istenilen enjeksiyon hızlarını elde etmek mümkün olabilmektedir.

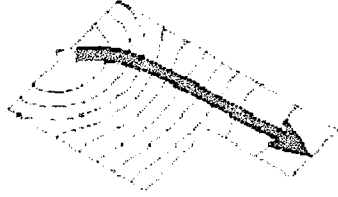




Şekil 3.1 İletim sistemi ve kavite boyunca basıncın azalması ( C-MOLD )

#### 3.1 Enjeksiyon Basıncı Etkisi

Enjeksiyon kalıplarında çeşitli nedenlerden dolayı çoklu geçit sistemlerinin yapılmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda, düşük enjeksiyon basıncı ihtiyacı doğmakta bu da bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Çoklu geçiş sistemlerinde görünür kaynak hatları meydana gelmekte ve muhtemel kaynak hattı oluşumunu önleyebilmek, en azından parça üzerinde arzu edilen bölgede bulunmasını sağlayabilmek için karmaşık yolluk sistemlerinin

tasarımının yapılmasına gerek duyulmaktadır. Dijital ortamda, parça üzerinde akış analizinin yapılması ile bu problemler çözümlenebilmekte, kaynak çizgileri ve hava kabarcıklarının yeri tespit edilebilmekte ve bu bilgilerle en iyi geçit yeri ve oluşması muhtemel kaynak çizgileri için en uygun yerler tespit edilebilmektedir. Aynı zamanda akıştan dolayı oluşabilecek muhtemel hata yerleri de tespit edilebilmektedir. Çoklu geçit sistemlerinde kaynak hatlarının oluşumunun önlenmesi için geçit valflerinin sırasıyla açılıp kapatılması bir çözüm olarak düşünülebilmektedir (Şekil 3.2).

Geçit Tipi	Enjeksiyon Basıncı	Akış uzunluğuna göre ergiyük önü ilerlemesi
Tek noktadan geçit	132,6 MPa	Ergiyük Önü İlerlemesi 
Merkez Geçit	84,3 MPa	Ergiyük Önü İlerlemesi 
Üç noktadan geçit	41,2 MPa	Ergiyük Önü İlerlemesi 

Şekil.3.2 Değişik geçit yerleşiminin enjeksiyon basıncına etkisi ( C-MOLD)

### 3.2 Enjeksiyon basıncı ile parça kalınlığı

Parça kalınlığı, enjeksiyon basıncını önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Küçük kesitler akışı sınırlayıcı ve zorlayıcı etki yapmakta, sonuçta da yüksek enjeksiyon basıncını gerektirmektedir. Analiz yazılımları parça kalınlığı ve geometrisine göre, ihtiyaç duyulan enjeksiyon basıncı değerinin bulunmasını sağlamaktadır .

### 3.3 Doldurma Zamanına Göre Enjeksiyon Basıncı

Dairesel kanal da akış

$$P \propto \frac{(\text{ergiyik viskozitesi})(\text{akış uzunluğu})(\text{hacimsel akış hızı})}{(\text{kanal radyüsü})^{3n+1}} \quad (3.1)$$

Dar kanallarda akış

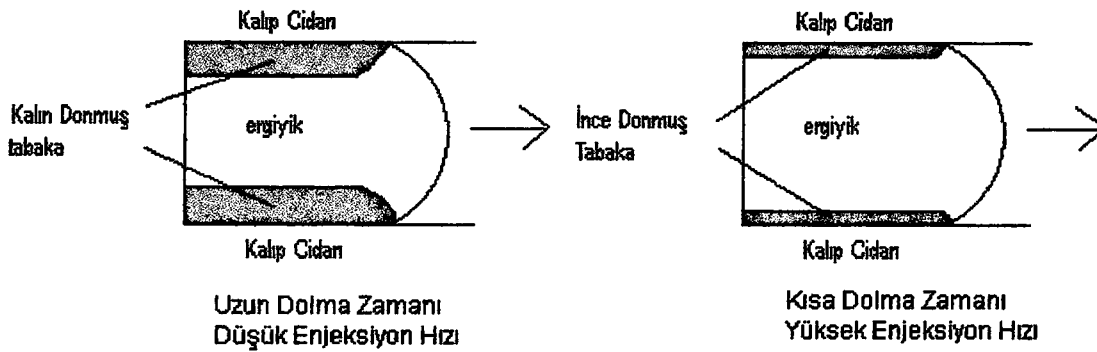
$$P \propto \frac{(\text{ergiyik viskozitesi})(\text{akış uzunluğu})(\text{hacimsel akış hızı})}{(\text{kanal genişliği}) \cdot (\text{kanal kalınlığı})^{2n+1}} \quad (3.2)$$

P, enjeksiyon basıncını, n ise 0,15 – 0,36 arasında polimer ergiyiğe göre değişen malzeme sabitini ifade etmektedir.

Denklemler 3.1 ve 3.2 'ye göre, kısa doldurma zamanı yüksek bir debi ve enjeksiyon basıncı gerektirmektedir. Doldurma zamanı, debi ile ters orantılıdır. Yüksek enjeksiyon hızı neticesinde, bir sürtünme ısısı meydana gelmekte bu da polimer ergiyiğin ısısının artmasına sebep olmaktadır.

Doldurma zamanının hesaplanmasında kalıp cidarlarının soğutulması etkisinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

Şekil 3.3' de uzun doldurma zamanı ve düşük enjeksiyon hızı sonucunda, donmuş tabaka oluşumu ve bu tabakanın kanal içinde akışa yapmış olduğu sınırlayıcı etki görülmektedir. Bu durum beraberinde yüksek enjeksiyon basıncı ihtiyacını gerektirmektedir. Analiz programlarının yardımıyla tüm enjeksiyon parametrelerinin de etkisi göz önüne alınarak uygun doldurma zamanı hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.3 Soğutma zamanları ve enjeksiyon hızlarının karşılaştırılması

### 3.4 Enjeksiyon Basıncı Ve Malzeme Seçimi

Malzeme cinsinin de enjeksiyon basıncı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Benzer olmayan

malzemeler, aynı enjeksiyon şartlarında farklı akış davranışları sergilemektedir. Malzemenin reolojik özelliklerinin enjeksiyon basıncında önemli etkisinin olduğu kanısına bu şekilde varılmıştır. Viskozite, sıcaklığın, kayma gerinim hızının ve basıncın bir fonksiyonudur. Aynı polimer eriyiğin sahip olduğu değişken viskozite seviyeleri prosesin şartlarına göre değişim göstermektedir.

### 3.5 Ergiyik Ve Kalıp Duvarı Sıcaklığının Enjeksiyon Basıncı İle İlişkisi

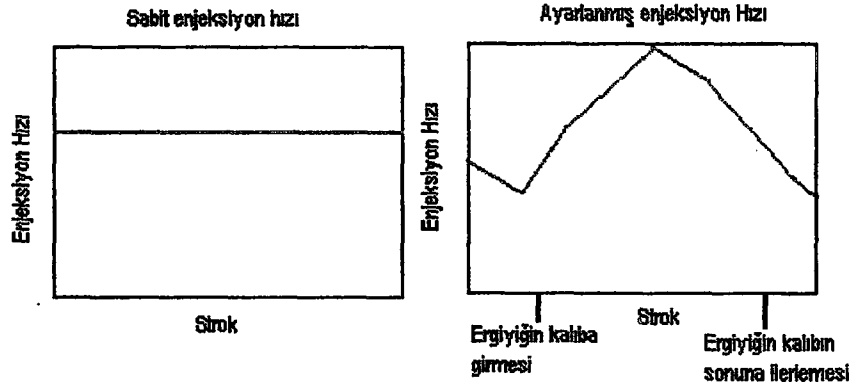
Ergiyik ve kalıp cidarı sıcaklığının, enjeksiyon işleminin sonucu üzerinde direkt bir etkisi bulunmaktadır. Bu iki parametrenin parça kalitesi üzerinde görünebilir etkileri kendini çekmeler ve çarpıklıktır. Parça kalitesini direkt olarak etkileyen söz konusu hataların önlenmesi için enjeksiyon parametreleri üzerinde ayarlama yapılması gerekmektedir. Ergiyik ve cidar sıcaklığının artmasıyla, viskozitenin azalmasından dolayı akış daha kolay olabileceğinden, istenilen enjeksiyon basıncı miktarı da azalmaktadır. Yapılan deneylerden elde edilen bulgulara göre enjeksiyon prosesinin işlem sıcaklık aralığı boyunca, ergiyik sıcaklığında ki 10 °C'lik bir artmanın, enjeksiyon basıncında % 10 'luk bir azalma sağladığı görülmektedir. Analiz programı yardımı ile enjeksiyon basıncının bir faktörü olan ergiyik ve duvar sıcaklığının kesin değeri sağlanabilmektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Değişken Sıcaklıklarda ki Enjeksiyon Basıncı

No	Ergiyik sıcaklığı ( °C)	Kalıp-Cidar Sıcaklığı ( °C)	Enjeksiyon Basıncı ( Mpa)
1	215	50	48,6
2	205	40	57,2
3	215	40	51,8
4	225	40	48,2
5	215	30	54,8

### 3.6 Enjeksiyon Basıncı Ve Ergiyik Hızı

Enjeksiyon hızının optimal değerinde akış hızı düşmektedir. Bu durumda polimer ergiyik geçit bölgesine doğru gitmekte böylece jetting olayı ve yüksek kayma hızı gerilmelerinden kaçınılmış olmaktadır. Ergiyiğin akış hızı, kavitenin büyük bölümünü doldurana kadar arttırılmaktadır. Ergiyik hızı, kavitenin dolması tamamlanmadan, kalıp kapanma kuvvetinden dolayı kalıbın açılması sebebiyle, enjeksiyon basıncının artması ile elimine edilmesi için, tekrar düşürülmektedir (Şekil 3.4).

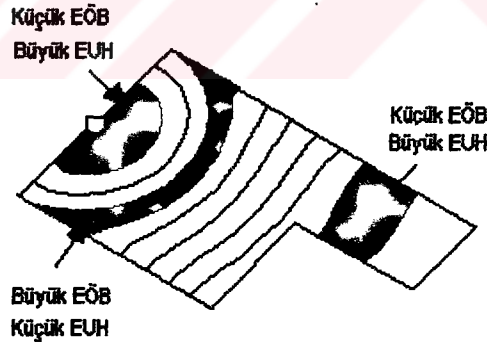


Şekil 3.4 İstenilen enjeksiyon basıncına göre enjeksiyon hızı

EÖB- Ergiyik Ön Bölgesi

EUH- Ergiyik Uç Hızı

Bu iki terim tasarım için önemli parametreler arasında bulunmaktadır. EÖB ilerleyen ergiyik ön kısmının kesit alanı olarak tanımlanmaktadır. Ergiyiğin ön kısmının boyu, parça kalınlığıyla veya yolluğun kesit alanı ile çarpılmakta böylece EÖB elde edilmektedir. EÖB ve EUH 'nin çarpımı debiyi vermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 EÖB ve EUH (C-Mold)

Karmaşık kavite geometrisine sahip olan kalıplar için, sabit enjeksiyon hızının veya debinin sabit tutulması, ilerleyen EÖB'de sabit hızın güvencesinin sağlanmasında yeterli olamamaktadır. Çünkü değişken kavite kesit alanının olduğu durumlarda, kavitenin bir bölümü, diğer bölümlerden daha önce dolabilmektedir. Bu durumda farklı soğuma hızından parçada yüksek iç gerilmeler oluşmakta, sonucunda ise kendini çekme ve çarpılmalar meydana gelmektedir.

### 3.7 Ergiyiğin Ön Bölgesi Moleküler ve Fiber Oluşumu

Enjeksiyon işleminde doldurma aşaması sırasında ki moleküler ve fiber oluşumu ergiyiğin ön bölgesinin akış dinamiğine bağlı olarak meydana gelmektedir. Akışın bu haline (fountain effects) püskürme etkileri veya püskürme akışı denilmektedir. Bu durumun kalıbın dolumu ile birlikte ele alınması gerekmektedir. Uç kısımdaki hızın yüksek olması, yüzeydeki yüksek gerilme, fiber ve moleküler oluşumun meydana geldiğini düşündürmektedir. Parçadaki değişken moleküler ve fiber oluşumlar, doldurma esnasında EÖB'nin değişken olması sonucunda meydana gelmekte, kendini çekmeleri ve parça çarpılmasını oluşturmaktadır. Tek formda moleküler ve fiber oluşumun sağlanabilmesi için EÖB'nin sabit tutulması gerekmektedir.

EÖB ve EUH kalıbın doldurulması esnasında akışın dengesinin sağlanması için önemli dizayn parametreleridir. Dengesiz akışta ergiyiğin ön kısmının bir bölümü kavitenin sonuna gelirken diğer bölüm halen hareket halinde olabilmektedir. EUH'nin değişmesiyle dengesiz akış meydana gelmektedir. Dengeli akışta, EUH kavite içerisinde minimum değişime sahiptir. Karmaşık parça geometrileri için, EUH ve EÖB'nin değişiminin minimize edilmesiyle kavite içerisinde uygun geçit yeri saptanabilmektedir.

#### 4. YOLLUK DİZAYNI VE DENGELEME

Yolluk sistemleri enjeksiyon kalıplarında ergiyiği parça içerisine taşıyan sistemlerdir ve kalıp sisteminin önemli bir parçasıdır. Yolluk sistemlerinin uygun tasarlanması parça kalitesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Kalıp ve imal edilecek parça için uygun olan yolluk sisteminin tesbit edilmesi; enjeksiyon işleminin verimli, parça kalitesinin de yüksek olması açısından çok önemlidir. Geniş bir yolluk kesitinin seçimi, düşük enjeksiyon basıncı gerektireceği gibi, soğutma zamanını uzatmakta, kalıbın kapanması için yüksek kapama kuvvetleri ihtiyacını doğurmakla beraber malzeme sarfiyatını da arttırmaktadır. Uygun yolluk sisteminin tasarlanmasıyla, verim maksimuma çıkmakta, malzemeden ve enerjiden önemli sayılabilecek derecede tasarruf sağlanmaktadır. Yolluğun dizaynında düşünülmesi gereken hususların şu şekilde maddelenebilmesi mümkündür,

Kavite sayısının hesaplanması

Ergiyiğin kavite içerisine iletimi

Çoklu kavitelerde doldurma dengesinin sağlanması

Çoklu geçiş sistemlerinde dengeli dolunun sağlanması

Minimum hurda oranı

Kalıptan kolay ayrılabilir olması

Enjeksiyon prosesinin çevriminin kontrol edilebilmesi.

##### 4.1 Kavite Sayısı

Kavite sayısı, uygun üretim zamanına, çıkacak parça sayısına, enjeksiyon makinasının kapasitesine, kalıbın şekil ve boyutlarına ve kalıp maliyetlerine bağlıdır. Kavite sayısını bulmak için şu formüller hesaplanmaktadır.

a. ) Parçanın ölçü toleransları çok hassas değilse, kalıplama sayısı fazla istenmişse, çoklu kavite sistemlerinin tercih edilmesi uygun olmaktadır. Kavite sayısı, spesifik parça üretim miktarı zamanı  $t_m$ , toplu üretimde parçaların sayısı  $L$ , parçaların tek bir seti için çevrim zamanı  $t_c$ , ıskarta faktörü ( $K$ ),  $K = 1 / (1 - \text{ıskarta oranı})$  parametrelerinin tek bir formülde düzenlenmesiyle hesaplanmaktadır.

$$\text{Kavite sayısı} : L \cdot K \cdot \frac{t_c}{t_m}$$

b. ) Enjeksiyon makinesinin kapasitesi de bir faktör teşkil etmektedir. Makine kapasitesinin %

80'i , S (shot weight) atış ağırlığı olarak alınır. Parça ağırlığına bölünmesiyle denge sağlanmış olmaktadır.

Kavite sayısı :  $S / W$

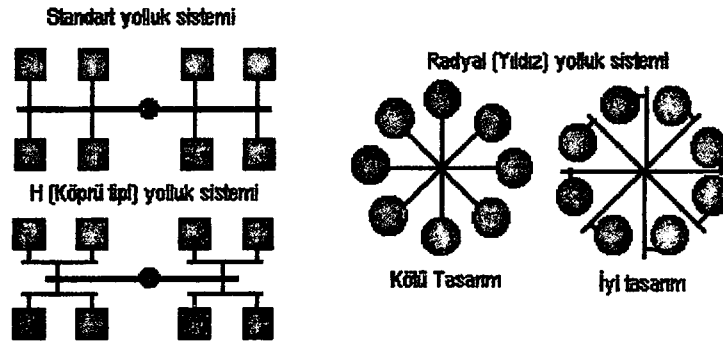
c. ) Enjeksiyon makinesinin plastikleştirme kapasitesi de bir faktördür. Plastikleştirme kapasitesi  $P$  , dakikadaki atış sayısı  $X$  ile ve parça ağırlığı  $W$  değerlerinin formülize edilmesiyle hesaplanmaktadır.

$$\text{Kavite Sayısı: } \frac{P}{X \cdot W}$$

#### 4.2 Yolluk Sistemlerinin Düzenlemesi

Çoklu kavite sistemlerinde temel olarak üç yolluk sistemi kullanılmaktadır. Bunlar standart yolluk (herringbone) sistemi, H köprü ( branching) yolluk sistemi, yıldız şeklinde yolluk sistemi olarak adlandırılmaktadır. Yıldız ve köprü yolluk sistemlerinde akışın dengesi doğal olarak sağlanmaktadır. Standart şeklindeki yolluk sisteminde ise akış dengesiz olmaktadır. Akışın dengesiz olduğu yolluk sistemlerinde, yolluk çapının ve uzunluğunun değişimiyle denge sağlanabilmektedir.

Karmaşık bir işlem olan enjeksiyon da akış hesaplamalarına, akışın laminar ve türbilanslı akış özelliklerinin göz önüne alınarak başlanması gerekmektedir. Bu da Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak bu sayının hesaplanmasıyla belirlenebilmektedir. Reynolds sayısı 2320 den küçük ise akış laminar olmaktadır. Reynols sayısı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.



Şekil 4.1 Yolluk sistemleri

$$Re = \frac{V.d}{\nu} = \frac{V.d.\rho}{\eta} \quad (4.1)$$

Re	- Reynolds sayısı
V	- Hız ( m/s)
D	-Yolluk çapı (mm)
$\nu$	- Kinematik viskozite ( m <sup>2</sup> /s)
$\eta$	- Dinamik viskozite ( m <sup>2</sup> /s)
$\rho$	- Yoğunluk ( kg/m <sup>3</sup> )

Dinamik viskozite ve yoğunluğun değeri hesaplanmış Reynolds sayısına göre de bulunabilmektedir.

### 4.3 Yolluk Giriş Ağızı ( Sprue )

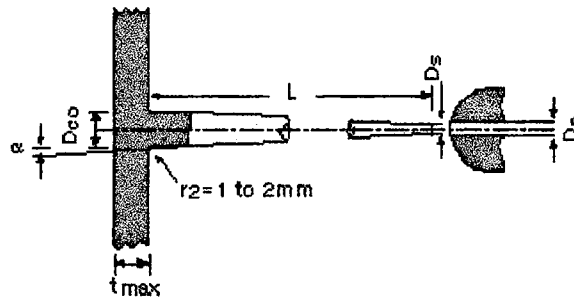
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yolluk giriş ağızı ölçülerinin, kalıplama ölçülerine ve parçanın kalınlığına bağlı olduğunu kanıtlanmıştır ( Çizelge 4.1).

Tasarım yapılırken göz önüne alınması gereken hususlar şu şekilde sıralanabilmektedir.

Yolluk giriş ağzının, yeterli tutma basıncının sağlayabilmesi için kesit içerisinde diğer bölgelerden önce donmamış olması gerekmektedir.

Yolluk giriş ağızı enjeksiyon işlemi bittikten sonra kalıptan kolaylıkla ayrılabilmelidir.

Bu hususlara göre dizayn edilmiş bir yolluk giriş ağızı Şekil 4.2 görülmektedir. R<sub>2</sub> ile gösterilen dip kısmın keskin olmasından kaçınılması malzeme akışının kolaylaştırılmış olması bakımından önem taşımaktadır.



Şekil 4.2 Yolluk giriş ağızı ölçüleri

Yolluk giriş ağız ölçülerinin gereğinden fazla büyük olması malzeme sarfiyatını arttırmakta ve enjeksiyon işleminin verimini büyük ölçüde düşürmektedir. Bu sebepten dolayı yolluk giriş ağız ölçülerinin parçaya uygun boyutlarda tasarlanmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

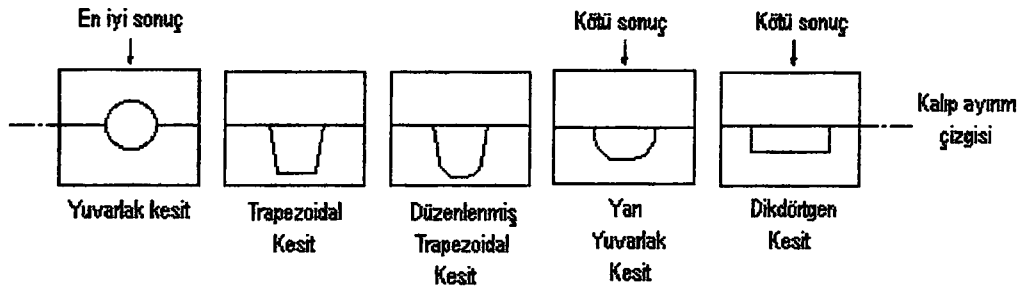
Çizelge 4.1 Parça ağırlığına göre yolluk giriş ağız çapı

Parça ağırlığı (gr)	Minimum yolluk giriş ağız çapı(mm)
10	3,5
10-20	4,5
20-40	5,5
40-150	6,5
150-300	7,5

Diğer enjeksiyon malzemeleri için yolluk giriş ağız çapı aşağıdaki değerlerle çarpılmalıdır.

Polystyrene VI	1,2
Polystyrene EF	1,5
Plexigum	2,0
Softened PVC	0,8
Polyamide	0,8
Cellulose acetate	1,0
Polyethylene	0,5

#### 4.4 Yolluk Kesitleri



Şekil 4.3. En çok kullanılan yolluk kesitleri.

Şekil 4.3'de çok kullanılan yolluk kesitleri gösterilmektedir. Bunlar yuvarlak kesitli, Trapezoidal yolluk, yuvarlak-trapezoidal yolluk kombinasyonu olan yolluk, yarı yuvarlak yolluk ve dikdörtgen kesitli yolluklardır.

İlk üç yolluk kesiti enjeksiyon işleminde en çok kullanılan yolluk kesitleridir. Sadece tek bir kalıp yarısının işlenmesi dolayısıyla maliyeti düşüktür. Dairesel kesitli olan yolluk kesiti yüzey maksimum yüzey hacmini sağlamakla beraber, minimum basınç düşmesi ve ısı kaybının olmasını sağlayan bir kesittir. Bunun yanında kesit, maliyetinin fazla olması ve her iki yarısının da işlenmiş olmasından ve kalıp kapandığında iki yarı dairenin de birbirini tam hizalamalarının sağlanması gerektiğinden dolayı yüksek kalıp maliyetini de beraberinde getirmektedir. Trapezoidal yolluk ise kalıbın bir tek yarısına işlenen bir yolluk tarzıdır. Daha çok üç plakalı kalıp tipinde, dairesele kesitli yolluğun, kalıbın ayırım çizgisinde kaymasıyla hizalanamadığı durumlarda kullanılmaktadır.

Kesit				
D <sub>h</sub>	D	0.9523D	0.9116D	0.8862D
Kesit				
D <sub>h</sub>	0.8771D	0.8642D	0.8356D	0.7090D

Şekil 4.4 Hidrolik çaplar (C-MOLD)

Yolluk kesitleri için, hidrolik çaplar da kullanılabilir. Büyük hidrolik çap, düşük akış direnci sağlamaktadır. Hidrolik çap şu şekilde ifade edilmektedir.

$$D_h = 4A/P \quad A = \text{Kesit alanı} \quad , \quad P = \text{Çevre}$$

#### 4.5 Yolluk Ölçüleri

Yolluğun çapı ve uzunluğu akışın direncini etkilemektedir. Yollukta akış direncinin yüksek olması, yüksek basınç düşmelerini ortaya çıkarmaktadır. Yolluktaki akış direncini azaltmak için yolluk çapı büyütüldüğü takdirde, daha fazla malzeme ihtiyacı doğacaktır bunun sonucunda da uzun çevrim zamanları kaçınılmaz olacaktır. Yolluk çapının hesaplanması için bazı ampirik formüller ve veriler kullanılmaktadır.

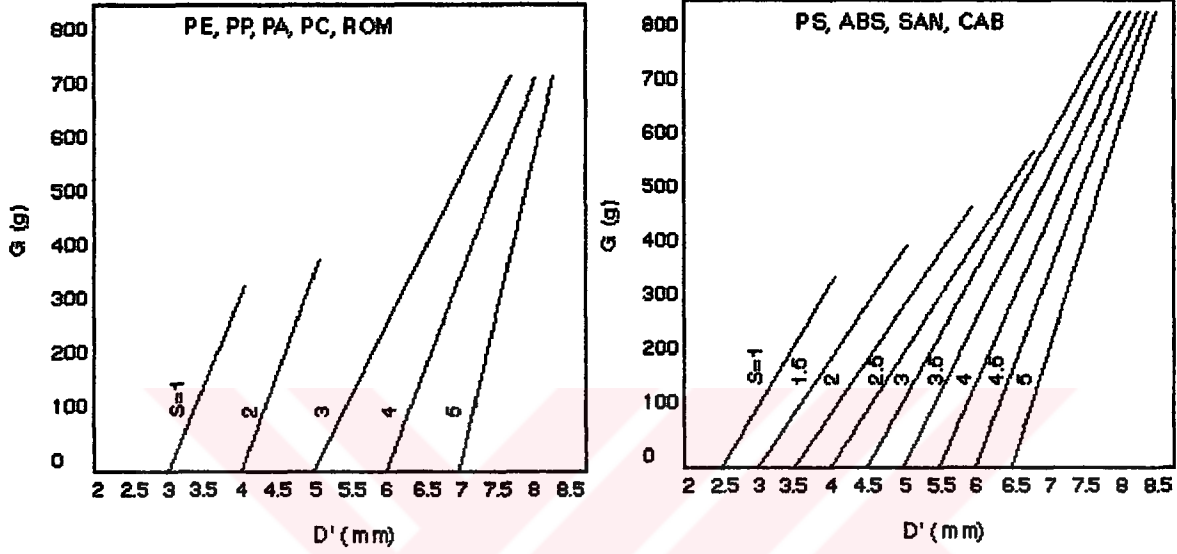
$$D = \frac{W^{1/2} L^{1/4}}{3,7}$$

D = Yolluk çapı ( mm )

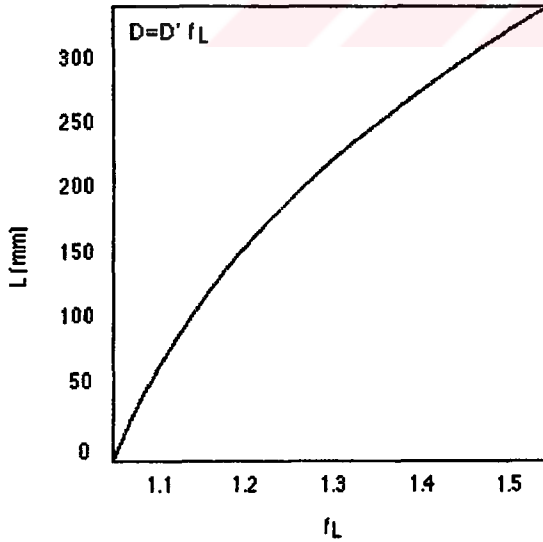
W= Parça ağırlığı (g)

L = yolluk uzunluğu (mm)

S = nominal kalınlık (mm)



Şekil 4.5 Bazı plastik malzemeler için yolluk çapı diyagramları



G = Ağırlık ( g )

S = Nominal kalınlık ( mm )

D' = Referans çap ( mm )

D = Yolluk Çapı ( mm )

$f_L$  = Uzunluk katsayısı ( mm )

Şekil 4.6 Yolluk uzunluğunun ve uzunluk katsayısının çap üzerindeki etkileri

Veriler ampirik olmakla beraber 30 Mpa dan küçük olan kabul edilebilir basınç kayıpları için yolluk boyuna bağlı olarak, yolluk çapının hesaplanmasını sağlamaktadır. Önce parça ağırlığı G ve kalınlık S saptanır, ilgili malzemeye ait diyagramdan D' değeri alınır. Yolluk boyu L

saptanır.  $L$  ye karşılık gelen  $F_L$  değeri bulunur. Yolluk çapı  $D = D' \cdot F_L$  formülü ile hesaplanır.

#### 4.6 Kalıp İçerisindeki Yolluk Düzeni

Kavite içerisindeki akışın dengeli olması parça kalitesi açısından öncelikle gerekmektedir. Akışın dengeli olması yolluk ölçülerinde değişiklik yapılmasıyla sağlanabilmektedir. Yolluk sistemi bilindiği üzere, yolluk giriş ağzı, yolluk ve geçit olmak üzere üç bölümden meydana gelmektedir. Geçit ölçüsünün değiştirilmesi, örneğin çapının artırılması dengeli bir doldurma sağlayabilir, fakat bu durum geçitin donma zamanını uzattığından dolayı, parçanın kalitesine zarar vermektedir. Yolluk giriş ağzının ölçüsü ise yeterli tutma basıncının sağlanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Doğal olarak akışın dengeli olmasını sağlayan yolluk sistemleri (yıldız veya köprü) malzemenin kalıp içerisinde dengeli bir şekilde akışına imkan vermektedir. Eğer bu tip yolluk sistemlerinin kullanılması mümkün değilse sistem içerisinde akışın dengesinin sağlanması gerekmektedir. Bilgisayar ortamında analiz yazılımlarıyla yolluk sisteminde akış dengesinin sağlanmasının ardından çevrim zamanından tasarruf edildiği gibi, malzemenin de tasarruf sağlanmakta ve kavite eşit zamanda dolmaktadır.

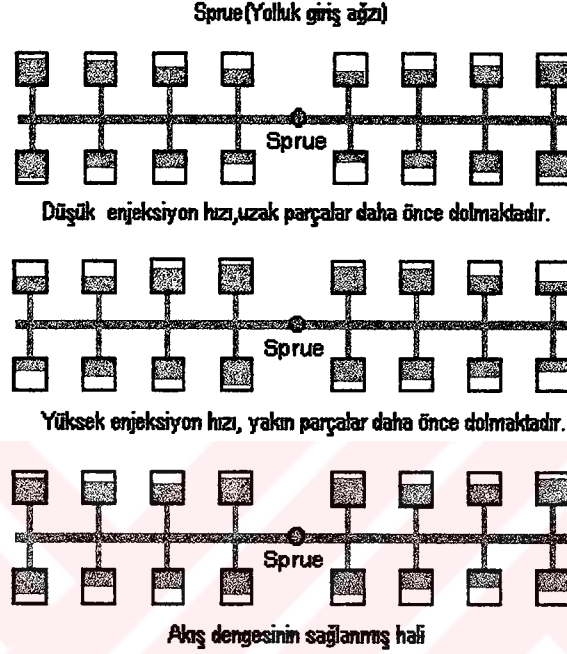
Dengelenmiş yolluk sistemlerinde, yolluğun çap ölçüsünün azaltılmasıyla yolluk giriş ağzından en uzak kaviteye kadar kalıp için malzeme ile beslenebilmesi mümkün olabilmektedir. Yolluk çap ölçüsünün çok azaltılmasıyla zamanından önce donmalar meydana gelebilmekte ve bu da kısa vuruş (short-shot) gerektirmektedir. Diğer yandan, malzemenin ısısının artırılmasıyla kayma sürtünmesi ve ergiyiğin akmaya karşı gösterdiği direnç yani viskozitesi azalacağından dolayı kavitelerin daha hızlı dolmaları mümkün olabilmektedir.

Dengesi bu şekilde yapay olarak sağlanmış yolluk sistemleri sadece bir tek malzeme çeşidi için kullanılmakta, diğerleri için ise aynı sonucu verememektedir. Çünkü plastik malzemelerin reolojik özellikleri birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Aynı zamanda yapay olarak dengelenmiş yolluk sistemleri çok sık proses kontrolü gerektirmektedir. Örnek olarak, standart (herringbone) şeklindeki yolluk sistemi ele alındığında, değişik enjeksiyon hızlarında, parçaların dolumunun farklı olduğunu görülebilmektedir. Düşük enjeksiyon hızlarında, en uzak parçaların önce, yüksek enjeksiyon hızlarında ise yolluk giriş ağzına daha yakın olan parçaların önce dolduğu gözlenmektedir (Şekil 4.7).

Yolluk tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken diğer hususları şu şekilde sıralamak mümkündür.

Yolluklar sistemleri kavileri en kısa sürede dolduracak şekilde tasarlanmış olmalıdır.

Yolluk sistemleri enjeksiyon işleminden sonra, parçanın kalıptan kolay bir şekilde ayrılabilmesini sağlayabilmelidir.



Şekil 4.7 Değişik enjeksiyon hızlarında kavilerin dolumu

- Çoklu kavite sistemlerinde, akış dengesinin sağlanmış olduğu yolluk sistemleri en iyi parça kalitesinin sağlanmış olması açısından tercih edilmelidir.
- Küçük yolluklar, geniş yolluklara göre minimum ısıkarta ve viskoz ısınma sağlama açısından tercih edilmelidir. Yolluk sistemlerindeki viskoz ısınma, malzemenin sıcaklığının artırılmasının bir yoludur, bu nedenden ötürü silindir sıcaklığının artırılmasına gerek kalmamaktadır.
- Malzeme akışının hızlı ve engellenmeden geçişinin sağlayabilmek için yolluğun kesit alanı yolluğun giriş ağzından küçük olmamalıdır.
- Yolluklar çok kaviteli sistemlerde tali yolluklara ayrılmaktadır. Tali yollukların kesitleri ana yolluklardan daha küçük yapılmalıdır. Yolluk sistemlerinde minimum malzemenin kullanılıp ekonomikliğin sağlanması açısından bu gerekli olmaktadır. Ana yolluklarla tali yolluklar arasında ki ilişkinin şu şekilde formülize edilmesi

mümkündür.

$$D_{\text{ana yolluk çapı}} = D_{\text{tali yolluk çapı}} \times N^{1/3}$$

Bu formülde N tali yollukların sayısı olarak alınmaktadır.

Tropozoidal yolluğun derinliği genişliğine yaklaşık olarak eşit alınması ve kalıptaki her cidar için 5°-15° koniklik açısı beraberinde verilmesi gerekmektedir.

- Yolluk sistemi içerisinde akışın kolay olmasının sağlanması için yolluk yüzeyinin parlatılması gerekmektedir.
- Yolluk ölçülerinin seçimi , standart makine kesici takım ölçüleri baz alınarak yapılmalıdır.



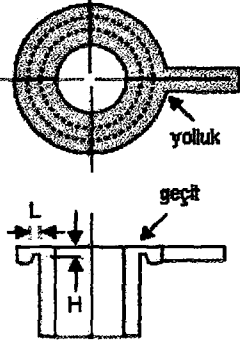
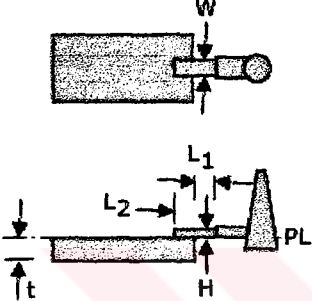
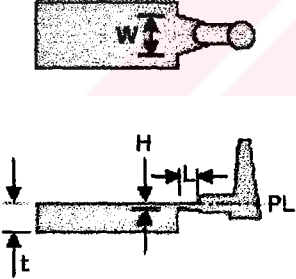
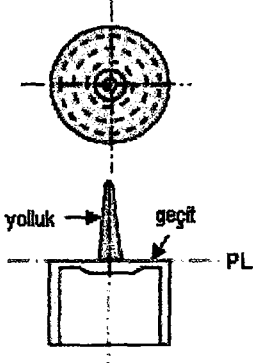
## 5. GEÇİT TASARIMI

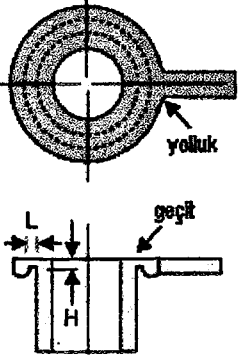
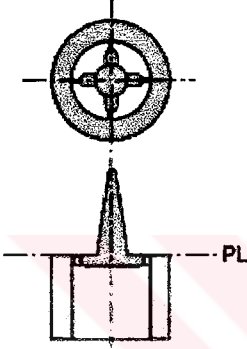
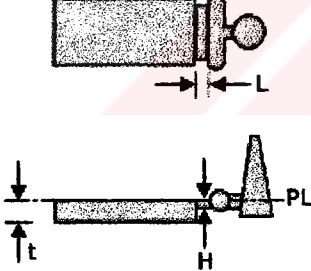
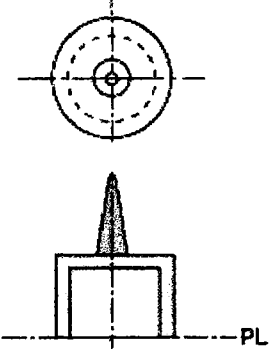
Geçit ( gate ) polimer ergiyiğin kavite içerisine girdiği kısımdır. Geçit tasarımı parça kalitesi ve verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Çok noktadan geçit sistemlerinin gerekmediği durumlarda genellikle tek noktadan geçit sistemi tercih edilmektedir. Çok noktalı geçit sistemleri her zaman sıcak ve soğuk kaynak problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Geçit kesitinin, parçanın enjeksiyon işleminden sonra kolaylıkla ayrılabilmesi için yolluktan daha küçük olması gerekmektedir. Geçit kalınlığı pratikte genellikle parça kalınlığının 2/3'ü kadar alınmaktadır. Her çeşit geçit tipi, kullanılacağı kalıba ve diğer enjeksiyon parametrelerine göre uygun olan tasarım kurallarına göre tasarlanmaktadır. Geniş olarak alınan geçitlerde kesitin büyük olmasından dolayı akış kolaylaşmakta ve sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı azalmakta, daha düşük enjeksiyon hızları yeterli olabilmektedir. Bununla beraber malzemenin kavite içerisindeki her noktaya ulaşabilmesi ve parçanın ölçü tamlığının sağlanabilmesi için sıkıştırma basıncının yüksek oranlara çıkması gerekmektedir. Parçada düşük iç gerilme, estetik görünüş ve ölçüsel kararlılığın istendiği durumlarda geniş geçitler tercih edilmeli buna göre de diğer enjeksiyon parametreleri düzenlenmiş olmalıdır. Geçit yerinin, kalıbın hızlı ve homojen şekilde, soğuk ve sıcak kaynak hatlarının ve hava boşluklarının uygun yerlerde oluşmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmiş olması gerekmektedir.

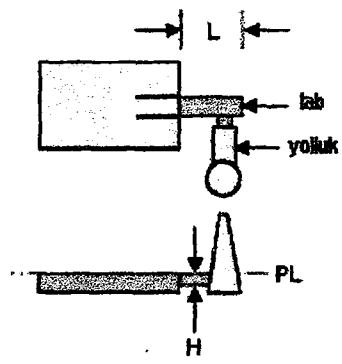
### 5.1 Geçit Tipleri

Geçitler, geçitlerin parçadan ayrılma metodlarına göre elle kesilen ve makina ile kesilen olmak üzere iki kategoride sınıflandırılırlar.

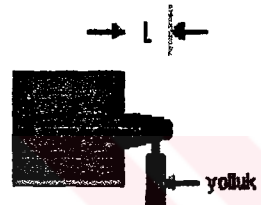
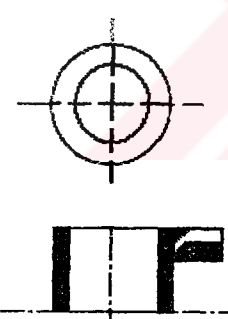
Geçidin mümkün olduğunca kalıbı hızlı ve tek yönde dolduracak enjeksiyon esnasında havanın tahliye edilmesine izin verebilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Havanın dışarıya tahliye edilemediği durumlarda parça hataları meydana gelmektedir. Bu sebepten geçit yeri, sıcak-soğuk kaynak hatlarının oluşumunu ve jetting olayını önleyecek şekilde yerleştirilmelidir. Geçit uzunluğu mümkün olduğunca basınç düşmesini düşürecek şekilde ayarlanmış olmalıdır. Geçit kalınlığı geçitin bulunduğu kalıp cidarının % 50-80 i kadar olmalıdır.

GEÇİT TİPİ	AÇIKLAMASI
	<p><b>Kenar Veya Standart Geçit</b></p> <p>Bu tip geçitler kalıbın ayırım çizgisinde yer almakta ve kalıbı alt ve üst tarafından doldurmaktadır. Geçidin ölçüsünün 1,6 – 12,7 mm 'de 0,4 den 6,4 mm kalınlıkta olması gerekmektedir.</p>
	<p><b>Bindirme Tipi Geçit</b></p> <p>Bindirme tarzı geçit kenar geçite benzemekte, sadece cidarın veya yüzeyin üzerine bindirilmektedir.</p> <p>Geçit ölçüsünün 1,6 – 12,7 mm 'de 0,4 den 6,4 mm kalınlıkta olması gerekmektedir.</p>
	<p><b>Fan (Yelpaze) Şeklinde Geçit</b></p> <p>Fan tarzı geçit, en geniş kenara değişken kalınlıkta uygulanabilen, geniş parçaların hızlı bir şekilde dolmalarını ve ince kesitli kalıplar için malzemenin rahat bir şekilde kalıba dolması için geniş bir giriş alanı sağlayan bir geçit tipidir. Kalıp içerisinde üniform akış sağlamak, geniş parçalarda çarpıklığı önlemek, ölçüsel kararlılık istenildiği durumlarda kullanılabilir. Geçit boyutları 0,25-1,6 mm arası kalınlıktadır. Geçit genişliği 6,4 mm ile kavite uzunluğunun % 25 kadardır.</p>
	<p><b>Disk Şeklinde Geçit</b></p> <p>Bu tip yuvarlak veya silindirik parçalarda tercih edilmektedir. Geçit kalınlığı 0,25 – 1,27 mm arasındadır.</p>

	<p><b>Halka Geçit</b></p> <p>Yuvarlak ve silindirik parçalar için pek tavsiye edilmeyen bir geçit tipidir. Halka geçitte malzeme göbeğe serbestçe akmakta ve uniform bir şekilde dolarak malzeme seviyesini yukarıya doğru çıkarmaktadır. Geçit kalınlığı 0,25 – 1,6 mm dir</p>
	<p><b>Örümcek Tipi Geçit</b></p> <p>Bu tarz geçite dört nokta geçit veya kavşak geçit de denilmektedir. Tüp şeklinde parçalar için kullanılmaktadır.</p> <p>Malzemenin ayrılması kolaydır ve malzeme tasarrufu sağlamaktadır. Kaynak hatlarının oluşurma ihtimali istenmeyen bir dezavantajdır.</p> <p>0,8-4,8 mm kalınlığa 1,6-6,4 arası genişlikte ölçüsü vardır.</p>
	<p><b>Film Şeklinde Geçit</b></p> <p>Bu geçit halka geçite benzekte. fakat düz parçalarda kullanılmaktadır. Düz bir yolluk ve geçit kesitinden oluşan bir kombinasyondur. Genelde akrilik parçalar için kullanılmaktadır. Geniş ve ince kesite sahip olan parçalarda çarpılmanın minimuma indirilmesi gerekmektedir. Geçit ölçüsü 0,25-0,63 kalınlığında, yeri ise 0,63 mm civarında olmalıdır.</p>
	<p><b>Direk Geçit ( sprue)</b></p> <p>Genel olarak tek kaviteye sahip olan kalıplarda, malzemenin kalıp içine hızlı bir şekilde minimum basınç düşmesiyle ilerlemesinin istendiği yerlerde kullanılmaktadır. Geçitin ayrıldıktan sonra parça yüzeyinde izinin kalması dezavantajdır.</p> <p>Ölçüsü 1,6-6,4 mm çapta, 1,6-12,7 uzunluğunda, koniklik açısı 1° dir.</p>

	<p><b>Uç-Dil ( Tab) Geçit</b></p> <p>Geniş ve ince parçalarda kullanılmaktadır. Kavitede kayma gerilimini düşürmektedir. Yüksek kayma gerilimini yardımcı geçitte biriktirmekte buda parçadan ayrıldıktan sonra kalan kısımda sorun yaratmamaktadır. PC, SAN, ABS tip malzemelerde kullanılır.</p> <p>Minimum genişliği 6,4 mm, kalınlığı kavite derinliğinin % 75' i dir.</p>
---	--

## 5.2 Otomatik Olarak Temizlenen Geçitler

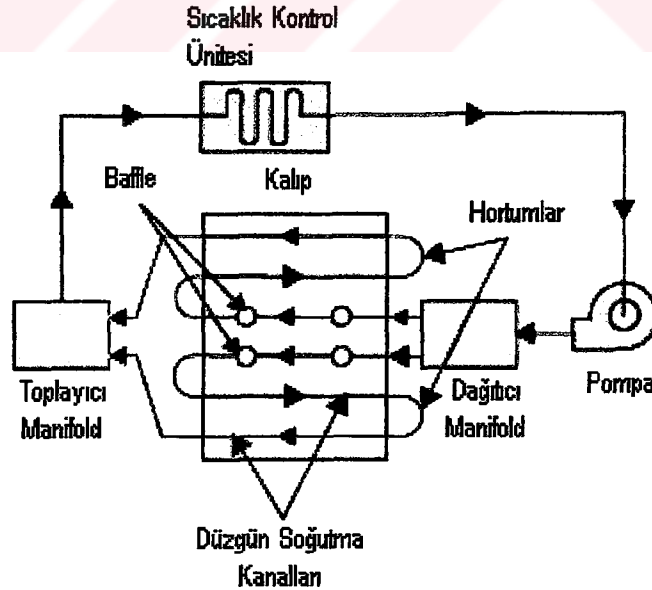
	<p><b>Pim Şeklinde Geçit</b></p> <p>Daha çok üç plakalı kalıplarda, hızlı donma ve kolay ayrılabilme olması için kullanılan bir tiptir. Kalıp açıldığı zaman otomatik olarak kayıcı bir plaka tarafından temizlenmektedir.</p> <p>0,25-1,6 mm çapındadır.</p>
	<p><b>Tünel Şeklinde Geçit</b></p> <p>İki plakalı veya çok kaviteli sistemlerde kullanılmaktadır. Kavitenin ayırım çizgisinin alt kısmına konik bir şekilde tünel işlenerek yapılmaktadır. Enjeksiyon aşamasında otomatik olarak parçadan ayrılmaya izin vermektedir.</p> <p>0,25 - 2 mm çapındadır.</p>

Şekil 5.1 Geçit tipleri

## 6. SOĞUTMA SİSTEMİ

Enjeksiyon işleminde soğutma zamanı tüm çevrimin yaklaşık olarak yarısını veya 1/3 'lük gibi bir zamanını kapsamaktadır. Soğutmanın dikkatli yapılmasının enjeksiyon işleminin verimini arttırdığı gibi soğutmadan dolayı ortaya çıkan parça hatalarını minimuma indirdiği bilinmektedir. Bu yüzden kalıptaki soğutma sistemi tipinin ve yerlerinin doğru seçilmesi, soğutmanın uniform olmasını sağladığı gibi parça kalitesini arttıracak, parça üzerindeki artık gerilme miktarını, ölçüsel hassasiyeti ve dengeyi sağlayabilecektir. Kalıp içerisinde soğutma kanalı konfigürasyonları seri veya paralel olarak düzenlenebilmektedir. Soğutucu kanalların ısı transferini verimli olarak sağlayabilmeleri, kanalların yerleşme düzeni, kanal ölçüleri, içerisindeki akışkanın akış düzeni gibi parametrelere bağlıdır. Kanal içerisindeki soğutucu akışkanın akış tarzının genellikle türbülanslı olması, ısının en iyi transfer edildiği akış tipi olmasından dolayı tercih edilmektedir. Soğutma kanallarının sayısı, kalıbın büyüklüğüne ve kompleks olmasına göre değişim göstermektedir. Soğutucu akışkanın kalıba giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı genel amaçlı kalıplar için 5°C, hassas kalıplar için 3°C civarında olmaktadır. Geniş kalıplar için birden fazla seri soğutucu kanal kullanılmakta, böylece kalıbın daha uniform olarak soğuması sağlanmaktadır.

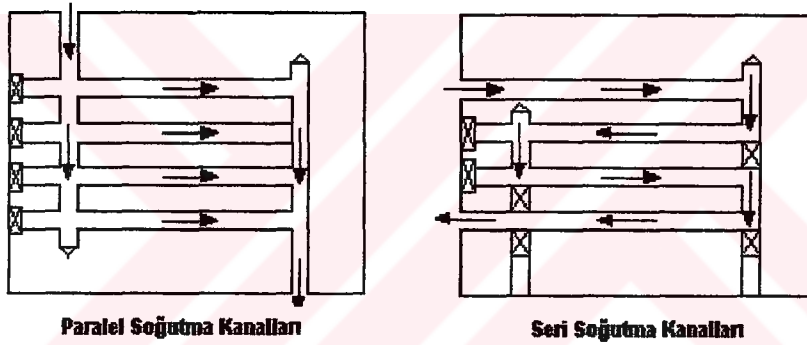
Tipik bir soğutma sistemi sıcaklık kontrol ünitesi, pompa, soğutma kanalları, toplayıcı ve dağıtıcı manifold ve hortumlardan meydana gelmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Enjeksiyon kalıbı için tipik bir soğutma sistemi

## 6.1 Soğutma - Kanal Konfigürasyonu

Kalıptaki soğutma kanalları, kalıbın büyüklüğüne ve tipine bağlı olarak seri veya paralel olarak yapılmaktadır (Şekil 6.2). Paralel soğutma kanalları, dağıtıcı manifold'dan toplayıcı manifolda doğru birbirlerini paralel olacak şekilde düz olarak açılmaktadırlar. Paralel soğutucu kanal dizaynının akış karakteristiklerinden dolayı, akış hızı değişken soğutma kanalları boyunca farklı olabilmektedir. Akış direnci, her bir bağımsız soğutma kanalının akış direncine bağlı olarak değişmektedir. Paralel kanal soğutma konfigürasyonunda soğutmanın üniform olmadığı durumlarda söz konusu olabilmektedir. Her bir sistemdeki soğutma kanallarının sayısı kalıbın karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir. Seri soğutma kanalları paralel kanallara oranla kalıp içerisinde daha homojen bir soğutma sağlamaktadır ve özellikle geniş kalıplarda tercih edilmektedir.



Şekil 6.2 Soğutma kanal konfigürasyonları

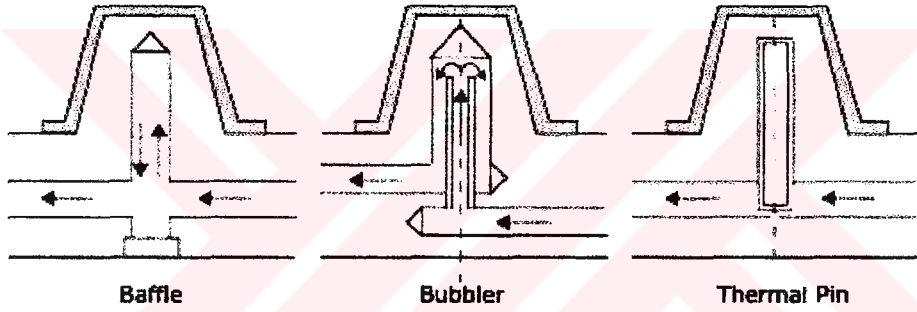
Seri soğutma kanallarında girişten ve çıkıştan gelen soğutucu tek bir birleşme noktasında bağlanmıştır. Bu tip soğutma sistemi genellikle daha çok tavsiye edilmektedir. Eğer soğutma kanalı üniform boyutlardaysa, soğutucu kanalın komple uzunluğunda türbülanslı bir akışa sahip olacaktır. Türbülanslı akış ısı transferinin en iyi sağlandığı bir akış olmasından dolayı en çok tercih edilen akış tipidir. Bu sebeple de kanal içindeki soğutucu, minimum bir sıcaklık artışına sebep olacaktır. Soğutucunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark genel amaçlı kalıplarda  $5^{\circ}\text{C}$ , hassas kalıplarda  $3^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Geniş kalıplar için, üniform soğutucu sıcaklığı ve üniform kalıp soğutulmasının sağlanması için tek bir seri soğutma kanalının kullanılması tavsiye edilmektedir.

## 6.2 Baffle, bubbler, ve Thermal Pim

Baffle ve bubbler, soğutulacak bölge içinde soğutucunun akışını tersine çeviren, normal beslemeyi sağlayan soğutma hatlarının bölümleridir. Soğutma kanalları tipik olarak kaviteye ve kalıp göbeğine doğru delinmiştir.

Baffle tipinde soğutma kanalı ana soğutma hattına göre dik olarak delinmiştir. Yarı dairesel kanal içerisine levha şeklinde bir plaka ayırıcı görevi yapmaktadır. Soğutucu, ana soğutma hattından gelmekte, levhanın tek bir yönünden akarak, uçtan dönerek ve baffle 'ın diğer tarafından akarak ana soğutma hattına geri dönmektedir (Şekil 6.3 ).

Bu metod soğutma için maksimum kesiti sağlamaktadır. Fakat plakayı merkeze tam olarak oturtmak oldukça zor olmaktadır.



Şekil 6.3 Baffle, bubbler, thermal pim

Baffle tipi olan soğutma kanalları helis ve spiral olanlar olmak üzere iki tipe de ayrılmaktadır.

Bubbler tipinde baffle tipine benzer. Fakat burada levha küçük bir tüp içerisine yerleştirilmiştir. Soğutucu tüpün alt kısmına doğru akar ve bubble üst kısmın dışındadır ve bir püskürtme etkisi yapmaktadır. Soğutucu, tüpün dış tarafından yukarı doğru çıkmakta, soğutucu kanallardaki akışına devam etmektedir. İnce kalıp çekirdeklerinde en verimli soğutma bubble ile sağlanmaktadır. Her iki tipin çapının, her iki kesit için akışın direncine göre eşit olarak ayarlanması gerekmektedir (Şekil 6.4).

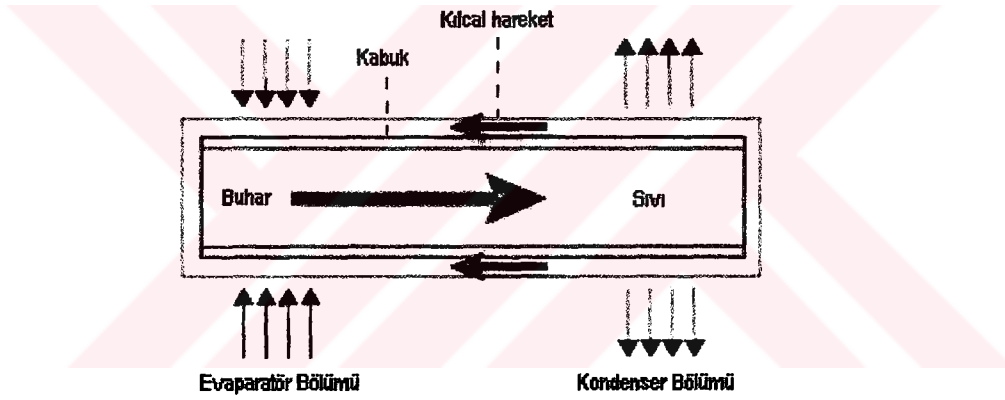
$$\text{İç çap} / \text{Dış çap} = 0,5$$

Bubble kalıp çekirdeğine vidalanır. Bu tarz soğutma, çekirdek ve yassı kalıp kesitleri için delme ve frezeleme işlemlerinin yapılamadığı donanımlarda kullanılmaktadır. Çünkü baffle ve bubble daraltılmış akış alanına sahiptir ve bu yüzden akış direnci artmaktadır.



Şekil 6.4 Spiral baffle ve helis baffle

Thermal pin tipi ise baffle ve bubble 'a alternatif olarak kullanılmaktadır. Kapalı silindirin içerisi sıvı ile doldurulmuştur. Akışkan, takım çeliğinden aldığı ısı ile buharlaşır ve yoğunlaşma kısmında tekrar sıvı haline gelmektedir. Thermal pimın ısı transfer verimi bakır tüpten on kat daha fazladır. İyi ısı iletimini sağlamak için thermal pim ve kalıp arasında hava aralığı bırakılmasından kaçınılması gerekmektedir (Şekil 6.5)



Şekil 6.5 Thermal pimın ısı transfer verimi

Çap veya genişlik çok küçük olduğu durumlarda, 3 mm'den az ise sadece hava soğutma yapılması uygun olmaktadır ( Şekil 6.6).

5 mm 'den aşağı olan yassı kalıp çekirdeğinde iyi bir soğutma yapılabilmesi için, ısı iletkenliği yüksek bakır, berilyum bakır gibi malzemelerden yapılmış maçalar kullanılır.

Geniş çekirdekler için ( 40 mm veya daha geniş ) ısı transferinin sağlanabilmesi için soğutucunun çekirdeğin ucundan, merkeze doğru yerleştirilebilen parçalar kullanılmaktadır. Bu şekildeki tasarımların çekirdeğin önem derecesine göre basitleştirilebilmesi mümkündür.

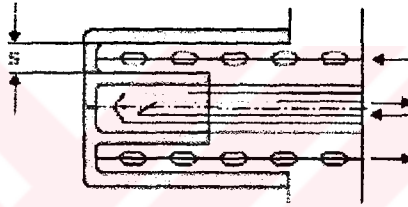


İnce çekirdeklerde hava ile soğutma

Isı iletkenliği iyi olan malzeme ile soğutma

Şekil 6.6 Hava ve iletken metal ile soğutma

Silindir kalıp çekirdeklerinin veya diğer yuvarlak parçaların soğutulması çift helisle sağlanabilmektedir (Şekil 6.7). Soğutucu bir helisin ucuna doğru akar ve diğer helise doğru döner. Dizayn için göbeğin duvar kalınlığının en az 3 mm olması gerekmektedir.



Şekil 6.7 Çift helisli bubbler

Kalıbın soğutulmasının verimli olabilmesi için tasarım esnasında düşünülmesi gereken değişkenlerin aşağıdaki şekilde sıralanması mümkündür . Bunlar;

Soğutma kanallarının kalıp içerisindeki yeri

Soğutucu kanalların ölçüleri

Soğutma kanallarının tipi

Soğutma kanallarının düzeni ve bağlantısı

Soğutma kanallarının boyu

Soğutucu akışkanın akış hızı

Enjeksiyon kalıplarında termal denge soğutma ile sağlanmaktadır. Hatasız üretim için sabit termal şartlar gerekmekte, buda malzeme ve kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, yolluk girişi ve yolluk ölçüleri, enjeksiyon ve basınç periyodlarının ayarlanmasıyla sağlanabilmektedir. Prosesin karmaşıklığı ve değişkenlerin sayısının fazla olmasından dolayı hesaplamaların yapılması zor hale gelmektedir.

Kalıp cidarı ve malzeme arasındaki sıcaklık farkı ile soğutma borusu ve kalıp arasındaki mesafe arasında orantı bulunmaktadır. Bu yüzden uniform kalıp cidar kalınlıkları ile yapılan enjeksiyonla kalıplama işleminde uniform kalıp sıcaklığı, kalıplama yüzeyinden eşit mesafelerde soğutma borularının yerleştirilmesiyle sağlanmaktadır. Değişken kalınlıktaki cidarlarda ise soğutma kanalları mesafesinin mümkün olduğu kadar cidar kalınlığı ile ters orantılı olması gerekmektedir.

Soğutma zamanı parçanın cidar kalınlığının karesi veya geniş yolluklar için 1,6 katı ile orantılıdır.

$$\text{Soğutma zamanı} \propto \frac{(\text{cidar kalınlığı})^2}{\text{polimer ergiyiğın ısı yayılımı}} \quad (6.1)$$

$$\text{Soğutma zamanı} \propto \frac{(\text{en geniş yolluk çapı})^{1,6}}{\text{polimer ergiyiğın ısı yayılımı}} \quad (6.2)$$

$$\text{Isı yayılımı} \propto \frac{\text{ısı yayılımı}}{\text{yoğunluk x spesifik ısı}} \quad (6.3)$$

### 6.2.1 Reynolds Sayısı

Soğutmanın verimli olması açısından soğutucu akışkanın akış tipinin türbülanslı olması gerekmektedir. Akışın bu durumu Reynolds sayısına ( Re ) göre belirlenmektedir.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot U \cdot d}{\eta} \quad (6.4)$$

$\rho$  - soğutucunun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$U$  - soğutucunun ortalama hızı ( $\text{m/s}$ )

$d$  - soğutma kanalının çapı ( $\text{mm}$ )

$\eta$  - soğutucunun dinamik viskozitesi ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

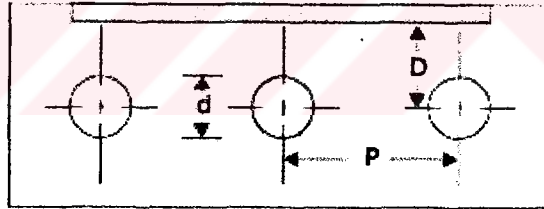
Enjeksiyon çevriminin ekonomik olmasını sağlamak için, parça cidar kalınlığının aşırı olmasından kaçınılması ve mümkün olduğu kadar cidar kalınlığının eşit olmasının sağlanması gerekmektedir. Çünkü kalınlık artıka soğutma zamanının uzaması söz konusudur.

Çizelge 6.1 Reynolds sayısına göre akış tipleri

Reynolds Sayısı	Akış Tipi
$10,000 < Re$	Türbülanslı akış
$2,300 < Re < 10,000$	Laminar –Türbülans karışık akış
$100 < Re < 2,300$	Laminar akış
$Re < 100$	Durgun akış

Soğutma kanalları için en uygun yer, içinde blok olan kavite ve kalıp çekirdeğidir. Parçanın karşılıklı kenarları arasındaki sıcaklık farkının minimum seviyede tutulmasına yaklaşık olarak  $10^{\circ} C$  lik tolerans değerinin geçilmemesine özen gösterilmelidir. Çelik kalıplar için soğutma kanallarının yüzeyi, kavite veya göbeğe yarı çaplarının 1-2 katı, soğutma kanalları merkezleri arasındaki mesafe yarıçapın 3-5 katı, soğutma kanalı çapı 10-14 mm arasında olması gerekmektedir (Şekil 6.8).

Isı transferinin etkisi soğutucu akışın laminar akıştan türbülanslı akışa dönüşmesi sonucunda artma göstermektedir. Laminar akış için, yüzeyden yüzeye kondüksiyonla bir ısı transferi söz konusudur. Türbülanslı akış ise ısı transferinin hem kondüksiyon hem de konveksiyon ile olmasına imkan vermektedir.



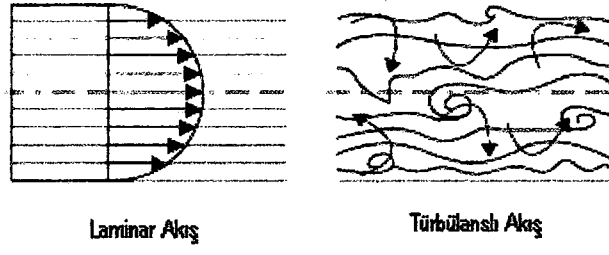
$$d = \text{soğutma kanalının çapı} = 10-14 \text{ mm}$$

$$D = \text{Soğutma kanalının derinliği} = d-2d$$

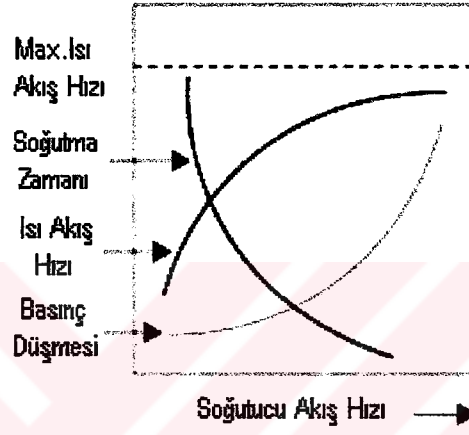
$$P = \text{Hatve ( Adım )} = 3d-5d$$

Şekil 6.8 Soğutucu kanal çapı için ölçüler

Sonuç olarak türbülanslı akışta verim daha fazla olmaktadır. Akışın türbülanslı olması durumunda soğutucunun akış hızının artırılmasına gerek kalmamaktadır (Şekil 6.9)



Şekil 6.9 Akış tipleri



Şekil 6.10 Soğutma sistemlerinde akışın türbülanslı akış

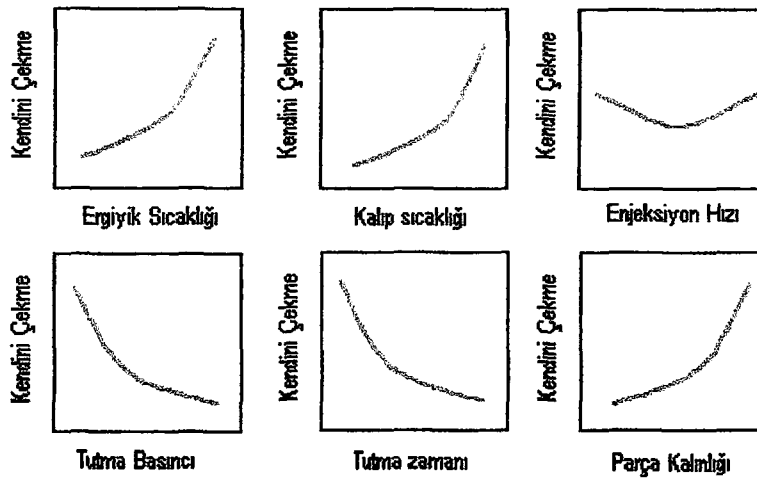
## 7. PARÇA HATALARI

### 7.1 Kendini Çekme

Kendini çekme enjeksiyon işlemi esnasında meydana gelen doğal bir olaydır. Enjeksiyon işlemi esnasında, kendini çekme miktarındaki değişim, hem genelde hem de parça kesiti boyunca iç gerilme meydana getirmektedir.

Plastik parçanın kendini çekme miktarı, işlem sıcaklığı ve çevre sıcaklığı ölçüldüğünde toplam hacmin % 20 kadarı olabilmektedir. Kristal ve yarı kristal malzemelerde termal kendini çekmeler yapısal olarak meydana gelmektedir. Amorf malzemeler büzölmeye daha az eğilim göstermektedirler. Kristal malzemeler, uygun dönüşme sıcaklığında soğutuldukları zaman moleküller kendi yapılarına uygun düzene girmekte ve kristalliklerini meydana getirmektedir. Amorf malzemelerin mikro yapıları ise faz değişimleriyle değişmemektedirler. Bu fark kristal ve yarı kristal malzemelerin spesifik hacimleri ( $\Delta v$ ) ile katı ve ergiyik fazı arasında sahip oldukları farktan daha büyüktür.

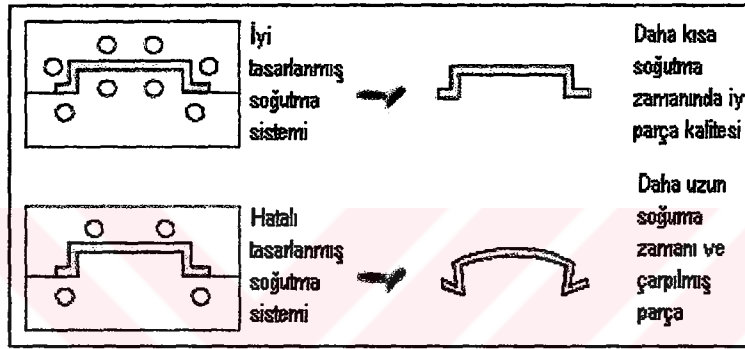
Enjeksiyon işleminden sonra parçada meydana gelen kendini çekme olayının nedenlerinin, düşük enjeksiyon basıncı, kısa tutma veya soğutma basıncı, yüksek ergiyik sıcaklığı, yüksek kalıp sıcaklığı veya düşük tutma basıncı olarak sıralanması mümkündür. Kendini çekme ile ilgili olan enjeksiyon parametrelerini şu şekilde açıklanabilmektedir. Ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve parça kalınlığı arttıkça kendini çekme miktarı artmakta, tutma basıncı ve tutma zamanı azaldıkça kendini çekme miktarı azalmakta, enjeksiyon hızı azaldıkça veya arttıkça da artma eğilimi göstermektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Proses ve dizayn parametrelerinin kendini çekmeye olan etkileri

## 7.2 Çarpılma

Çarpılma, parçada diferansiyel kendini çekmelerin sonucunda meydana gelmektedir. Çevre sıcaklığından, işlem sıcaklığına giren polimer ergiyiğın özgül ağırlığındaki değişim çarpılma olayına sebep olmaktadır. Burada parçanın geometrik yapısı, kullanılan malzemenin cinsi, enjeksiyon basıncı gibi işlem parametreleri etkin rol oynamaktadır. Parçadaki kendini çekmenin bir fonksiyonu olarak düşünöldüğü söz konusu bu olay parçanın baştan başa uniform bir kendini çekmeye sahip olduğu durumlarda, çarpılma veya deformasyon meydana getirmeyecektir. Parçanın homojen olarak soğutulmaması çarpılmayı ortaya çıkaran önemli parametrelerden birisidir (Şekil 7.2).



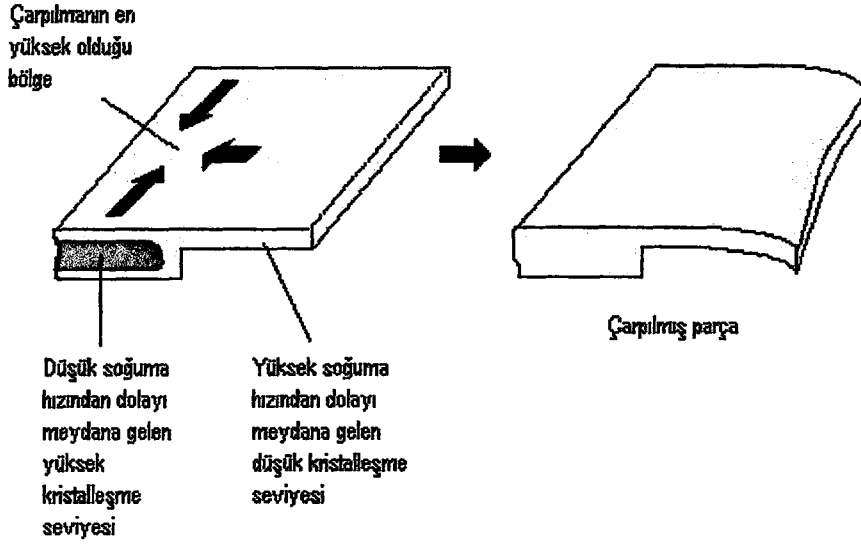
Şekil 7.2 Parçada uniform olmayan soğutmadan dolayı meydana gelen çarpılma

Çarpılma olayının kendini çekmenin bir fonksiyonu olduğunun bilinerek, aşağıdaki parametrelere bağlı olarak meydana geldiğini belirtmek mümkündür.

1. Molekül veya fiber oluşumunun akış yönüne paralel veya dik oluşu,
2. Parça kalınlığı veya parça üzerinde uniform olmayan soğutma yapılması,
3. Parça kalınlığının değişiminden dolayı değişik soğutma hızları,
4. Parça geometrisindeki asimetriklik veya eğrisellik,
5. Parça üzerinde sıcaklık değişimi,
6. Enjeksiyon basıncının geçit kısmına uzak olan bölgelerde düşük, geçit yakınlarında daha yüksek olması, aynı durum tutma basıncı içinde geçerli olmaktadır.

Fiber doldurulmuş termoplastikler, yeniden güçlendirilmiş fiberler, küçük ısısız çekilmelerinden dolayı büzölmenin oluşumunu engellemektedir. Bu yüzden fiber doldurulmuş malzemelerde kendini çekme akış yönü boyunca daha az olmaktadır. Doldurulmamış malzemelerde ise yüksek seviyede moleküler oluşum izlenmekte kendini çekme anisotropik olmaktadır. Parça üzerinde diferansiyel ve anisotropik olan bu durumda iç

gerilmeler yüzünden parçanın çarpıldığı gözlenmektedir.



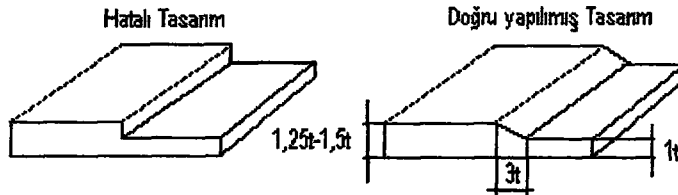
Şekil 7.3 Kendini çekme

Şekil 7.3' de görüldüğü gibi kalın kesitli bölge ince ve geniş kesitli olan bölgeye göre daha yavaş soğuduğundan dolayı kristalleşme seviyesi yüksek olmakta, kendini çekme geniş olan kesitte daha yüksek olduğundan dolayı parçada çarpılma meydana gelmektedir.

Kendini çekme cidar kalınlığının artmış olduğu miktar kadar artmaktadır.

Çarpılmanın önlenmesi veya kontrol edilebilmesi için tasarım esnasında bazı hususların dikkate alınması gerekmektedir.

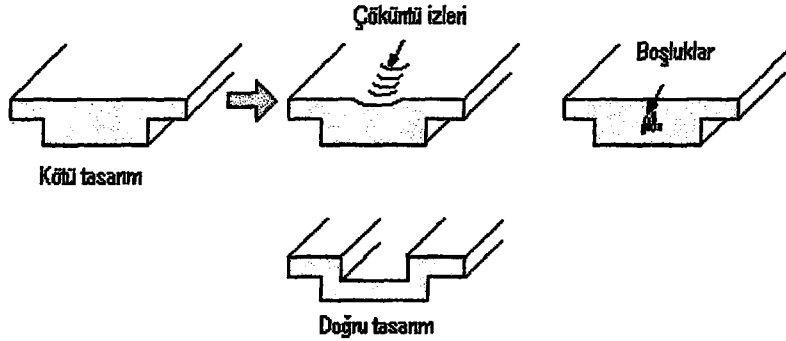
Parçadaki ani kesit değişimlerinden mümkün olduğu kadar kaçınılması, kesit kalınlıkları arasındaki farkın büyük olmaması ve kesitler arası geçiş mesafesinin kalınlığının ince kesit bölgesi kalınlığının üç katı olması gerekmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Kesitler arası geçiş

Kalın kesitli bölgelerde oluşabilecek iç boşluklar ve çöküntüleri önlemek için dizaynın uygun yapılması gerekmektedir. Genelde yapılmış olan pek çok uygulamaya göre uniform cidar

kalınlığındaki duvarlara kaburgaların yapılması, kalın cidarlara göre daha çok tercih edilmektedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Boşluk ve çöküntü

Tasarımın, çok kaviteli sistemlerde, kaviterin hepsini dengeli bir şekilde dolduracak ve ergiyik ön hızını sabit tutacak şekilde yapılması gerekmektedir.

Yüksek tutma basıncı kendini çekmeyi, potansiyel artık gerilim miktarını ve kalıp kapama kuvvetini azaltmaktadır. Tutma basıncı hacimsel kendini çekmeleri engellemek için eklenen malzemeleri kompanze edebilecek şekilde uygulanmalıdır.

Soğutma sisteminin tasarımı parçayı baştan başa dengeli bir şekilde soğutacak şekilde yapılmalıdır.

Ergiyik sıcaklığının artmasıyla oluşan moleküler ve fiber yapıyla, kalıp-cidar sıcaklığı, doldurma zamanı ve tutma basıncının azalmasıyla artık gerilme miktarı azalmakta parçada çarpılmalar önlenmektedir.

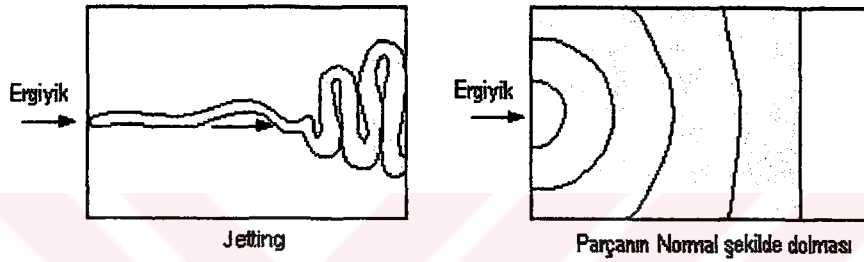
### 7.3 Jetting

Jetting polimer ergiyiğin şekil almaksızın kalıp içerisindeki sınırlayıcı bölgeye doğru yüksek hızla itilmesinden dolayı meydana gelen bir olaydır (Şekil 7.6). Söz konusu olayın, enjeksiyon hızının ayarlanması, ergiyik hızının düşürülmesi, geçitin genişletilmesi veya uygun geçit tipinin seçilmesi, geçit yerinin değiştirilmesi, akışın kalıp duvarına yönlendirilmesi suretiyle engellenmesi mümkündür.

Eriyik-kavite arasındaki teması kolaylaştırmak için gereken uygun geçit ölçülerinin, yeri ve tipinin dizayn el kitabına veya malzeme tedarikçilerinin tavsiyelerine göre seçilmesi uygun

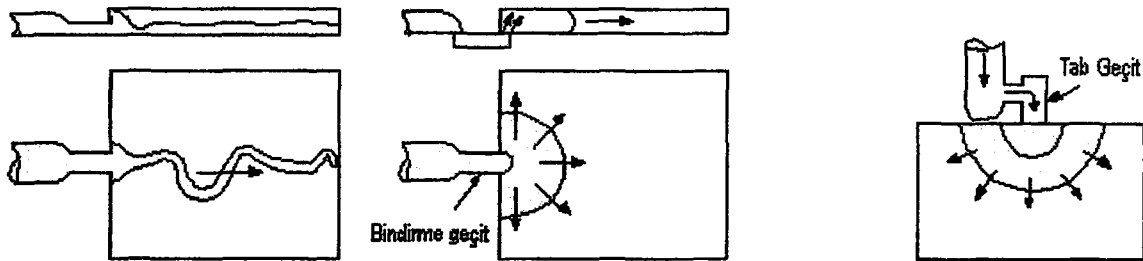
olmaktadır. Kalıp içerisinde ergiyik hızının yüksek olmasından kaçınılması gerekmektedir.

Ergiyik viskozitesinin etkileri akış üzerinde karmaşık olabilmektedir. Malzeme geçit içerisinde akarken, yüksek bir hıza, kayma ve uzama gerilmesine sahiptir. Ergiyiğin ilk önce kalıp içerisine girmesiyle gerilim yavaş bir şekilde azalmakta daha sonra, doğal olarak genişleyen bir akış hüzmesi haline gelmesiyle akış volumetrik olarak genişlemektedir. Uygun geçit tipi ve ölçülerinin seçimi ile (swelling) açılım etkileri kullanılarak, ergiyik ve kalıp duvarları arasındaki temas kolaylaştırılmakta, akış böylece laminar olmakta ve kontrol altında tutulması sağlanmaktadır. Ergiyiğin kalıp duvarına direkt olarak gelmesi olan söz konusu bu olayın engellenmesi için açılım etkilerinin oldukça iyi kullanılması gerekmektedir.



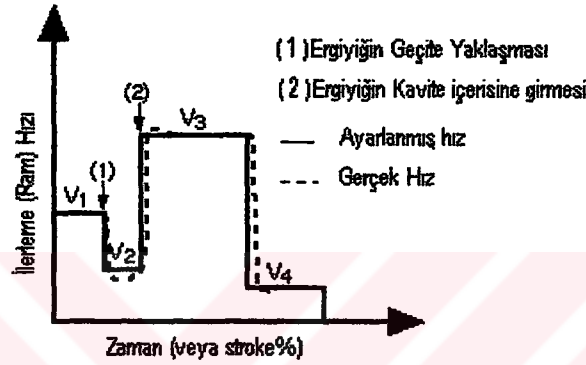
Şekil 7.6 Jetting olayında akış

Kalıp tasarımında yapılması gerekenler ise, geçit veya yolluk ölçüsünü genişletilmesi veya geçit uzunluğunun düşürülmesi, bindirme tipi gibi ergiyiğin direkt olarak kalıp duvarına temasını engelleyen geçit tipinin seçilmesi, akışın ayrımını sağlayabilecek tab veya fan tipi gibi geçit tiplerinin kullanılması olarak belirtmek mümkündür (Şekil 7.7). Uygun geçit tiplerinin kullanılmasıyla ergiyik kayma gerilmesi ve kayma gerinim hızı, geçitten kaviteye doğru olan iletimlerde azalmaktadır.



Şekil 7.7 Geçit tipi-jetting

Kalıplamada ise enjeksiyon ilerleme hızının ayarlanmasıyla, jettingin önlenmesi mümkündür (Şekil 7.8). Parça yüzeyinde oluşabilecek jetting olayı silindir (barrel) sıcaklığının artırılması veya azaltılması ve ergiyik sıcaklığının artırılması ile engellenebilmektedir. Ergiyik özelliklerinin değiştirilmesi veya yayılma etkisinin kullanılması ile önlenebilen bu olayın kullanılan malzeme ile de ilgisi bulunmaktadır. Pek çok polimer için yayılma etkisi sıcaklığın azalmasıyla artmaktadır. Bazı malzemelerde mesela PVC , sıcaklığın artmasıyla yayılma etkisi artış göstermektedir.

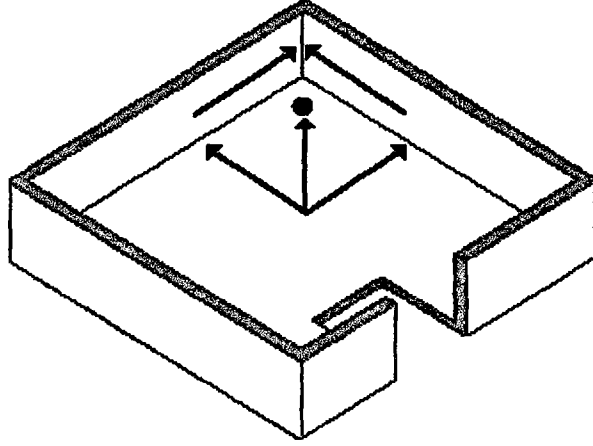


Şekil 7.8 İlerleme hızı

#### 7.4 Hava Boşlukları

Hava boşlukları enjeksiyon işleminde sık görülen bir hatadır. Ergiyiğin kalıp içerisinde ilerlerken kalıp içi havalandırmadan veya maçalardan tahliye edilememesi sonucu meydana gelmektedir. İşlem sonrasında parçada görülen boşluk ve kabarcıklar, parça dolumu tamamlanmadan vuruşun tamamlanması (short-shot) veya yüzeydeki yanma izleri ve bozukluklar havanın tahliye edilememesi sonucunda meydana gelmektedir.

Hava kabarcık yerleri genelde ergiyiğin ilk ulaştığı yerlerde görülmektedir (Şekil 7.9) Havalandırma gereksinimi veya yetersiz havalandırmanın bu kritik bölgede olması sonucu hava kabarcıklarının ve bunun etkilerinin görülmesi kalıp içinde kaçınılmaz olmakta ve parçada hatalara sebep olmaktadır. Hava kabarcıklarının kavite içerisinde uygun havalandırma yerlerinin tespiti ve havalandırmanın genişletilmesi ile önlenmesi mümkündür. Havalandırma kanalları ergiyin ilk ulaştığı bölgeye yerleştirilmesine ve havalandırma kanalı ölçülerinin kalıp içerisindeki havayı enjeksiyon esnasında kolaylıkla tahliye edebilecek şekilde yeterli genişlikte olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.9 Hava kabarcığının oluşumu

Kristal polimerler için havalandırma kanalı ölçüsünün 0,0025 mm, amorf polimerler için 0,038 mm olması tavsiye edilmektedir. Parça içerisinde geniş kalınlık oranlarından kaçınarak hava kabarcıklarının önlenmesi de mümkün olabilmektedir.

Havalandırma kanalları genelde bölme yüzeylerinde, hareketli parçalar (maçalar vb.) ile kalıp duvarı arasında enjektör pimlerinde, veya kalıp kayıcılarında yerleştirilmelidir.

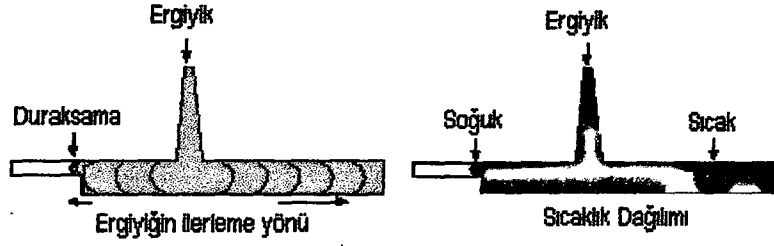
Enjeksiyon işleminde ise enjeksiyon hızı azaltılarak jetting olayı engelleneceğinden dolayı ve hava emişi meydana gelemeyecektir. Enjeksiyon hızının yavaşlatılması durumunda ise hava kavite içerisinde tahliye olabilmek için gerekli olan zamanı bulabilecektir.

### 7.5 Duraksama

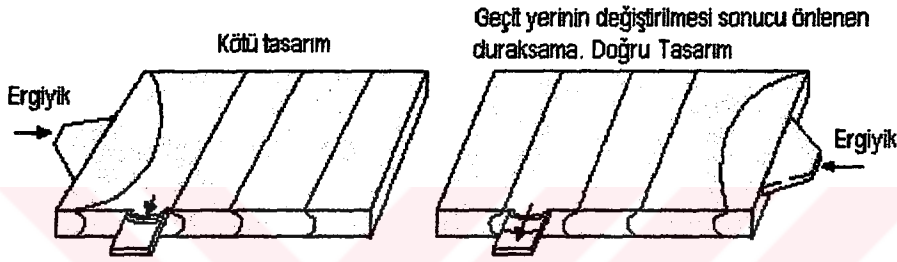
Duraksama ve duraksama izleri ince kesitli veya ani kesit değişiminin olduğu bölgelerde ergiyiğin akışının durgunlaşmasından dolayı meydana gelmektedir. Parça kalınlığının değiştirilmesi veya geçit yerinin doğru tesbit edilmesi ile önlenmesi mümkün olmaktadır. Ergiyik kalıp içerisine enjekte edildiğinde doğal olarak geniş kesitleri doldurma eğilimindedir akış bu yönde devam etmektedir. İnce kesitlere gelindiğinde kesit değişiminden dolayı akışta duraksama meydana gelmesi kaçınılmazdır (Şekil 7.10) Duraksama süresinin uzun olması durumunda, duraksama yapıldığı noktada soğumadan dolayı küçüğe olsa katılaşmalar oluşmakta ve akış sınırlanmaktadır. Katılaşmış polimerin parça yüzeyine doğru itilmesi sonucu olarak yüzeyde duraksama izleri görülmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Parça kalınlığının ani değişiminden kaçınılarak ve geçitin ilk önce kolay doldurulabilen alanlara yerleştirilmesiyle duraksamayı önlemek mümkündür (Şekil 7.11). Ergiyik

sıcaklığının artırılması veya tutma basıncının azaltılması da bir önlem olarak düşünülebilmektedir.



Şekil 7.10 Duraksama

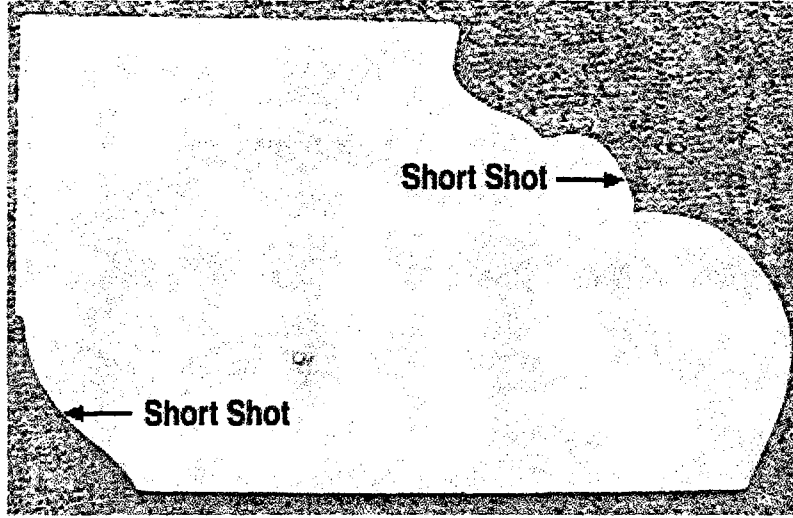


Şekil 7.11 Geçit yerinin değiştirilmesi ile duraksamanın önlenmesi

## 7.6 Kısa Vuruş ( Short Shot)

Kısa vuruş, kavite içerisine yetersiz malzeme enjekte edilmesinden dolayı parçanın tamamlanamaması olarak ifade edilmektedir. Kalıp içerisine hava girişleri ve enjeksiyon basıncının yeterli olmayışı sebebiyle eriyik içerisinde ilkel katılaşmalar oluşabilmektedir. Daha çok ince kesitlerde polimer ergiyiğin kaviteyi kalıbı tam olarak dolduramaması sonucu oluşmaktadır (Şekil 7.12).

Polimer ergiyiğin akmaya karşı olan direnci veya yeterli malzemenin kavite içerisinde rahat ilerleyememesi kısa vuruş hatasını ortaya çıkarabilmektedir. Akışın ilerlemesi için alanın yetersiz olması, yolluk ve geçitlerin uygun tasarlanmaması, düşük erylilik veya kalıp cidar sıcaklığı, havalandırma kanallarının yetersiz olması sonucunda oluşan hava kabarcıkları, yetersiz enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, duraksamadan dolayı meydana gelen katılaşmalar da kısa vuruşa neden olabilmektedir. Cidar kalınlığı, geçit ve yolluk ölçüleri, işlem sıcaklığı için malzeme tedarikçilerinin tavsiyeleri ve tasarım kitaplarının verdiği değerlerin kullanılmasında doğru tasarım yapılması açısından fayda bulunmaktadır.



Şekil 7.12 Kısa vuruş

Parça tasarımında havalandırmalar uygun yerlere özellikle de, dolumun en son gerçekleştiği alanlarda yerleştirilmelidir. Her zaman için kalın bölgeler ince bölgelerden daha önce dolmaktadır. Bu yüzden duraksamalardan kaçınılmaya özen gösterilmesi gerekmektedir. Kalıp tasarımında geçit ölçüleri ve sayısı ve yolluk sistemlerinin boyutu, havalandırma kanallarının sayısı ve ölçülerinin artırılması gerekmektedir. Kalıp içine malzeme ileten sistemler olan yolluk sisteminin parçayı doldurma esnasında dengeyi sağlamasına dikkat edilmelidir.

Enjeksiyon işleminde ise enjeksiyon basıncı artırılmalı, enjeksiyon makinasının kapasite sınırlarının aşılmasına dikkat edilmelidir. Normal olarak işlem esnasındaki enjeksiyon basıncının, maksimum enjeksiyon basıncının % 70- % 85'i limitinde olmasına makinanın hidrolik sistemine zarar vermemesine dikkat edilmelidir.

Enjeksiyon hızı, viskoz ısınma yaratabilmek için artırılmalı ergiyik viskozitesi azaltılmalıdır.

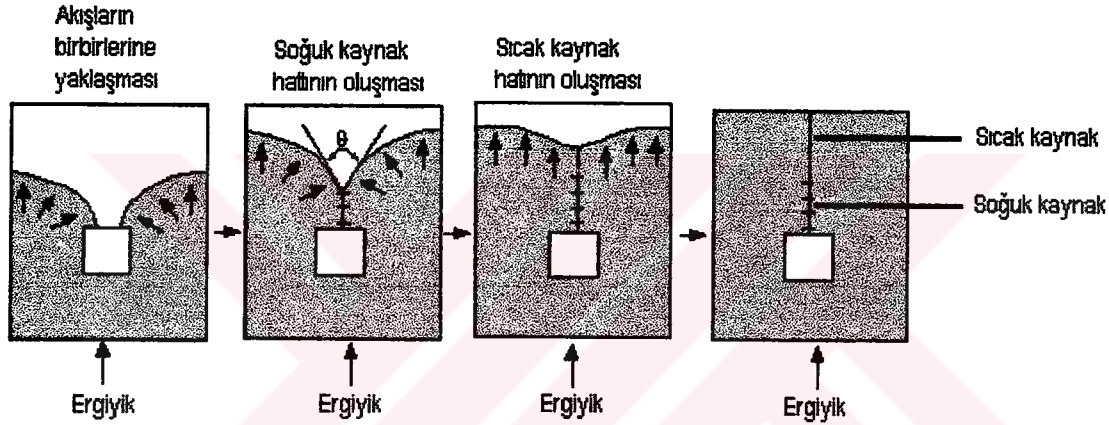
Enjeksiyon hacmi ve kalıp cidarı sıcaklığı artırılmalıdır. Enjeksiyon ham malzemesinin doldurulduğu huni şeklindeki haznenin içerisinde yeteri kadar malzemenin olmasına özen gösterilmeli, her herhangi bir şekilde tıkanma meydana gelmemesine dikkat edilmelidir.

### 7.7 Birleşme izleri, soğuk Kaynak ( Weld Lines ) ve Sıcak Kaynak ( Meld Lines ) Hatları

Kaynak hatları iki farklı akışın birbiri ile karşılaşması sonucu oluşan bir birleşme hattıdır. Kalıp içinde sıcak ve soğuk kaynak çizgilerinin oluşma yerlerini, genellikle delikler, maçalar,

çok geçitli kavite sistemleri, değişebilir cidar kalınlığı, duraksamanın meydana geldiği noktalar olarak ifade etmek mümkündür. Soğuk ve sıcak kaynak çizgilerinin düşük gerilmelerin oluşacağı, parçada görünüş olarak pek ortada olmayan yerlere gelebilecek şekilde, uygun geçit tipi ölçülerinin tespit edilmesiyle pozisyonlanması parça kalitesi için tasarım aşamasında gerekmektedir. Soğuk ve sıcak kaynak hatlarının dayanıklılığının, buldukları bölgedeki sıcaklığın ve basıncının yükseltilmesiyle artırılabilmesi mümkündür.

Soğuk ve sıcak kaynak hatlarını oluşturan farklı yönlere gelen akışların karşılaşma açıları arasında fark bulunmaktadır. Sıcak kaynak hatlarını oluşturan açı  $\theta$   $135^\circ$  de küçüktür, soğuk kaynak hattında ise  $\theta$   $135^\circ$  den büyüktür. Karşılaşma açısı  $120^\circ$ - $150^\circ$ 'ya yaklaşınca kaynak yüzey, görünmemektedir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13 Sıcak ve soğuk kaynak hatlarının oluşumu

Sıcak kaynak hatları parçanın dayanıklılığı ve görünüşünü olumsuz yönde etkilediğinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Sıcak kaynak hatları kavitenin dolması tamamlanmadan önce oluşursa, kaynak hattının daha az görünür halde olabilmesi için ek tutma basıncının uygulanması gerekmektedir. Karmaşık geometriye sahip olan parçalarda sıcak-soğuk kaynak hatlarının oluşabilecek muhtemel yerleri akış simülasyonu ile tahmin edilerek buna göre tedbirlerin alınması mümkün olabilmektedir.

Sıcak ve soğuk kaynak hatları oluşumunda dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir.

Sıcak ve soğuk kaynak hatlarının düşük gerilme içeren ve görünüşü pek etkilemeyen yerlerde oluşturulmasına ve geçit yerlerinin doğru seçilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Gerektiği takdirde geçit ve yolluk ölçüleri büyütülmesinde sakınca bulunmamaktadır.

Sıcak ve soğuk kaynak hatları yüksek sıcaklık ve yüksek tutma basıncı altında oluşmaktadır.

Sıcak ve soğuk kaynak hatlarının oluşma bölgesinde buradaki dayanımı düşürmemesi açısından hava emişlerinin olmaması için havalandırmanın yerleştirilmesi gerekmektedir.

Kalıplama işlemi esnasında eriyik sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncını arttırmak gerekmektedir.

### 7.8 Çukurluklar Ve Boşluklar

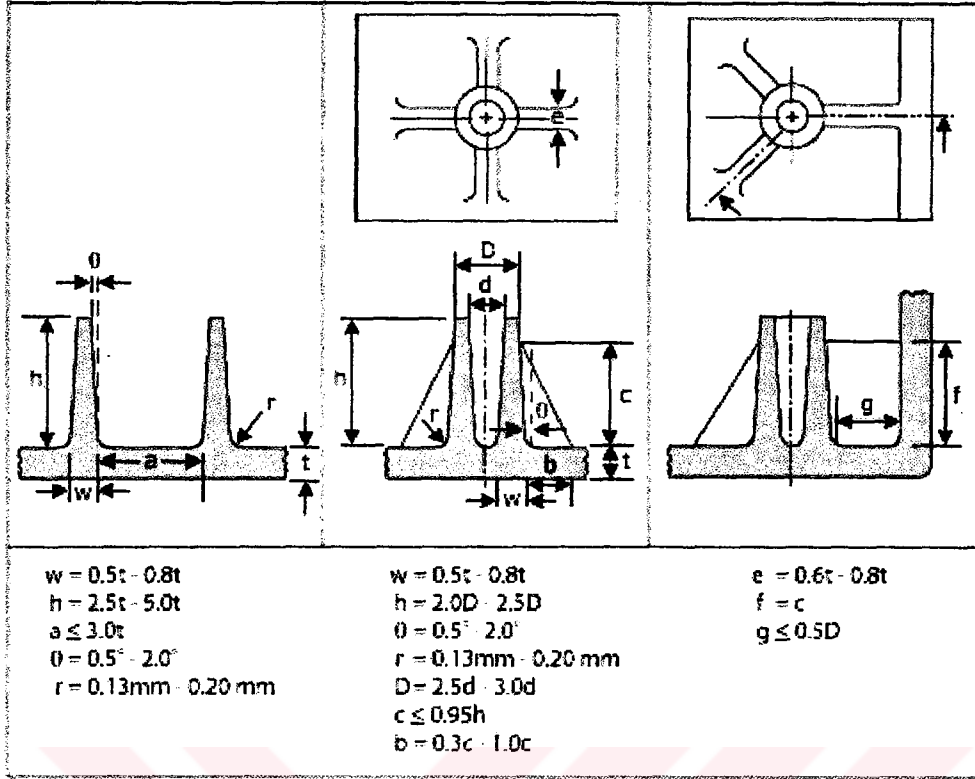
Malzeme yeterli bir şekilde kurutulmaması sonucu özellikle et kalınlığı fazla parçaların içerisinde boşluklar ve yüzeyde çukurluklar meydana gelmektedir. Malzemenin uçucu bir madde içermesi veya malzeme sıcaklığının fazla olmasından dolayı özelliğinin yitirmesi (degrade) olması söz konusu olduğunda parça içerisinde boşlukların meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Kesit kalın parçalarda, kalıplama boşluğu içerisinde havanın yeterli tahliye edilememesi sonucu da boşluk oluşmaktadır. Enjeksiyon hızının düşürülmesi, geçit yerlerinin doğru seçilmesi gibi önlemlerle sonuç almak mümkün olmaktadır. Kalıp içerisine malzeme alışımda silindire ters basınç uygulanması da bir çözüm olarak düşünülebilir..

Bir de parça içerisindeki boşluklarla, yüzeydeki çöküntüleri yaratan sebepler birbirlerine oldukça yakındır. Plastik malzeme ergiyik halinde iken katı haline oranla daha fazla hacim kaplamaktadır. Katı hale geçerken soğuma esnasında hacimsel küçülmeye uğrar ve kendini çekmeler meydana gelir, kalın kesitlerde bu durum ince kesitlere oranla daha fazla olmaktadır. Parça üzerinde ani kesit kalınlığı değişiklikleri var ise farklı kendini çekmeler yüzeyde kendisini çöküntü olarak belli etmektedir.

Enjeksiyonda tutma basıncının ve uygulama süresinin artırılması, kalıp soğutmasının et kalınlıkları da göz önüne alınarak yapılması, en düşük ergiyik sıcaklığında,yeterli malzeme ile kalıbın hızla doldurulması çöküntüleri azaltacak etkili faktörler içerisinde yer almaktadır.

Et kalınlığı mümkün olduğunca uniform olmalı, cidarlara destek elemanları yapılmalı, geçitlerin ve yollukların boyutlarının donma zamanını geciktirmek için çok küçük olmasından, ince kesitlerin kalın kesitlerden önce donmasından kaçınılmasına özen gösterilmelidir (Şekil 7.14).

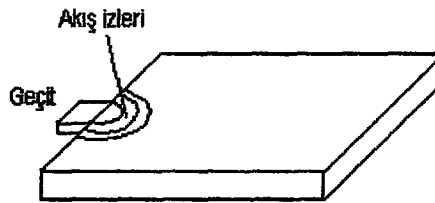
Enjeksiyonda ise enjeksiyon basıncının ve tutma zamanının artırılması, enjeksiyon hızının düşürülmesi, ergiyik ve kalıp sıcaklığının azaltılması, soğuma zamanı artırılması, malzeme sızıntıları için geri dönüşü engelleyen valfin kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.14 Destek elemanları ve tavsiye edilen ölçüler

## 7.9 Akış İzleri

Ergiyik kalıbın içerisine enjekte edildiğinden, malzeme doğal olarak kalın ve geniş kesitleri önce doldurma eğilimindedir. Bu kesitlerin dolmasının ardından ince kesitlere dolmaya başlamakta, akışı etkileyen bir engel ile karşılaşınca türbülans olayı yaşanmakta, akış bölünmekte, türbülans izi donduğu yüzeyde akış izi olarak kendisini göstermektedir.



Şekil 7.15 Akış izleri

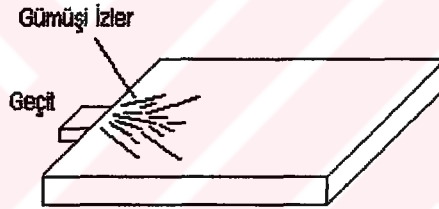
Akış izleri genellikle yolluk giriş kısmında görülmektedir (Şekil 7.15). Kalıba giren ergiyiğin karşısında bulunan kalıp cidarına çarpması sonucunda, geçit kısmında dalgalı bir görünüm oluşmaktadır.

Uygun geçit kullanılarak bu sorunun görüntüsel açıdan çözümlenebilmesi mümkün

olabilmektedir (Yandan geçit veya tünel geçit). Akış izi problemi , düşük ergiyik ve kalıp sıcaklığı, düşük enjeksiyon hızı, düşük enjeksiyon basıncı, kk yolluk veya geçit sistemi gibi sebeplerden de ortay çıkabilmektedir. Enjeksiyon basıncının ve tutma basıncının, silindir ve nozül sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının arttırılması ile işlem esnasında bu hatanın önlenebilmesi söz konusudur.

### 7.10 Yüzeyde gümüşi izler

Geçit kısmında sıkça görülen, bazen de tüm parçayı kapsayabilen gümüşi izleri andıran ve serpinti denilen görüntü bozukluğu çok fazla rastlanılan bir enjeksiyon hatasıdır. Plastik ergiyiğin içerdiği uçucu maddeler, enjeksiyon aşamasında parça yüzeyinde yoğunlaşarak bu görüntüyü oluşturmaktadır (şekil 7.16). Malzeme tarafından absorbe edilip kurutma yoluyla uzaklaştırılmamış nem ve malzemenin ihtiva ettiği solvent, fazla miktarda kullanılmış kalıp ayırıcı madde ve polimerin ısıl değratasyonu sonucu ortaya çıkan gazlar başlıca sebep olarak gösterilebilir.



şekil 7.16 Parça üzerinde gümüşi izler

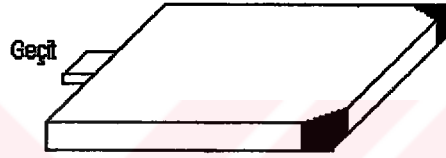
Malzeme akışı esnasında sürtünme kaynaklı ısı oluşması da gaz ayrışmasının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca geçit kısmındaki aşırı sürtünmeden oluşan kinetik enerjinin ısıya dönüşmesi de gazlaşmayı ortaya çıkarabilmektedir. Birden fazla enjeksiyon işleminde kullanılan malzemeler de ise, bu malzemenin daha önceki kullanımından kalmış uçucu bir solventin etkisi de sebep olarak gösterilebilmektedir.

Besleme hunisinde artık malzemelerin bulunmamasına, huninin temiz olmasına, granül halindeki ham malzemenin enjeksiyon işleminde önce malzeme tedarikçilerinin tavsiyelerine göre uygun olan sıcaklıkta kurutulmasına dikkat edilmelidir. Tasarım aşamasında yolluk giriş ağzı, yolluk ve geçit ölçülerinin, malzemenin sürtünme sebebiyle fazla ısınmasını engelleyecek şekilde genişletilmış olması gerekmektedir. kalıp içerisinde gaz çıkışlarının sağlanabilmesi için yeterli havalandırma kanallarının yapılması gerekmektedir. Kristalin polimerler için 0,025 mm, amorf polimerler için 0,038 mm çapında havalandırma

kanalı ölçüsü yeterli olabilmektedir.

### 7.11 Yanık izleri

Enjeksiyon sırasında kavite içerisinde ilerleyen ergiyiğik tarafından sıkıştırılan hava dışarı tahliye edilemezse, kavite içerisinde bulunduğu yerde çok yüksek bir sıcaklığa ulaşarak plastikte reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyonda, plastiğin yanması sonucunda karbondioksit ve suya ayrışmasına yetecek seviyede hava yoksa, hidrojen direk reaksiyona girerek yüzeyde siyah bir kalıntı bırakır (Şekil 7.17).Yüzeyde yanık izi olarak şeklinde bir görüntü oluşturmaktadır. Havanın havalandırma kanallarından, birleşme yüzeyinden veya kalıp plakaları arasından tahliye edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.17 Yanık izleri

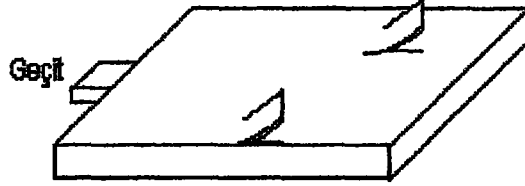
Silindir memesinde havanın sıkışması da, parçanın yüzeyinde yanık izlerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Memeden malzeme akışının olmaması için yapılan ve malzeme alımından sonra enjeksiyon vidasının biraz geriye alınması işlemi olan geri emiş yeterinden fazla yapılırsa memedeki malzeme oksitlenmekte ve parça yüzeyinde yarık izlerine neden olmaktadır.

Yanık izlerini oluşturan sebepleri, kalıp tahliye edilemeyen hava, yüksek ergiyik sıcaklığı, yolluk sistemi ölçülerini küçük olarak tasarlanması yüzünden aşırı sürtünme ile fazla ısınmadan dolayı ergiyik ısısının artması sonucu malzemenin degrade olması ve enjeksiyon vidası hızının fazla olmasından dolayı yine sürtünmeden dolayı artan ergiyik ısı olarak sıralamak mümkündür.

Kalıp içerisinden havanın rahatlıkla tahliye edilebilmesi için yeterli sayıda ve uygun ölçüde havalandırma kanallarının yapılması ( kristalin polimerler için 0,025 mm, amorf polimerler için 0,038 mm), yolluk sistemi ölçülerinin genişletilmesi, enjeksiyon basıncının , enjeksiyon hızının, enjeksiyon vidası dönme hızının, düşürülmesi, silindir sıcaklığının azaltılması, bant ısıtıcıların ve termokupul sistemlerinin kontrol edilmesi çözüm alternatifleri olarak düşünülebilir.

### 7.12 Soyulma

Parça yüzeyinde tabaka tabaka soyulma olarak tanımlanan bu hatanın başlıca sebebi iç gerilmelerin fazla olmasıdır (Şekil 7.18). Kavite içerisinde düşük ergiyik sıcaklığı, malzemenin aşırı nemli olması, geçit ve yolluğun keskin köşelere sahip olması, birbiriyle



Şekil 7.18 Yüzeyde soyulma

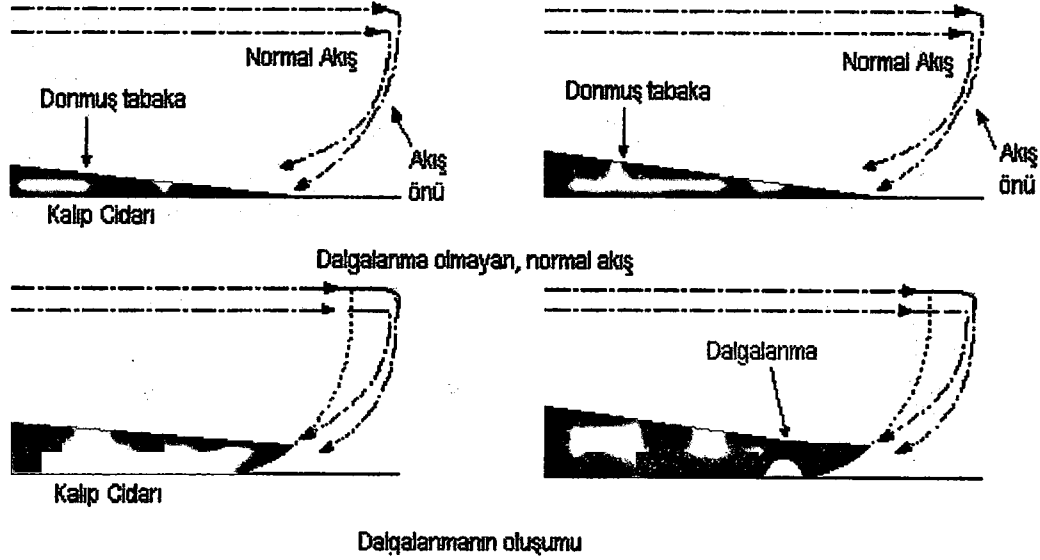
uyumlu olmayan malzemelerin karıştırılarak beraber kullanılması bu hatayı oluşturan etkenler olarak gösterilmesi mümkündür. Fazla miktarda kullanılan kalıp ayırıcı yağları (silikon gibi) daha sonradan yüzey soyulmalarına neden olabilmektedir.

Enjeksiyon aşamasında malzemenin farklı malzemelerle karışmaması, geçit ve yollukların tasarımının yapılırken keskin köşeli olmaması, malzemenin kullanımından önce kurutularak neminin alınması, ergiyik sıcaklığı çok düşük olması yüzeyde tabakalaşmaya sebep olabileceğinden dolayı silindir sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının artırılması bu hatanın önlenmesi için alınması gereken tedbirler olarak düşünülmeli söz konusudur.

### 7.13 Dalgalanma

Dalgalanma parçanın kenarlarında, yada akışın bittiği yerde görülen bir enjeksiyon hatasıdır. Kalıp içerisinde ilerleyen ergiyiğin kalıp cidarı ile temas eden kısımlarında oluşan donmuş tabakanın üzerinden arkadan gelen ergiyiğin geçmesi sonucunda oluşmakta ve bu kısmın da katılaşmasıyla parça üzerinde dalgalanma hatası olarak görülmektedir (Şekil 7.19).

Parça kalınlığının artırılması, tasarımı yapılan parçaya uygun yolluk sisteminin yapılması hatanın ortaya çıkmasını önleyici faktörler arasında sayılabilmektedir. Kalıp havalandırma sisteminin, enjeksiyon esnasında hava tahliye edilmesini kolayca sağlayabilecek şekilde yapılması gerekmektedir. Havalandırma sistemi tasarlanırken havalandırma kanallarının gereğinden fazla büyük olmaması gerekmektedir. Bu beraberinde başka hataları getirebilmektedir. Tavsiye edilen havalandırma kanalı ölçüleri kristalin polimerler için 0,025 mm, amorf polimerler için 0,038 mm dir. Kalıp sıcaklığı artırılmalıdır.

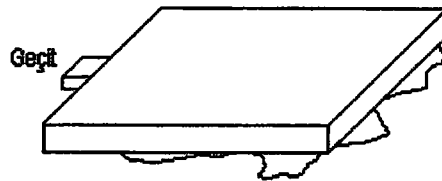


Şekil 7.19 Dalgalanma oluşumu

Enjeksiyon hızının artırılması, daha fazla viskoz ısınma yaratacağından, ergiyiğin viskozitesi azalacağı için hata önleyici bir önlem olarak görülebilmektedir. Enjeksiyon hızının enjeksiyon makinasının kapasitesini aşmayacak şekilde, maksimum enjeksiyon basıncının %70-85 limitinde uygulanması, makinanın hidrolik aksamına zarar vermeyecek şekilde artırılması gerekmektedir. Ergiyik sıcaklığının malzemenin degrade olmayacak şekilde artırılması da bu hata için bir çözüm şeklidir.

#### 7.14 Çapaklanma

Genellikle kalıp ayırım yüzeylerinde, tampon pimlerinin çevrelerinde veya parçanın herhangi bir yerinde çapak olarak ifade edilen bir malzeme hatasıdır. Çapak oluşması kalıp veya makinadan kaynaklanabildiği gibi plastik parçanın ve kalıbın iyi tasarlanmamasından veya malzeme seçiminin yanlış olmasından ya da işlem şartlarının iyi ayarlanmamasından meydana gelebilmesi mümkündür ( Şekil 7.20).



Şekil 7.20 Çapaklanma

Kullanılan enjeksiyon makinasının kalıp kapama kuvvetinin, kalıbın ölçüsünün büyük

olmasından dolayı yetersiz kalması sonucu malzeme kalıp ayırım yüzeyinden taşma yapmakta ve çapak oluşturmaktadır. Kalıp plakalarının merkezlenmesinin olmaması da belli bölgelerde çapak oluşmasına yol açabilmektedir.

Enjeksiyon vidasının hızlı veya gereğinden uzun dönmesi sonucunda sürtünmeden dolayı meydana gelen ısınma ile malzeme viskozitesi azalacağından dolayı kalıp ayırım yüzeylerinde malzeme sızması görülebilmektedir.

Parça tasarlanırken yapılması gereken federler, bozlar, delikler, girinti ve çıkıntılar basınç düşmesine yol açmaktadırlar. Basınç düşmesini engellemek için uygulanan yüksek basınç sonucunda kalıp ayırım yüzeylerinde çapaklanma görülmektedir. Parça cidar kalınlığının değişken olması durumunda ince kesitlerinin donmadan doldurulması için uygulanan fazla enjeksiyon hızından dolayı birleşme yüzeyi zayıf olan bölgelerde çapaklanma meydana gelebilmektedir. Soğutma tasarımının buna göre düzenlenmesi gerekmektedir.

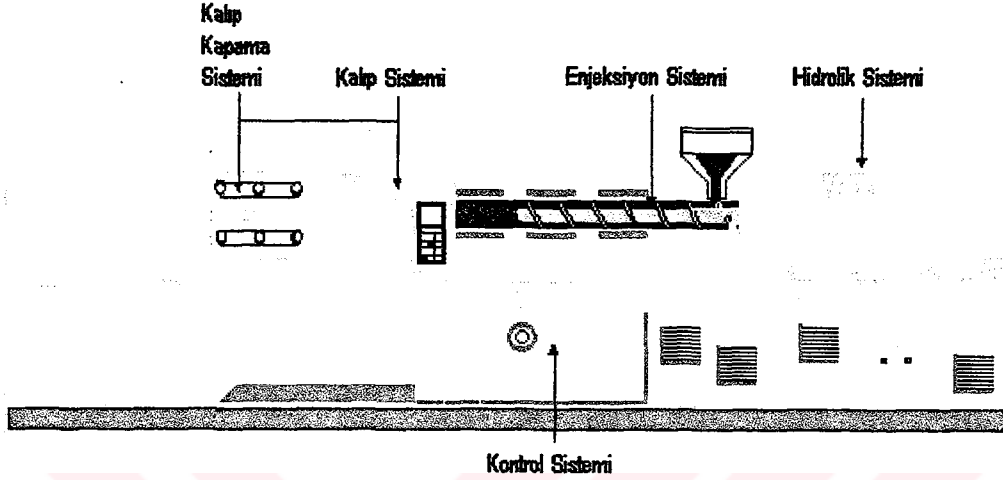
Plastik malzeme seçimi veya malzeme değişikliği de çapaklanmaya yol açabilmektedir. Kalıba uygun akışkanlığı olan bir malzemenin seçiminde fayda bulunmaktadır.

Çapak oluşmaması için enjeksiyon şartlarının dengeli olarak ayarlanması gerekmektedir. Malzemenin sıcaklık yüksek olması viskozitesini azaltacağından kalıp içerisinde gereğinden fazla basınç oluşmakta ve bu basıncın makinanın kapama gücünü yenmesi sonucu ise çapaklanma başlamaktadır.

Silindir ve nozül sıcaklığının ergiyiğin viskozitesini düşürmemesi için azaltılması, enjeksiyon ve tutma basıncının kalıp kapama kuvvetini yenecek kadar büyük olmayacak şekilde uygulanması, enjeksiyon hızının artırılması veya enjeksiyon hızının yavaşlatılması, uygun hava tahliye sistemlerinin yapılması, kalıp plakalarının merkezlenmesinin sağlanması, kalıp birleşme yüzeylerinin temiz olması, kalıba uygun kapasitede kapama kuvvetine sahip enjeksiyon makinasının seçilmesi gibi tedbirler çapaklanmanın önlenmesi için uygulanabilmektedir.

## 8. ENJEKSİYON MAKİNASI, SİSTEMİ VE OPERASYONLAR

Enjeksiyon makinası, granül halindeki plastik hammaddesini , ergiyik haline getirip, kalıp içerisine enjekte edip, tutma aşamasından sonra, soğutma çevrimi ile birlikte plastik mamul haline dönüştüren makinadır ( Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Enjeksiyon makinası

Tipik bir enjeksiyon makinası enjeksiyon sistemi, hidrolik sistem, kapama sistemi, kontrol sistemi gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Enjeksiyon makinaları da genel olarak üç sınıfa ayrılırlar.

1. Genel amaçlı makinalar
2. Hassas ve dar toleranslı makinalar
3. Yüksek hızlı ince cidar makinalar

Reçine kurutucusu, kalıp sıcaklık kontrollerleri, malzeme taşıma ekipmanları, soğutucular, parçayı kalıptan çıkarmak için robot sistemleri, parça taşıma ekipmanları enjeksiyon makinasına yardımcı parçalardır.

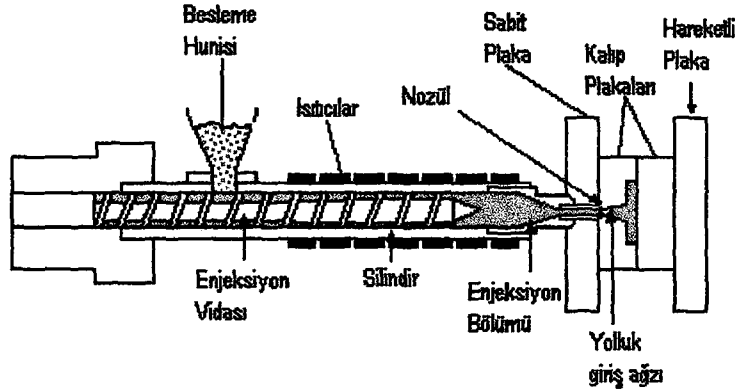
### 8.1 ENJEKSİYON SİSTEMİ

Enjeksiyon sistemi, granül veya tanelenmiş haldeki plastik hammaddesinin konulduğu besleyici huni , ileri geri hareketli vida, enjeksiyon silindiri ve enjeksiyon nozülünü içermektedir ( Şekil 8.2 ).

a. Besleme Hunisi – Küçük taneler veya granül şeklindeki termoplastik malzemenin

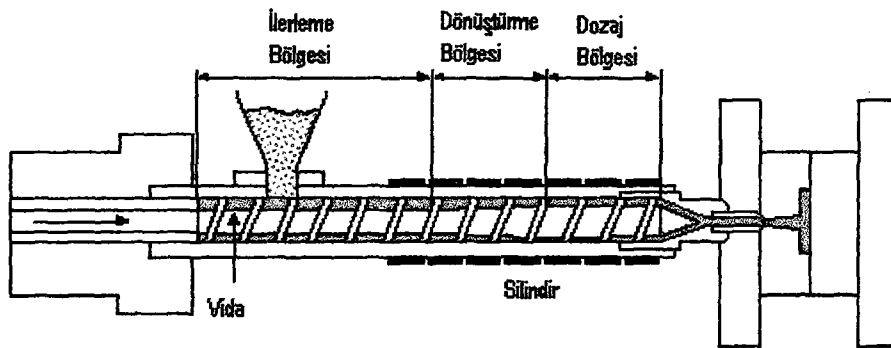
enjeksiyon vidasına iletimini sağlayan kısımdır. Malzeme bir sonraki adım olan silindir kısmına iletilmektedir.

**b. Silindir** - Enjeksiyon vidası tarafından desteklenmekte, elektrikli band ısıtıcılar ile ısıtılmaktadır.



Şekil 8.2 Enjeksiyon sistemi

**c. Enjeksiyon vidası** - Bu kısım besleme bölgesi, dönüştürme bölgesi, dozaj bölgesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır ( Şekil 8.3). Vidanın dış çapı sabit kalırken, enjeksiyon vidasının ilerleme derinliği, besleme bölgesinden dozaj bölgesinin başlangıcına kadar azalmaktadır. Bu ilerleme malzemeyi silindirin iç çapına karşı bastırmakta ve bu bölgede viskoz ısınma meydana gelmesine sebep olmaktadır. Enjeksiyon makinasında üç ve daha fazla farklı sıcaklık ayarları yapılabilen ısıtıcı bant veya bölge bulunmaktadır.



Şekil 8.3 Enjeksiyon vidası, İlerleme bölgesi, dönüştürme bölgesi, dozaj bölgesi

**d. Nozül** - Silindire ve kalıbın yolluk burcuna bağlanmaktadır. Silindir ve kalıp arasında sabitlenmiştir. Nozülün sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığına veya malzeme tedarikçilerinin tavsiye ettiği sıcaklık derecelerine göre ayarlanmaktadır. Silindir işlem esnasında tam ilerlemiş durumdayken, nozülün radyüsü yolluk burcundaki yuvaya yerleştirme halkası yardımıyla tam olarak oturmaktadır.

## **8.2 Kalıp Sistemi**

Enjeksiyon kalıp sistemi gerji çubuğu, hareketli ve sabit kalıp plakaları, yolluk sistemleri, itici pimler, soğutma kanalları, gibi bölümlerden meydana gelmektedir. Enjeksiyon kalıp sistemini oluşturan plakalar takım çeliklerinden imal edilmektedirler. Kalıp sistemi, tüm enjeksiyon parametreleri arasında ki senkronizasyon ile kavite içerisine giren plastiğin şekil almasını, sağlamaktadır.

## **8.3 Soğutma kanalları**

Soğutma kanalları kalıbın gövdesine yerleştirilmiştir. Kalıp içerisinde soğutma yağ, su veya buhar ile yapılabilmektedir. Soğutma kanallarının amacı kalıp yüzeyindeki sıcaklığı belli bir dengede tutmaktır .

## **8.4 Hidrolik sistem**

Kalıbın açılıp kapanmasını, kapama ve tutma tonajını, enjeksiyon vidasının hareketini, itici pimlerin hareketini sağlamaktadır. Makinada kullanılan hidrolik ekipmanların sayısına göre hidrolik sistemin gücünün artırılabilmesi mümkündür.

## **8.5 Kontrol sistemi**

Enjeksiyon makinasında her bir çevrimdeki işlemlerin sabitliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamaktadır. Kontrol sistemi ile işlem parametreleri, sıcaklık, basınç, enjeksiyon hızı, vida hızı ve pozisyonu, hidrolik pozisyon kontrol edilmekte ve CNC kontrollü makinalarda monitörde bu parametrelerin hepsinin değerini görmek mümkün olabilmektedir. Proses kontrol parça kalitesini ve işlemin ekonomikliğini doğrudan etkilemektedir.

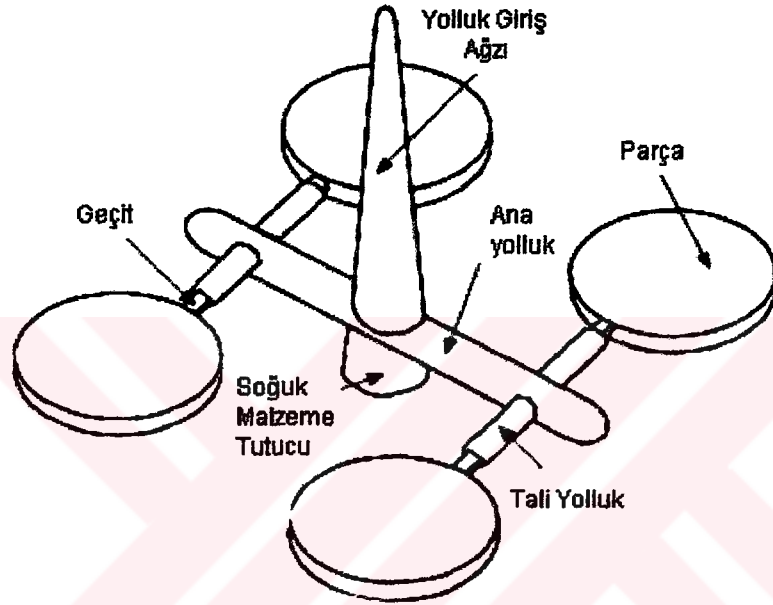
## **8.6 Kapama Sistemi**

Kapama sistemi, enjeksiyon işlemi başlangıcında kalıbı kapatan ve işlem bitiminde açan

sistemdir. Enjeksiyon esnasında yeterli olan gücü oluşturarak kalıbın açılmasını önlemektedir. Kapama kuvveti, mekanik kilitleme, hidrolik kilitleme veya ikisinin kombinasyonu olan sistemler vasıtasıyla sağlanmaktadır.

## 8.7 Enjeksiyon Kalıplama Sistemi

Enjeksiyon sistemi, ergimiş malzemenin kalıp içerisine iletilmesini sağlayan yolluk sistemi ve kaviteleri içermektedir ( Şekil 8.4 )



Şekil 8.4 Enjeksiyon kalıplama sistemi

Malzeme iletim sistemi, ergimiş plastiğin makine nozulünden parça kavitesine iletilmesini sağlamaktadır. Genel olarak yolluk sistemi ana yolluk, tali yolluklar, ve geçitlerden meydana gelmektedirler. Yolluk sistemlerinin doğru tasarlanmasının parça kalitesi üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Kalıplama işlemi bittikten sonra iletim sistemleri parçadan ayrılabilen ve malzemenin birden fazla kullanılabilir özelliğine göre yeniden kullanılabilirlerdir.

### 8.7.1 Karşı Basınç

Enjeksiyon vidası ileri geri hareket ederek, ergimiş polimerin vidanın ön kısmına doğru itilmesini sağlamaktadır. Karşı basınç, enjeksiyon vidasının önündeki malzeme hacmini bir sonraki vuruş (shot) işlemine hazırlamak için gerekli olan basıncın miktarıdır. Genel olarak tüm makineler maksimum karşı basınca göre hazırlanmaktadır.

### 8.7.2 Enjeksiyon Hızı

Enjeksiyon hızı, vidanın enjeksiyon işlemi esnasında ileriye doğru hareket etme hızı olarak tanımlanmaktadır. Enjeksiyon işlemi başlangıcındaki düşük enjeksiyon hızı , türbilanslı akış ve jetting olayını önlemek için gerekli olabilir. Enjeksiyon hızının enjeksiyon işleminin sonunda, kurs (stroke)bitiminde yanma olayı olmaması ve akışın ayrıldığı kısımlarda homojen kaynak hatlarının oluşması ve güçlendirilmesi açısından azaltılması gerekmektedir.

### 8.7.3 Enjeksiyon Makinasının Enjeksiyon Kısımındaki Hidrolik Basıncı

Hidrolik basınç makinanın hareketli ünitesi ile, nozül, yolluk sistemi ve kavitede malzemenin akış direncini yenmek için uygulanan basınçtır. Hidrolik basınç kısa bir zaman içerisinde sistemdeki en düşük basınçtan, ergiyik malzemenin bütün dirençleri yenerek kaviteye iletilmesini sağlayacak büyüklüğe ulaşmaktadır.

Akış direncinin yüksek,düşük veya değişken olması durumlarında akış dirençlerini yenmek için gerekli basınç değerleri de değişmektedir. Akış direnci malzemenin vida ucundan kaviteyi dolduruncaya kadar ergiyik malzemenin akışına karşı göstermiş olduğu dirençtir. Malzemenin vizkozitesine , nozül, yolluk, kalıp biçimi ve yüzey kalitesine bağlı olarak değişen bu direncin yüksek olması durumuna göre hidrolik basınç değeri değiştirilebilmektedir.

Basınç ulaştığı maksimum noktadan itibaren belli bir değere düşmekte ve bu değerde kalıp içerisindeki malzemeye belli bir basınç uygulanmaktadır. Belli bir tutma süresinden sonra basınç değeri düşerek sistemdeki en düşük değerine ulaştığı görülür.

Akış direncinin düşük olması durumunda kalıbın dolun noktasına kadar uygulanan basınç, düşük fakat basınç süresi daha uzun olmaktadır. Ergiyik malzemenin kalıbı tam olarak doldurması ve hatasız parça oluşabilmesi için yüksek basınç ve zaman gerekmektedir.

Kalıp sıcaklığının yüksek olması halinde, ergiyiğin viskozitesi azalacağından dolayı basınç düşük olmakta ve tutma basıncı süresi artmaktadır. Kalıp sıcaklığının düşük olması doldurma basıncının yüksek , tutma basıncının süresini kısaltmaktadır.

Plastik enjeksiyon makinesinin basıncını birçok faktör etkilemektedir.

1. Malzemesinin cinsi
2. Sıcaklık (Malzemenin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı)
3. Parçanın biçimi cidar kalınlığı ve ağırlığı
4. Yolluk sistemi

5. Enjeksiyon nozülü
6. Nozül, yolluk ve dağıtıcıların yüzey kalitesi

#### **8.7.4 Malzemenin Etkisi**

Malzemenin reolojik özelliklerinin bilinmesi iyi bir enjeksiyon işleminin gerçekleşmesi için çok önemlidir. Enjeksiyon basıncı, malzemenin cinsine göre değişim göstermektedir. Çünkü her malzemenin enjeksiyon işlemi için kalıplanma sıcaklıkları, reolojik özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir.

#### **8.7.5 Sıcaklığın Etkisi**

Enjeksiyon işleminde sıcaklığın basınç üzerindeki etkisi çok önemlidir. Çünkü sıcaklık, kalıplanacak malzemenin viskozitesini düşürerek akıcılığını arttırmaktadır. Yüksek akıcılığa sahip malzemenin şekil alması daha kolay ve enjeksiyon basıncı ihtiyacı da daha az olmaktadır. Malzeme sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının basınç üzerinde önemli derecede etkisi bulunmaktadır.

#### **8.7.6 Malzemenin Sıcaklığı**

Plastik malzemenin şekil değiştirme direncini azaltmak için polimerler arasındaki bağları çözüp akıcılık kazandırmak gerekmektedir. Bunun için malzeme, işlem sıcaklıklarına kadar ısıtılmalıdır. Sıcaklık, malzeme iç yapısını bozmayacak derecede enjeksiyon şartlarına uygun olarak artırılmalıdır. Sıcaklığın artmasıyla malzemenin viskozitesi düşeceğinden dolayı kalıp içerisine iletilmesi daha kolay olmaktadır. Sıcaklıkta akıcılığı yükseltile malzemenin kalıba enjektisi için gerekli basınç, normal işleme sıcaklığında enjekte edilen basınçtan daha düşük olmaktadır.

#### **8.7.7 Kalıp Sıcaklığı**

Enjeksiyon kalıplarının işlem esnasında belirli bir sıcaklığa sahip olması gerekmektedir. Kalıp sıcaklık değerleri, çeşitli malzemeler için farklılık göstermektedir ( Çizelge 8.1). Kalıp sıcaklığının gerekenden az olması, malzemenin, kalıbın tüm boyutsal ölçüleri (özellikle karmaşık kısımları) almadan soğuyup katılaşmaya başlamasına neden olmaktadır. Kalıp sıcaklığının yükselmesi ile kendini çekmenin artması, kalıp içi basıncını arttırmaktadır. Çekmenin artmasıyla meydana gelen hacim azalmasını karşılamak için enjeksiyon basıncının yükseltilmesi gerekmektedir.

**Çizelge 8.1 Enjeksiyon kalıplamada en çok kullanılan malzemeler için işleme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı kendini çekme ve gerekli enjeksiyon basınç değerleri (Plastik Teknolojisi)**

Malzeme Adı	Sembol	İşleme Sıcaklığı °C	Kalıp sıcaklığı °C	Enjeksiyon Basıncı kp/cm <sup>2</sup>	Kendini Çekme(%9) (mm)
Polietilen alçak yağ	PE LD	220-260		600-1500	1,5-3
Polietilen yüksek yağ	PE HD	240-280	20-60		35522
Polipropilen	PP	250-270	50-75	800-1800	1-2,5
Polistiren	PS	180-280	10-100	600-1800	0,3-0,6
Stirol akrilnitril kopolimer	SAN	180-270	50-80		0,5-0,7
Akrintil butadien stirolkopolimer	ABS	210-275	50-90		0,4-0,7
Polivinilklorür yumuşak	PVC	170-210	14-50	300-1500	0,5
Polivinilklorür sert	PVC	180-210	30-50	1000-1800	0,5
Polimetilmetakrilat	PMMA	210-240	50-70	700-1000	0,1-0,8
Poiamid 6	PA	240-260			0,5-2,2
Poliamid 6,6	PA	260-290	70-120	900-1400	0,5-2,2
Polieksimetilen	POM	200-210	90	800-1700	1,9-2,3
Polikarbonat	PC	280-320	80-100	800-1500	0,8
Politereftalasitester	PETB	260-290	140	1200-1400	1,2-2
Polibutentelesitester	PBTB	240-260	60-80	1000-1200	1,5-2,5
Selülozasetat	CA				
Selülozasetabutirat	CAB	180-230	50-80	800	0,5

### 8.7.8 Parça Şeklinin Etkisi

Aynı enjeksiyon koşullarında, aynı malzemedeki biri düzgün (kare, dikdörtgen, silindir) diğeri karmaşık geometriye sahip iki parçanın kalıplama işleminin yapılması sonucunda,

karmaşık geometriye sahip olan parçanın boyutsal tamlığının, düzgün geometrili parçaya göre zayıf olduğu parçayı tam olarak dolduramadığı gözlemlenmektedir. Enjeksiyon basıncının artırılması ile karmaşık geometriye sahip olan parça da tam dolmanın sağlandığı görülmektedir. Bu durum enjeksiyon basıncının parçanın şekli ile arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

#### **8.7.9 Parçanın Cidar Kalınlığının Etkisi**

Enjeksiyonla kalıplanacak parçanın cidar kalınlığının ince olması nedeniyle basıncın yükseltilmesi gerekmektedir. Çünkü ergiyik malzemenin kavitedeki akışı esnasında, ince kesintilerin çabuk soğuması sonucu akış zorlaşmakta ve kalıp tam olarak dolmamaktadır.

#### **8.7.10 Parçanın Ağırlığının Etkisi**

Kalıplanan parçanın ağırlığı arttıkça enjeksiyon basıncıda artmaktadır. Çünkü aynı şartlar altında aynı malzemedan daha büyük hacme sahip olan kalıbın dolması için enjeksiyon basıncı yeterli gelemeyecek ve kalıpta boş bölgeler oluşacaktır. Kalıbın tam olarak doldurulması için enjeksiyon basıncının artırılması gereklidir.

#### **8.7.11 Yolluk Sisteminin Etkisi**

Enjeksiyon esnasında, ergiyik malzemenin eksiksiz olarak kaviteyi doldurabilmesi için yolluk sisteminin boyutlandırılması, biçimi ve yerleştirilmesi enjeksiyon basıncı için önem taşımaktadır. Küçük kesitli olarak tasarlanan yolluk sistemlerinde bütün basınca ve ısı ayarlamalarına rağmen kaviteyi tam olarak dolamadığı gözlemlenmektedir.

Yolluk ve dağıtıcıların biçim ve boyutlarının, malzemenin akışı esnasında hızı düşürmeyecek ve, enjeksiyon basınç kaybını en aza indirgeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kaybedilen basıncı karşılamak için enjeksiyon basıncı artırılmaktadır. Yolluk sisteminin malzemenin cinsine göre parçanın geometri ve boyutlarına bağlı olarak çok iyi bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

#### **8.7.12 Enjeksiyon Nozülünün Etkisi**

Enjeksiyon nozülleri çok değişik tiplerde yapılmaktadır. Bunların bazılarının tipleri, enjeksiyon basıncının normal değerinden daha fazla olmasını gerektirmektedir. Çünkü bu tip nozüllerde vida ucunun önündeki malzeme akışını önlemek için nozülün deliğini kapatan bir hareketli pim vardır. Bu pim yay kuvveti ile hareket ederek deliği açıp kapamaktadır. Pimi

açmak için enjeksiyon basıncının bir kısmı yay kuvvetini yenmek için harcanmaktadır. Açık tip nozüllerde böyle bir durum olmadığından dolayı , daha düşük enjeksiyon basınçlarında malzemeyi kaviteye iletmektedirler.

### **8.7.13 Enjeksiyon Takımlarının Yüzey Kalitesinin Etkisi**

Ergiyik malzemenin takım yüzeylerindeki akışını kolaylaştırmak, plastik ve çelik arasındaki sürtünme kuvvetini minimuma indirmek için kalıp ve iç yüzeyinin de dahil olmak üzere çok iyi işlenmiş veya bazı parçaların kromla kaplanmış olması gerekmektedir. böylelikle malzemenin kaviteye enjekte edilmesi için gerekli basınç değeri daha az olmaktadır.



## **9. ENJEKSİYON İŞLEM ŞARTLARININ AYARLANMASI**

### **9.1 Ergiyik Sıcaklığının Ayarlanması**

Ergiyik sıcaklığı enjeksiyon işlemi esnasında en önemli parametrelerden birisidir. Eğer çok düşük olursa malzeme tam olarak eriyememekte ve akış zorlaşmaktadır. Eğer çok yüksek olursa malzemenin moleküler yapısı bozulabilmektedir (degrade). Ergiyik ve kalıp sıcaklıklarının malzeme tedarikçilerinin önerdiği değerlere göre ayarlanması gerekmektedir.

### **9.2 Karşı Basıncın Ayarlanması**

Tavsiye edilen karşı basınç değeri 5-10 Mpa. civarındadır. Karşı basıncın düşük olması sonucunda kararsız bir parça ortaya çıkmaktadır. Karşı basıncın artması ergiyik sıcaklığında sürtünmeyi arttıracığından plastikleşme zamanını azaltacaktır.

### **9.3 Kalıp Sıcaklığının Ayarlanması**

Kalıp sıcaklığının ayarlanmasında malzeme tedarikçilerinin önerilerinin dikkate alınması gerekmektedir ( Çizelge 9.1). Kalıp sıcaklığı termokupullar kullanılarak ölçülebilmektedir. Kavite yüzeyinde ki ortalama sıcaklık imalat sırasında soğutucunun sıcaklığından yüksek olmaktadır. Böylece soğutucu sıcaklığı istenilen kalıp sıcaklığından 10-20° C daha düşük olmaktadır.

### **9.4 Enjeksiyon Hızının Makinanın Maksimum Değerine Ayarlanması**

Enjeksiyon basıncının makinanın maksimum değerine ayarlanmasının amacı makinanın enjeksiyon hızının tam olarak sağlanmasının istenmesidir. Enjeksiyon hızının mümkün olan en yüksek değerinin sağlanması ile akış direncinin az, akış uzunluğunun fazla, kaynak hatlarının dayanımının fazla olması beklenebilir. Bunu sağlamak için bir havalandırma yapılması gerekmektedir. Yetersiz havalandırmalar kavite içerisinde hava kabarcıkları oluşturmaktadır. Bunun sonucunda kavite içinde yüksek sıcaklık ve basınç, yanma izleri, malzemenin derecesinin düşmesi ve kısa vuruş hataları meydana gelmektedir.

Bilgisayar analiz programı sayesinde kaynak hatları ve hava boşluklarının oluşabileceği yerler tahmin edilip ve ona göre havalandırma sistemi tasarımının yapılması mümkün olabilmektedir.

Çizelge 9.1 Kalıp ve eriyik sıcaklıkları (Plastik Teknolojisi)

Malzeme	Eriyik Sıcaklığı	Önerilen Eriyik Sıcaklığı °C	Kalıp Sıcaklığı °C	Önerilen Eriyik Sıcaklığı °C	İletim Sıcaklığı °C
ABS	200-270	230	50-80	60	105
PA 12	230-300	255	70-110	80	190
PA 6	230-300	255	70-10	80	185
PA 66	270-320	290	70-110	80	235
PBT	220-280	250	40-80	60	200
PC	280-330	305	70-110	70	144
PE-HD	180-280	220	20-70	40	105
PE-LD	180-280	220	20-70	40	90
PET	280-330	300	80-120	100	220
PMMA	240-280	250	40-80	60	100
POM	180-235	205	50-90	70	130
PP	200-280	230	20-70	40	135
PPE	260-320	280	70-110	80	155
PS	180-280	230	20-70	50	100
PVC	160-220	190	20-70	40	80
SAN	210-270	230	50-80	60	100

### 9.5 Tutma Zamanının Ayarlanması

İdeal tutma zamanının ayarının geçidin donma zamanı veya parçanın donma zamanlarından hangisinin kısa olduğuna bakılarak yapılması uygun olmaktadır. Bunun için geçit ve parçanın donma zamanı hesaplanmış olması gerekmektedir.

### 9.6 Kalıp Açma Zamanının Ayarlanması

Genel olarak kalıp açma zamanı 2-5 sn. olarak ayarlanmaktadır. Bu süre içerisinde kalıp açılma, parçanın kalıptan dışarı alınması, kalıbın kapanması süreçlerini kapsamaktadır. Çevrim zamanı, enjeksiyon doldurma zamanı, tutma zamanı, soğutma zamanı ve kalıp açılma zamanının tümünün toplamıdır.

### 9.7 Tutma Basıncının Ayarlanması

Kalıp içerisinde soğuyan malzemenin kendini çekmesinden dolayı hacim küçülmesi meydana

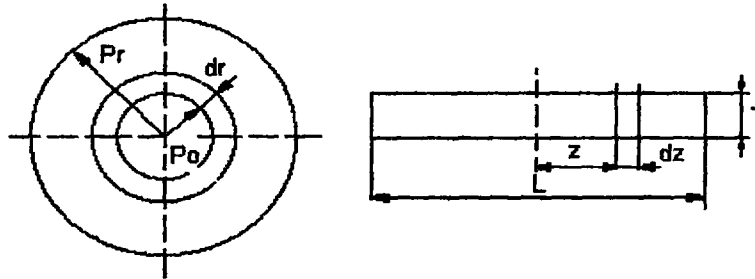
gelmektedir. Bu hacim küçülmesini önlemek ve sıkı yapılı bir parça elde etmek için katılaştırma malzemeye uygulanan basınca tutma basıncı denilmektedir. Tutma basıncının süresi ve büyüklüğü kalıplanan parçanın görünüşü ve boyut hassasiyeti ile ilgilidir. Tutma basıncı süresinin uzun olması parçada çatlamlara, kısa olması kendini çekme boşluklarına neden olmaktadır. Tutma basınç süresinin uzun olması durumunda kalıbın içerisindeki parçanın sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığına ulaşması sonucunda kalıp açılmasından dolayı hızlı basınç düşüşü parçada çatlamlara neden olmaktadır.

Tutma basıncının ve uygulama süresinin doğru tayiniyle, parçadaki iç gerilmeler ve kullanılan malzeme miktarı ve maliyetler minimuma indirilmektedir. Yüksek tutma basıncı, parçada iç gerilmelerin ve çarpılmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Minimum tutma basıncı zamanını tayin etmek için en hızlı yol, uzun tutma zamanının ayarlanmasıdır. Tutma zamanının çöküntü noktaları görününceye kadar azaltılması gerekmektedir.

### 9.8 Kalıp Kapama Kuvveti

Kalıp bölme yüzeyinden, enjeksiyon yapılan plastiğin kaçmasını önlemek için kalıbın enjeksiyon prosesi süresince sıkıca kapatılması gerekmektedir. Makinada kalıp için hazırlık yapılırken enjeksiyon makinasına uygun kapama kuvvetini kontrol etmek gerekmektedir. Bunu yapmak bizim enjeksiyon süresince ne kadarlık bir kuvvete ihtiyacımız olması gerektiğini bilmemiz için önemlidir. Kapama kuvveti ve kalıp alanı arasındaki ilişki uzun yıllar kalıpcıları uğraştırmıştır. Pratik deneyimler kapama basıncının proje alanının üstünde olmasını önermektedir. Bu basınç 10 veya 50 MN/m<sup>2</sup> arasında olabilir. Bu kuvvet şekil, kalınlık ve malzemenin tipine bağlıdır. Makine kalıp kapama kuvvetinin, şu şekilde hesaplanabilmesi mümkündür. Merkez geçitli (center gate) olan bir diskin kalıplandığını düşünüldüğünde, Şekil 9.1 'den,



Şekil 9.1 Kalıp Kapama Analizi

Kavite basıncı diskin bir yanından diğer bir yanına yani disk boyunca değişim göstermektedir.

$$P_r = P_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^m \right) \quad (\text{MN/m}^2) \quad (9.1)$$

$P_0$  geçitteki basınçtır.  $m$  sabittir ve genellikle 0,3 ve 0,75 arasında alınmaktadır.

$$F = \int_0^R P_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^m \right) 2\pi r dr \quad (\text{N}) \quad (9.2)$$

$$F = \pi R^2 P_0 \left( \frac{m}{m+2} \right) \quad (\text{N}) \quad (9.3)$$

Bu disk için istenen kapama kuvvetinin hesaplanması için uygulanan basit ve uygun bir formülasyondur. Aynı formül daha kompleks şekillerde ya da hesaplama yapılması istenilen alanın daire şekline benzetildiği durumlarda da kullanılabilir.

Kare plakalarda  $R$  radyüsünün diyagonal yarısı alınarak doğru sonucun hesaplanabilmesi mümkündür.

$$\text{Kapama Basıncı} = \left( \frac{m}{m+2} \right) \times \text{Enjeksiyon Basıncı} \quad (9.4)$$

formülü elde edilmektedir.

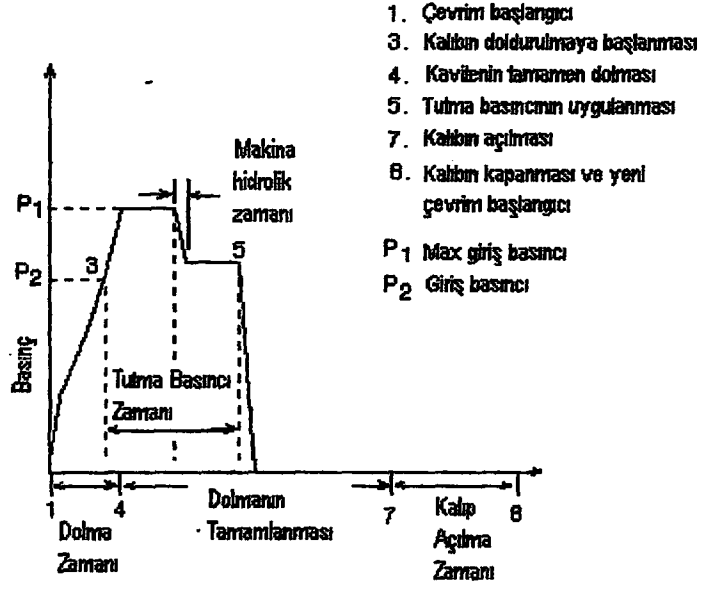
Özel malzemeler için  $\frac{m}{m+2}$  akış eğrilerinden hesaplanabilir ve bu oran aynı zamanda sıcaklık ve basınca bağımlı olacaktır.

Dikdörtgen dar , uzun ve merkez geçitli genel bir şekil için kapama kuvveti şu şekilde hesaplanabilmektedir,

$$F = 2 \int_0^{L/2} P_z T dz \quad (\text{N}) \quad (9.5)$$

$$F = 2 \int_0^{L/2} P_0 \left( 1 - \left( \frac{z}{L/2} \right)^m \right) T \cdot dz \quad (\text{N}) \quad (9.6)$$

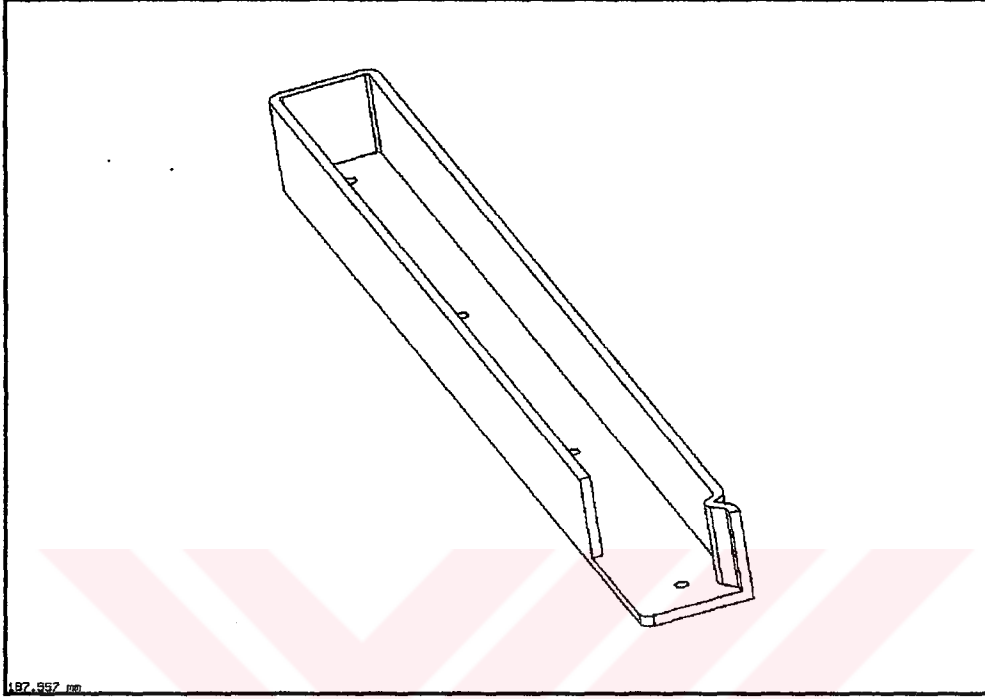
$$F = T \cdot P_0 \cdot L \left( \frac{m}{m+1} \right) \quad (\text{N}) \quad (9.7)$$



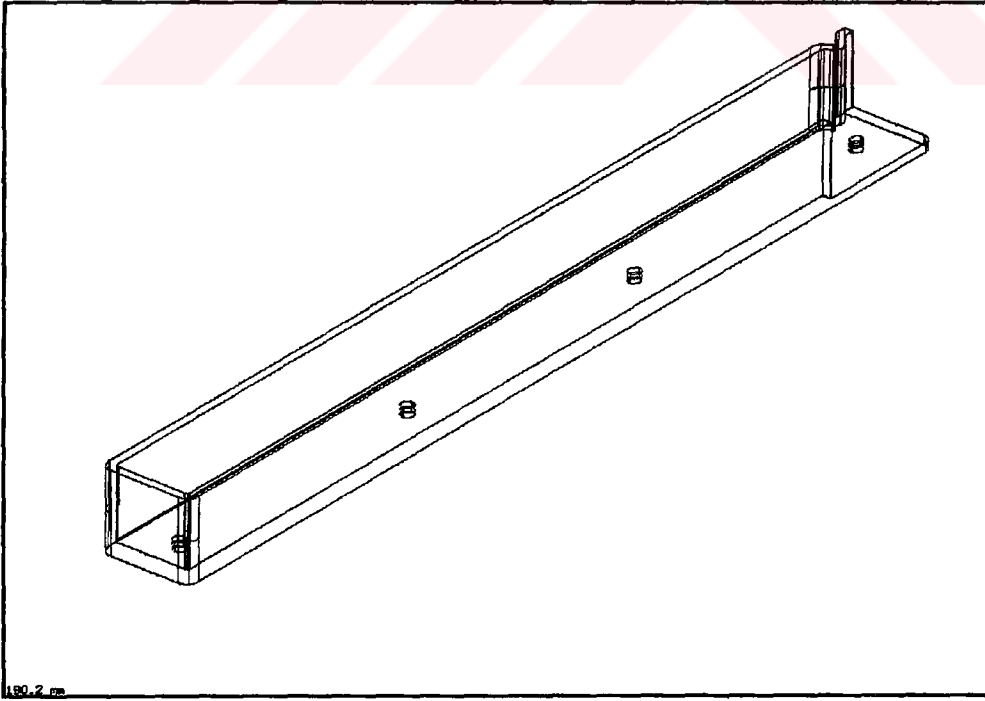
Şekil 9.3 Kalıp kapanma kuvvetinde tutma basıncının etkisi (C-MOLD)

## 10. UYGULAMALAR

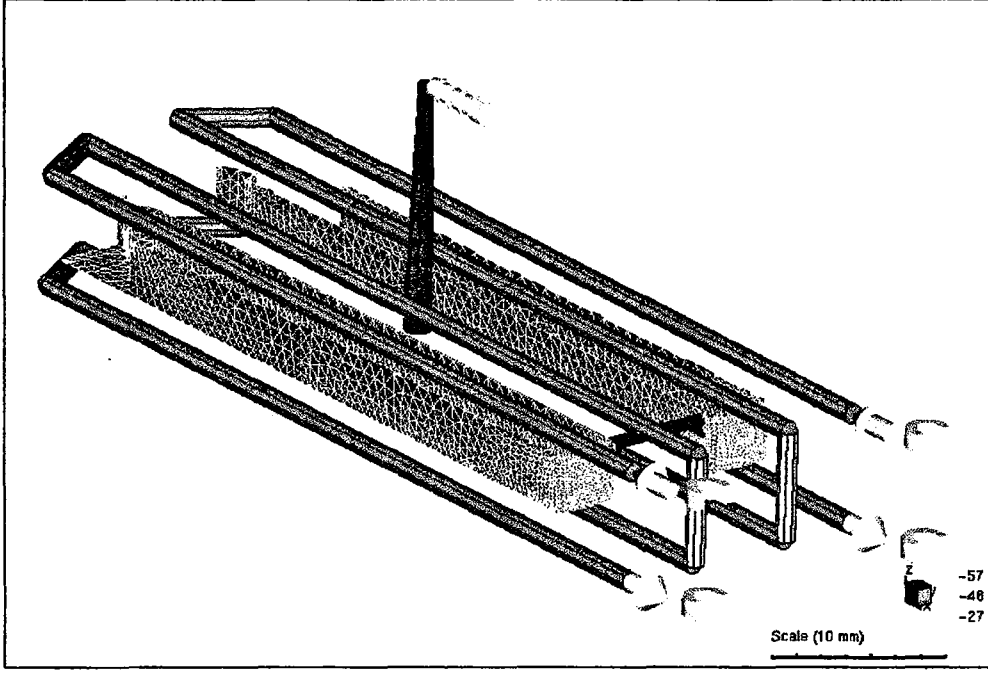
Uygulama parçası, ince cidar kalınlığına sahip, uzun bir parçadır. Tüm analiz değerleri C-MOLD programı ile elde edilmiştir.



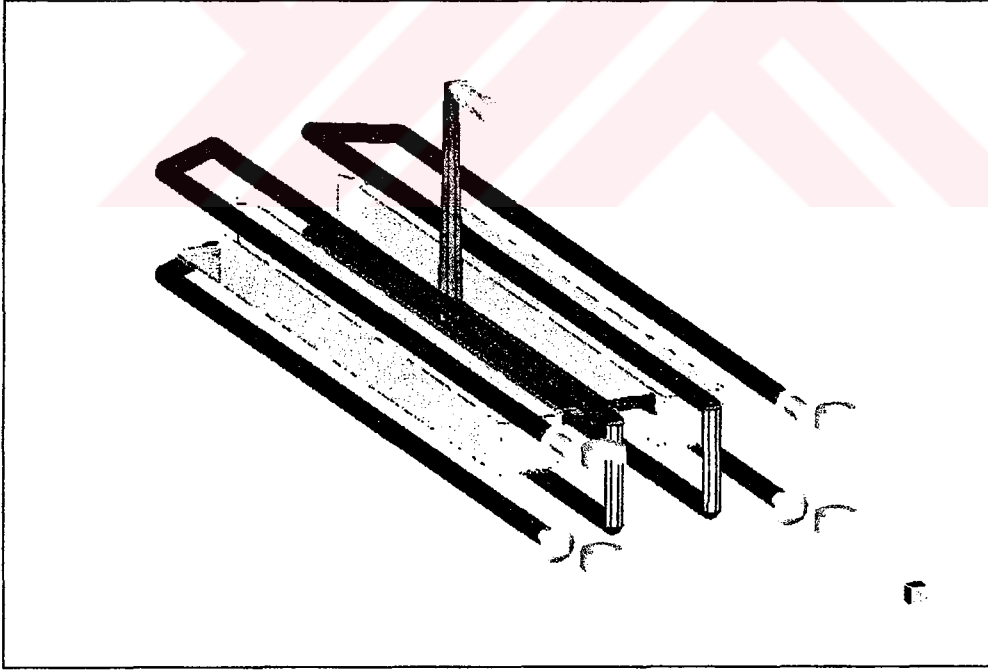
Şekil 10.1 Parçanın üç boyutlu görünüşü



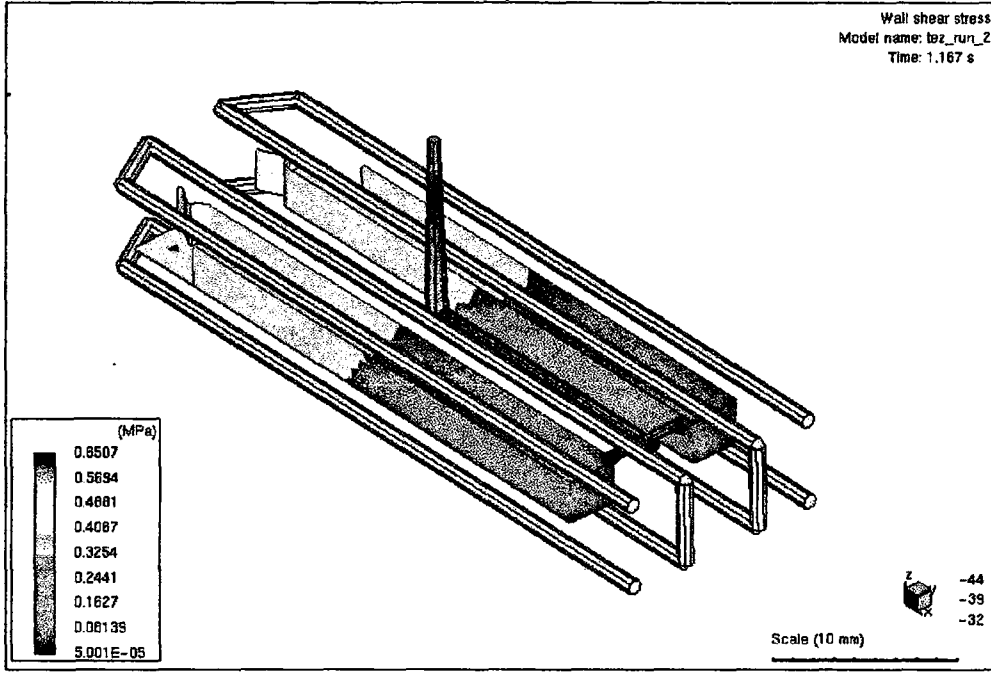
Şekil 10.2 Parçanın izometrik olarak üç boyutlu görünüşü



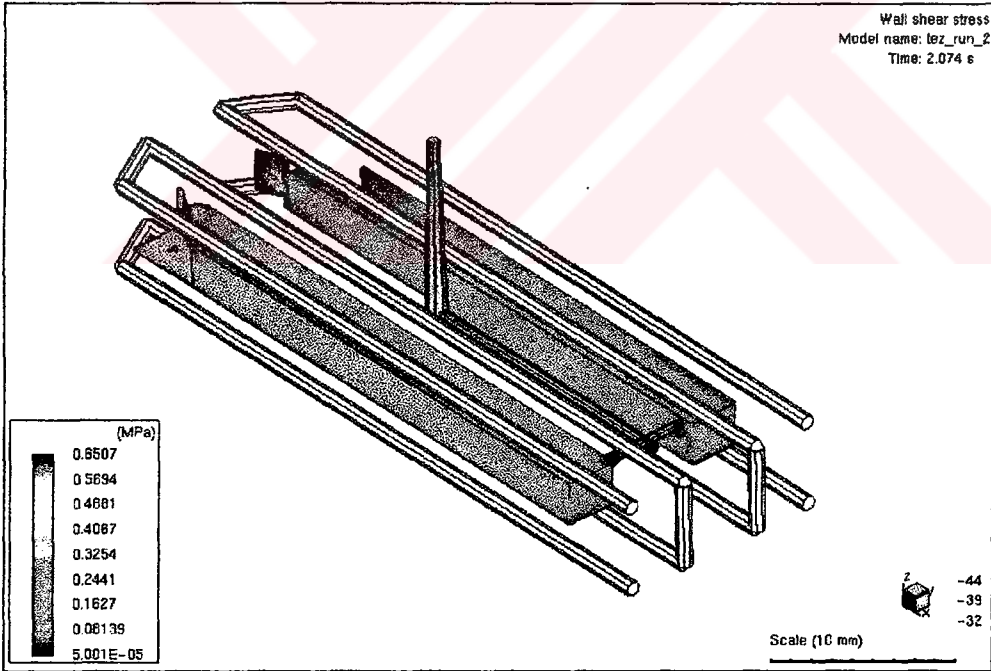
Şekil 10.3 Soğutma kanalları



Şekil 10.4 Soğutma kanallarının yerleşimi

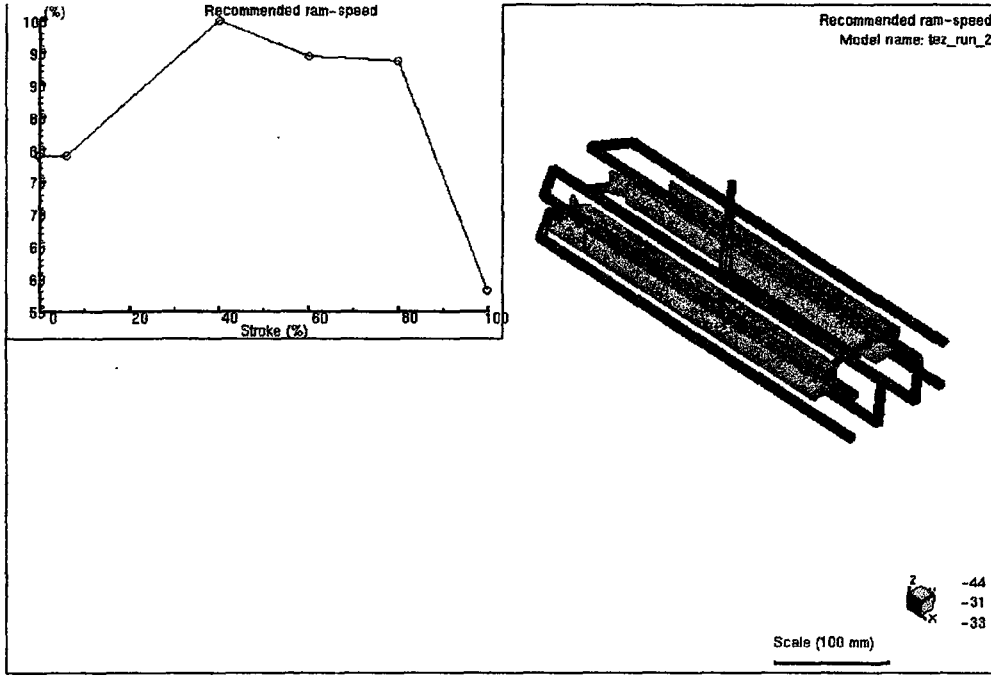


Şekil 10.5 Cidar Kayma gerilmesi



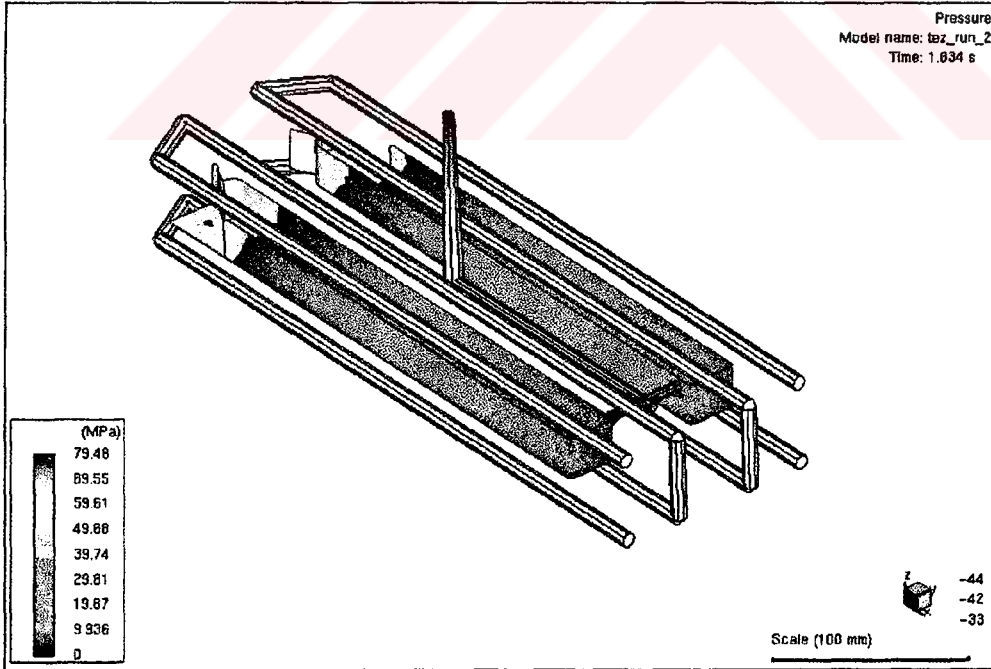
Şekil 10.6 Cidar kayma gerilmesinin tüm parça üzerinde görünümü

(Wall shear stress) Cidarlardaki kayma gerilmesinin MPa cinsinden zamana bağlı değişiminin görüntüsüdür.



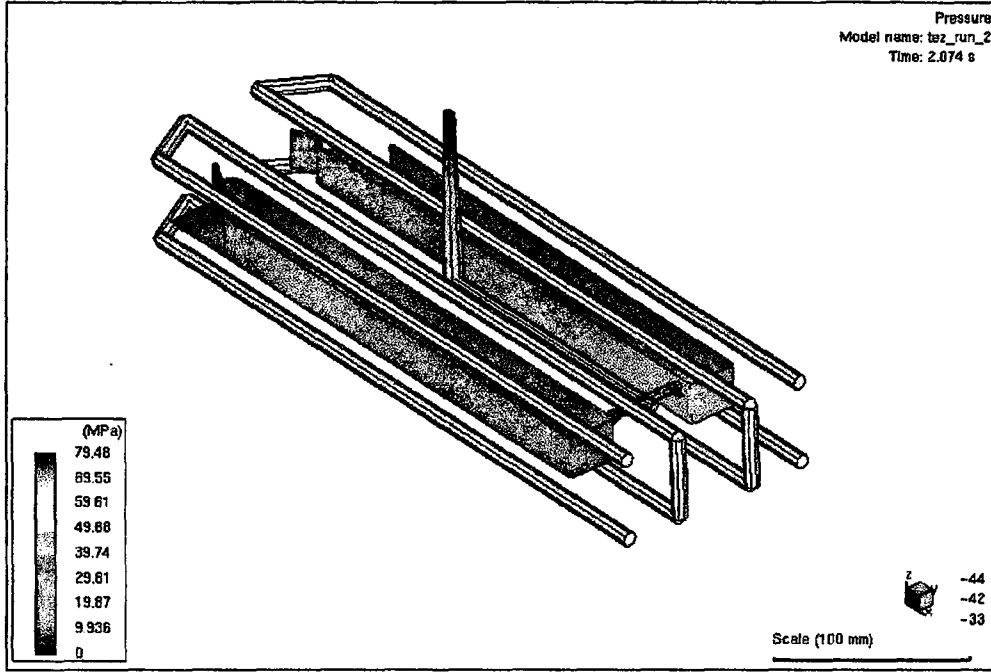
Şekil 10.7 Enjeksiyon hızı

Parçanın basılması için enjeksiyon makinasında uygulanması gereken enjeksiyon hızı profilini göstermektedir.



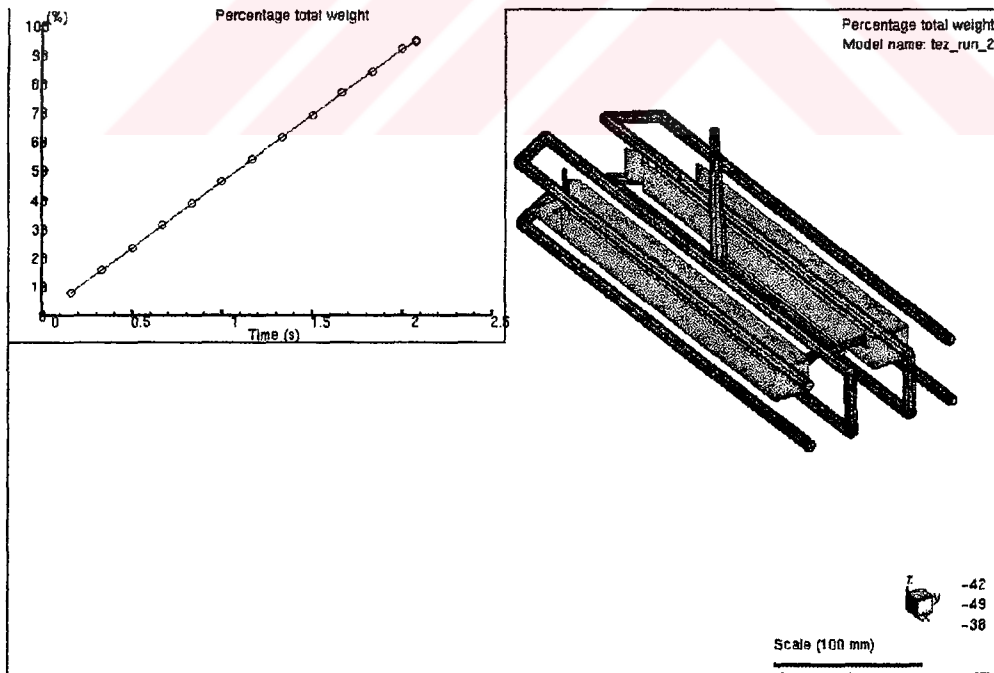
Şekil 10.8 Enjeksiyon basıncı

Şekilde parçanın dolumu esnasındaki enjeksiyon basıncı değerlerinin parça üzerindeki dağılımı görülmektedir.



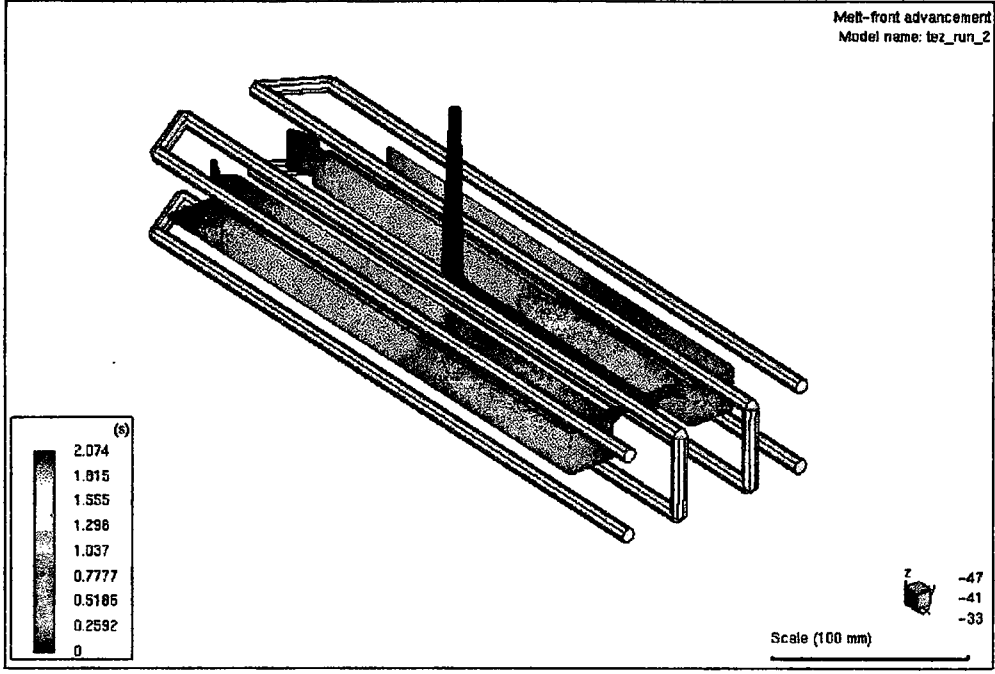
Şekil 10.9 Tam doludan sonraki basınç

Tam dolmanın sağlanması sonucunda enjeksiyon basıncı değerlerinin parça üzerindeki dağılımı görülmektedir.



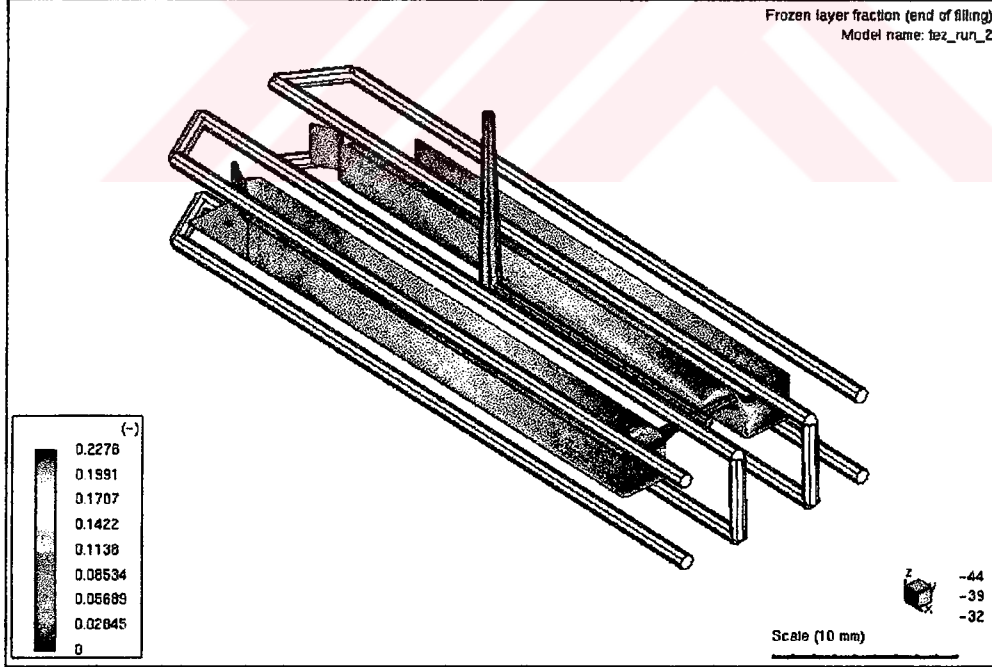
Şekil 10.10 Yüzdesele toplam ağırlık

(Percentage Total Weight) Plastik zaman içerisinde yüzdesel olarak toplam ağırlığının ifadesidir.

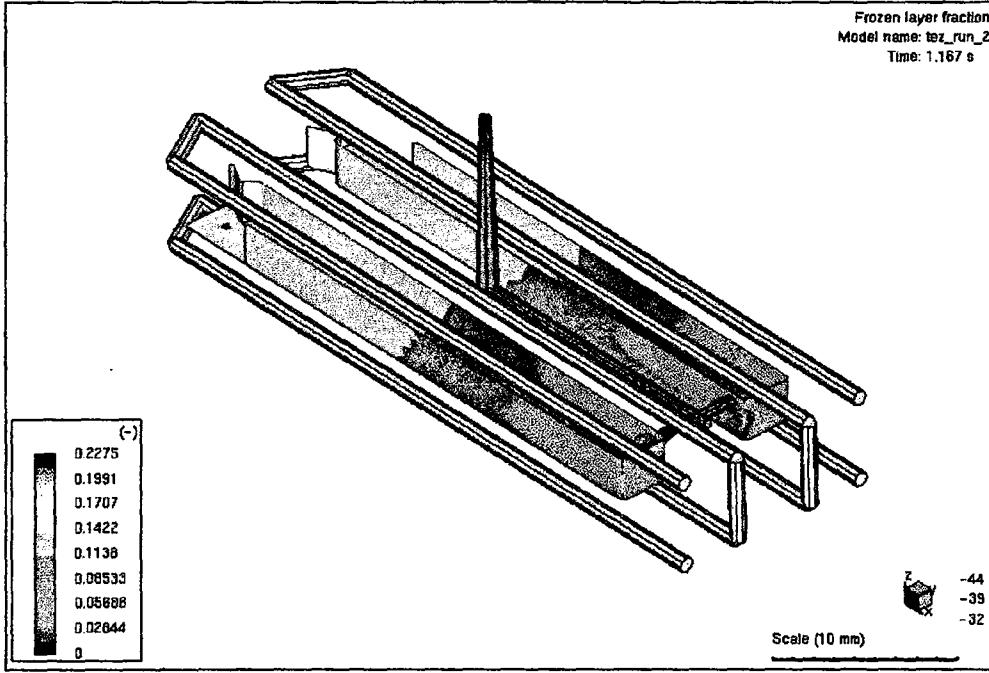


Şekil 10.11 Ergiyiğin ilerlemesi

(Melt Front Advancement) Plastikte cavite içerisinde zamana bağlı ilerlemesini göstermektedir.

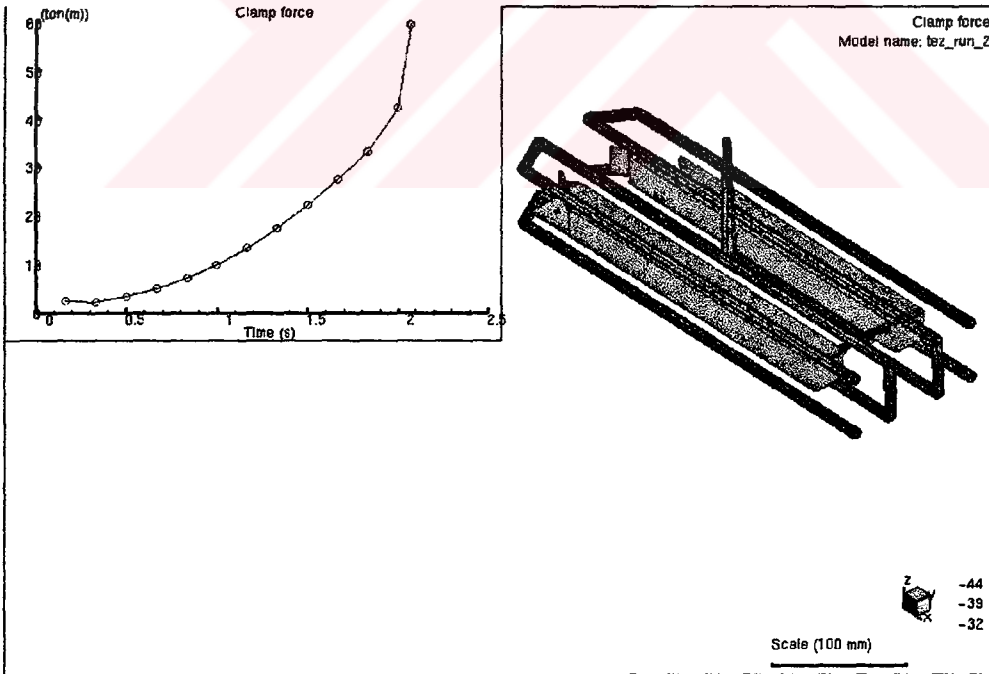


Şekil 10.12 Donmuş tabaka oluşumu



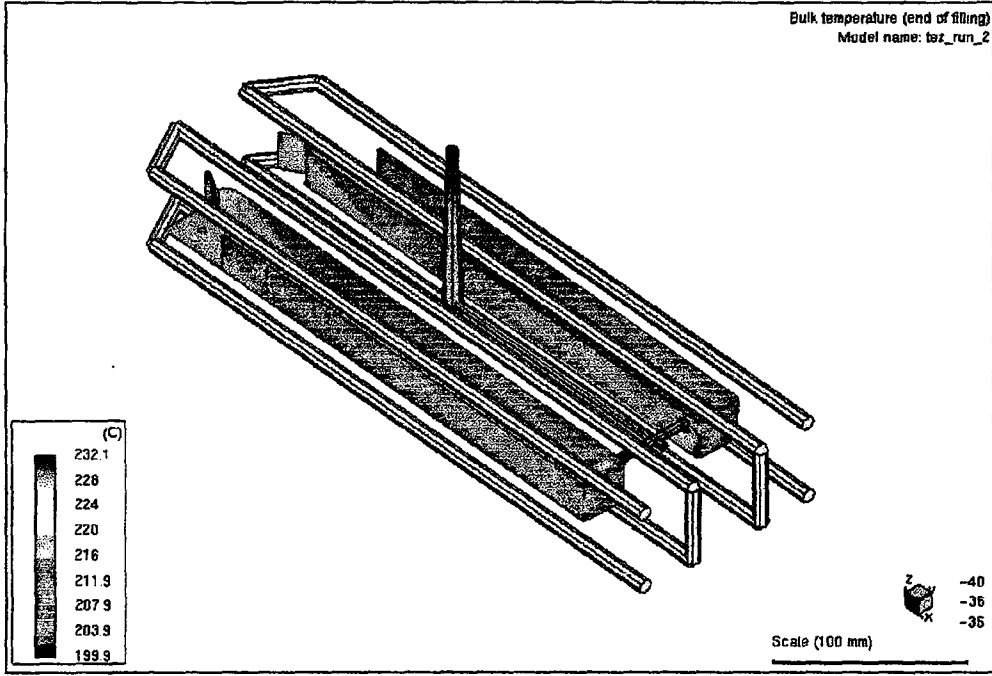
Şekil 10.13 Parça dolumu esnasında donmuş tabaka oluşumu

(Frozen Layer Fraction) Plastik'in donmuş katmanlarının, donmamış katmanlarına oranını 0 ile 1 arasındaki değerlere bölerek, bunu renkli grafik ile ifade etmektedir.

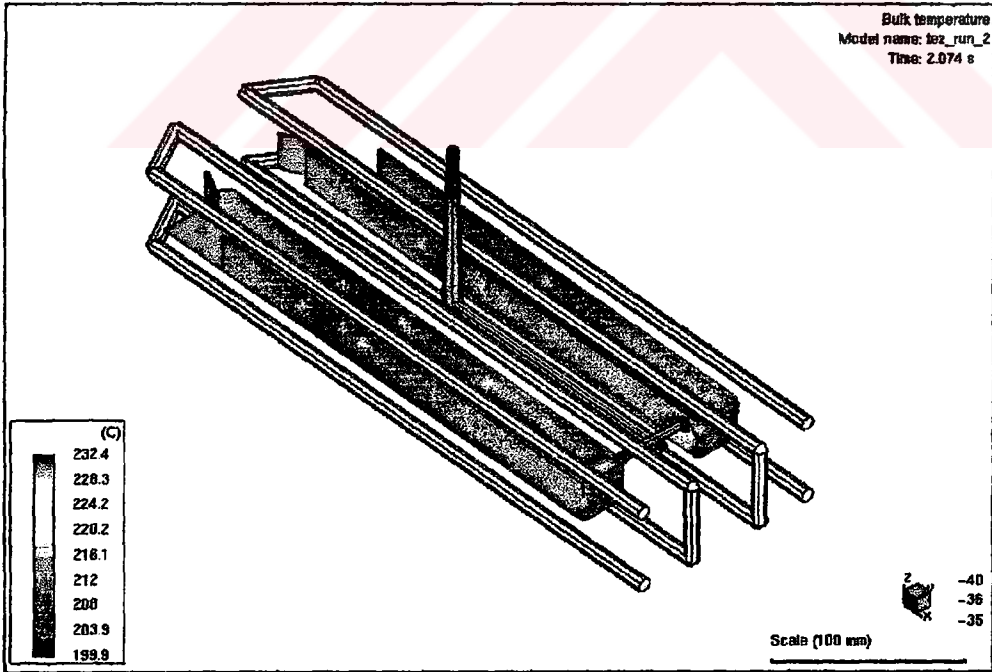


Şekil 10.14 Kalıp kapama kuvveti

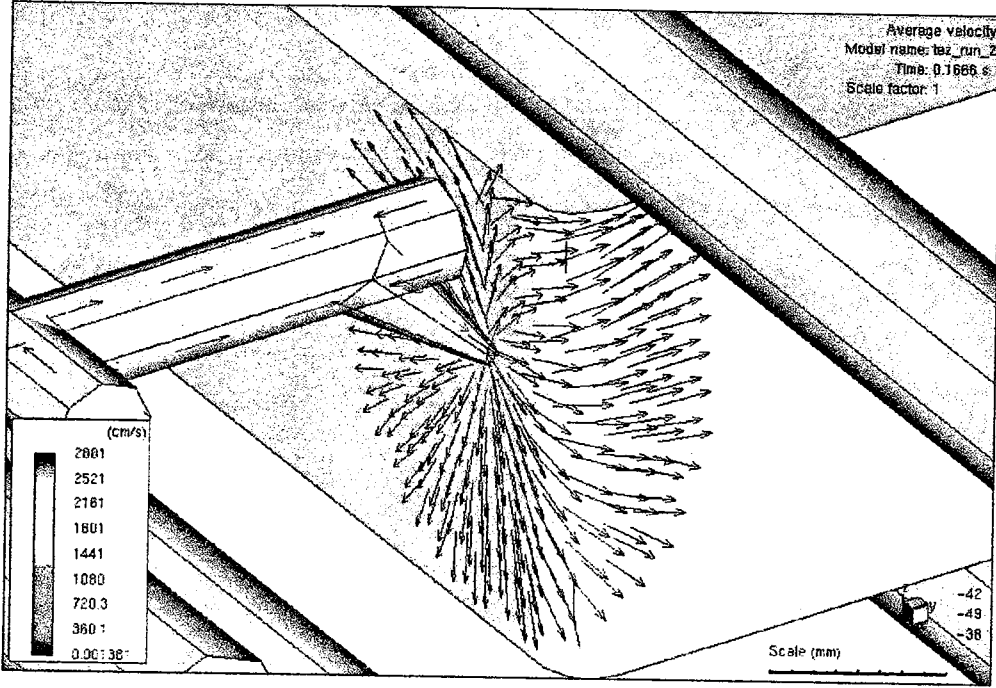
( Clamp Force ) Zamana bağlı olarak, plastik'in kavite'ye dolana kadar oluşan kapama kuvvetinin ton cinsinden grafiğini vermektedir.



Şekil 10.15 Doludan sonraki sıcaklık dağılımı

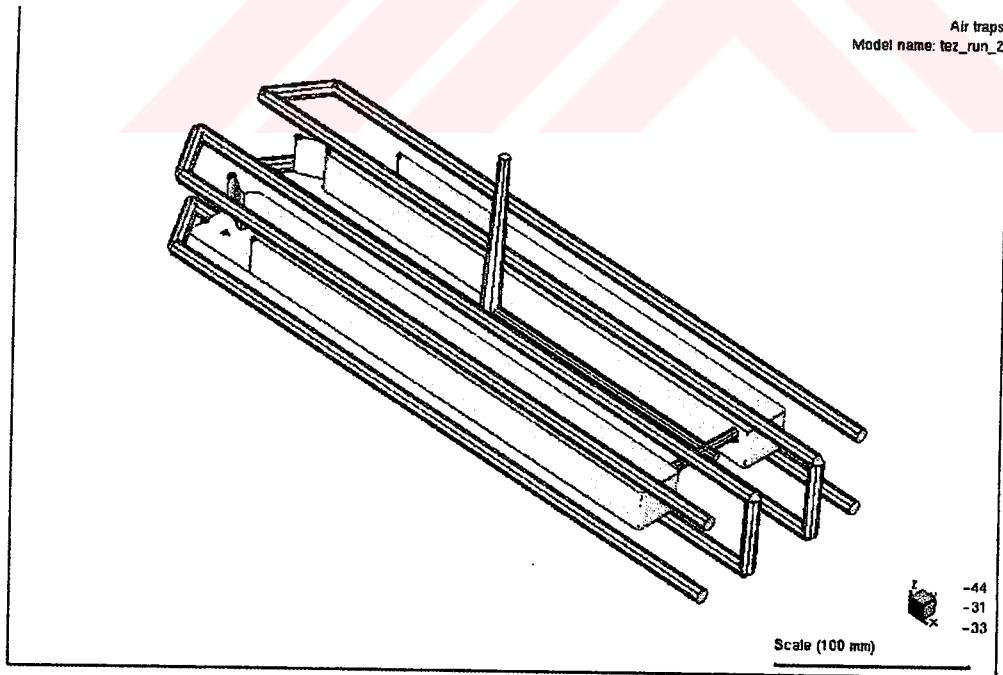


Şekil 10.16 Belirli bir zaman dilimindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 10.17 Ortalama hız

**Average Velocity :** Plastigin cative icerinde ilerlerken ki ortalama hizini gostermektedir. Resimdeki goruntu 0.1668s `deki plastigin gate`den caviteye girisini gostermektedir. Burada olusan renklendirmeye bagli olarak cm/s cinsinden hiz degerini gostermektedir.



Şekil 10.18 Hava kabarcıkları

**Plastik caviteye dolduktan sonra sıkışan havanın nerelerde olduğunu göstermektedir.**

### 10.1 Enjeksiyon kalıplamada bilgisayar destekli mühendisliğin (CAE) önemi

Matematiksel ortamda oluşturulmuş modeller, kalıbın üretim aşamasına geçilmeden önce, yapılan kalıp tasarımının hedeflenen sonuca ulaşabilirliğinin analizleri açısından da pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu konuda özelleşmiş yazılımlar sayesinde kalıbın iyileştirilmesi ve optimizasyonuna yönelik analizleri gerçekleştirmek mümkündür. Bu yolla elde edilen veriler ışığında, çıkabilecek problemleri önceden belirlenerek giderilmesi, böylece üretim sürecinin kısaldığı, kalitenin artırılmasına yönelik işlemler yapılabilmektedir.

Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analys) bir problemin matematiksel modelini çeşitli tiplerdeki elemanlarının özelliklerine göre yaklaşık olarak varyasyonel yöntemler halinde çözümlenmektedir. Kalıplanacak hammaddenin kalıp içerisindeki davranışları bu yöntemle incelenebilmekte, malzemenin akışı, kalıbın soğutulması, yolluğun konumlandırılması gibi noktalarda problemler önceden belirlenip giderilebilmektedir. Buradan alınan sonuçların değerlendirilmesi ile daha hızlı ve güvenilir kalıp elde etmek mümkündür.

Bu tip CAE çözümleri yapan ve dünyaca bilinen iki programdan söz edebiliriz, C-MOLD ve Moldflow.

Biz bu yaptığımız açıklamalar ve analiz çalışmalarını C-MOLD üzerinde yaptık.

C-MOLD, Polimer enjeksiyon kalıp prosesinde verimliliğini arttıran, parça kalitesi, zaman, maliyet, gibi kriterleri göz önüne alarak, yapılması gereken bir çok "dene-yanıl", "yap-boz" gibi fiziksel işlemleri, sanal dünyanın esnekliklerini kullanarak bilgisayar ortamında gerçekleştirir.

**C-MOLD`un yaptığı işleri genel olarak üç başlığa toplarsak,**

A) Parça geometrisinin oluşturulması ve mid-plane bulunması,

B) Kalıp için gerekli işlemler,

C) Kalıp prosesi,

**A ) Parça geometrisinin oluşturulması ve mid-plane bulunması,**

Geometry Model&FEM Mesh,

Oluşturulmuş 3D Model üzerinden,

Mid-plane oluşturulması,

Ana kalıp geometrisi,

Kalıp için gerekli komponentlerinin modellenmesi,

Runner, Soğutma kanalı,  
 Mid-plane geometrisi üzerine topoloji meydana getirilmesi,  
 Topoloji üzerine mesh örme,  
 Oluşturulan mesh üzerine gerekli noktalara tanım atanması,  
 Polimer giriş noktası,  
 Soğutma kanalı giriş ve çıkış tanımlamaları,

### **B) Kalıp için gerekli işlemler,**

#### **Malzeme ve Makina Seçimi:**

- a ) Kullanılacak plastik malzemenin seçimi,
- b ) Kalıp malzemesinin seçimi,
- c ) Soğutma sıvısının seçimi,
- d ) Enjeksiyon Makinasının seçimi,

### **C) Kalıp prosesi,**

Yapılan çalışmalar model üzerinde tamamlandıktan sonra analiz çalışması başlatılır ve elde edilen sonuçlar uygun değer yaklaşımı bulunana kadar iterasyonel olarak devam eder.

### **3D model oluşturulurken dikkat edilmesi gereken hususlar**

Modelin oldukça basic yüzey modelleme teknikleri ile oluşturulması,

CMOLD güçlükle oluşturacağı bazı yüzeyler tespit edilip bu yüzeylerin daha sonra CMOLD içerisinde genel topoloji mantığına göre oluşturulması,

Oluşturulan model uc, dört farklı metotla CMOLD içerisine alınabilir:

IGES(Initial Graphic Exchange Specification) ile veya baska global formatlar olan VDA, SET, STEP ile CMOLD`a aktarılması,

Kullanılan CAD softwaresinin export dosya formatları arasında mesh format var ise bu format kullanılarak aktarılması,

3D CAD programında oluşturulan modelin STL formatlı çıktısı alınarak CMOLD`un kendi geliştirmiş olduğu "STL expert" ile gelen datadan otomatik mid-plane`nin oluşturulması,

Bu örnek parça oluşturulurken CAD modellemede kullanılan genel tolerans 0.01 mm`dir

Yapılacak olan analize başlangıçta verilen analiz değerleri dikkate alınmadan, Filling EZ yapılır. Bu analizde sadece verilen cavite`de herhangi bir problemin olup olmadığı yani oluşan mesh`te problem olup olmadığı, runner `larda problem olup olmadığı, tespit edilir.

Sogutma kanalları ve yapısı ile ilgili her hangi bir sonuç vermez ki keza soğutma kanallarının bu analize sokulmasına gerek yoktur.

Filling EZ'den alınan feed-back'lere göre gerek modelde gerekse de mesh'te istenen değişiklikler yapılır. Recommended RAM-Speed Profile 'dan alınan grafik ve elde edilen sonuçlar, Filling'de analize sokulur.

#### **Elde edilen bazı sonuçlar :**

##### **Filling EZ:**

Filling EZ'de alınan Ram-speed Profile : Bu çıktı direk C-MOLD'un filling için kullandığı analiz çıktısıdır. Analize dire sokulabilir.

#### **Analizin yapıldığı bilgisayar ve özellikleri**

Silicon Graphics workstation, o2

CPU: MIPS R10000 Processor Chip Revision: 2.7

FPU: MIPS R10010 Floating Point Chip Revision: 0.0

1 195 MHZ IP32 Processor

Main memory size: 256 Mbytes

Secondary unified instruction/data cache size: 1 Mbyte on Processor 0

Instruction cache size: 32 Kbytes

Data cache size: 32 Kbytes

#### **C-MOLD Filling 2000.1.11 summary report of finite-element mesh**

Total number of nodes	=	4274
Total number of polymer entrance nodes	=	1
Polymer entrance nodal numbers are	=	4227
Total number of elements	=	7985
Total number of part elements	=	7764
Total number of sprue/runner/gate elements	=	59
Total number of channel elements	=	162
Total number of connector elements	=	0

Parting plane normal (dx) = 0.0000E+00 (dy) = 0.0000E+00 (dz) = 1.0000E+00

Average aspect ratio of 2D elements = 1.0890E+00

Maximum aspect ratio of 2D elements	= 4.2369E+00
2D element number w/ max. aspect ratio	= 3938
Minimum aspect ratio of 2D element	= 1.0000E+00
2D element number w/ min. aspect ratio	= 1964
Total volume	= 1.7389E+02 cm <sup>3</sup>
Total volume filled initially	= 0.0000E+00 cm <sup>3</sup>
Total volume to be filled	= 1.7389E+02 cm <sup>3</sup>
Part volume to be filled	= 1.6315E+02 cm <sup>3</sup>
Sprue/runner/gate volume to be filled	= 1.0736E+01 cm <sup>3</sup>
Total projected area	= 1.9754E+02 cm <sup>2</sup>

C-MOLD Filling 2000.1.11 summary report of material properties.

Polymer 1 : GE Plastics/ABS CYCOLAC KJB

2-domain mod Tait polymer density

$$\text{RHO} = \frac{1}{V_o * (1 - C * \ln(1 + p/B)) + V_t}$$

where C = 0.0894

Tt = b5 + b6 \* p

Vo = b1 + b2 \* Tbar

B = b3 \* EXP(-b4 \* Tbar)

Vt = 0.0 or b7 \* EXP(b8 \* Tbar - b9 \* p)

Tbar = T - b5

b5 = 3.7044E+02 K

b6 = 4.0000E-07 K/Pa

Liquid phase

Solid phase

b1 = 9.4922E-04      b1 = 9.4922E-04 m<sup>3</sup>/kg

b2 = 6.1800E-07      b2 = 2.6300E-07 m<sup>3</sup>/kg-K

b3 = 1.7163E+08      b3 = 2.5582E+08 Pa

$$b4 = 4.1696E-03$$

$$b4 = 3.7150E-03 \text{ 1/K}$$

$$b7 = 0.0000E+00 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$b8 = 0.0000E+00 \text{ 1/K}$$

$$b9 = 0.0000E+00 \text{ 1/Pa}$$

Constant polymer specific heat

$$Cp = 1.7600E+03 \text{ J/kg-C}$$

Constant polymer thermal conductivity

$$K = 1.7000E-01 \text{ W/m-C}$$

Cross-WLF polymer viscosity

ETAo

$$ETA = \frac{ETAo}{1 + (ETAo * GAMMA / TAUS)^{(1-n)}}$$

$$1 + (ETAo * GAMMA / TAUS)^{(1-n)}$$

$$A1 * (T - TS)$$

$$\text{where } ETAo = D1 * EXP\left(-\frac{A1 * (T - TS)}{A2 + (T - TS)}\right)$$

$$A2 + (T - TS)$$

$$TS = D2 + D3 * p$$

$$A2 = 2T + D3 * p$$

$$n = 2.6388E-01$$

$$TAUS = 7.7116E+04 \text{ Pa}$$

$$D1 = 2.2900E+12 \text{ Pa-s}$$

$$D2 = 3.7315E+02 \text{ K}$$

$$D3 = 0.0000E+00 \text{ K/Pa}$$

$$A1 = 2.8334E+01$$

$$A2T = 5.1600E+01 \text{ K}$$

Transition temperature

$$Ttrans = 1.0800E+02 \text{ C}$$

Transition temperature (strength)

$$Ttrans = 1.0800E+02 \text{ C}$$

**C-MOLD Filling 2000.1.11 summary report of filling analysis.**

C-MOLD Cooling mold wall temp data was not used.

**Summary during filling stage**

Max entrance pressure (at 2.0005E+00 s) = 7.9485E+01 MPa

**Summary at the end of filling stage**

Time at the end of filling = 2.0743E+00 s

Total weight = 1.7664E+02 g

Required clamp force = 5.9719E+01 ton(m)

**Recommended ram speed profile (rel):**

% stroke	% speed
0.0000E+00	7.9046E+01
6.1740E+00	7.9046E+01
4.0000E+01	1.0000E+02
6.0000E+01	9.4396E+01
8.0000E+01	9.3700E+01
1.0000E+02	5.8229E+01

Melt front is entirely in the cavity at % fill = 6.1740E+00 %

**Part summary during filling stage**

Max bulk temp (at 5.0089E-01 s) = 2.2956E+02 C

95th %ile bulk temp (at 1.6684E-01 s) = 2.2626E+02 C

5th %ile bulk temp (at 2.0736E+00 s) = 2.0494E+02 C

Min bulk temp (at 2.0736E+00 s) = 2.0346E+02 C

Max wall shear stress (at 2.0743E+00 s) = 5.3500E-01 MPa

95th %ile wall shear stress (at 1.6684E-01 s) = 2.8033E-01 MPa

Max shear rate (at 1.6683E+00 s) = 8.9806E+03 1/s

95th %ile shear rate (at 1.6684E-01 s) = 5.5170E+03 1/s

**Part summary at the end of filling stage**

Total part weight = 1.6567E+02 g

Max bulk temp = 2.2938E+02 C

95th %ile bulk temp = 2.2099E+02 C

5th %ile bulk temp = 2.0494E+02 C

Min bulk temp	= 2.0346E+02 C
Avg bulk temp	= 2.1312E+02 C
RMS dev. of bulk temp	= 4.7827E+00 C(d)
Max wall shear stress	= 5.3500E-01 MPa
95th %ile wall shear stress	= 2.1849E-01 MPa
Avg wall shear stress	= 1.1551E-01 MPa
RMS dev. of wall shear stress	= 5.7893E-02 MPa
Max frozen layer fraction	= 2.2806E-01
95th %ile frozen layer fraction	= 2.1808E-01
5th %ile frozen layer fraction	= 3.8428E-02
Min frozen layer fraction	= 0.0000E+00
Avg frozen layer fraction	= 1.2353E-01
RMS dev. of frozen layer fraction	= 5.5646E-02
Max shear rate	= 7.6742E+03 1/s
95th %ile shear rate	= 6.1438E+02 1/s
Avg shear rate	= 1.3047E+02 1/s
RMS dev. of shear rate	= 3.7534E+02 1/s
<b>Runner summary during filling stage</b>	
Max bulk temp (at 5.0089E-01 s)	= 2.3238E+02 C
95th %ile bulk temp (at 5.0089E-01 s)	= 2.3009E+02 C
5th %ile bulk temp (at 2.0732E+00 s)	= 2.1148E+02 C
Min bulk temp (at 2.0732E+00 s)	= 1.9983E+02 C
Max wall shear stress (at 1.6684E-01 s)	= 6.5075E-01 MPa
95th %ile wall shear stress (at 1.6684E-01 s)	= 3.7158E-01 MPa
Max shear rate (at 1.3345E+00 s)	= 1.6386E+05 1/s
95th %ile shear rate (at 1.6684E-01 s)	= 7.1517E+03 1/s
<b>Runner summary at the end of filling stage</b>	
Total sprue/runner/gate weight	= 1.0970E+01 g
Max bulk temp	= 2.3210E+02 C
95th %ile bulk temp	= 2.2914E+02 C
5th %ile bulk temp	= 2.1148E+02 C

<b>Min bulk temp</b>	<b>= 1.9985E+02 C</b>
<b>Avg bulk temp</b>	<b>= 2.1893E+02 C</b>
<b>RMS dev. of bulk temp</b>	<b>= 6.2980E+00 C(d)</b>
<b>Max wall shear stress</b>	<b>= 3.8120E-01 MPa</b>
<b>95th %ile wall shear stress</b>	<b>= 2.8719E-01 MPa</b>
<b>Avg wall shear stress</b>	<b>= 1.4844E-01 MPa</b>
<b>RMS dev. of wall shear stress</b>	<b>= 7.3321E-02 MPa</b>
<b>Max frozen layer fraction</b>	<b>= 6.8461E-02</b>
<b>95th %ile frozen layer fraction</b>	<b>= 6.8461E-02</b>
<b>5th %ile frozen layer fraction</b>	<b>= 2.9561E-02</b>
<b>Min frozen layer fraction</b>	<b>= 2.2721E-02</b>
<b>Avg frozen layer fraction</b>	<b>= 4.5033E-02</b>
<b>RMS dev. of frozen layer fraction</b>	<b>= 1.0814E-02</b>
<b>Max shear rate</b>	<b>= 1.4063E+05 1/s</b>
<b>95th %ile shear rate</b>	<b>= 3.7520E+03 1/s</b>
<b>Avg shear rate</b>	<b>= 1.7425E+03 1/s</b>
<b>RMS dev. of shear rate</b>	<b>= 3.0302E+03 1/s</b>

## 11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kalıp içerisinde akışın etkisiyle meydana gelen, parça kalitesi ve görünüşü açısından önlenmeğe çalışılan önemli hatalar ve bunları meydana getiren sebeplerin araştırılması uzun çalışmaların yapılmasını gerektirmiş ve analiz yazılımları ortaya çıkana kadar değişik şartlarda uygulanan deneme yanılma yöntemiyle pek çok çalışma yapılmıştır. Uygun enjeksiyon şartlarını sağlayabilmek için parametreler üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak söz konusu deneyler tekrarlanmıştır. Konu ile ilgili olarak pratik ve teorik bilgilerin dijital ortamda kombine edilmesiyle ve uzun çalışmaların sonucunda elde edilmiş olan analiz yazılımlarıyla, her alanda olduğu gibi bu alanda da büyük faydalar sağlanmıştır. Yazılımlar sayesinde imalatı hedeflenen parçanın basit veya karmaşık bir geometriye sahip olmasına bakılmaksızın, plastiğin reolojik özellikleri de göz önüne alınarak uygun enjeksiyon şartlarında en ekonomik, kaliteli ve hatasız olarak imal edilmesi sağlanabilmektedir. Bilgisayar simülasyonları ile enjeksiyon parametreleri üzerinde uygun düzenlemeler yapılarak zamandan büyük ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir. Analizler, parçanın üç boyutlu modellenmesi ile başlamaktadır. Daha sonra da, söz konusu modelin STL formatına dönüştürülüp analize hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Analiz esnasında kalıbın dolum süreci gözlem altında tutularak, muhtemel hata yerleri tespit edilebilmektedir. Prosesin başlangıcından sonuçlanma noktasına kadar izlenen tüm adımlar gözden geçirilerek uygun düzenlemeler yapılmakta ve imalatın mümkün olabilecek en az hata ile gerçekleştirilebilmesine çalışılmaktadır.

Yazılımlar, çok önemli avantajlar sağlamasına ve mevcut koşullar altında optimize ettiği sonuçları seri bir şekilde kullanımımıza sunmasına karşın, bunların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu bilinmektedir.

Ülkemiz sanayiinin geçmişine bakıldığında, teknik olarak oldukça sağlam temellere dayanan ve altyapısı yeterince güçlü olan bir tablo ortaya çıkmaktadır. Kalıp imalat sanayimiz ile ilgili olarak yayınlanan bir raporda otuz yılı aşkın tecrübeye sahip yeterli sayıda kuruluşumuzun mevcut olduğu öne sürülmektedir. Ancak sahip olduğumuz söz konusu avantaja rağmen, ülkemizin, sanayiini belirli seviyeye kadar geliştirebilmiş emsal ülkeler arasında henüz istenen yere getiremediği görülmektedir. Ülkemiz sanayicilerinin yabancı sanayicilerle yapmış oldukları ortaklıklar yada araştırmacı ve yeniliğe açık firmaların yurt dışında pazar payı elde edebilmek için ürünlerini dış ürünlerle rekabet edebilecek seviyeye getirme zorunluluğu neticesinde bu yazılımlar ülkemize kazandırılmıştır. Dışarıdan transfer ettiğimiz ileri teknoloji yelpazesi içerisinde yazılımlar önemli bir paya sahiptir. Bu konuda, yurt dışında çok büyük yıllık cirolar elde eden birçok firma bulunmaktadır. Yazılımları

geliştirmekte olan bu firmalar, sanayide ileri gitmiş olan büyük kuruluşların ortaya çıkan gereksinimleri sonucunda doğmuşlar ve sonuçta global ölçekte büyük bir pazar payına sahip olmuşlardır.

Önümüzdeki yıllarda, ülkemizde de yazılım alanında gelişim sağlanabildiği takdirde, söz konusu yüksek maliyetler düşürülmüş; özellikle küçük ve orta ölçekli sanayicilerimizin (KOBİ) bunları rahatça kullanabilmeleri sağlanmış ve teknolojiye tam bir hakimiyet kurulmuş olacaktır. Ancak bunun için de konunun en önemli iki unsurundan ilki, akış olayına teorik bazda hakimiyet; ikincisi ise, sahip olunan deneyimlerin ve imalat envanterinin sağladığı birikimlerle ortaya çıkan veri tabanı olacaktır. Bu çalışmada, söz konusu hedefe yönelik küçük bir başlangıç adımı olmak üzere, plastik malzemenin akışı ile ilgili parametreler ortaya konarak analizleri ele alınmış ve bunlar parça kalitesi yönünden tartışılmıştır.



**KAYNAKLAR**

- Akkaya, A.R, (1995) “ Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, İTÜ
- CMOLD Design Guide, (1998)
- Foss, J. Harris, J. O' Gara, L. Inzinna, E. Liang, C.M. Dunbar, C. Tucker III, and K. Heitzmann, (1996)"Prediction of Fiber Orientation and Mechanical Properties Using C-MOLD and ABAQUS," SPE Technical Papers, XLII, Cilt.I, sy.501-505
- Gupta, Mahesh, (2000) “ Effect of Elongational viscosity on die design for plastic extrusion” Michigan Technological University,Houghton, MI49931
- H.H.Chiang, K.Himasekhar, N.Santhanam & K.K.Wang, (1993)."Integrated Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in Injection Molding for the Prediction of Shrinkage and Warpage," Journal of Engineering Materials and Technology; Cilt 115, sy. 37-47
- H.H. Chiang, M. Gupta, K. Himasekhar, N. Santhanam, P. Tushak & K.K. Wang, (1992). "Prediction of Fiber Orientation and Mechanical Properties in Short-Fiber Reinforced Injection-Molded Composites", Computer Aided Design in Composite Material Technology III, Ed. S.G. Advani et. al., Computational Mechanics Publications, (Southampton, Boston) co-published with Elsevier Applied Science (London, New York), sy. 371-382
- International Conference at Material Congress 2000 “Computer Modeling of Polymer Processing” ,04-2000 Cirencester, UK
- Joseph, B.Dym, (1987) “Injection Molds and Molding” Second Edition.Newyork.Chapman & Hall. sy.83-205
- Makine Metal Teknolojisi Dergisi, (Aralık 1998), “ Plastik Enjeksiyon Makinaları” Sayı.84, sy.67-72
- Mühendis ve Makine Dergisi, “ Termoplastik Uygulamalarında İnce Cidar Yöntemi” Cilt.40-Sayı 479
- Mold Flow Help Guide (1998)
- Plastik Teknolojisi. Seminer Notları. TMMOB.İstanbul,14-16/ Ekim 1998.
- Plastik Teknolojisi, Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul,1995
- R.J.Crawford, (1987), “Plastic Engineering” Second Edition. Pegamon Press Eng. sy.234-292
- Robert L.Davis, Ronald D.Beck, (1946),“Applied Plastic Product Design” Newyork. Prentice-Hall. sy.55-208
- Society of Manufacturing Engineers, “Plastic Injection Molulding ”, www.sme.org
- Yurci, M., E., Tamer, M., (2001) Kalıp İmalat Sektörünün Teknik Sorunları ve Çözüm Önerileri, İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 2001-07, İstanbul
- Yurci, M., E., Tamer, M., Nikbay, N., (4 – 5 Aralık1999), Plastik Sektöründe Teknik Sorunlar ve Plastik Araştırma Muayene ve Eğitim Merkezi (PAMEM) Modeli, Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferansı, Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 241, İstanbul
- www.moldflow.com

**ÖZGEÇMİŞ**

<b>Doğum tarihi</b>	27/09/1973	
<b>Doğum yeri</b>	İstanbul/Üsküdar	
<b>Lise</b>	1987-1990	Kadir Has Lisesi
<b>Lisans</b>	1991-1995	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
<b>Yüksek Lisans</b>	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı
<b>Çalıştığı kurum</b>	1997-Devam ediyor. Makine Takım Endüstrisi A.Ş	

