

154303

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Prof. Dr. Hüseyin Sönmez  
Prof. Nurullah Gültekin  
Prof. Dr. Cemalettin Yaman

PLASTİK ENJEKSİYONDA BASINÇ, SICAKLIK,  
ZAMAN, HIZ GİBİ FAKTÖRLERİN PARÇA KALİTESİ  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Berke İÇTEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 2004

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vi
ÖNSÖZ .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Plastik Malzemeler.....	2
1.2 Plastik Malzemelerin Özellikleri .....	4
1.3 Plastiklerin Sınıflandırılması .....	7
1.3.1 Termoplastikler .....	9
1.3.2 Termosetler .....	11
1.3.3 Elastomerler .....	14
2. PLASTİK ENJEKSİYONU.....	16
2.1 Enjeksiyon Tekniğine Giriş .....	17
2.2 Enjeksiyon Malzemeleri .....	19
2.3 Vida Profilinin Gelişimi.....	21
2.4 Enjeksiyon Prosesi .....	29
3. ENJEKSİYON PARAMETRELERİ .....	32
3.1 Sıcaklık .....	32
3.1.1 Ergiyik Sıcaklık Kontrolü.....	33
3.1.2 Kalıp Sıcaklık Kontrolü .....	40
3.1.3 Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü.....	44
3.1.4 Kurutma Sıcaklığı .....	45
3.2 Basınç.....	46
3.2.1 Enjeksiyon Basıncı.....	47
3.2.2 Tutma Basıncı .....	53
3.2.3 Geri Basıncı .....	54
3.2.4 Kilitleme Basıncı .....	56
3.2.5 Kilitleme Kuvvetinin Hesaplanması .....	59
3.3 Hız.....	60
3.3.1 Enjeksiyon Hızı.....	61
3.3.2 Vida Dönüş Hızı .....	66
3.3.3 Vida Geri Dönüş Hızı .....	68
3.4 Zaman .....	70
4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	72

4.1	Deney Malzemesi.....	72
4.2	Deney Numunesi ve Hazırlanması.....	73
4.3	Deney Şartları .....	74
4.4	Deneyin Yapılışı .....	76
4.5	Deneyin Sonuçları.....	76
5.	SONUÇLAR.....	82
	KAYNAKLAR .....	83
	ÖZGEÇMİŞ .....	85



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Moleküler ağırlık, sıcaklık ve bazı özelliklerin değişimi .....	6
Şekil 1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması (Akyüz,1998).....	8
Şekil 1.3 Plastik Moleküllerinin Dizilişi (Akyüz,1998) .....	8
Şekil 1.4 Amorf ve Yarı Kristal yapının gösterimi.....	10
Şekil 1.5 Fenol Formaldehit oluşumu (Oswald,2001).....	12
Şekil 1.6 Termoplastik elastomerin iç yapısı (Crawford, 1997).....	15
Şekil 2.1 Hyatt kardeşler tarafından 1872’de üretilen ilk enjeksiyon makinesi .....	17
Şekil 2.2 Almanya da 1921 yılında Buchholz tarafından üretilen ilk gelişmiş enjeksiyon makinesi (Oswald,2001) .....	18
Şekil 2.3 Piston tipi enjeksiyon makinesi (johannaber,1994).....	22
Şekil 2.4 Gastrow tarafından geliştirilen torpil tipli enjeksiyon makinesi (Oswald,2001).....	22
Şekil 2.5 İki kademeli enjeksiyon makineleri (johannaber,1994) .....	23
Şekil 2.6 İki kademeli vida ve pistonlu enjeksiyon makinesi (johannaber,1994) .....	24
Şekil 2.7 İki kademeli vida ve pistonlu enjeksiyon makinesi(Johannaber,1994).....	24
Şekil 2.8 Enjeksiyon vidasının komponentleri (Oswald,2001).....	25
Şekil 2.9 Termoplastikler için kullanılan standart bir vida ve bölümleri (johannaber,1994) ...	26
Şekil 2.10 Kanat derinliğinin Vida çapına göre değişimi (johannaber,1994) .....	27
Şekil 2.11 Sabit Kanat yüksekliğinde termoset plastik için geliştirilmiş vida (Johannaber,1994) .....	28
Şekil 2.12 Enjeksiyon prosesinin önemli safhaları (Crawford, 1997).....	30
Şekil 3.1 Vida kovan sistemi (Douglas, 1996) .....	33
Şekil 3.2 Isıl dayanıklılık eğrisi (Prabodh, 2000) .....	36
Şekil 3.3 Yüksek ısı nedeniyle ortaya çıkan türbülanslı akışın yol açtığı gaz ve hava kabarcığı problemi (Douglas,1996) .....	37
Şekil 3.4 Düşük sıcaklığın neden olduğu bulutlanma (Beaumont, 2002) .....	37
Şekil 3.5 Kovan ısıtıcı bölgeleri ve ısı profilleri ( Prabodh, 2000).....	38
Şekil 3.6 Kovan sıcaklığının darbe dayanımı üzerindeki etkisi (johanna, 2000) .....	39
Şekil 3.7 Kalıp sıcaklığının zamana ve baskıya göre değişimi (Prabodh,2000).....	42
Şekil 3.8 Düşük kalıp sıcaklığının parça üzerindeki etkisi (Douglas,1996).....	42
Şekil 3.9 Kalıp sıcaklığının çekme dayanımına olan etkisi (Johanna,2000) .....	44
Şekil 3.10 Enjeksiyon işlemindeki basınçların zamana göre değişimi (Deniz,1987).....	47
Şekil 3.11 Enjeksiyon basıncının zaman ve akış direncine göre değişimi(Deniz,1987) .....	48
Şekil 3.12 Enjeksiyon ve kalıp iç basıncının zamana göre değişimi (Johannaber,1994) .....	49
Şekil 3.13 Yüksek enjeksiyon basıncının yarattığı yanık izi sorunu (Douglas,1996) .....	50
Şekil 3.14 Basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının artması (Prabodh,2000).....	51
Şekil 3.15 Enjeksiyon basıncının sertlik üzerindeki etkisi (Johanna,2000) .....	52
Şekil 3.16 Geri basıncının gösterimi (Douglas,1996).....	54
Şekil 3.17 Geri basıncın yetersiz olduğu durumda ortaya çıkan sorunlar (Douglas,1996) .....	55
Şekil 3.18 Hidrolik kilitleme sisteminin gösterimi .....	57
Şekil 3.19 Mekanik kilitleme sisteminin gösterimi (Johannaber,1994) .....	58
Şekil 3.20 Enjeksiyon işleminde kabuk oluşumu (Prabodh,2000) .....	61
Şekil 3.21 Kaynak izi oluşumu (Beaumont,2002).....	62
Şekil 3.22 Akış esnasında oluşan oryantasyon (Oswald,2001) .....	63
Şekil 3.23 Akış esnasında oluşan oryantasyon (Oswald,2001) .....	64
Şekil 3.24 Moleküler oryantasyonun parça mekanik dayanımı üzerindeki etkisi(Johannaber,1994) .....	65
Şekil 3.25 Enjeksiyonda gerekli enerji tüketiminin vida dönüş hızına olan ilişkisi (Oswald,2001).....	66
Şekil 3.26 Kovan sıcaklığı ve vida hızının ergitme oranına olan etkisi (Oswald,2001).....	67

Şekil 3.27 Geri basıncı, vida geri dönüş hızı ilişkisi (Oswald,2001).....	69
Şekil 4.1 TS 1398-1'e göre tip 1-A deney parçası.....	73
Şekil 4.2 Numune kalıbı .....	74
Şekil 4.3 Deneyde kullanılan ocak sıcaklıkları.....	75
Şekil 4.4 Deney No:1 için elde edilen çekme eğrisi .....	77
Şekil 4.5 Deney No:2 için elde edilen çekme eğrisi .....	77
Şekil 4.6 Deney No:3 için elde edilen çekme eğrisi .....	78
Şekil 4.7 Deney No:4 için elde edilen çekme eğrisi .....	78
Şekil 4.8 Deney No: 5 için elde edilen çekme eğrisi .....	79
Şekil 4.9 Deney No:6 için elde edilen çekme eğrisi .....	79
Şekil 4.10 Enjeksiyon Basıncının Çekme Dayanımına Etkisi.....	80
Şekil 4.11 Enjeksiyon Basıncının Sertlik Üzerindeki Etkisi .....	81



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Amorf ve kristalin yapılı plastıklere ait bazı özellikler (Crawford, 1997) .....	11
Çizelge 1.2 Amorf ve kristalin yapılı malzeme örnekleri.....	11
Çizelge 2.1 Plastik enjeksiyon malzemeleri (Crawford,1997) .....	19
Çizelge 2.2 Termoplastikler için tavsiye edilen vida ölçüleri (Johannaber,1994).....	26
Çizelge 2.3 Termoset plastikler için tavsiye edilen vida ölçüleri (johannaber,1994).....	29
Çizelge 3.1 Bazı polimerlere ait ergiyik sıcaklıkları (Prabodh, 2000) .....	34
Çizelge 3.2 Bazı polimerlere ait kalıp ve ergiyik sıcaklıkları (Oswald,2001).....	41
Çizelge 3.3 Kalıp sıcaklığının sertlik üzerindeki etkisi (Johanna,2000) .....	43
Çizelge 3.4 Efektif basınç tablosu ( Oswald,2001) .....	60
Çizelge 3.5 Viskozite Faktörü (Crawford,1997) .....	60
Çizelge 3.6 Enjeksiyon işleminde zamanlar (Douglas,1996) .....	70
Çizelge 4.1 Deney numunesi ölçüleri .....	73
Çizelge 4.2 Enjeksiyon basıncı değerleri.....	75
Çizelge 4.3 Sabit parametreler .....	75
Çizelge 4.4 Deney sonuçları gösterimi .....	76



## ÖNSÖZ

Teknolojinin baş döndürücü bir ivme kazandığı günümüzde, ayakta kalabilmek için yapılması gereken en temel şeylerden birisi hiç şüphesiz bu hızlı değişimden uzak kalmamaya çalışmak hatta değişimin bir parçası olmaktır.

Plastik endüstrisi de diğer bütün endüstri dalları gibi, hatta birçoğundan daha hızlı bir şekilde gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir. Plastik malzemelerin çeşitlilikleri ve mekanik özellikleri başta olmak üzere kullanıcılara sundukları birçok avantaj plastiklerin gittikçe daha fazla tercih edilmelerine sebep olmuştur. Etrafımızda gördüğümüz pek çok ürün ya komple plastikten üretilmiştir ya da bir parçası mutlaka plastiktir. Bu ürünlerin sayısı da her geçen gün artmaktadır.

Plastik endüstrisinde yaşanan bu hızlı gelişmeler plastik işleme teknolojilerini de kapsamaktadır. Bu alanda en önemli üretim dalı olan plastik enjeksiyon tekniğinde son yıllarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte enjeksiyon parametrelerinin işlem üzerindeki etkileri daha net anlaşılır olmaya başlamış ve üretim kalitesi üzerinde ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir.

Günümüzde artan rekabet koşulları içerisinde en önemli silah kuşkusuz maliyet olmuştur. Artık herhangi bir parçanın enjeksiyonla üretimi sorun olmaktan çıkmıştır. Önemli olan bu parçanın ne kadar verimli bir şekilde üretilebileceğidir. Bu nedenle enjeksiyon prosesinde verimliliğin artırılması işletmeler için hayati önem arz etmektedir. Enjeksiyon prosesine en iyi hakim olanlar, parametrelerin etkilerini en iyi şekilde değerlendirebilenler kuşkusuz bu yarışta hep bir adım önde olacaklardır.

Bu nedenle böyle bir konuda bana çalışma olanağı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin Sönmez' e teşekkürü bir borç bilirim.

Berke İçten

## ÖZET

Bu tezin içeriğinde plastik malzemeler konusunda genel bazı bilgiler verildikten sonra termoplastikler, termosetler ve elastomerler hakkında bilgiler verilmiştir. Plastik malzemelerin özellikleri ve plastik enjeksiyon işleminin genel hatları ile anlatımından sonra da tezin asıl çalışma konusu olan enjeksiyon parametrelerinin parçalar üzerindeki etkilerinin incelenmesine geçilmiş ve deneysel çalışma ile tez desteklenmeye çalışılmıştır.

Plastik enjeksiyonda istenilen boyut hassasiyetinde, mekanik ve fiziksel özelliklerde parça üretimi için enjeksiyon parametrelerinin sağlıklı bir şekilde kontrol edilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Enjeksiyon prosesini etkileyen yaklaşık 200 parametrenin olduğu günümüzde bilinmektedir. Bunların hepsinin birden kontrol edilmesi şüphesiz pek mümkün değildir. Ancak işlem üzerinde hayati öneme sahip bazı parametreler bu tezde incelenmiştir. Bu parametreler ; sıcaklık, basınç, hız ve zamandır.

Yapılan deneysel çalışmada altı farklı enjeksiyon basınç değerinde üretilmiş deney çubukları çekme ve sertlik ölçüm deneylerine tabi tutulmuştur. Artan enjeksiyon basıncının çekme dayanımını ve sertlik değerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler :** Plastik enjeksiyon, parametre, basınç, sıcaklık, hız, zaman



## ABSTRACT

In this thesis general plastic materials and their properties have been introduced and some brief information about thermoplastics, thermosets and elastomers are given. After identifying the characteristic properties of plastic materials and injection molding processes fundamentals, the effects of injection parameters on the finished products have been discussed and the thesis tried to be supported by an experimental work.

In order to produce products in acceptable dimensional accuracy, in good mechanical and physical properties, the injection parameters should be controlled and applied correctly. Today it is known that there are more than 200 parameters effecting injection molding process. It is obvious that controlling all of these parameters is impossible. But the most important parameters such as pressure, temperature, speed and time are studied in this thesis.

In the experimental working section specimens were produced in six different injection pressure values and then the specimens were tested in tensile strength and hardness tests. As a result it is observed that increases in injection pressures also increased the tensile strength and the hardness values.

**Keywords:** Plastic injection, parameters, pressure, temperature, speed, time



## 1. GİRİŞ

Plastikler olmadan modern bir dünya düşünmek oldukça zordur. Günümüzde plastikler, evlerimizde kullandığımız basit eşyalardan çok karmaşık bilimsel projelere kadar geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle herkesin yaşamının vazgeçilmez bir parçası olmayı başarmıştır. Plastiklerin başka hiçbir malzeme türü ile sağlanamayacak özellikler sunması nedeniyle kullanımı giderek artmaktadır. Hafiflik, esneklik, korozyona karşı direnç, renklendirilebilme serbestliği, saydamlık, üretim kolaylığı plastiklere ait bazı temel avantajlardır.

Çinko, alüminyum ve çeliğin metal sınıfı adı altında toplanmasına benzer olarak “plastik” terimi de naylon, polietilen ve PTFE(poli tetra flor etilen) gibi malzemelerin oluşturduğu sınıfa verilen genel isimdir. Bu önemli bir noktadır çünkü çinkonun çeliğe göre çok farklı özelliklerde olmasına benzer şekilde naylon da PTFE’den farklı özelliklere sahiptir.

Plastiklerin son yıllarda keşfedilerek gelişime uğraması çok yaygın bir düşünce olmakla birlikte polimer adıyla anılan malzeme sınıfının hayvansal ve bitkisel hayatın temel bileşenleri olduğu bir gerçektir. Polimerler metallerden yapı olarak farklılıklar gösterirler. Polimerlerin yapısı moleküle benzeyen uzun zincirli bir yapıdır. Doğal malzemelerden ipek, şellak, zift, kauçuk ve selüloz bu tür yapıya sahip malzemelerden birkaçıdır. İlk sentetik polimerik malzemenin üretimi 19. Yüzyıla rastlamaktadır. Bu alandaki ilk başarı selüloz üzerinde olmuştur. 20.yüzyılın başlarında yeni sentetik malzemelere olan ilgi fazlasıyla artmaya başlamıştır. Fenol formaldehit (bakalit) 1909 yılında tanıtılmıştır. İkinci dünya savaşı yıllarında da naylon, polietilen ve akrilik gibi malzemeler geliştirildi. Ancak bu ilk uygulamaların pek çoğu kullanılan malzemelerin yerine ucuzu ile değiştirilmesi şeklinde düşünülmüştür. Bu düşüncenin değişmesi oldukça uzun bir zaman aldı ve günümüzde plastikler sahip oldukları karakteristik özellikleri nedeniyle önemli malzemeler arasındaki yerlerini aldılar.

Plastik parçaların imalatında ise genel olarak iki kademe vardır. Birincisi kimyasal proses olup polimerizasyon olarak adlandırılır ve bu işlemde plastik malzemenin reçine kısmı meydana getirilir. İkinci kademe ise bu reçineden pratikte kullanılmak üzere şekillendirilmiş parça üretilmesidir. Bu ikinci kademe mekanik olmakla birlikte termoset plastikler gibi bazı plastiklerin üretiminin son aşamasıdır.

Plastiklere şekil verme işleminde temel olarak talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri uygulanmaktadır. Ancak günümüzde plastik parçaların %90’ı talaşsız yöntemlerle imal

edilmektedir. Plastiklere uygulanan talaşsız imalat yöntemleri, esas şekil verme ve bağlama ile şekil verme olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Esas şekil verme yöntemiyle direkt mamul veya yarı mamul elde edilebilir. Enjeksiyon, basınçlı ve transfer kalıplama, dökme, şişirmeyle kalıplama, döner kalıplama esas şekil verme yöntemlerinden bazılarıdır. Ekstrüzyon, haddeleme gibi yöntemlerle yarı mamul elde edilir. Yarı mamulden de bağlama, talaş kaldırma veya ısıl şekillendirme yöntemleri ile çeşitli şekillerde parçalar üretilebilir.

Bu tezin çalışma alanı plastik enjeksiyon tekniğinde geçerli olan basınç, sıcaklık, hız ve benzeri parametrelerin bitmiş parçalar üzerindeki etkilerinin incelenmesini kapsamaktadır. Bu etkilerin iyi anlaşılabilmesi için ilk önce plastik malzemeler hakkında genel bilgiler verilmeye çalışılacak daha sonrada parametrelerin etkileri incelenecektir.

### 1.1 Plastik Malzemeler

Sentetik uzun zincirli moleküller, monomer adı verilen binlerce küçük moleküler birimlerin birleşmesiyle oluşmaktadır. Moleküllerin birleşmesi olayına polimerizasyon adı verilmekte ve uzun zincirdeki moleküler birimlerin sayısı ise polimerizasyon derecesi olarak kabul edilmektedir. Pek çok polimerin ismi kendisi oluşturan monomerin isminin önüne “poli” ön isminin eklenmesi ile oluşturulmuştur. Örneğin polipropilen polimeri propilen monomerinden, polistren polimeri de stren monomerinden oluşmuştur. Daha çok petrol, belirli ölçüde de kömür ve diğer kaynaklara dayalı olan plastik üretiminde tepkime yürüdükçe başlangıç maddelerinin özellikleri bir süreçte azar azar değişir, polimerleşme sona erince de başlangıç maddelerinden tamamen farklı yeni bir ürün oluşur. Buna en güzel örnek etilen gazından katı bir plastik olan polietilenin elde edilmesidir.(Trantina,1994)

Plastiklerin kullanım alanının giderek artması tasarımcıların ve mühendislerin bu konuya daha fazla eğilmelerini gerektirmiştir. Ancak pek çok tasarımcı ve mühendis plastik malzemelerle yakından ilgilenme konusunda isteksiz davranmaktadır. Bunun en temel nedeni plastiklerin çok karmaşık yapıları oldukları düşüncesi ve anlaşılması zor kimyasal formüllerin içinden çıkılamayacağı inancıdır. Ancak gerçekte plastiklerin tasarımlarda en etkili şekillerde kullanılması için plastiğin iç yapısı hakkında çok detaylı bilgiye sahip olmak gerekmemektedir. Başarılı tasarımlarda ve uygulamalarda önemli olan faktör plastiklerin karakteristik özelliklerinin bilinmesi ve kullanım alanına uygun olanının tercih edilmesidir. Günümüzde 20,000 civarında enjeksiyona uygun plastik malzeme çeşidi olduğu tahmin edilmektedir ve bu sayının her geçen gün değişen ihtiyaçlara göre arttığı bilinmektedir. Şüphesiz tasarımcıların veya mühendislerin bu kadar çeşitlenmiş malzeme grubunun

özelliklerini eksiksiz bilmesi mümkün değildir. Bu noktada tasarımcılara kolaylık sağlaması adına bazı bilgisayar programları geliştirilmiş ve tüm malzeme özellikleri programa kaydedilerek tasarımcı ve mühendislerin sadece kullanım alanına göre gerekli olan özellikleri belirtmeleri seçim yapmak için yeterli olmaktadır.

Polimer ve plastik kelimeleri çoğunlukla eş anlamlı kelimeler olarak bilinirler ancak değildirler. Polimer , polimerizasyon işlemi sonucunda meydana gelmiş saf bir malzeme türüdür ve uzun zincirli molekül benzeri yapıya sahip malzemeler sınıfındadır. Saf polimerler çok nadiren tek başlarına kullanılırlar. Saf polimerlere çeşitli katkıları yapılması sonucu ise plastik terimi ortaya çıkmıştır. Polimerlere pek çok nedenlerden ötürü çeşitli katkıları katılır. Aşağıda bu katılardan önemli olanları açıklanmıştır (Crawford, 1997).

**Antistatikler :** Pek çok polimer, zayıf iletken oldukları için , bünye içersinde statik elektrik meydana getirmektedir. Bu da yapışma , yanmaya veya patlamaya sebep olma gibi sakıncalar doğurmaktadır. Antistatikler polimerik yapı içersine katılarak bu tür olumsuzlukları giderilir.

**Pekiştiriciler :** Bu katkı maddeleri plastiklerin mekanik , elektriksel ve ısısal özelliklerini yükseltir , boyut kararlılığı sağlar. Bazı durumlarda da maliyetlerin düşmesine yardımcı olur. Bu katılardan bazıları; cam lifi , asbest lifi , seramik ve mika parçalarıdır.

**Renklendiriciler :** Renklendiriciler veya pigmentler plastiğin renklendirilmesinde kullanılırlar. Ürünü saydam veya opak olarak boyamak üzere iki türde hazırlanırlar.

**Plastikleştiriciler :** Plastikleştiriciler , ısı ve basınç altında biçimlendirmede plastiğin akışını ve işlenebilirliğini kolaylaştıran , kırılmasını azaltan , esnekliğini arttıran katkı maddesidir. Bunlardan beklenen temel özellikler beraber kullanıldığı plastikte uyumlu olması , çok iyi karışabilmesi , bünyede kalmasıdır.

**Yağlayıcılar( kayganlaştırıcılar) :** Yağlayıcılar ergiyik plastiğin viskozitesini düşürmek ve şekillendirilme kabiliyetini arttırmak için katılırlar. Başlıca kullanılan yağlayıcılar ; mineral yağlar , metal stearatlar (kalsiyum , çinko , kurşun , alüminyum) ve yağ asiti esterleridir.

**Alev önleyiciler :** Pek çok polimer organik esaslı oldukları için yanıcı özelliğe sahiptir. Klorin , bromin , fosfor ve metalsel tuzlar içeren katkıları katılarak polimerin yanması azaltılmaktadır.

**Oksit önleyiciler :** Plastik malzemelerde polimer yapının havanın oksijeni ve ışımaya etkileriyle tahribatının önlenmesi için oksit önleyici (antioksidan) katkıları kullanılır. Bu katkıları ya doğrudan doğruya oksijeni bağlar veya polimer ile kararlı bir ürün meydana getirerek oksitlenmeyi önlerler.

Bu temel katkıların yanı sıra plastik malzemelerde kullanım yerine , amaca ve üretim tekniklerine göre daha pek çok katkı maddesi kullanılmaktadır.

## 1.2 Plastik Malzemelerin Özellikleri

Plastikler en son ortaya çıkan malzeme grubu olmasına rağmen günlük hayatımıza en fazla giren malzemelerden biridir. Plastiklerin kısa sürede yaygınlaşmasının ve ekonomik önem kazanmalarının nedeni olarak sahip oldukları özelliklerinin ve çeşitliliklerinin çok geniş bir aralıkta değişmesi gösterilebilir. Plastiklerin sahip oldukları bazı ana özellikleri maddeler halinde şu şekilde özetleyebiliriz (Osswald, 2001).

- Özgül ağırlıklarının az oluşu (hafiflik)
- Kimyasallar ve korozyona karşı dayanım
- Kolay şekil verilebilir ve işlenebilir olmaları
- Yalıtkanlık (elektrik, ısı ve ses)
- Yüksek esneklik ve darbeye karşı dayanım
- Şeffaflık
- Hijyenik özellik göstermesi
- Çok çeşitli mekanik özelliklere sahip oluşu
- Özelliklerinin istekler doğrultusunda değiştirilebilir oluşu
- Yeniden işlenip kullanılır hale getirilebilmesi
- Düşük maliyet (hammadde ve imalat)

Bu temel özellikleri biraz daha ayrıntılı incelemek yerinde olacaktır. (Crawford,1997)

Metallerden ve seramiklerden daha hafif olan plastiklerin özgül ağırlıkları  $0,8 \text{ g/cm}^3$  ile  $2,2 \text{ g/cm}^3$  arasında değişim göstermektedir. Hafifliğin sağladığı en önemli avantaj çalışma şartlarında veya nakliye durumunda önemli oranlarda ekonomiklik sağlanmasıdır. Araba, uçak ve uzay sanayiinde bu ekonomiklik maksimum seviyelere çıkmaktadır. Bu hafifliklerinin yanı sıra sahip oldukları yüksek mekanik mukavemet nedeniyle en çok tercih edilen hafif malzeme sınıfı haline gelmişlerdir.

Plastikler kimyasal maddelere karşı yüksek direnç göstermektedirler. Atomik yapıları temelde metallere farklı olan plastikler korozyondan da metaller kadar etkilenmezler. Sadece birçok kimyasal ortama karşı gösterdikleri direnç nedeniyle pazar payları oldukça genişlemiştir. Bunlara çeşitli ev aletleri , akaryakıtı karşı dirençli otomobil parçaları , gıda ve kozmetik sanayiinde kullanılan ambalaj plastikleri örnek verilebilir.

Plastikler çok kolay işlenebilmektedirler. İşleme sıcaklıkları genellikle 120 – 320 °C derece arasında değişmektedir. İşlenmeleri için gereken enerji miktarının da düşük olması önemli bir avantajdır. Plastiklerin üretiminde bir önemli avantaj da yüksek miktarda üretime imkan veren otomasyon tekniklerinin uygulanabilir oluşudur. Ayrıca plastikler pahalı ve zaman alıcı son işlemler gerektirmeden çok komplike parçalar üretmeye de uygun malzemelerdir.

Plastiklerin ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür (yalıtkandırılar). Isı iletkenlikleri metallerin ısı iletkenliğinin neredeyse 300 kat altındadır. Bu özellikleri nedeniyle plastikler önemli ısı yalıtım malzemelerinden biri olmuştur. Bu kadar yüksek ısı yalıtkanlığının bir önemli dezavantajı ise eriyik haldeki plastiğin kalıp içersinde soğutulması için uzun sürelere ihtiyaç duyulmasıdır.

Plastiklerin çekme mukavemetleri ve elastikiyet modülleri metallere düşük olmasına rağmen geniş sınırlar dahilindedir. Bununla birlikte cam – fiber takviyeli plastiklerin bu tür özellikleri bilinen en hafif metal olan alüminyumla yarışır hale gelmiştir. Günümüzde çeşitli dolgu maddeleri kullanılarak bazı metallere daha yüksek mekanik mukavemete sahip plastik malzemelerin üretildiği bilinmektedir.

Bazı plastiklerin saydam görünüme sahip oluşu onların gözlük camı, kompakt disk ve optik disk üretimine uygun kılmaktadır. Bu malzemeler camdan daha rahat işlenebilir olmalarının dışında optik ve mekanik yapıları açısından da oldukça gelişmiş özelliklere sahiptirler.

Plastikler çeşitli metotlarla yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Ancak ekonomik sebeplerden dolayı plastikleri malzeme olarak geriye kazanmak yerine yakarak enerjinin geri dönüşümünün sağlanması bazı durumlarda daha avantajlı olmaktadır.

Plastiklerin sahip olduğu temel avantajlarının yanında zayıf oldukları alanlarda elbette ki vardır. Bu zayıflıklar ise şu şekilde özetlenebilir;

- Alev ve sıcaklık dirençleri düşüktür
- Yüksek çekme oranlarına sahiptirler

- Boyutsal kararlılık çok iyi değildir
- Yaşlanma etkisi daha çabuk etkisini gösterir

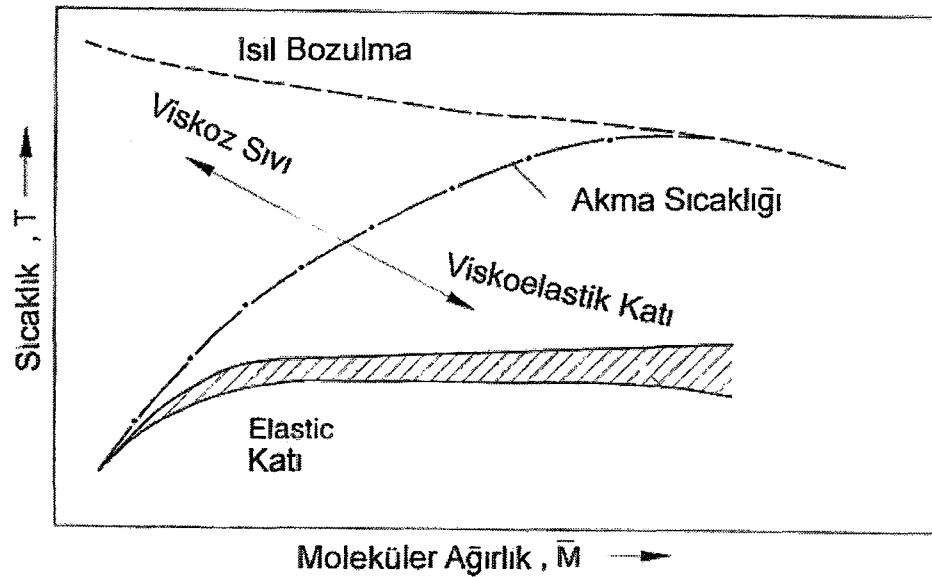
Polimerlerin monomer adı verilen daha küçük alt birimlerin çeşitli şekillerde bir araya gelmesiyle oluştuğunu daha önceden belirtmiştik. Polimerik malzemeler ise çeşitli uzunluklardaki polimer zincirlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle bir polimer malzemeyi oluşturan polimer zincirlerinin hepsi aynı uzunlukta ve ağırlıkta olmamaktadır. Dolayısıyla moleküler ağırlık hesaplanırken genellikle ortalama bir değer hesaplanır.(Oswald,2001)

Polimer malzemelerin sahip oldukları özellikler moleküler ağırlıkları ile çok yakından ilgilidir. Bir polimerik malzeme olan Polistren polimerizasyon derecesi 1000 olduğunda oda sıcaklığında sert ve kırılğan bir yapıya sahipken polimerizasyon derecesi 10 olduğunda ise aynı sıcaklıkta yumuşak ve yapışkanlı bir yapıya sahip olmaktadır (Oswald,2001).

Moleküler ağırlığın artmasının polimer üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir.

- Ergime noktasının yükselmesi
- Viskozitenin artması
- Mekanik dayanımın artması
- İşlenebilirliğin azalması

Şekil 1.1'de moleküler ağırlıkla sıcaklık ve bazı özelliklerin değişimi gösterilmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla yapılacak işe en uygun polimer seçiminde moleküler ağırlığında göz önüne alınması kaçınılmazdır.



Şekil 1.1 Moleküler ağırlık, sıcaklık ve bazı özelliklerin değişimi

Plastiklerin sahip oldukları genel özellikleri sıraladıktan sonra yapılacak uygulamalara göre plastik seçimine değinmekte fayda vardır. Bir parçanın dizayn aşamasında ilk ve en önemli adım hiç kuşkusuz parçanın kullanım yeri ve amacının detaylı olarak belirlenmesidir. Bundan sonraki aşama ise kullanılabilir muhtelif malzemelerden en uygun olanının seçimidir. Aşağıda mühendislik uygulamalarında malzeme seçiminde takip edilen temel seçim kriterleri belirtilmiştir.

**Mekanik özellikler :** Dayanım, tokluk, yorulma mukavemeti ve sıcaklığa bağlı mekanik özelliklerdeki değişimler bu kategoride incelenmelidir.

**Korozyon ve degravasyon:** Korozyona karşı direnç plastiklerin önemli avantajlarından biri olmasına rağmen yapılacak uygulamada korozyona karşı direnç açısından da malzeme incelenmelidir. Degrasyon ise plastiğin kimyasal yapısındaki parçalanmadır. Bu parçalanma her zaman güçlü asitler veya solventler tarafından yapılmamaktadır. Zaman zaman su ve oksijende degravasyona neden olabilmektedir. Bu nedenle malzeme seçiminde bu konu üzerinde de durulmalıdır.

**Aşınma ve sürtünme direnci:** Plastiklerin önemli özelliklerinden biriside yağlayıcı kullanılmadığı yerlerde düşük aşınma değerlerine ve sürtünme katsayılarına sahip oluşlarıdır. Plastiklere yapılan çeşitli katkılarla bu özelliklerin artırılıp azaltılması mümkündür.

**Özel kriterler :** Plastiklerin seçiminde göz önüne alınan özel kriterler; termal, elektriksel, optik ve manyetik özelliklerdir.

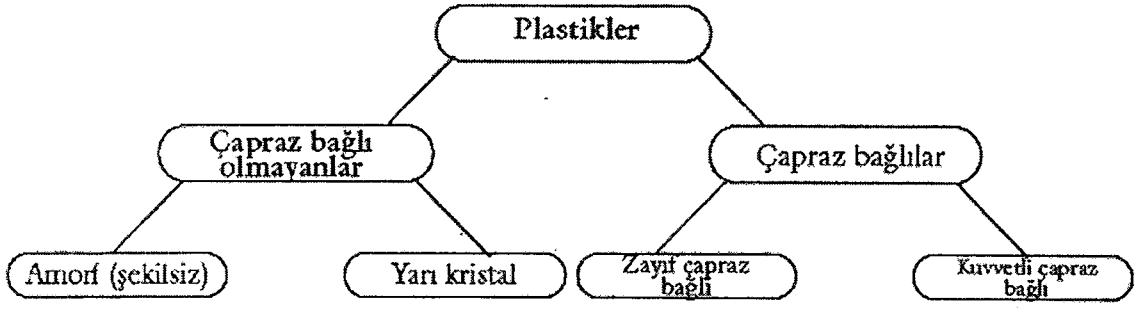
**Üretim teknikleri :** Plastik seçiminde şüphesiz en önemli seçim kriterlerinden biriside malzemenin üretim yöntemidir. Yapılması düşünülen parçanın hangi üretim teknikleri ile üretileceği önceden belirlenmelidir.

**Maliyet :** Parça dizaynında son olarak ve belki de yapılan çalışmanın ticari alanda başarıya kavuşmasında en önemli kriterlerden birisi maliyet olacaktır. Bu nedenle optimum malzeme seçimi çok önemlidir.

### 1.3 Plastiklerin Sınıflandırılması

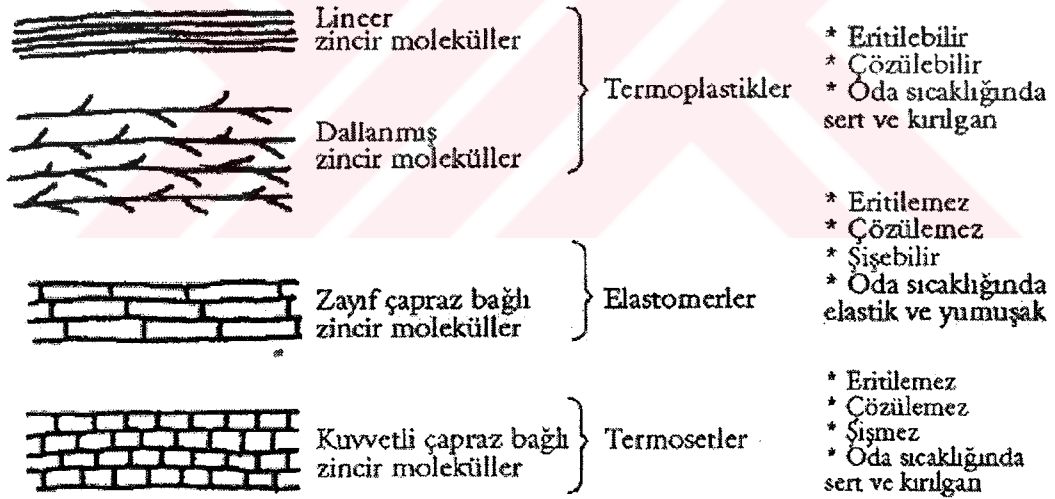
Plastikler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Genellikle ilk önce kimyasal yapılarına göre kabaca “çapraz bağlı” ve “çapraz bağlı olmayan” plastikler diye bir sınıflandırma yapılmaktadır. Termosetler ve elastomerler çapraz bağlı plastikler grubuna girerken termoplastikler çapraz bağlı olmayan plastikler grubuna dahildirler.





Şekil 1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması (Akyüz,1998)

Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden yani makromoleküllerden oluşmaktadır. Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ yoktur. Bundan dolayı termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilir özelliğine sahiptirler. Ancak bu özelliğin getirdiği bir dezavantaj ise termoplastiklerin kimyasal yollardan çözülebilmeleridir.



Şekil 1.3 Plastik Moleküllerinin Dizilişi (Akyüz,1998)

Bundan sonra termoplastikleri makromoleküllerinin dizilişine göre ayırabiliriz. Eğer makromoleküllerin dizilişi rasgele ise malzemeye “amorf yapılı” denmektedir. Amorf yapılı malzemelere katkı maddeleri katılmadığı sürece şeffaf görünürler. Bazı bölgelerinde düzgün dizilmiş moleküllere sahip plastiklere ise “yarı kristal” plastikler denir. Bunlara katkı maddesi katılmasa bile şeffaf görünmezler.(Akyüz,1998)

Üretilme parametrelerine yani ortam şartlarına bağlı olarak hem amorf hem de yarı kristal özelliklere sahip plastikler üretilir. Ancak amorf ve yarı kristal termoplastiklerin çalışma şartlarıyla beraber performans özellikleri de birbirlerinden tamamen farklıdır.

Termoplastiklerin yanında diğer bir büyük grup olan çapraz bağlı plastikleri de zayıf ve kuvvetli çapraz bağlı plastikler diye iki gruba ayırabiliriz. Çapraz bağlı plastikler termoplastiklerin aksine defalarca yeniden kullanılamazlar. Bu malzemelere çapraz bağlı denmesinin sebebi, kimyasal reaksiyonlar neticesinde makromolekülleri arasında kimyasal bağ meydana gelmiş olmasıdır.

Zayıf çapraz bağlı malzemelere elastomer denir. Bunlar çözücülerde çözünmezler ama kimyasal olarak şişerler. Makromoleküller arasındaki çapra bağ sayısı arttıkça malzeme daha sert ve kırılğan bir yapıya sahip olurken şişme özelliği de azalmaktadır. Bu şekildeki kuvvetli çapraz bağlı malzemelere “termoset” malzemeler denmektedir. Bunlar birçok makromoleküllerin birleşerek tek molekül haline geldiği oldukça karışık çapraz bağ yapısına sahiptirler. Aşağıdaki bölümlerde termoplastik, termoset ve elastomer plastikler hakkında biraz daha ayrıntılı bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

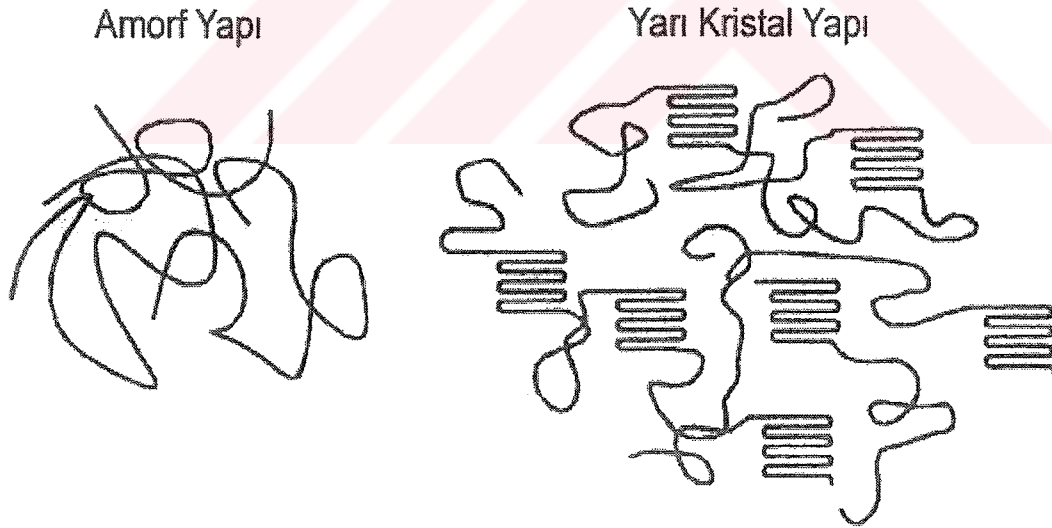
### 1.3.1 Termoplastikler

Termoplastik malzemelerde molekül benzeri uzun zincirli yapılar birbirlerine göreceli olarak zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlanmışlardır. Bu nedenle malzeme ısıtıldığında moleküller arasındaki bu zayıf kuvvetler kalkmakta ve yumuşak , esnek bir yapı oluşmakta ; hemen arkasından daha yüksek sıcaklıklarda da viskoz bir sıvı oluşmaktadır. Malzeme soğumaya terk edildiğinde ise tekrardan katılaşmaktadır. Bu ısıtarak yumuşatma ve soğutarak sertleştirme çevrimi pek çok defa tekrar edilebilmekte ve bu sayede termoplastiklerin şekillendirilmesinde önemli bir avantaj elde edilmektedir. Bu özelliği nedeniyle plastik endüstrisinde günümüzde kullanılan tüm plastiklerin içinde % 90'lık bir kullanım oranına sahiptirler. Ancak bu önemli avantajın sakıncası ise malzemenin ısıya karşı duyarlı olmasıdır. Bazı önemli ve yaygın kullanılan termoplastikler şunlardır: polietilen , poli vinil klorür (pvc) , polistren , naylon, selüloz asetat , polikarbonat , polimetil metakrilat (pmma) ve polipropilen.(Trantina,1994)

Termoplastik malzeme grubunun bir önemli alt bölümü de malzemenin kristal ( düzenli , sıralı) ve amorf ( düzensiz) yapıları oluşudur. Pratikte kalıpta üretilen bir plastiğin tamamen kristal yapıda olması mümkün değildir. Bu nedenle bu yapıya yarı kristal yapı da denmektedir. Polietilen ve naylon gibi bazı plastikler yüksek oranda kristal yapı

oluşturmakta ancak bunlar genel olarak yarı kristal malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Akrilik ve polistren gibi diğer plastikler de her zaman için amorf yapı malzemelerdir. Genel olarak kristalin yapı malzemelerin yoğunlukları, moleküllerin yakın olarak paketlenmesi nedeniyle, daha yüksektir. Amorf yapı termoplastikler düzensiz dizilişleri nedeniyle bir tabaktaki spagetti görünümüne benzer bir yapısal dizilişi vardır. Bu dağınık dizilişi gereği en uzak mesafesi karbon – karbon arası bağ kadardır. Bu mesafe görünür ışık dalga boyundan daha az olduğundan genellikle amorf termoplastikleri saydam olarak görmekteyiz.(Trantina,1994)

Yarı kristal yapı termoplastiklerde moleküller amorf yapıya göre daha düzenli sıralanmışlardır. Yarı kristal yapılarda kristal yapının düzensiz yapıya oranına kristallik oranı denilmektedir. Bu oran çeşitli faktörlere göre değişim göstermektedir. Örneğin düşük yoğunluklu Polietilen (LDPE) uzun polimer zincirleri nedeniyle kristallik oranı en fazla % 40-50 arasında değişim gösterirken yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) %80 oranında kristallik oranına ulaşabilmektedir. Yarı kristal termoplastiklerde bu nedenle yoğunluk ve dayanım kristallik oranı arttıkça yükselmektedir (Beaumont,2002).



Şekil 1.4 Amorf ve Yarı Kristal yapının gösterimi

Amorf ve yarı kristal yapı plastiklere ait bazı karakteristik özellikler şunlardır.

Çizelge 1.1 Amorf ve kristalin yapıli plastiklere ait bazı özellikler (Crawford, 1997)

Amorf Yapı	Kristalin Yapı
Yumuşama aralığı geniştir	Ergime noktasında keskinlik vardır
Genellikle saydamdır	Genellikle opaktır
Düşük çekme oranı vardır	Yüksek çekme oranı vardır
Kimyasallara karşı zayıf direnci vardır	Kimyasallara karşı yüksek direnç
Yorulma ve aşınma dirençleri düşüktür	Yorulma ve aşınma dirençleri fazla

Amorf ve kristalin yapıli malzemelere birkaç örnek vermek gerekirse;

Çizelge 1.2 Amorf ve kristalin yapıli malzeme örnekleri

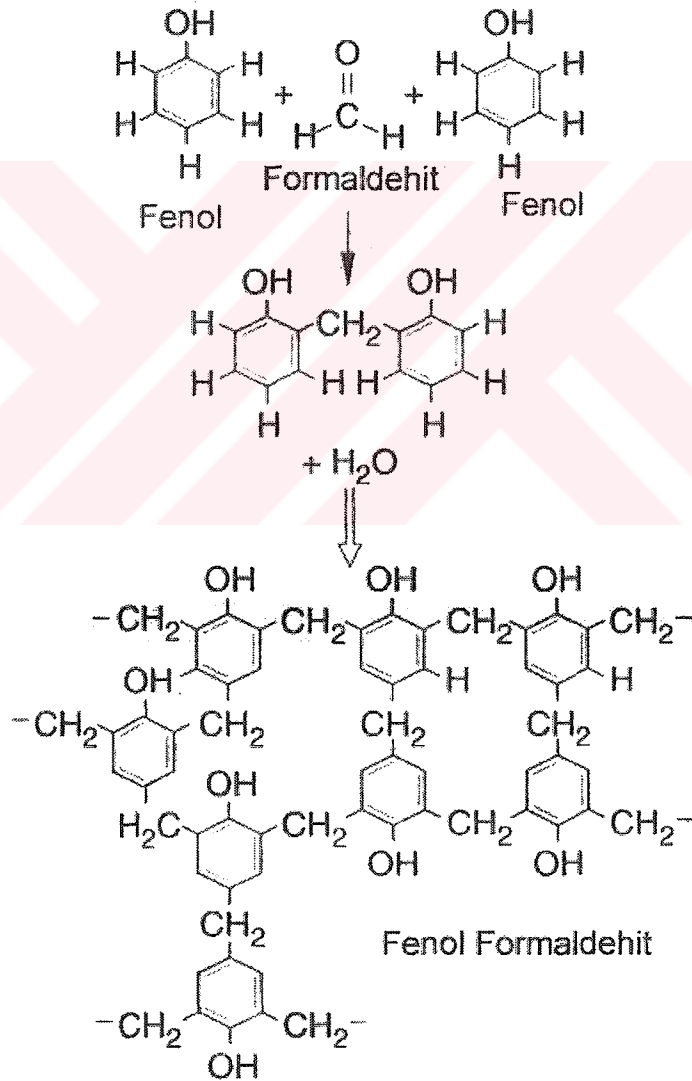
Amorf Malzemeler	Kristalin Malzemeler
PVC	PE (polietilen)
PS (polistren)	PP (polipropilen)
PC (policarbonat)	PA (poliamid)
Acrylic(PMMA)	Acetal
ABS	Poliester

### 1.3.2 Termosetler

Termoset plastikler iki aşamalı kimyasal reaksiyon sonucunda oluşan plastiklerdir. Birinci aşama termoplastiklerde olduğu gibi molekül benzeri uzun zincirli yapının oluşumudur. Ancak burada fark reaksiyon sonucunda tepkimenin tamamlanmamış yani devam etmeye hazır oluşudur. İkinci aşama ise (çapraz bağlanma) kalıplama sırasında genellikle ısı ve basınç altında gerçekleşmektedir. Kalıp soğutulduğunda sonuç ürün rijit bir yapıya kavuşacaktır. Ancak burada çapraz bağlanma nedeniyle çok sıkı bir ağ kurulmuş olacaktır. İkinci aşama sırasında uzun zincirli yapılar birbirleriyle kuvvetli bir şekilde bağlandıklarından tekrar ısı uygulanması durumunda bile malzemede yumuşama olmayacaktır. Termoset malzemelere ısı uygulanması durumunda ise önce kömürleşecek ve sonra da malzeme yanacaktır (Oswald, 2001).

Yapıdaki çapraz bağlanma nedeniyle termoset plastikler karakteristik olarak oldukça rijit malzemeler olarak bilinmektedirler ve mekanik özellikleri ısıya karşı duyarlı değildir. Bazı önemli termoset plastikler ve özellikleri aşağıdaki gibidir.(Crawford,1997)

**Fenol Formaldehit (PF)** : Fenol formaldehit yüksek dayanım, sertlik ve akmaya karşı mukavemeti ile bilinen bir malzemedir. Bilinen en eski termoset malzeme olan Fenol Formaldehit, fenol ve formaldehit moleküllerinin çapraz bağ oluşturacak şekilde reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Isıl genleşme katsayısı düşüktür. Genellikle ısı etkisi altında kalan yerlerde uygulanmaktadır. En yaygın kullanım alanı distribütör kapakları, bazı pompa komponentleri ve ütü gövdeleridir.



Şekil 1.5 Fenol Formaldehit oluşumu (Oswald,2001)

**Doymamış Poliester (UPE) :** Doymamış Poliesterler de fenol formaldehit gibi yüksek dayanım ve sertlik özelliklerine sahip malzemelerdir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda bile boyutsal kararlılık göstermesi ile bilinmektedirler. Pek çok uygulamada cam fiber takviyeli olarak kullanılmaktadır. Bazı tipik uygulama alanları; otomobil gövde panelleri, bazı motor aksamaları, elektrik motoru parçaları, distribütör kapakları, vantilatörler ve motorlu deniz araçları gövdeleridir.

**Epoksi (EP) :** Epoksi reçineleri yüksek yapışma özellikleri ve dayanım özellikleri ile bilinmektedir. Bunun yanı sıra düşük kendine çekme oranı, kimyaallara karşı yüksek direnç, elektriksel ve dielektriksel özellikleri ve ısıya karşı dirençleri nedeniyle günümüzde elektriksel sviçlerde, devre kesicilerde, bazı elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Çapraz Bağlı Poliüretan (PU) :** Çapraz bağlı Poliüretan yüksek yapışma ve darbe dayanımı, hızlı şekillendirilebilme, düşük çekme oranı ve düşük maliyet gibi özellikleri ile bilinmektedir. PU çok geniş kullanım alanına sahiptir. Televizyon ve radyo gövdeleri, bazı ofis araçları ve bilgisayar gövdeleri, spor malzemelerinde kullanılan kompozitler başlıca kullanım alanını teşkil etmektedir.

Geçtiğimiz yıllar içerisinde termoset malzemelerin kullanımındaki azalma dikkat çekmektedir. Özellikle batı Avrupa'da termoset malzeme kullanımı giderek azalma göstermektedir. Bunun önemli birkaç nedeni bulunmaktadır. Bunlardan birincisi termoset malzemenin modası geçmiş ve çağ dışı kalmış izlenimi ve son derece yavaş üretim tekniklerine sahip oluşudur. Diğer nedenlerin hemen hemen hepsinde de yeni bir malzeme türü olan yüksek ergime noktasına sahip mühendislik plastiklerinin uygulamaya geçişidir (günümüzde pek çok termoplastik malzeme mühendislik malzemeleri olarak da adlandırılmaktadır). Ancak son yıllarda termosetlerde kaydedilen renklendirilebilme , kolay akıcı hale getirilerek kalıpta üretim imkanı ve sahip olduğu mükemmel özellikler nedeniyle yeniden gündeme gelmektedir.

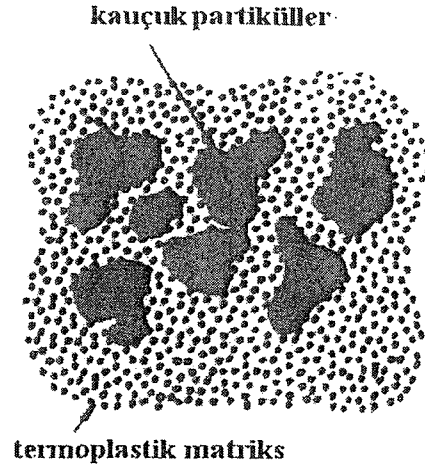
Günümüzde üre, melamin, doymamış poliester ve epoksi reçine tabanlı termoset malzemeler fenolik (kalıplamaya uygun malzeme) malzemelerle birlikte kullanıldığında akıcı, granüllü bir yapıya kavuşmakta ve bu sayede pek çok teknik uygulamanın içerisinde yüksek termal ve kimyasal direnç, ergimeme, tokluk, boyutsal kararlılık ve düşük yanıcılık özellikleri ile yer almaktadır. Pek çok durumda bu malzeme kombinasyonunun sağladığı avantajlara hiçbir termoplastik malzeme ile ulaşamamaktadır.

### 1.3.3 Elastomerler

Klasik kauçuk (rubber); molekül benzeri uzun zincirli bir yapıya sahip olduğundan polimer ailesinin bir üyesidir. Bu uzun zincirler gelişigüzel bir şekilde birbirleriyle sarılıp bükülmektedir. Bu sayede esnekliği fazla olmakta ve büyük miktarda deformasyonlara izin vermektedir. Ancak kauçuk bu büyük deformasyonlar karşısında formunu koruyamayacaktır. Çünkü yapıyı oluşturan moleküller birbirleri üzerinden tersinmez bir şekilde kaymış olacaktır. Moleküllerin birbirleri üzerinden kaymasını engellemek için “vulkanizasyon” adı verilen bir işlemle moleküller birbirlerine bağlanmaktadır. Bu sayede moleküller bir bakıma termoset plastiklerde olduğu gibi çapraz bağlanmaya benzer bir şekilde bağlanmış olmaktadır. Bu bağlanma moleküllerin gelişigüzel dizilişini ve birbirlerine sarılıp, bükülmelerini azaltmamaktadır ancak kauçuk deformasyona maruz bırakıldığında moleküller gerilip, uzamakta hatta kopmakta ancak birbirleri üzerinde kaymamaktadır. Bu sebeple uygulanan kuvvet ortadan kalktığında kauçuk tekrardan orijinal formuna dönmektedir.

Vulkanize kauçukta esneklik , kimyasallara karşı direnç , düşük sıcaklıklarda yüksek elastikiyet ilgi çekici özellikler olmuştur. Ancak üretimlerinin yavaş ve dikkatli yapılması ve imalat sırasında oldukça fazla enerji sarf edilmesi gerekmektedir. Bu önemli dezavantajlar termoplastik kauçukların (elastomerler) üretiminin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu malzemeler kauçuğun mükemmel özelliklerini gösterebilen ve termoplastiklerin kolay şekillendirilebilme özelliğine sahip olan malzemelerdir.

Günümüzde beş çeşit termoplastik kauçuk (TPR) kullanılmaktadır. Bunlardan üçü; poliüretan, strenik ve poliester bazlı yapılardır. Bunlardan oluşturulan kauçuğumsu yapı etrafına termoplastik moleküller sarılmış durumdadır. Oda sıcaklıklarında kauçuk moleküllerini birbirine bağlayan termoplastik molekülleridir. Isı uygulandığı zaman ise termoplastik moleküller ergiyerek hareket imkanı kazanmaktadır ve malzeme basit termoplastik şekillendirme düzenekleriyle şekillendirilebilmektedir. Bir diğer TPR cinsi olan olefinik ise son yıllarda geliştirilmiştir. Burada yüksek kalitede kauçuk partiküller termoplastik matriks içerisinde şekildeki gibi dağılım göstermektedir. Matriks malzemesi genellikle polipropilenden yapılmaktadır. Malzemenin şekillendirilmesi sırasında ergiyen kısım da bu matriks kısmıdır. Kauçuk dolgu malzemesi de burada malzemeye esneklik ve elastikiyet kazandıran bir faz etkisi göstermektedir. Diğer son TPR cinside poliamid’ dir. Bu fazla kullanılan bir tür değildir. (Crawford, 1997)



Şekil 1.6 Termoplastik elastomerin iç yapısı (Crawford, 1997)





## 2. PLASTİK ENJEKSİYONU

Günümüzde plastiklerin üretiminde kullanılan en yaygın metot enjeksiyondur. Hemen hemen her evde, ofiste, fabrikada, otomobilde plastik enjeksiyon ürünlerine rastlamak mümkündür. Çok çeşitli şekillere ve ölçülere sahip üç boyutlu parçaların yüksek miktarlarda üretimindeki en etkili yöntem plastik enjeksiyon yöntemidir. Plastik enjeksiyonu plastik malzeme, kalıp ve enjeksiyon makinesinin birlikte gerçekleştirdiği bir prosestir.

Temelde plastik enjeksiyon işlemi basit bir prosestir. Granül veya toz halindeki termoplastik malzeme besleme hunisinden geçerek ısıtılarak ergitileceği kovanın içine gelir. Bu kovan içinde daha sonra belli bir basınçla ergiyik haldeki plastik itilerek bir nozülde geçirilir ve kovana göre göreceli olarak soğuk ve basınç ile birbirlerine sıkıca bastırılan bir kalıbın içine doğru zorlanır. Parçanın soğuması için yeterli bir zaman beklendikten sonra kalıp açılarak basılmış parça kalıp dışına çıkarılır ve çevrim yeniden başlar.

Plastik enjeksiyon işleminin önemli avantajlarından biri, bu metotla otomasyon altına alınmış üretim hatlarının bir tek basamağında bile çok karmaşık yapılara sahip ürünler elde edilebilmektedir. Otomobil parçaları, oyuncaklar, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçalar hep bu yöntemle üretilmektedir.

Enjeksiyon işlemi temelde basit bir proses olduğu kadar içerisinde pek çok faktörü barındırması nedeniyle karmaşık bir prosestir. Bu proseste plastik partikülleri katı halden ergiyik hale dönüştürülerek akışkan hale getirilmekte ve bu ergiyik çeşitli zorlamalarla ve kayma etkisiyle kalıba doldurulmaktadır. Bu nedenle akışkanlık dolayısıyla viskozite ve bunun değişiminin de bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca plastik partikülleri çeşitli basınç ve sıcaklık değişimleri ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle basınç ve sıcaklık değişimleri karşısında malzemenin reaksiyonlarının da iyi bilinmesi gerekmektedir (Parabodh, 2000).

Plastik enjeksiyon işleminin temel avantajları şu şekilde özetlenebilir.

- Kalıplanmış ürünler kullanıma hazır en son halde üretilmektedir
- İstenilen şekil ve ölçüdeki parçalar yeterli hassasiyette seri olarak üretilebilir
- Vida, diş, burç gibi fonksiyonel parçalar kalıba yerleştirilerek üretilebilir
- Otomasyon altında çalışma ile yüksek miktarlarda üretim yapılabilir

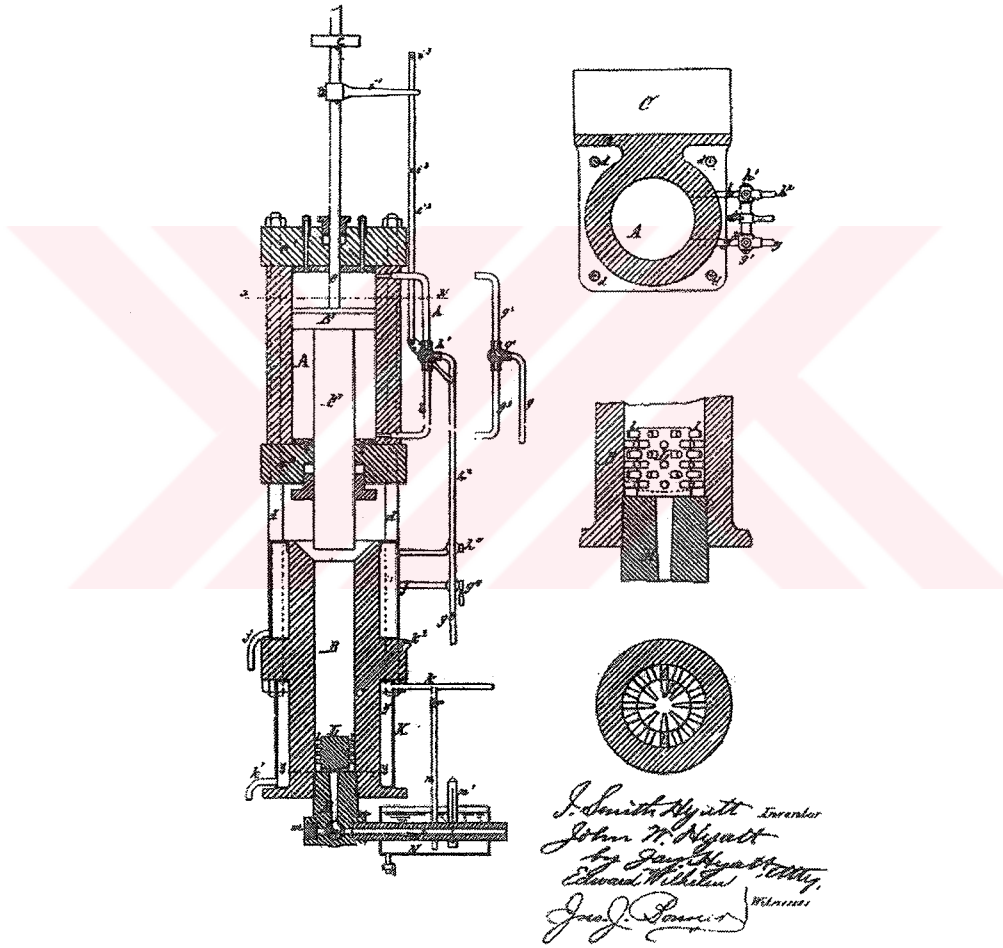
Bazı temel dezavantajları ise şunlardır;

- Enjeksiyon makinelerinin maliyetleri yüksek olabilir
- Kalıp ve ekipman maliyetleri yüksektir

- Değişik et kalınlıklarına sahip parça üretimi zordur.

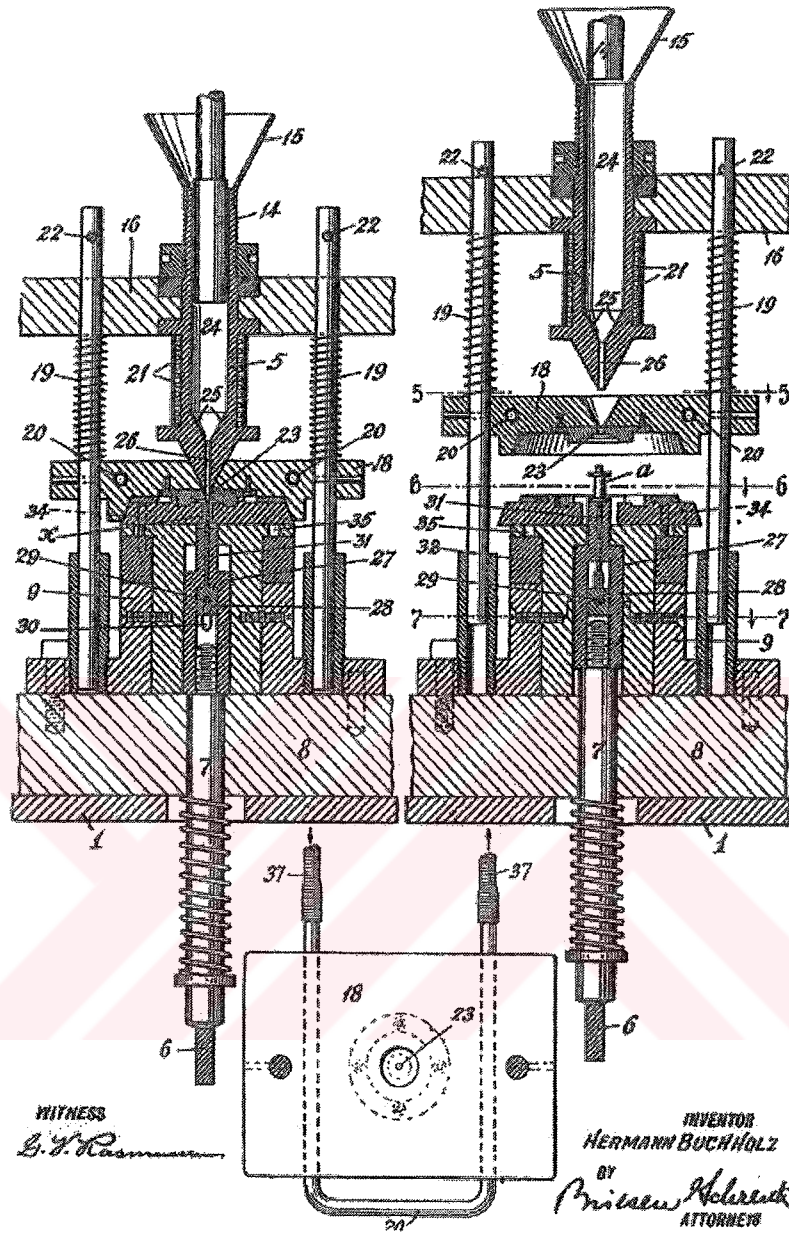
## 2.1 Enjeksiyon Tekniğine Giriş

Plastik enjeksiyon işleminin temeli metallerdeki basınçlı döküm tekniğine dayandırılarak oluşturulmuştur. İlk bilinen plastik enjeksiyon makinesi 1872 yılında ABD’de seluloid malzemesinden bilardo topu üretmek için yapılmıştır. Hyatt kardeşler tarafından patenti alınan bu ilk makinenin patent başvurusunda ki şematik gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir (Osswald,2001)



Şekil 2.1 Hyatt kardeşler tarafından 1872’de üretilen ilk enjeksiyon makinesi

Ancak enjeksiyon makinesi olarak adlandırılabilen ilk makine 1921 yılında Almanya’da H. Buchholz tarafından yapılmıştır. Piston tipi ve manuel olarak aktive edilen bu ilk makinede kalıpların kilitlemesi de yine manuel olarak yapılmaktaydı. Şekil 2.2’de bu makine gösterilmeye çalışılmıştır (Osswald, 2001).



Şekil 2.2 Almanya da 1921 yılında Buchholz tarafından üretilen ilk gelişmiş enjeksiyon makinesi (Oswald,2001)

İlk seri üretim plastik enjeksiyon makinesi 1925 yılında Almanya da Ziegler GmbH şirketi tarafından yapılmıştır. Bu makinelerde de kalıp kilitlemesi manuel olarak yapılmakta ve enjeksiyon işlemi pnömomatik kuvvetlerden yararlanılarak yapılmaktaydı. Yatayda enjeksiyon yapan bu makinenin sisteme bugün pek çok makine tarafından kullanılmaktadır.

1930'lu yıllarda hidrolik sistemlerin yavaş yavaş plastik enjeksiyon tekniğine girmesi ile baskı kalitelerinde artışlar ve beraberinde yeni malzemelerin kullanımı enjeksiyonun

öneminin artmasına neden olmuştur. Gelişen malzeme çeşitleri ve bunların enjeksiyonunda karşılaşılan zorluklar neticesinde 1950'lerde ilk defa vidalı makineler fikri ortaya çıkmıştır.

## 2.2 Enjeksiyon Malzemeleri

Enjeksiyon kalıplama tekniğinde kullanılan malzemelerin pek çoğu termoplastiklerdir. Ancak elastomerler (özellikle termoplastik elastomerler) ve termosetler kullanılarak da enjeksiyon kalıplama tekniği gerçekleştirilmektedir. Aşağıda sanayide çok sık kullanılan bazı enjeksiyon malzemeleri ve ait oldukları gruplar belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Plastik enjeksiyon malzemeleri (Crawford,1997)

<b>Termoplastikler</b>	Polisren (PS)
	ABS
	Polietilen (PE)
	Polipropilen (PP)
	Polikarbonat (PC)
	PMMA
	Poliamid (PA)
<b>Termosetler</b>	Doymamış polistren reçinesi (UP)
	Fenol formaldehit reçinesi ( PF )
<b>Elastomerler</b>	Termoplastik elastomerler ( TPE )
	Nitril kauçuğu ( NBR )
	Stren bütadien kauçuğu ( SBR )
	Poliizopren kauçuğu ( IR )

Sanayide kullanılan önemli enjeksiyon malzemelerinin özelliklerini ve kullanım alanlarını kısaca belirtmekte fayda vardır ( Turaçlı, 1999)

**Polipropilen ( PP )** : Polipropilen termoplastiklerin içersinde yoğunluğu en düşük olan plastiktir ( 900 kg/m<sup>3</sup> civarında ) . Bazı küçük makine parçalarında , televizyon kasalarında ve el aletlerinin sap kısımlarında kullanım alanı bulmaktadır. Yorulmaya ve

kimyasal maddeler karşı çok iyi direnci vardır.

**Poliamid ( naylon ) :** Naylonun günümüzde kullanılan pek çok çeşidi vardır ( örneğin naylon 6 , naylon 66 , naylon11.....). Naylonlar sahip oldukları dayanım ve tokluk gibi özellikler nedeniyle mühendislik plastikleri olarak tanımlanmaktadır. Küçük dişlilerin yapımında , yataklarda , burçlarda ve bazı tekerler yapımında naylon sıkça kullanılmaktadır. Naylon kullanımında önemli bir nokta naylonun su absorbe etmesidir. Bu naylonun özelliklerini ve boyutsal kararlılığını etkileyen bir faktördür.

**Düşük yoğunluklu polietilen :** Bu hemen hemen endüstride en çok kullanılan plastik türüdür. Genellikle kullanıldığı yoğunluk değerleri 920 – 935 kg/m<sup>3</sup> dolaylarında ve son derece tok ve esnektir. En çok kullanıldığı yer ambalaj sanayiidir. Ayrıca sahip olduğu iyi yalıtkanlık özelliği nedeniyle yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır.

**Yüksek yoğunluk polietilen :** Bu malzemenin yoğunluk değeri 935 – 965 kg/m<sup>3</sup> dolaylarındadır. Yapı olarak düşük yoğunluk polietilene göre daha kristalin yapıdadır. Düşük yoğunluk polietilene göre daha pahalı olmakla birlikte onlara kıyasla daha güçlü ve sert bir yapıya sahiptirler.

**Çapraz bağı polietilen :** Polietilen gibi bazı termoplastikler yapılarını değiştirerek moleküler yapılarını çapraz bağı hale getirebilmekte ve adeta termoset malzeme gibi davranabilmektedir. Polietilen de çapraz bağlanma radyasyon , peroksit ve silikon hibritleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bazı durumlarda da çapraz bağlanma kalıplama aşamasında da oluşabilir. Çapraz bağ oluşumu polietilene daha yüksek dayanım , kimyasallara karşı daha iyi direnç ve termo – mekanik özelliklerde yükselme gibi avantajlar sağlamaktadır.

**Polivinil klorür ( PVC ) :** Amorf yapılı plastikler içerisinde en çok kullanılan malzeme türüdür. Genellikle plastikleştirilmiş ve plastikleştirilmemiş olmak üzere iki çeşidi vardır. Plastikleştirilmiş PVC esnektir ve kablo kaplaması , döşeme kaplaması , oyuncak top, eldiven ve yağmurluk gibi uygulama alanları vardır. Plastikleştirilmemiş PVC ( uPVC ) daha sert , tok ve sağlam yapıdadır. Daha çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak su olukları , çerçeve ve doğramalar ve bazı duvar kaplamaları bu malzemedan imal edilmektedir.

**Polimetil metakrilat (PMMA) :** Bu malzemenin en büyük özelliği optik saydamlıktır. Dış ortamlarda kullanılabilecek düzeyde dayanıma sahiptir( suya , alkalilere ve bazı asitlere karşı dayanım). Bazı tıbbi uygulamalarda ve reklam panolarında kullanım alanı vardır.

**Polistren (PS) :** Polistren çok çeşitli tiplerde üretilmektedir. Bu nedenle çok kırılğan bir yapıyla çok sağlam , tok bir yapı arasında değerler alabilir. Maliyetlerinin düşük ve kolay işlenebilir olmaları nedeniyle kendilerine model uçak , bazı gıda kap ve kapaklarının imalatında , tükenmez kalem sap ve gövdesinde kullanım alanı bulmuştur.

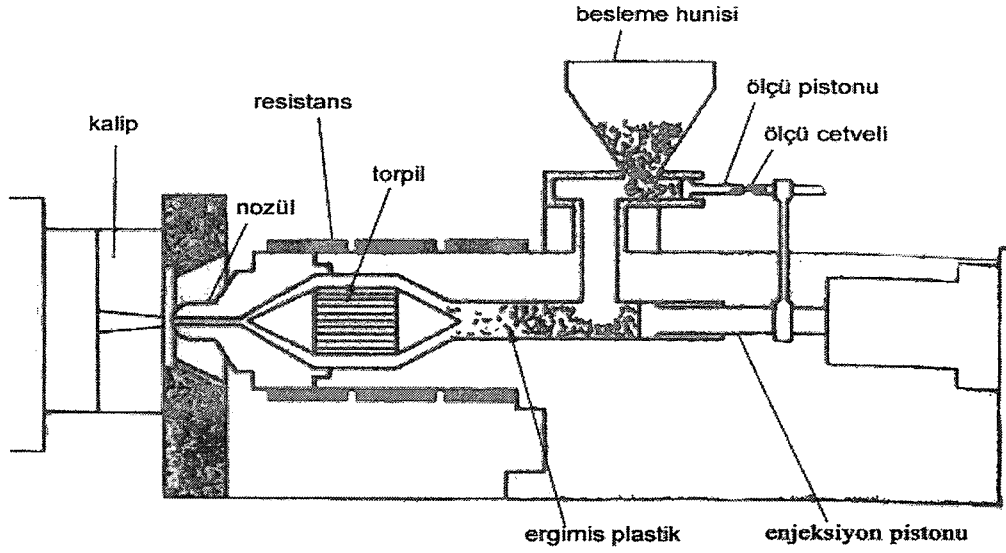
**Akrilonitril – bütadien – stren ( ABS ) :** ABS sahip olduğu mükemmel dayanım özellikleri nedeniyle pek çok plastik gibi mühendislik plastiği olarak adlandırılmaktadır. Pek çok plastiğe göre ucuz olmaları bir avantaj olmakla birlikte klorlu , esterli , ketonlu , asitli ve alkalın içeren çözeltilere karşı dirençleri oldukça zayıftır. Televizyon gövdeleri , telefon , tarak sapları , bavul , kask ve buzdolabı imalatında kullanılmaktadır.

**Polikarbonatlar :** Polikarbonatlarda mühendislik plastikleri sınıfında yer almaktadırlar. Sahip oldukları en önemli avantaj çok büyük dayanım değerleridir. Saydam özelliktedirler ve çok iyi ısı yalıtım malzemeleridir. Camekanların tavanlarında , sokak lambalarında , kamera parçalarında , güvenlik ekipmanlarında ve cd ( kompakt disklerde) 'lerde kullanılmaktadırlar.

### 2.3 Vida Profilinin Gelişimi

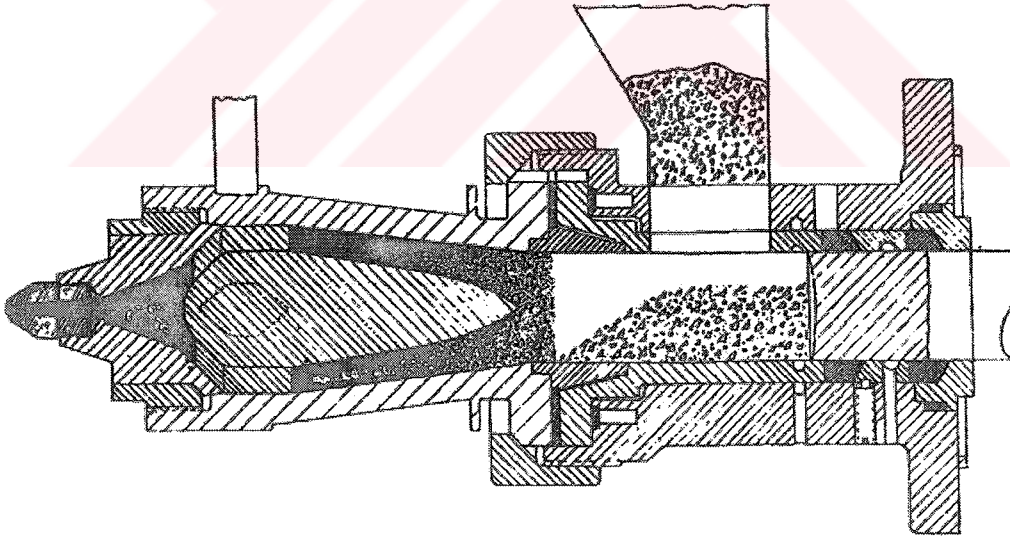
Vida kovan sistemi enjeksiyon prosesinde çok önemli bir role sahiptir ve bu nedenle enjeksiyon makinelerinin en önemli elemanlarından birisidir. Enjeksiyon işleminde sürekli aynı ağırlıkta, iç yapıda ve aynı kalitede parça üretimi için kalıba basılan malzeme miktarının her baskıda aynı olması gerekmektedir. Bunun sağlayacak olan birimde vida kovan sistemidir.

Plastik enjeksiyon teknolojisinin ilk yıllarında piston tipi enjeksiyon makineleri kullanılmıştır. Bu tip makineler günümüzde hala bazı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Önceden ölçümlendirilen plastik malzeme besleme hunisinden enjeksiyon silindiri içine girmektedir. Daha sonra piston malzemenin ısıtıcılar tarafından eritildiği silindir boyunca plastiği itmekte ve kalıba göndermektedir. Malzemenin karışmasını ve ısı transferinin artırılabilmesi için silindir içine torpil adı verilen bir kısım eklenmiştir. Bu tarz makineler klasik basınçlı döküm makinelerini andırmaktadır. Şekil 2.3 ve 2.4'te piston tipi enjeksiyon makineleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Piston tipi enjeksiyon makinesi (Johannaber, 1994)

Şekil 2.4'te ise 1932 yılında H.Gastrow tarafından geliştirilmiş torpil tipindeki pistonlu enjeksiyon makinesi görülmektedir.



Şekil 2.4 Gastrow tarafından geliştirilen torpil tipli enjeksiyon makinesi (Oswald, 2001)

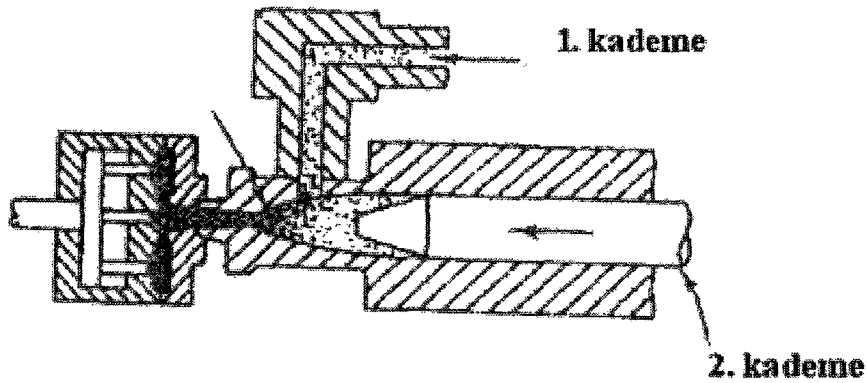
Ancak bu tip makinelerin başarılı enjeksiyon işlemi gerçekleştirmesinde bazı engeller ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan temel sorunları şu şekilde özetleyebiliriz;

- Malzemenin karıştırılması ve homojenliğin yetersiz oluşu
- Baskı miktarının düzgün olarak ölçülememesi.

- Piston malzemeyi granül ve ergiyik formlarda ittirdiği için her baskıda nozülde farklı enjeksiyon basınçları oluşmaktadır.
- Silindir içinde torpil kullanılması çok ciddi basınç kayıplarına neden olmaktadır ve düzgün enjeksiyon yapılabilmesi için çok ciddi büyüklüklerde basınca ihtiyaç duyulmasıdır.
- Ergimiş malzemenin akış özellikleri basınçla alakalı olduğundan sistemdeki basınç değişimleri kalıbın tam olarak doldurulmasını etkilemektedir.

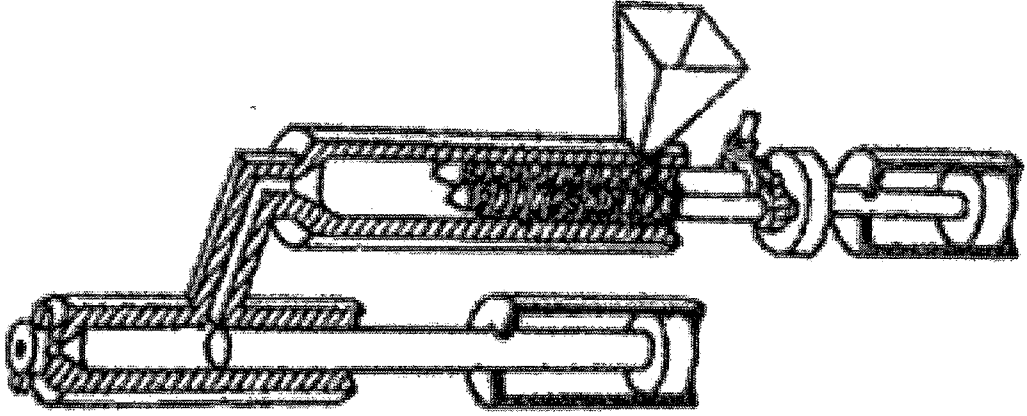
Piston tipi makinelerdeki bu olumsuzlukların bazılarının giderilebilmesi için bu makinelere ön plastikleştirici sistemler ilave edilmiştir. Bu tür makinelerde iki silindir bulunmaktadır. Hammadde ilk silindirin içine konulmaktadır. Bu silindir içinde bir ekstrüder vidası vardır ve burada ergitilen ve plastikleştirilen malzeme tek yönlü bir valften geçerek diğer silindirin içine gönderilir. İkinci silindirdeki piston ise ergimiş plastiği nozülden geçirerek kalıba doğru zorlar. Bu sistemde daha fazla homojenlik sağlanmış olmaktadır çünkü malzeme iki silindiri birleştiren küçük bir kanaldan geçerken karışmaktadır. Baskı miktarı da daha düzgün bir şekilde ayarlanabilmektedir. İki silindir arasına yerleştirilen bir limit sviç bu ayarı düzgün bir şekilde gerçekleştirir. Bir diğer önemli nokta ise torpil kullanımına gerek olmayışıdır.

Günümüzde bu tip makineler çok nadiren kullanılmaktadır. Bunun en temel nedeni bu makinelerin gereğinden fazla karmaşık yapıda ve pahalı oluşlarıdır. Bu makinelerin kullanımda olduğu tek alan çok büyük parçaların enjeksiyon işlemleridir. Ön plastikleştirici silindir içinde çok büyük miktarlarda malzeme ergitilmesi mümkündür. Şekil 2.5, 2.6, 2.7'de iki kademeli enjeksiyon makinelerine örnek verilmeye çalışılmıştır. (Prabodh,2000)

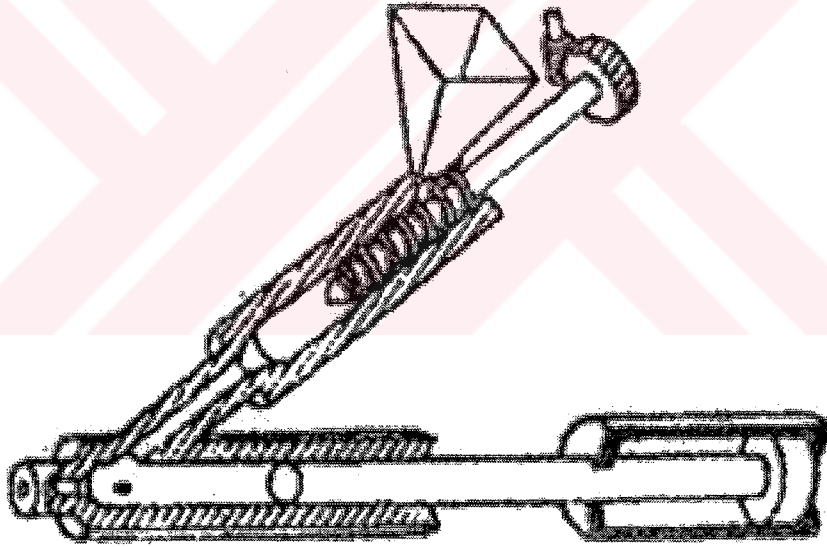


Şekil 2.5 İki kademeli enjeksiyon makineleri (johannaber,1994)





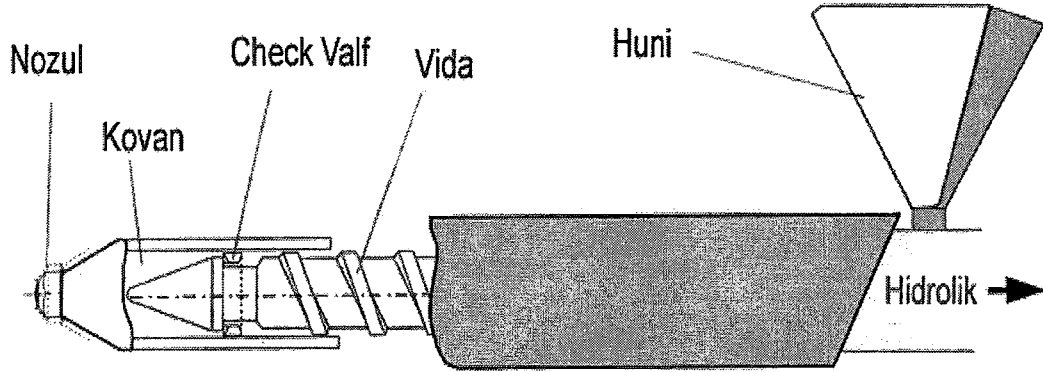
Şekil 2.6 İki kademeli vida ve pistonlu enjeksiyon makinesi (johannaber,1994)



Şekil 2.7 İki kademeli vida ve pistonlu enjeksiyon makinesi(Johannaber,1994)

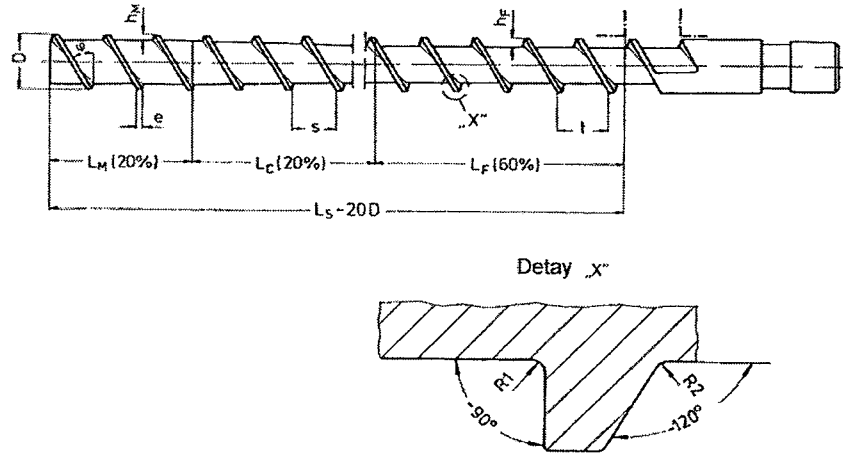
Günümüzde sanayide enjeksiyon işlemleri için alternatif hareketli vida tipi makineler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Piston tipi ve iki kademeli makinelerin olumsuzluklarının giderilmesi için geliştirilen alternatif hareketli vida tipi makineler enjeksiyon makineleri dizaynında da en önemli gelişme olmuştur. Isıtılan bir kovan içindeki ekstrüder tipi bir vida iki türlü hareket gerçekleştirmektedir. Bu hareketler; bir taraftan normal dönme hareketiyle malzemeyi kovan içinde ilerletme, ertitme ve sıkıştırma proseslerine maruz bırakırken diğer

tarafından da dönmeden bir piston gibi doğrusal hareketle ergimiş plastiği kalıba enjekte edebilmektedir. Bu sayede basınç ve ısı kayıpları minimuma indirilirken daha homojen karışımda malzeme enjekte edilebilmekte ve parça kalitelerinde artışlar sağlanabilmektedir. Şekil 2.8’de günümüzde kullanılan enjeksiyon vidasının komponentleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Enjeksiyon vidasının komponentleri (Osswald,2001)

Şekil 2.8’e göre enjeksiyon işlemindeki vida kovan sisteminin ana elemanları besleme hunisi, enjeksiyon vidası, ısıtıcı bantlar, Check valf, nozül ve kovandır. Vida kovan sisteminin hiç şüphesiz en önemli görevi granül (katı) haldeki plastik partiküllerini besleme hunisinden alarak ısıtma, sıkıştırma ve homojen bir şekilde karıştırmak suretiyle nozülden kalıp içerisine belli bir basınç altında göndermektir. Vida kovan sisteminin en önemli elemanı enjeksiyon vidasıdır. Enjeksiyon vidası, üzerinde bir veya birden fazla helisel kanadın sarılı olduğu ve son bölümünde geri dönüşsüz valf (check valf) bulunan bir silindirdir. Arşimet vidasını andıran bu vidanın üzerinde besleme, sıkıştırma ve ölçme bölgeleri olmak üzere genellikle üç bölge mevcuttur. Enjeksiyon vidasında çeşitli ölçüler vardır ancak en önemlileri vida çapı, vida boyu, kanat derinliği ve adımdır. Bütün bu değerler kullanılacak plastik malzemenin çalışma şartlarına göre dikkatlice seçilerek ayarlanmalıdır. Şekil 2.9’da termoplastikler için kullanılan standart bir vidanın bölümleri gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.9 Termoplastikler için kullanılan standart bir vida ve bölümleri (Johannaber,1994)

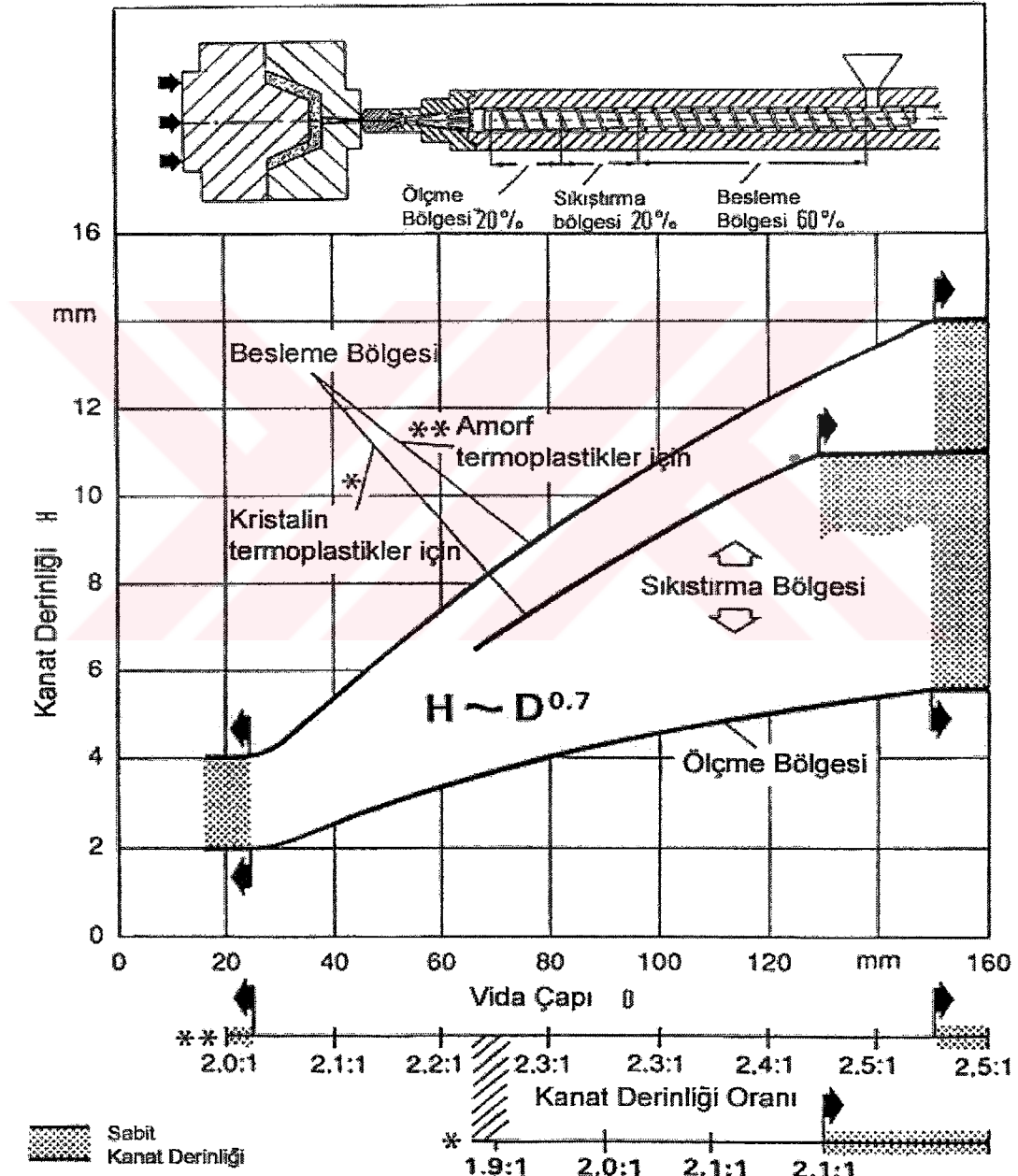
Şekil 2.9'a göre pek çok termoplastikte tercih edilen  $L/D$  oranı 20 civarındadır. Vida adımı yaklaşık olarak vida çapı kadar tercih edilmektedir. Daha önceden de değinildiği gibi tüm vida ölçüleri kullanılacak plastik malzemenin özellikleri göz önüne alınarak seçilmektedir. Çizelge 2.2'de termoplastik malzemelerin enjeksiyonu için kullanılması gereken vidanın ölçüleri yaklaşık olarak belirtilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 2.2 Termoplastikler için tavsiye edilen vida ölçüleri (Johannaber,1994)

Vida Çapı	Kanat Yüksekliği	Kanat Yüksekliği	Kanat Yüksekliği	Radyal Kanat	Açıklama
D	(besleme bölümü)	(ölçme bölümü)	oranı	Boşluğu	
(mm)	$h_F$	$h_M$	$h_F/h_M$	(mm)	
	(mm)	(mm)			
30	4.3	2.1	2.0 : 1	0.15	$R_1 \sim 1 - 4 \text{ mm}$
40	5.4	2.6	2.1 : 1	0.15	$R_2 \sim 5 \text{ mm (30-60 mm Çap)}$
60	7.5	3.4	2.2 : 1	0.15	$R_2 \sim 10 \text{ mm (61-150 mm Çap)}$
80	9.1	3.8	2.4 : 1	0.20	Adım $t = D$
100	10.7	4.3	2.5 : 1	0.20	Kanat genişliği 0.1 D

120	12	4.8	2.5 : 1	0.25
>120	maks 14	maks. 5.6	maks 3 : 1	0.25

Kanat yüksekliğinin vida çapına göre değişimini gösteren şekil 2.10'un incelenmesi faydalı olacaktır. Grafik incelendiği takdirde kristal yapılı termoplastiklerde daha küçük kanat yükseklikleri tercih edilirken amorf termoplastiklerde daha yüksek kanat derinliği tavsiye edilmektedir.

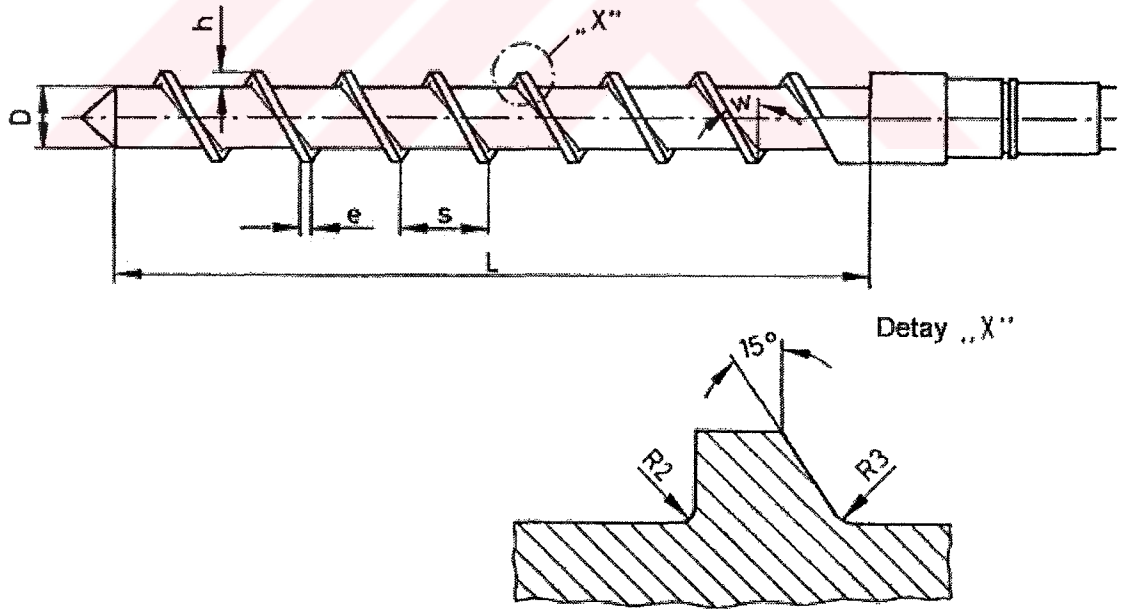


Şekil 2.10 Kanat derinliğinin Vida çapına göre değişimi (johannaber,1994)

Genellikle vida kovan sistemlerinin üç ana bölümden oluştuğunu söylemiştik. Bunlar

besleme, sıkıştırma ve ölçme bölgeleridir. Besleme bölgesi birim zamanda vida kovan sistemine giren plastik miktarını belirler. Bu bölgenin ölçüsü vida boyunun % 50- 60'ı kadar olmalıdır. Sıkıştırma bölgesi ise besleme bölgesinden giriş yapan plastiğin ısıtıcı bantlar ve kanat derinliğinin azalması ile ortaya çıkan yüksek oranda sıkışma sonucu oluşan ısılar etkisiyle eritildiği bölümdür. Uzunluğu yaklaşık olarak vida boyunun % 20-25'i kadardır. Bu bölgenin gereğinden uzun seçilmesi durumunda sürtünme ısılarının daha az oluşmasına neden olacaktır ve sıkıştırma için gereken zaman artacaktır. Ölçme bölgesi ise sıkıştırma bölgesinden gelen ergimiş plastiğin homojenliğini sağlamakta ve kalıba gönderilmeye hazır hale getirmektedir. Bu bölgenin boyuda vida boyunun % 20-25'i kadar seçilmektedir. Bu bölgenin daha uzun seçilmesi durumunda daha yüksek basınçların basınç oluşumuna ve daha fazla homojenliğe yol açarken kısa seçilmesi durumunda ise homojenlik yeteri kadar iyi sağlanamamış olmaktadır. (Johannaber,1994)

Enjeksiyon prosesinde vida kovan sisteminin boyutları ve tipi işlenecek plastik türü ve üretim hızına bağlı olarak seçilmelidir. Dolayısıyla termoplastikler, elastomerler ve termosetler için ayrı ayrı dizayn edilmiş enjeksiyon vidaları mevcuttur.



Şekil 2.11 Sabit Kanat yüksekliğinde termoset plastik için geliştirilmiş vida  
(Johannaber,1994)

Şekil 2.11'de termoset malzemelerin enjeksiyonunda kullanılmak üzere geliştirilmiş sabit

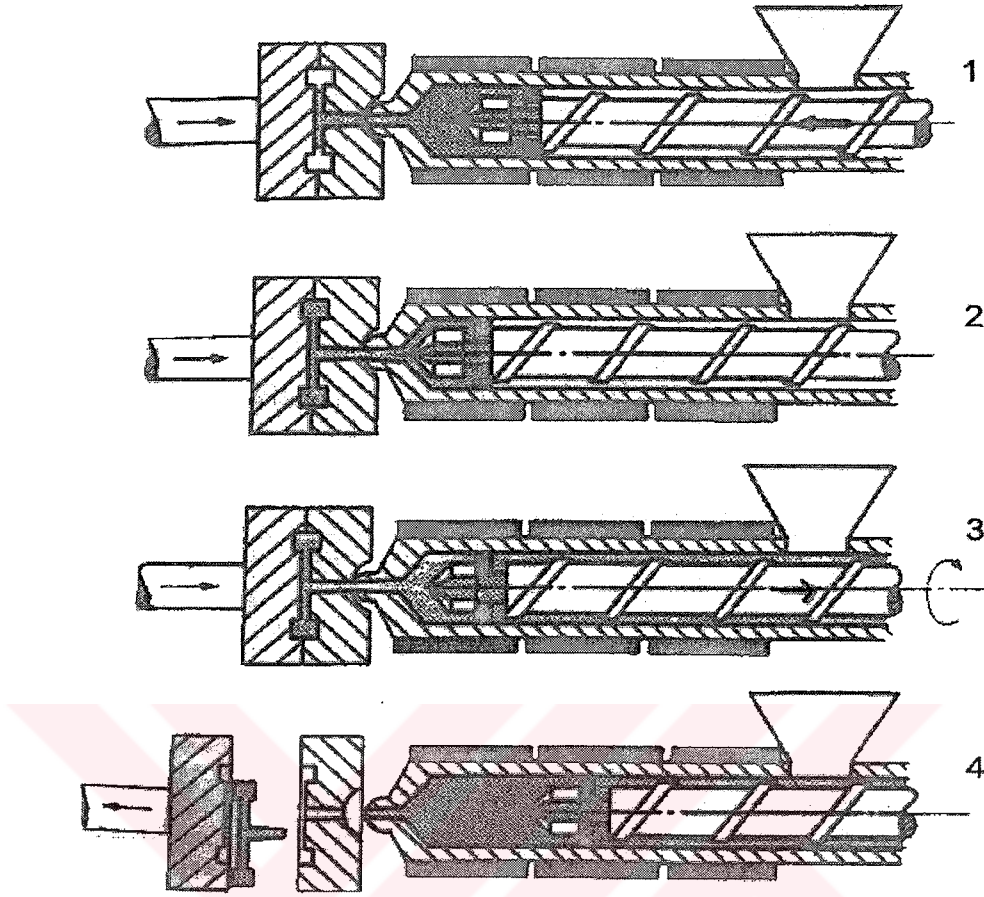
kanat derinliğindeki enjeksiyon vidası gösterilmeye çalışılmıştır. Termoset plastiklerin enjeksiyonunda kullanılan vidaların termoplastiklere oranla daha küçük kanat derinlikleri vardır. Genellikle geri dönüşsüz valfsiz olarak kullanılırlar. Bu nedenle enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında önemli ölçüde ergimiş malzemenin vidanın arka bölümlerine kaçma riski olduğundan kanat derinliği ve kanat genişliği çok büyük önem arz etmektedir. Kanat genişliği termoplastiklere oranla daha fazladır. Termoplastiklerde kanat genişliği vida çapının 0.1 katı iken termosetlerde 0.15 – 0.2 katı arasında seçilmektedir. Çizelge 2.3'te termoset plastikler için çeşitli vida ölçüleri verilmeye çalışılmıştır. Benzer şekilde elastomerler içinde bu tabloları ve vida profilini değiştirmek mümkündür.

Çizelge 2.3 Termoset plastikler için tavsiye edilen vida ölçüleri (johannaber,1994)

Vida Çapı (mm)	Kanat derinliği (mm)	L/D oranı	Kanat Genişliği (mm)
30	4	12 - 15	4
40	4 / 4.5	12 - 15	5
50	5 / 5.5	12 - 15	6
60	7	12 - 15	7
75	8.5	12 - 15	8.5
80	12	12 - 15	12

#### 2.4 Enjeksiyon Prosesi

Plastik enjeksiyon prosesi daha önceki bölümlerde de anlatılmaya çalışıldığı gibi temelde basit bir prosestir. Granül yani katı haldeki plastik partiküllerinin ısı etkisiyle ergitilerek bir vida kovan sisteminden geçirilerek basınç altında kalıba gönderilmesi işlemidir. Bu prosesin önemli safhaları Şekil 2.12 yardımıyla anlatılmaya çalışılmıştır (Crawford, 1997)



Şekil 2.12 Enjeksiyon prosesinin önemli safhaları (Crawford, 1997)

- 1) Kalıp kapandıktan ve makinenin mngeneleri belirli bir kilitleme kuvveti ile kilitlendikten sonra enjeksiyon vidası doğrusal hareketle ( dönmeden) plastiği ittirerek soğuk kalıbın içine doğru basar yani enjekte eder.
- 2) Kalıp gravürü dolduktan sonra vida basma işlemine bir müddet daha devam eder. Bu safhaya tutma basıncı safhası denir. Kalıba enjekte edilen sıcak malzeme daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya başlar ve kendini çekerek hacmini azaltır. Malzemenin kendini çekmesini azaltmak için biraz daha malzeme kalıba nakledilir.
- 3) Kalıp yollukları donduktan sonra artık kalıba daha fazla malzeme gönderme imkanı kalmamıştır. Bu nedenle basınç uygulanması sona erer ve vida dönme hareketi yapmaya başlayarak besleyiciden kovan içine yeni malzeme almaya başlar. İçeriye aldığı yeni malzemeyi vida dönme hareketi sayesinde kovan boyunca meme bölgesine doğru taşır ve bir yandan da ergitir. Vida ön bölümüne gelen ergimiş malzeme burada birikmeye başlar ve bir süre sonra bu ön bölümde oluşan basınç vidayı geriye doğru ittirmeye başlar. Bu

ittirme işlemi yeteri kadar malzeme ön bölümde birikinceye kadar devam eder. Bu arada parça kalıp içerisinde soğumaktadır.

- 4) Soğuma işlemi tamamlandığında kalıplar açılarak parça itilir ve kalıptan çıkarılır. Kalıplar yeniden kilitlendikten sonra vida yeniden piston gibi doğrusal hareketle enjeksiyona başlar ve çevrim bu şekilde devam eder.

(Crawford,1997)





### 3. ENJEKSİYON PARAMETRELERİ

Birinci bölümde enjeksiyon işlemine bir giriş yapılarak işlemin önemi, tarihsel gelişimi ve temel olarak işlemin önemli safhaları anlatılmaya çalışılmıştır. Bu bölümde ise tezin asıl çalışma konusu olan enjeksiyon parametrelerinin işlem ve parça üzerindeki etkilerinin incelenmesi anlatılmaya çalışılacaktır.

Plastik enjeksiyon yöntemiyle parça üretimini etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Son yıllarda yapılan bir araştırmaya göre 200'den fazla parametrenin proses üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. İlk bakışta sıcaklık, basınç, hız ve bunun gibi birkaç parametreden söz edilebilir. Ancak enjeksiyon prosesinde sıcaklık tek başına bir anlam ifade etmezken bunun alt parametreleri olan ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, granül kurutma sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığının da dikkate alınması gerekir. Benzer şekilde basınç konusunda da enjeksiyon basıncı ( bir veya birden fazla kademe de yapılabilir), tutma basıncı, geri basıncı ve kilitleme basıncının çok iyi bilinmesi şarttır. Hız denildiğinde enjeksiyon hızı akla gelen ilk parametredir ancak bununla birlikte vida dönüş hızı ve vida geri dönüş hızı da dikkat edilmesi gereken parametrelerdir.

Bu kadar çok ve karmaşık parametrelerin etkidiği enjeksiyon prosesinin kontrolü sanıldığı gibi çok zor değildir. Önemli olan bu parametrelere bir önem ve öncelik sırasına koyarak en çok etkisi olan parametreden en az öneme sahip olana doğru sıralayabilmek ve önemli parametreler üzerinde yoğunlaşmaktır.

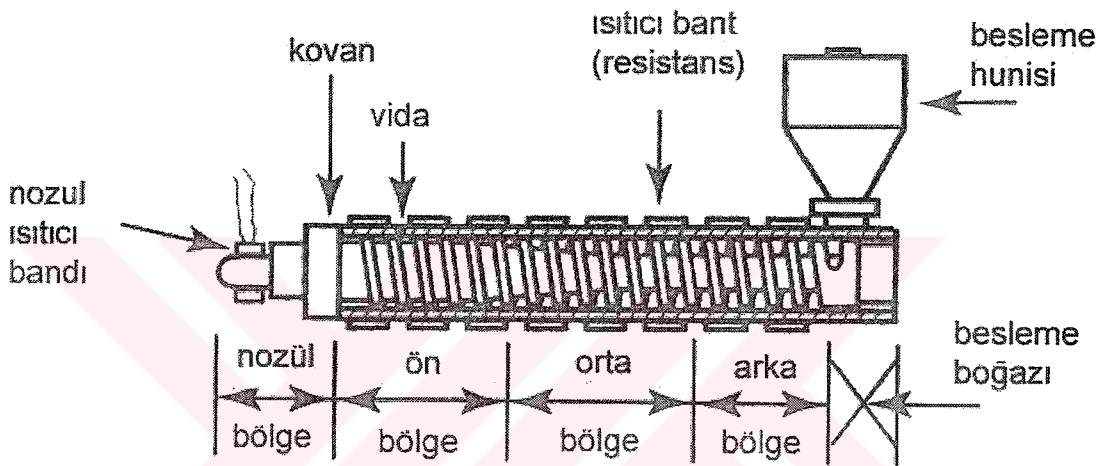
Enjeksiyon prosesini etkileyen en önemli parametreler sıcaklık, basınç ve hızdır. Bu tez içerisinde bu parametreler ve alt parametreleri önem sırasına göre incelenmeye ve bunların parçalar üzerindeki etkileri anlatılmaya çalışılmıştır.

#### 3.1 Sıcaklık

Enjeksiyon işlemi üzerinde direkt etkisi olan en önemli parametrelerden birisi sıcaklıktır. Enjeksiyon prosesini etkileyen pek çok sıcaklık çeşidi mevcuttur. Ergiyik sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, belki de en önemlilerinden olan kalıp sıcaklığı, granül kurutma sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve bu sıcaklıkların ayrı ayrı kontrolü aynı iç yapıya sahip parça üretiminde etkin rol oynamaktadır. Bu sıcaklıklardan önemli olanları bu bölümde anlatılmaya çalışılmıştır.

### 3.1.1 Ergiyik Sıcaklık Kontrolü

Ergiyik sıcaklığı; plastik malzemenin enjeksiyon işlemindeki akış yolu boyunca edindiği sıcaklık olarak tarif edilmektedir. Bu akış yolu besleme hunisinden malzemenin vida kovan sistemine girişi ile başlar. Daha sonra vida kovan sistemi boyunca harekete zorlanan malzeme meme (nozül) adı verilen ve malzemenin makineyi terk ederek kalıba gireceği kısma ulaşır. Buradan bir yolluk sistemi ile şeklini alacağı boşluklara (gravürlere) dolmaya başlar. Bütün bu akış yolu boyunca ergiyik sıcaklığı çok iyi kontrol edilmelidir.



Şekil 3.1 Vida kovan sistemi (Douglas, 1996)

Şekil 3.1'de görüleceği gibi vida kovan sistemi ısıtıcı bantlar (rezistans) ile sarılıdır. Bu bantlar bir kelepçe gibi kovan etrafına takılmışlardır. Genellikle kovan üzerinde üç ana ısıtıcı bölge mevcuttur. Bunlar arka, orta ve ön ısıtıcı bölgeleridir. Bunların dışında en az bir ısıtıcı bantta meme etrafına sarılmıştır ve buraya da meme bölgesi adı verilmektedir.

Enjeksiyon prosesi için plastik malzemenin uygun sıcaklık değerine çıkması çok önemlidir. Besleyiciden vida kovan sistemine giriş yapan plastik granüller ilk ısı etkisiyle yumuşamaya başlar. Daha sonra vida sistemi etkisiyle malzeme orta bölüme doğru hareket ettirilir. Burada sıcaklık arka bölüme nazaran 5-10 °C daha yüksektir. Malzemenin ön bölüme hareketi devam ettikçe ve sıcaklıkta 5-10 °C artış olması dolayısıyla plastik malzeme kalıp içine enjeksiyona hazır hale gelmektedir. Bu noktada malzeme, kalıplama çevrimi tamamlanıncaya kadar ( kalıp açma,parça çıkarma,kalıp kapanma ve enjeksiyon) bekler ve enjeksiyon yapılır.

Kovan etrafına takılmış ısıtıcı bantlardan ısı transferi yapılmasının yanı sıra enjeksiyon vidasının burgu hareketi dolayısıyla oluşan sürtünmeler , plastiğin kendi içinde ve vida kovan sistemiyle yaptığı kayma hareketi sonucu oldukça yüksek ısı açığa çıkmaktadır. Enjeksiyon vidası dönüş hareketi ile sisteme yeni malzeme girişi yaparak bir sonraki baskıya hazır hale gelmektedir. Yeni malzeme vida kovan sistemi boyunca ilerledikçe vida kanatları ve kovan arasında sıkışmaya zorlanmaktadır. Bu zorlanmadan doğan sürtünme nedeniyle de ısı açığa çıkmakta ve bu ısınmada önemli bir bölümü plastik partikülleri tarafından absorbe edilmektedir. Burada esas önemli nokta plastiğin enjeksiyon için uygun sıcaklık değerine çıkarılmasının sağlanmasıdır. Çizelge 3.1’de bazı plastiklerin ergiyik sıcaklıkları verilmiştir. Ergiyik sıcaklığı meme bölgesinden makineyi terk eden plastikten, kalıba girmeden hemen önce, ölçülmektedir. Bu sıcaklık genellikle ergime sıcaklığından 5-6 °C daha fazla olmalıdır.(Yung,2000)

Çizelge 3.1 Bazı polimerlere ait ergiyik sıcaklıkları (Prabodh, 2000)

Malzeme	Sıcaklık ( °C)
Acetal ( copolimer )	204
Acrylic	218
ABS	204
Selluloz Asetat	196
Etilen vinil asetat	177
Naylon 6	260
Naylon 66	274
Poliamid	343
Policarbonat	288
Polietereterketon (PEEK)	382
Polietilen (düşük yoğunluk)	163
Polietilen (yüksek yoğunluk)	204
Polipropilen	177
Polistren (genel amaçlı)	177
Polistren (orta dayanım)	193
Polistren ( yüksek dayanım)	199
PVC (rijit)	177
PVC (esnek)	163
Tetrafloretilen (teflon)	316
Ürethan elastomer	218

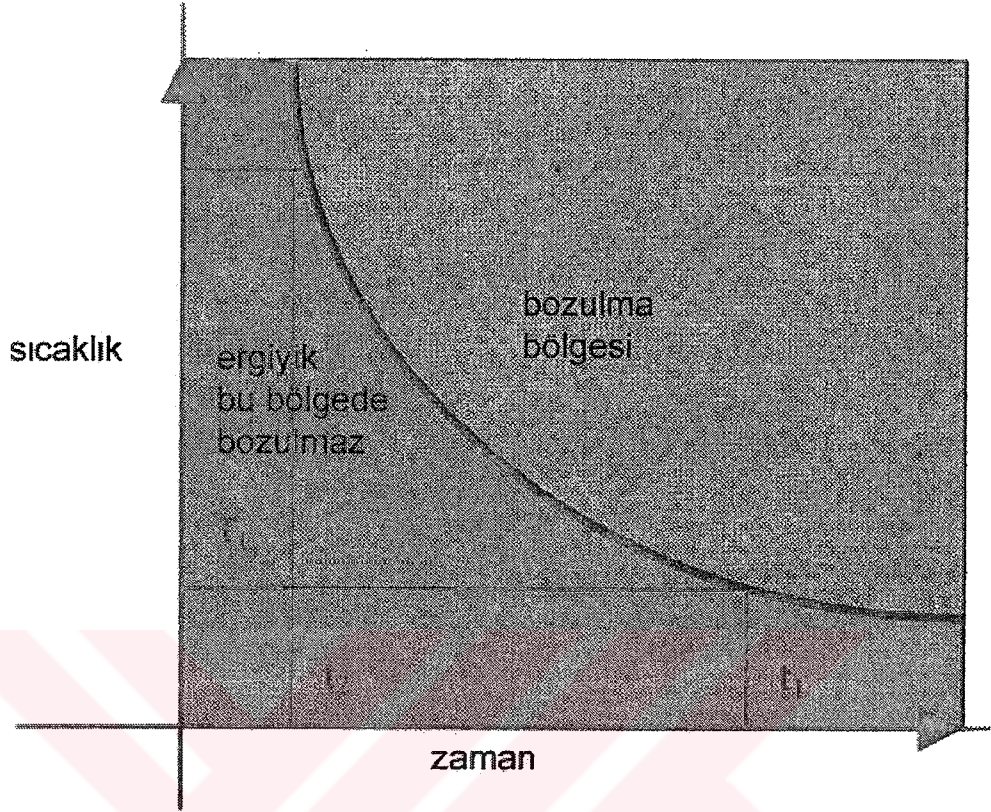
Ergiyik sıcaklık kontrolü vida kovan sisteminde sıcaklık profilinin çok iyi dengelenmesi ile sağlanabilir. Vida kovan sıcaklık profilinin dengelenmesinde şu iki faktör önemli rol oynamaktadır.

- Isı kaynakları ve bunların dengelenmesi
- Bekleme süresi ve polimerlerin ısıl dayanıklılığı

Yukarıdaki bölümlerde polimerlerin ergimesi için gerekli ısının iki değişik kaynağı olduğunu vurgulamıştık. Bunlardan ilki ısıtıcı bantlardan elde edilen ısı, diğeri ise sıkışma ve sürtünmeler nedeniyle açığa çıkan ısıdır. Isıtıcı bantlardan (rezistans) açığa çıkan ısı çeşitli kontrol ekipmanları ile kontrol altına alınırken sürtünmelerle oluşan ısının kontrolü oldukça zordur ve kontrol altına alınmasının da direkt olarak bir yolu bulunmamaktadır. Bu ısının varlığı vida kovan sistemindeki bazı bölgelerde sıcaklığın ayarlanan değerin üzerine çıkması ile anlaşılmaktadır. Bazı uygulamalarda sıcaklık artışı olan bu bölgelerin ısıtıcılarının kapatılması ve sadece sürtünme ısısı ile çalışma yapıldığı durumlarda olmaktadır. Ancak bu durumda da çalışma basınçlarının yüksek tutulması nedeniyle mekanik güç ihtiyacında artışlara ve vida kovan sisteminde aşınma ve çatlamalara yol açma sorunları doğmaktadır. Bu nedenle ideal olan çalışma şekli tüm ısı bölgelerinin açık olması ve sürtünme ısısının olduğu bölümlerde sıcaklığın biraz düşülerek çalışılmasıdır.(Oswald,2001)

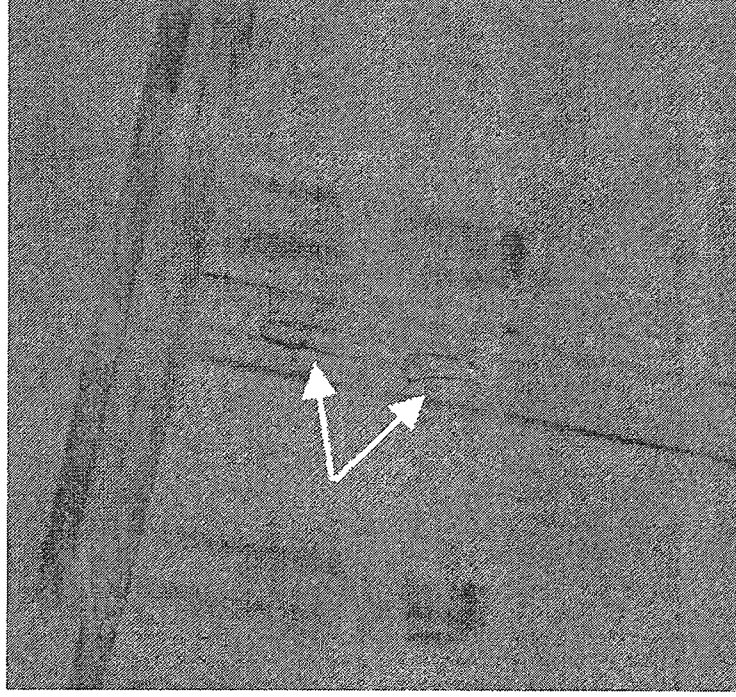
Bir diğer faktör olan bekleme süresi ve ısıl dayanıklılık için önce bu terimlerin açıklamalarının yapılması yerinde olacaktır.

- Bekleme Süresi : Plastik malzemenin besleme hunisinden vida kovan sistemine girmesi ve meme bölgesinden çıkması arasında, vida kovan sisteminde kaldığı toplam süredir. Bu genellikle birkaç baskılık süredir. Bu süre ; malzemenin özgül ağırlığına, baskı ağırlığına ve çevrim zamanına bağlıdır.
- Isıl Dayanıklılık : Plastik malzemenin belirli bir sıcaklıkta iç yapısında bozulma meydana gelecek süre kadar tutulması olayıdır. Bu olayın daha iyi anlaşılması için şekil 3.2' deki eğri incelenebilir.(Prabodh,2000)



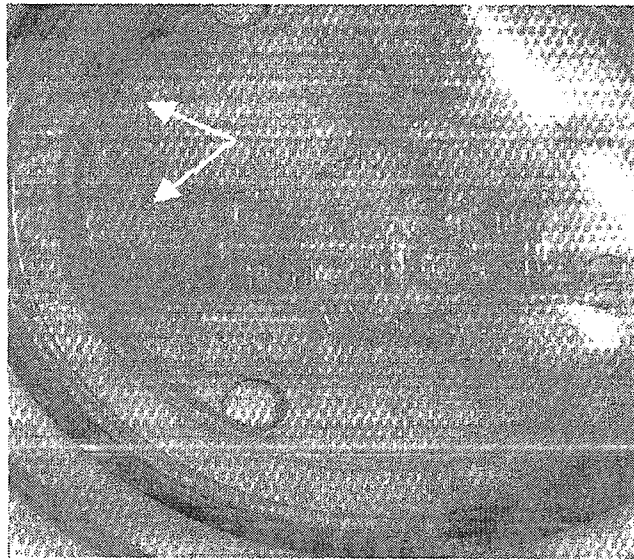
Şekil 3.2 Isıl dayanıklılık eğrisi (Prabodh, 2000)

Şekil 3.2'deki ısıl dayanıklılık eğrisi incelendiğinde aynı malzemenin  $T_2$  sıcaklığına maruz kaldığında  $t_1$  sürede,  $T_1$  sıcaklığına maruz kaldığında ise  $t_2$  süresinde bozulmaya başladığı anlaşılır. Yani sıcaklık arttıkça ısıl dayanıklılık süresi azalmaktadır. Bu nedenle bekleme süresinin daima çalışılan sıcaklık değeri için ısıl dayanıklılık süresinden az olması gerekmektedir. Bu faktörün sağlanamaması durumunda malzemenin bozulmaya başlaması ile basılan parçalar üzerinde küçük siyah noktacıklar, gümüş çizgiler ve gaz baloncukları oluşumu gözlenmeye başlanacaktır. Bunun yanı sıra parçanın çeşitli bölgelerinde renk farklılıkları ortaya çıkacaktır. Yüksek sıcaklıklarda çalışılmasının bir diğer olumsuz tarafı da yüksek sıcaklıklarda polimerin gereğinden fazla akışkan hale gelmesi ve bunun da ergiyik akışının çok türbülanslı olmasına yol açmasıdır. Türbülanslı akışta hava ve gazlar ergiyik bulutunun içinde sıkışıp kalmaktadır. Sıkışan gaz ve hava da parça içinde baloncuk şeklinde kendini belli etmektedir. Şekil 3.3'de böyle bir parça gösterilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle plastik malzemenin gereğinden fazla ısılar ile çalışılmasının engellenmesi, çevrim zamanının mümkün olduğunca kısa tutulması bu sorunun giderilmesi için tavsiye edilmektedir. (Douglas,1996)



Şekil 3.3 Yüksek ısı nedeniyle ortaya çıkan türbülanslı akışın yol açtığı gaz ve hava kabarcığı problemi (Douglas,1996)

Ergiyik sıcaklığının düşük tutulması durumunda da polimer malzeme tamamen ergimek için yeterli ısıyı alamamış olacaktır. Bunun sonucu olarak da yeteri kadar akışkan hale geçemeyerek kalıbın doldurulmaması başta olmak üzere bitmiş parçalarda da bu tam ergimemiş plastiğin ergmiş olanlarla karışması sonucu bulutlu bir görüntü elde edilecektir. Şekil 3.4'te böyle bir parçaya örnek gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.4 Düşük sıcaklığın neden olduğu bulutlanma (Beaumont, 2002)

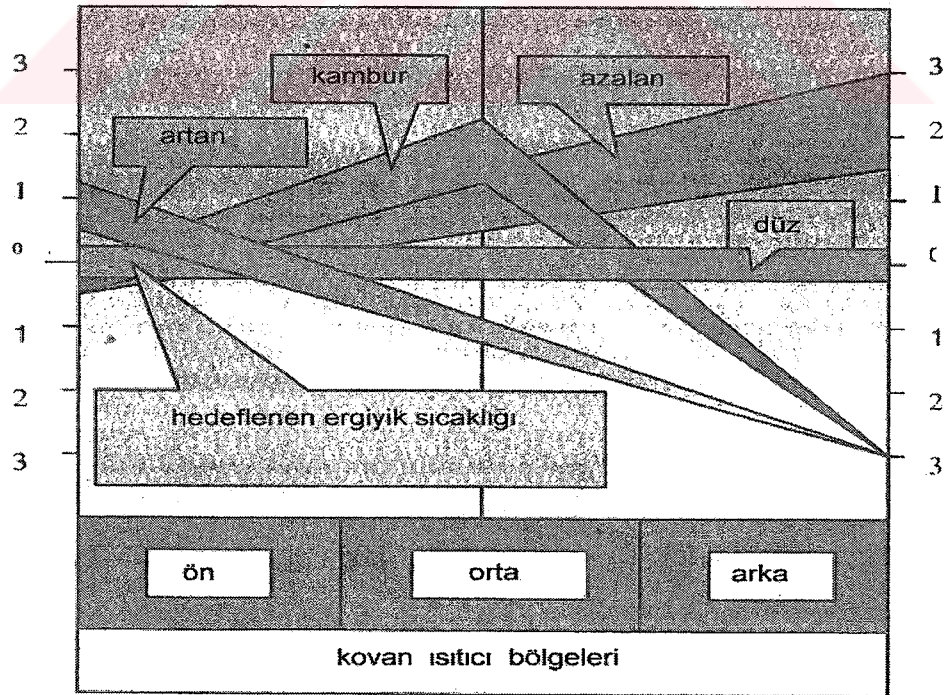
Tamamen ergimemiş malzeme grupları ana ergiyik grup içinde kendilerini izole ederek bu şekilde bir bulutlanmaya yol açmaktadırlar. Bu özellikle şeffaf parçalarda kendini daha çok belirgin etmektedir. Bulutlanmanın parça görünümüne olduğu kadar parça mekanik dayanımı üzerinde de olumsuz etkilerinin olacağı unutulmamalıdır.(Beaumont,2002)

Vida kovan sisteminde genellikle üç ısı bölgesi mevcuttur.

- Arka bölge ( besleme huni kısmı)
- Orta bölge
- Ön bölge( meme kısmı)

Bu bölgelerin sıcaklıklarının ayarlanmasında dört değişik ısı profili kullanılmaktadır. Bu ısı profilleri aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır ( Prabodh, 2000)

- Artan tip : Sıcaklık ayarının ön ısıtıcı bölgelere doğru artış gösterdiği ısı profilidir.
- Düz tip : Tüm ısıtıcı bölgelerde aynı değerde ayarlanmış ısı profili
- Kambur tip : Orta ısıtıcı bölgelerinde ön ve arka bölümlere göre daha yüksek ayarda yapılmış ısı profili.
- Azalan tip : Sıcaklık ayarının ön ısıtıcı bölgelerine doğru azaldığı ısı profilidir.



Şekil 3.5 Kovan ısıtıcı bölgeleri ve ısı profilleri ( Prabodh, 2000)

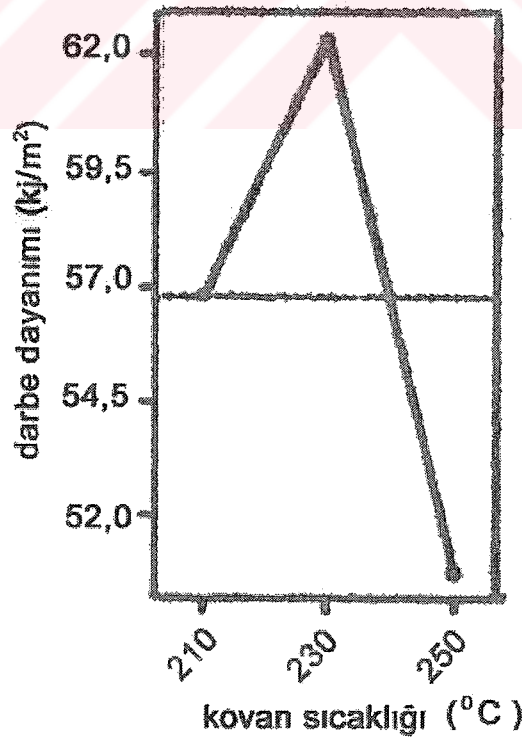
Artan tip ısı profili genellikle baskı oranı % 30 civarı olan ve yüksek ısıl dayanıklılığa sahip (4 dakika ve üzeri bekleme süreli) polimerlerin enjeksiyonunda kullanılmaktadır.

Düz tip ısı profili ise % 20 – 40 baskı oranındaki parçalarda ve orta ısıl dayanıklılığa sahip ( 2 dakika civarı) polimerlerde tercih edilen bir profildir.

Kambur tip ısı profili en yaygın kullanılan ısı profilidir. 2 – 4 dakikalık ısıl dayanıklılığa sahip malzemelerde ve baskı oranı % 25 – 60 arasındaki durumlarda kullanılan bir profildir.

Azalan tip ısı profili ise ısıya karşı duyarlılığı fazla (düşük ısıl dayanımlı) malzemelerde ve %60 baskı oranındaki çalışma şartlarında tercih edilmektedir.(Prabodh,2000)

Ergiyik sıcaklık kontrolünün malzemenin ısıl dayanımına olan etkisinden başka bir de basılan parçanın mekanik özelliklerinden biri olan darbe dayanımı üzerinde de bazı etkileri olduğu görülmektedir. Şekil 3.6'daki grafikte üç değişik kovan sıcaklığında polipropilen malzeme ile yapılan deney sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışma sonucuna göre darbe dayanımı üzerinde kovan sıcaklığının, diğer tüm enjeksiyon parametrelerinden daha fazla etkisi olduğu saptanmıştır.(Johanna,2000)



Şekil 3.6 Kovan sıcaklığının darbe dayanımı üzerindeki etkisi (johanna, 2000)



Bu araştırmaya göre PP malzemesi için darbe dayanımı en yüksek olan sıcaklık 230 °C olarak bulunmuştur. Bu sıcaklığın üzerinde polimer zincirlerinin bozulmaya başladığı ve malzemenin ısıl dayanıklılığının aşılmaya başladığı görülmektedir.

Ergiyik sıcaklık kontrolünün bir önemli etkisi de bitmiş parça üzerindeki boyut hassasiyetidir. Bilindiği gibi doğadaki tüm maddeler (su hariç) ısıtıldıklarında belirli bir miktar genleşirler ve soğutulduklarında kendilerini ekerler. Plastikler içinde bu durum geçerlidir. Vida kovan sistemi içinde ısı etkisiyle plastik malzemeler genleşir ve kalıp içinde soğuma etkisiyle de ekerler. Bu nedenle kalıplar imal edilirken bu çekme etkisi göz önüne alınarak bir miktar daha büyük yapılır. Ancak burada çekme olayının her zaman aynı Şekilde gerçekleşmediğini belirtmekte fayda vardır. Enjeksiyon parametrelerinin de bu çekme olayı üzerinde önemli etkileri vardır.

Çekme olayını etkileyen en önemli parametrelerden biriside hiç kuşkusuz ergiyik sıcaklığıdır. Genel olarak söylemek gerekirse ergiyik sıcaklığı arttıa çekme oranı da artış göstermektedir. Bunun en temel nedeni ısı etkisinin artması ile plastik moleküllerinin genleşmesidir. Isı arttıa genleşmede artmakta ve hacim büyümektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta yapılan enjeksiyon işleminde kalıp boşluğuna normalden daha fazla genleşmiş ergiyik gönderilmiş olacak ve bu ergiyik soğuduğunda normalden daha fazla çekmiş olacaktır. Bu da parçanın boyut hassasiyetini olumsuz yönde etkilemiş olacaktır. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta çekmenin fazla, düşük sıcaklıkta az olacağını söyleyebiliriz.

### 3.1.2 Kalıp Sıcaklık Kontrolü

Ergimiş plastik enjeksiyon makinesinin en son ısıtıcı bölgesi olan meme bölgesinden geçerek kalıba giriş yapar. Burada kalıbın ısı absorbe etmesi nedeniyle hemen soğuma başlar. Kalıbın bu ısı absorbe etme hızı plastiğin katılaşmaya başlayarak akışını durdurmasından önce ne kadar uzağa gidebileceğinin göstergesidir. Her rn dizayn ve malzemesine bağlı olarak belirli bir soğuma hızına ihtiyaç duyar. Bu soğuma hızı da ürün kalitesi üzerinde kritik rol oynar. Bu nedenle kalıp sıcaklığı ayarı plastiğin soğuma hızına uygun olarak yapılmalıdır. Bu ayar genellikle kalıba açılan soğutma kanallarından sıcaklığı kontrol altında tutulan sıvı geçirilerek yapılmaktadır.

Polimer reticileri genellikle gerekli kalıp yüzey sıcaklıklarını tavsiye ederler. İdeal olarak kalıp yüzeyindeki her noktanın sıcaklığı aynı olmalıdır. Ancak pratikte bu tam olarak mümkün değildir. Bu nedenle hedeflenen kalıp sıcaklığından sapmalar mümkün olduğunca az olmalıdır. Kalıbın soğuk ve sıcak noktaları arasındaki farklılıklar mümkün merteye düşük

olmalıdır. Bu sıcaklık farkları soğutma kanallarının, kalıp konstrüksiyonu ve dayanımı da göz önünde bulundurularak, birbirine yaklaştırılması ile en aza indirilebilir.

Çizelge 3.2 Bazı polimerlere ait kalıp ve ergiyik sıcaklıkları (Oswald,2001)

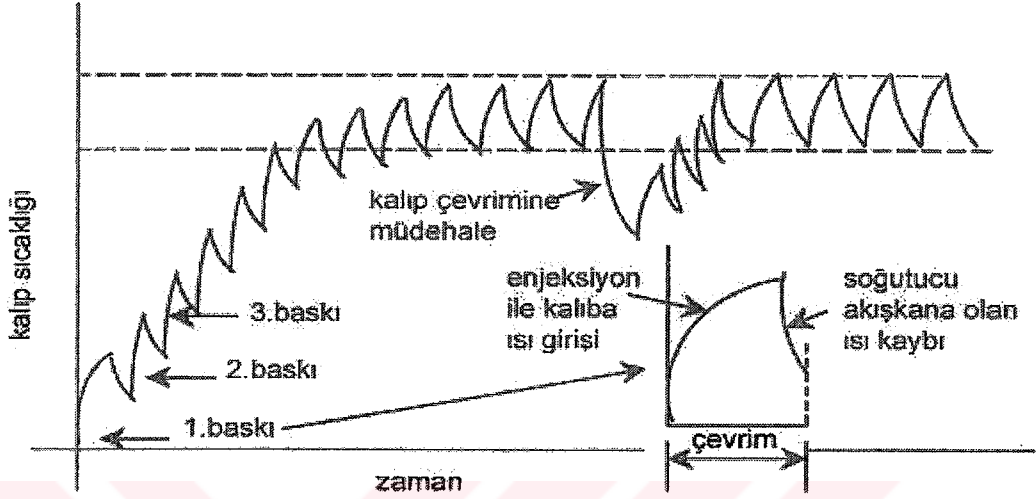
Polimer	Ergiyik sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
ABS	200-230	30-80
CA	170-250	40-80
POM	195-245	40-120
PMMA	220-260	40-120
PPO	250-290	80-120
PA 66	220-270	60-100
PC	260-300	80-120
PES	330-400	130-200
PBT	240-275	70-140
PPS	300-360	130-160
PETP	260-280	90-140
PS	170-210	10-50
HDPE	200-220	20-60
LDPE	160-180	20-60
PP	160-200	20-60
TPU	180-220	15-60
SAN	240-270	30-80
RPVC	170-190	20-60
SPVC	160-180	20-60

Her bir enjeksiyon çevriminde şu ısı transferleri rol oynamaktadır.

- Ergimiş plastikten kalıp metaline (kalıba ısı girişi)
- Kalıp metalinden soğutucu akışkana (kalıptan ısı çıkışı)

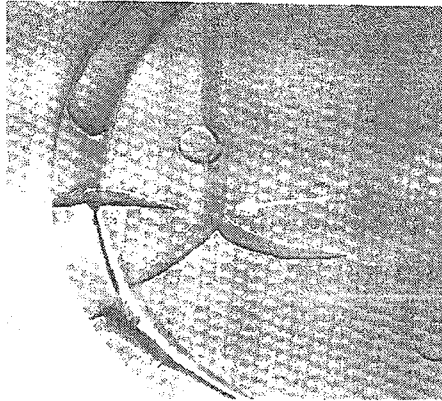
Eğer kalıba ısı girişi ısı çıkışından daha fazla olursa kalıp sıcaklığı her çevrimde giderek artış göstermeye başlayacak ve bu da parça kalitesinin baskıdan baskıya değişmesine yol açacaktır. Bu nedenle hedeflenen kalıp yüzey sıcaklığına ulaşıldıktan sonra ısı giriş ve çıkışının

dengelemesi gerekmektedir. Pratikte kalıp sıcaklığını zamana bağlı olarak sürekli aynı noktada tutmak pek mümkün değildir. Bu nedenle hedeflenen sıcaklığın üst ve alt noktalarındaki bir aralıkta kalıp sıcaklığının dalgalanması en iyi yöntemdir. Şekil 3.7’de bu dalgalanma gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.7 Kalıp sıcaklığının zamana ve baskıya göre değişimi (Prabodh,2000)

Kalıp sıcaklık kontrolündeki başarısızlıklar parçalarda gerilim farklılıklarına, bozuk kesimlere, çökme izlerine, zayıf yüzey görüntüsüne ve kendini çekme oranlarındaki farklılıklara bağlı olarak boyut farklılıklarına neden olmaktadır. Düşük kalıp sıcaklıklarında yapılan enjeksiyonda kalıba giriş yapan ergimiş plastik katmanları hızla soğuma sürecine girerek birbirleriyle yeterince iyi birleşme sağlanamaz. Parçaların kalıptan çıkarılması ile de bu kaynamayan katmanların birbirlerinden ayrışması söz konusu olabilir. Şekil 3.8’de bu durum gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.8 Düşük kalıp sıcaklığının parça üzerindeki etkisi (Douglas,1996)

Kalıp sıcaklık kontrolü sadece yukarıdaki parça kalitesine olan etkileri için değil aynı zamanda çevrim zamanına ve imalat ekonomisine olan etkileri içinde çok büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar kalıp sıcaklık kontrolünün üretilen parçaların sertlik ve çekme dayanımı üzerinde de önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Bu etkilerin kısaca açıklanmasında fayda vardır.(Johanna,2000)

### 3.1.2.1 Kalıp Sıcaklığının Sertlik Üzerindeki Etkisi

Çizelge 3.3'de enjeksiyon işlemi ile üretilmiş parçalara ait sertlik değerlerinin kalıp sıcaklıklarına bağlı değişimi gösterilmiştir. Polipropilen malzemesi ile yapılan bu deneyde kalıp sıcaklığının 45 °C 'den 35 °C'ye düşmesi ile parça sertliğinde artış kaydedilmiştir. Bunun nedeni düşük kalıp sıcaklıklarında parça katılaşmasının kısmen daha hızlı oluşu ve kristallerin genişleme için yeterli zamanı bulamamasıdır. Bu yolla küçük kristal yapılı parçalar elde edilmekte ve bu da parça sertliğini arttırmaktadır.

Çizelge 3.3 Kalıp sıcaklığının sertlik üzerindeki etkisi (Johanna,2000)

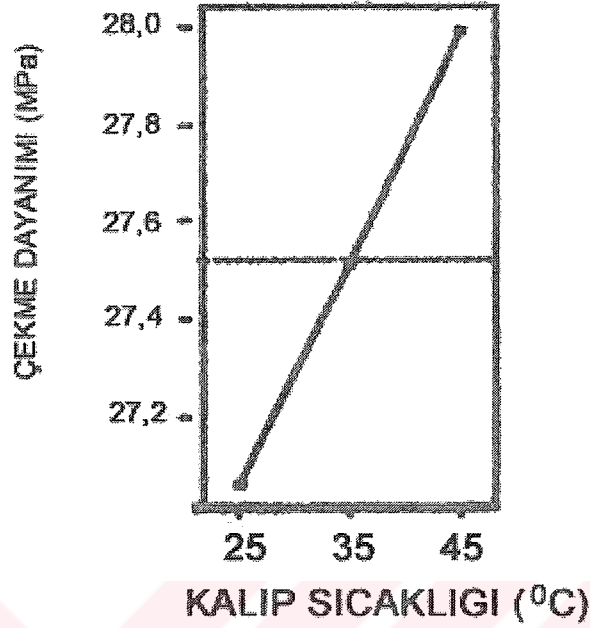
KALIP SICAKLIĞI ( ° C)	SERTLİK ( SHORE D)
25	70,19
35	70,40
45	69,8

Kalıp sıcaklıklarının daha da düşürülmesinin ise sertliği arttırmanın tersine azalttığı da görülmektedir. Bunun nedeni ise parçanın çok hızlı soğumaya maruz kalması ve kristal yapısının düzgün olarak oluşmamasıdır. Bu nedenle sertlik değerinin azalması gözlemlenmiştir.

### 3.1.2.2 Çekme Dayanımına Olan Etkisi

Kalıp sıcaklığının parça çekme dayanımı üzerinde de birtakım etkileri olduğu görülmüş ve etkiler Şekil 3.9'da gösterilmeye çalışılmıştır. En yüksek çekme dayanımının en yüksek kalıp sıcaklıklarında ortaya çıktığı saptanmıştır. Yüksek kalıp sıcaklığında yapılan enjeksiyon işleminde soğuma hızı göreceli olarak daha yavaş olduğundan kristaller büyüme ve form oluşturmak için yeterli zamanı bulmaktadırlar. Yavaş soğuma dolayısıyla polimer zincirlerinde iç gerilmeler mümkün olan en az seviyelere inmekte ve bu da parçalarının

çekmeye karşı dayanım değerlerini arttırmaktadır.



Şekil 3.9 Kalıp sıcaklığının çekme dayanımına olan etkisi (Johanna,2000)

### 3.1.3 Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü

Ergiyik ve kalıp sıcaklıklarından başka enjeksiyon presinin hidrolik sistem sıcaklığı da göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir. Pek çok sistemde hidrolik akışkan sıcaklığı 30 °C ile 60 °C arasında kontrol altında tutulmaktadır. Hidrolik akışkanın gereğinden fazla soğuk olması durumunda kalınlığı artacak (viskozitesi artacak) ve hidrolik komponentlerin daha ağır ve yavaş çalışmasına neden olacaktır. Akışkanın gereğinden fazla sıcak olması durumunda ise akışkan özelliğini yitirecek, komponentlerin sıkışmasına, valf ve silindirlerin görevlerini yapamamasına neden olacaktır. Bu her iki koşulunda ergiyik ve kalıp sıcaklıklarında olduğu gibi parça kalitesine direkt etkisi olmasa da enjeksiyon presinin operasyonları gereği gibi yerine getirememesine neden olacağından zamanla parça kalitesine olumsuz etki etmeye başlayacaktır.(Johannaber,1994)

Hidrolik akışkan sıcaklığının çok yükselmesi durumunda ısının enjeksiyon presinin gövdesine ve oradan da kalıp plakalarına transfer olması kalıp sıcaklıklarını arttıracak ve bozuk ürünlere neden olacaktır. Tüm bu olumsuzlukların önlenmesi için enjeksiyon makinelerine monte edilmiş ısı eşanjörleri hidrolik akışkan sıcaklığını kontrol etmeye çalışırlar. Soğutma kulelerinden veya çiller gruplarından gelen soğutma sıvıları ile hidrolik akışkan eşanjörde ısı

transferine maruz bırakılırlar ve bu sayede hidrolik sistem sıcaklığı kontrol edilmeye çalışılır.

Ergiyik, kalıp ve hidrolik sistem sıcaklıkları kontrolünden başka bir sıcaklık kontrolü de ortam sıcaklığı üzerinde yapılmalıdır. Ortam sıcaklık kontrolünün gerekliliği uygulamalarda bazen ortaya çıkan sorunlar nedeniyle görülmüştür. Tüm parametrelerin düzgün olarak ayarlandığı ve teknik açıdan kusursuz parçaların elde edildiği bir enjeksiyon prosesinde çalışma ortamındaki yüklenme – boşaltma kapılarının açılması veya havalandırma fanlarının devreye sokulması ile prosesin bozulmaya başlaması pek çok defa karşılaşılan bir sorun olmuştur. Bu olaylar enjeksiyon makinesini saran havanın sıcaklığını etkilediğinden ve buda makine üzerindeki sıcaklık kontrol ünitelerinin okuma sonuçlarında farklılıklara sebep olduğundan yaklaşık iki saat süreyle proste dengesizlikler oluşabilmektedir. Bu nedenle mümkün olduğunca homojen ortam sıcaklıklarının sağlanması prosesin devamlılığı için önem arz etmektedir.

### 3.1.4 Kurutma Sıcaklığı

Bilindiği gibi atmosfer çeşitli gazları ve su buharını bünyesinde barındıran bir yapıya sahiptir. Enjeksiyon işleminde kullanılan hemen hemen tüm plastik granül yapıdaki hammaddeler kalitelerinden bağımsız olarak (birinci kalite, kırma veya rejenere) taşıma ve depolama sırasında havadaki bu su buharından yani nemden etkilenirler. Buna malzemenin higroskopik özelliği de denmektedir. Plastikler genelde hammaddenin türüne göre malzemenin içinde, malzemenin dışında ve malzemenin hem içinde hem de dışında olmak üzere çeşitli şekillerde bu nemi bulundurabilirler.

Bünyesinde nem barındıran bu granüllerin vida kovan sistemine girmesi ve ısı etkisinde kalması ile yeniden su buharı ortaya çıkmaktadır. Üretim sırasında ortaya çıkan su buharının plastiğin kararlılığını etkileyerek mekanik ve fiziksel özelliklerinin bozulmasına yol açtığı bilinmektedir. Bununla birlikte bitmiş parçaların yüzey kalitesi üzerinde de olumsuz birtakım etkileri vardır. Vida kovan sisteminde ortaya çıkan su buharı adeta ergiyik plastiğin içerisine hapis olmuş ve ergiyik ile birlikte hareket ederek kalıp boşluğunu doldurmaktadır. Bu nedenle enjeksiyon işlemi sonunda elde edilen ürünün kalitesi ön kurutmanın başarısıyla doğru orantılıdır.(Prabodh,2000)

Kurutmanın yapılmaması veya düşük sıcaklıklarda yapılması durumunda plastik içerisindeki nem uzaklaştırılmamış olmaktadır. Bunun parça üzerinde yarattığı iki temel olumsuz etkisi vardır. Bunlardan ilki parça yüzey kalitesi ile ilgili etkisidir. Genellikle yüzeyde kabarcık, harenme, gümüş çizikler oluşumu ile kendisini belli etmektedir. Bu görüntü bozukluklarının

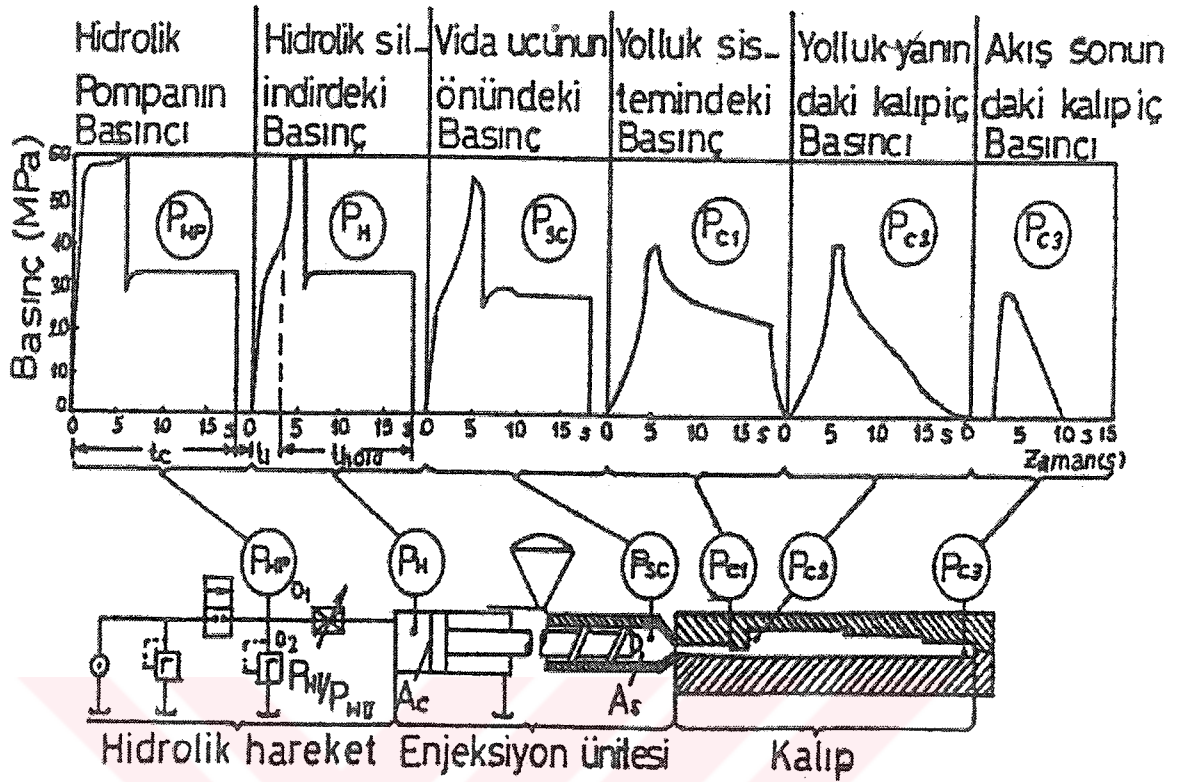
olduğu bölgeler aynı zamanda kırılğan yapıya da sahiptirler. İkinci etki ise parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisidir. Tam kurutmanın yapılamaması durumunda parça darbe dayanımında ve çekme dayanımında azalmalar olduğu ve ergiyik akışının zayıfladığı belirlenmiştir.

Kurutmanın gereğinden yüksek sıcaklıklarda veya uzun süreli yapılması durumunda daha önce ergiyik sıcaklık konusunda değinilen ısıl dayanıklılık sınırının aşılması durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda da polimer malzeme yapısal olarak bozulmakta yani yanmaktadır. Bu nedenle kurutma sıcaklığı ve süresi konusunda polimer malzeme üreticilerinin yayınladıkları malzeme tablolarından yararlanılmasında fayda vardır.

### 3.2 Basınç

Enjeksiyon makinelerinde iki bölgede basınç ve basıncın kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan ilki enjeksiyon ünitesi diğeri de mengene ünitesidir. Bu iki basınç bölgesi birbirleriyle yakından ilgilidir çünkü bu iki basınç birbirlerini karşılamaktadır. Mengene ünitesinin basıncı enjeksiyon ünitesinin oluşturduğu basıncı yenecek büyüklükte olmalıdır. Enjeksiyon ünitesinin basıncı ise ergimiş polimerin kalıp boşluğunu eksiksiz bir şekilde doldurmasına ve bir miktar basınç altında tutulmasına yetecek büyüklükte olması gerekmektedir. Aksi halde kalıbın tam olarak doldurulmaması söz konusu olacaktır. Enjeksiyon makinelerinin enjeksiyon üniteleri genellikle üç değişik türde basınç üretirler. Bunlar enjeksiyon basıncı veya diğeri adıyla ilk basınç, tutma basıncı ve geri basıncıdır. Buna karşılık mengene ünitesinin oluşturduğu basınç ise sadece kilitleme basıncıdır. Kilitleme basıncıda hidrolik ve mekanik olmak üzere iki farklı şekilde elde edilmektedir.

Şekil 3.10'da enjeksiyon çevrimi esnasında oluşan basınçların zamana göre değişimleri gösterilmiştir.



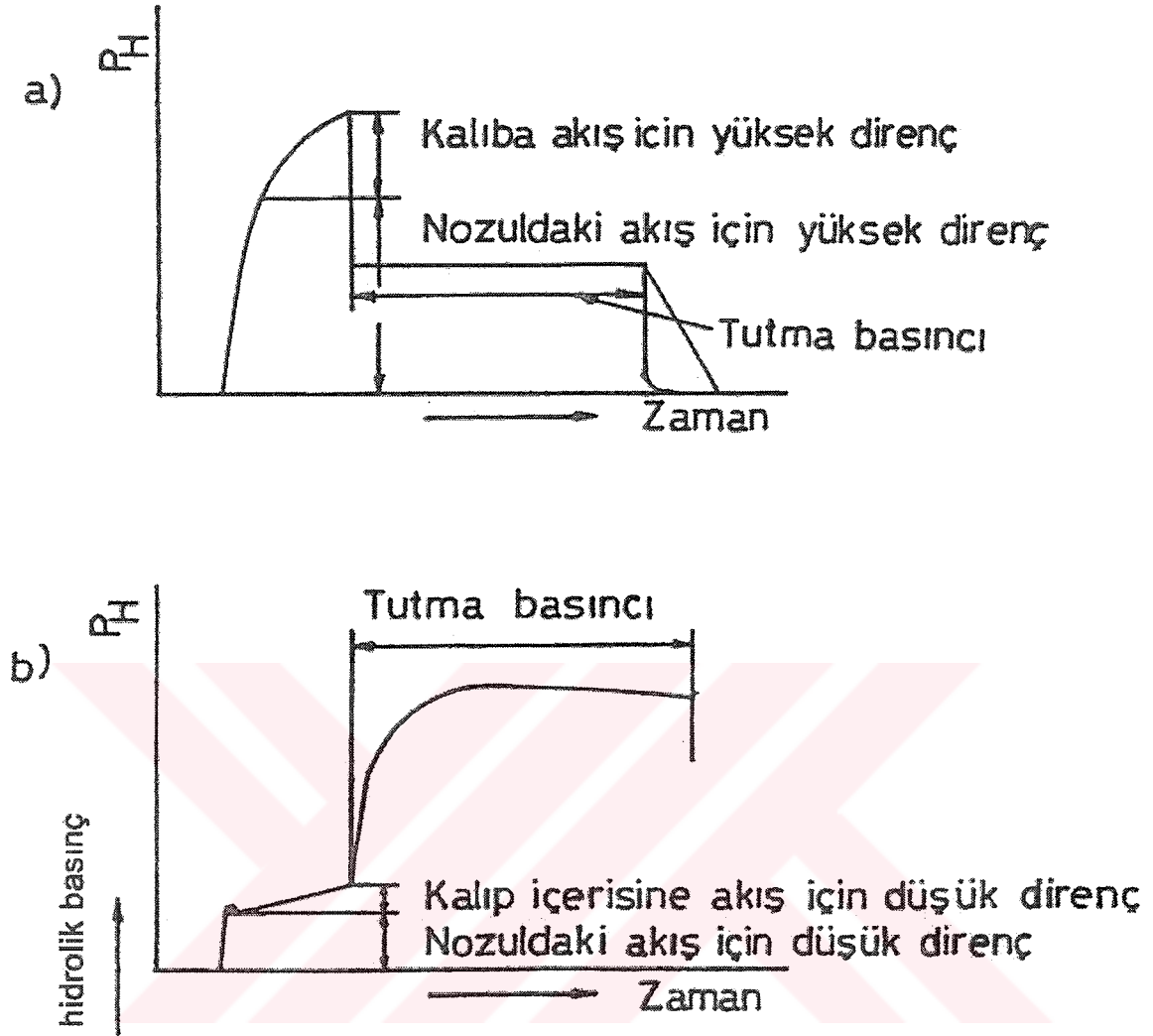
Şekil 3.10 Enjeksiyon işlemindeki basınçların zamana göre değişimi (Deniz,1987)

### 3.2.1 Enjeksiyon Basıncı

Enjeksiyon basıncı (ilk basıncı) enjeksiyon ünitesinin gerçekleştirdiği önemli parametrelerden birisidir. Bu basıncı sayesinde enjeksiyon vidası önünde bekleyen ergimiş plastik vidanın adeta bir piston gibi hareketi ile kalıp içine doğru gönderilir. Bu basıncı hem vidanın hızını hem de kalıbın doldurulması prosesini çok yakından etkiler. Enjeksiyon basıncının işlem sırasındaki gerçek büyüklüğünün bilinmesi konusunda güvenilir bilgiler olmamakla birlikte hidrolik silindir basıncından yola çıkılarak yapılan bazı yaklaşımlar mevcuttur.

Enjeksiyon basıncı kısa süre içerisinde atmosferik basıncı değerinden (sistemdeki en düşük basıncı değerinden) nozül, yolluk ve kalıp boşluğu akış direncini yenebileceği değere yükselir. Yüksek nozül ve yolluk akış direnci yüksek basınçların oluşmasına neden olmaktadır.





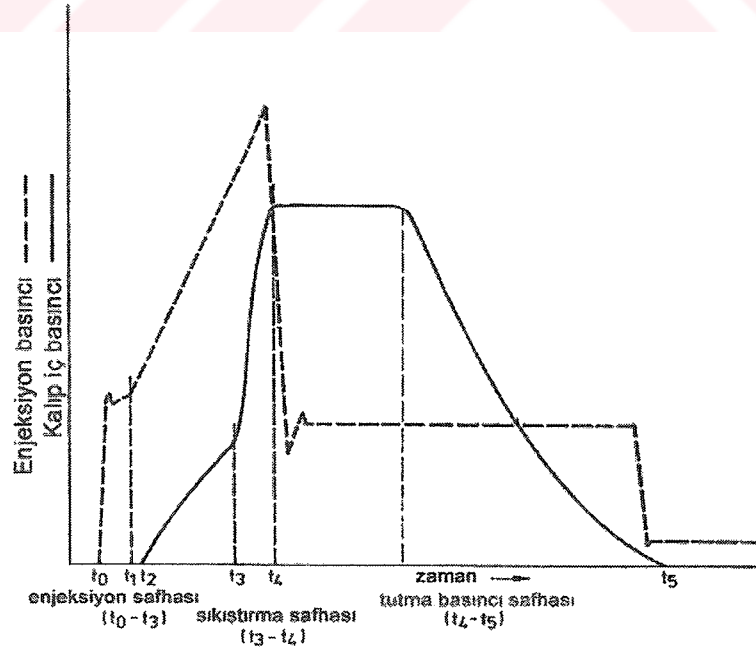
Şekil 3.11 Enjeksiyon basıncının zaman ve akış direncine göre değişimi(Deniz,1987)

Şekil 3.11 incelendiği takdirde akış direncinin yüksek ve düşük olması durumunda akış direncini yenmek için gerekli olan basınç değerlerinin değişimi gösterilmeye çalışılmıştır. Burada akış direnci olarak yapılan tanımlama aslında eriyik malzemenin vida ön kısmından akışa başlayarak kalıp boşluğunu doldurana kadar karşılaştığı malzeme viskozitesine, nozule, yolluğa, kalıbın formuna ve bunların yüzey kalitesine bağlı olarak oluşan dirençtir. Şekil 3.11 a' da bu direncin yüksek olması durumunda hidrolik basıncın belli bir noktaya kadar kısa sürede hızla arttığı gösterilmiştir. Bu sayede yüksek direnç yenilerek kalıp içine ergiyik malzeme gönderilmiş olur. Bu noktadan sonra basınç belli bir değere kadar düşer ve bu değerinde kalıp içerisindeki malzemeye bir süre tutma basıncı uygulanır. Daha sonra da bu

basınç düşerek yeniden atmosferik basınca yaklaşır.

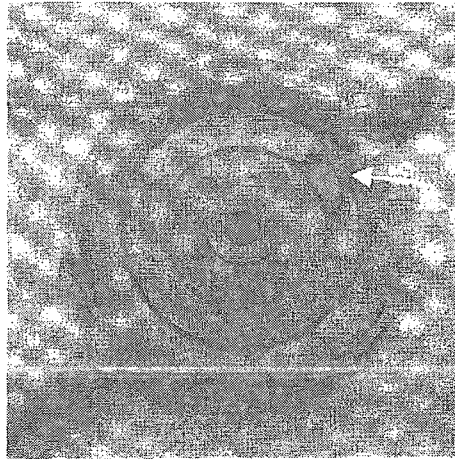
Şekil 3.11 b 'de ise akış direncinin düşük olması durumunda kalıbın dolum noktasına kadar uygulanan basıncın daha düşük ancak basıncın uygulandığı sürenin daha büyük olduğu görülür. Bu durumda da ergiyik malzemenin şeklini tam olarak alabilmesi için tutma basıncının daha yüksek ayarlanması söz konusu olmuştur. Bu nedenle enjeksiyon basıncı ile tutma basıncının büyüklükleri ve birbirlerine olan oranı konusunda her zaman geçerli bir şey söylemek mümkün değildir. Ancak pek çok enjeksiyon işlemi göz önüne alındığında bir genelleme yapmak gerekirse enjeksiyon basıncını kalıbın ilk doldurulması işleminde kullanılan basınç olarak tanımlayabiliriz ve ilk dolum işleminin tutma basıncına göre daha yüksek basınç ve hız altında yapılacağını söyleyebiliriz.(Deniz,1987)

Enjeksiyon basıncı ile hedeflenen şey kalıp içerisine mümkün olduğunca hızlı bir şekilde ergimiş malzeme sevk ederek kalıbı doldurmaktır. Bu nedenle enjeksiyon basıncı mümkün olan en yüksek değerde seçilmektedir. Yüksek seçilen basınç değerinin bir önemli sonucu da çalışma sıcaklıklarının düşük seçilmesine olanak sağlamasıdır. Bu sayede parça soğuma zamanlarında önemli tasarruflar yapılarak çevrim zamanı da kısalmış olmaktadır. Burada önemli olan nokta enjeksiyon basınç büyüklüğünün ve uygulanacağı sürenin çok iyi tespit edilmesi gerekliliğidir. Zira gereğinden yüksek ve düşük seçilen basınç değerlerinin hem parça hem de makine ve kalıp üzerinde olumsuz etkileri olacaktır.(Beaumont,2002)



Şekil 3.12 Enjeksiyon ve kalıp iç basıncının zamana göre değişimi (Johannaber,1994)

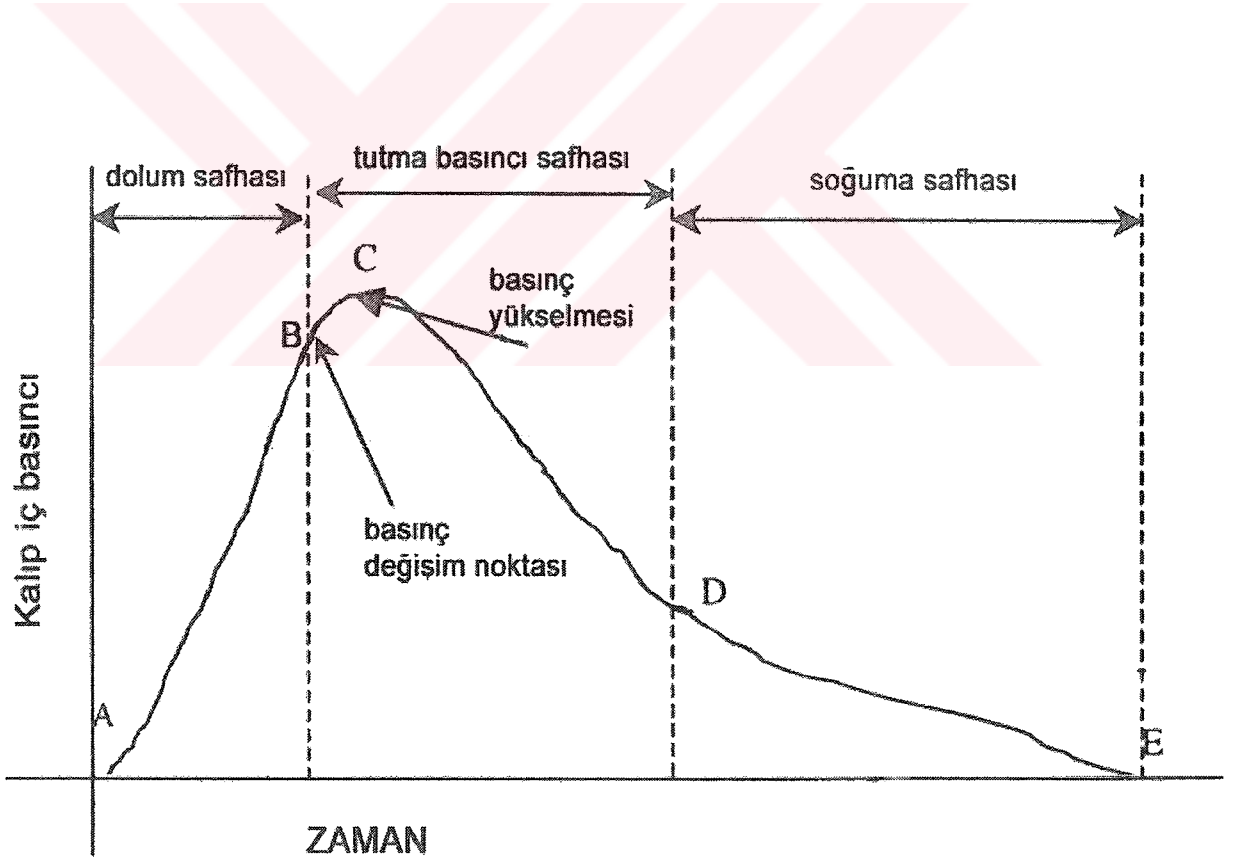
Şekil 3.12’de enjeksiyon basıncı ve buna bağlı oluşan kalıp iç basıncı bir arada gösterilmeye çalışılmıştır. Kesikli çizgili eğri enjeksiyon basıncını, düz çizgili eğri de kalıp iç basıncını göstermektedir. Buna göre  $t_0 - t_1$  zaman aralığında nozül ve yolluk sistemindeki akış direnci yenilerek ergimiş plastik gravüre kadar getirilmiş,  $t_2$  anında gravüre ergimiş plastik dolmaya başlamış ve basınç yükselmesi olmuştur.  $T_1 - t_3$  aralığında kalıp gravürünün doldurulması gerçekleşmiş ve  $t_3 - t_4$  aralığında da ergimiş plastiğin kalıp içerisinde sıkıştırılması sağlanmıştır.  $T_4 - t_5$  aralığında da tutma basıncı uygulanarak işlem yeniden mal alma ile sonlandırılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konuda basınç değişim noktasının yerinin çok iyi ayarlanması gerektiğidir. Basınç değişim noktası enjeksiyon işleminde enjeksiyon basıncından tutma basıncına geçiş noktası olarak tarif edilir. Basınç değişim noktasının geç yapılması parçanın gereğinden fazla yüksek basınç altında kalmasına neden olmakta ve bu da parça üzerindeki boyut hassasiyetinin kaybolmasına, aşırı yüklemeye ötürü parça yüzeyinde yanık izleri oluşumuna, parça üzerindeki aşırı gerilime bağlı olarak çatlamalara, oluşan yüksek kalıp iç basıncının mengene kuvvetini yenerek kalıbı aralaması sonucu parça etrafında çapak oluşumuna yol açacaktır. Bazı durumlarda da oluşan bu yüksek iç basıncın kalıbı tahrip etmesi söz konusu olmuştur. Şekil 3.13’de yüksek enjeksiyon basıncının parça üzerinde yol açtığı yanık izi sorunu gösterilmeye çalışılmıştır. Yüksek enjeksiyon basıncında plastik reçine büyük bir kuvvet altında hızla kalıba gönderilmektedir. Yolluk sisteminde ve kalıp gravüründeki hava yüksek sıkışma etkisiyle gaz yolluklarından kaçma fırsatı yakalayamaz ve yüksek basıncın etkisiyle hızla ısınır. İşte bu hızla ısınan sıkışmış hava plastik reçineyi Şekil 3.13’teki gibi yakarak iz bırakır.



Şekil 3.13 Yüksek enjeksiyon basıncının yarattığı yanık izi sorunu (Douglas,1996)

Basınç değişim noktasının erken yapılması veya enjeksiyon basıncının düşük seçilmesi durumunda da kalıbın doldurulması için yeterli malın kalıba gelmemesi ve eksik baskı başta olmak üzere parça üzerindeki ergimiş katmanların yeterince bir arada tutulmaması nedeniyle akış çizgileri oluşturmaları, kalıp doldurulması sırasında kollara ayrılan akış hatlarının tekrar birleşmesi sırasında yeterli basınç olmaması nedeniyle kaynak izleri oluşturmaları, parça yüzeyinin kalıpla yeterli basınçla temas etmemesi nedeniyle bozuk ve kötü yüzey elde edilmesi, soğuma esnasında yeterli basıncın olmaması sonucu çökme izleri ve çöküntülerin oluşumu ve soğuma esnasında boyut ve şekilden sapmalar göstererek çarpılmalar oluşması gibi sorunlar oluşmaktadır.(Douglas,1996)

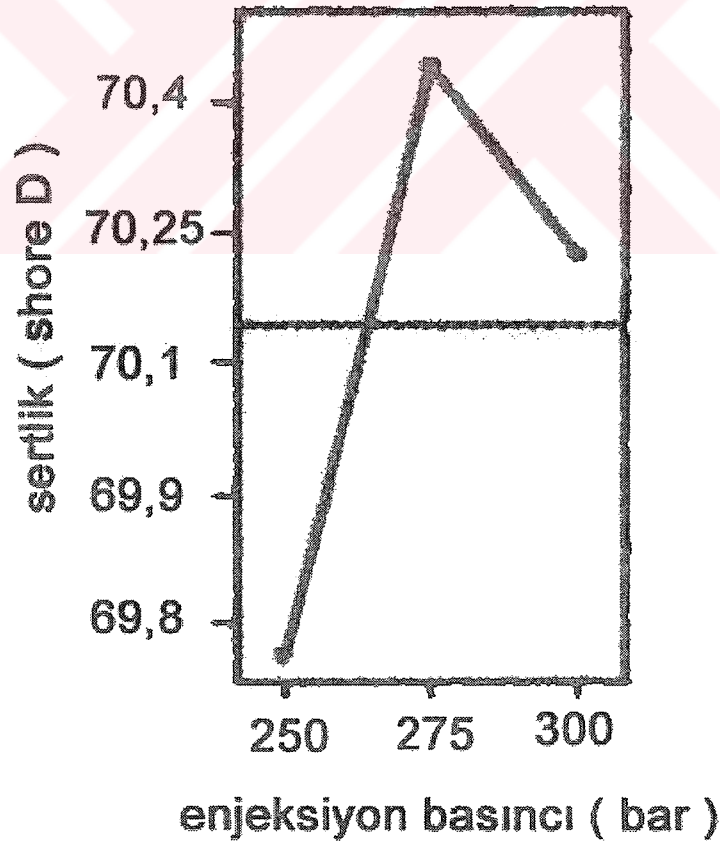
Kalıp içinde oluşan basıncın enjeksiyon basıncına bağlı değişimi şekil 3.12’de gösterilmeye çalışılmıştı. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konuda gerçekte basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının kısa bir süre daha artış göstermesidir. Şekil 3.14’de bu durum gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.14 Basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının artması (Prabodh,2000)

Basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının bir miktar daha yükselmesi yüksek basınç ve hız altında sıkışmış olan ergimiş malzemenin kalıba gönderilmesinin ardından üzerindeki basınç kaldırıldığında bir miktar genişleme eğiliminde olması ile açıklanmaktadır. Sabit bir sıcaklıkta ergimiş olan polimer malzemelerin üzerine etki eden basıncın artması ile özgül hacimlerinde ciddi azalmalar olduğu PVT ( basınç,hacim,sıcaklık) diyagramlarından anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak da enjeksiyon işleminde ilk basınç esnasında sıkıştırılmış olan ergiyik, basınç değişim noktasından sonra bir miktar genişmekte ve buda kalıp iç basıncında bir artış sağlamaktadır. Bu nedenle basınç değişim noktasının yerinin tespitinde bu basınç artışı da göz önüne alınması gereken bir noktadır.(Prabodh,2000)

Enjeksiyon basıncının yukarıdaki bölümlerde belirtilen parça üzerindeki etkilerinden başka bitmiş ürün üzerindeki bir diğer etkisi de parça sertlik değeridir. Enjeksiyon basıncı sayesinde parça iç yapısı sıkıca bir arada tutulduğundan parça sertliğinde basıncın artması ile artış gözlenmektedir.



Şekil 3.15 Enjeksiyon basıncının sertlik üzerindeki etkisi (Johanna,2000)

Şekil 3.15 basınç artışı ile sertliğin bir noktaya kadar artış gösterdiği ve sonra düştüğü görülmektedir. Aşırı uygulanan basınç parça kristalizasyonunu engellemekte ve iç yapıyı bozarak sertlikte dahil olmak üzere pek çok mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. (Johanna,2000)

### 3.2.2 Tutma Basıncı

Tutma basıncı enjeksiyon işleminde kalıp içerisine gönderilmiş ergimiş plastiğe enjeksiyon basıncından sonra etki eden ikincil basınç olarak tarif edilebilir. Ergiyik malzemenin kalıp içerisindeki katılaşma süreci tutma basıncı etkisi altında tamamlanmış olur. Böylece parçaların eksiksiz kalıp iç şeklini alması ve tok bir yapıya sahip olmaları sağlanmış olur.

Tutma basıncının büyüklüğü ve uygulanacağı sürenin doğru tespit edilmesi parçaların boyutsal hassasiyeti ve görünüm kalitesi üzerinde çok büyük önem arz etmektedir. Enjeksiyon basıncı ile doldurulmuş kalıp gravüründeki ergimiş plastik ikincil bir basınç uygulanmaksızın soğumaya bırakıldığında ortaya çıkan yüksek çekme oranı nedeniyle parça üzerinde kabul edilemez görsel ve fonksiyonel kusurlara yol açılacaktır. Bu nedenle ikincil bir basınca yani tutma basıncına ihtiyaç duyulmuştur.

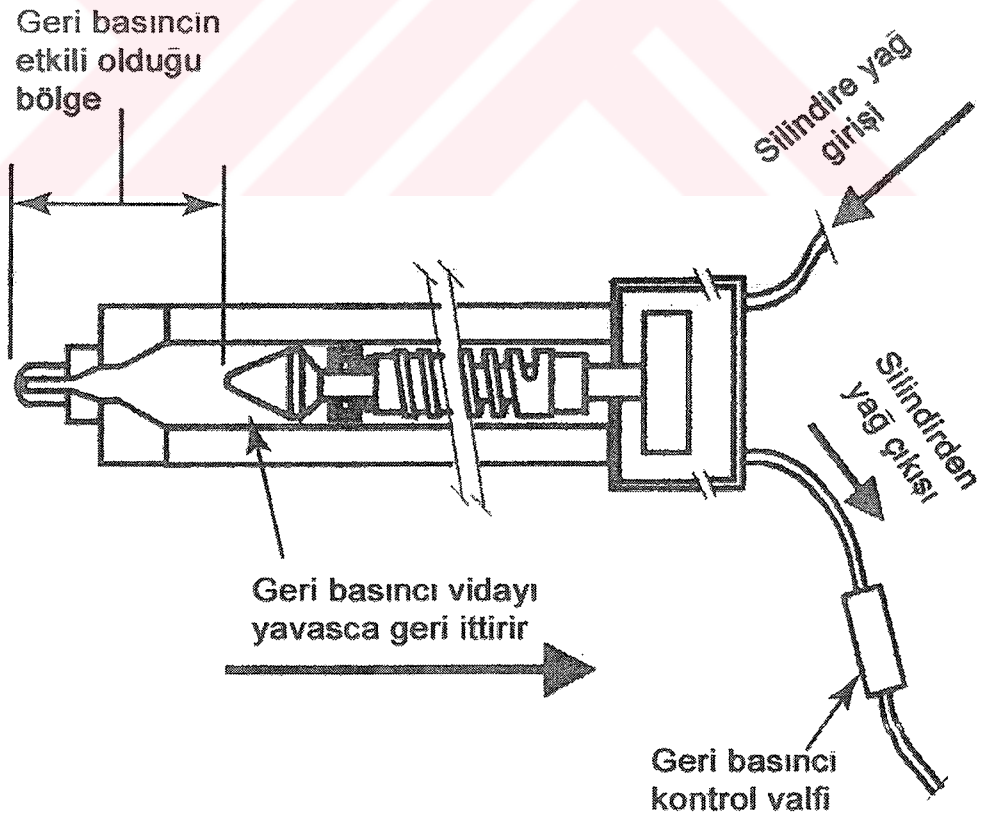
Tutma basıncının büyüklüğü genellikle basılan parçaların boyut hassasiyeti tespit edilerek ve parça üzerinde çökme izlerinin olup olmamasının görsel analizi ile belirlenebilirken tutma basıncının süresinin tespit edilmesi tahminlere dayanmaktadır. Eğer kalıp iç basıncı ölçülebilmiş olsaydı bu konuda güvenilir bir bilgi olabilirdi fakat kalıp iç basıncının bazı deneysel çalışmalar dışında ölçülmesi pek söz konusu değildir. Bu nedenle tutma basıncının etkin olduğu sürenin akış yolu boyunca ergimiş malzemenin geçtiği en dar kesitli bölgenin tamamen katılaşması için geçen süre olabileceğini söyleyebiliriz. Genellikle bu en dar kesitli bölge yolluğun gravüre giriş yaptığı parça giriş bölgesidir. Dolayısıyla akış yolu üzerindeki kesitlerin katılaşmasından önce basınçtaki değişiklikler parçaya aktarılabilirken, katılaşma sonrasında gravür iç basıncı üzerinde tutma basıncının rol oynaması söz konusu olmamaktadır. Gereğinden uzun yapılan tutma basıncının parça kalitesi üzerinde herhangi bir etkisinin olmayacağı bunun sadece enerji israfı olacağını kolaylıkla söyleyebiliriz. (Johannaber,1994)

Sonuç olarak tutma basıncının uygulanmaması veya eksik uygulanması durumunda kalıp içinde soğumakta olan plastiğin kendini çekme etkisi yolluk içinden yeni malzeme gönderilerek kompanze edilememiş olacaktır. Bunun en önemli sonucu boyut hassasiyetinin sağlanamamış olması ve kendini çekme esnasında oluşan çökme izleri yani çöküntülü bölge

sorununun giderilememiş olmasıdır. Tutma basıncının genellikle enjeksiyon basıncından daha düşük değerlerde seçilmesi nedeniyle bu basıncın yüksek olmasının veya tatbik süresinin fazla olmasının parça üzerinde herhangi bir olumlu ya da olumsuz etkisi söz konusu olmamaktadır. Daha öncede değinildiği gibi yüksek tutma basıncı ve tutma süresi sadece enerji israfına yol açan bir durumdur.

### 3.2.3 Geri Basıncı

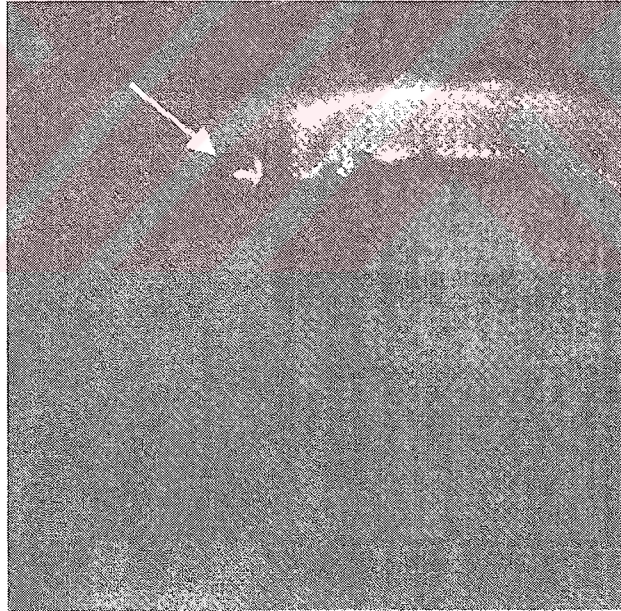
Geri basıncı enjeksiyon işleminden hemen sonra uygulanmaya başlayan basınçtır. Tutma basıncının sona ermesiyle kontrol ünitesine verilen bir sinyal ile bir sonraki çevrime (baskıya) hazırlık amacıyla enjeksiyon vidası dönmeye başlar ve bu sayede vida kovan sisteminin uç kısmına (meme) yeni plastik granülleri gelmeye başlar. Pek çok enjeksiyoncunun bildiği şekliyle enjeksiyon vidası mal alma işlemi sırasında geriye doğru bir enjektör gibi çekilmez aksine bu safhada vida dönüş hareketi sayesinde meme kısmına doğru yeni granülleri ısı ve sürtünmeler etkisiyle eriyen granüller vida uç kısmını doldurmaya başlar ve ergimiş polimer enjeksiyon vidasını geriye doğru iter.



Şekil 3.16 Geri basıncının gösterimi (Douglas,1996)

Geri basıncı, vidanın ergimiş polimerin etkisiyle geriye doğru hareketini şekil 3.16'da görülen geri basıncı kontrol valfi ile sağlar. Geri basıncı ile enjeksiyon vidasının mal alma yani geriye gitme hızı ve aynı zamanda da vida önünde enjeksiyon için hazır bekleyen polimerin sıkışma basıncı belirlenmiş olur. Geri basıncı enjeksiyon basınçları ile kıyaslandığında oldukça düşük bir seviyededir. 4 bar ile 40 bar arasında değişim gösteren bir değerde kullanılan polimerin yapısına bağlı olarak ayarlanabilmektedir. (Beaumont,2002)

Geri basıncının kullanılmasının en temel nedeni parça ağırlığında, yoğunluğunda ve malzeme görünüşünde bir istikrar yakalama gerekliliğidir. Ayrıca geri basıncı sayesinde malzeme içinde kalmış hava kabarcıkları ve kurutma ile alınamamış nem ergimiş polimerin sıkıştırılması sonucu ortamdaki uzaklaştırılmış olmaktadır. Bu olay nedeniyle parçalardaki hava kabarcıkları sorununu en aza indirmekte ve hatta çoğu zaman ortadan tamamen kaldırmaktadır. Şekil 3.17'de geri basıncının kullanılmaması veya yetersiz olması durumunda ortaya çıkan parça üzerindeki hava kabarcıkları problemi gösterilmeye çalışılmıştır. (Douglas,1996)



Şekil 3.17 Geri basıncın yetersiz olduğu durumda ortaya çıkan sorunlar (Douglas,1996)

Geri basıncının ayarlanmasındaki en uygun yöntem 4 barlık değerle başlayarak uygun karışımın elde edilip edilemediğine bakılması ve en uygun malzeme karışımı ve yoğunluğu elde edilene kadar çok küçük miktarlarda değer artışı yapılmasıdır. Geri basıncının 4 barlık değer altına ayarlanması durumunda kontrol ve kumandanın yeteri kadar hassas yapılamaması nedeniyle parça kalitesinde istikrarın sağlanması zorlaşmaktadır. Ancak bu



zorluklara rağmen günümüzde düşük geri basıncına ihtiyaç duyan plastiklerin enjeksiyonunda geri basıncının Şekil 3.16'daki gibi kontrol valfi ile kontrol edilmesinin dışında enjeksiyon vidasının geri gidiş hızının kontrol altına alındığı sistemlerde geliştirilmiştir. Geri basıncının gereğinden fazla büyük olması durumunda ise enjeksiyon vidasının adeta kilitlenerek hiç dönmemesi riski veya gereğinden fazla ön bölümde kalarak çok yavaş geriye gelmesi nedeniyle plastik malzemenin maruz kaldığı yüksek sürtünme ve sıkışma sonucunda ısıl bozulmalar ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak geri basıncı plastik parçaların uygun karışımında, yoğunlukta ve görünümde üretilmesinde ve bunun devamlılığının sağlanmasında çok önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte parçalardaki hava kabarcıklarını engelleyen veya en aza indiren faktörlerden birisidir.

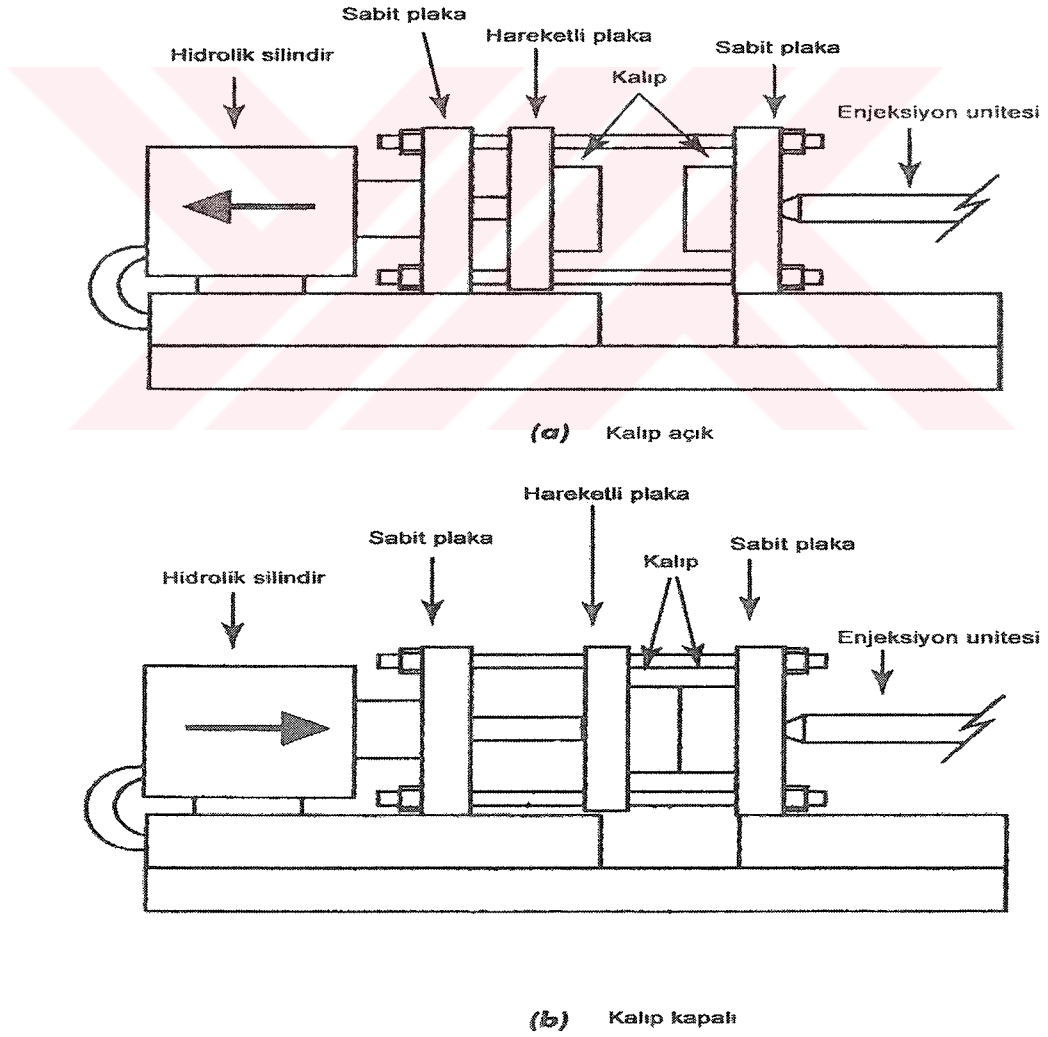
#### 3.2.4 Kilitleme Basıncı

Kilitleme basıncı enjeksiyon makinelerinde mengene ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Mengene ünitesi kalıbın bağlandığı, kalıbın kapanması, kilitlenmesi ve açılması için gerekli hareketlerin ve kuvvetlerin üretildiği birimdir. Mengene ünitesi ve kalıp birlikte kapalı bir kuvvetler sistemi teşkil etmektedirler.

Kilitleme basıncının oluşturulmasının amacı enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında kalıp içine gönderilmiş ergimiş plastiğin yol açtığı kuvvetlere karşılık kalıp plakalarının açılmasına meydan vermeden onları bir arada tutmaktır. Bu nedenle kilitleme basıncının değeri en azından enjeksiyon kuvvetlerini yenecek büyüklükte olması gerekmektedir. Kilitleme kuvvetinin yeterli olmaması durumunda enjeksiyon esnasında kalıp plakalarının açılması söz konusu olacağından parçaların etrafında çapak olarak adlandırılan plastik bir şerit oluşacak ve bu da parçaların hatalı kabul edilmesine yol açacaktır. Çapak oluşumundan başka kalıp plakalarının açılmasının bir diğer olumsuz yönü de enjeksiyon basıncının yeteri kadar iyi parçaya aktarılamaması nedeniyle yeterince sıkışmanın sağlanamaması ve parça iç yapısında zayıflıkların oluşmasıdır. Bundan başka bir de bu durumun makine etrafında çalışan kişilere kalıp plakalarından basınçla püskürecek ergimiş polimerin yaratacağı olası tehlikeleri de mevcuttur. Bu nedenle kilitleme basıncının teşkili önem arz etmektedir. Kilitleme basıncı temel olarak hidrolik ve mekanik olmak üzere iki şekilde elde edilirken bu iki sistemin birlikte çalışması prensibine dayalı hidro-mekanik sistemlerde mevcuttur. Ancak burada kilitleme sistemleri ana konumuz olmadığından sadece mekanik ve hidrolik kilitleme sistemleri kısaca tanımlanarak kilitleme kuvveti hesap yöntemine özet olarak değinilecektir.

### 3.2.4.1 Hidrolik Kilitleme

Hidrolik kilitleme sisteminde gerekli kilitleme (mengene) kuvveti bir hidrolik silindir tarafından sağlanır. Basit olarak şekilde görüldüğü gibi silindirin pistonu kalıp plakasının bağlı olduğu makine bloğuna bağlanarak ana açma kapama hareketlerini yaptırır. Bu yöntemin en büyük avantajları kilitleme basıncının belirli bir aralıkta istenen değerlere kolaylıkla ayarlanabilmesidir. Örneğin 250 tonluk kilitleme kuvveti olan bir makinenin 0-250 ton aralığında istenen bir değere rahatlıkla ayarlanabilmesidir. Bunun için silindir içine gönderilecek hidrolik akışkanın basıncının ayarlanması yeterli olacaktır. Bu özellik yapılacak işe en uygun basınç seçimi ve enerji tasarrufu için çok önemlidir. Gereğinden fazla basınç kullanımı sadece enerji sarfiyatına değil aynı zamanda makine ve kalıp üzerinde de ciddi hasarlara yol açabilmektedir.

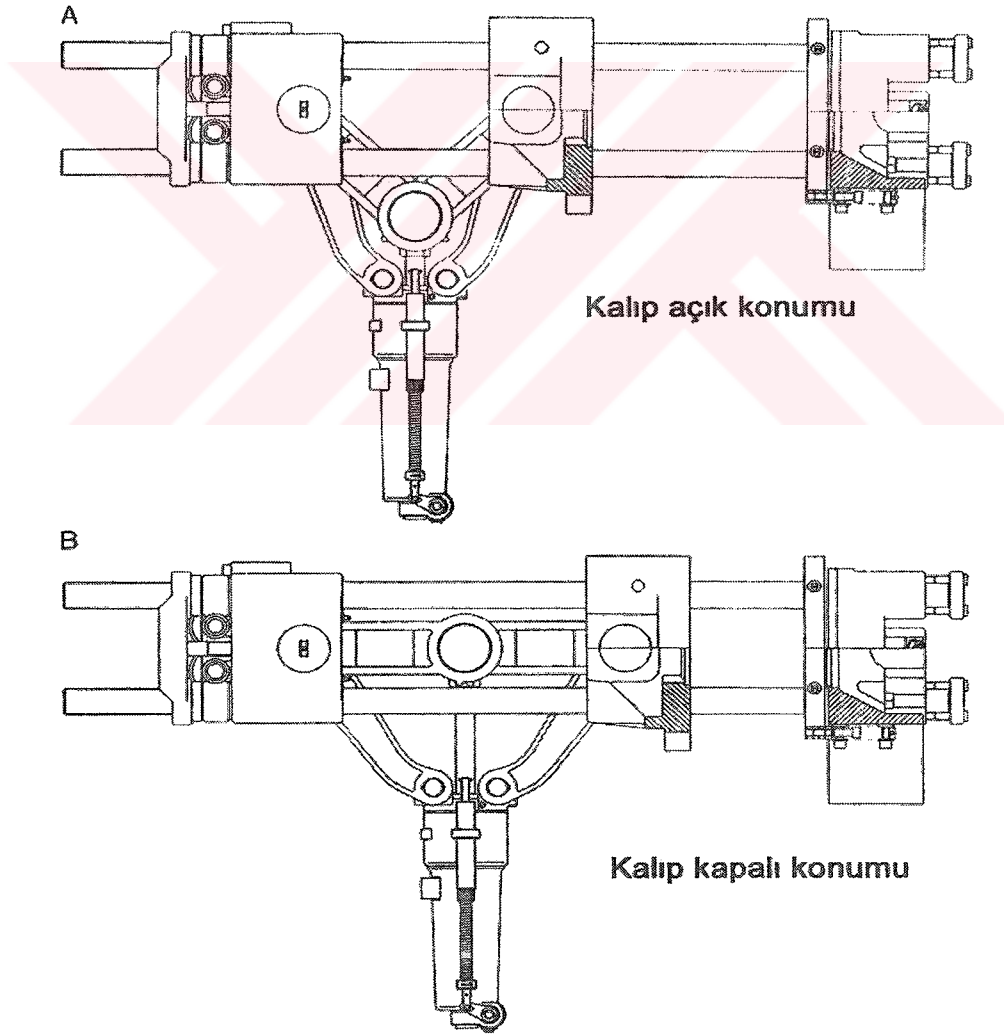


Şekil 3.18 Hidrolik kilitleme sisteminin gösterimi

Hidrolik kilitleme sisteminin en önemli dezavantajı ise kilitleme kuvvet ihtiyacının makinenin sağladığı maksimum değerlere yaklaşması ile ortaya çıkmaktadır. Yine bir örnek vermek gerekirse 250 ton kilitleme kuvveti sağlayan bir makinede 225 ton kuvvete ihtiyaç duyulması halinde enjeksiyon prosesi süresince hidrolik kilitlemenin sürekli sabit kalamayarak azalması durumu ortaya çıkmaktadır. Hidrolik sistem basıncının uzun süreli aynı değerlerde tutulamaması nedeniyle ortaya çıkan bu durum enjeksiyon esnasında kalıbın açılmasına neden olmaktadır. Bu da doğal olarak parça kalitesini bozmaktadır.

### 3.2.4.2 Mekanik Kilitleme

Mekanik kilitleme sisteminde kilitleme kuvveti bir makas mekanizması yardımıyla elde edilmektedir. Makas sistemi makinenin hareketli plakasına monte edilmiştir.



Şekil 3.19 Mekanik kilitleme sisteminin gösterimi (Johannaber,1994)

Kalıp açık konumdayken (Şekil 3.19 a), hidrolik silindir makas kollarını aktive ederek kalıbı kapatmaya başlar. Piston ilerlemeye devam ettikçe makas kolları yataya yaklaşır ve kalıp kapanarak mekanizma kilitlenir. Bu sistemin en belirgin özelliği sistem kilitlendiği taktirde enjeksiyon esnasında enjeksiyon basınçları nedeniyle açılması mümkün değildir. Elbette enjeksiyon basınçlarının gereğinden çok fazla ve uzun süreli olması durumunda makas sisteminde kırılmalara bağlı olarak açılma olacaktır. Ancak burada kilitleme durumunda mengene ünitesi maksimum kilitleme kuvvetini sürekli sağlayabilmektedir.

Mekanik kilitleme sisteminin iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki sürtünme ve aşınmalara bağlı olarak makas yataklarında zamanla boşluklar oluşmakta ve bu nedenle bunların periyodik kontrolü ve değişimi gerekmektedir. İkincisi ise makinenin kilitleme kuvvetinin hep aynı değerde ayarlı olması, başka bir değere ayarlanmasının söz konusu olmamasıdır. Bu nedenle ince cidarlı bazı kalıpların bu sistemde çalışması sorun teşkil edebilmektedir.

### 3.2.5 Kilitleme Kuvvetinin Hesaplanması

Kilitleme kuvvetinin hesaplanması için bugüne kadar pek çok çalışma yapılmış, teorik ve ampirik modeller oluşturulmaya çalışılmıştır. Bütün bu çalışmaların başlangıç şartı kilitleme kuvvetinin kalıp içinde oluşan kuvvetten daha büyük olması gerekliliğidir. Kalıp içinde oluşan kuvvet ise enjeksiyon basıncına ve parçanın izdüşüm alanına bağlıdır. Bu kuvvetin hesaplanmasında pek çok yaklaşım ve kabuller yapılmaktadır. Kullanılan en yaygın yöntemde göre enjeksiyon basıncı maksimum akış oranına ve ergiyik plastiğin viskozitesine bağlı hesaplanmaktadır. Akış oranı parça geometrisine bağlı olarak akış uzunluğunun parça kalınlığına oranı olarak belirlenir.

$$\text{Akış oranı} = L_1 / T_1$$

Burada  $L_1$  birinci kesitteki akma uzunluğu,  $T_1$  ise yine birinci kesitteki kalınlığı ifade etmektedir. Hesaplanan akış oranı ve ortalama parça kalınlığı göz önüne alınarak çizelge 3.4'den efektif enjeksiyon basıncı belirlenebilir. Burada belirtilmesi gereken bir konuda bu efektif basıncın akıcılığı kolay olan (PE, PP, Pst gibi) malzemeler göz önüne alınarak hesaplandığıdır. Bu nedenle elde edilen bu efektif basınç kullanılan diğer malzemeler için belirlenmiş katsayılar ile çarpılması gerekir.,

Çizelge 3.4 Efektif basınç tablosu ( Oswald,2001)

Akış oranı	Parça et kalınlığı (mm)												
	L/T	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
		bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
75 : 1		400	320	270	220	180	180	180	180	180	180	180	180
100 : 1		480	400	340	280	250	190	180	180	180	180	180	180
150 : 1		720	570	470	420	370	320	220	180	180	180	180	180
200 : 1		900	750	700	570	500	410	320	250	220	180	180	180
250 : 1		1000	900	800	650	550	480	350	300	250	220	200	180

Çizelge 3.5 Viskozite Faktörü (Crawford,1997)

Malzeme	Viskozite Faktörü
Polietilen, polipropilen, polistren	1
Poliamid, Stren bütadien kopolimer	1,2-1,4
CA , ABS	1,3-1,5
PMMA , mod PPO	1,5-1,7
Policarbonat , PVC	1,7-2,0
Akrilik	1,5-1,7

Çizelgeden elde edilen efektif basınç ile viskozite faktörünün çarpılması sonucu enjeksiyon basıncı belirlenmiş olur ve bu değerinde iz düşüm alanı ile çarpılması sonucu enjeksiyon kuvveti ortaya çıkar. Kilitleme kuvvetinin ise bu değerden en az % 15 daha yüksek tutularak hesaplanması gerekmektedir.

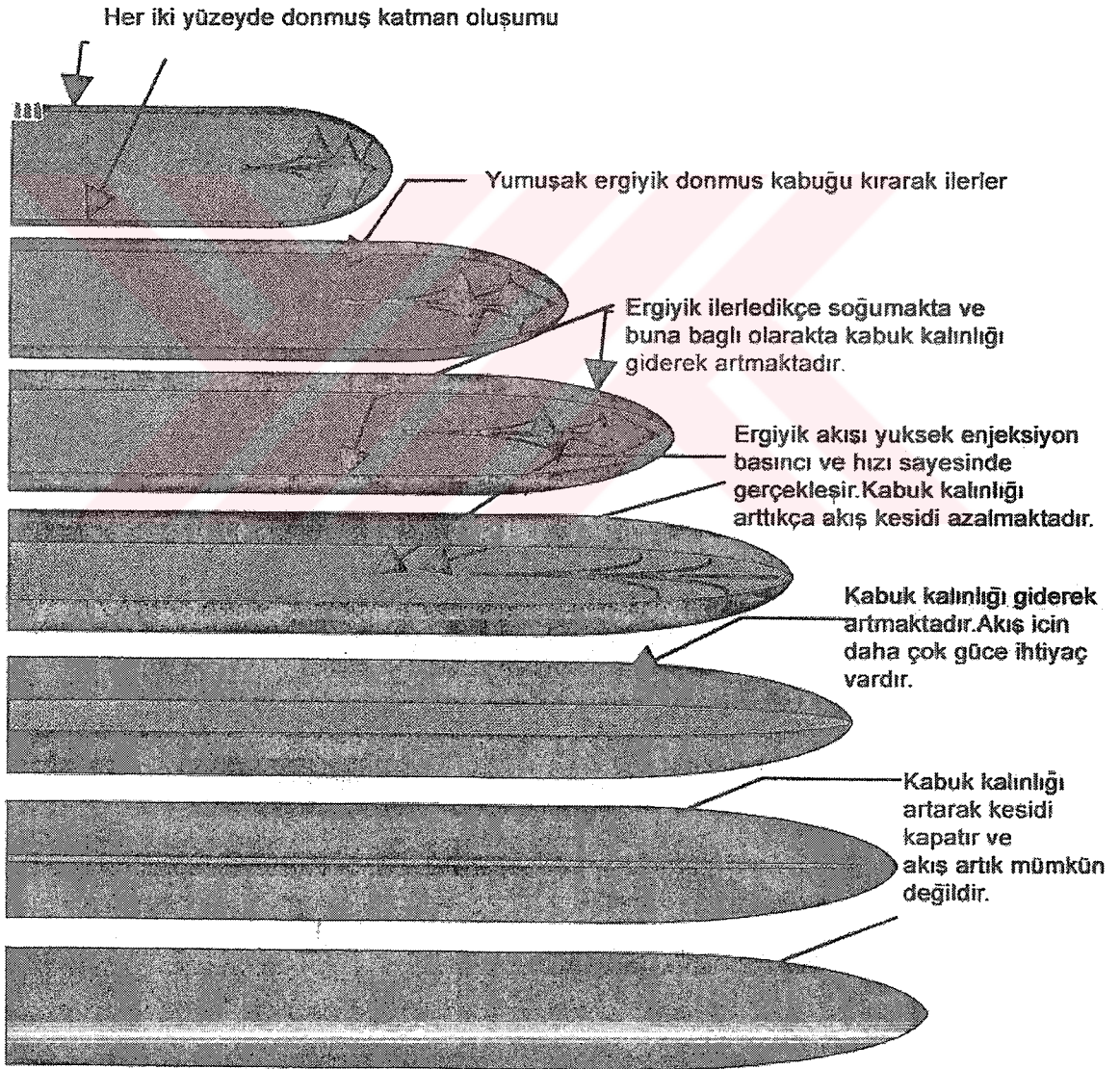
### 3.3 Hız

Enjeksiyon işleminde hızın parça kalitesi, malzeme özellikleri ve işlem verimliliği üzerinde çok önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu çok önemli etkilerine rağmen enjeksiyon makinelerinin genelinde hız özelliklerine pek dikkat edilmemesi bu özelliklerin enjeksiyoncular tarafından yeterince iyi bilinmemesi olarak yorumlanmaktadır. Enjeksiyon prosesinde üç temel hız etkili olmaktadır. Bunlar enjeksiyon hızı, vida dönüş hızı ve vida geri dönüş hızlarıdır.

### 3.3.1 Enjeksiyon Hızı

Enjeksiyon hızı ya da diğer bir deyişle enjeksiyon vidasının aksenal yöndeki hızı enjeksiyon safhasında etkili olan hızdır. Bu hızın işlem üzerindeki etkilerinin anlaşılması için önce ergimiş plastiğin akış mekanizmasının basitçe bilinmesinde fayda vardır.

Enjeksiyon işlemi sırasında ergiyik kendisinden daha soğuk olan kalıp yüzeyi ile temas etmeye başladığında yüzey ile temas eden bölgelerde kısmen donmuş ve donmakta olan katmanlardan oluşan bir kabuk meydana gelir. Bu kabuk her iki kalıp plakası soğutulduğundan her iki kalıp plakası yüzeyinde oluşur.

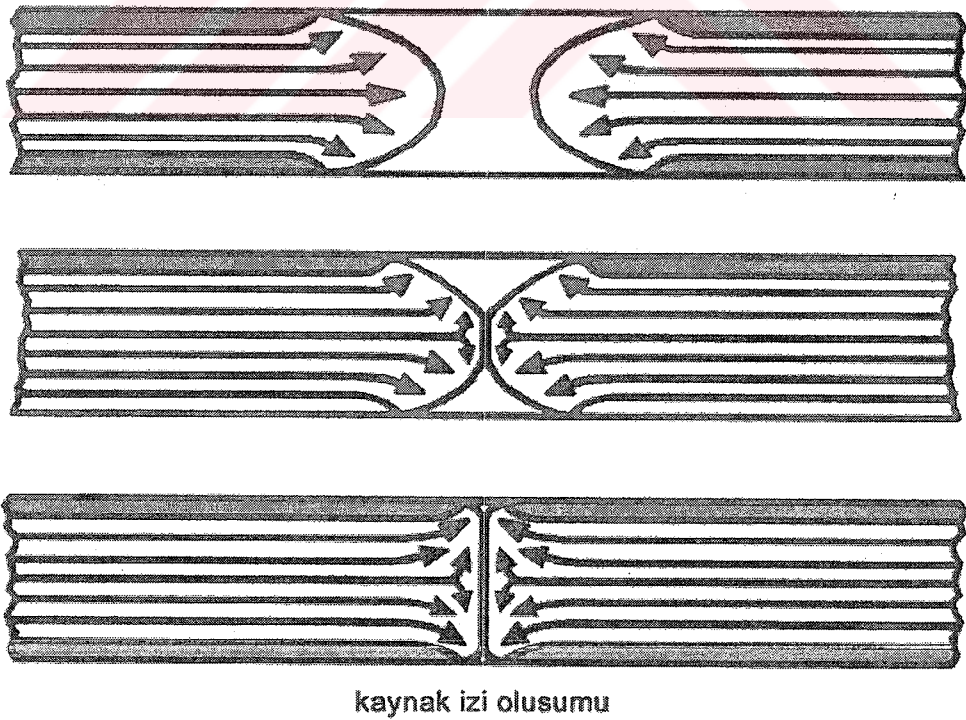


Şekil 3.20 Enjeksiyon işleminde kabuk oluşumu (Prabodh,2000)

Ergimiş plastik ayarlanan enjeksiyon hızında akışını sürdürdükçe oluşan kabuk giderek kalınlaşmaya ve sertleşmeye başlar. Sertleşen ve kalınlaşan bu kabuk enjeksiyon akışını durdurmadan önce ergimiş plastik kalıp boşluğunu tamamen doldurmuş olmalıdır. Bu nedenle akışın kabuk tarafından bloke edilmesinden önce ergimiş plastiğin hareketi için yeterli enjeksiyon hızına ihtiyaç vardır. Akış oranı arttıkça (akma uzunluğunun cidar kalınlığına olan oranı) enjeksiyon hızının da artması gerekmektedir. İnce cidarlı parçalarda soğuma hızının yükselmiş olması enjeksiyon hızının da artması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Düşük enjeksiyon hızlarında kalıp doldurulması işleminde ise kabuk kalınlığı daha hızlı artacağından gerçek akış kesiti hızla azalacaktır ve bu da akışa karşı çok güçlü bir direnç oluşturacaktır. Oluşan bu yüksek direnci yenerek enjeksiyon yapmak içinde daha yüksek enjeksiyon basınçlarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu da bitmiş ürünlerde hiç istenmeyen artık gerilimler kalmasına yol açacaktır. Parça içerisinde kalan artık gerilimler de o parçanın mekanik dayanım değerleri üzerinde önemli rol oynayacaktır. (Prabodh,2000)

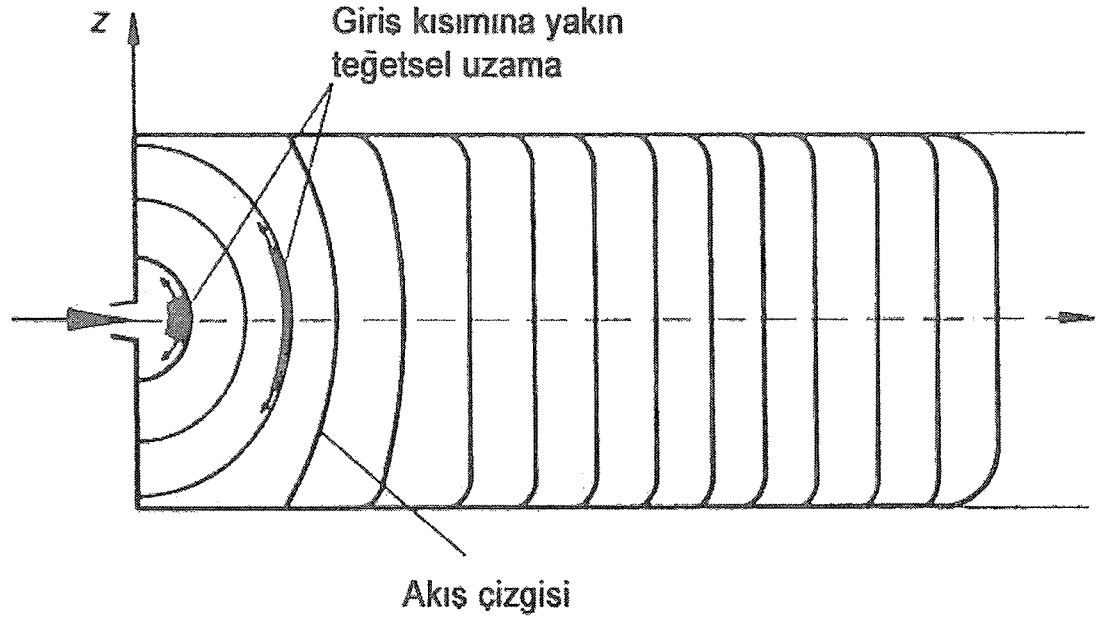
Düşük enjeksiyon hızlarının parça üzerindeki bir diğer etkisi de parça içinde kaynak izlerinin oluşmasına neden olmasıdır.



Şekil 3.21 Kaynak izi oluşumu (Beaumont,2002)







Şekil 3.23 Akış esnasında oluşan oryantasyon (Oswald,2001)

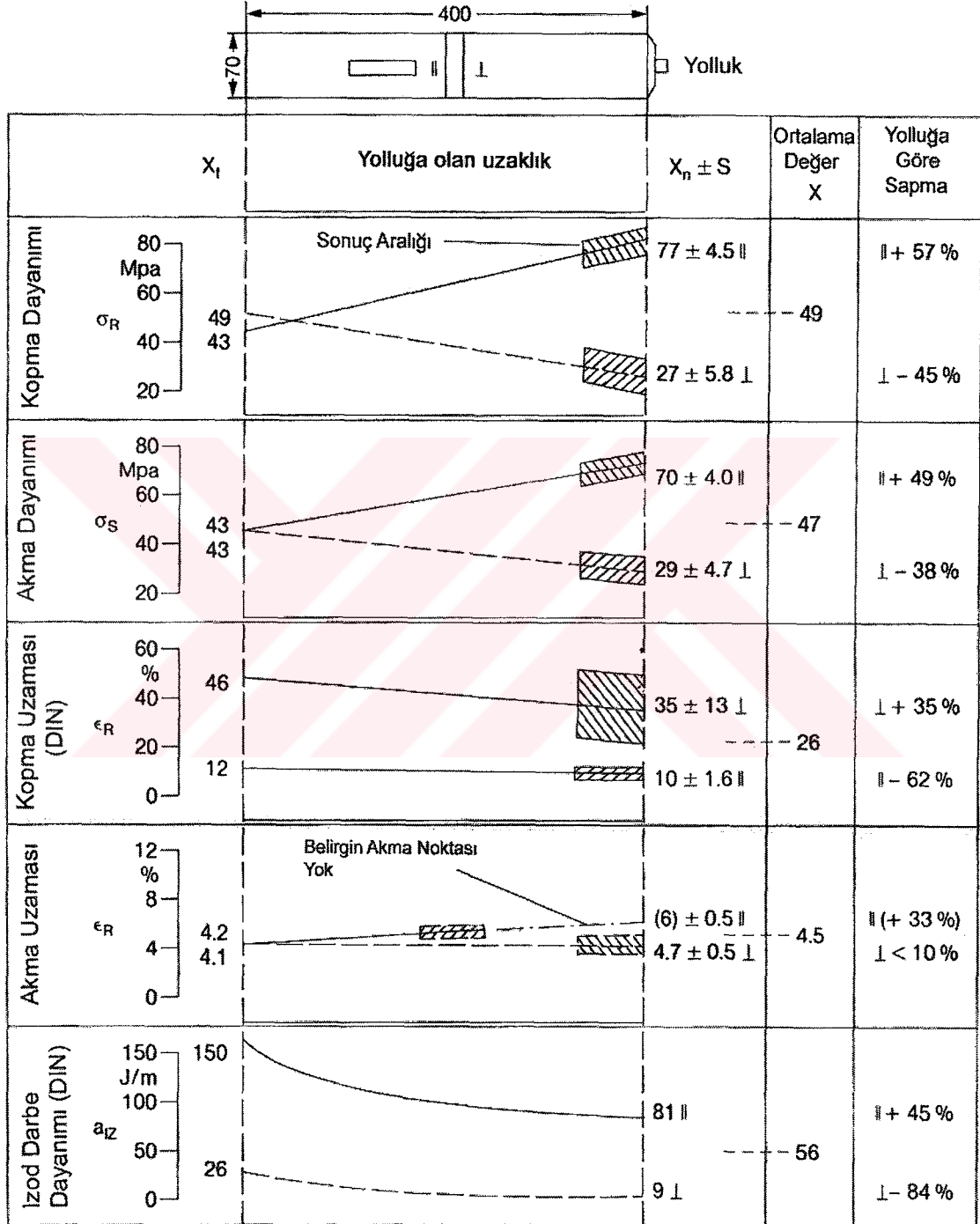
Yüksek enjeksiyon hızlarının yüksek kayma hızlarına neden olması sebebiyle kayma gerilmesinin artmasına yol açması ve bu kayma gerilmesinin de moleküler oryantasyona yol açtığı bilinmektedir. Dolayısıyla enjeksiyon hızı arttıkça enjeksiyon doğrultusundaki oryantasyonda artacaktır. Burada moleküler oryantasyonun önemini belirtmek için şekil 3.24' deki örneği incelemek yerinde olacaktır.(Beaumont,2002)

Şekil 3.24'ten de anlaşılacağı gibi moleküler oryantasyonun parça mekanik dayanımı üzerinde çok önemli etkileri vardır. Mekanik dayanımın oryantasyon doğrultusunda daha büyük, dik doğrultuda ise daha düşük olduğu görülmektedir. Enjeksiyon hızı oryantasyonu etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Yukarıdaki bölümlerde bu etki anlatılmaya çalışılmıştır.

Enjeksiyon hızının artması moleküler oryantasyonu arttırmakta ve mekanik dayanımı da bir yere kadar arttırmaktadır. Unutulmaması gereken konu ise hızın gereğinden fazla artması durumunda parça içerisindeki gerilimlerin gereğinden fazla artması söz konusu olacaktır ve bu durumda parça mekanik dayanımı üzerinde olumsuz etkileri olacaktır.

## Seluloz asetat enjeksiyonu

Et kalınlığı : 2 mm  
 Ergiyik sıcaklığı : 215 °C  
 Kalıp sıcaklığı : 15 °C  
 Akış çizgisi hızı : 80 cm/s  
 Maks kalıp iç basıncı:  $4.8 \times 10^7$  Pa



$X_1$  = yolluktan uzak sonuç     $X_n$  = yolluğa yakın sonuç    S = Standart sapma

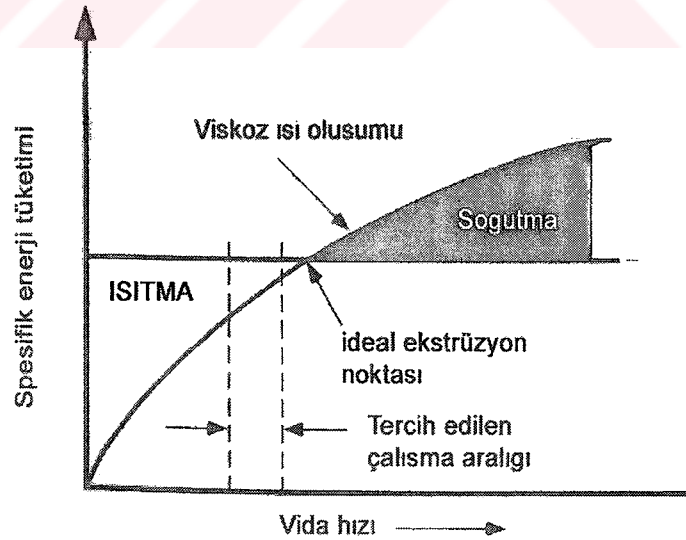
Şekil 3.24 Moleküler oryantasyonun parça mekanik dayanımı üzerindeki etkisi (Johannaber, 1994)

### 3.3.2 Vida Dönüş Hızı

Enjeksiyon işleminin biterek parçanın soğumaya bırakılması ile birlikte enjeksiyon vidasının bir sonraki baskı için besleyiciden yeni plastik partikülleri ( granülleri) alarak vida kovan sistemi boyunca ileriye göndermesini dönme hareketi ile yaptığı bilinmektedir. Enjeksiyon vidası bu dönüş hareketini belirli bir hızla yapmaktadır. Bu hız vidanın çevresel hızı veya dakikadaki dönüş sayısı şeklinde ifade edilmektedir.

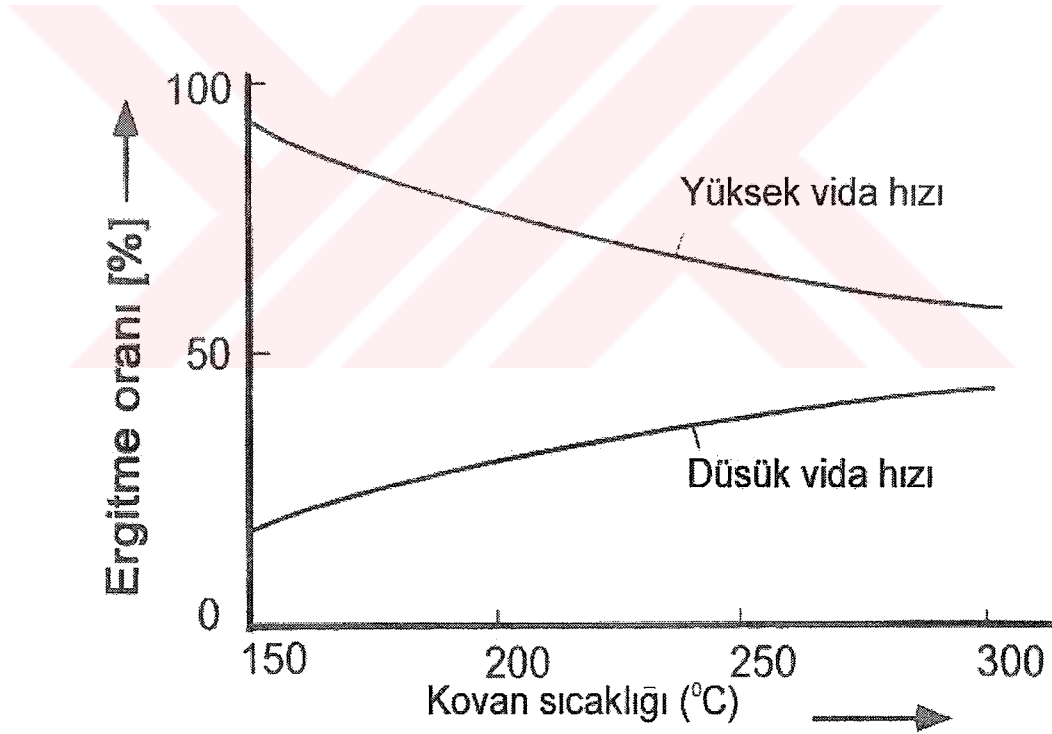
Günümüzde vida dönüş hızı enjeksiyon makinesine bağlı bir parametre olarak kabul edilmekte ve bu nedenle pek çok enjeksiyon makinesinde vida dönüş hızının ölçülmesi, değerinin değiştirilebilir olması söz konusu değildir. Ancak vida dönüş hızının ergiyik kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğu da bilinmektedir.(Johannaber,1994)

Önceki bölümlerde ergitme için gereken ısının enjeksiyon işleminde iki farklı kaynaktan elde edildiğine değinmiştik. Bunlardan ilki ısıtıcı bantlardan elde edilen elektrik enerjisi diğeri de vida kovan sisteminde sürtünme kaymalara bağlı oluşan mekanik enerjidi. Mekanik enerjinin oluşumunu etkileyen en temel parametre ise vida dönüş hızıdır. Polimer malzemeler sahip oldukları yüksek viskoziteler nedeniyle vida dönüşü ile birlikte kovan ve vida çeperi ile yaptıkları sürtünmeler ve kendi içlerinde meydana gelen kaymalar, oldukça yüksek ısıları açığa çıkarmaktadır.



Şekil 3.25 Enjeksiyonda gerekli enerji tüketiminin vida dönüş hızına olan ilişkisi (Oswald,2001)

Şekil 3.25'te enjeksiyon işleminde ergitme için gerekli enerji tüketiminin vida dönüş hızına olan ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 3.25 incelendiği takdirde vida dönüş hızının artması ile birlikte sürtünme ve kaymaya bağlı viskoz ısının artması nedeniyle ısıtıcı bantlardan iletilen ısının azalması görülmektedir. Vida dönüş hızının gereğinden fazla artması durumunda polimerin ısıl dayanım sınırının aşılmasıyla bozulma ve yanma olaylarının gündeme gelmesi söz konusu olacaktır. Bu durumda makineye bağlı soğutucu sistemlerinin devreye girerek bozulma ve yanmaya karşı önlem alması gerekmektedir. Bu nedenle maksimum ergitme oranlarını sağlamak için kovan ısı profiline vida dönüş hızını da dikkate alarak çok iyi dengelenmesi gerekmektedir. Şekil 3.26'da ergitme oranının kovan ısısına ve vida dönüş hızına bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Kovan sıcaklığı ve vida hızının ergitme oranına olan etkisi (Oswald,2001)

Düşük vida hızlarında çalışıldığı durumda kovan sıcaklığının artırılması ile ergitme oranının artacağını Şekil 3.26 göz önüne alınırsa kolayca anlayabiliriz. Çünkü düşük vida hızlarında ergitme için gerekli ısının büyük bir bölümü kovan ısıtıcılar tarafından sağlanmakta ve kovan sıcaklığının artırılması ergitmeyi arttırmaktadır. Yüksek vida hızında ise kovan sıcaklığının

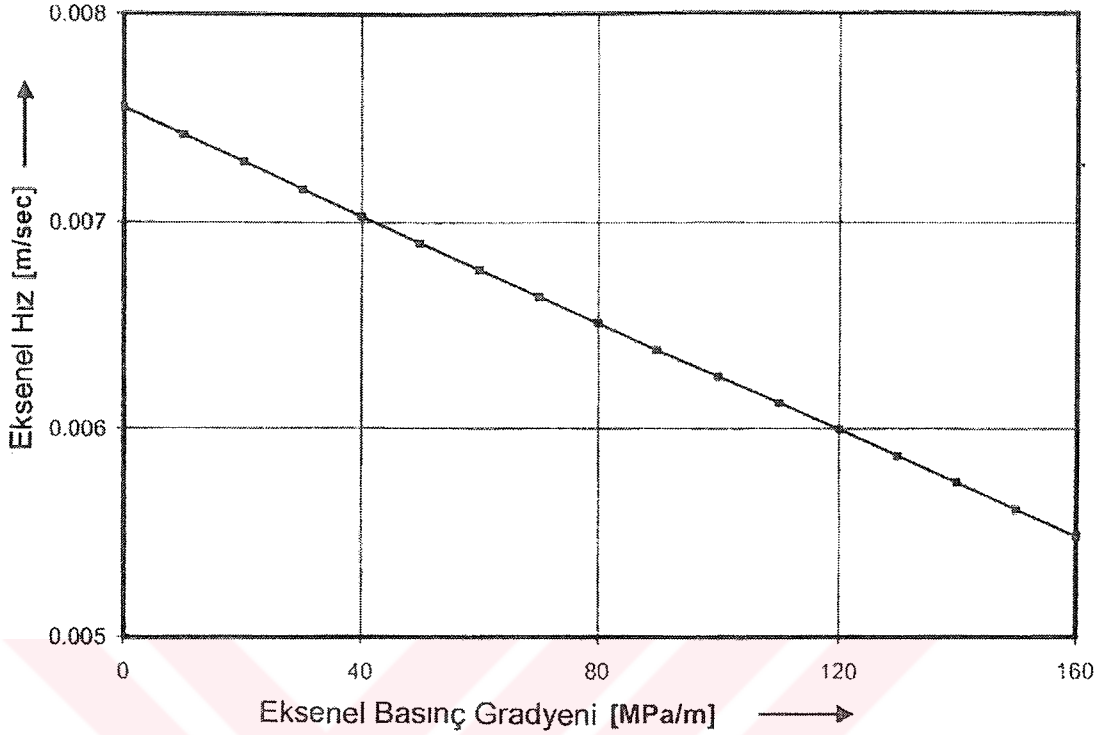
arttırılması ergitmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun en temel nedeni ise artan kovan sıcaklığının viskoziteyi düşürmesi ve buna bağlı olarak viskoz ısının düşmesidir.

Buraya kadarki bölümde vida hızının artması ile viskoz ısı oluşumunun arttığı ve bununda ergitme oranı üzerinde önemli rolü olduğunu gördük. Ancak vida hızının gereğinden fazla artması durumunda da viskoz ısının aşırı yükselmesi ve polimerin ısı dayanımının aşarak bozulmaya veya yanmaya başlaması riski taşımaması unutulmamalıdır.

Vida hızının parçalarda ergitme oranı ile olan etkisinden başka bir diğer etkilediği önemli konuda renklendirilmiş parça imalatında ortaya çıkan renk karışımları problemi. Parça üzerinde renk değişimleri ve koyu çizgiler şeklinde ortaya çıkan bu soruna yol açan pek çok faktör olmakla birlikte bunların en önemlisi yüksek vida hızıdır. Plastiğin renklendirilmesi işlemindeki esas amaç renk konsantresini (masterbatch) veya sıvı renklendirici elemanını ana reçine içerisine üniform ve homojen olarak karıştırabilmektir. Yüksek vida hızlarının bu karışımın homojen yapıda olmasına izin vermediği görülmektedir. Bunun nedeni olarak da renklendirici maddelerle ana reçinenin birbirleriyle homojen bir kaynaşma sağlayacak kadar zamanı bulamaması görülmektedir. Bu nedenle düşük vida hızlarının daha üniform yapıda karışım elde edilmesinde daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.(Prabodh,2000)

### 3.3.3 Vida Geri Dönüş Hızı

Vida geri dönüş hızı enjeksiyon işleminde mal alma prosesi esnasında enjeksiyon vidasının eksenel doğrultuda enjeksiyon stroku boyunca sahip olduğu hızdır. Daha önceki konularda da değinildiği gibi mal alma işlemi esnasında enjeksiyon vidası dönüş hareketi ile kovan sisteminin meme kısmına yeni plastik granüllerini ergiterek taşımakta ve sıkıştırmaktadır. Sıkışmakta olan ergimiş plastiğin basıncı ayarlanmış olan geri basıncı değerini aştığında ise vida geriye doğru itilmeye başlar. Bu itme hareketi neticesinde de vida geriye doğru belirli bir hız değerinde hareket eder. Vidanın bu geri dönüş hızını ise makinenin ayarlanmış olan geri basıncı değeri belirlemektedir. Bu nedenle vida geri dönüş hızı ile geri basıncı değeri birbirlerinden ayrılmaz iki parametredir ve enjeksiyon makinelerinde bu iki parametreden birisinin ayarlanabilir olması söz konusudur.



Şekil 3.27 Geri basıncı, vida geri dönüş hızı ilişkisi (Oswald,2001)

Şekil 3.27'den de anlaşılacağı gibi geri basıncının artması geri dönüş hızının azalmasına yol açmaktadır. Bu da geri dönüş süresini yani mal alma zamanını arttırmaktadır. Daha önce geri basıncı kısmında da incelediğimiz gibi mal alma işleminde geri basıncı değerinin ( veya vida geri dönüş hızı değerinin ) basılan parçanın homojen yapıda olmasında, parça ağırlığında, yoğunluğunda ve görünüşünde bir istikrar yakalanmasında önemli bir rolü vardır. Bu nedenle vida geri dönüş hızı çok iyi tespit edilmelidir. Gereğinden yüksek seçilen hız değerleri mal alma zamanını çok azaltacak, polimer malzeme vida kovan sistemi içinde enjeksiyona hazır hale gelmek için yeterli süreyi bulamayacak, yeterince iyi bir ergitme sağlanamayacak ve buna bağlı olarak üretilen parçanın yoğunluğu istenen seviyede olamayacaktır. Gereğinden düşük seçilen hız değerinde ise mal alma süresi uzayacaktır. Bu da polimerin gereğinden fazla süre ısı etkisi altında kalmasına yol açacak ve ısıl dayanımı aşılmalarda bozulma ve yanmalara yol açılacaktır. Bu nedenle geri basıncı ve vida geri dönüş hızları birbirlerine bağlı olarak polimerin yapısal ve termal özelliklerine göre tespit edilmesi şarttır.

Mal alma işlemi enjeksiyon işleminde enjeksiyondan hemen sonra parça kalıp içerisinde soğumaya bırakıldığında gerçekleşen bir işlemdir. Bu nedenle mal alma işleminin hızının toplam enjeksiyon çevrim süresi üzerinde pek bir etkisi yoktur. Kalıp plakalarının kapalı ve

parçanın ayarlanan bekleme süresi kadar bekleme konumunda olması nedeniyle mal alma hızının yükseltilerek zamandan tasarruf edilmesi pek mümkün değildir. Ancak soğuma süresinden yararlanılarak pratikte mal alma süresinin tespiti ile ilgili bazı uygulamalar vardır. Bunlardan en yaygını da mal alma süresini soğuma süresinin 2/3'ü oranında tespit edilmesi şeklindedir. (Prabodh,2000)

### 3.4 Zaman

Enjeksiyon işlemi boyunca pek çok işlem gerçekleşmektedir. Bunlardan bazıları birbirleriyle aynı anda yani paralel olarak gerçekleşirken bazıları da birbirlerini takip eden yani birinin bitip diğerinin başladığı süreçte yer almaktadırlar. Doğal olarak gerçekleşen bütün bu enjeksiyon işlemlerinin ayrı ayrı süreleri vardır.

Toplam çevrim zamanı enjeksiyon işleminde meydana gelen tüm işlemlerin sürelerini içeren zamandır. Bu genellikle çevrim içerisinde operatörün enjeksiyon makinesine ait sürgüyü kapatmasıyla başlayan ve bu işlemi tekrar yaptığı ana kadar olan süreyi belirtmektedir. Toplam çevrim zamanı bir ürünün üretilmesi için geçen sürenin tam olarak bilinmesinin tek yoludur. Bu sürenin parça kalitesi üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri olduğu kadar parça maliyetinin üzerinde de inanılmaz bir etkisi vardır.

Toplam çevrim zamanı operatörün sürgüyü kapamasıyla başlayan bir süreçtir ve bu süreçte pek çok hareket bir arada gerçekleşmektedir. Aşağıdaki çizelgede enjeksiyon prosesinde gerçekleştirilen hareketler ve bunların yaklaşık süreleri verilmeye çalışılmıştır. Burada unutulmaması gereken şey bu zaman değerlerinin makine tipi, malzeme çeşidi, basılan parça şekli, kalıp ve yolluk durumu, soğutma ve soğutma şartları gibi faktörlerle yakından ilgili olması ve bu faktörlerdeki değişimlere göre artıp azalacak olmasıdır.

Çizelge 3.6 Enjeksiyon işleminde zamanlar (Douglas,1996)

<b>Parametre</b>	<b>Ortalama Zaman</b>
Sürgü kapanma süresi	1 saniye
Kalıp kapanma süresi	4 saniye
İlk enjeksiyon süresi	3 saniye
Tutma basıncı süresi	5 saniye
Soğuma süresi	12 saniye
Vida dönüş süresi(mal alma süresi)	8 saniye
Kalıp açma süresi	4 saniye
Parça çıkarma süresi	3 saniye
Kalıp kontrol, temizlik ve sprej süresi	2 saniye

Enjeksiyon prosesinde gerçekleşen sürelerin içerisinde bitmiş parça kalitesi üzerinde en çok etkisi olan toplam çevrim zamanı ve soğuma zamanlarıdır.

Toplam çevrim zamanının en önemli etkidiğı parametre ısı dayanımdır. Çevrim süresi ne kadar kısa olursa ısı dayanımın aşılması riski de o kadar az olmaktadır. Uzun çevrim zamanları vida kovan sisteminde enjeksiyon için bekleyen ergimiş plastiğın daha uzun süre ısı ile temas etmesine neden olacağından ısı dayanımının aşılması riski artmaktadır. Bu nedenle enjeksiyon işlemindeki tüm hareketlerin zamanlarının optimum değerlerde tespit edilmesi ve çalışma esnasında da bu değerlere uyulması çok önemlidir.

Soğuma zamanı ise direkt olarak parça kalitesine etki eden bir parametredir ve belki de en önemli zamandır. Soğuma zamanı tutma basıncı safhasından sonra kalıp içerisindeki ergimiş plastiğın katılarak kalıptan ıkarılabileceğı kıvama gelene kadar beklenmesi için geçen süredir. Burada önemli olan katılma için yeterli sürenin beklenmesi değıl asıl önemli olan kalıptan itici yardımıyla ıkarılabileceğı rijitliğe ulaşılmasıdır. Zira parçalarda katılma başlamış olduğı halde yeteri kadar rijitlik sağlanamamış olabilir. Enjeksiyon parçalarının soğumalarının yaklaşık %90 'lık bölümü kalıpta olurken geri kalan kısmı ise 30 günlük bir süre içerisinde tamamlanmaktadır. Burada önemli olan kalıptaki parçanın yeterli donmuş kabuk kalınlığına sahip olmasıdır. Eğer bu sağlanmışsa kalıp dışındaki soğumanın parça üzerinde herhangi bir olumsuzluğu söz konusu değıldir. Ancak yeterli kabuk kalınlığı sağlanamamışsa kalıp dışına çıkarken bir takım deformasyonlar oluşabileceğı gibi soğuma esnasında da çekmeden kaynaklanan gerilimler parça üzerinde arpılmalara, burkulma ve çatlaklara yol açılabilecektir.(Douglas,1996)

Soğuma zamanında yapılması gereken olay parçayı mümkün mertebe kalıpta uzun süre tutmaktır. Ancak burada gereğinden uzun tutmanın çevrim zamanına ve maliyetlere olan etkisinin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir.



#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Plastik enjeksiyonda, istenilen boyut hassasiyetinde, mekanik ve fiziksel özelliklerde parça üretimi için enjeksiyon parametrelerinin sağlıklı bir şekilde kontrolü ve uygulanması gerekmektedir.

Bu bölümde, enjeksiyon parametrelerinin enjekte edilmiş parçalar üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için deneysel çalışma yapılacaktır. Tezin önceki bölümlerinde enjeksiyon parametrelerinin parça kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

##### 4.1 Deney Malzemesi

Deneysel çalışmada kullanılacak olan malzeme TPU (termo plastik poliüretan elastomer) dir. Önceki bölümlerden de hatırlanacağı gibi termoplastik elastomerler termoset malzemelere çok yakın dayanım özellikleri sergilerken termoplastikler gibi şekillendirilebilen bir malzeme sınıfıdır.

TPU kauçuğun özelliklerini gösteren termoplastik bir malzemedir. Günümüzde poliüretan elastomerler hızla büyüyen termoplastik elastomerler sınıfı içinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bunlar termoplastik olarak işlenebilen homojen ilk elastomerlerdir. Bir poliüretan elastomeri sert ve yumuşak olmak üzere iki segmentten oluşmaktadır. Uzun, esneyebilen yumuşak segmentler düşük sıcaklık, çözücü ve hava şartlarına karşı direnç özelliklerini kontrol eder. Esneklik özelliği veren yumuşak segmentin iki türü vardır. Bunlar polieterler ve poliesterlerdir. Polieter bazlı elastomerler suya daha iyi dayanırlar ve düşük sıcaklıkta esnekliğe sahiptirler. Poliester bazlı elastomerler ise daha sert olup yağlara karşı daha iyi direnç özelliği gösterirler.

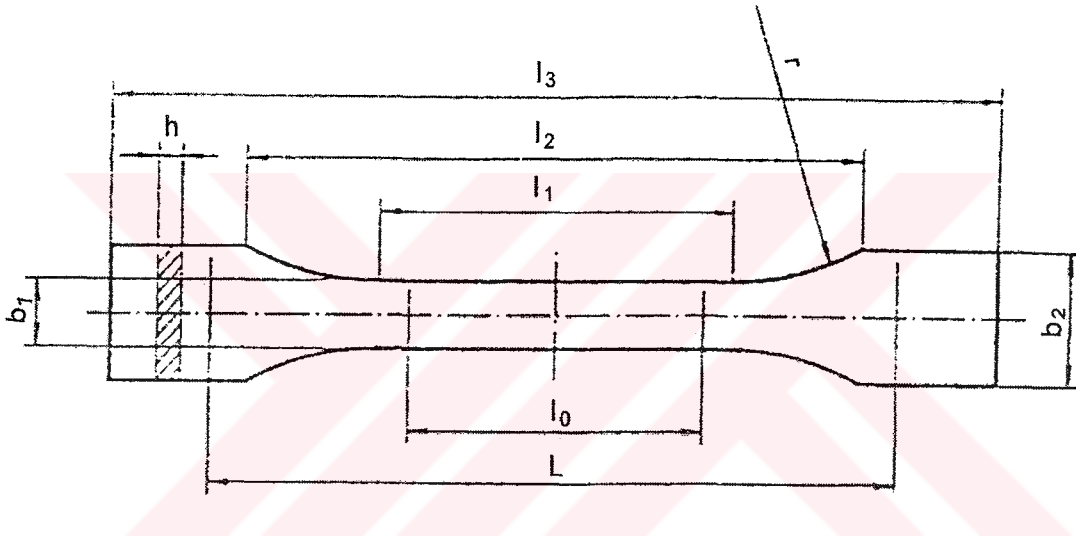
Termoplastik poliüretanlarda kristalin uçlu segmentler yüksek sıcaklıklarda çalışma olanağı ve yağlara karşı dirençli olma özelliği vermektedir. Sert segmentlerin seçimi çözücülere karşı direnç özelliklerini ve üst çalışma sıcaklığını tayin eder. Sert segmentler diizosiyanat ve zincir uzatıcı birimlerden meydana gelmektedir.

Termoplastik poliüretanlar yüksek gerilme direnci ve uzama gibi çok iyi fiziksel özelliklere sahiptirler. Shore sertliğine bağlı olmak üzere bazı türleri 25 Mpa dan düşük gerilme özellikleri gösterirken daha sert türleri ( 50 – 80 shore D ) yüksek gerilme direnci göstermektedir. Tpu'ların en önemli avantajları aşınma dirençlerinin yüksek olması , geniş sıcaklık aralığında esneklik ile çok sayıda yağ ve greslere karşı iyi direnç göstermeleridir. -40 ile 140 derece arasında kullanım imkanı bulunmaktadır. Tekstil

laminasyonunda , koruyucu örtü , elektrik malzemeleri , spor ayakkabı tabanı , yangın hortumları bazı önemli kullanım alanlarıdır.

#### 4.2 Deney Numunesi ve Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan deney prensipleri TS 1398-1 / EN ISO 527-1’de verilen prensipler çerçevesinde alınmıştır. Bu nedenle deney numunesi TS 1398-2 / EN ISO 527-2’de tip 1 A olarak belirtilen doğrudan kalıplanmış çok amaçlı deney parçaları için tarif edildiği şekilde yapılmıştır. Şekil 4.1’de deney numunesinin resmi gösterilmiştir ve çizelge 4.1’de de deney numunesinin ölçüleri belirtilmiştir.



Şekil 4.1 TS 1398-1’e göre tip 1-A deney parçası

Çizelge 4.1 Deney numunesi ölçüleri

$l_3$	Toplam Uzunluk	202 mm
$l_1$	Dar Paralel Kenarlı Kısım Uzunluğu	80,8 mm
$r$	Yarıçap	22,5 mm
$l_2$	Geniş Paralel Kenarlı Kısımlar Arasındaki Mesafe	109 mm
$b_2$	Uçlardaki Genişlik	20,2 mm
$b_1$	Dar Kısım Genişliği	10,1 mm
$h$	Tercih Edilen Kalınlık	4 mm
$h_3$	Ölçme uzunluğu	50 mm
$L$	Çeneler Arasındaki Başlangıç Mesafesi	115 mm

Deneyde yukarıdaki şekilde ve verilen standartlardaki ölçülerde hazırlanmış olan deney numuneleri TPU malzemesinden şekil 4.2'deki kalıp kullanılarak enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Numune kalıbı

Numuneler şekil 4.2'deki alüminyum kalıp kullanılarak Ottogalli S.p.a düşey kalıplama prensibiyle çalışan bilgisayar kontrollü enjeksiyon makinesi yardımı ile elde edilmiştir.

Deneyde farklı enjeksiyon basınçları uygulanarak elde edilmiş parçalara TS 1398-1'e göre çekme dayanımı deneyi, TS 1181'e göre de sertlik ölçümü deneyleri yapılmıştır.

### 4.3 Deney Şartları

Deneyde altı farklı enjeksiyon basıncı parametresi kullanılarak baskılar yapılmıştır. Diğer tüm parametreler sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır. Değişken olan enjeksiyon basıncı değerleri çizelge 4.2'de gösterilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.2 Enjeksiyon basıncı değerleri

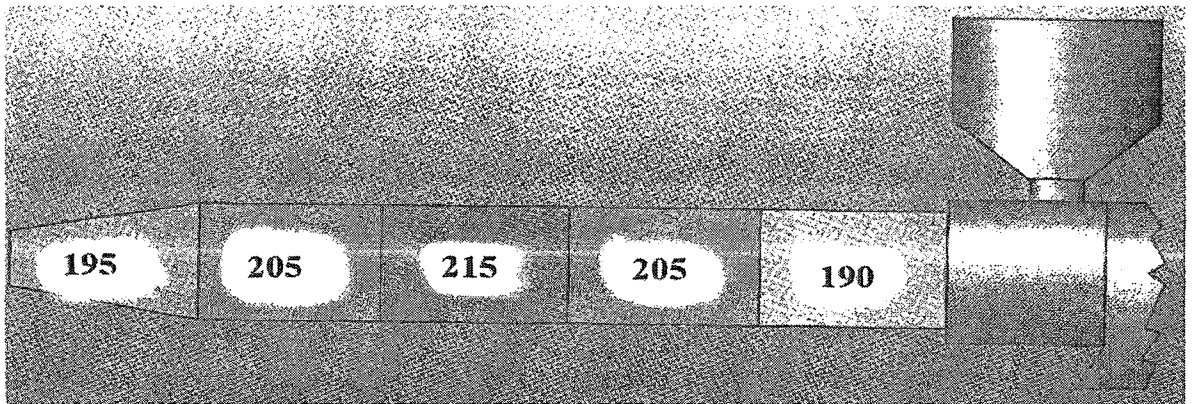
Parametre	1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum	6. Durum
Enjeksiyon basıncı (bar)	45	60	75	90	105	120

Sabit olan diğer tüm enjeksiyon parametreleri de çizelge 4.3'te gösterilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.3 Sabit parametreler

Parametre	Sabit Değerler
Tutma Basıncı (bar)	40
Enjeksiyon Süresi (s)	5
Tutma Süresi (s)	5
Enjeksiyon Hızı (l/dak)	60
Soğuma Süresi (s)	15
Geri Basıncı (bar)	4

Çizelge 4.3'de gösterilmeyen bir diğer önemli enjeksiyon parametresi de sıcaklıktır. Vida kovan sisteminin sıcaklık ayarları beş farklı bölgede yapılmaktadır. Şekil 4.3'de TPU için tavsiye edilen ocak sıcaklıkları verilmiştir. Bizim deneyimizde de bu tavsiye edilen ocak sıcaklıkları aynen uygulanmıştır.



Şekil 4.3 Deneyde kullanılan ocak sıcaklıkları

#### 4.4 Deneyin Yapılışı

Yukarıdaki bölümde belirtilen sabit deney parametreleri enjeksiyon makinesinde ayarlandıktan sonra ilk önce enjeksiyon basıncı olarak 45 barlık değer girilmiştir. Bu aşamada su soğutmalı alüminyum deney kalıbı makineye bağlanarak kalıp sıcaklığı 30-35 °C'de kalacak şekilde soğutma ayarı yapılmıştır. Besleme hunisine kurutma fırınından çıkarılan 2-2,5 saat 80-85 °C'de bekletilerek kurutulmuş TPU granülleri yerleştirilmiştir. Daha sonra arka arkaya 10 tam baskı yapılmış ve ilk 5 baskı sonucu elde edilen deney parçaları değerlendirme dışı bırakılarak son 5 baskı çekme ve sertlik deneyleri için ayrılmıştır. Burada ilk 5 baskının değerlendirme dışı bırakılmasının nedeni enjeksiyon prosesinin randımanlı hale gelmesinin sağlanması ve homojen özelliklerde parça elde edilmesi için bir önlemdir. Enjeksiyon prosesinde hiçbir zaman yapılan bir değişiklik etkisini hemen ilk baskılarda göstermemektedir. Bu nedenle ilk baskıların değerlendirme dışı kalması yerinde olacaktır. Aynı zamanda kalıp sıcaklıklarının da birbirine yakın değerlerde olması sağlanmaya çalışılmıştır.

Daha sonra aynı işlemler diğer basınç değerleri içinde aynı şekilde yapılarak deneyde kullanılacak örnekler elde edilmiştir.

#### 4.5 Deneyin Sonuçları

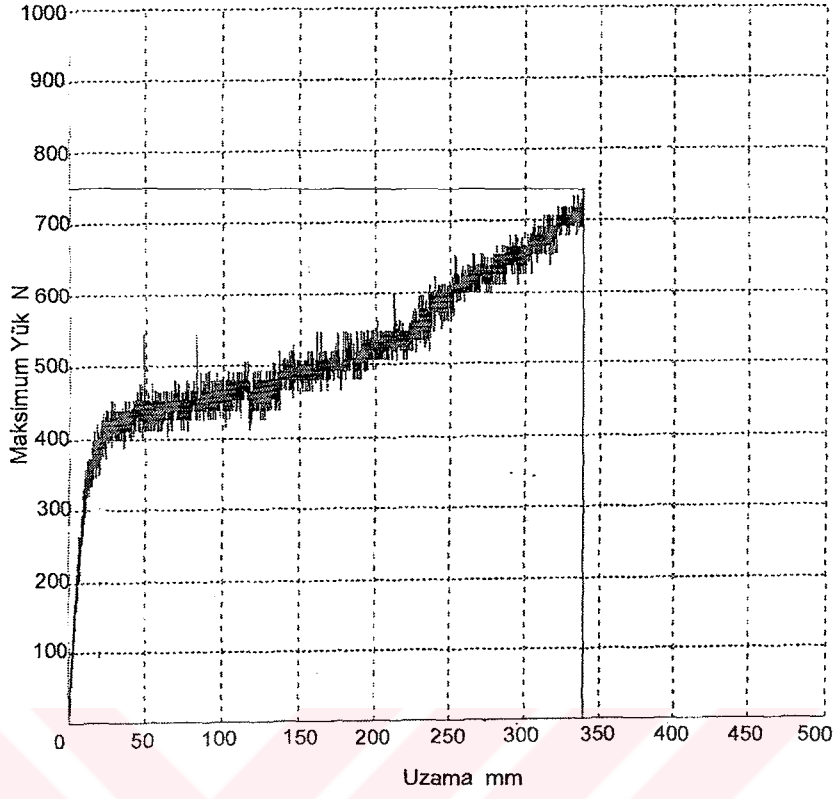
Elde edilen deney numunelerine TSE Gebze kalite kampüsü , makine ve malzeme laboratuvarlarında TS 1398-1'e göre çekme deneyi, tekstil ve kimya laboratuvarlarında da TS 1181'e göre sertlik deneyi uygulanmıştır.

Deney sonuçları çizelge 4.4'de ki gibidir;

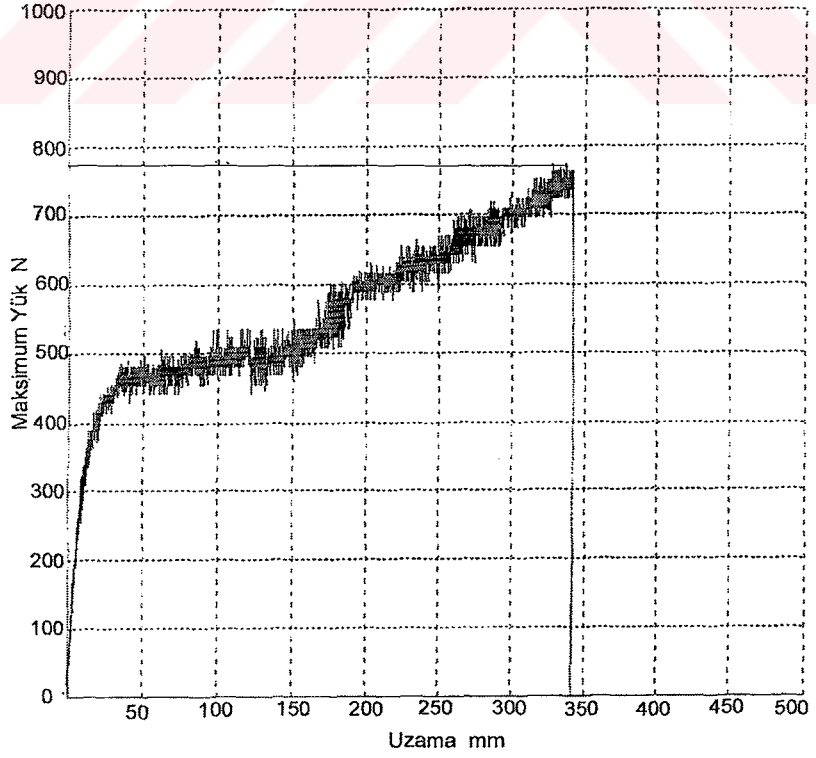
Çizelge 4.4 Deney sonuçları gösterimi

Deney numunesi	1	2	3	4	5	6
Enjeksiyon basıncı( bar)	45	60	75	90	105	120
Maksimum Yük ( $F_{max}$ ) N	768	773	783	803	870	910
Kopma Uzaması (mm)	340	337	365	370	430	472
Sertlik ( shore D)	55	55,5	56,5	57	57,5	57

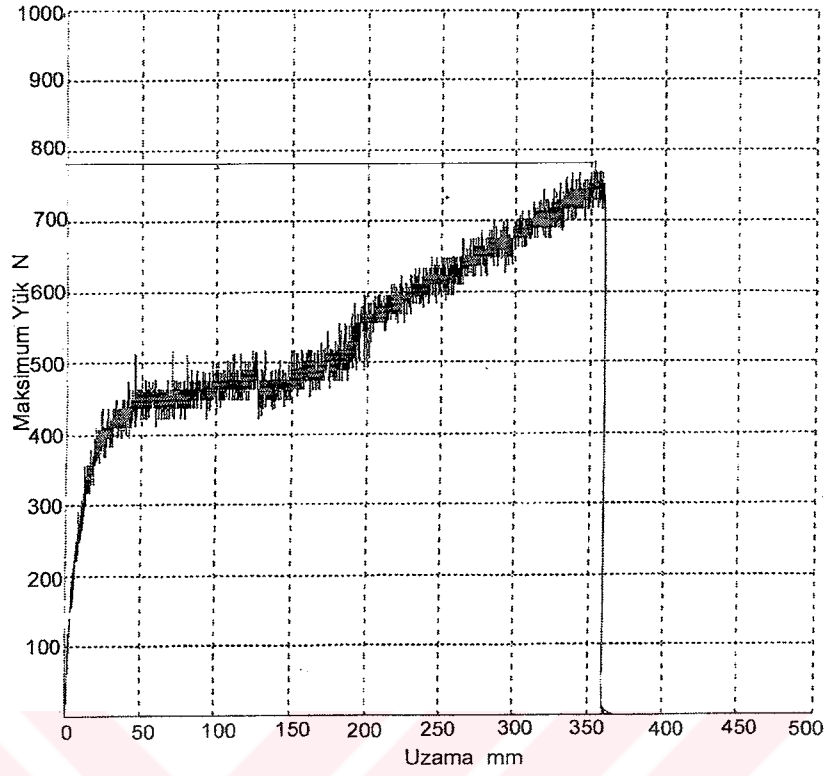
Çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme eğrileri de aşağıda verilmiştir.



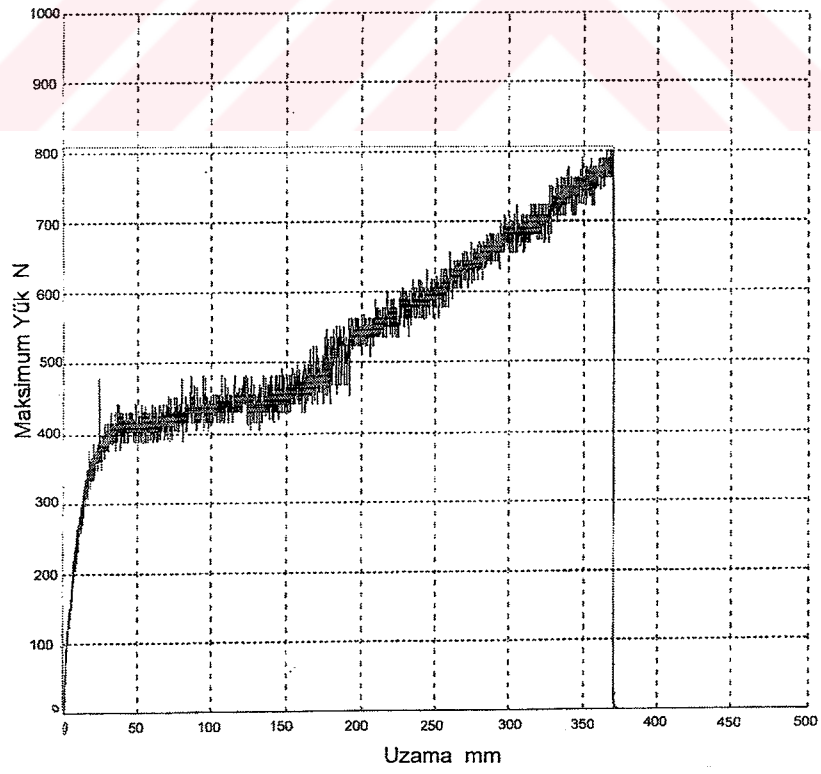
Şekil 4.4 Deney No:1 için elde edilen çekme eğrisi



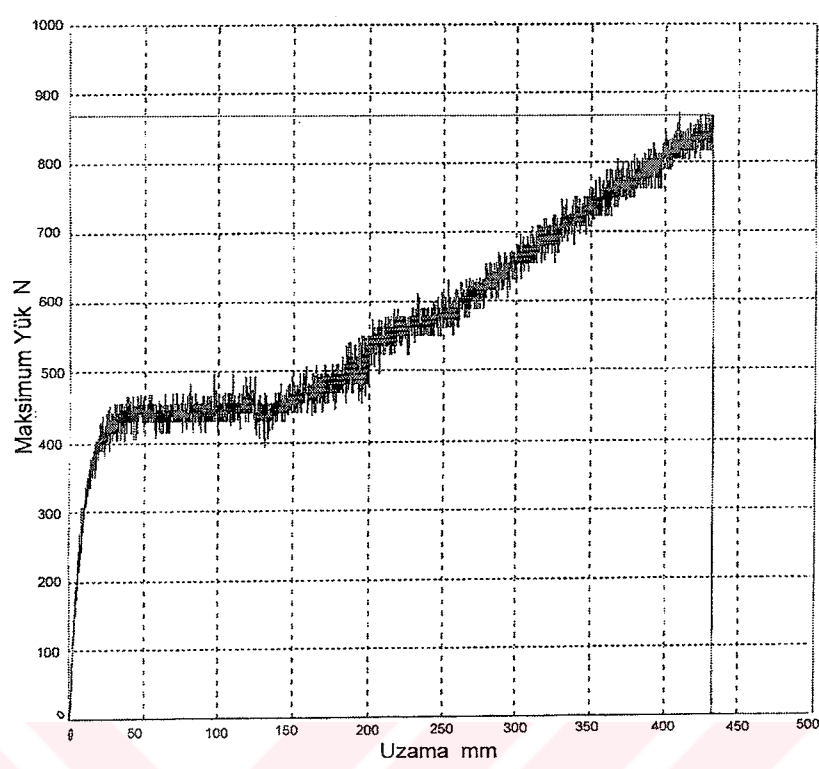
Şekil 4.5 Deney No:2 için elde edilen çekme eğrisi



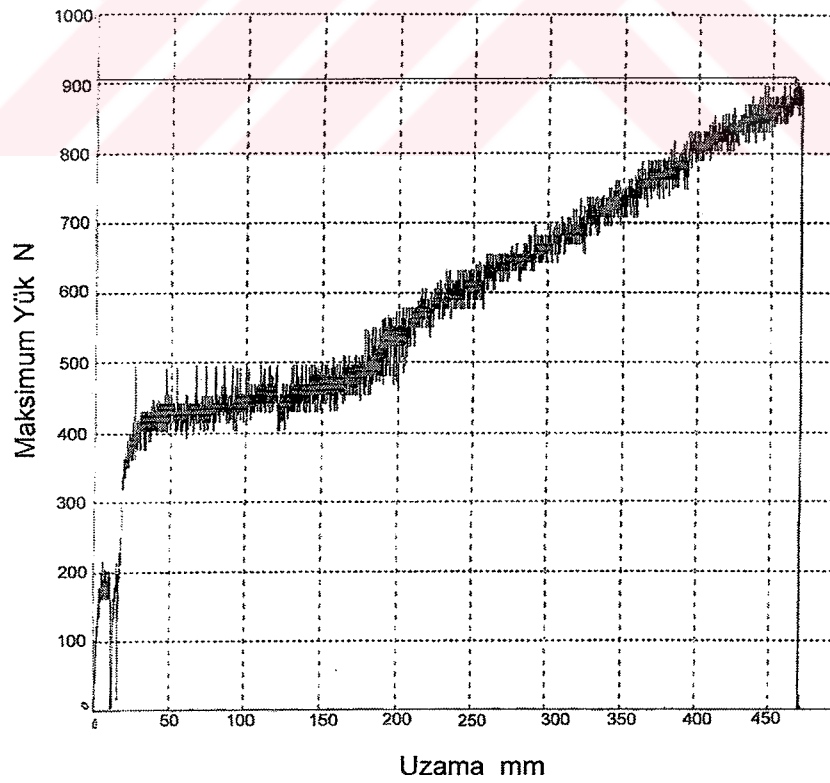
Şekil 4.6 Deney No:3 için elde edilen çekme eğrisi



Şekil 4.7 Deney No:4 için elde edilen çekme eğrisi



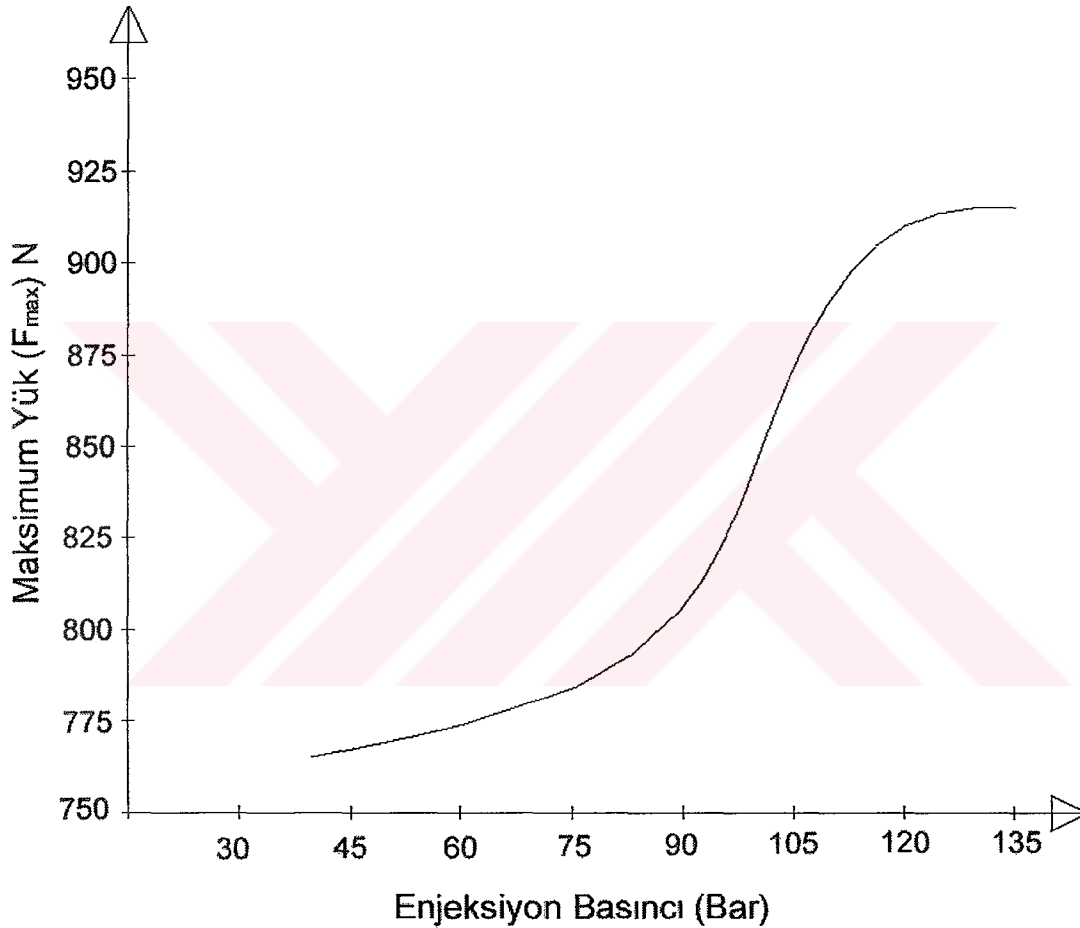
Şekil 4.8 Deney No: 5 için elde edilen çekme eğrisi



Şekil 4.9 Deney No:6 için elde edilen çekme eğrisi



Deney sonucunda çekme dayanımında enjeksiyon basıncının yükselmesiyle birlikte artış olduğu görülmektedir. Bir numaralı deney çubuğu 45 barlık enjeksiyon basıncı ile elde edildiğinde 768 N'luk bir yük altında koparken, altı numaralı deney çubuğu 120 barlık enjeksiyon basıncında elde edilmiş ve 910 N'luk bir yük altında kopmuştur. Dolayısıyla enjeksiyon basıncı artışının parça iç yapısını sıkıca bir arada tutması sonucu iç yapının daha ince taneli oluşması çekme dayanımını arttıran bir etken olmuştur. Aynı nedenden ötürü uzama miktarlarında da enjeksiyon basıncının artması ile birlikte bir artış görülmektedir.

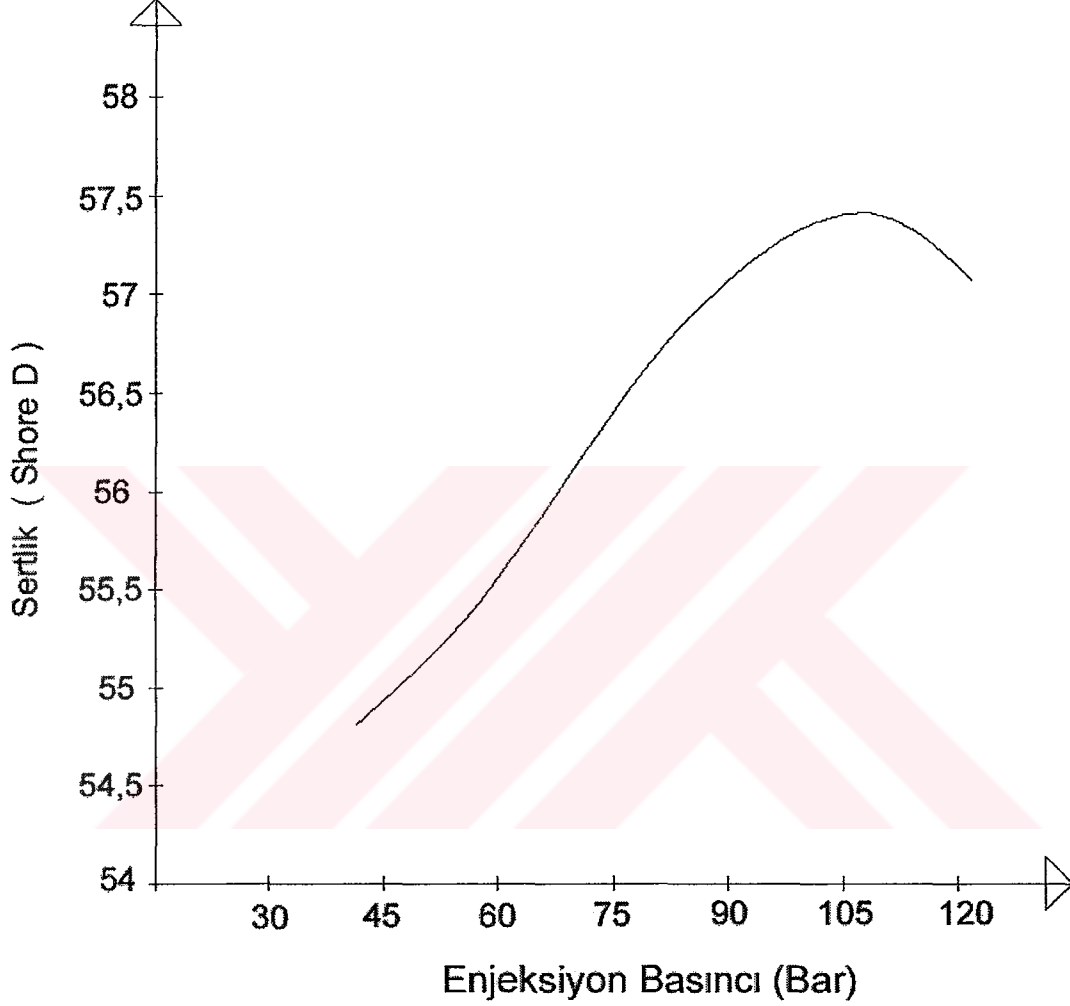


Şekil 4.10 Enjeksiyon Basıncının Çekme Dayanımına Etkisi

Şekil 4.10'da yapılan çekme deneyinin sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Buna göre enjeksiyon basıncının artması ile kopma için gerekli olan maksimum yük değerinde dolayısıyla malzemenin çekme dayanımına olan etkisinin artacağını söyleyebiliriz.

Enjeksiyon basıncının sertlik üzerindeki etkisi konusunda bölüm 3.2.1'de ayrıntılı bilgiler verilmiş ve şekil 3.15'te artan enjeksiyon basıncının parça sertliği üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Yapılan deneyde artan enjeksiyon basıncının parça sertliği üzerinde bir artışa

yol açması beklenmektedir. Çizelge 4.4'te artan basınç değerlerine karşılık gelen sertlik değerleri verilmiştir. Değerler incelendiğinde çekme deneyinde olduğu gibi enjeksiyon basıncının yükselmesi ile birlikte parça iç yapısının daha sıkı bir şekilde oluşması nedeniyle parça sertliğinde de artışlar kaydedilmiştir.



Şekil 4.11 Enjeksiyon Basıncının Sertlik Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.11'e göre enjeksiyon basıncının artışı ile parça sertlik değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Bunun en temel nedeni yükselen basıncın parça iç yapısını daha sıkıca bir arada tutması ve daha sıkı bir iç yapı elde edilmesidir. Gereğinden yüksek yapılan enjeksiyon basınçlarında ise kristalizasyon engellenerek parça iç yapısı bozulmaya başlayacağından sertlikte dahil olmak üzere pek çok mekanik özellikte düşüş görülecektir.

## 5. SONUÇLAR

Teorik ve deneysel olarak yaptığım bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Ergiyik sıcaklığının ısı dayanımına olan etkisi, türbülanslı akış ve yol açtığı sorunlar, parça mekanik dayanımına olan etkileri, kendini çekme ve boyut hassasiyeti üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Yüksek sıcaklığın ısı bozulmalara, türbülanslı akışa yol açacağı, düşük sıcaklıkların ise bulutlanma ve mekanik dayanımda azalmaya yol açacağı anlaşılmıştır.
- Kalıp sıcaklığının parçalardaki gerilim farklılıklarına etkisi, parçalarda yol açabileceği görüntü bozuklukları ve bozuk kesimler, boyut hassasiyetine olan etkileri incelenmiş, kalıp sıcaklığının azalması ile sertlik değerinde artışlar görülmüş, sıcaklığın artması ile çekme dayanımında artışlar belirlenmiştir..
- Hidrolik sistem ve kurutma sıcaklıklarının ayrı ayrı parça üzerindeki olumsuzlukları gösterilmeye çalışılmıştır.
- Enjeksiyon üzerinde en önemli etkilerden biri olan enjeksiyon basıncının yüksek tutulması durumunda sertlik değerlerinde ve çekme dayanımı değerlerinde artışlar görülmüştür. Aşırı yüksek basınçların parça üzerinde yanık izleri gibi sorunlar yarattığı saptanmıştır.
- Tutma basıncının boyut hassasiyeti ve parça mekanik özellikleri için hayati öneme sahip olduğu anlaşılmıştır.
- Geri basıncının homojen yapıda parça üretimi için şart olduğu ve çok iyi ayarlanması gerektiği anlaşılmıştır.
- Kilitleme basıncının sıkı bir iç yapı için çok önemli olduğu ve aynı zamanda parçanın çapaklanması konusunda da öneme sahip olduğu görülmüştür.
- Enjeksiyon hızının kaynak izleri oluşumunda etkili olduğu, moleküler oryantasyonu çok yakından etkilediği anlaşılmış ve bunun etkileri incelenmiştir.
- Vida dönüş hızının viskoz ısı üzerindeki etkileri ve ergitme oranına olan ilgisi incelenmiş ve anlatılmaya çalışılmıştır.
- Enjeksiyon işleminde etkili olan çevrim zamanı gösterilerek işlem üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar çerçevesinde istenilen özelliklere sahip parça üretiminde enjeksiyon parametrelerinin çok önemli etkileri ve sonuçları olduğu görülmüştür. Bu nedenle gelişigüzel seçilen parametrelerin parçalar üzerinde görsel olarak bir etki yaratmasa bile parça iç yapısında kesinlikle farklılıklara yol açabileceği ve bununda parçaların işlevselliğini etkileyeceği unutulmamalıdır.

**KAYNAKLAR**

- Akyüz, Ö.F., (1998), “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, Pagev Yayınları, İstanbul.
- Beaumont, J.P., Nagel, R., Sherman, R., (2002), “Successful Injection Molding”, Hanser, Munich .
- Bozdana, A.T., Eyerciöğlu, Ö., (2000), “Development of an expert system for the determination of injection moulding parameters of thrmoplastic materials”, The university of Gaziantep, Gaziantep.
- Crawford, R.J., (1997), “Plastics Engineering”, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Dealy, J.M., Wissbrun, K.F., (1990), “Melt Rheology and its Role in Plastics Processing”, Van Nostrand, New York
- Deniz, A., (1987), “Plastik Enjeksiyon Makinelerinde Enjeksiyon Basıncını Etkileyen Faktörler” , Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Douglas, M.B., (1996), “Plastic Injection Molding – manufacturing process fundamentals”, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn – Michigan.
- Douglas, M.B., (1998), “Plastic Injection Molding – mold design and construction fundamentals”, Society of Manufacturing engineers, Dearborn - Michigan
- Johanna, L., Totti, L., Jukka, S., Vesanto, H., (2000), “Influence of Injection molding Process Parameters on Mechanical Properties of Polypropilen-Specimen”, Tampere University of Technology, Tempere- Finland.
- Johannaber, F., (1994), “Injection Molding Machines”, Hanser Publishers, Munich.
- Oswald, T.A., Turng, L.S. ve Graman, P.J., (2001), “Injection Molding Handbook” , Hanser, Munich.
- Prabodh, C.B., (2000), “A Guide to Injction Molding of Plastics” , Allied Publishers Limited, India.
- Trantina, G. And Nimmer, R., (1994), “Structural Analysis of Thermoplastic Components”, McGraw-Hill, New York
- Turaçlı, H., (2000), “Enjeksiyon Kalıpları İmalatı”, Pagev Yayınları, İstanbul.
- Turaçlı, H., (1999), “Enjeksiyoncunun El Kitabı”, Pagev Yayınları, İstanbul.
- Yung, K.L., Xu, Y., (2000), “Analysis of a melting model for an extruder with reciprocation”, journal of Materials Processing Technology.

**İNTERNET KAYNAKLARI**

[1]www.interplasticnet.com

[2]www.plasticsnet.com

[3]www.plasticinfo.org

[4]www.plasticstechnology.com



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	1979	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1993-1997	Özel Kültür Fen Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-Devam Ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı, İmal Usulleri Programı

