

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI
VE
TASARIM ESASLARINA GÖRE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enver İÇER

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2014

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI
VE
TASARIM ESASLARINA GÖRE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Enver İÇER
115101012**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

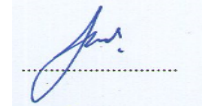
Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

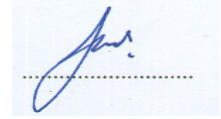
TEMMUZ 2014

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nün **115101012** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Enver İÇER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI VE TASARIM ESASLARINA GÖRE İMALATI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

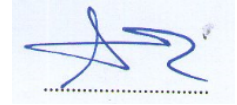
Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU**
Yalova Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU**
Yalova Üniversitesi



Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM
Yalova Üniversitesi



Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ
Marmara Üniversitesi



Teslim Tarihi : **20 Haziran 2014**
Savunma Tarihi : **9 Temmuz 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans tez çalışması, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Mühendisliği programında gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans çalışmamın yönetimini kabul eden ve bu zaman içerisinde aktarmış olduğu birikimler, gerek tez gerek tez dışı göstermiş olduğu yakın ilgi ve destekten dolayı tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gülay Bayramoğlu' na

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tüm teknik bilgi, tecrübe ve makina parkurlarını benimle paylaşan 'Teka Teknik Kalıp Plastik San. Ltd. Şti' ailesi; Sn. Hasan Öztürk, Sn. Oğuz Öztürk ve Sn. S. Burak Öztürk'e

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca büyük sabır ve özveriyle yardımlarını esirgemeyip hep destek olan Sadife AYDIN'a

Yüksek lisans tez çalışmamın başlangıç aşamasında model geliştirme konusunda tecrübelerini paylaşan ve hiç desteğini esirgemeyen Şenay MELEK'e

Tüm eğitim, mesleki ve özel yaşantım boyunca bana maddi ve manevi büyük desteklerinden dolayı biricik annem, babam ve ablama

İçtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Temmuz 2014

Enver İÇER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI VE TASARIM ESASLARINA GÖRE İMALATI	xix
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI	5
2.1 Plastik Enjeksiyon Sistemleri.....	5
2.1.1 Erkek Kalıp	6
2.1.2 Dişi Kalıp	6
2.1.3 Soğutma Sistemi	6
2.1.4 Yolluk Çeşitleri	9
2.1.4.1 Soğuk Yolluk Giriş Tipleri	10
Tünel yolluk	10
Muz yolluk	12
Kenar yolluk.....	13
Fan yolluk	14
Diyafram yolluk	15
2.1.4.2 Sıcak Yolluk.....	16
2.1.5 İtici Sistemi	21
2.1.5.1 Pim ve Bıçak iticiler.....	21
2.1.5.2 Blok İticiler	22
2.1.5.3 Sıyrıcı Plakalı İtici	22
2.1.5.4 Açılı Pim İticiler.....	23
2.2 Enjeksiyon Kalıp Elemanları.....	24
2.2.1 Dişi Kalıp Elemanları.....	24
2.2.2 Erkek Kalıp Elemanları.....	26
2.3 Kalıp Tipleri	27
2.3.1 Kalıp Yapısına Göre Sınıflandırma.....	27
2.3.1.1 İki Plakalı Kalıplar	27
2.3.1.2 Üç Plakalı Kalıplar	28
2.3.1.3 Açılı Hareketli (Maçalı) Kalıplar	29
3. PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNESİ	31
3.1 Enjeksiyon İşlemi	32

3.2 Tezgah Tipi Ve Şekillendirilmeleri	33
3.2.1 Mengene Kapama Ünitesi	34
3.2.1.1 Hidrolik Kapama (Kilitleme) Sistemi	34
3.2.1.2 Hidro-Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi	35
3.2.1.3 Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi.....	35
3.2.2 Plastikleştirme Ve Enjeksiyon Ünitesi.....	36
3.2.3 Kontrol Ünitesi.....	37
3.2.4 Makine Gövdesi	38
3.3 Plastik Enjeksiyon Prosesinde Ana Değişkenler	38
3.3.1 Sıcaklıklar.....	38
3.3.1.1 Enjeksiyon Malzemesinin Sıcaklığı	38
3.3.1.2 Kalıp Sıcaklığı.....	38
3.3.2 Basınçlar.....	39
3.3.2.1 Enjeksiyon Basıncı.....	40
3.3.2.2 Tutma Basıncı	40
3.3.2.3 Geri Basınç	40
3.3.3 Zamanlar.....	41
3.3.3.1 Doldurma Süresi.....	41
3.3.3.2 Ütuleme Süresi	41
3.3.3.3 Tutma Süresi	41
3.3.3.4 Soğutma Süresi.....	41
3.3.3.5 Kalıp Açık Kalma Süresi.....	41
3.3.4 Hızlar.....	42
3.3.5 Dört Değişkenin Kullanım Sırası	42
3.4 Plastik Enjeksiyon Çevrimi	43
3.5 Enjeksiyon Çevriminin Parça Tasarımı Ve Kalıp Tasarımı İle İlişkisi.....	44
4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI	47
4.1 Plastik Parça Tasarımı	47
4.1.1 Tasarımda Temel Noktalar	47
4.1.2 Malzeme Seçimi Ve Önemi	53
4.1.3 Parça Fonksiyonunun Tanımlanması	53
4.1.4 Kalıp Çalışma Şekline Göre Plastik Parça Modellemesi	54
4.1.5 Tasarımın Boyutsal Toleransı	55
4.2 Kalıp Tasarımı	56
4.2.1 Kalıp Göz Adedi.....	56
4.2.1.1 Göz Adedi Sayısının Belirlenmesi	56
4.2.1.2 Göz Adedini Etkileyen Faktörler	57
4.2.2 Çekme Payı	58
4.2.3 Kalıp Ayrım Çizgisi	60
4.2.3.1 Kalıp Ayrım Çizgisini Belirlemede Etki Eden Faktörler	61
4.2.4 Yolluk Ve Yolluk Girişi Tasarımı.....	62
4.2.4.1 Yolluk Şekli Belirlenirken Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar	63
4.2.4.2 Basit Yolluk Hesabı	65
4.2.4.3 Yolluk Giriş Pozisyonu Ve Tasarımı	66
4.2.5 Kalıp Tasarımında İtici Sisteminin Seçimi	68
4.2.5.1 Parça Estetiği.....	69
4.2.5.2 Parça Boyutlarının Etkisi	69
4.2.5.3 Makinenin Etkisi	69
5. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON UYGULAMASI.....	71

5.1 Uygulama İçin Seçilen Plastik Parça Tasarımı	71
5.2 Kalıp Tasarımı.....	73
5.2.1 Kalıp Göz Adedi	73
5.2.2 Çekme Payı	79
5.2.3 Kalıp Ayrım Yüzeyi (Çizgisi).....	79
5.2.4 Kalıp Çekirdekleri.....	80
5.3 Tasarlanan Ürünün Kalıp İmalat Uygulamaları	81
5.3.1 Çelik Siparişleri.....	81
5.3.1.1 Erkek (İtici Taraf) Çekirdek Çeliği Siparişi.....	81
5.3.1.2 Dişi (Enjeksiyon Taraf) Çekirdek Çeliği Siparişi	82
5.3.1.3 Kalıp Seti Siparişi	83
5.3.1.4 Standart Kalıp Elemanları Siparişi.....	86
İticiler	86
Kalıp Ana Yolluk Siparişi.....	86
5.3.2 İmalat Aşamaları	87
5.3.2.1 Erkek (İtici Taraf) Çekirdek Çeliği İmalatı.....	87
5.3.2.2 Dişi (Enjeksiyon Taraf) Çekirdek Çeliği İmalatı	89
5.3.2.3 Hazır Kalıp Setinde Yapılması Gereken Operasyonlar	90
5.3.2.4 Enjeksiyon Kalıp Montajı	92
5.3.2.5 Deneme Baskısı.....	94
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	99
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
RE	: Reynold Sayısı
PS	: Polistiren
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Polimetil Metakrilat
CA	: Selüloz Asetat
PTFE	: Politetra Floretilen
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil Klorür
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
PET	: Polietilen Teraftalat
PEEK	: Polieter Eter Keton
PPS	: Polifenilen Oksit
G	: Göz Adedi
t	: Doldurma Zamanı+ Soğuma Zamanı
p	: Bir Adet Plastik Parça Kütlesi
Hm	: Enjeksiyon Ocağının Dakikada Eritebildiği Hammadde Miktarı
K	: Kullanılan Enjeksiyon Basıncı
A	: Kalıplanacak Model Yüzey Alanı
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
HRc	: Rockwell Sertlik Birimi
CNC	: Computer Numaric Control

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4. 1: Çeşitli termoplastiklere ait en sıkı ve tercih edilmesi gereken (+/-) boyutsal toleranslar.....	55
Çizelge 4. 2: Çeşitli termoplastiklere ait çekme payı ve yoğunluk bilgileri verilmiştir.	55
Çizelge 4. 3: Termoplastiklerin özellikleri.	60
Çizelge 5. 1: Basit kilitleme tahmini katsayıları.....	75
Çizelge 5. 2: Enjeksiyon şartları.	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Enjeksiyon kalıbı.....	5
Şekil 2. 2: Uygun soğutma kanalları ve kalıp boşluğu arasındaki mesafeler.....	7
Şekil 2. 3: Soğutma kanallarının parça köşe detaylarına yaklaştırılması ile bölgelerin soğutulması.....	8
Şekil 2. 4: Parça köşe detaylarının iyi soğutulması ile deformasyonların engellenmesi.....	8
Şekil 2. 5: a)Paralel su bağlantısı, b)Seri su bağlantısı, c)Seri ve Paralel su bağlantısı.....	9
Şekil 2. 6: Soğuk yolluk tasarımı.....	10
Şekil 2. 7: Tünel yolluk giriş kesitleri.....	11
Şekil 2. 8: Tünel yolluk çalışma prensibi.....	12
Şekil 2. 9: Muz yolluk çalışma prensibi ve kesiti.....	13
Şekil 2. 10: Kenar yolluk kesiti ve şekli.....	14
Şekil 2. 11: Fan yolluk şekil ve kesiti.....	15
Şekil 2. 12: Diyafram yolluk şekli ve kesiti.....	15
Şekil 2. 13: İki gözlü sıcak yolluk sistemi.....	16
Şekil 2. 14: Sıcak yolluk sisteminde eriyik akışının gösterilmesi.....	18
Şekil 2. 15: Pim ve bıçak itici kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması.....	22
Şekil 2. 16: Sıyrıcı plaka kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması.....	23
Şekil 2. 17: Açılı pim itici kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması.....	23
Şekil 2. 18: Enjeksiyon kalıp elemanları.....	24
Şekil 2. 19: İki plakalı enjeksiyon kalıbı.....	28
Şekil 2. 20: Üç plakalı plastik enjeksiyon kalıbı.....	29
Şekil 2. 21: Açılı hareketli (maçalı) kalıp.....	30
Şekil 3. 1: Plastik enjeksiyon makinesi.....	31
Şekil 3. 2: Hidrolik kapama (kilitleme) sistemi.....	35
Şekil 3. 3: Mekanik kapama (kilitleme) sistemi.....	36
Şekil 3. 4: Plastikleştirme ve Enjeksiyon ünitesi.....	37
Şekil 3. 5: Enjeksiyon tezgahı kontrol ünitesi.....	37
Şekil 3. 6: Çevrim süresi.....	42
Şekil 3. 7: Kalıbın kapatılması.....	43
Şekil 3. 8: Enjeksiyon çevrimi.....	44
Şekil 4. 1: Plastik malzemelerin mekanik özellikleri.....	51
Şekil 4. 2: Kalıp ayırma yüzeyi.....	61
Şekil 4. 3: Çeşitli kalıp ayırma çizgisi örnekleri.....	62
Şekil 4. 4: Genel yolluk bölümleri.....	63
Şekil 4. 5: Yanlış ve doğru ikincil yolluk uygulamaları.....	64
Şekil 4. 6: Kalıba gömülmüş meme.....	64
Şekil 4. 7: Yolluk gösterimi.....	65
Şekil 4. 8: 4 gözlü standart yolluk.....	66

Şekil 4. 9: 8 gözlü az gramajlı dairesel tipte çizilim.....	66
Şekil 4. 10: 8 gözlü kavisli yolluk uygulaması.	67
Şekil 4. 11: 24 gözlü az gramajlı dairesel yolluk.	67
Şekil 4. 12: 32 gözlü normal yolluk.	68
Şekil 4. 13: Sıra tipi düz yolluk uygulamaları.	68
Şekil 5. 1: Tasarımı yapılan parçanın modeli.	71
Şekil 5. 2: Tasarımı yapılan parçanın perspektif görüntüsü.	72
Şekil 5. 3: ABS malzemeden seçtiğimiz uygulama parçasının fiziksel özelliklerinin TopSolid 2011 programıyla ölçülmesi.	74
Şekil 5. 4: Göz adedi tayin edilen model.	75
Şekil 5. 5: Mold Flow programı yardımıyla doldurma zamanı.	76
Şekil 5. 6: Mold Flow programı yardımıyla soğuma zaman değişimi analizi.	77
Şekil 5. 7: Mold Flow programı yardımıyla sıcak birleşim yeri analizi.	77
Şekil 5. 8: Mold Flow analiz programıyla hava boşlukları analizi.	78
Şekil 5. 9: Tasarımını yaptığımız ürünün Mold Flow programı yardımıyla dolum zamanı analizi.	78
Şekil 5. 10: Tasarımını yaptığımız ürünün Mold Flow programı yardımıyla soğuma zaman analizi.	79
Şekil 5. 11: Kalıp ayırım yüzeyi (çizgisi).	80
Şekil 5. 12: Erkek kalıp ayırım yüzeyi (itici taraf).	80
Şekil 5. 13: Dişi kalıp ayırım yüzeyi (enjeksiyon tarafı).	81
Şekil 5. 14: Erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği.	82
Şekil 5. 15: Dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği.	83
Şekil 5. 16: SPS hazır kalıp setleri.	84
Şekil 5. 17: SPS kalıp seti 'CI 2020' standart kalıp ölçüleri.	85
Şekil 5. 18: Kalıp hazır setin katı datasının görünümü.	85
Şekil 5. 19: Kalıp imalat uygulaması için itici yerleşimi.	86
Şekil 5. 20: Kalıp imalat uygulaması için standart ana yolluğu (kalıp memesi).	87
Şekil 5. 21: TopSolid2011 programı CAD modülü yardımıyla tasarlanan, erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği katı datası.	88
Şekil 5. 22: İmalatı tamamlanan erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği.	88
Şekil 5. 23: TopSolid2011 programı CAD modülü yardımıyla tasarlanan, dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği katı datası.	89
Şekil 5. 24: İmalatı tamamlanan dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği.	90
Şekil 5. 25: İtici ve enjeksiyon tarafı çekirdek kasalarında yapılan operasyonlar.	91
Şekil 5. 26: İtici üst plakasına yapılması gereken operasyonlar.	92
Şekil 5. 27: Uygulama için tasarlanan kalıbın patlatılmış montaj resmi.	93
Şekil 5. 28: Uygulama için tasarlanan kalıbın kesit montaj resmi.	93
Şekil 5. 29: Kalıbın montajlanmış nihai hali.	94
Şekil 5. 30: Deneme baskısı için enjeksiyon tezgahına bağlanması.	95
Şekil 5. 31: Baskı sonucu nihai ürün.	97

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI VE TASARIM ESASLARINA GÖRE İMALATI

ÖZET

Plastik bir ürünün tasarımında bilgisayar teknolojisinin kullanılması giderek gelişen plastik endüstrisi için önemli hale gelmiştir. Bir çizim masasında tasarlanmaya çalışılan ürün büyük bir zaman kaybına neden olacaktır.

Bilgisayar teknolojisi mühendislik tasarımının farklı uygulamalarının bütününe ihtiyaç duyar. İmalat sürecindeki plastik parça ve analizlerin bilgisayar ortamında kolayca tasarlanabilir olması gerekmektedir. Ürün tasarımı için operasyon ihtiyaçlarının daha iyi belirlenmesini sağlar ve bunun sonucunda üretim ihtiyaçlarının karar verilmesinde tasarım verimliliğini maksimuma çıkarır.

Plastik enjeksiyon süreci plastik parça üretiminde en popüler üretim yöntemidir. Bu sürecin bilgisayar ortamında CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) analiz programları tarafından simülasyonu yapılabilir. Süreç ihtiyaçları ve parametreler analiz edilebilir.

Hesaplanan parametreler soğuma zamanı, süreç zamanı, dolun zamanı, kapama kuvveti gibi değerler elde edilebildikten sonra uygun ürün dizaynı ve kalıp dizaynı için kullanılır.

COMPUTER AIDED DESIGN OF PLASTIC INJECTION MOLD AND ITS MANUFACTURING BASED ON THE DESIGN PRINCIPLES

SUMMARY

The use of computer technology in the design of plastic products has become increasingly important for developing the plastics industry. Designing on a drawing board will result in the loss of a great time working product.

Computer technology requires different methodology of engineering design. Plastic part and analysis the manufacturing process can easily design in computer media. It provides a better understanding of the operating requirements for a product design; resulting maximizing the design efficiency in determine product requirements.

Plastic injection process is the most popular manufacturing method for a plastic product. This process can be simulated in computer media by the CAE (Computer Aided Engineering) programmes.

Process requirements and parameters can be analyzed. The calculated parameters can be obtained like cooling time, process time, filling time, clamp force etc. then use these for suitable product design and mold design.

1. GİRİŞ

Plastik endüstrisi dünyada çok büyük ivmeyle gelişen bir sanayi koludur. Biyomalzemeler, kaplamalar, elyaflar, yapıştırıcılar, kompozitler, elektronik ve optik ürünler gibi temel alanlar altında hayatımızın her alanına dahil olan polimerler gerek üretimi gerekse işlenmesi bakımından oluşturduğu endüstri nedeniyle ülke ekonomileri için oldukça önemli bir konuma gelmiştir.

Polimerler gelişime açık malzemelerdir. İnsan zihninin izin verdiği ölçülerde çeşitli kullanım alanları oluşturabilirler. İyi tasarlanmış ve ekonomik değeri yüksek ürünlerin bugün olduğu gibi gelecekte de değerini arttıracakları aşîkardır. Bu kadar revaçta olan bir malzemenin herkes tarafından ulaşılabilir ve kullanılıyor olması en doğru tasarımların en çok tercih edilen olacağı anlamı doğmaktadır.

Tasarımlar artık çizim masalarında hazırlanmamakta, bunun yerine hızlı ve etkin sonuçlar ortaya koyan bilgisayar ortamında hazırlanmaktadır. Böylece hata yapma riski minimum seviyelere indirilmektedir.

Sanayide ki artan rekabet ortamı her geçen gün daha karmaşık parça ve makine sistemlerinin hızlı, kolay, hassas, güvenilir ve ekonomik bir şekilde üretimine gerek duymaktadır. Doğru modellenmiş bir kalıbın en kısa zamanda, en az hatayla en çok verimli üretimi sağlayacağı unutulmamalıdır.

Bu çalışmada, tüm bu gerek duyulan ihtiyaçlar ve gelişen teknoloji göz önüne alınarak, plastik enjeksiyon kalıbını bilgisayar ortamında tasarlayıp (TopSolid) ve yine bilgisayar ortamında (MoldFlow) bu tasarımın doğruluğunu kanıtlamak için analizleri gerçekleştirildi. Bu analizlerin desteğiyle doğrulanmış tasarımın imalatı gerçekleştirildi.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı; bilgisayar destekli plastik parça ve dişî-erkek kalıp parçalarının modellenmesinin enjeksiyon kalıplama prosesine uygun biçimde araştırılmasıdır.

Proses üzerinde ortaya çıkacak tahmini yetersizlikler belirlenerek, parça yüzeyinde oluşan hata analizleri sonucunda plastik enjeksiyon kalıbının imalatının gerçekleştirilmesidir.

1.2 Literatür Araştırması

Enjeksiyon; ısıtılarak yumuşatılmış plastik hammadenin sonsuz vida yardımı ile kalıp boşluğuna yüksek bir basınçla basılması işlemine verilen addır. Bu işlemde kullanılan ham madde toz veya granül (tanecik) şeklindedir. Plastik ürünlerin imalatı için kullanılan bu teknik en kullanışlı olanıdır ve ürüne son şekli verildikten sonra ikinci bir işlem yapılmasına gerek duyulmaz [1].

Enjeksiyon ile kalıplamanın en önemli avantajı, karmaşık geometrili parçaların kontrollü bir kalıplama süreci ile son bir işleme gerek kalmaksızın üretilmesidir. Genellikle enjeksiyon ile kalıplama sistemi üç safhadan oluşur. Bunlar, dolum aşaması, ütüleme aşaması ve soğuma aşamasıdır. Üretilen ürünün özellikleri, plastik malzeme, ürün ve kalıp tasarımı, kalıplama şartları gibi değişkenlere bağlıdır [1-9].

Plastik enjeksiyon tezgahlarında, plastik ürünlerin istenilen kalite ve standartlarda elde edilebilmesinde, sadece kullanılan tezgahın değil, tezgahta kullanılan plastik kalıbının da etkisi vardır. Çünkü herhangi bir plastik malzeme istenilen şekli ancak kalıp içerisinde alabilmektedir. Eritilen plastik malzeme kalıp içerisine doldurulmakla son şeklini almakta ve ürün haline gelmektedir. Kullanılan plastik kalıbındaki tüm hatalar, üretilecek ürüne aynen yansımaktadır. Hatasız ürünler elde edebilmek için kalıp imalatında belli bir işlem sırası takip edilmelidir. Plastik enjeksiyon kalıplarıyla ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, ergimiş plastik sıcaklığı, hacimsel çekme miktarı, enjeksiyon ve soğutma zamanı arasındaki ilişkilerin dikkatlice incelenmesi gerektiği görülür.

Bir kalıbın imalatında göz önünde bulundurulması gerekli olan iki önemli nokta, parça tasarımı ve kalıp tasarımıdır. Ürün tasarımı hatalı yapılmış ise ürünün beklentileri karşılaması mümkün değildir. Buna karşın hatalı tasarlanmış bir kalıp hatanın boyutuna bağlı olarak nispeten kabul edilebilir ürün verebilir. Kısacası kalıp tasarım aşaması bir ürünün tasarımının değiştirilebileceği son aşamadır. Kalıp üretildikten sonra üründe yapılmak istenen değişiklikler kalıp maliyetini arttıracaktır [10].

Bu nedenle enjeksiyon kalıplama ile üretilecek bir plastik parça tasarımı işlemi çok iyi bilgi, beceri ve tecrübeye sahip olmayı gerektirmektedir. Bu modelleme ve tasarım işlemlerini kolay hale getirecek yöntemler hiç kuşkusuz bilgisayar destekli tasarım (CAD) programlarından ve plastik enjeksiyon analiz (CAE) programlarından faydalanmaktadır.

Plastik enjeksiyon işleminde tasarım denilince ilk akla gelen oluşturulması planlanan ürün modelidir. Uygun ve istenilen şartlarda ürün tasarımı gerekli analizlere ve ön koşullara uygun şekilde prediksiyon yapılarak ve analizlerin yorumlanmasına bağlı olarak tasarlandıktan sonra plastik enjeksiyon kalıbının dişi ve erkek çekirdek modellenmesine geçilebilir. Dişi ve erkek kalıp çekirdeklerinin modellenmesi işleminde sonra sabit ve standart olarak bilinen diğer plastik enjeksiyon kalıp elemanları montajlanarak kalıp setinin modellenmesi tamamlanır [11].

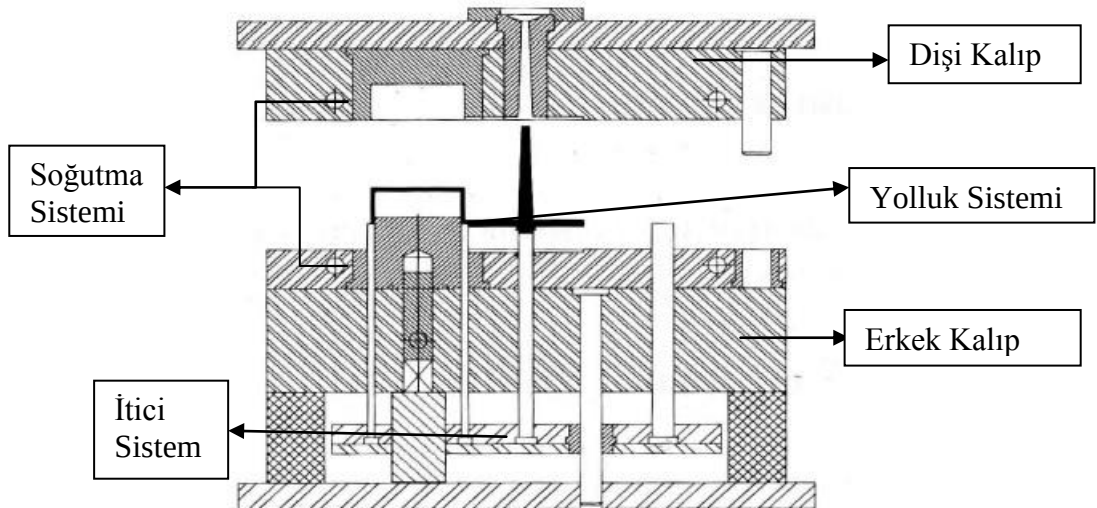
2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI

Eriyik plastik hammaddeye parçanın şeklini verdikten sonra katılaştıran bir sistemdir. Genel hatlarıyla plastik enjeksiyon kalıbını oluşturan parçalar aşağıda gösterilmiştir. Parça geometrisini oluşturan kalıp boşluğudur, bu boşluk da iki temel parçadan oluşur;

- Erkek (Core)
- Dişi (Cavity)

Enjeksiyon tezgahında kalıp boşluğuna eriyik plastiği getiren bir yolluk sistemi mevcuttur. Parçayı hızlı ve dengeli katılaştıran, sağlıklı bir ısı transferi gerçekleştiren bir soğutma sistemi gereklidir. Parçanın kalıptan ayrılmasını sağlayan bir itici sistemi vardır. Kalıp çalışma yönünden farklı yönlerdeki geometrik detaylar (ters açılar) için maça sistemi kullanılır. Şekil 2.1 ve 2.18' de enjeksiyon kalıbının genel görünümü gösterilmiştir.

2.1 Plastik Enjeksiyon Sistemleri



Şekil 2. 1 Enjeksiyon kalıbı.

Kalıp boşluğu, kalıbın içinde erimiş plastiğin gönderildiği ve soğutulduğu kısımdır. Kalıpta bir adet boşluk var ise buna tek gözlü, birden fazla boşluk var ise çok gözlü kalıp denir. Kalıp boyutu genellikle içindeki göz sayısı ile ifade edilir. Kalıp boşluğu kalıbın kapanması esnasında kalıbın erkek ve dişi kısmının oluşturduğu boşluktur [12].

2.1.1 Erkek Kalıp

Kalıbın erkek kısmı, kalıbın iç kısmını oluşturur. Bu şekilde kalıp boşluğunu oluşturmasını da sağlar. Erkek kalıba hareketli plaka da denilmektedir. Erimiş polimerin soğuması sırasında, çekme karakteristliğinden dolayı soğuyan baskı, kalıbın erkek kısmı üzerine çekilir, kalıbın dişi kısmından ayrılır. Bu çekme karakteristlikleri kalıbın içinden parçanın atılması için iticilerin, erkek kısmına yerleştirilmesine sebep olur. İtici sistemi makinenin hareketli plakasının arkasına yerleştirildiği için genellikle kalıbının erkek kısmı makinenin hareketli plakasının olduğu tarafa monte edilir [12].

2.1.2 Dişi Kalıp

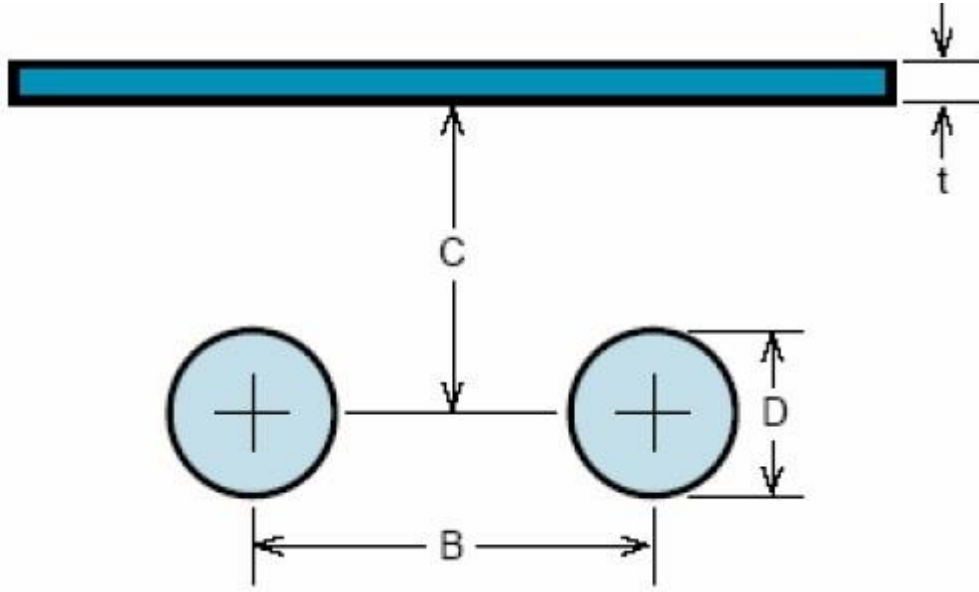
Baskının dış yüzeyini belirler. Erkek kısmı gibi, tek plaka üzerine yerleştirilir. Yerleştirildiği plakaya da sabit plaka denir. Kalıbın dişi plakası, genellikle makinenin hareketsiz plakası üzerine monte edilir. Kalıp besleme sistemi (yolluk sistemi) genellikle kalıbın dişi kısmının üzerine yerleştirilir. Çünkü makinenin enjeksiyon ünitesi bu taraftadır. Kalıp tasarımcıları itici sistemi erkek kalıba, besleme sistemini de dişi kalıp tarafına koyar [12].

2.1.3 Soğutma Sistemi

Kalıbın çalışması sırasında kalıp erimiş plastiğin sıcaklığı ile bir süre sonra ısınmaya başlar. Kalıbın ısınması kalıbın çalışma performansını, çevrim süresini ve parça kalitesini etkiler. Seri üretimde aynı kalitede ürün elde edebilmek için aynı kalıpta sabit değerlerde (sabit kalıp sıcaklığı, sabit eriyik sıcaklığı, basınç, hız) çalışılması gerekmektedir. Bunun için, kalıbın sürekli sabit sıcaklıkta kalabilmesi için, kalıp çekirdeğine ve hamiline açılacak olan soğutma kanalları ile soğutulması gerekmektedir.

Ayrıca kalıbın dolumu esnasında en sıcak erimiş plastik, kalıp girişinde ve en soğuk erimiş plastik, yolluk girişinden en uzak noktadadır. Soğutma suyunun sıcaklığı, bu kanallardan geçtikçe artar, bundan dolayı baskıda eşit soğuma sağlamak için, kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı, parçanın soğuk bölgelerine sıcak sıvı girişi sağlamak gerekir.

Soğutma kanallarının parça ve kalıp yüzeyine olan mesafesi ve soğutma kanalları arasındaki mesafe hesabı: Şekil 2.2, 2.3 ve 2.4’ de soğutma sistemi hesaplaması hakkında bilgi verilmiştir.



$B=3.D$ (En Fazla)

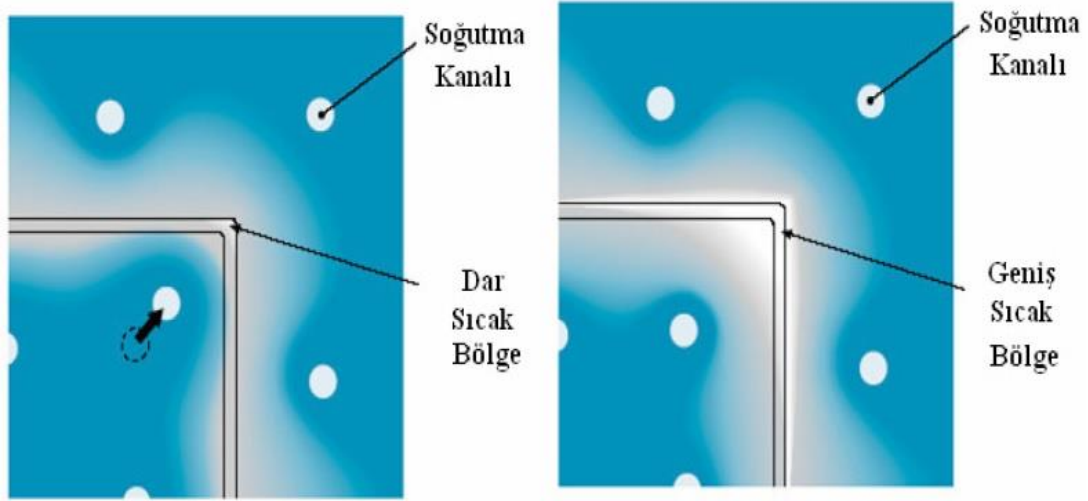
$C=2,5.D$

$t \leq 1,6$ ise $4,75 \sim 7,9$

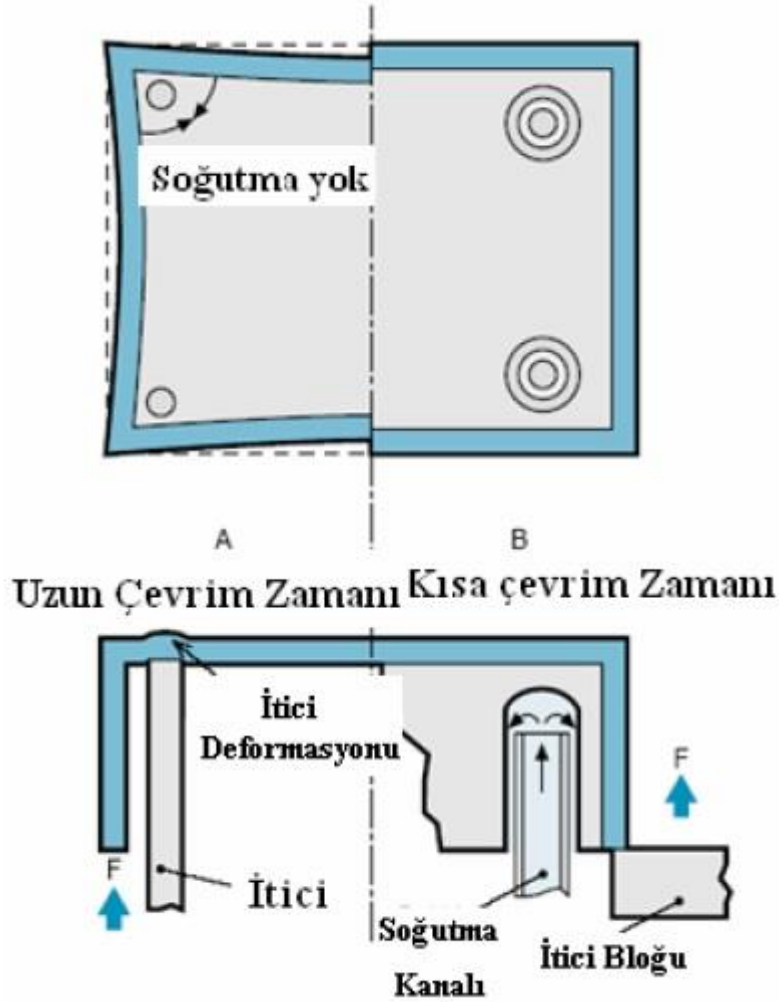
$1,6 < t \leq 3,2$ ise $7,9 \sim 11,12$

$3,2 < t \leq 6,35$ ise $11,12 \sim 15,9$

Şekil 2.2 Uygun soğutma kanalları ve kalıp boşluğu arasındaki mesafeler.

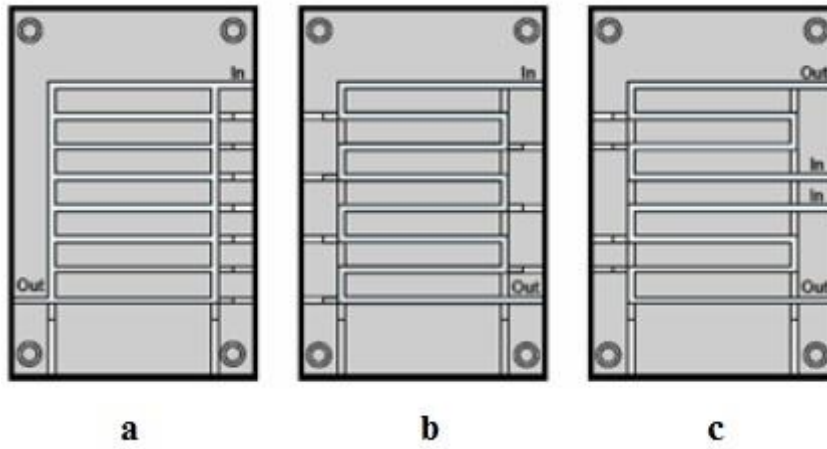


Şekil 2. 3 Soğutma kanallarının parça köşe detaylarına yaklaştırılması ile bölgelerin soğutulması [12].



Şekil 2. 4 Parça köşe detaylarının iyi soğutulması ile deformasyonların engellenmesi [12].

Şekil 2.4' te görüleceği üzere köşeli parçalarda, köşelere mümkün olduğunca su kanalları konulmalı ve bu soğutma kanalları da köşelere yakın olmalıdır. Aksi takdirde geniş sıcak bölgeler oluşacak, bu sıcak bölgeler de soğuma esnasında parçada şekil değiştirme ve çarpılmalara neden olacaktır. Ayrıca soğutulmayan parça köşelerinde kullanılacak iticiler de parçanın deforme olmasına neden olacaktır. Burada önerilen, soğutma kanallarının mümkün olduğunca detaya yakın olması, iticilerin parçanın içinde değil de kalıp birleşim yüzeylerine (blok veya sıyrıcı itici) konularak parçanın kalıptan uzaklaşmasını sağlamasıdır. Şekil 2.5' te soğutma kanal bağlantı şekilleri gösterilmektedir.



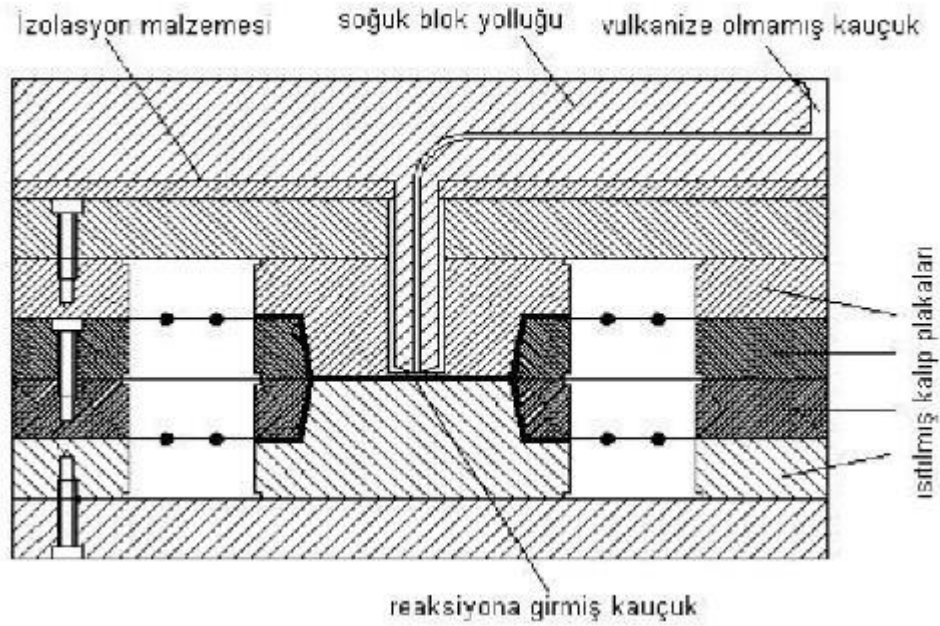
Şekil 2. 5 a)Paralel su bağlantısı, b)Seri su bağlantısı, c)Seri ve Paralel su bağlantısı [12].

2.1.4 Yolluk Çeşitleri

- Soğuk yolluk
- Sıcak yolluk

Normal yolluk sistemleri bilindiği gibi sıcak haldeki plastik eriyiğini soğuk bir kalıbın içerisine enjekte etmekte kullanılan sistemlerdir. Soğuk yolluk sisteminde ise daha az sıcaklığa sahip erimiş plastik, kendisinin sıcaklığından daha fazla sıcaklığa sahip olan kalıp içerisine aktarılır. Bu sisteme soğuk yolluk sistemi denilmektedir. Bu sistem genellikle termoset malzemeler, duroplast ve kauçuk gibi kalıpta kimyasal reaksiyon gösteren malzemeler için termoplastik kalıplarındaki sıcak yolluğun bir benzeri olarak tasarlanmıştır.

Soğuk yollukta izolasyon gereklidir. Burada anlatıldığı gibi yolluktan kalıba ısı geçişi değil kalıptan yolluğa ısı geçişinin önlenmesi gerekmektedir. Soğuk yolluklu sistemde yolluk sıcaklığı yaklaşık 80°C ile 100°C arasında iken kalıptaki sıcaklık yaklaşık 160°C ile 200°C arasındadır. Bu durum sıcak haldeki kalıp gözü plakaları ile düşük sıcaklıktaki yolluk arasında izolasyon problemine neden olmaktadır. Bu sistemde eriyiğin yollukta reaksiyona girmemesine dikkat edilmelidir. Tipik bir soğuk yolluk tasarımı Şekil 2.6’ da gösterilmiştir [12].



Şekil 2. 6 Soğuk yolluk tasarımı [12].

2.1.4.1 Soğuk Yolluk Giriş Tipleri

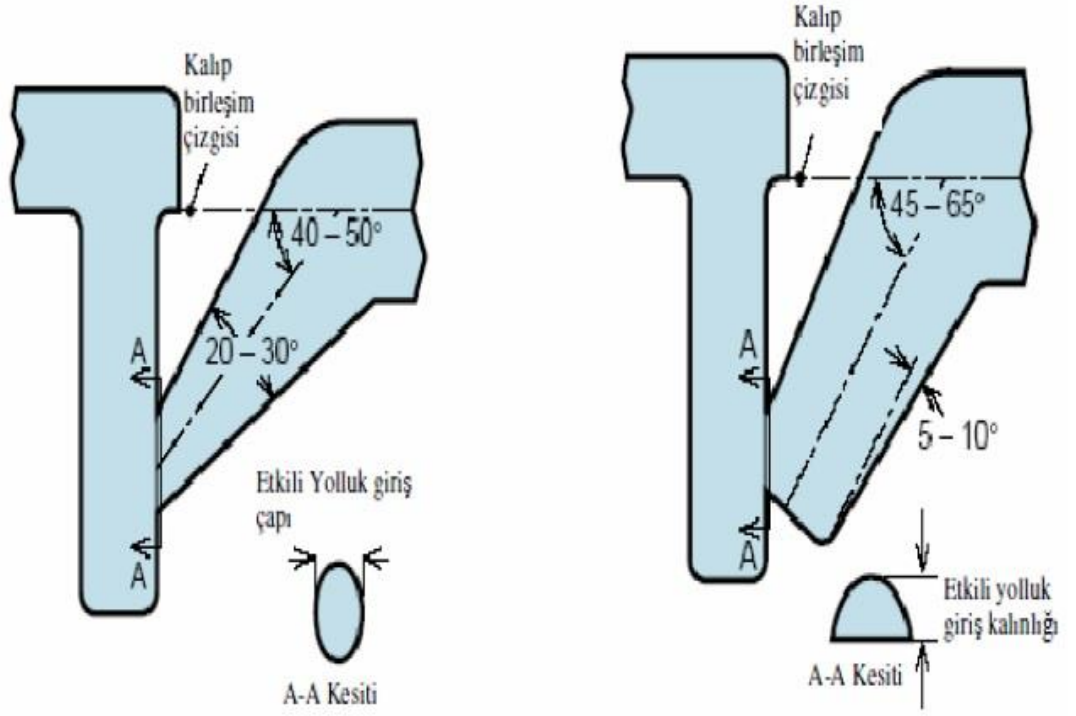
Tünel yolluk

İnce tarafı parçada olan konik bir yolluk girişidir. Dağıtım yolluğundan parçaya konik bir tünel açılır. Kalıp açılırken yolluk parçadan kendiliğinden ayrılır. Kalıbın otomatik çalışması sağlanır. Çok küçük giriş çapı kullanıldığında malzemenin kesme gerilmesi artar, erken donarak ütülemeyi engeller. Çok büyük giriş çapı kullanıldığında, yolluk parçadan çok zor kopar, parçaya zarar verir. Malzemeye bağlı olarak giriş çapı;

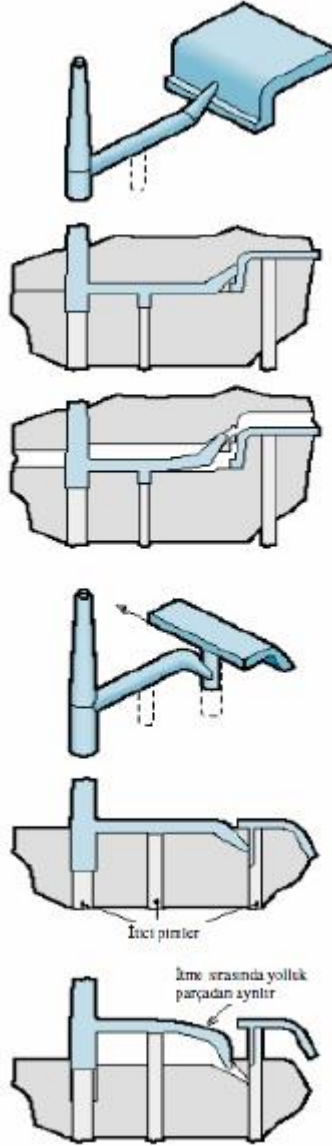
$\text{Çap} = \%30 - \%70 \times \text{et (cidar) kalınlığı}$ seçilmelidir.

Gevrek malzemelerde kullanılması risklidir. Yolluk kalıpta kalabilir.

Yolluk girişı açılı olarak değil de parçaya düz olarak yapılabiliyorsa bu yolluk girişı tipine iğne yolluk denir. Şekil 2.7 ve 2.8’ de tünel yolluk kesitleri gösterilmiştir [6].



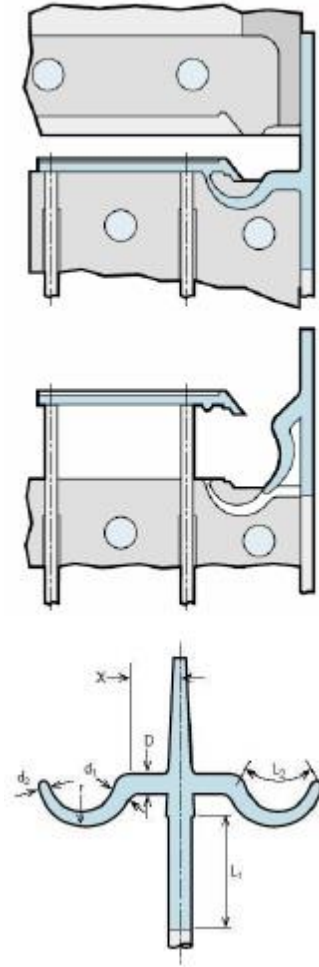
Şekil 2. 7 Tünel yolluk giriş kesitleri [13].



Şekil 2. 8 Tünel yolluk çalışma prensibi [12].

Muz yolluk

Giriş kesidi kontrol edilebilmektedir. Parça üzerinde çok küçük bir iz (nokta şeklinde) bırakır. Otomatik kalıp çalışması sağlanır. Görünen yüzeye girişlerde parça üzerinde mat iz oluşur. Hassas tezgah işçiliği gerekir. Gevrek malzemelerde çalışmama riski vardır. Tünel yolluk için gerekli yüksekliğin sağlanamadığı parçalarda tercih edilir. Şekil 2.9' da muz yolluk kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 Muz yolluk çalışma prensibi ve kesiti [12].

$$X/D \geq 2.5 \text{ mm}$$

$$D = 4 \sim 6 \text{ mm} \quad \text{ve ya } 15 \text{ mm olmalıdır.}$$

$$d_1 \leq D$$

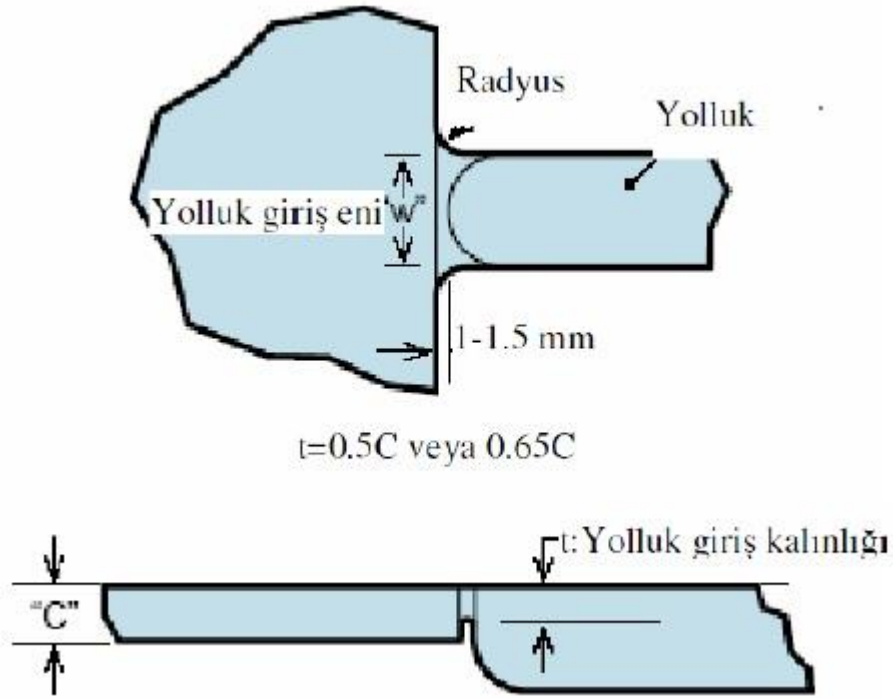
$$r = 2.5 d_1$$

$$L_1 \geq L_2$$

Kenar yolluk

Parçaya kalıp ayrılma hattı üzerinden doğruca kenardan girilir. Kalıp imalatı kolaydır. Giriş kesitinde hassas boyutlandırma ve kolay modifikasyon yapılabilir. Kalıp boşluğunun doldurulma hızı kolaylıkla kontrol edilebildiğinden birçok genel amaçlı polimer için uygun bir giriş kesitidir. Bazen parçanın yolluktan ayrılmaması

özellikle istenebilir, bu gibi durumlarda özellikle kullanılması gereken bir yolluk girişidir. Yukarıda belirtilen avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Yolluk ayırma maliyeti vardır. Yolluğu parçadan ayırmak için kullanılan geciktirmeli itici ile yolluğun kırılması her zaman mümkün olmayabilir. Bu kullanılan ham maddeye de bağlıdır. Parça üzerinde kötü görüntü yaratır [12,1,15]. Şekil 2.10' da kenar yolluk kesiti gösterilmiştir.

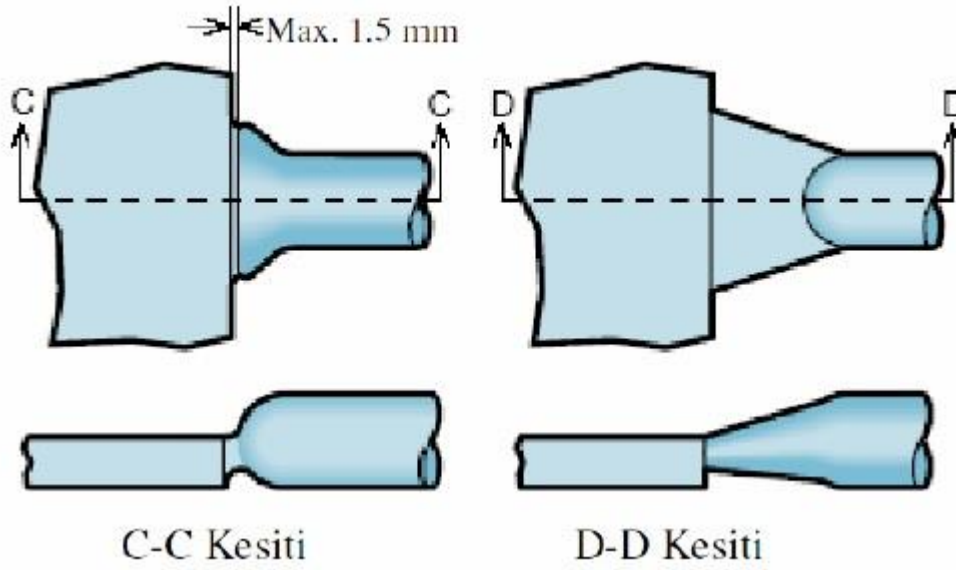


Şekil 2. 10 Kenar yolluk kesiti ve şekli [12].

Fan yolluk

Dağılım yolluğundan parçaya girerken kesit bir fan şeklinde alçalır ve genişler, böylece eriyik plastik kalıp boşluğuna girmeden önce yavaşlatılır ve geniş bir alana yayılır. Yavaşlatılmış akış hızı ile malzemenin daha iyi yönlendirilmesi sağlanır. Giriş bölgesinde daha düşük kesme hızı (shere rate) oluşur. Bu sayede minimum akış izi oluşacaktır. Daha uniform malzeme akışı sağlanır. Kaliteli parça yüzeyi elde edilir. PC gibi akışkanlığı düşük malzemelerde kolay doldurma sağlanır. PC gibi malzemelerde kullanıldığında fan şeklinde genişleyen yolluk, PS ve PC' a göre daha kırılğan olan diğer malzemelere göre daha zor parçadan koparılacaktır. Bu yüzden manuel olarak yolluk kesmek için büyük parçalarda özel aparatlar gerekebilir. Çapak

oluşumu, görüntüde kötü bir iz oluşturur [13,1,14]. Şekil 2.11' de fan yolluk şekli gösterilmiştir.

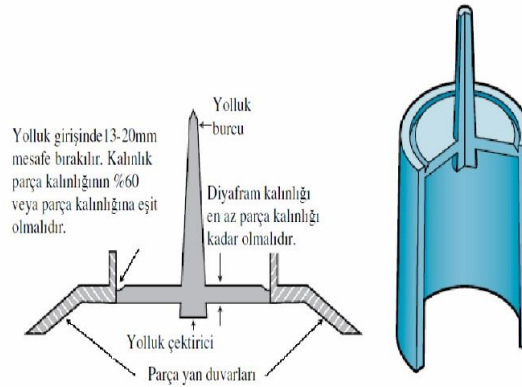


Şekil 2. 11 Fan yolluk şekil ve kesiti [12].

Diyafram yolluk

Silindirik, disk şeklindeki parçaların, iki plakalı tek gözlü, iki plakalı-çok gözlü sıcak yolluklu, üç plakalı-çok gözlü-soğuk yolluklu kalıplarda kullanılır. Bu parçalar için ideal akış sağlanır. İki tarafı açık tüp, silindirik, eksenel simetrik parçalarda uniform doldurma sağlanır. Soğuk birleşme engellenir. Hassas çap ölçüleri elde edilebilir, çaplarda ovallik ve çarpılma önlenir.

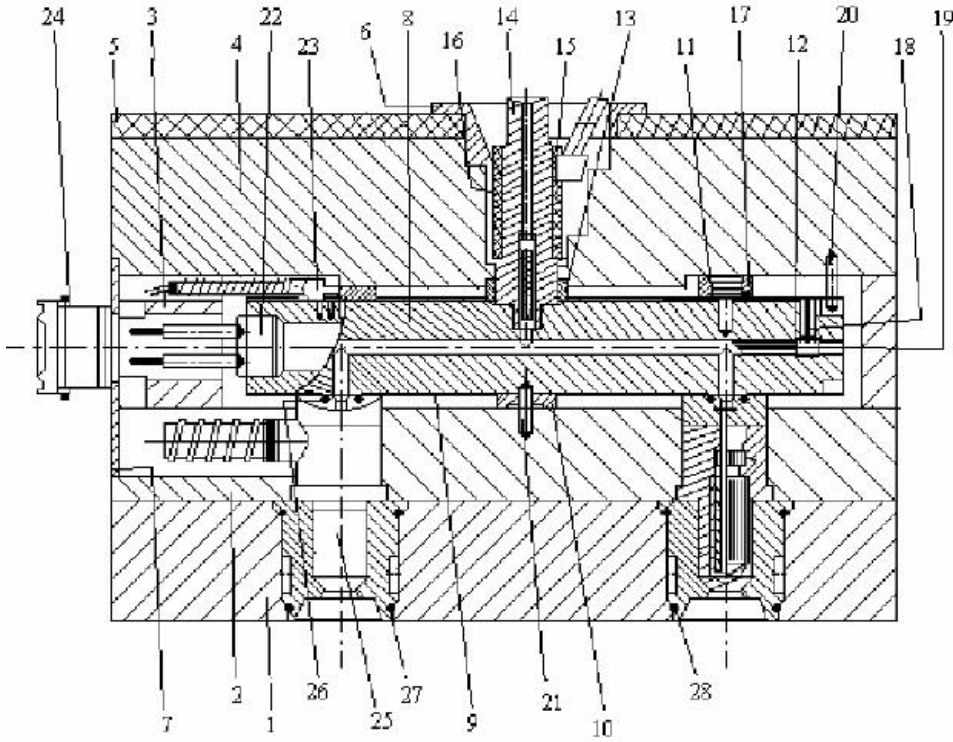
Disk formunda bir yolluk atıldığından, yolluk sarfıyatı fazladır. Parça üzerinde yolluk izi oluşur. Yolluk temizleme işçiliği fazladan maliyet getirecektir [13,1,14].



Şekil 2. 12 Diyafram yolluk şekli ve kesiti [13,15].

2.1.4.2 Sıcak Yolluk

Sıcak yolluk sistemi, kalıbın içine yerleştirilen başlı başına bir birim olup enjeksiyon grubunun uzantısı gibidir. Sıcak yolluk sistemi; kalıpta akış kanallarının ısıtıcı bantlarıyla yani rezistanslarla ısıtılmasını, malzemenin tüm sıcaklığını tüm akış yolu boyunca kontrol edilmesini ve kanallarda soğumaya uğramadan direkt olarak kalıp boşluğuna doldurulmasını mümkün kılmaktadır. Şekil 2.13' de iki gözlü sıcak yolluklu kalıp kesiti görülmektedir [16]. Şekil 2.14' de sıcak yolluk sistemi genel hatları ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 13 İki gözlü sıcak yolluk sistemi [16].

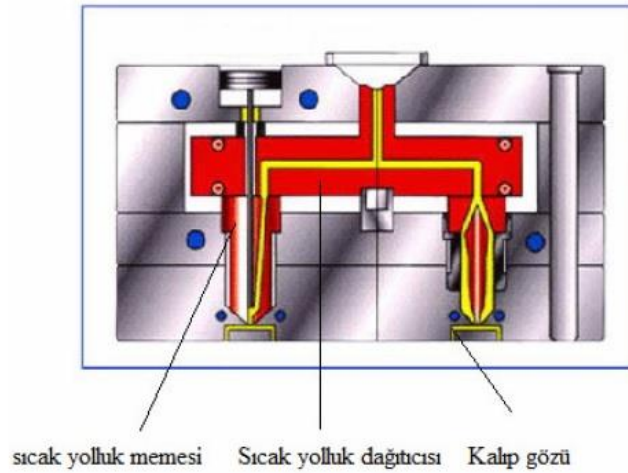
- 1- Kalıp gözü tespit (taşıyıcı) plakası
- 2- Ara plakası
- 3- Destek bloğu
- 4- Bağlama (sıkma) plakası
- 5- Yalıtım (izolasyon) plakası
- 6- Merkezleme halkası

- 7- Takviye plakası
- 8- Sıcak yolluk dağıtıcısı (manifolt)
- 9- Isı reflektörü (reflektör plakası)
- 10- Destek halkası (rondela)
- 11- Destek halkası (rondela)
- 12- Kapama tapası
- 13- Merkezleme halkası
- 14- Yolluk burcu
- 15- Filtre tertibatı (malzeme filtresi)
- 16- Isıtıcı (spiral rezistans)
- 17- Havşa başlı vida
- 18- Vidalı emniyet pimi
- 19- Vidalı tapa
- 20- Silindirik saplama
- 21- Silindirik saplama
- 22- Yüksek güçlü ısıtıcı
- 23- Sıcaklık ölçer
- 24- Bağlama kutusu
- 25- Yüksek verimli meme
- 26- Metal O-ring (halka)
- 27- Kalıp gözü tertibatı
- 28- O-ring (halka)

Sıcak yolluk sistemini oluşturan elemanlar aşağıda verildiği gibi genellikle beş ana guruba ayrılır:

- Sıcak yolluk memesi
- Sıcak yolluk ısıtıcıları (dağıtıcı ve meme ısıtıcıları)

- Sıcaklık kontrol cihazı
- Sıcaklık kontrol elemanları (termocouple)
- Sıcak yolluk dağıtıcısı (manifold)



Şekil 2. 14 Sıcak yolluk sisteminde eriyik akışının gösterilmesi [17].

Sıcak yolluk sisteminin avantajları:

- İşçilikten tasarruf (yolluk temizleme, kırma, depolama): Birim zamanda alınan ürün sayısının artması, işçilik maliyetinin düşmesi, yolluk kırma sorunu olmaması ve en önemlisi kırma olarak geri kullanılması imkansız olan çeşitli plastik malzemelerin yolluk sarfiyatının ortadan kalktığı düşünüldüğünde çok büyük maddi tasarruf sağlar. Yukarıda belirtildiği üzere sanıldığı aksine yolluktan kurtulma; sıcak yolluk kullanılmasının avantajlarının önem sırasının sonlarında yer almaktadır,
- Kalıp tam otomatik olarak çalışmaktadır,
- Düşük çevrim süresi (yolluk, giriş, açma mesafesi),
- Malzemedan tasarruf,
- Alandan tasarruf,
- Zamandan tasarruf,
- Makine kapasitesinden tasarruf: Sıcak yolluk sisteminin, bir enjeksiyon makinesinin kapasitesini ortalama %20 arttırdığı düşünüldüğünde 5 makine

ile çalışan bir işletme, normal yolluk sistemine kıyasla sıcak yolluk sistemi ile 6 makine kapasitesine çıkar,

- Makine ömrünü uzatma: Sıcak yolluk sisteminde tüm basınçlar düşeceği için makine daha az yıpranır ve ömrü uzar,
- Özel giriş tasarımların en ekonomik yoludur,
- Yüksek parça kalitesi (P, T, kesme gerilmesi),
- Küçük parçaları üretmenin en ekonomik yoludur,
- Özel giriş tasarımları gerektiren komplike parçaların üretilebilmesinin en ekonomik yoludur,
- Eğer giriş sıcak yolluğa dahilse çıkan üründe yolluk parçası kalmaz ve ürün için son işlem gerektirmez,
- Kalıp gözlerinin yerleşim konfigirasyonuna dikkat edilmiş ise, pratik olarakta bütün gözler aynı zamanda, aynı şartlarda doldurulmaktadır,
- Yolluktaki ısı ve zaman kayıpları olmadığı için, kalıp gözünün girişindeki sıcak eriyik plastik sayesinde, ince duvarlı parçalar hızla doldurulmaktadır,
- Sıcak yolluk sisteminde malzeme akış yolunun çapı, klasik yolluklu kalıplara göre daha büyük seçilebildiğinden (malzeme kaybı endişesi olmadığından), sistemdeki basınç kaybı daha az olmaktadır,
- Düşük basınçlarda kalıplama yapıldığından, kalıplanan parçalardaki iç gerilmeler daha azdır,
- Özellikle çok gözlü sıcak yolluklu kalıplarda, konvensiyonel kalıplardaki gibi doldurulacak bir yolluk olmadığı için enjeksiyonun çevrim süresi çok kısıtlıdır (ince duvarlı parçaların çok gözlü kalıplarındaki çevrim süresinin, büyük bir kısmı yolluğun dolmasını beklemekle geçmektedir),
- Kontrollü açılıp kapanan büyük sıcak yolluk girişler (valf giriş) kullanıldığında, genel parça kalitesi iyileşmektedir,
- Makine sınırlaması yoktur. Sıcak yolluklu kalıplar bütün enjeksiyon makinelerinde kullanılabilirler,

- Yalnızca baskının soğutulması gerektiğinden, baskı süresinin azaltılması yolluk ve besleme sistemi kolayca donan kapının üzerinde sıcak olarak kalır,
- Yolluk sistemi olmadığı için, bunların geri dönüşümü gibi bir işleme de gerek yoktur, malzeme ve zaman tasarrufu sağlanır. Geri dönüşüm malzemenin besleme sistemine ilave edilmediğinden üretim ve enjeksiyon miktarında üretim esnasında sabitlik (değişmezlik) sağlanır,
- Baskı sonrası işlemlere ve ilave işçiliğe ihtiyaç yoktur. Çünkü yollukları koparmaya ihtiyaç yoktur, böylece bir tasarruf sağlanır. Baskı esnasında, kalıp doldurma üzerinde polimer akışında çok iyi kontrol sağlanır. Bu, bu konuyla ilgili bölgedeki besleme sisteminin sıcaklığını, bölgesel olarak değiştirme imkanı verir [18].

Sıcak yolluk sisteminin dezavantajları:

- Kalıp toplama süresi iki parçalı kalıba göre daha uzundur,
- Kalıbı enjeksiyon makinesine bağlamadan önce ısıtılması için gerekli düzeneğe sağlanmamış ise, kalıbın üretime girmesi için sıcak yolluk sisteminin ısınmasını beklemek gerekmektedir,
- Sıcak yolluk yeni kalıpların ilk üretime alınması, gerekli hassasiyet gösterilmediği takdirde standart kalıplara göre daha zahmetli ve problemli olabilir,
- Kalıp maliyeti, standart kalıplara göre daha yüksektir,
- Kalıpta gerekli soğutma önlemleri alınmamış ise, sıcak yolluk girişine yakın bölgelerde parça yüzeyinde yanma izleri görülebilir,
- Sıcak yolluk sisteminde sürekli eriyik durumundaki malzeme, iyi tasarımılandırılmamış bir kalıpta kaçak problemleri oluşturabilir. Sistemin sıcaklık kontrollerine gerekli önem verilmediğinde, yolluk girişlerindeki polimer donarak üretimi aksatabilir.
- Naylon gibi bazı malzemeler, kalıp açıkken yolluk girişinden kalıp gözünün içine damlayarak, bir sonraki baskıda parça üzerinde iz bırakabilir. Isıtıcı elemanlar iyi kontrol altında tutulmaz ise, üretim sırasında yanarak arıza oluşturabilirler,

- Bazı tasarımlarda ısıtıcı elemanların değiştirilmesi zor ve zaman alıcı olabilir,
- Ham maddenin rengini veya tipini değiştirmek bazı sıcak yolluk giriş tipleri için problemli olabilir,
- Sıcak yolluk sisteminin genişmesi için tasarımda gerekli önlemler alınmamış ise, genişleme problem oluşturabilir [18].

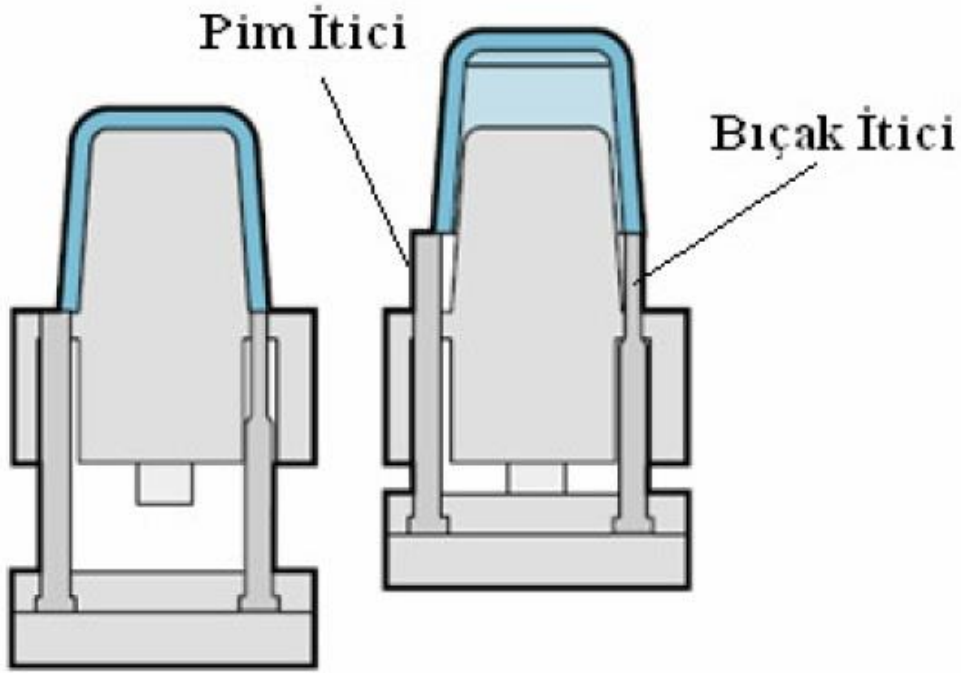
2.1.5 İtici Sistemi

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

İtici mekanizmasının çalışması iki türlü olabilir. Bunlar otomatik itme ve yan otomatik itme sistemleri olarak adlandırılabilir. Otomatik itme sistemlerinde itme olayının başlaması ve bitmesi tamamen otomatik olarak operatöre ihtiyaç duyulmaksızın olur. Genellikle kalıpların otomatik itme sistemiyle çalışması tercih edilir. Yan otomatik itme sisteminde ise operatörün her itme çevrimi bittikten sonra emniyet kapısını açmak ve kalıp kapanmadan da kapatmak zorundadır [19,20].

2.1.5.1 Pim ve Bıçak iticiler

İtici pimler en ucuz itici sistemlerdir, ufak kesitlerinden dolayı yüksek miktarda itici kuvveti baskıda bir noktaya uygulanır. Bu yüksek kuvvet, ince duvarlı veya kırılgan malzemelerin kullanıldığı parçalarda bozulma veya kırılmalara neden olabilir. Bıçak iticiler ise yine itici sistemleri arasında ucuz sayılabilir fakat pim iticilere göre daha maliyetlidir. Şekil 2.15' de pim ve bıçak itici örneği verilmektedir.



Şekil 2. 15 Pim ve bıçak itici kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması [31].

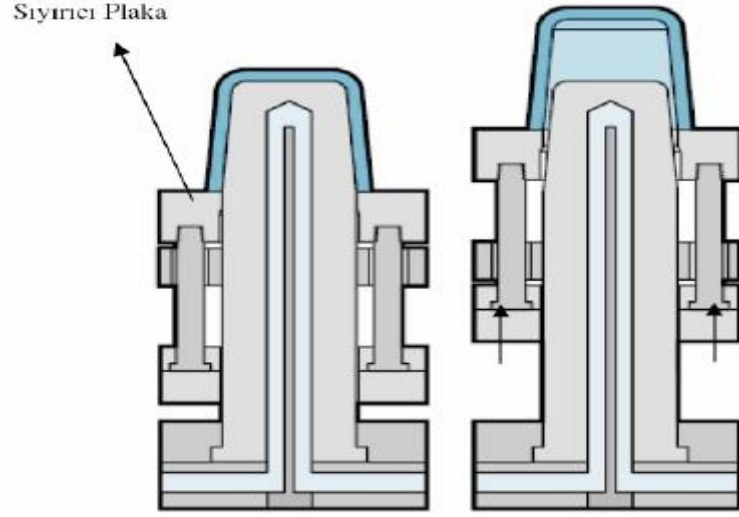
2.1.5.2 Blok İtici

Basit bir şekilde blok iticiler, pim ve bıçak iticilerin kullanıldığı yere göre daha geniş yüzeylerin kalıptan çıkması zor olacak, derin duvarların olduğu bölgelerde kullanılır. Derin duvarların olduğu bölgelerde parça kalıba tutunmaya çalışacağından pim ve bıçak iticilerin temas ettikleri yüzeyler küçük olduğundan, parçayı çıkarırken zarar verebilirler. Blok itici yerine aralıkları az olan bıçak iticilerin kullanılması akla gelebilir, fakat bütün bıçak iticiler için kalıp hamilinde açılacak boşluklar hamili çok zayıflatacaktır, bu da kalıbın uzun ömürlü olmasını engelleyecektir.

2.1.5.3 Sıyırıcı Plakalı İtici

Sıyırıcı plakalı itici sistemi parçayı çepeçevre sarar. Kalıp birleşim çizgisi bu plakanın üzerinde oluşturulur, bu sayede pim ve bıçak iticilerde olduğu gibi parça üzerinde itici izi görülmez. Parçanın daha dengeli biçimde kalıptan ayrılmasını sağlar. Sıyırıcı plakalar büyük boyutlu olduklarından itici plakasına sağlam bir biçimde bağlanmalıdır. Bu plakaya bağlanan sıyırıcının dengeli olmaması durumunda sıyırıcı plaka salınımı yapacağından bağlantı yuvalarını ve parçayı

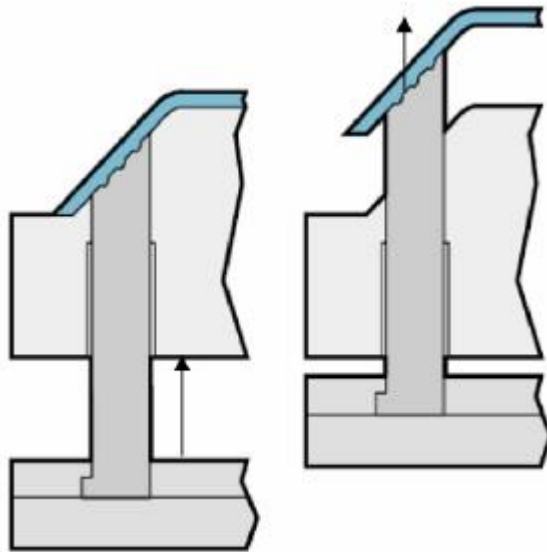
deforme eder, iki plaka arasında bağlantıyı sağlayan pimlerin en iyi şekilde yataklanması gerekmektedir. Şekil 2.16' da sıyrıcı plakalı kalıbın şematik gösterimi belirtilmiştir.



Şekil 2. 16 Sıyrıcı plaka kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması [31].

2.1.5.4 Açılı Pim İtici

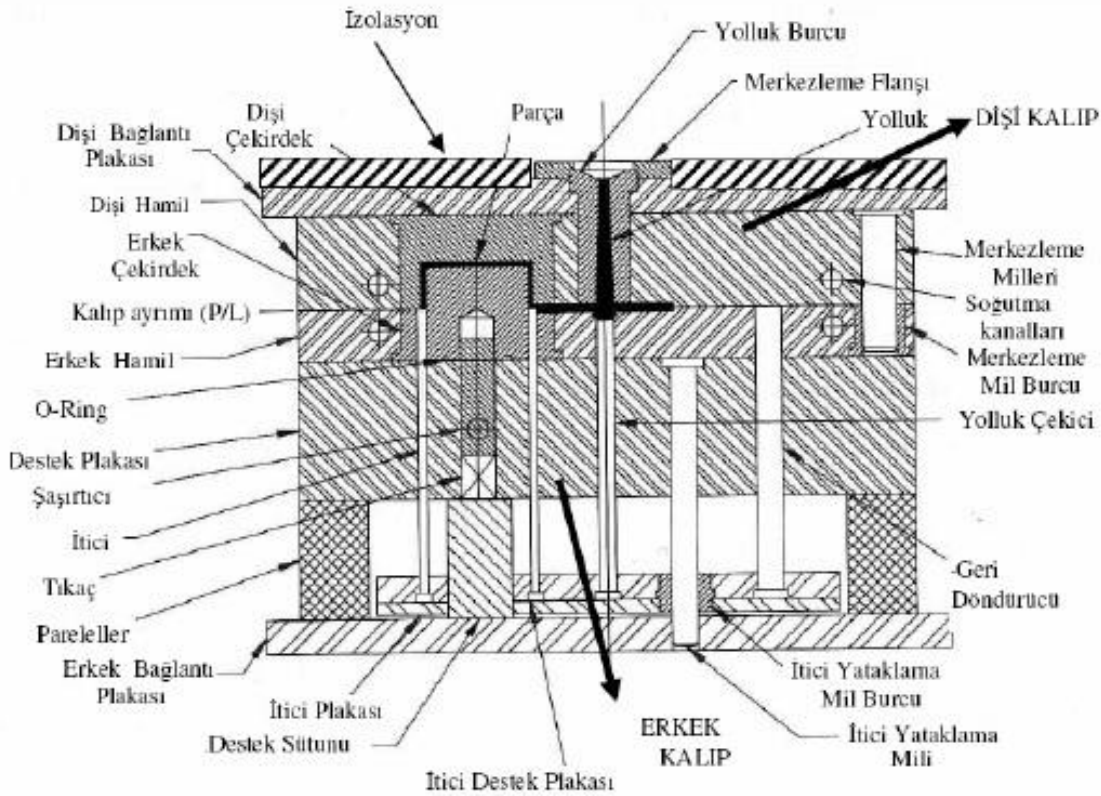
Açılı pim itici sistemi parça geometrisine göre pim iticilerin uçlarına (parça ile temas eden bölgenin) şekil verilmesiyle oluşturulur ve parçaya zarar vermemek için kullanılır. Şekil 2.17' de görüleceği üzere parça üzerindeki bazı geometriler itici üzerine işlenebilir ve parçanın formunun oluşmasına fayda sağlarlar.



Şekil 2. 17: Açılı pim itici kullanılarak parçanın kalıptan ayrılması [31].

2.2 Enjeksiyon Kalıp Elemanları

Silindir içindeki plastik malzemenin erimesine ve enjeksiyona hazır hale gelmesine plastikleşme denir. Enjeksiyon kalıbı, enjeksiyon basıncına karşı koyabilmek için sıkıca kapanıp kilitlendikten sonra, plastikleşmiş malzeme, kalıp boşluğuna doğru basınçla sıkıştırılır. Dişi ve erkek kalıp arasında kalan ve malzemenin istenilen şekli aldığı kısma kalıp boşluğu denir. Kalıp açıldığında, dişi ve erkek kalıpların birleşme yüzeylerini oluşturan dış hat kalıp ayırım çizgisidir. Genel olarak bir enjeksiyon kalıbının elemanları Şekil 2.18' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 18: Enjeksiyon kalıp elemanları [12].

2.2.1 Dişi Kalıp Elemanları

Dişi çekirdek; parça geometrisinin işlendiği, genelde yolluk girişinin bulunduğu kalıbın en parlak çeliğidir.

- Dişı hamil; dişı çekirdeğin etrafındaki ana taşıyıcı çeliktir.

Dişı çekirdeğin ve dişı hamilinin iki ayrı çelikten işlenmesinin avantajları:

- Büyük boyutlu kalıplarda hamil ucuz, çekirdek kaliteli çelikten işlenebilir.

- Büyük tek çelik işlemektense iki ayrı çeliği işlemek zaman kazandırır.

- Merkezleme flanşı; kalıbı enjeksiyon makinesi plakasına merkezleme flanş çapları her makine için aynı değildir. Bu yüzden kalıbın, farklı tonajlı veya üreticisi farklı olan makinelere bağlanma olasılığı varsa iç içe halka şeklinde yapılmalı ve makine standartlarına göre ayarlanabilir olmalıdır.
- Yolluk burcu; enjeksiyon makinesinin vidasından kalıp ayrılma hattına (P/L) malzemeyi getirir.

Neden ayrı parça olarak kullanılır?

- İşleme kolaylığı,

- Parlatma gereksinimi,

- Bakım kolaylığı,

- Standart eleman olarak temin edilebilirliği.

- Dişı bağlantı plakası; kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanmasını sağlar.
- İzolasyon plakası; ısı kayıplarını azaltarak kalıbın ısı dengesine yardımcı olur, kalıp maliyetini ek bir parça koyarak arttırdığı düşünülse de kaybedilen ısı kayıplarının kazanılması büyük bir maliyet kazancı sağlamaktadır.
- Soğutma kanalları; hamilde ve tercihen çekirdekte soğutma kanalları açılır. Baskı sırasında ürünün daha hızlı soğuyup katılaşmasını ve kalıbın sabit ısıda kalmasını sağlar.
- Merkezleme milleri; kalıbın dişı ve erkek plakalarını merkezleyen millerdir. Standart eleman olarak satılmaktadır.

2.2.2 Erkek Kalıp Elemanları

- Erkek çekirdek; parça geometrisinin işlendiği, dişi kalıp ile kalıp boşluğunu oluşturan, iticilerin ve hareketli diğer elemanların çalıştığı çeliktir.
- Erkek hamil; erkek çekirdeğin etrafındaki ana taşıyıcı çeliktir.
- Destek plakası; erkek hamil plakasının yüksek basınçlara dayanabilmesi için destek görevi görür. Opsiyoneldir ve erkek hamil, çelik ile tek parça da yapılabilir.
- İtici plakası; kalıp iticilerini üstünde barındıran plakadır.
- İtici destek plakası; parçayı çıkaran iticilerin bağlandığı, makinenin itici pimlerinin ileri doğru hareketi ile itici hareketini sağlayan plakadır.
- Paraleller; itici plakasının hareketi için yeterli boşluğu sağlarlar.
- Destek sütunu; destek plakasının eğilmesini engeller, uygulanan basınçlara karşı dayanımı sağlar.
- Yolluk çekici (burcu); yolluğun dışıde kalmaması için yolluğu erkek tarafa çeker, böylece parçanın erkek kalıpta kalmasını ve erkek kalıpta bulunan iticiler sayesinde kalıptan ayrılması sağlanır.
- İtici yataklama milleri; itici plakasının eksenel yönde hareketini sağlayarak, salınım yaparak kalıba ve parçaya zarar vermesini engeller.
- İtici yataklama mil burcu; iticiler hareketli parçalar olduklarından, sadece istenilen eksende hareket etmelerini sağlar.
- Geri döndürücü; kalıp kapanırken itici plakasını geri döndürür.
- Merkezleme mil burcu; kalıp üstündeki milleri eksenel olarak yataklamasını sağlar.
- Erkek bağlantı plakası; enjeksiyon makinesine bağlanmasını sağlar.

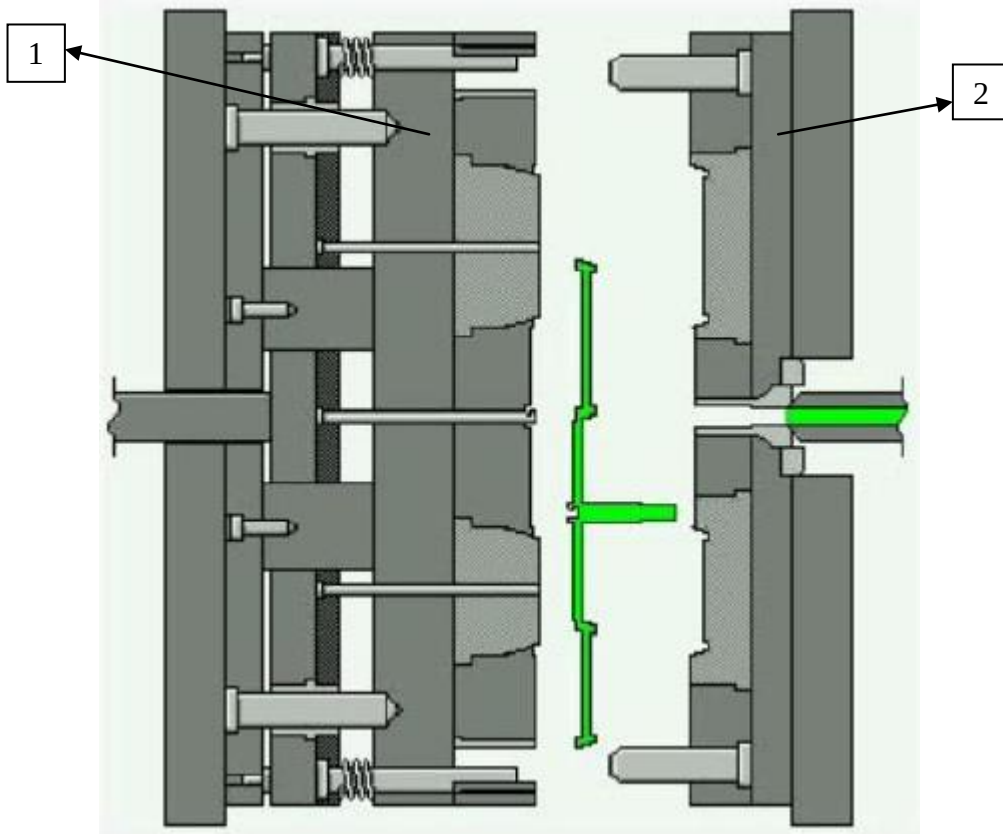
- O-ring; kalıbın soğutulması için açılan kanallardan kalıp çekirdeğine ve/veya kalıp hamiline su kaçağını önlemek için kullanılır. Sentetik kauçuktan yapılmıştır, kalıpta açılmış uygun açıklığa yerleştirilerek soğutma sıvısının sızıntı yapması engellenir. Görevini etkin bir şekilde sağlaması için yeterli bir sıkıştırmaya tabi tutulması gereklidir.
- Tıkaç; su devresi oluşturmak için belirli kanalların sonlarını tıkamak gereklidir. Bunlar için de tıkaç diye tanımlanan parçalar kullanılır. Enjeksiyon kalıp dizaynı, kullanılan plastiğe göre değişebilir. Enjeksiyon kalıpları termoset ve termoplastik malzemeler için kullanılabilir. Termoset malzeme için tasarlanan kalıplar, plastik malzemeden daha yüksek sıcaklıkta tutulmalıdır. Böylece termosetler için gerekli olan olgunlaşma süresi boyunca, gerekli sıcaklık sağlanmış olur. Termoplastik malzemeler için ise kalıp sıcaklığı, eriyiğin kalıba giriş sıcaklığından daha düşük olmalıdır.

2.3 Kalıp Tipleri

2.3.1 Kalıp Yapısına Göre Sınıflandırma

2.3.1.1 İki Plakalı Kalıplar

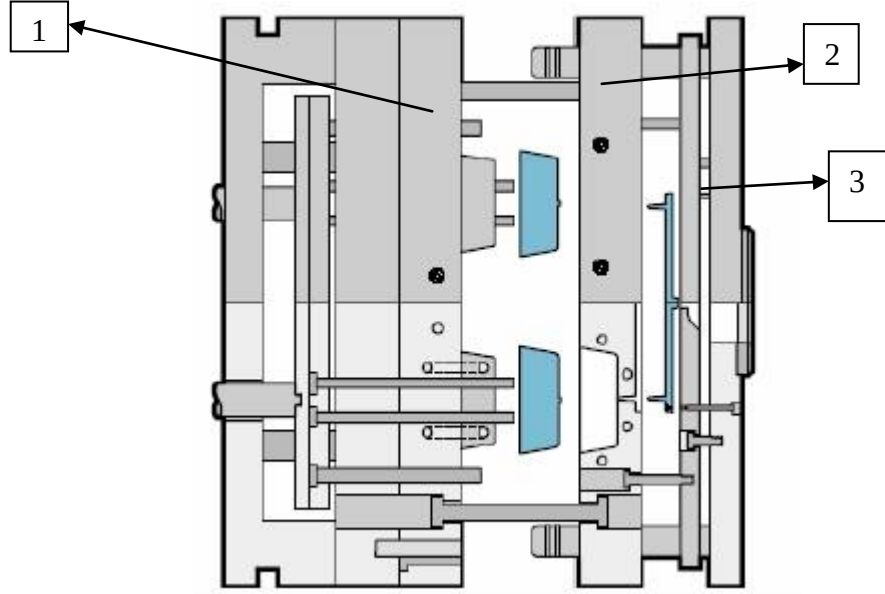
Kalıp endüstrisinde en çok kullanılan enjeksiyon kalıbıdır. Kısaca erkek ve dişi kalıptan oluşur. Bu iki kalıp parçasının birleştiği yüzeye kalıp ayırım çizgisi denir. En ucuz ve kolay dizayn edilebilen ve kullanıcıya kolaylık sağlayan kalıplar oldukları için tercih edilmektedir. Kalıp boşlukları bir plaka üzerine monte edilir ve diğer plaka bu plaka üzerine kapanır. Merkezi bir dikey yolluk sabit bir plakaya işlenir. Hareketli kısım, gereken kapama kuvvetini sağlar ve itici sistemlerini çalıştırır. Şekil 2.19' da gösterilen bu tip kalıplar, enjeksiyon kalıpcılığındaki en temel dizayndır.



Şekil 2. 19 İki plakalı enjeksiyon kalıbı.

2.3.1.2 Üç Plakalı Kalıplar

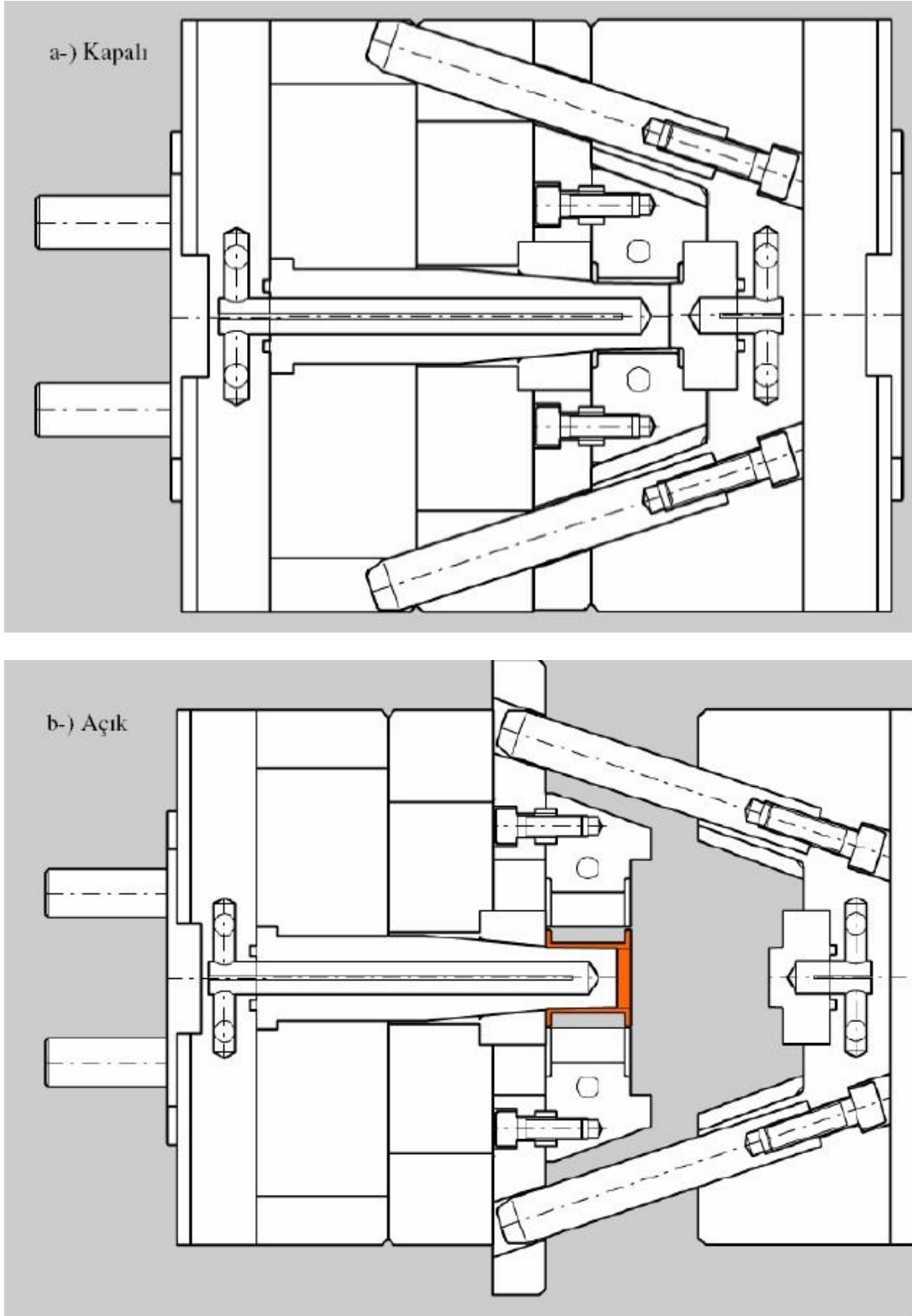
Çok gözlü kalıplar için tasarlanan bu tipte, ayrıca bir hareketli plaka daha bulunur. Kalıp üç ayrı plakadan oluşmuştur ve kalıp açıldığında bu üç plaka birbirinden ayrılır. Açıklığın biri, parçanın dışarı atılması için boşluk sağlarken, diğer açıklık, giriş yolluğunun dışarı atılması için boşluk sağlar. İki plakalı kalıba göre yapımı daha çok zaman alır ve maliyeti daha yüksektir. Merkezi veya eksensel kaçık yolluklar, bu tip dizaynda kullanılabilirler. Şekil 2.20' de üç plakalı bir kalıp tasarımı görülmektedir. Yolluksuz veya sıcak yolluklu kalıp teknolojisi üç plakalı kalıp kullanma eğilimini azaltmıştır. Sıcak yolluklu kalıplarla karşılaştırıldığında bazı avantajları bulunmaktadır. Kalıbın kullanılması esnasında malzemenin ve rengin kolayca değiştirilmesi; her baskıda yolluk sistemini temizleyerek, malzemede uzun süreli kirlenme olmadan hızlı renk değişimini sağlar. Güvenilirlik; sıcak yolluk sistemlerinde ısı kontrolü, sistemin ısıtılması, elektrik kesintilerinde ve arızalarında bozulmalara sebep olur. Üç plakalı kalıp daha fazla mekanik parça ile çalıştırılır. Maliyet; kalıp ısıtıcıları ve sıcaklık kontrol aletleri (termocouple, rezistans) çok pahalıdır.



Şekil 2. 20 Üç plakalı plastik enjeksiyon kalıbı.

2.3.1.3 Açılı Hareketli (Maçalı) Kalıplar

Parçanın kalıptan dışarı atılmasına engel olan bölümlerin (undercut) parça üzerinde oluşturulup, parçanın kalıbın açılma yönünde bir zorlamayla karşılaşmadan çıkması için kalıplarda maça sistemi kullanılır. Bu tip dizaynlarda, erkek kalıpta, pres tarafından hareket ettirilmesi mümkün olmayan kısımların hareketleri amaçlanır. Kam millerinin veya açılı pimlerin kullanımıyla, kalıp elemanlarının ikincil bir hareket kazanılması sağlanır. Bu ikincil hareket pnömatik veya hidrolik silindirler yardımıyla gerçekleştirilir. Pres tarafında hareket ettirilmesi mümkün olan kalıplarda, hareket açılı boynuz pimleri tarafından gerçekleştirilir. Şekil 2.21' de tipik bir açılı hareketli kalıp gösterilmiştir.



Şekil 2. 21 Açılı hareketli (maçalı) kalıp [21].

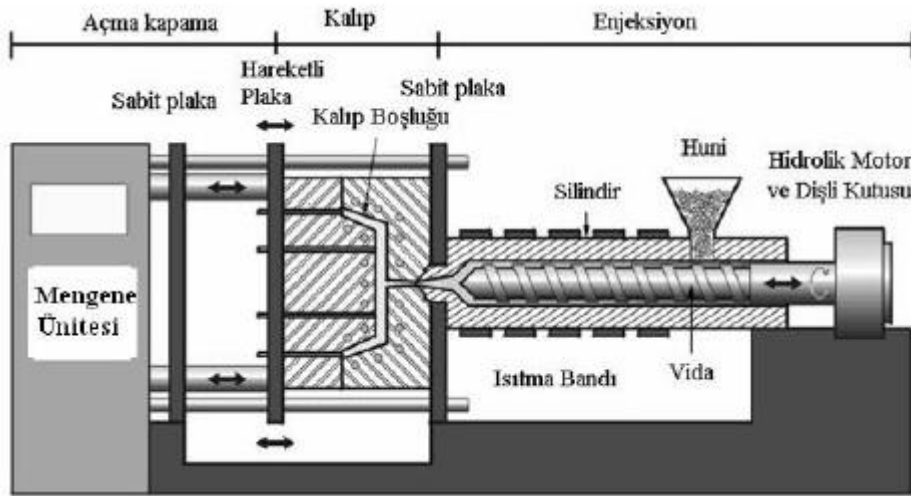
3. PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNESİ

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

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

Enjeksiyon baskı makinesi 3 ana bölüme ayrılır:

- Makine gövdesi
- Enjeksiyon ünitesi
- Kapama ünitesi



Şekil 3. 1: Plastik enjeksiyon makinesi.

3.1 Enjeksiyon İşlemi

Enjeksiyon, ham plastik malzemenin eritilerek kalıba basılması işlemidir. Burada plastik soğuyarak kalıbın şeklini almaktadır. Plastik malzemeyi belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıp kalıba enjekte eden, malzemenin dolmasından sonra onun soğumasını temin eden mekanizmayı destekleyen, donduktan sonra kalıptan çıkarılmasını sağlayan mekanizmayı içeren makineler enjeksiyon makineleri olarak bilinir. Enjeksiyon makinesinde, uygulanan kapama kuvveti ve basılan plastik miktarı makinenin sınıflandırılmasını sağlayan iki önemli parametredir. Kapama kuvveti 10 ton ile 5000 ton arası değişirken, basılabilen plastik miktarı birkaç gramdan 40 kilograma kadar çıkabilmektedir. Enjeksiyon kalıplamanın önemli avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Avantajları:

- Yüksek üretim hızlarına ulaşabilmesi,
- Yüksek miktarda üretimi mümkün kılması,
- Parça başına nispeten düşük işçilik maliyeti,
- Yöntemin otomasyona yüksek hassasiyeti,
- Parçaların son işlem gerektirmemesi veya çok az gerektirmesi,
- Çok çeşitli yüzey ve renk olanakları,
- Birçok parça geometrisinin bu yöntem ile ekonomik olarak üretilebilmesi,
- Diğer yöntemlerin kullanılamayacağı kadar küçük parçaların üretimine izin vermesi,
- Yolluk, iticilerin farklı kalıplar için kullanılabilmesi,
- Bazı durumlarda makine veya kalıp değiştirmeden aynı parçanın farklı malzemeler ile kalıplanabilmesi,
- Hassas geometrik toleransların elde edilmesi,
- Parçaların metal veya metal olmayan eklentiler ile birlikte kalıplanabilmesi,

- Parçaların plastik ile beraber cam, karbon gibi malzemelerin karıştırılarak kalıplanabilmesi,
- Malzemenin doğasında var olan yüksek dayanım-ağırlık oranı, kimyasal aşınmaya dayanıklılık, dayanım ve saflık gibi özelliklerdir.

- Dezavantajları:

- Yoğun endüstriyel rekabetin sıkça düşük kar oranları ile sonuçlanması,
- Rekabet edebilmek için genellikle üç vardiya çalışması,
- Kalıp maliyetinin yüksek olması,
- Kalıplama makinesinin ve yardımcı teçhizatın maliyetinin yüksek olması,
- İşlemin kontrolünün zayıf olabilmesi,
- Makinenin kontrol parametrelerinin son ürün ile doğrudan ilişkili olmamasından dolayı, makinenin tutarsız çalışması,
- Kötü işçiliğe duyarlı olması,
- Kalitenin genellikle anında belirlenmesinin zor olması,
- Yöntemin temelleri hakkında bilgi eksikliğinin sorunlara yol açması,
- Malzeme özelliklerinin uzun vadeli özellikleri hakkında bilgi eksikliğinin uzun vadede hatalarla sonuçlanabilmesidir.

3.2 Tezgah Tipi Ve Şekillendirilmeleri

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

- Yatay makine tipi: En çok kullanılan dizayndır. Kalıp açılınca, parça yere yerçekimiyle düşer, genel kullanımlıdır.
- Dikey makine tipi: Bu enjeksiyon tezgah tipi daha az yer kaplar. Kullanım yeri, metal parça konulan baskılarda veya baskı üzerine baskı yapılıncaya kullanılır.

- Yatay kilitleme dikey enjeksiyon: Bu sistemin avantajı, kalıp ayırım çizgisine doğrudan enjeksiyon yapma olanağı sağlar.
- Dikey kilitleme yatay enjeksiyon: Enjeksiyonun direkt olarak kalıp içine yapılmasını sağlar. İçine yabancı parça konulan çok renkli parçaların baskısında kullanılır.
- Çok üniteli: Genellikle müşterilerin isteğine göre özel üretim makinelerdir. Örneğin; çift kilitlemeli ve enjeksiyon sistemi kullanılır.

3.2.1 Mengene Kapama Ünitesi

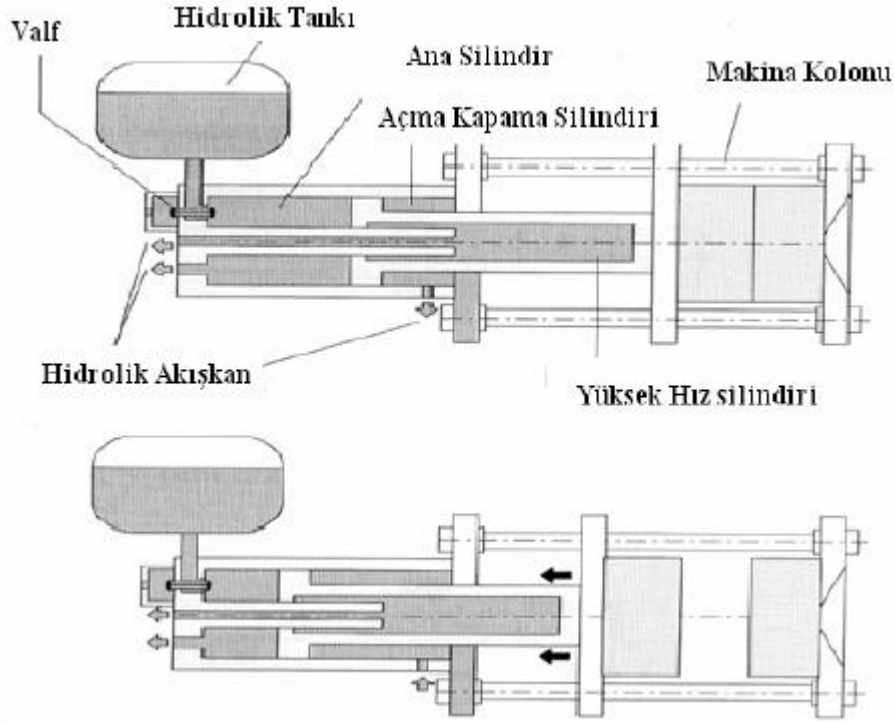
Mengene kapama ünitesinin görevi, kalıbı kapama ve açma, kalıbın yüksek basınçta kapalı kalmasını sağlayarak kalıp ayrılma hattında çapak oluşmasına izin vermemektir.

Üç Tip Kapama (Kilitleme) Sistemi vardır.

- Hidrolik Kapama (Kilitleme) Sistemi
- Hidro-Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi
- Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi

3.2.1.1 Hidrolik Kapama (Kilitleme) Sistemi

Hidrolik kuvvet uygulaması ile çalışır. Hidrolik piston makinenin hareketli tarafındadır. Plakanın ileri hareketi ve uygulanan kuvvet, kapama (kilitleme), silindirdeki sıvıya uygulanan yük basıncıyla kontrol edilir. Plakanın hareket hızı genellikle, sıvının giriş ve çıkış hızlarının oranıyla kontrol edilir. Şekil 3.2' de Hidrolik kapama (kilitleme) sistemi gösterilmiştir.



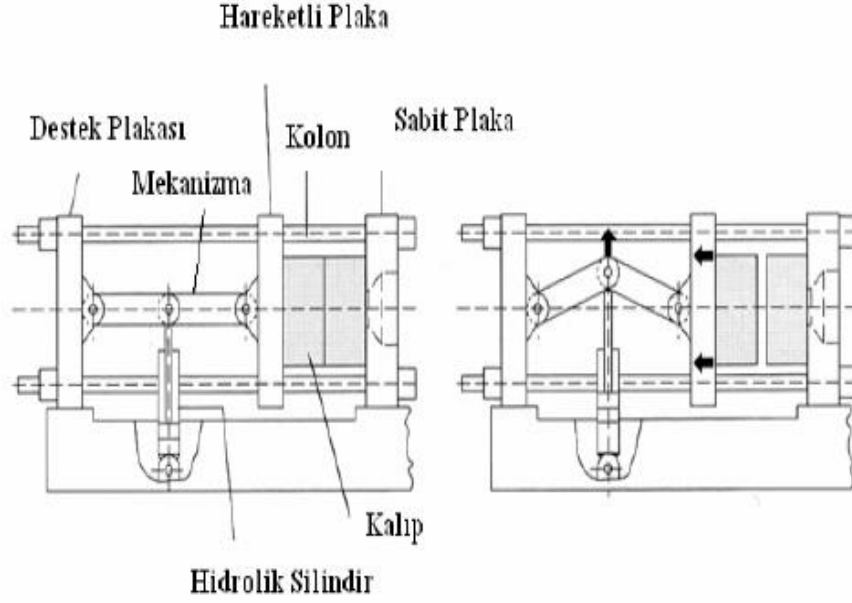
Şekil 3. 2: Hidrolik kapama (kilitleme) sistemi.

3.2.1.2 Hidro-Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi

Hidrolik hareketlendirici, silindir kelebek sistemini ve bağlantılarının hareketini kontrol eder, bu şekilde hareketli plakanın açılıp kapanmasını sağlar. Kilitleme kuvveti, mekanik olarak kelebek sisteminin açılmasıyla sağlanır. Dizayndaki bağlantılar sebebiyle mekanik olarak avantaj sağlanır. Buda hidrolik olarak uygulanan kuvvetin 1/20' sinin katlanmasıyla olur. Kilitleme gücü kilitleme yüksekliğinin ayarıyla yapılabilir. Bu da kilitleme vidasındaki bağlantılarının ileri geri çevrilmesiyle sağlanır. Kilitleme tonajı, kolonlardaki uzamalardan hesaplanır.

3.2.1.3 Mekanik Kapama (Kilitleme) Sistemi

Mekanik mengene kilitleme sistemlerinde gerekli mengene hareketleri ve kapama kuvveti, mekanik sistemin kinematiği sayesinde sağlanır. Tek blok makas mengene sistemi, mekanik mengene sistemlerinin en ucuzu olup daha çok 50 tona kadar kapama kuvvetine sahip küçük makineler için kullanılmaktadır. Bu sistemde kalıbı açıp kapatan mekanizmanın hareketleri çift etkili bir silindir ile sağlanır. Şekil 3.3' de mekanik kapama (kilitleme) sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3. 3: Mekanik kapama (kilitleme) sistemi.

3.2.2 Plastikleştirme Ve Enjeksiyon Ünitesi

Huni, vida, ocak, ısıtıcılar (rezistanslar), çekvalf ve yolluk memesinden oluşur. Huniden gelen polimeri ocakta ısıtıcılar yardımıyla eriterek, eriyik polimeri vida gövdesi (ocak, silindir gövdesi) içinde toplar. Hidrolik basıncı ile vida döner ve vidanın dönmesiyle vida helezonlarından eriyik polimer ileri doğru itilir. Vidanın üzerinde bulunan helezonların açıları ve vida çeliği çok önemlidir. Eriyik vidada ilerlerken, helezonlardaki açıdan ve plastiğin vida çeliğine sürtünmesinden kaynaklanan ısınma da göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 3.4' de plastikleştirme ve plastik enjeksiyon ünitesi gösterilmiştir. Vidaların yapımıcısı tarafından belirlenen ömürleri vardır ve ömrü bittiğinde değiştirilmesi gerekir. Helezonlar zamanla aşınarak özelliklerini yitirirler, iyi çalışıyor gibi gözükse de vidanın kalıba verebilecek eriyik kapasitesi azalır. İleri itilen eriyik polimer kalıp boşluğuna enjekte edilir. Soğuma boyunca tutma basıncı sağlanır ve meme ucunun geriye kaçması önlenir.



Şekil 3. 4: Plastikleştirme ve Enjeksiyon ünitesi [22].

3.2.3 Kontrol Ünitesi

Enjeksiyon tezgahının ve enjeksiyon prosesinin tüm parametrelerini ayarlar. 4 ana enjeksiyon parametresi grubunun (sıcaklıklar, basınçlar, hızlar ve zamanlar) doğrudan ya da dolaylı olarak kontrol edildiği 15-30 adet parametre değeri bulunur. Şekil 3.5’ te tipik bir kontrol ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 3. 5: Enjeksiyon tezgahı kontrol ünitesi [22].

3.2.4 Makine Gövdesi

Yukarıda anlatılan, plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesini, kontrol ünitesini ve enjeksiyon kalıbını taşıyan ana iskelettir. Ana gövde, makine çalışırken oluşacak darbe ve titreşimleri ünitelere aktarmayacak şekilde dayanıklı yapılmalıdır.

3.3 Plastik Enjeksiyon Prosesinde Ana Değişkenler

3.3.1 Sıcaklıklar

3.3.1.1 Enjeksiyon Malzemesinin Sıcaklığı

Malzemenin sıcaklığı, malzemenin cinsine uygun ve uniform olmalıdır. Meme ucundaki malzemenin sıcaklığı mutlaka bilinmelidir. Malzeme sıcaklığı, karışım tedarikçileri tarafından verilen sıcaklık aralığının tam ortasında olmalıdır. Eriyik sıcaklığını öğrenmenin en iyi yolu ise direkt olarak ölçmektir. Bu ölçümü yapmak için iki yöntem vardır.

Ölçme yöntemleri:

- Daldırma (çubuk pirometre, 30-30-30 yöntemi) yöntemi
- Infra red pirometresi

Daldırma (çubuk) pirometreler çekirdek sıcaklığını, infra red pirometreleri ise yüzey sıcaklığını ölçerler.

3.3.1.2 Kalıp Sıcaklığı

Enjeksiyonda temel prensip, sıcak plastiğı kalıp içine gönderip kalıp boşluğunun şeklini alıp bu şekilde kalarak soğuyup sertleşmesidir. Kalıp sıcaklığı, baskı süresini ve parça kalitesini etkilediğinden önemlidir. Sıcak kalıpta plastik çok kolay akmasına rağmen, baskının soğuyup dışarı atılma süresi uzayacaktır. Buna karşılık, soğuk kalıpta erimiş plastiğın soğuması çabuk olur fakat kalıp boşluğundaki akışkanlığı düşeceğinden kalıbı tam doldurmadan soğuyup sertleşir. Bu iki durum arasında en iyi koşulları yakalamak için; kullanılacak plastiğın tipine ve çeşidine, yolluk uzunluklarına ve istenilen parçanın kalitesine dikkat etmek gerekmektedir.

Kalıp dolma esnasında en sıcak erimis plastik, kalıba girişinde ve en soğuk plastik yolluk girişinden en uzak noktadadır. Kalıbın sıcaklığı iyi ayarlanmazsa bu sıcaklık farkı plastik parçada istenmeyen gerilmelerin, zayıf noktaların ve malzeme birleşim izlerinin oluşmasına sebep olur. Bunları önlemek için baskıda eşit sıcaklık dağılımı sağlamak gerekmektedir. Buda kalıpta tasarlanacak en uygun soğutma sistemleri ile gerçekleştirilebilir. Kalıbın sıcak bölgelerine soğuk su, soğuk bölgelerine sıcak su girişi sağlayarak bu mümkündür. Yavaş akan suyun laminar bir akışa sahip olduğu kabul edilir. Türbülanslı akış, kalıp soğutma çevriminin ve soğutmanın en iyi yoludur.

$RE < 10000$ laminar akış ($RE =$ Reynold sayısı)

$RE > 10000$ türbülanslı akış olarak ifade edilir.

Kalıp sıcaklığı da ideal olarak enjeksiyon malzeme sıcaklığı gibi plastik üreticileri tarafından verilen sıcaklıktır.

3.3.2 Basınçlar

Plastik malzeme, kalıp boşluğuna belli bir basınçla enjekte edilir. Bu basınçla plastik malzemenin kalıp boşluğunun şekli alması sağlanır. Basınç kaldırıldığında plastik hala akışkandır ve bir önceki geometrisine dönmek ister. Plastik çok kolay esneyebilme ve uzayabilme kabiliyetinden dolayı kalıp boşluğuna aşırı basınç uygulamalıyız ki malzeme sıcaklığı düştüğünde ve parçanın soğumasından dolayı pres çıkışında boşluklar oluşmasın. Kalıp plastikte dolduğu zaman bu seferde içindeki havayı dışarı atmak ister. Kalıp açıldığında ise yapmamız gereken iki şey vardır.

- Parçanın kalıbın sabit tarafına (enjeksiyon tarafına) yapışmasını engellemek,
- İtici sistem tarafından itilen parçayı ayırmak.

Bazı kalıpçılar, kalıpların makinelere adapte olmadığını öne sürerler. Yani aynı kalıp ve plastik şartları sağlandığında, farklı makinelere bağlandığında aynı performans elde edilemeyeceği söylenmektedir. Bu bir anlamda saçmadır. Malzeme işlem gördüğü makinenin kimliğini okuyamaz. Yani şartlar aynı ise sonuçta aynı olmalıdır. Bununla beraber bazı farklılıklar vardır. Yapılan ilk hata hidrolik pres basıncında, basıncı okuyan operatör tarafından, plastiğin üzerindeki basınç yüzünden hata olduğu düşünülür. Hidrolik pres işi, kuvvet katlayıcı denen bir prensiple çalışır. Plastik işinde bu 8:1 ve 12:1 oranındadır. Bununla beraber, bir çok istisna vardır. Çok açıktır ki eğer bir pres 8:1 oranında çalışıyorsa plastiğin 1000 kg'lık bir basıncı 8000 kg'lık bir basınca eş değerdir. Aynı makinede kullanılan 12:1'lik oran 12000 kg'lık bir basınç oluşturacaktır.

Basıncıdaki bu fark makinede flaşa sebebiyet verir (makinenin flaş yapması ile kastedilen, presin ışığının yanıp söner bir hata olduğunu ikaz etmesi). Bu basınç oranlarına göre her makine kendi kuvvet katlayıcısına göre sınıflandırılmalı ve buna göre bir tablo yaparak makinenin bu verilere göre ayarlanması gerekmektedir. Birçok makine bilgisayar kontrollüdür ve bilgi işlemcisi saniyenin 1/1000 aralığında okuma yapmaktadır. Bununla beraber makine imalatçıları saniyenin sadece 1/10' da devreye girebilen valf sistemleri kullanmaktadırlar. Aradaki bu hassasiyet farkı tabii ki makinenin yavaşlamasına ve problem çıkarmasına sebep olmaktadır. Bu tip makinelerin valfleri de ona göre seçilmelidir. Böylece kontrolde ilerleme yapılmış olacaktır. Parmak kuralına göre, basınç malzemenin üzerine aynı uygulanırsa, kalıpta aynı büyüklükler elde edilir ve buna bağlı olarak da parçada aynı ölçüler elde edilir.

3.3.2.1 Enjeksiyon Basıncı

Kalıp gözünü doldurmak ve parçayı ütülemek (kalıbın tam olarak dolması, ince detayların da oluşması sağlanır) için uygulanır.

3.3.2.2 Tutma Basıncı

Plastik malzemedeki çekmeleri karşılamak ve eksiksiz olarak kalıbın şeklini alması için uygulanmaktadır.

3.3.2.3 Geri Basınç

Vida geri hareketine direnç olarak tanımlanmaktadır ve malzemenin sürtünme ile ısıtılmasına yardımcı olmaktadır.

3.3.3 Zamanlar

Bir çevrimin başından sonuna kadar tamamlanıldığı aralığa çevrim zamanı denir. Malzeme eriyik halinde iken kalıbın içini çok iyi doldurması istenir. Malzeme soğumaya başladığında, yeteri kadar katı hale gelir ve bundan sonraki parça için enjeksiyon makinesi hazırlanmaya başlar. Malzemenin basitçe soğuması önemli değildir. Asıl önemli olan nasıl soğuduğudur. Burada anlatılmak istenileni bir deyimle anlatmak istersek "plastik katı hale gelmeden önce biraz kestirmesi gerekir." Yani hemen soğutmakta plastik açısından optimal bir durum değildir. Düşük çevrim süreleri için minimum zamanlar kullanılmalıdır.

3.3.3.1 Doldurma Süresi

Sadece kalıp gözünün doldurulması için geçen süredir.

3.3.3.2 Ütüleme Süresi

Sadece kalıp gözündeki malzemenin sıkıştırılması için gerekli süredir.

3.3.3.3 Tutma Süresi

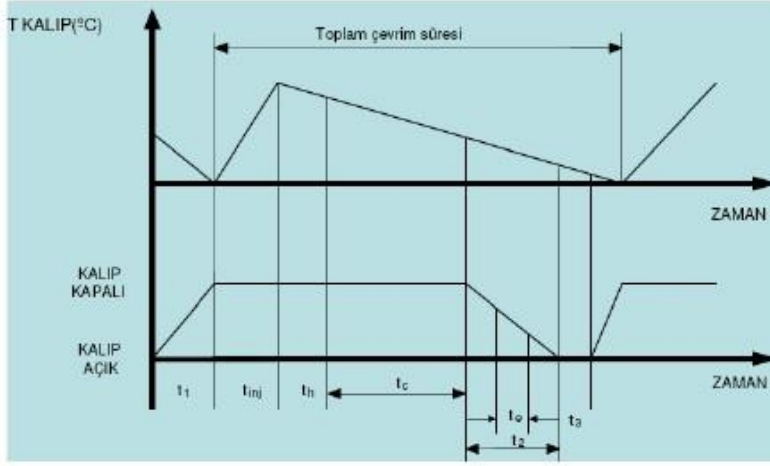
Çekmeyi azaltmak için parça kalıp içinde basınç (tutma basıncı) altında bekletilir. Parça çektikçe içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder. Daima aynı tutma sürelerinde çalışarak aynı ağırlıklardaki parçalar elde edilebilir.

3.3.3.4 Soğutma Süresi

Parçanın kalıbın içinde yeterli rijitliğe ve soğukluğa sahip oluncaya kadar geçen süredir.

3.3.3.5 Kalıp Açık Kalma Süresi

Minimum olmalıdır ve değişmemelidir. Kalıp açık kalma süresi, kalıbın açılması, iticilerin vurması ile parçanın çıkarılması ve kalıbın kapatılma süresinden oluşur. Şekil 3.6' da çevrim süresi gösterilmiştir.



Şekil 3. 6: Çevrim süresi.

3.3.4 Hızlar

Kalıp gözünü doldurma hızına enjeksiyon hızı denir. Yüksek enjeksiyon hızı kalıp gözünün düşük viskozite ve iyi eritilmiş malzeme ile doldurulmasını sağlar. Küçük yolluk girişleri ile, yüksek enjeksiyon hızı ile parçada mekanik ve kozmetik hatalar oluşabilir.

3.3.5 Dört Değişkenin Kullanım Sırası

Genellikle hızın birincil derecede değişken olduğunu bulacaksınız. Doldurma hızı direkt olarak ergiyiğin viskozitesine bağlıdır. Buda istenilen doldurma basıncına bağlıdır. Hızdaki ufak değişiklikler makinenin kalıp boşluğunu doldurma kabiliyetini dramatik bir şekilde etkiler. Malzemenin viskozitesi bu hıza bağlıdır; büyük bir ihtimalle en kritik ve değiştirilmesi diğerlerine etkisi en az olan değişkendir.

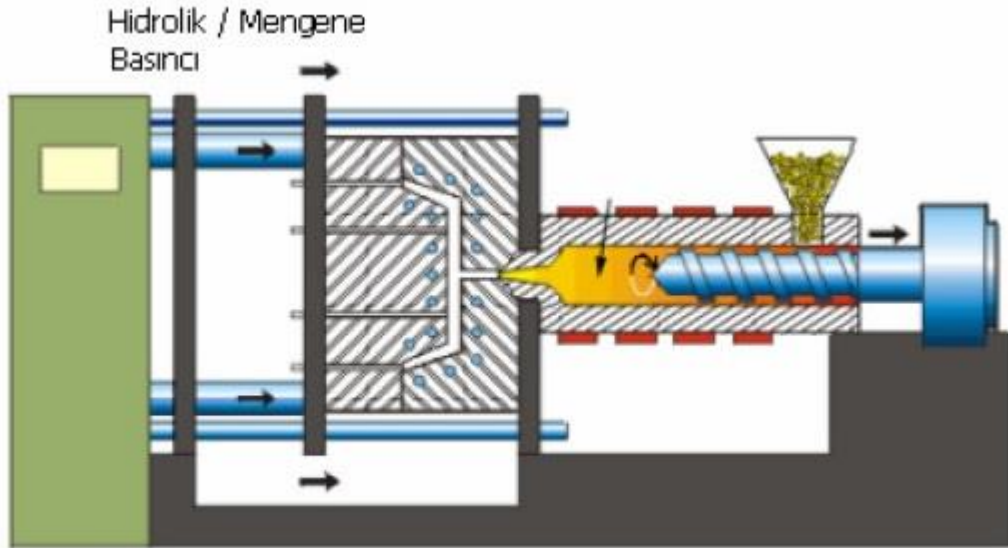
Basınç kullanılması gereken ikincil değişkendir. Prosesin genelinde yapacağı az bir etkiyle çok kısa bir zaman periyodu içinde adapte edilebilir.

Zaman, sıradaki kullanılması gereken değişkendir. Çevrim zamanındaki değişiklik malzemenin ergime sıcaklığına hemen yansır. Sıcaklıkta yapılan değişiklikler kolayca viskoziteyi değiştirir. Buda basıncı ve hıza etki eder. Isı ayarlanması gereken en zor değişkendir. Çünkü plastiğe ısı vermek kolaydır ama zamanda ondan ısıyı almak zordur.

3.4 Plastik Enjeksiyon Çevrimi

Enjeksiyon çevriminin yedi adımı:

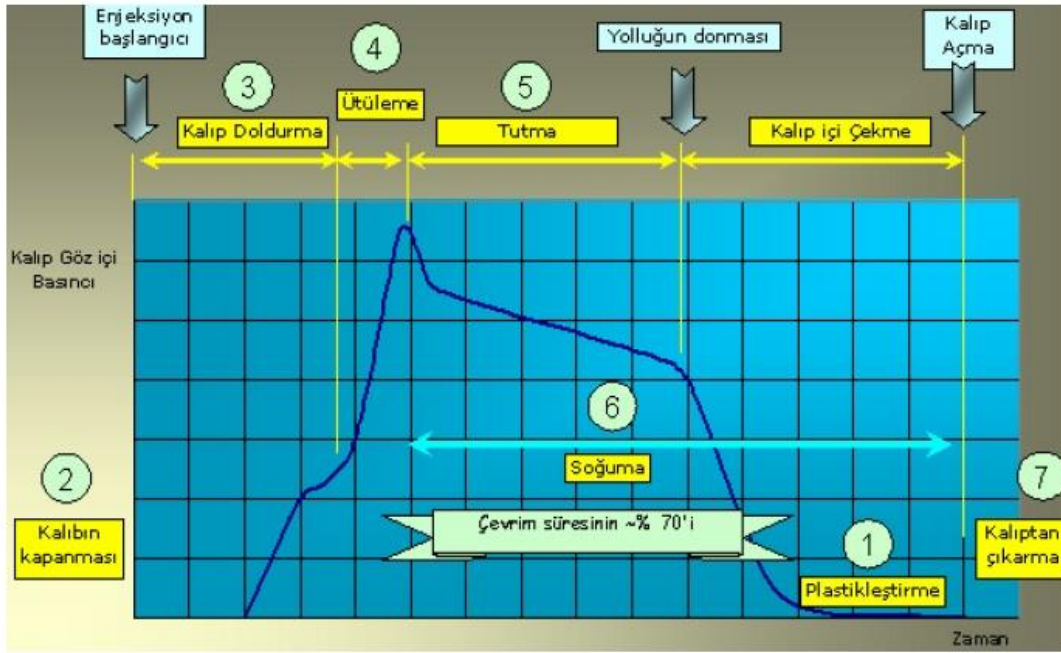
- Plastikleştirme: Plastik ham maddenin eritilmesi, kalıba enjekte edilmeye hazır hale getirilmesidir. Vida döner ve huniden ocağa granül ham madde alınır. Ham madde eritilir (ısıtıcılar ve vida sürtünmesi ile). Eriyen plastik öndeki vida boşluğuna ulaşır. Vida boşluğunda biriken plastik vidayı geriye doğru iter. Vidanın geri gitmesine geri basınç karşı koyar. Şekil 3.7' de kalıbın kapalı hali ve makinenin resmi görülmektedir.



Şekil 3. 7: Kalıbın kapatılması.

- Kalıbın kapatılması: Makinenin mengene ünitesi kalıbın iki parçasını birbirine üzerine kapatır ve yüksek basınç uygulanır.
- Kalıbın doldurulması: Vida hidrolik piston tarafından ileri itilir. Eriyik plastik kalıp boşluğuna dolar. Kalıp gözünü doldurmak için gerekli olan basınç (enjeksiyon basıncı) ve kalıp göz içi basıncı artar. Plastik kalıp boşluğunu doldururken sıcaklık artışına karşı viskozite ve basınçta azalma gerçekleşir. Eriyik plastiğin kalıp boşluğunu tamamen doldurduğu anda dolum aşaması sona erer.

- Ütöleme: Basınç yükselttilerek (ütöleme basıncı) kalıbın tam olarak dolması, ince detayların da oluşması sağlanır.
- Tutma (Holding): Çekmeyi azaltmak için parça, kalıp içinde basınç (tutma basıncı) altında bekletilir. Parça çektikçe, içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder.
- Soğutma: Yolluk dondonduktan sonra parça kalıp içinde soğur ve çeker. Soğutma, parça yumuşama sıcaklığına ulaşınca kadar devam eder.
- Kalıptan Çıkarma: Yumuşama sıcaklığına ulaşmış parça artık çıkarılabilecek kadar katılaşmıştır. Kalıp açılır. Parça itici yardımı ile kalıptan çıkarılır. Şekil 3.8' de enjeksiyon çevrim Çizelgesi gösterilmiştir.



Şekil 3. 8: Enjeksiyon çevrimi.

3.5 Enjeksiyon Çevriminin Parça Tasarımı Ve Kalıp Tasarımı İle İlişkisi

Parça tasarımında enjeksiyonu ve kalıp tasarımını kolaylaştırıcı tedbirler alınabilir.

a. Kalıbın Doldurulması:

- Parça tasarımında enjeksiyon basıncını gereksiz arttırıcı unsurlardan kaçınılmalıdır,

- Keskin köşelerden kaçınılmalı,
- Çok ince kesitli detaylar,
- Malzemenin akış uzunluğunu aşan akış mesafeleri,
- Dar ve uzun akış mesafeli detaylar,
- Yolluk yeri, sayısı dengeli ve rahat doluma uygun olmalı,
- Parça üzerinde dengeli basınç dağılımı, kalıbın dengeli çalışması,
- Düşük birinci basınç gereksinimi,
- Yolluk yeri seçim kriterlerine göre parçada uygun yere yolluk girişi yapılmalı.

b. Parçanın Soğutulması:

- Soğutulması zor detaylar dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmeli,
- İnce ve derin girintiler,
- Sık ve yüksek feder ağırları,
- Kalıpta yeterli soğutma kanalı uygulanmasını zorlaştıran detaylardan kaçınılmalı,
- Yakın ve çok sayıda iç maça kullanımı,
- Yakın ve çok sayıda değişken lokma kullanımı.

c. Parçanın Kalıptan Çıkarılması:

- Yeterli sayı ve yüzey alanına sahip ve dengeli dağılmış itici yerleşimi sağlanabilmeli,
- Parçada iticiler için özel detaylar yapılmalı,
- İtici koyulmasının istenmediği bölgeler belirtilmeli,
- Deforme olmadan çıkarma için dengeli ve yeterli itici konabilecek bölgeler belirlenmeli,
- Yüzey dokusu uygulamasında yeterli kalıp açılırları verilmeli,

- Dışide kalma problemi yaşanmamalı.

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

4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI

4.1 Plastik Parça Tasarımı

4.1.1 Tasarımda Temel Noktalar

Diğer malzemelere oranla, plastik malzemelerde yapısal geometrinin yanında malzeme kompozisyonuna daha fazla önem vererek tasarımı optimize etmek gerekir. Plastiklerde özellikle malzeme seçimi, tasarım şekli ve üretim yöntemlerinin seçimi arasında önemli bağlantılar vardır.

Günümüzde 10000' den fazla çeşit plastik malzeme vardır ve bunlardan birkaç yüzü büyük miktarlarda kullanılmaktadır. Plastik malzemeler aynı tipte değildir ve herbiri değişik özelliklere sahip gruplara ayrılır (Şekil 4.1).

Plastik malzemeler (polimer) birbirine bağlanan yada karıştırılan uzun molekül zincirlerinden (makro moleküllerden) meydana gelir. Makro moleküller 10000' den fazla tek yapı elemanlarının kolye üzerine boncuklar gibi dizilmesiyle oluşur. Makro molekülleri oluşturan tek yapı elemanlarına 'monomer' denir. Aynı monomerlerden farklı üretim metodları yada farklı miktarlarda kullanılarak çok farklı polimerlerin elde edilmesi mümkündür.

Polimerler, polimerizasyon reaksiyonları ile elde edilebilirler. Polimerizasyon bir çok molekülleri bir araya bağlama reaksiyonudur. Farklı türden monomerlerin bu şekilde birleştirilmesi 'kopolimerizasyon', monomerlerin su, amonyak gibi basit yan ürünler vererek birbirine bağlanması 'polikondenizasyon' olarak adlandırılır. Bu reaksiyonları başlatmak için ısı, basınç veya katalizörlerden yararlanılır [23].

Polimerler makro moleküler yapılarına, bağ ve mekanizmalarının tipine bağlı olarak üç ana gruba göre sınıflandırılabilir:

1) Termoplastikler

Termoplastik polimer çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen, matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça, işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik, soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine sahiptirler.

Başlıca termoplastikler: PMMA (polimetil metakrilat), CA (selüloz asetat), PTFE (politetra floretilen), PA (poliamid), PE (polietilen), PP (polipropilen), PVC (polivinil klorür), PC (polikarbonat), ABS (akrilonitril bütadien stiren), PET (polietilen tereftalat), PEEK (polieter eter keton), PPS (polifenilen sülfür), PPA (polifenilen oksit) gibi plastik malzemelerdir [23].

Termoplastiklerin enjeksiyon kalıplanması ise; bu malzemeler ısıtıldıklarında şekil değişikliğine uğrarlar ve yumuşak akışkan hale gelirler. Tekrar soğutulduklarında ise katılaşabilirler. Aslında bu plastikleşmenin sıcakta, kalıplamanın ise soğukta olmasının sebebi termoplastikler içindir. Genellikle sıcaklık farkı 100°C' den daha fazladır. Enjeksiyon kalıplama için geliştirilen termoplastik malzemeler, az kuvvetle kısa zamanda akışkan bir erime gösterir.

Enjeksiyon kalıplama sıcaklığı malzemeden hızlı bir şekilde uzaklaştırılmalıdır. Bu yüzden soğutma sistemi çok dikkatli tasarlanmalıdır. Soğutma maddesi genel olarak sudur ve kalıplama sıcaklığı 100°C altındadır. Soğutma suyu kanallardan geçerek soğutma işlemini yapar. Ekonomik sebeplerden dolayı mesela kalıplama malzemesinin kalitesi, kalıplamaya sabit ve eşit olmayan bir sıcaklığa bağlıdır. Bu yüzden soğutma devresi çok iyi ve ince bir şekilde ayarlanmalıdır ve soğutma maddeleri bu şartlarda kullanılmalıdır ki soğutucu maddenin (yani suyun) sıcaklığı hep aynı sıcaklıkta sabitlenmelidir.

Makine işlemleri gerektirmeyen kalıp bölgeleri öyle bir şekilde üretilmeli ki akışkan plastik kalıplama bölgesinin içine sızmasın ve ona zarar vermesin. Aksi takdirde makine işlemleri gerektirecektir. Bu yüzden bütün birleşme noktalarındaki boşluklar, 0.03 mm' den daha az olmalıdır. Bu koşullar yüksek enjeksiyon basıncı esnasında ve akışkan katılaşmaya kadar geçerlidir. Genellikle geniş kalıplama bölgeleri, büyük enjeksiyon kalıplama makineleri kullanıldığı ve kalıpların çok sağlam, klamplama ünitelerinin çok hassas olması istendiği zaman karmaşık bir hale gelir [23].

2) Termosetler

Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşirler ve sağlamlaşırlar. Termoset plastiklerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset, matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hal alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ile 18 ay arasında değişmektedir.

Fenolik reçineler, furan reçineleri, epoksi reçineleri, alkid reçineler, melamin formaldehid reçineler ve doymamış polyester reçineler kullanılan başlıca termoset plastik malzemelerdir [23].

Termoset plastiklerin enjeksiyon kalıplanması; bu plastikler enjeksiyon kalıplama için düşük moleküler durumu sağlarlar. Bunlar genellikle mineral veya odun talaşı veya elyaflarla doludurlar ve enjeksiyon ünitesinde yüksek viskoziteye oranla düşük sıcaklıklarda müsaade etmektedir. ($<120^{\circ}\text{C}$)

Burada, kalıpların sıcaklığı plastikleme ünitesinden 100°C daha fazladır. Bağ yapısı sık çapraz bağlı olmasına rağmen katılaşabilir. Bu maddeler, göz boşluğunun sıcak yüzeyleriyle temasta bulunduğu için sıvı hale gelir. Bu yüzden ayırma çizgisi arasındaki boşluk 0.15 mm' den daha az olmalıdır aynı zamanda parlatmak istemiyorsak [23].

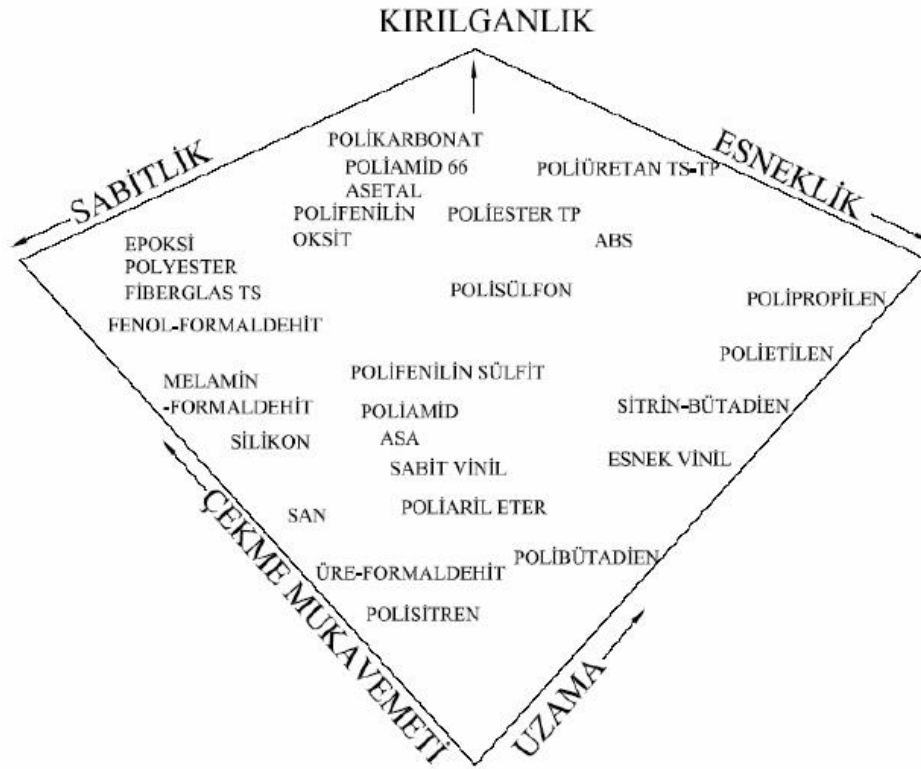
3) Elastomerler

Makro moleküllerin az veya çok güçlü olarak çapraz köprülerle bağlanmaları da mümkündür ve buna 'çapraz örme' denir. Sadece az sayıda köprünün münferit molekül zincirlerini bitişik zincirlerle bağlanmalarında plastik madde olarak 'elastomerler' ortaya çıkarlar. Elastomerler eritilemezler ve çözülemezler ancak şişme hassasiyetine sahiptirler. Kauçuğa benzer özelliklere sahiptirler. Araç imalatında elastomerler, contalar veya rüzgarlıklar olarak kullanılmaktadır [23].

Elastomerlerin enjeksiyon kalıplaması ise; bu malzemeler (mesela kauçuk), son durumlarındaki moleküler yapılarıyla aynı yapıdadırlar. Sıcaklığın tek etkisi komşu moleküllerin birbirlerini engellemesidir. Bu yüzden değişikliği çok azdır.

Elastomerleri çapraz bağ yapısından korumak için kalıplamaya girmeden önce plastikleşme ünitesi 100°C' nin altında tutulur. Burada sıvı kauçukla birlikte bazı modern ve sentetik elastomerler istisnadır. Çünkü göz boşluğundaki elastomer 60°C' nin üstüne kadar ısıtıldığı için elastomerin hacmi artar ve göz boşluğunun yüzeyleri basınç yapmaya başlar. Sıcak yüzeyle temas halinde olduğundan dolayı çapraz bağ yapısı oluşmadan önce akışkanlıkta azalma olur ve aynı çizgisi arasındaki boşluk 0.02 mm' den küçük olmalıdır. Eğer parlatma işleminin yapılması istenmiyorsa, fakat bu gerçekten zor birşeydir, çünkü büyük kalıplarla parlatma işlemi kaçınılmazdır [23].

Birçok ürün düşük yüklerden büyük yüklere kadar değişen çevresel şartlarda çalışabilecek şekilde plastik malzemelerden tasarlanabilir. Burada tasarımcı için önemli olan, istenilenin ne olduğunu bilmek ve isteklere uyabilecek şekilde maliyetleri de gözönüne alarak uygun bir analiz gerçekleştirmektedir. Ne yazık ki günümüzde hiçbir plastik malzeme tek başına bütün özelliklere sahip olamaz, fakat çeşitli plastik malzemelerin birleştirilmesiyle bu özellikler sağlanabilir. Plastiklerin, bunun yanında çelik malzemeye göre tasarlanması avantajlıdır [23].



Şekil 4. 1: Plastik malzemelerin mekanik özellikleri [23].

Bazı plastiklerin belirli mekanik özelliklerine ait kalitalif bilgiler örnek olarak aşağıda verilmiştir [23].

- Akrilonitril : Çekme ve darbe dayanımları yüksek, uzaması az,
- Asetal : Çekme, darbe dayanımı, sertlik ve uzama yüksek,
- Epoksi : Asetal ile aynı özelliklerde,
- Fenolik : Sert, kırılğan, çekme dayanımı dolgu maddesine göre yüksek veya düşük, uzaması çok az,
- Melamin : Fenolik gibi, ancak çekme dayanımı daha yüksek,
- Poliamid : Çekme dayanımı, uzaması ve aşınma dayanımı yüksek,
- Polyester : Darbe dayanımı ve uzaması düşük,
- Polikarbonat : Çekme, sürünme ve darbe dayanımı ile uzaması yüksek,
- Polietilen : Darbe dayanımı yüksek,
- Poliimid : Çekme ve darbe dayanımı yüksek, sürünme dayanımı yüksek (yükleme sonu dayanım değişimi az)

Poliüretan : Çekme dayanımı değişik, darbe dayanımı yüksek, uzaması çok fazla,

Polivinilklorid: Çekme dayanımı ve esneklik değişik,

Silikon : Mekanik özellikler zayıf, ısı direnci yüksek,

Sülfon : Çekme, basma, sürünme dayanımı yüksek, sıcakta da bu özelliklerini korur.

Mamül bilgisinin başarılı olabilmesi için aşağıdaki bilgilere sahip olunmalıdır:

- 1) Mamulün fonksiyonları hakkındaki bilgiler,
- 2) Plastik malzemelerin davranışları hakkındaki bilgiler,
- 3) Konuyla alakalı bütün ekonomik ve psikolojik faktörler hakkındaki bilgiler,
- 4) Plastik işleme yöntemleri hakkındaki bilgiler,
- 5) İşleme teknolojisi hakkındaki bilgiler.

Tasarımcının imalat yöntemi bakımından daha fazla bilgi sahibi olması, daha iyi bir tasarım demektir [24].

Başarılı bir plastik ürün tasarımında aşağıdaki dört temel unsurun unutulmaması gereklidir [25]:

- 1) Ürünün tasarımı,
- 2) Ürüne en uygun plastik malzeme seçimi,
- 3) Üretim için gerekli alet ve takımların (makine, kalıp) tasarımı, bir araya getirilmesi ve
- 4) Malzemelerin kalıplanması ve üretimidir.

Unutulmamalıdır ki; her şey tasarımla başlar. Plastik parça tasarımında yapılacak hatalar sonucunda, en son üretime kadar bütün süreci etkileyeceğinin bilincinde olmamız gerekir.

4.1.2 Malzeme Seçimi Ve Önemi

İstenen özelliklerin belirlenmesi malzeme seçiminde en önemli kriterdir. Bunlar çekme, çentik, darbe ve katlanma dayanımları, maksimum ve minimum sıcaklık dayanımları, dış ortamın etkisi, aleve ve kimyasal etkilere direnç, aşılma ve çizilme direnci, elektriksel direnç gibi özelliklerdir [29]. Bu özellikler dikkate alınarak gerekli malzeme seçilip ona göre tasarım yapılmalıdır.

Bununla beraber, makina üreticilerinin ve kalıpcıların tasarımcılara yardımcı olmaları, plastik sanayisinin hızla gelişmesini ve başarılı olmasını sağlamıştır.

4.1.3 Parça Fonksiyonunun Tanımlanması

İmal edilecek parçanın, doğal olarak bazı faydaları olmalıdır. Parça estetik veya fonksiyonel, genel olarak her ikisini de içeren, ihtiyaçları karşılamalıdır. Tasarımda ilerleyebilmek için parçanın fonksiyonu ve parçaya etkiyen çevre şartları çok iyi bilinmelidir. Fonksiyonun tam olarak bilinmesi tasarımı kolaylaştırır.

Aşağıdaki listenin kullanılması, çeşitli tasarım faktörlerinin tanımlanmasında yardımcı olabilir [26]:

Genel Bilgiler:

- Parçanın fonksiyonu nedir?
- Birleştirme işlemi yapılacak mı?
- Parça nasıl imal edilecek?
- Alan ve hacim sınırlaması var mı?
- Kullanım ömrü ne kadardır?
- Hafiflik isteniyor mu?
- Benzer uygulamalar bulunuyor mu?

Yapısal Özellikler:

- Hizmet süresince, parçanın yükleme karakteristiği nedir?
- Yüklerin genliği nedir?
- Hizmette ne kadar kalacak?

- Hizmet süresince izin verilen şekil değişimi miktarı ne kadardır?
- Prototip yapıldı mı veya yapılacak mı?

Ortam Özellikleri:

- Sıcaklık,
- Kimyasal çözücüler,
- Nem,
- Ortamdaki hizmet ömrü.

Görünüm:

- Şekil,
- Stil,
- Renk,
- Yüzey işlemleri.

Ekonomik Faktörler:

- Mevcut parçanın fiyatı,
- Plastik parçanın tahmin edilen fiyatı,
- Parçanın plastikten imali, basitleştirme, dolayısıyla masraflardan tasarruf sağlayacak mı?
- Son işlemleri ortadan kaldırmak için ve birleştirmeleri hızlı yapmak mümkün mü? [32,33]

4.1.4 Kalıp Çalışma Şekline Göre Plastik Parça Modellemesi

Plastik parça modellemesine etki eden faktörlerden bir diğeri de kalıp çalışma şekillerinin parça tasarımına olan etkisidir. Parça tasarımı birebir olarak kalıp tasarımıyla ilgili olduğu için kalıp çalışma şeklini değiştirebilmektedir. Bunlar hem maliyet açısından hemde teknik yönlerden işimizi bazen zorlaştırır bazen de kolaylaştırır. Bir plastik parça tasarımı yapılırken kalıp bölme yüzeyi, kalıp çıkma açıları ve maça sistemlerini gözönüne almamız gerekir.

4.1.5 Tasarımın Boyutsal Toleransı

Ürün tasarımı sırasında parçanın boyutları için verilecek toleransın tespiti bir hayli zordur ve göz önünde bulundurulması gereken pek çok faktör vardır. Temelde ikiye ayırabiliriz [29]:

- 1) Kalıp yöntemiyle ilgili,
- 2) Ürünün kullanım yeri ile ilgili.

Toleranslar verilirken mutlaka gerçekçi ve geniş tutulmalıdır. Plastik üreticileri bile malzeme çekmeleri için sıkı aralıklar vermemektedirler. Örneğin; polipropilen için aynı parçada çekme aralığı %1-2.5 arası gerçekleştirilebilmektedir. Çeşitli termoplastiklere ait en sıkı ve tercih edilmesi gereken boyutsal toleranslar Çizelge 1' de gösterilmektedir [29].

' Parçanın büyüklüğü artınca toleransların sınırının genişletilmesi gerekir. '

Çizelge 4. 1: Çeşitli termoplastiklere ait en sıkı ve tercih edilmesi gereken (+/-) boyutsal toleranslar.

PARÇANIN BOYU						
25mm			100mm		300mm	
MALZEME	SIKI (±) mm	TERCİH EDİLECEK	SIKI (±) mm	TERCİH EDİLECEK	SIKI (±) mm	TERCİH EDİLECEK
ABS	0,05	0,10	0,10	0,15	0,40	0,75
Asetal	0,07	0,15	0,12	0,25	0,80	1,75
Polietilen	0,10	0,20	0,20	0,40	0,80	1,75
Polipropilen	0,10	0,18	0,18	0,30	0,80	1,75
Naylon 6/6	0,09	0,15	0,15	0,30	1,00	1,90

Çizelge 4. 2: Çeşitli termoplastiklere ait çekme payı ve yoğunluk bilgileri verilmiştir.

MALZEME	ÇEKME PAYI	YOĞUNLUK (g/mm ³)
PC	0,0006	0,0012
PPT 20 (katkılı)	0,0011	0,11123
PA6	0,005	0,00113
PPT 20 (katkılı)	0,014	0,00091
ABS	0,005	0,00102
PMMA	0,006	0,00115

4.2 Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı yaparken bazı hesaplamalar yapmak gerekir. Bunlardan en önemlisi göz adedi hesabıdır. Bununla beraber çekme payı, kalıp ayırım çizgisiyle dişi ve erkek kalıpları, soğutma sistemleri ve itici olarak sıralayabiliriz.

4.2.1 Kalıp Göz Adedi

Kalıbın yaptırılması düşünülen plastik parçanın veya parçalarının bir kalıpta oluşturulan adedidir. Bir plastik parça enjeksiyon baskısından sonra kalıptan bir adet çıkabildiği gibi eğer fazla miktarda bu parçanın simetri boşluğu kalıba işlenirse, işlenilen boşluk sayısı kadar kalıptan parça çıkabilmektedir.

Piyasada bahsedilen bu parça boşlukları sayısına göz adedi sayısı denir. Göz adedi parça ebadına göre çift sayı yapılırlar.

Kalıp göz adedini etkileyen faktörler ise; parça kullanım adedi, parça geometrisi, kalıp ebatları, kalıp maliyeti, makine tipi ve kalıp çalışma şekli olarak sıralanabilir.

Dengesiz bir yolluk dağılımına sahip olan kalıplardan çıkan parçaların aynı hacim ve ağırlıklara sahip olması mümkün değildir. Böylelikle dengeli yolluk dağılımları göz adedine direkt olarak etki eder ve genellikle piyasada kalıp tasarımı yapılırken bu faktör önde gelir.

4.2.1.1 Göz Adedi Sayısının Belirlenmesi

Kalıp tasarımı yaparken göz adedinin tespit edilmesinde birkaç önemli faktör vardır. Parçanın şeklinden dolayı kalıp üzerinde birçok maça çalışması gerekebilir.

Yüzey alanının fazla olmasından dolayı enjeksiyon makinesinden mengene kapama, çapağa kaçma problemi yaşanabilir.

Kalıp göz adedinin tayini aşağıdaki gibi formüllendirilebilir [23].

$$G = \frac{Hm \cdot t}{60 \cdot p}$$

G : Göz adedi

t : zaman (t)

p : 1 adet plastik parça kütlesi (g)

Hm: Enjeksiyon ocağının dakikada eritebildiği hammadde miktarı. (g/min)

Hm: K. A

K : Kullanılan enjeksiyon basıncı (mPA)

4.2.1.2 Göz Adedini Etkileyen Faktörler

a) Parça Kullanım Adedi

İmali düşünülen parçanın projedeki kullanım adedinin çokluğudur. Örneğin simetrisi basit olan bir parçanın projedeki kullanımı az ise bunun için yapılan kalıbın çok gözlü olmasına gerek yoktur. Yine projede kullanılan parçanın, projedeki kullanım adedi çok ise simetrisi grift bile olsa bunun kalıbını az gözlü yapmamak gerekir. Parça kullanım adedi; günde çalışan zamanın, parçanın enjeksiyon makinasından çıkıncaya kadar geçen zamanına oranıyla elde edilir.

b) Parça Geometrisi

Parça geometrisi göz adedine etki eden faktörlerin en önemlilerinden olup direkt olarak kalıbın yapım şeklini ve konstruksiyonunu belirler. Kimi zaman bazı plastik parçalar kendi geometriksel şeklinin zorluklarından dolayı, kullanım adetleri fazla oldukları halde bir gözlü veya olması gerekenden az gözlü yapılmaktadırlar. Bu durumda imalatçılar genellikle çift kalıp yapmayı tercih ederler.

c) Kalıp Ebatları

Parça göz adedi, enjeksiyon makinesi tipine göre etki eden bir faktördür. Çünkü enjeksiyon makinelerinin x,y eksenlerindeki kolon aralıkları her enjeksiyon makinesinin tonajına göre değişmektedir. Dolayısıyla bir kalıp göz adedi hesaplanırken elimizde bulunan mevcut enjeksiyon makinelerinin kolon aralık ölçülerine göre kalıp ebatlarını düşünüp göz adedini belirlerken bu kriteri de göz önüne almak gerekmektedir.

d) Kalıp Maliyeti

Kalıp göz adedi sayısını belirlemede etki eden en önemli faktörlerden biridir. Çünkü göz adedi sayısı dolaylı olarak kalıp ebatları ile doğru orantılıdır. Yukarıda da bahsedildiği gibi projede kullanım adedine göre hesaplanarak belirlenen göz sayısı karlılık faktörü göz önüne alınarak arttırılabilir.

Burada iki türlü etken meydana gelmektedir ki bunların birincisi, göz sayısı çokluğundan dolayı kalıp maliyetinin artması, ikincisi ise makine tonajının büyümesidir.

Kalıp maliyetlerinin artması kalıp göz adediyle doğru orantılı değildir. Daha evvelde belirtildiği gibi bu yaklaşık teoride %50 etki eder. Fakat öyle kalıplar vardır ki bunların çok gözlü olmaması her zaman zarar getirir. Örneğin dübel, toka, ayakkabı tokası, plastik yüzük, boncuklar, plastik vidalar, plastik pullar, plastik çatal, kaşık vs. çok gözlü yapırlar. Buradaki kalıp maliyetleri sadece ilk yatırım maliyetlerini etkiler. Fakat kalıp baskı adedinde kar-zarar başabaş noktasını geçerek kar etmeye başlar.

e) Makine Tipi

Kalıptaki göz adedinin artması ile kalıp ebatları ve kalıp yüzeyi alanı artacağı için hem kolon aralıkları daha geniş makine bulmak lazım, hem de bazen aynı kolon aralık ölçülerine sahip olsa dahi daha büyük tonaja sahip bir enjeksiyon makinesine ihtiyaç duyulabilir. Bu tür etkenler de yine bir projeye başlarken, proje maliyet analizleri sırasında dikkate alınmalıdır.

f) Kalıp Çalışma Şekli

Kalıp göz adedine etki eden faktörlerden biri kalıp çalışma şeklidir. Burada kalıp çalışma şeklinin göz adedine etkisi vardır. Parçanın kullanım adedi projede çok olsa dahi eğer kalıp teknik açıdan çok gözlü yapılamıyorsa, burada kalıp sisteminin izin verdiği ölçüdeki göz adedine göre tasarlanmalıdır [23].

4.2.2 Çekme Payı

Kalıplanan çoğu plastik parçaların boyutları kalıp boyutlarından azdır. Çekme (küçülme) oranı amorf ve yarı kristal plastik arasında 4 kat değişir. Çekme oranı tipler arasında değişim gösterir, ayrıca işleme şartlarının değişmesi kesinlikle farklı oranda çekmeye sebep olur. Hatta baskıdan çıkan malzemenin farklı yönlerinde farklı çekme oranları görülür. Örneğin malzemenin enjekte yapıldığı yönle buna dik olan yön arasında dikkate değer bir farklılık görülür. Yarı kristalli termoplastikte enjeksiyon yönündeki çekme miktarı ters yöndeki çekme oranının iki katıdır.

Çekme aynı akış yönünde farklı noktalarda farklılık gösterir. Örneğin; uzun akış yolunda basınç düşeceğinden, düşük basınç bölgelerinde fazla çekme görülür. Malzeme duvar kalınlığının artması çekme oranını artırır. Eğer malzeme duvarında farklı kalınlık olursa kalın yerler ince yere göre daha fazla çekeceğinden malzemenin şeklinin bozulmasına sebep olabilir. Bu faktörlerden dolayı çekme oranını her plastik için belirlemek gerekir. Çekme oranı yüzde olarak belirlenir [Çizelge 3]. Örneğin %0,4 veya lineer 0,004 mm gibi.

Toplam çekme, kalıptan çıktığı andaki çekme ile malzemenin birgün sonra yaptığı ikinci çekmenin toplamıdır. İkinci çekme malzemenin üretiminden uzun bir süre sonra meydana gelir ve buna çevresel çekme denir. Genel olarak çekme kalıp ve erime sıcaklığının artmasıyla artar. Fakat toplam çekme, kalıp sıcaklığı arttırılırsa ikinci çekme göz önüne alınmayacak kadar küçük olur. Hatta yarı kristal termoplastikler kullanılarak boyutları sabit malzeme üretimi için yüksek kalıp sıcaklığı bile gerekebilir [23].

Bilgisayar destekli tasarım yardımıyla şöyle yapılmaktadır. Kalıplanmış (kalıba dökülmüş) parça nominal ebatlarda tasarlandıktan sonra ve kalıp boşlukları tasarlanacağı zaman malzeme çekme payı hesaba katılmalıdır. Kalıp boşluklarını tasarlamaya başlamanın en uygun yolu, kalıplanmış parçanın geometrisini kopyalayarak planlamaktır. Bu planlama malzeme çekme payını dengeleyeceği için genellikle yoğun her yönde dağılmayan (anizotropik) özelliği taşıyan kalıplanmış parça niteliklerini, farklı uzaysal yönlerde farklı çekme durumlarına göre uygun hale getirmek için kullanılır. İlaveten, modelin farklı alanlarında geçerli olan ve farklı etkenler dahilinde planlanabilen seçici bir çekme tanımı faydalı olacaktır. Bağımsız geometrik elemanların tam dairesel silindirler, çoğu zaman her yönde dağılmayan çekme payından ayrı tutulması istenir, bu ikisinin ayrı tutulmaması durumunda ölçüsüz ürün elde edilecek karmaşık geometriler oluşacaktır [23].

Çizelge 4. 3: Termoplastiklerin özellikleri.

PLASTİK MALZEME ADI	SEMBOL	YOĞUNLUK (g/cm ³)	CAM ELYAF MUHTEVASI (%)	ORTALAMA ÖZGÜL ISI (Kj/kg*K)	İŞLEME SICAKLIĞI (°C)	KALIP SICAKLIĞI (°C)	ÇEKME PAYI (%)
Polistiren	PS	1,05		1,3	180-280	10-100	0,3-0,6
Yüksek darbe dayanımlı polistiren	HI-PS	1,05		1,21	170-260	5-75	0,5-0,6
Stiren akrilonitril	SAN	1,08		1,3	180-270	60-80	0,5-0,7
Akrilonitril bütadien stiren	ABS	1,06		1,4	210-275	60-90	0,4-0,7
Akrilonitril stiren sikrilat	ASA	1,07		1,3	230-260	40-90	0,4-0,6
Alçak yoğunluklu polietilen	LDPE	0,92		2-2,1	160-260	50-70	1,5-5
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	0,954		2,3-2,5	260-300	30-70	1,5-3
Polipropilen	PP	0,915		0,84-2,5	250-270	50-75	1-2,5
Polipropilen GR	PP-GR	1,15	30	1,1-1,35	260-280	50-80	0,5-1,2
Polimetilpentan	PMP	0,83			280-310	70	1,5-3
Polivinil klorid (yumuşak)	PVC-soft	1,38		0,85	170-200	15-50	>0,5
Polivinil klorid (sert)	PVC-rigid	1,38		0,83-0,92	180-210	30-50	>0,5
Poliviniliden florür	PVDF	1,2			250-270	90-100	3,6
Politetrafloretillen	PTFE	2,12-2,17		0,12	320-360	200-230	3,5-6
Polimetil metakrilat (Akrilik)	PMMA	1,18		1,46	210-240	50-70	0,1-0,8
Polioksümetilen (Asetal)	POM	1,42		1,47-1,5	200-210	>90	1,9-2,3
Polifenilen oksit	PPO	1,05		1,45	250-300	80-100	0,5-0,7
Polifenilen oksit GR	PPO-GR	1,27	30	1,3	280-300	80-100	<0,7
Selüloz asetat	CA	1,27-1,3		1,3-1,7	180-230	50-80	0,5
Selüloz asetat butirat	CAB	1,17-1,22		1,3-1,7	180-230	50-80	0,5
Selüloz propiyonat	CP	1,19-1,23		1,7	180-230	50-80	0,5
Polikarbonat	PC	1,2		1,3	280-320	80-100	0,8
Polikarbonat GR	PC-GR	1,42	10-30	1,1	300-330	100-120	0,15-0,55
Polietilen tereftalat	PET	1,37			260-290	140	1,2-2
Polietilen tereftalat GR	PET-GR	1,5-1,53	20-30		260-290	140	1,2-2
Polibütillen tereftalat	PBT	1,3			240-260	60-80	1,5-2,5
Polibütillen tereftalat GR	PBT-GR	1,52-1,57	30-50		250-270	60-80	0,3-1,2
Naylon 6 (Poliamid 6)	PA 6	1,14		1,8	240-260	70-120	0,5-2,2
Naylon 6 GR	PA 6-GR	1,36-1,85	30-50	1,26-1,7	270-290	70-120	0,3-1,0
Naylon 6/6	PA 66	1,15		1,7	260-290	70-120	0,5-2,5
Naylon 6/6 GR	PA 66-GR	1,2-1,55	30-35	1,4	280-310	70-120	0,5-1,5
Naylon 11	PA 11	1,03-1,05		2,4	210-250	40-80	0,5-1,5
Naylon 12	PA 12	1,01-1,04		1,2	210-250	40-80	0,5-1,5
Polietersülfon	PSO	1,37			310-390	100-150	0,7
Polifenilen sülfid	PPS	1,64	40		370	>150	0,2
Termoplastik poliüretan	PUR	1,2		1,85	195-230	20-40	0,9
Fenolik reçineler GP	PF	1,4		1,3	60-80	170-190	1,2
Melamin reçineler GP	MF	1,5		1,3	70-80	150-155	1,2-2
Melamin fenolik	MPF	1,6		1,1	60-80	160-180	0,6-1,8
Poliester reçineler	UP	2-2,1		0,9	40-60	150-170	0,5-0,8
Epoksi reçineler	EP	1,9	30-80	1,7-1,9	70	160-170	0,2

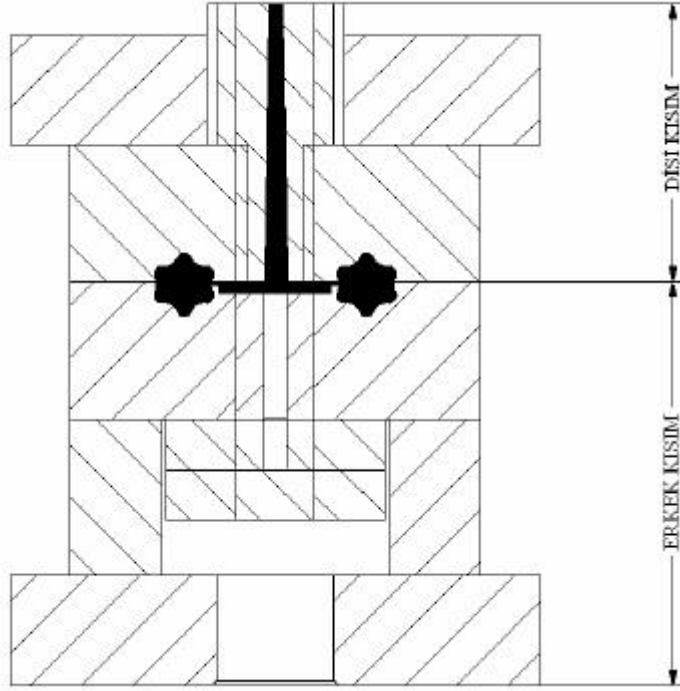
* Akış yönünde ve ters yönde çekme oranı farklıdır.

4.2.3 Kalıp Ayrım Çizgisi

Kalıp ayrım çizgisi, imalinin düşünüldüğü plastik parçanın kalıbının dişi ve erkek kalıp boşluklarının birleştiği çizgidir. Yani iki kalıp yarımının birleştiği anda tam ortalarından geçen düzlemdir.

Kalıp ayrım çizgisi, kalıp tasarımına başlarken ilk önce parça üzerindeki yerinin belirlenmesi gerekir. Kalıp tasarımının ilk önemli adımıdır.

Bir parçanın bölme yüzeyi tayinini yapabilmek için ilk önce o parçanın nerede kullanıldığının, estetik yönünden bölme çizgilerinin öneminin, ergonomik yönden bölme çizgisinin öneminin belirlenmesi gerekir. Bazen bir parçada estetik olarak bölme çizgisi görünmesi istenmeyebilir.



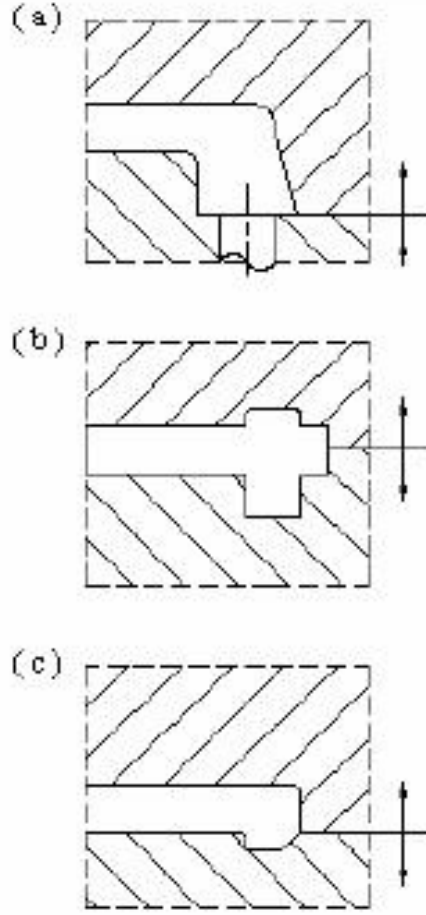
Şekil 4. 2: Kalıp ayırma yüzeyi [23].

4.2.3.1 Kalıp Ayrım Çizgisini Belirlemede Etki Eden Faktörler

Kalıp ayrım çizgisi kalıp tasarımına başlarken ilk önce parça üzerinde belirlenmesi gerekir. Kalıp tasarımının ilk önemli adımıdır.

Bir parçanın bölme yüzeyi tayinini yapabilmek için ilk önce o parçanın nerede kullanıldığının, estetik yönden bölme çizgilerinin öneminin, ergonomik yönden bölme çizgisi görünmesi istenip istenmediğinin analizi yapılmalıdır.

Aşağıdaki şekillerde birkaç kalıp ayrım yüzeyi uygulamaları incelenmektedir.



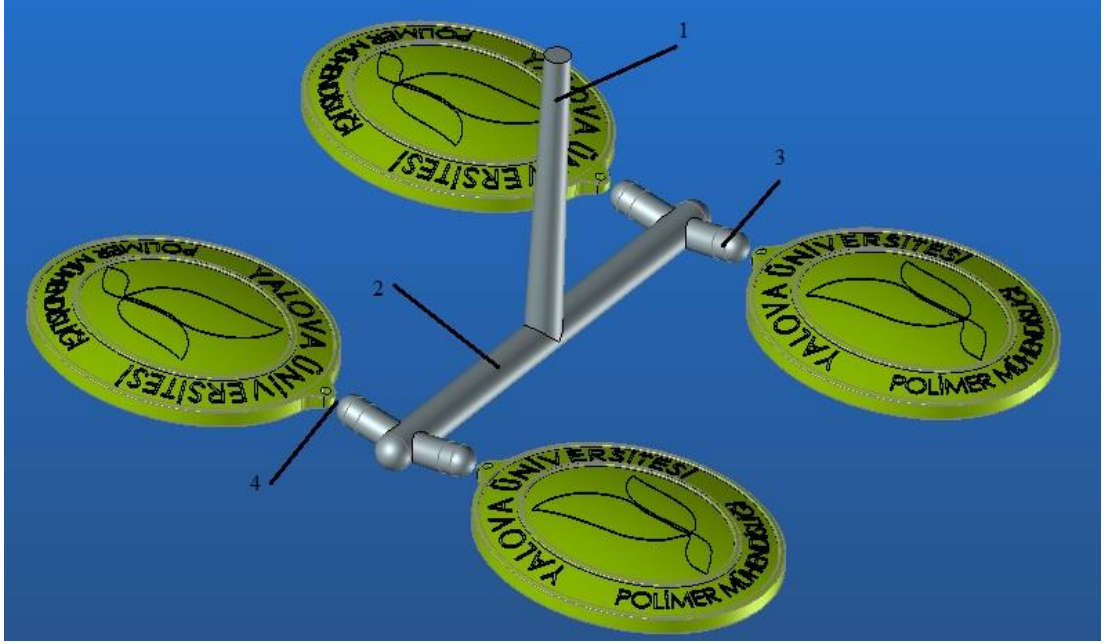
Şekil 4. 3: Çeşitli kalıp ayırım çizgisi örnekleri [23].

- a) Kalıp ayırım çizgisi parçanın dışarı atılması için ayarlanmıştır.
- b) Kalıp ayırım çizgisinin parça kenarına çekilerek kalıp maliyeti azaltılmış parçanın dışarı atılması kolaylaştırılmıştır.
- c) Kalıp ayırım çizgisini parçanın önünden uzaklaştırıp çapak izi gizlenmiştir.

4.2.4 Yolluk Ve Yolluk Girişi Tasarımı

Besleme sistemlerinin geometrisi, uzunluğu, boyutu ve hacminin kaliteli parça üretimine direkt etkisi vardır. Erimiş plastiğin aktığı yolun mümkün olduğunca kısa, düzgün ve en az dönemeçli olması istenir.

Temel kalıp besleme sistemi; Kalıp giriş yolluğu, Ana yolluk, İkincil yolluk, Yolluk girişi olmak üzere dört parçadan ibarettir (Şekil 4.4).



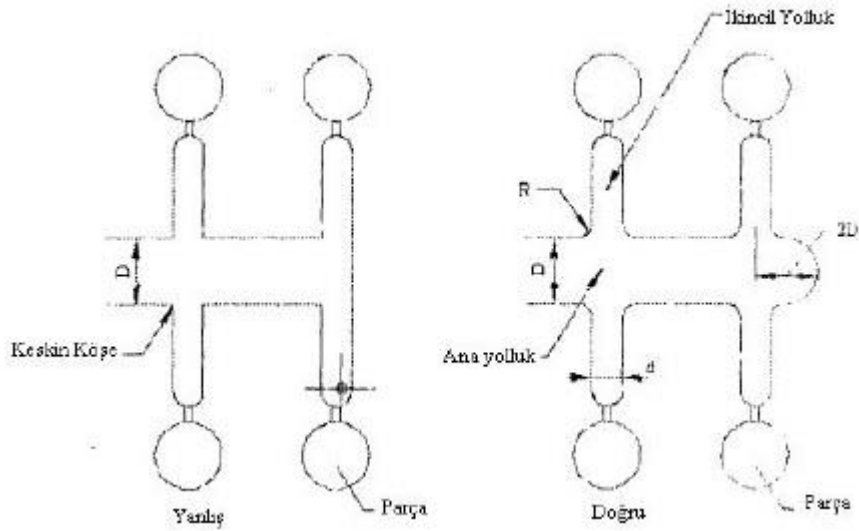
Şekil 4. 4: Genel yolluk bölümleri.

4.2.4.1 Yolluk Şekli Belirlenirken Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

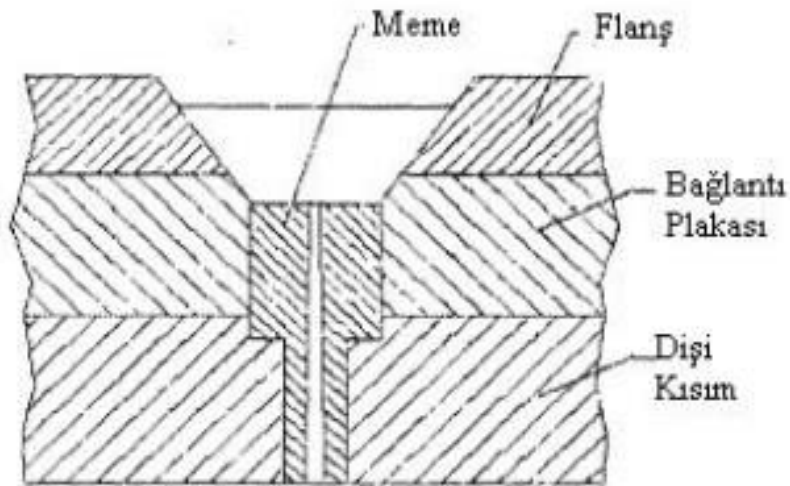
- Kalıbın her gözüne eşit basınç nakledilmesi sağlanmalıdır.
- Her kalıp gözüne giren yolluğu mümkün olduğunca kısa yapılmalıdır.
- Kalıptan kolayca çıkması sağlanmalıdır. Profilleri umumiyetle trapez veya kesitli olmalıdır.
- Uygun şekilde fonksiyonunu yerine getirirken en düşük ağırlıkta olmalıdır.
- Kalıp yolluk girişi (meme) içi kesinlikle konik rayba ile raybalanmış ve çok iyi şekilde parlatılmış olmalıdır. Aksi takdirde yolluğun memeden çıkmaması gibi sıkıntılı durumlarla karşılaşılabilir.
- Bütün yolluk sistemleri ve bütün yan yolluklar veya bağlantıları mümkün olduğunca basınç düşmesini minimize etmek için yuvarlanmalı ve eğimlendirilmelidir.
- Yolluğun sonu, erimiş akan plastiğin önündeki daha az sıcak plastiği, hapsedmek için boşluk yapılmalıdır. Bu daha az soğuk plastik parça içinde kaynak etkisi yapar boşluğun boyu, yolluk çapına eşit olmalıdır.
- Tüm yolluklar parlatılmalı kesinlikle freze çakısı izleri bulunmamalıdır.

- İkincil yolluklar, ana yolluklardan daha ince olmalıdır.
- Otomatik çalışan kalıplarda yolluk kopması kolayca olabilecek şekilde açılmalıdır.
- Kalıp giriş yoluğu boyu mümkün olabildiğince kısa tutulmalı gerekirse meme kalıp içerisine gömülmemelidir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

Bu tür uygulamalarda meme boyu kısa olduğu için ana yolluk boyuda kısılacaktır. Bu da hem zaman, hem de ham maddeden tasarruf sağlamaktadır [29].

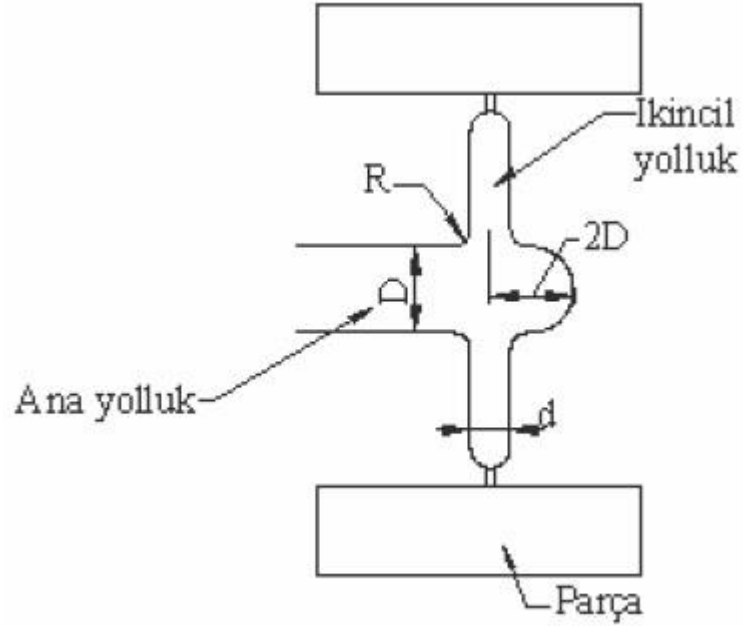


Şekil 4. 5: Yanlış ve doğru ikincil yolluk uygulamaları [29].



Şekil 4. 6: Kalıba gömülmüş meme [29].

4.2.4.2 Basit Yolluk Hesabı



Şekil 4. 7: Yolluk gösterimi [23].

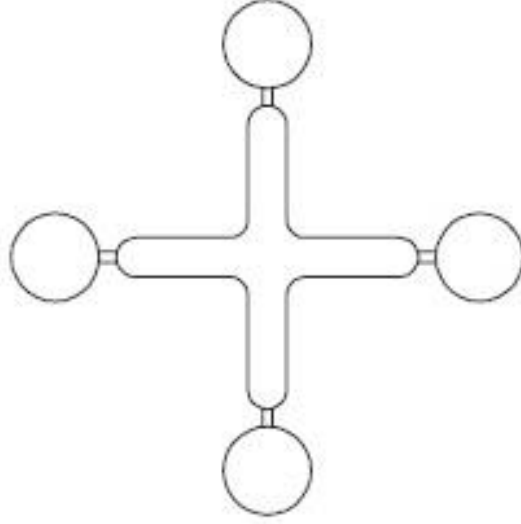
Pratikte de ikincil yolluk uygulamaları akıcılığı düşük olan mallarda $d=(D-0,2.D)$ biraz daha yükseklerde ise $d=(D-0,25.D)$ alınabilmektedir [23].

Yolluk tasarımlarında yolluk seçiminde, üretilecek üründe aranan kalite, önemli bir faktördür. Dengesiz yolluk sisteminde, kalıp giriş yolluğuna yakın kalıp boşluğuna, gereğinden fazla malzemenin dolması meydana gelirken, kalıp giriş yolluğundan uzak noktadaki kalıp boşluğuna da yeterli plastik dolmaz.

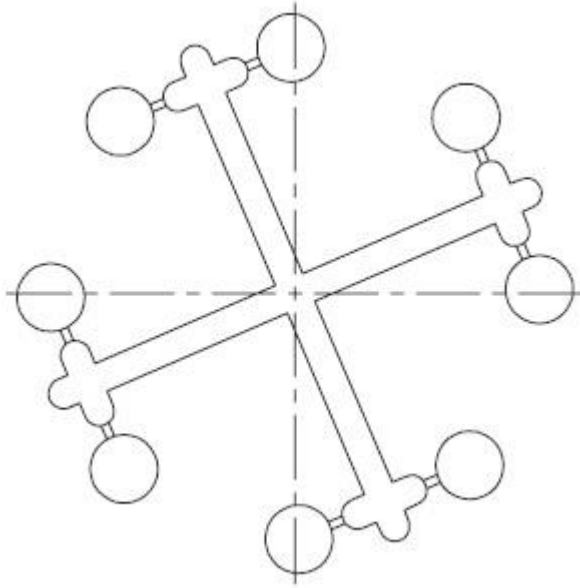
Çıkan üründe, farklı ağırlıklar oluşur ve boyutlarda farklılıklar oluşur. Kalıbın, dengesiz dolma özelliğinden dolayı kalıpta çapak oluşma ihtimali artar ve bunun kontrolü zorlaşır, zamanla kalıp yüzeyinde çökme oluşabilir. Kalıp doldurmanın dengesiz olduğu durumlarda, her kalıp boşluğundaki basınç düşmesi her bir yolluk girişinin boyutları değiştirilerek eşitlenebilir veya yolluksuz kalıplarda, yolluk giriş pozisyonuyla dengeli bir doldurma sağlanabilir.

4.2.4.3 Yolluk Giriş Pozisyonu Ve Tasarımı

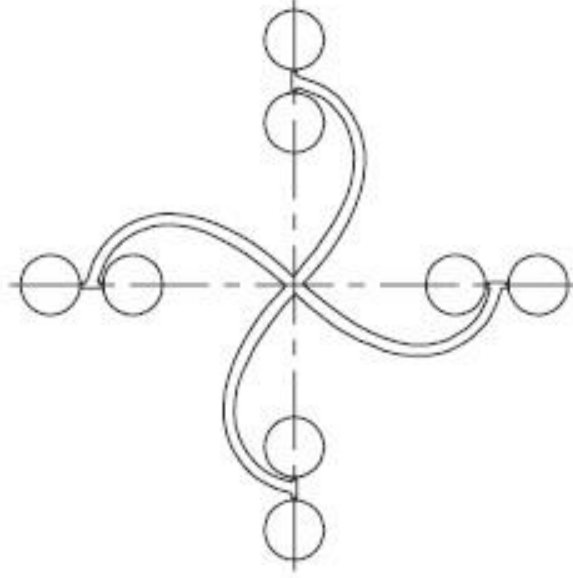
Kalıplarda eşit yolluk dağılımı 'H' tipi yolluklarla gerçekleşir. Bunlar 2, 4, 8, 16 vs. gibi göz sayılarıyla sağlanır. Eğer bunun dışında göz sayısı gerekiyorsa yolluk çapları farklı işlenir.



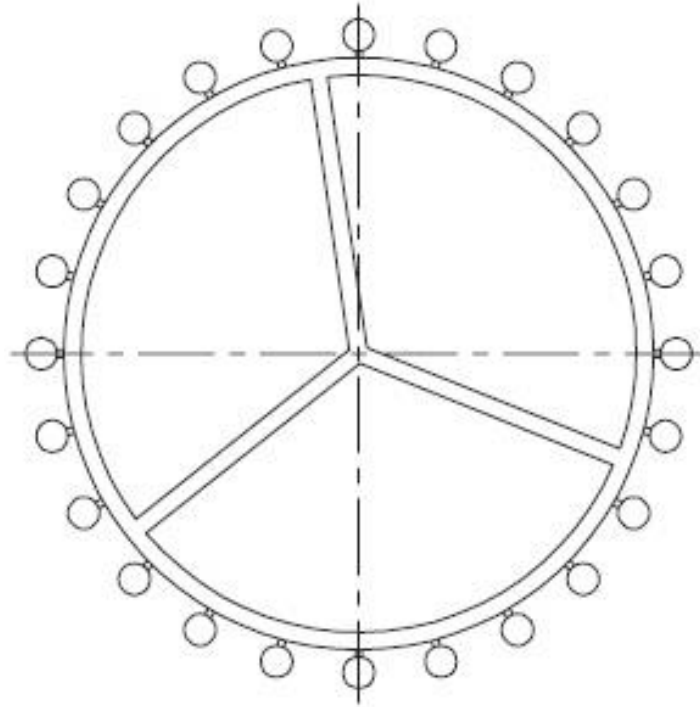
Şekil 4. 8: 4 gözlü standart yolluk.



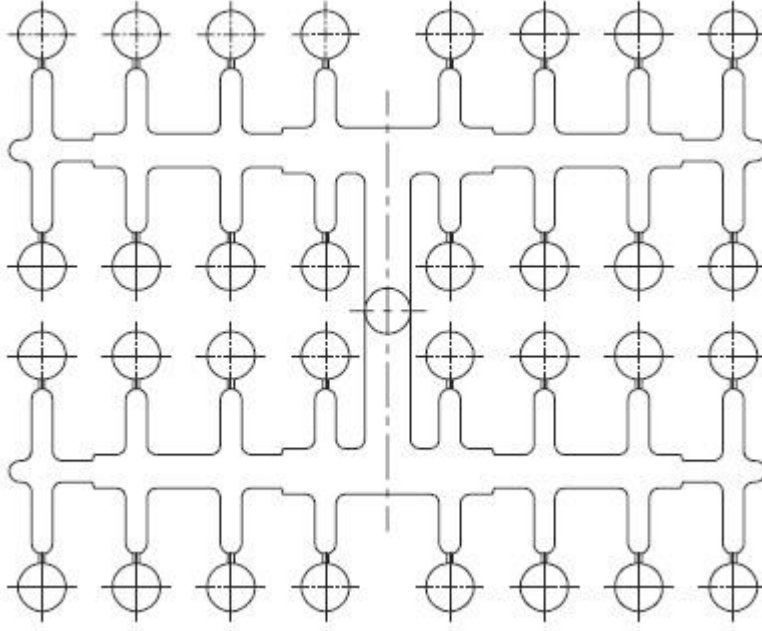
Şekil 4. 9: 8 gözlü az gramajlı dairesel tipte çizilim.



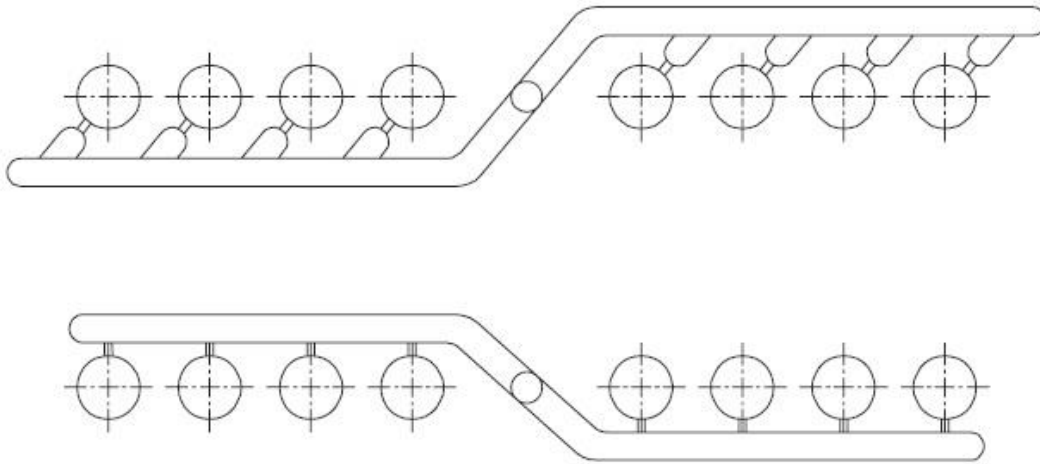
Şekil 4. 10: 8 gözlü kavisli yolluk uygulaması.



Şekil 4. 11: 24 gözlü az gramajlı dairesel yolluk.



Şekil 4. 12: 32 gözlü normal yolluk.



Şekil 4. 13: Sıra tipi düz yolluk uygulamaları.

4.2.5 Kalıp Tasarımında İtici Sisteminin Seçimi

İtici sistemini seçmeden önce, parça şekli ve üretim şekli üzerinde durulmalıdır. Pratikte itici tasarımı yapılmadan önce basılacak parçaya bağlı olarak, itici yapımıyla ilgili kısa bir istekler listesinin yapılması faydalıdır. Bu liste:

- Parça estetiği,
- Parça boyutlarının etkisi,
- Makinenin etkisi.

4.2.5.1 Parça Estetiği

İtici pimlerin izlerinin gözle görülen yerlerde olmaması gerekebilir. Baskıyı kalıp tasarımının ters yönünden yapmak, bu problemin üstesinden gelmede kullanılan pratik bir yöntemdir.

Parçanın dışarı atılması esnasında, parçaların duvarlardan sürtünerek çıkmasına engel olmak için, kalıp boşluğunda uygun eğim verilmelidir. Uygun eğim açısı, parçanın dışarı kolay atılması için gereklidir. Kalıp yapım tasarımına başlamadan önce parça tasarımı esnasında bu göz önüne alınmalıdır. Umumiyetle erkek lokma eğim açısı, dişi lokma eğim açısı $0^{\circ}30'$ daha fazla yapılır. Sebebi ise parça, kalıp açıldığında dışıdan kurtarılıp erkek lokma üzerinde kalacağı ve lokmayı saracağı içindir.

4.2.5.2 Parça Boyutlarının Etkisi

Parçanın dışarı atılması sırasında, basılmış parçanın şekli kolayca bozulabilir (şayet federlerle desteklenmemişse). Özellikle ince parçalarda bu bozulma daha çok görülür. Bozulma olmadan parçanın dışarı atılması için, parçaya destek verecek ilave (kaburga, atkı) gereklidir ve iticiler genellikle federlerin olduğu bölgelere veya üzerlerine konulur. Çünkü federler parçanın erkek üzerinde tutulmasını artırır.

4.2.5.3 Makinenin Etkisi

Enjeksiyon makinesinin çalışma sınırları arasında, itici kuvvet parçayı dışarı atacak kadar yeterli olmalıdır.

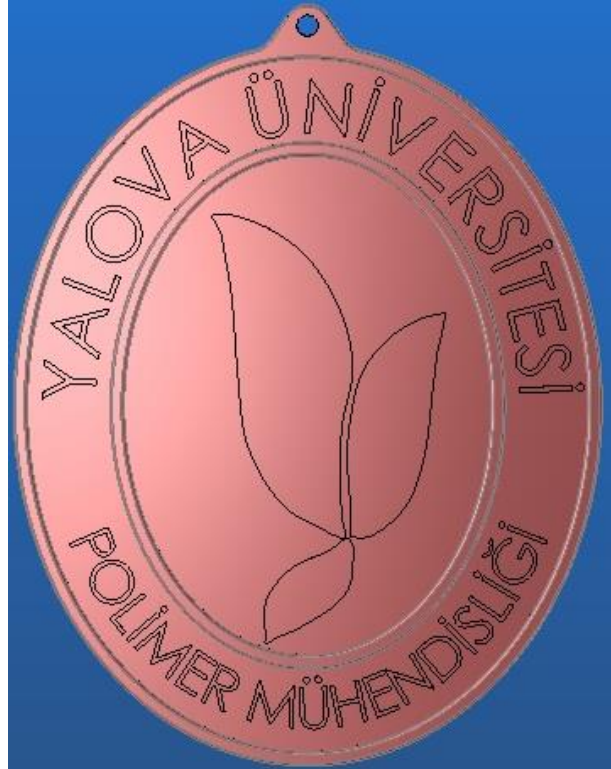
Kullanılacak enjeksiyon makinesi, kalıp tasarımındaki itici sistemini çalıştırabilmelidir. Makine tasarımları itici çalışma metodlarına göre çeşitlilik gösterir. Enjeksiyon makinelerinin çoğunluğunda itici plakalarının ortasından enjeksiyon ünitesiyle aynı hat üzerinde hareket eder. Bununla beraber makinelerin çoğu çapraz başlı piston veya çekici plakayla çalışırlar. Çok büyük makineler çapraz başlı sistem kullanarak büyük itici gücünü eşit olarak dağıtırlar. Kimi zamanda ilave çekme itici veya hareketlendirici devreye ihtiyaç duyulur. Karmaşık kalıp tasarımında itici sistemi istenebilir. Bu işlem için baskı makinesi, ilave hidrolik itici devreye sahip olmalıdır ve bu sistemi kontrol eden mekanizma gereklidir.

5. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON UYGULAMASI

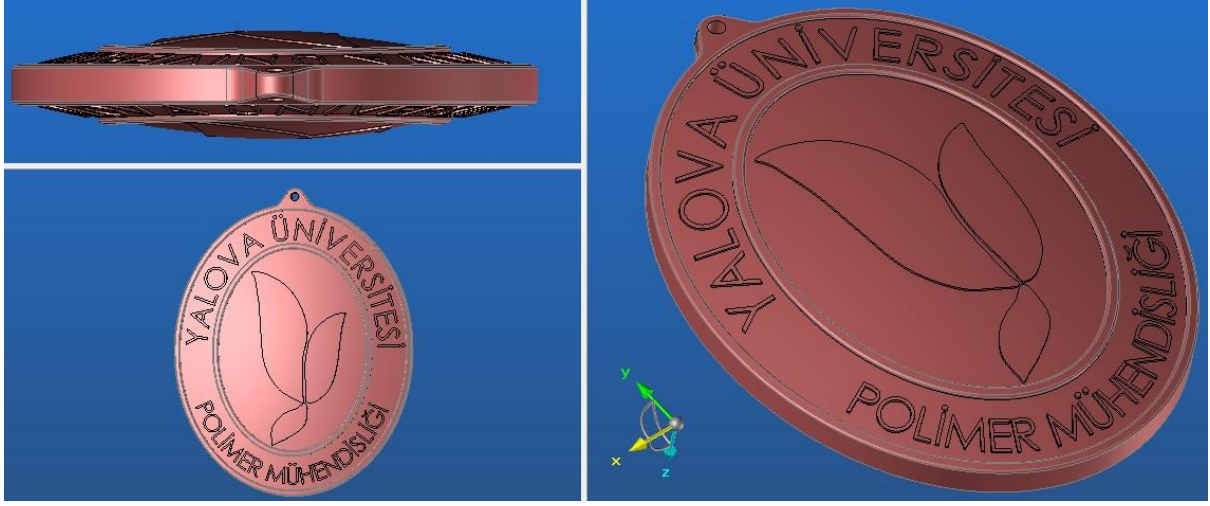
5.1 Uygulama İçin Seçilen Plastik Parça Tasarımı

Tasarımının yapılması planlanan plastik (termoplastik) parça ' Yalova Üniversitesi ' logosunun anahtarlık uygulamasıdır.

Bir parçanın dizayn edilebilmesi için öncelikli olarak tasarlanacak parçanın kullanım yeri ve bu parçadan istenilen özellikleri bilmek gerekir. Fakat, uygulama olarak seçtiğim model; bir makine elemanı yada herhangi bir sistemde kullanılacak (hiç bir basma, burma ve çekme gerilimine) ürün olmadığı için mekaniksel açıdan dayanım şartları ihmal edilebilir.



Şekil 5. 1: Tasarımı yapılan parçanın modeli.



Şekil 5. 2: Tasarımı yapılan parçanın perspektif görüntüsü.

Ürünün kalıbının enjeksiyon aşamasında karşılaşılabilecek durumları:

- Plastik ham maddenin kalıbı tam dolduramaması,
- Ürünün kalıpta kalması,
- Plastik malzemenin akış zorluğu,

gibi etkenleri göz önünde bulundurarak bilgisayar destekli paket programlardan olan ‘TopSolid 2011 CAD (computer aided design)’ modülü yardımıyla plastik parçanın katı modellemesi yapılmıştır.

Bu uygulamada ABS termoplastik polimeri seçildi. Çünkü, üretilecek olan ürün anahtarlık olarak kullanılacağından dış etkenlere maruz kalacaktır (güneş, nem, tuz vs.). ABS malzemesi yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe dayanımı ve suya, neme karşıda çok iyi direnç göstermektedir.

ABS malzeme özellikleri:

- Yoğunluğu $1.02-1.06\text{g/cm}^3$,
- Mekanik özelliği çok iyidir,
- Çekme dayanımı 560 kg/cm^3 , cam elyaf katkılı 779 kg/cm^3 , karbon elyaf katkılı 1125 kg/cm^3 , ABS-PC alaşımında 635 kg/cm^3 tür,
- Sertlik darbe dayanımı ve uzama değerleri de bu değişime paralel olarak artar veya azalır,
- İyi bir yüzey kalitesine sahiptir,

- Aşınmaya karşı direnci fazladır,
- İyi bir elektrik izolasyon malzemesidir,
- Su ve rutubetten etkilenmez,
- Nem alma özelliğinden dolayı kullanmadan önce 2 saat kadar 80-90 C°'de kurutulur. [25]

5.2 Kalıp Tasarımı

Kalıplanacak olan ürünün üç boyutlu CAD datası kalıp tasarımcısına, ilgili mamül mühendisleri veya kalıbı yaptıracak firma tarafından hazırlanarak sunulur. Kalıp tasarımcısı tarafından CAD datasının geometrik kontrolünü (ters aç, çıkışan bölgeler, maça yüzeyleri ve çalışma doğrultuları, alıştırma yüzeyleri gibi) bilgisayar ortamında yapılır.

5.2.1 Kalıp Göz Adedi

Kalıp göz adedi aşağıdaki ifade ile tayin edilir [23].

$$G = \frac{Hm \cdot t}{60 \cdot P}$$

$$X = Y \cdot A$$

X= Enjeksiyon makinesi kapatma kuvveti

Y= Çizelge 5.1 sabit katsayı değeri

A= kalıplanacak model yüzey alanı

G: Göz adedi

Hm: Enjeksiyon ocağında 1 dakikada eritecek plastik (gr)

t: Zaman (min)

P: 1 adet plastik parça kütlesi (g)

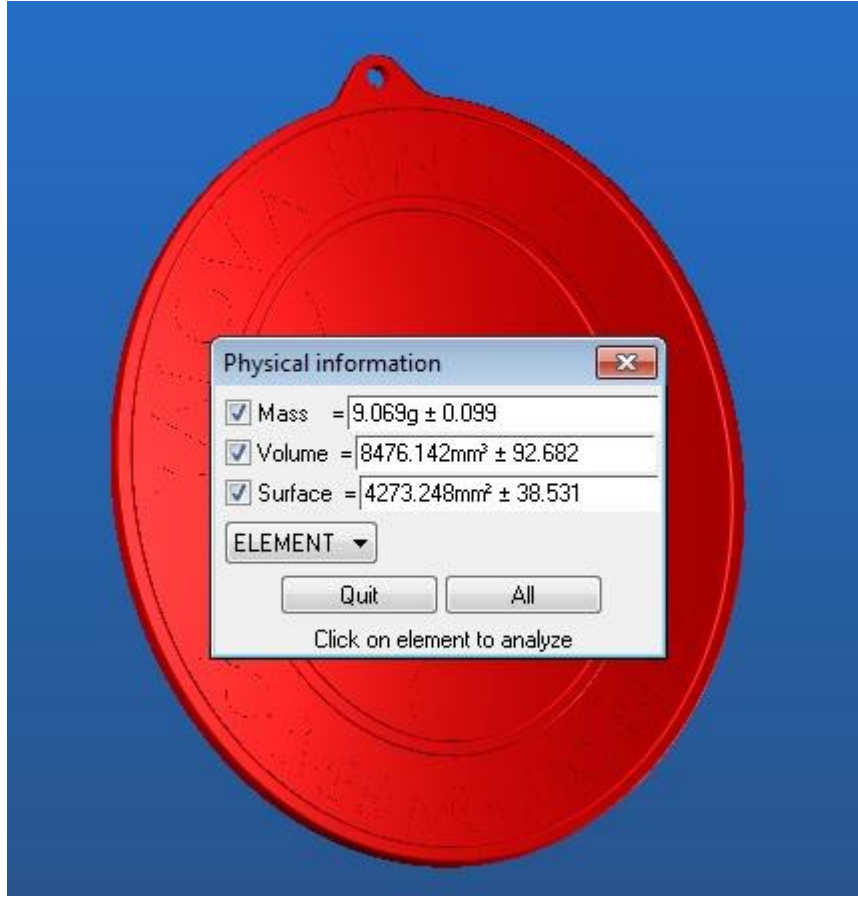
t= mold flow programından parça doldurma zamanı:

doldurma zamanı= 2.52 s (Şekil 5.4)

soğuma zamanı= 33.32 s (Şekil 5.5)

toplam ise t=35.84 s olarak belirlenmiştir.

p= TopSolid2011 programında parça ağırlığı 9.07g olarak elde edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5. 3: ABS malzemeden seçtiğimiz uygulama parçasının fiziksel özelliklerinin TopSolid 2011 programıyla ölçülmesi.

Gerekli makina kapama kuvveti hesabı için bir adet parça yüzey alanı TopSolid2011 programında $A=42 \text{ cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Demag marka enjeksiyon makineleri markasının belirlediği 1750 kN kilitleme kuvvetine sahip bir enjeksiyon tezgahının maksimum 450 g ABS basma kapasitesi vardır. Dolayısıyla buda yaklaşık 1/4 oranına tekabül etmektedir. Çizelge 5.1' de ABS'in katsayısıyla hesaplanan kapama kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

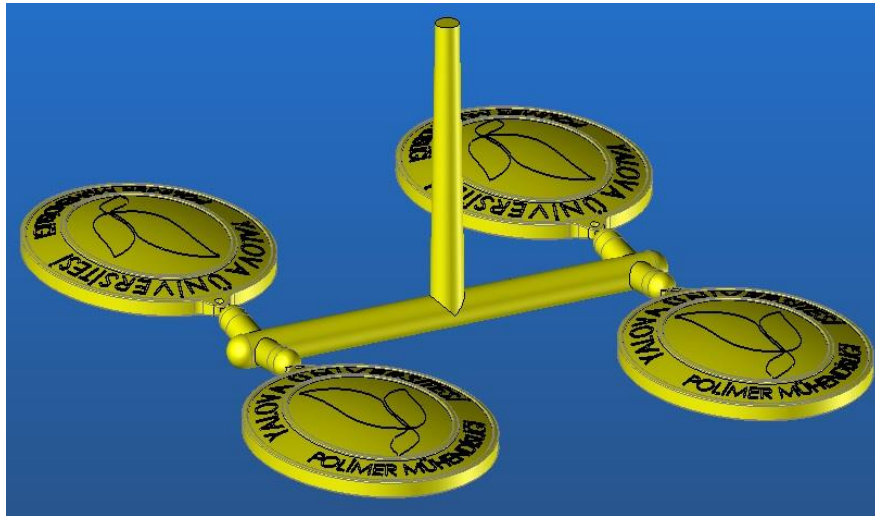
$X=Y$. $A= 0.62.42= 26\text{ton}= 260\text{kN}$ kapama kuvveti

$260/4=\sim\text{min } 65\text{g'}$ lık enjeksiyon tezgahı gerekli.

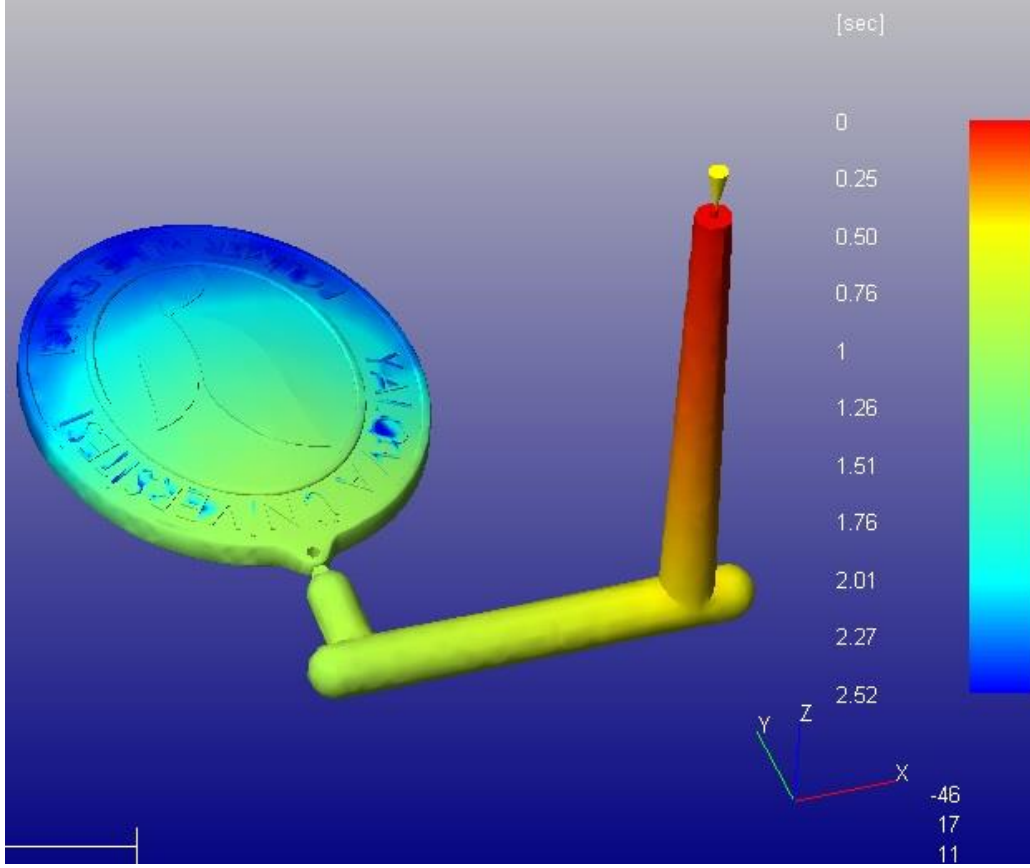
$G= Hm.t/(60.p)=65/35.84/(60.9.07)=4.28\sim 4$ göz olarak hesaplanır.

Çizelge 5. 1: Basit kilitleme tahmini katsayıları.

Hammadde	Ton / cm²
PS (GPPS)	0.155 - 0.31
PS (GPPS) ince çeperli 1mm den ince	0.465 - 0.62
HIPS	0.155 - 0.31
HIPS ince çeperli 1mm den ince	0,388 - 0.543
ABS	0.388 - 0.62
AS (SAN)	0.388 - 0.465
AS (SAN) uzun akış yolu parçalar için	0.465 - 0.62
LDPE	0.155 - 0.31
HDPE	0.233 - 0.388
HDPE (uzun akış yolu olan parçalar için)	0.388 - 0.543
PP (Homo / Copolymer)	0.233 - 0.388
PP (Homo / Copolymer) uzun akış yolu olan parçalar için	0.388 - 0.543
PPVC	0.233 - 0.388
UPVC	0.31 - 0.465
PA6, PA66	0.62 - 0.775
PMMA	0.31 - 0.62
PC	0.465 - 0.775
POM (Homo / Copolymer)	0.465 - 0.775
PET (Amorf)	0.31 - 0.388
PET (Kristalin)	0.62 - 0.93
PBT	0.465 - 0.62
CA	0.155 - 0.31
PPO-M (katkısız)	0.31 - 0.465
PPO-M (katkı ile güçlendirilmiş)	0.62 - 0.775
PPS	0.31 - 0.465

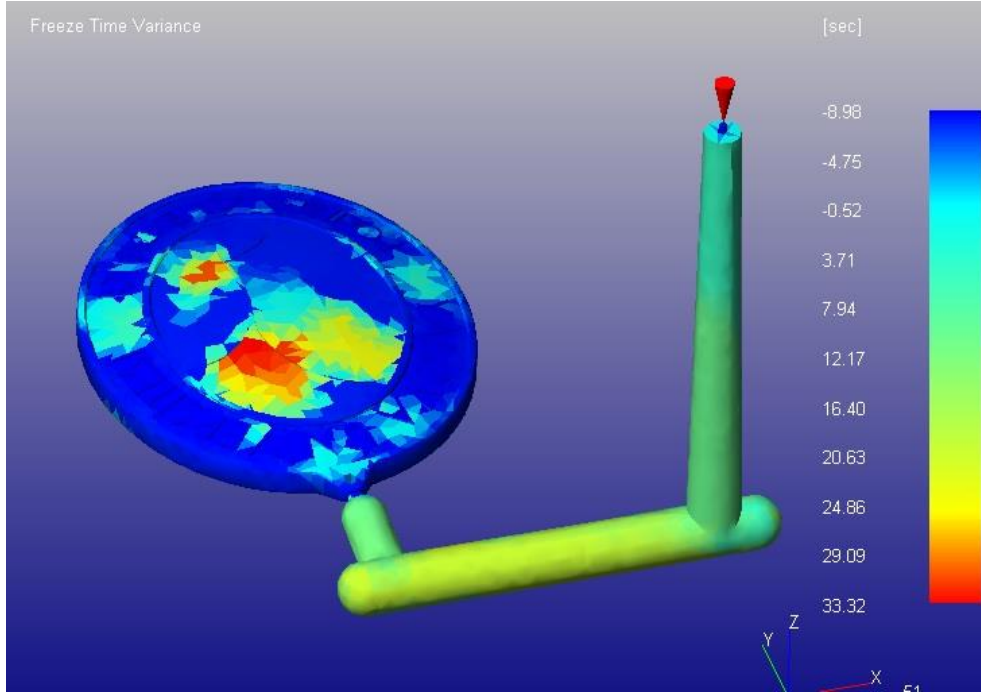


Şekil 5. 4: Göz adedi tayin edilen model.

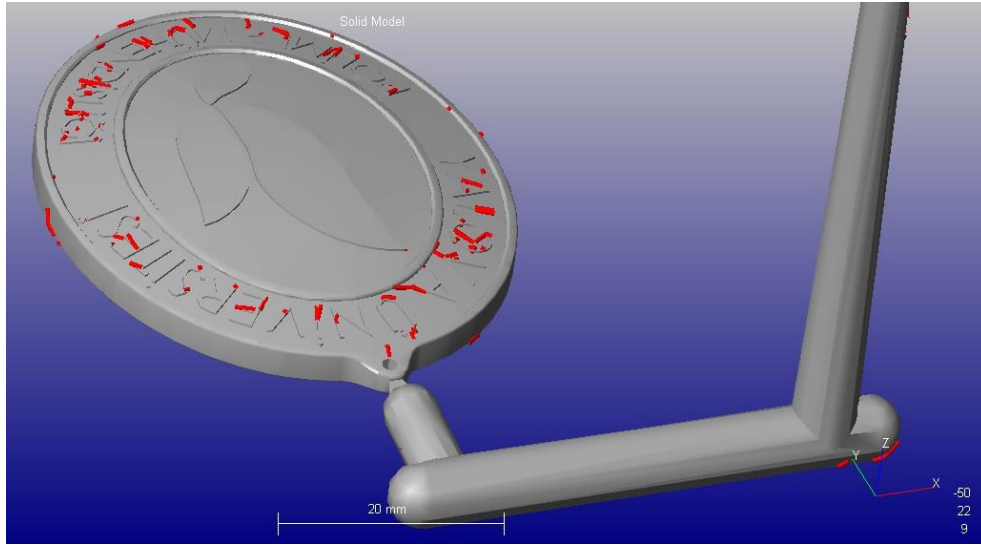


Şekil 5. 5: Mold Flow programı yardımıyla doldurma zamanı.

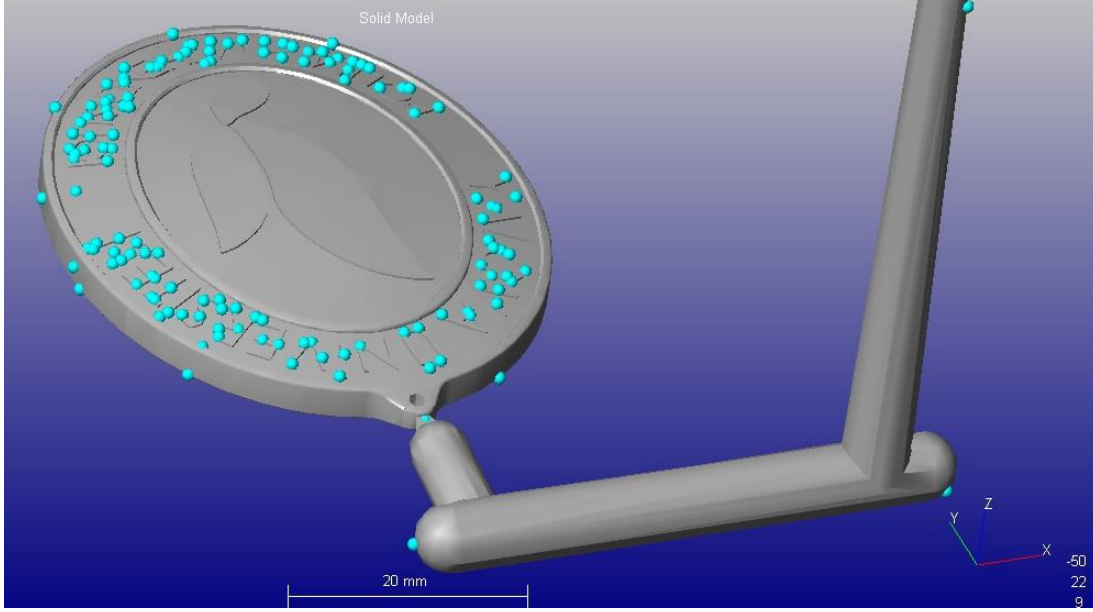
Şekil 5.5' de tek bir plastik ürünün oluşma süresi görülmektedir. Kalıp göz adedini belirlemek için sadece tek bir parçanın dolumu analiz edilmiştir. Dolum zamanında mavi bölge plastiğin en son ulaştığı kısmı gösterir. Soğuma zamanında ise mavi renk soğumanın en son olduğu bölgeyi simgeler.



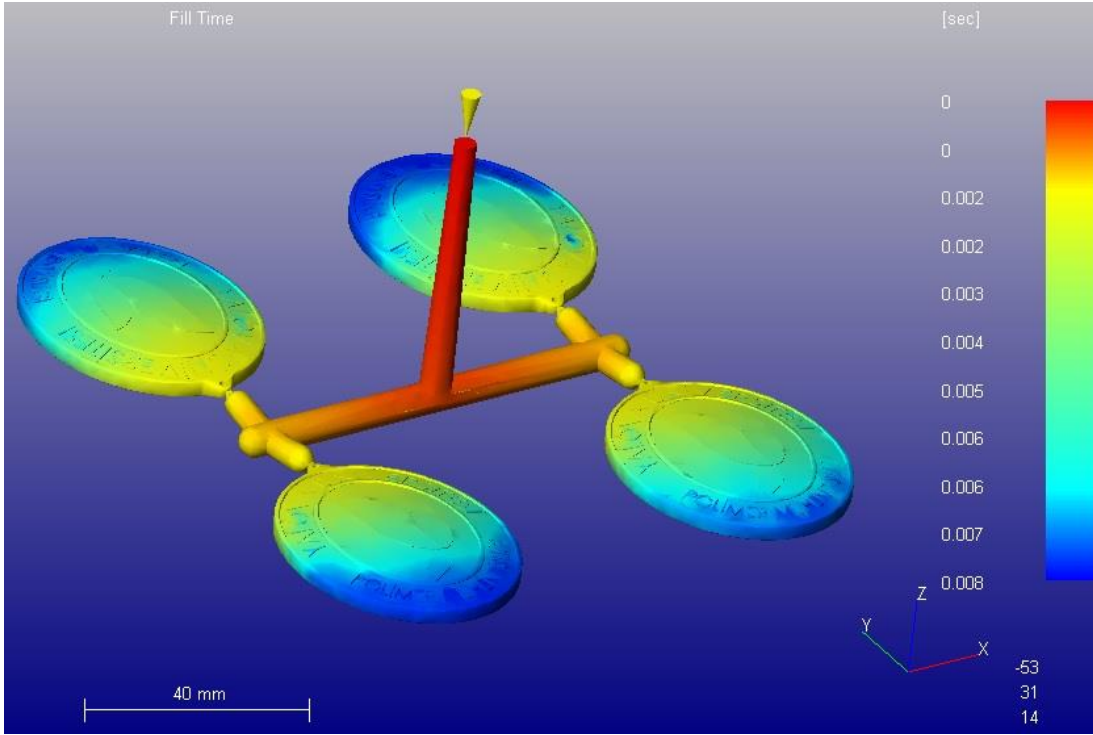
Şekil 5. 6: Mold Flow programı yardımıyla soğuma zaman değişimi analizi.



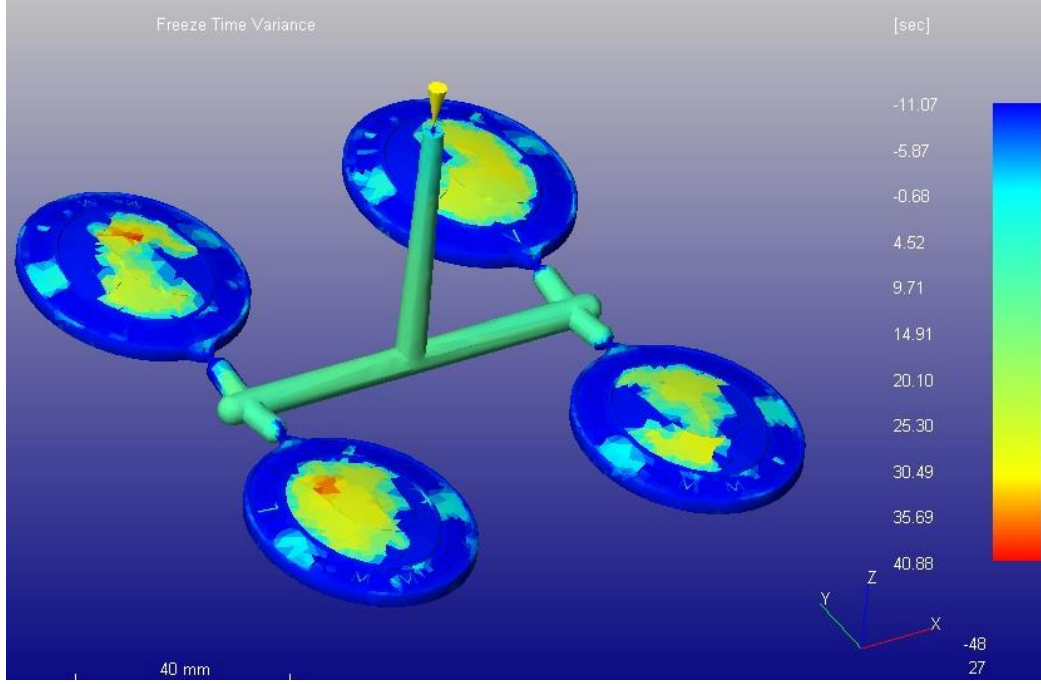
Şekil 5. 7: Mold Flow programı yardımıyla sıcak birleşim yeri analizi.



Şekil 5. 8: Mold Flow analiz programıyla hava boşlukları analizi.



Şekil 5. 9: Tasarımını yaptığımız ürünün Mold Flow programı yardımıyla dolum zamanı analizi.



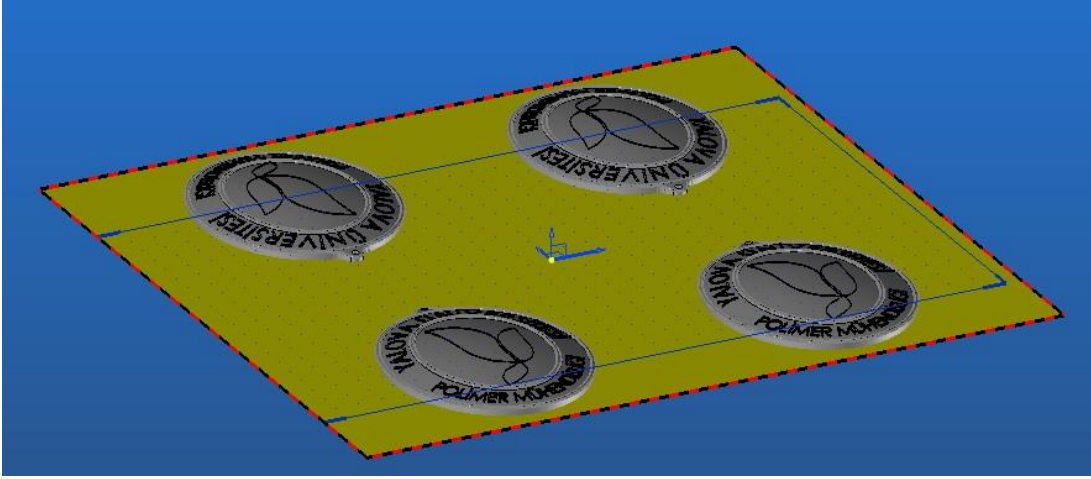
Şekil 5. 10: Tasarımını yaptığımız ürünün Mold Flow programı yardımıyla soğuma zaman analizi.

5.2.2 Çekme Payı

Geometrik kontrolü yapılan datanın üretilecek olan hammaddeye göre çekme payı tespit edilir. Bu tespit çeşitli literatürlerde ve çeşitli CAD-CAM bilgisayar programlarında mevcuttur. Kullanılan yazılım programında kalıplanacak olan ürüne çekme payı bilgisayar ortamında sadece çekme payı değeri girilerek otomatik olarak parçanın her bir ölçüsüne verilir. Tasarımı yapılan parçada ABS kullanıldığı için burada uygulanacak çekme payı Çizelge 2' de de görüldüğü gibi 0.005 mm' dir [30]. Bu çekme payı göz önüne alınarak kalıp boşluğundaki ölçüler 0.005 mm + tolerans olarak verilmiştir.

5.2.3 Kalıp Ayrım Yüzeyi (Çizgisi)

Kalıp ayrım çizgisi, imalini düşündüğümüz plastik parçanın kalıbının ve erkek kalıp boşluklarının birleştiği çizgidir. Kalıp ayrım çizgisi parçanın estetik görünümünü etkilemeyecek şekilde belirlenmelidir. Bunun için parçanın kullanıldığı yere bakılmalıdır. Tasarlanan ürün bir makine parçası olmadığı için estetik olarak kalıp ayrım çizgisinin yeri önemlidir. Fakat kalıp ayrım çizgisi, kalıp açılma yönüne göre ayarlanması gerekmektedir (Şekil 5.11).

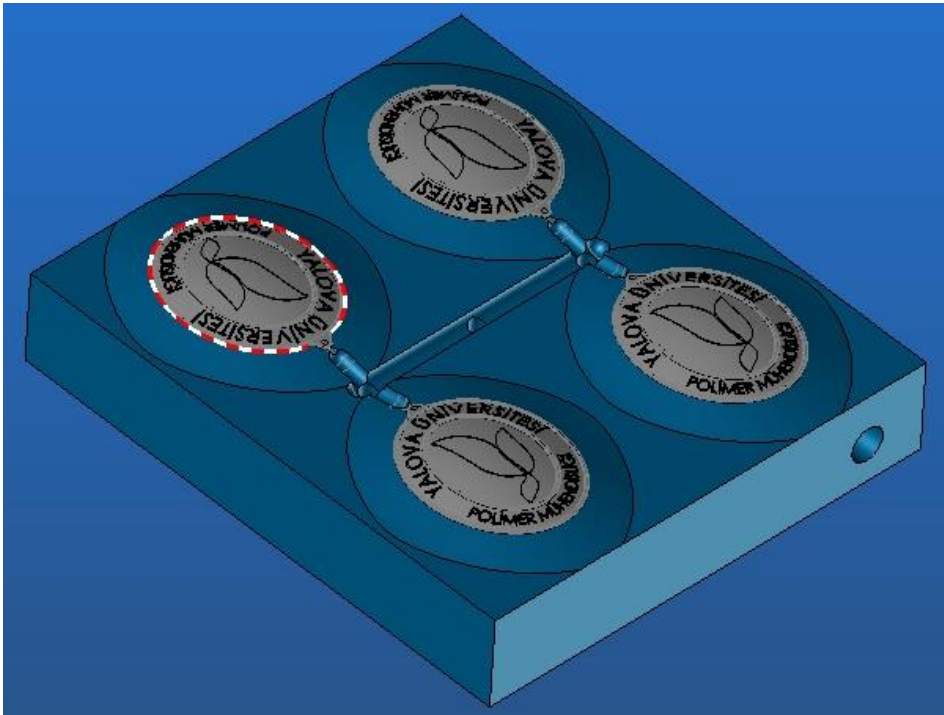


Şekil 5. 11: Kalıp ayırım yüzeyi (çizgisi).

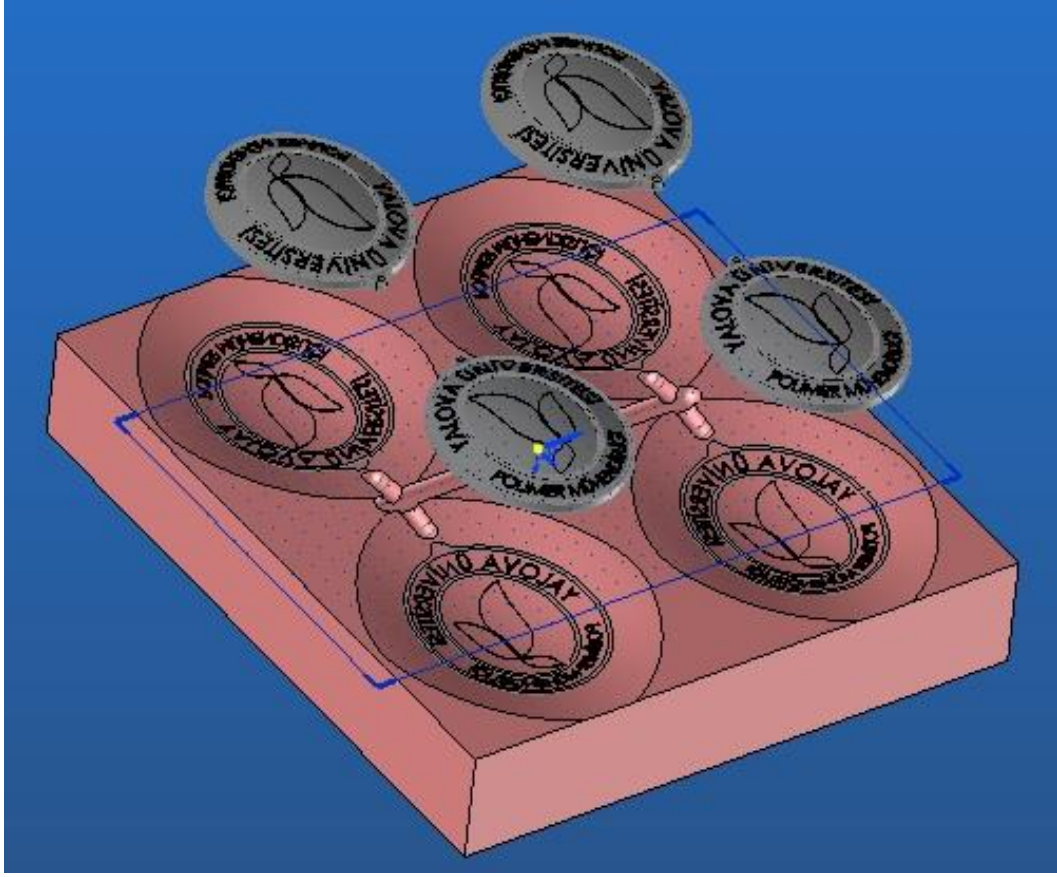
5.2.4 Kalıp Çekirdekleri

Çekme payı verilen ürün, kullanılan yazılım programında kalıp ayırım yüzeyi denilen yüzeyi tayin ettikten sonra programın yardımıyla erkek ve dişi olarak kalıp ayrımı gerçekleştirilebilir.

Gerçekleştirilen kalıp ayrımında erkek ve dişi çelik olmak üzere iki çeşit çelik ortaya çıkmıştır. Çeşitli mukavemet hesaplamaları göz önünde bulundurularak erkek ve dişi çelik ölçüleri kalıp set standartlarına göre tayin edilir (Şekil 5.12 Erkek Kalıp ve Şekil 5.13 Dişi Kalıp ayrımı gösterilmiştir).



Şekil 5. 12: Erkek kalıp ayırım yüzeyi (itici taraf).



Şekil 5. 13: Dişi kalıp ayırım yüzeyi (enjeksiyon tarafı).

5.3 Tasarlanan Ürünün Kalıp İmalat Uygulamaları

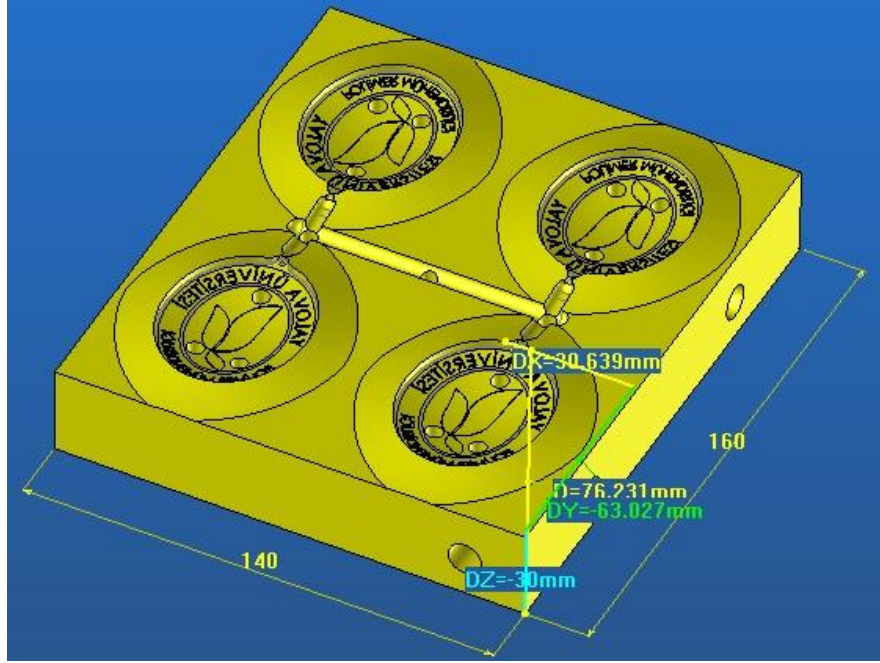
5.3.1 Çelik Siparişleri

5.3.1.1 Erkek (İtici Taraf) Çekirdek Çeliği Siparişi

Erkek çelik genel anlamda kalıplanacak parçanın iç yanı görünmeyen bölgesi (kozmetik olmayan) oluşturan kısımdır.

Lokmalı veya lokmasız (parçalı veya yekpare) yapılabilirler. Tasarımı yapılan üründe herhangi bir girinti yada çıkıntı bulunmadığı için yekpare olarak yapılmıştır (Şekil 5.14). Bu yüzden erkek lokma yoktur. Baskı yapacağı plastik hammaddenin türüne ve DIN normuna göre genel olarak 2344-54HRC, 2767-56HRC, 2316-38HRC (ön sertleştirilmiş), 2738-35/38HRC (ön sertleştirilmiş) vs. gibi soğuk iş çeliklerinden imal edilirler.

Bu çalışmada, '2738(55NiCrMo V7)' diğer ticari ismi İmpax olan çelik tercih edilmiştir. İyi bir süneklilik ile birleşen, yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımını yitirmeyen tokluğu yüksek bir çeliktir. Yüksek işlenebilirlik özelliğine sahiptir. %1 Ni ihtiva ettiği için parlatılabilirliği son derece iyidir.



Şekil 5. 14: Erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği.

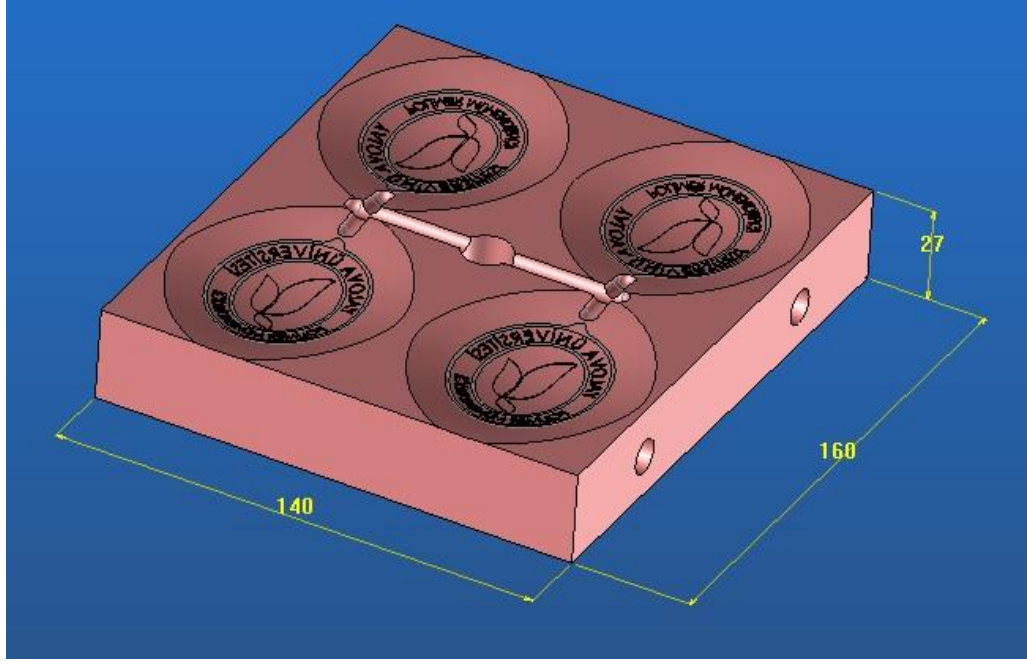
Kalıp göz adedini hesapladıktan sonra olması gereken optimum çekirdek ölçüsü 140X160X30 mm finish ölçülere sahip olması gerekmektedir.

5.3.1.2 Dişi (Enjeksiyon Taraf) Çekirdek Çeliği Siparişi

Kalıplanacak parçanın kozmetik yüzeyini oluşturan, tasarımı yapılan ürünün nihai tüketiciye yansıtılması istenen estetiği, yazı ve figür gibi unsurları üzerinde bulunduran ürünün de üzerinden çıkmasını sağlayan kalıp elemanıdır.

Dişi (enjeksiyon taraf) çekirdek çelikleride parçlı veya yekpare olabilirler. Plastik hammadde türüne ve DIN normuna göre genellikle 2083-52/54HRC (parlatılabilirliği çok yüksek ve parlak yüzeyler için), 2714, 2738-35/38HRC vs gibi soğuk iş çeliklerinden imal edilebilirler.

Genellikle plastik enjeksiyon kalıplarında yolluk patlatma noktaları dişi çekirdek üzerinden yapılır.



Şekil 5. 15: Dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği.

Kalıp göz adedini hesapladıktan sonra olması gereken optimum çekirdek ölçüsü 140X160X27 mm finish ölçülere sahip olması gerekiyor.

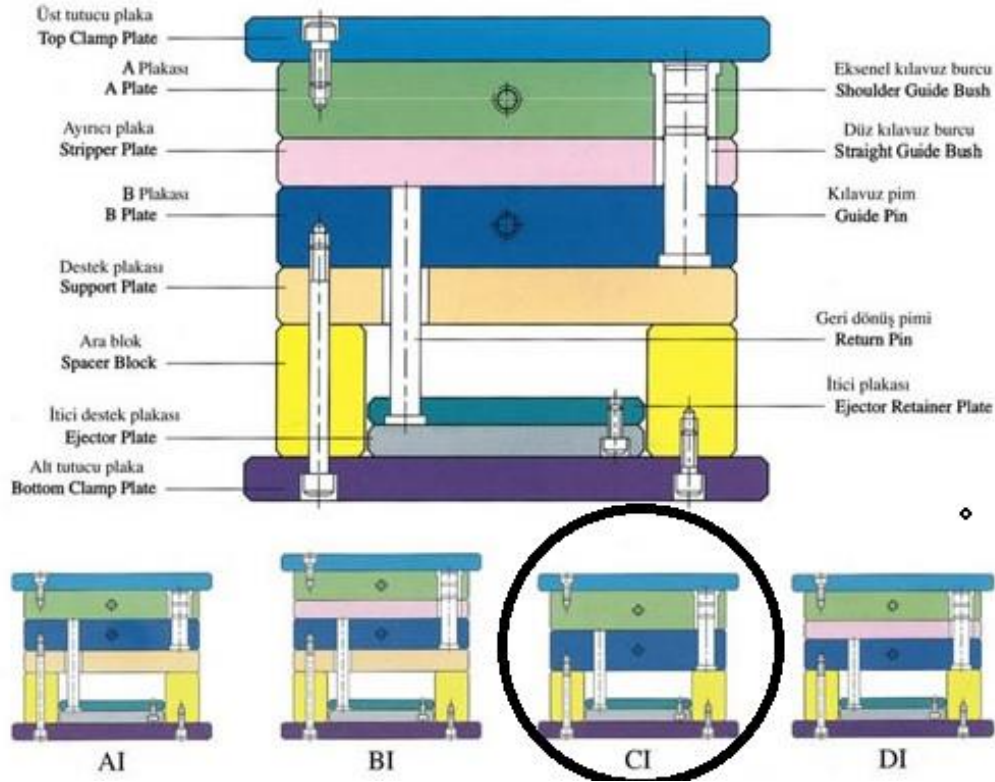
5.3.1.3 Kalıp Seti Siparişi

Dünyanın bir çok ülkesinin kalıp elemanları üretimi ve satışı yapan birkaç firmanın hesaplayıp ortaya koyduğu kalıp elemanları ve standart hazır kalıp seti ile ekipmanlarının ölçü ve şekillerinden oluşmaktadır. Kalıp tasarımcısı kalıp çekirdek ve set ebatları belirlerken OKSET, HASCO, DME, SPS vs. gibi bu alanda söz sahibi belirli standartlara kavuşmuş olan bu firmaların hazırladıkları standart kalıp setleri kataloglarından veya CD' lerinden yararlanmaktadır.

Kalıp setlerine dahil olan kalıp elemanları:

- Flanş,
- Sabit taraf (enjeksiyon) bağlantı plakası,
- Sabit taraf (enjeksiyon) çekirdek kasası,
- Merkezleme burcu,
- Hareketli taraf (itici) çekirdek kasası,
- Merkezleme kolonu,

- Hareketli taraf (itici) çekirdek kasası,
- Paraleller,
- İtici alt plakası,
- İtici üst plakası,
- Hareketli taraf (itici) bağlantı plakası,
- Mapa,
- Kalıp kilidi.



Şekil 5. 16: SPS hazır kalıp setleri [32].

Şekil 5.16' da SPS hazır kalıp seti standartları gösterilmiştir. İmalatını yapmak istediğimiz plastik ürün için en uygun kalıp seti daire içine alınmış olan 'CI' modeli olduğu için bu set tipi seçilmiştir. Kalıp setinde bulunan kalıp elemanlarının ölçüleri için ise Şekil 5.17' de bulunan Çizelgeden faydalanılarak kalıp ölçülendirilmesi yapılmıştır.

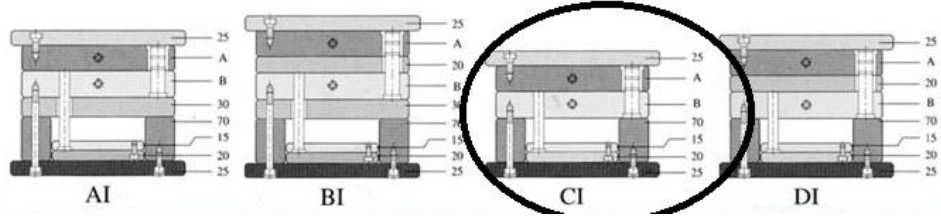
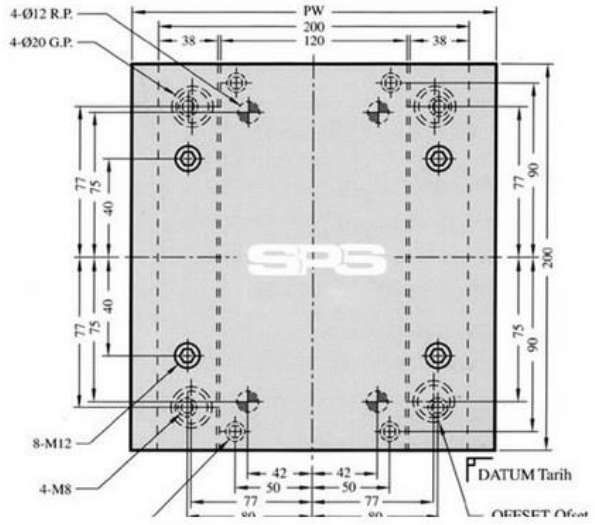
2020

Plaka Genişliği / Plate Width	PW
H-tipi / H-Type	200
I-tipi / I-Type	250

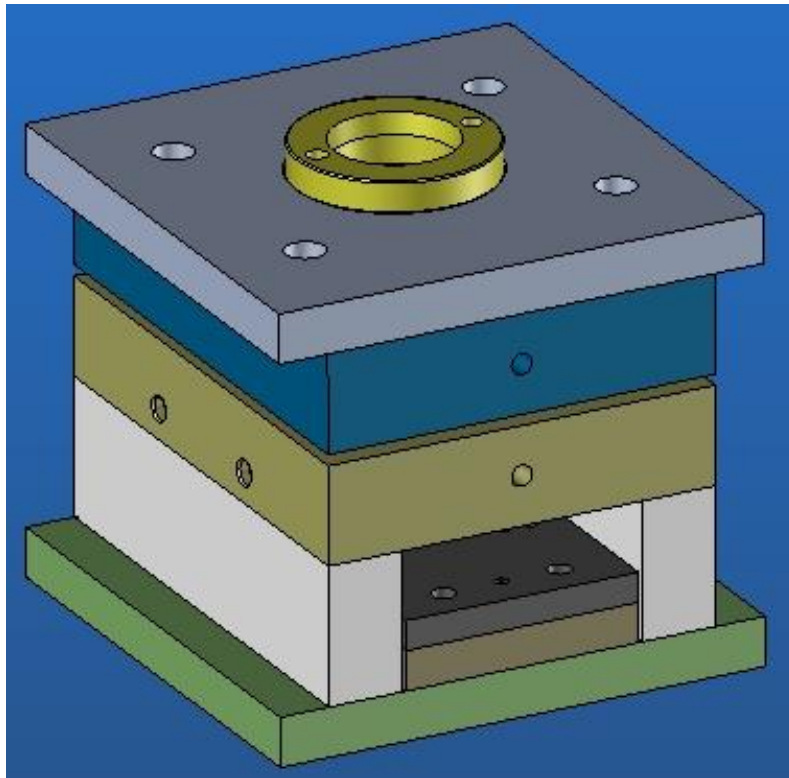
A B Plakası Kalınlığı / A B Plate Thickness										
25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	

Ara Blok / Spacer Block	60
Yüksek Ara Blok / Higher Spacer Block	80

Civata / Eyebolt	M12
------------------	-----



Şekil 5. 17: SPS kalıp seti 'CI 2020' standart kalıp ölçüleri [32].



Şekil 5. 18: Kalıp hazır setin katı datasının görünümü.

5.3.1.4 Standart Kalıp Elemanları Siparişi

İtici

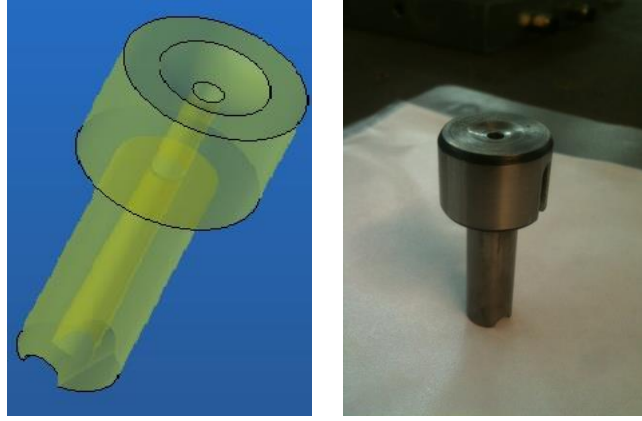
Tasarımı yapılan kalıpta itici sistemi parça ebatları, parça tasarımı ve kalıp göz adedi gözönüne bulundurularak yapılan mamül itici sistemi tasarımın da civa çeliğinden üretilen 15 adet Ø5 yuvarlak kademeli düz itici kullanılması planlanmıştır. İtici adedi dengeli ve grift olan bölgelere yakın olmak şartıyla kalıpta bulunan her bir gözde 3 adet olarak belirlenmiş ve yollukların atılması içinde 3 adet itici kullanılması planlanmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5. 19: Kalıp imalat uygulaması için itici yerleşimi.

Kalıp Ana Yolluk Siparişi

Kalıp ana yolluk veya kalıp memesi olarak adlandırılan bu parçalar yine standart kalıp elemanları kataloglarından ilgili ölçülerde tespit edilerek temin edilir. Özel durumlarda bu tür elemanlar kalıpcı firmalar tarafından yapılabilmektedir (şekil 5.20).



Şekil 5. 20: Kalıp imalat uygulaması için standart ana yolluğu (kalıp memesi).

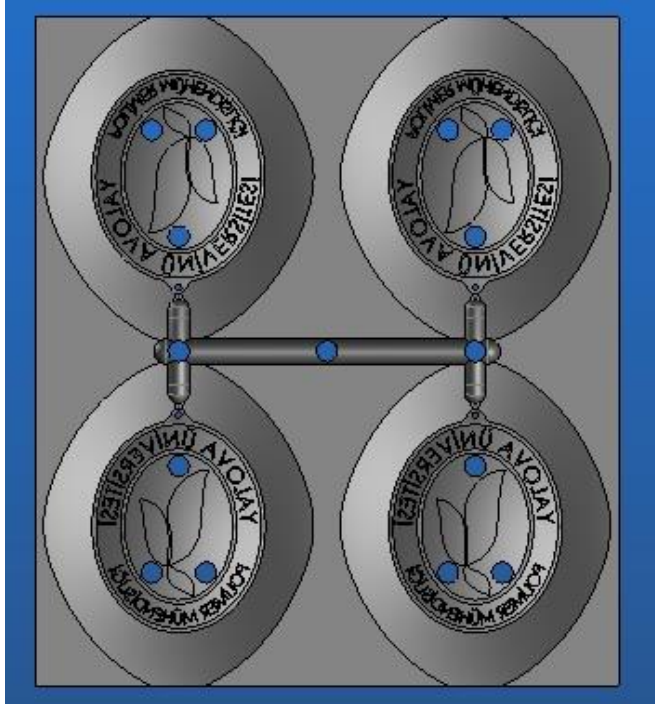
5.3.2 İmalat Aşamaları

5.3.2.1 Erkek (İtici Taraf) Çekirdek Çeliği İmalatı

İtici taraf kalıp çekirdeğinin bitmiş finish ölçüsünü, kalıp göz adedini belirledikten sonra 140X160X30 mm olarak belirlemiştik. Bu ölçüler çekirdeğin tamamen bitmiş ölçüleridir. Bu ölçüler ve uygulamasını yapmak istediğimiz modelin profili (kalıp boşluğu) çeşitli operasyonlar ile ortaya çıkmaktadır. Erkek (itici taraf) çekirdeğin imalat aşamaları:

- Kaba frezeleme operasyonu (konvensiyonel kaba talaş freze tezgahı),
- Bağlantı ve su yolluğu delikleri operasyonu (radial matkap tezgahı),
- Kalıp boşluğu kaba frezeleme operasyonu (CNC dik işleme merkezi),
- Isıl işlem operasyonu,
- Taşlama operasyonu (satıl taşlama tezgahı),
- İtici pim delikleri (konvensiyonel kalıpcı frezesi),
- Kalıp boşluğu finish frezeleme operasyonu (CNC dik işleme merkezi),
- Lazer yazı operasyonu,
- Kalıp parlatma operasyonu (hand finish).

Şekil 5.21' de TopSolid2011 programın Cad modülünde tasarladığımız itici taraf kalıp çeliğinin şekli gösterilmektedir, Şekil 5.22' de ise tasarım esasına göre imalatı tamamlanmış çekirdeğin şekli mevcuttur.



Şekil 5. 21: TopSolid2011 programı CAD modülü yardımıyla tasarlanan, erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği katı datası.



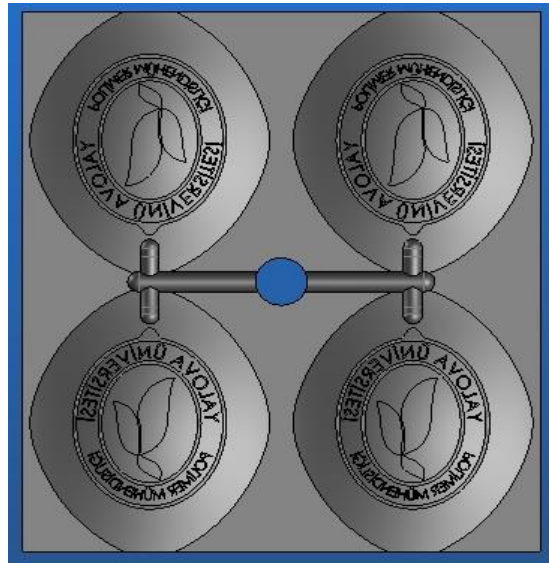
Şekil 5. 22: İmalatı tamamlanan erkek (itici taraf) kalıp çekirdeği.

5.3.2.2 Dişi (Enjeksiyon Taraf) ekirdek eliği İmalatı

Enjeksiyon taraf kalıp çekirdeğinin imalatı, itici taraf kalıp çeliği imalatı ile aynı sayılır. Sadece küçük bazı değişkenler bulunmaktadır (itici delikleri olmaması gibi). Dişi (enjeksiyon taraf) ekirdek çeliği imalat aşamaları:

- Kaba frezeleme operasyonu (konvensiyonel kaba freze tezgahı),
- Bağlantı ve su yollukları delikleri operasyonu (radial matkap tezgahı),
- Kalıp boşluğu kaba frezeleme operasyonu (CNC dik işleme merkezi),
- Isıl işlem operasyonu,
- Taşlama operasyonu (satıh taşlama tezgahı),
- Yolluk memesi delik operasyonu (konvensiyonel kalıpcı frezesi),
- Kalıp boşluğu finish operasyonu (CNC dik işleme merkezi),
- Lazer yazı operasyonu,
- Kalıp parlatma operasyonu (hand finish).

şekil 5.23' de TopSolid2011 programın CAD modülünde tasarladığımız enjeksiyon taraf kalıp çeliğinin şekli gösterilmektedir, şekil 5.24' de ise tasarım esasına göre imalatı tamamlanmış çekirdeğin şekli mevcuttur.



şekil 5. 23: TopSolid2011 programı CAD modülü yardımıyla tasarlanan, dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği katı datası.

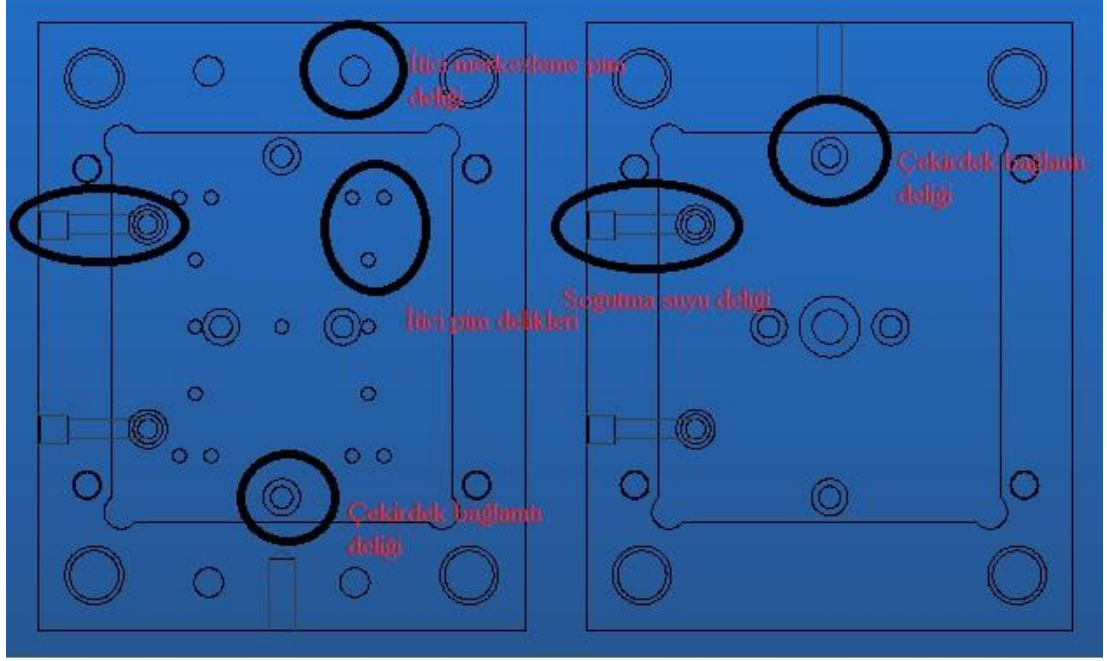


Şekil 5. 24: İmalatı tamamlanan dişi (enjeksiyon taraf) kalıp çekirdeği.

5.3.2.3 Hazır Kalıp Setinde Yapılması Gereken Operasyonlar

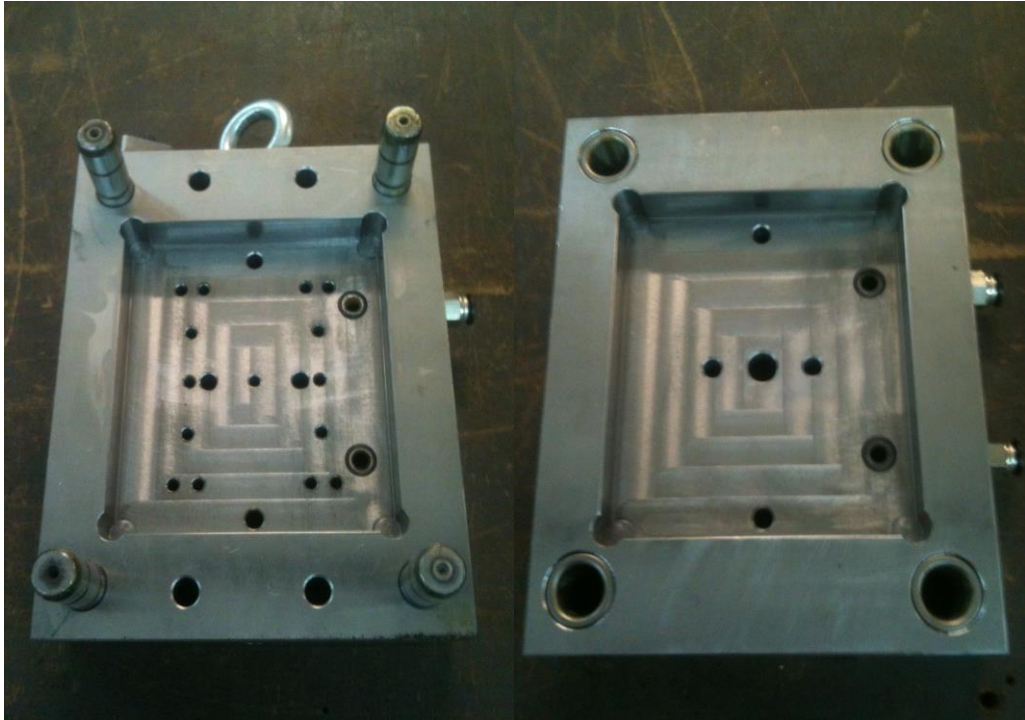
SPK marka hazır setin siparişinde, settaki isteklerimizi belirtmekteyiz. Uygulama yapmak istediğimiz kalıp, düz, yani maçasız bir kalıp olduğu için çok fazla detay bulunmadığından setin siparişi finish olarak verilmiştir. Yani; tüm plakaların paralellliği ve ölçü tamlığı için satıh taşlama operasyonu, her iki çekirdek kasasının havuz boşaltmaları, erkek ve dişi tarafın merkezleme kolon ve burç delikleri, plakalardaki bağlantı delikleri ve vidaları vs. gibi tüm operasyonların imalat sürecini hızlandırmak için hazır bitmiş olarak temin işlemine gidilmiştir.

Setin büyük bir kısmı hazır olduğundan geriye sadece enjeksiyon kasası ve itici kasasının soğutma su delikleri radial matkapta, bağlantı delikleri ve itici tarafı kasasında bulunan itici pim delikleri konvensiyonel kalıpcı frezesinde (Şekil 5.25' de yuvarlak içine alınmış delikler), itici üst plakada bulunan itici pim delikleri ve itici pim deliği merkezleme pim yuvaları da yine konvensiyonel kalıpcı frezesinde hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.26' da yuvarlak içine alınan delikler).

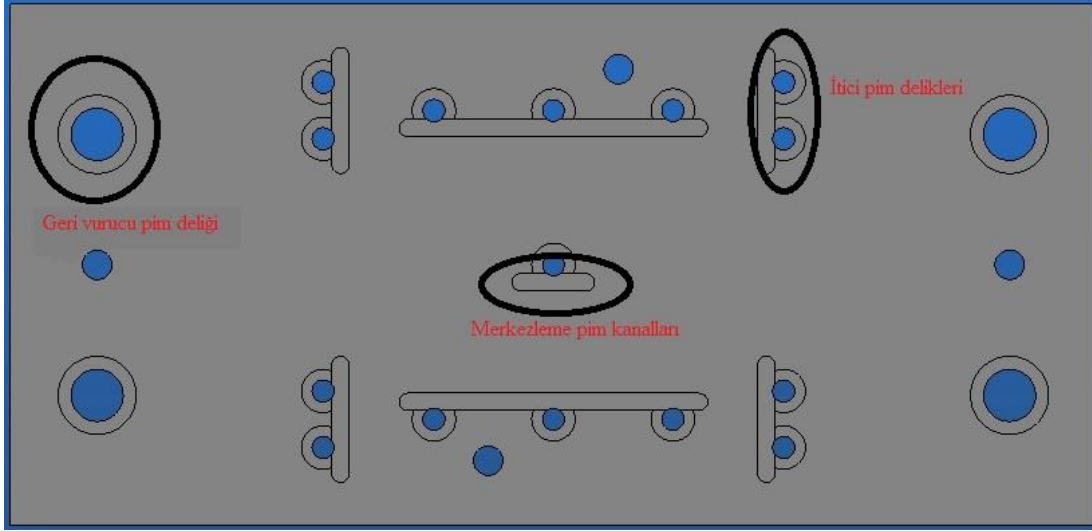


Erkek (İtici Taraf) Çekirdek Kasası

Dişi (Enjeksiyon Taraf) Çekirdek Kasası



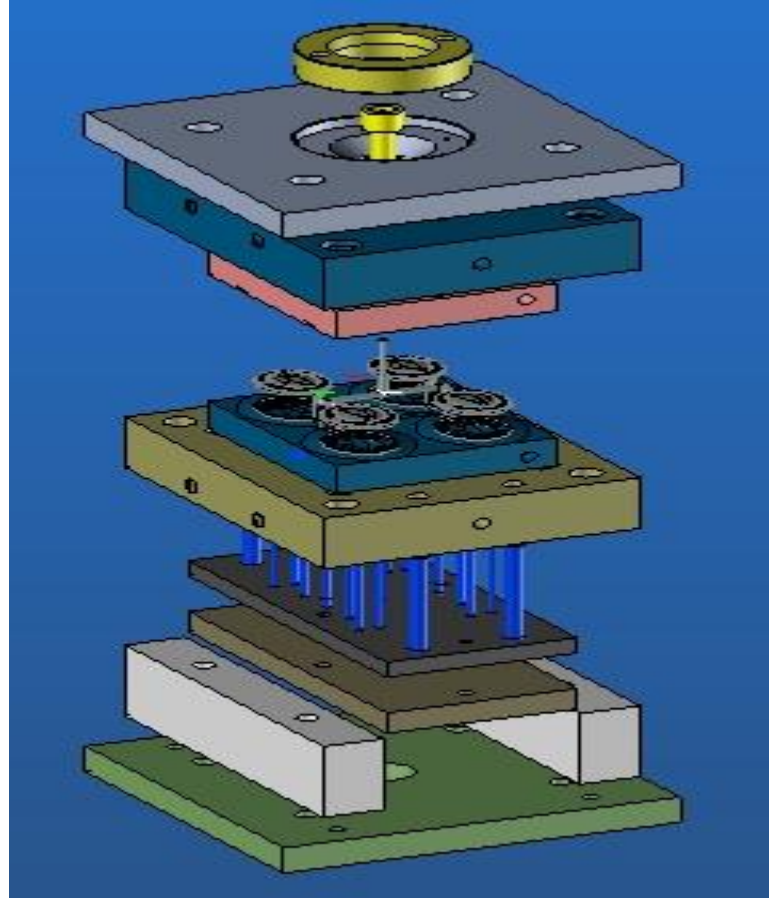
Şekil 5. 25: İtici ve enjeksiyon tarafı çekirdek kasalarında yapılan operasyonlar.



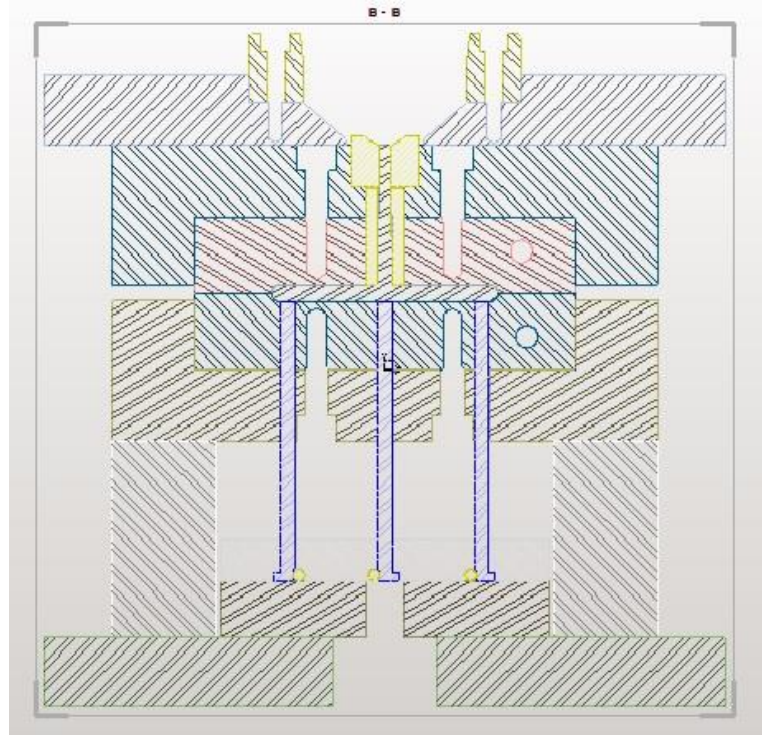
Şekil 5. 26: İtici üst plakasına yapılması gereken operasyonlar.

5.3.2.4 Enjeksiyon Kalıp Montajı

CNC dik işleme, lazer işleme, konvensiyonel kaba talaş freze işleme, konvensiyonel kalıpcı freze işleme, radial matkapla işleme, satıh taşlama vs. operasyonlarla kalıbın tüm parçaları son geometrik şeklini ve ölçülerini oluşturdudan sonra standart bağlantı elemanları yardımıyla (civata, pim vs) kalıp komple tasarım resminde belirtildiği gibi montaj sırasına göre montajı yapılmaya başlanır. Kalıp erkek (itici taraf) ve dişi (enjeksiyon taraf) olarak iki parça halinde toplandığında kalıp üzerinde alıştırma işlemi yapılır (Şekil 5.27).



Şekil 5. 27: Uygulama için tasarlanan kalıbın patlatılmış montaj resmi.



Şekil 5. 28: Uygulama için tasarlanan kalıbın kesit montaj resmi.



Şekil 5. 29: Kalıbın montajlanmış nihai hali.

5.3.2.5 Deneme Baskısı

Montajı tamamlanmış olan kalıp deneme yapılacak olan hammadde ile enjeksiyon presinde deneme baskısına tabi tutulur. Deneme baskısı kalıbın normal çalışma şartlarında olmalıdır. Yani sıcaklıklar, basınçlar ve soğutma sistemi normal rejim baskısındaymiş gibi faal ve düzenli olmalıdır. Eğer ısıtma işlemi yapılmamış bir kalıbı deneme baskısına tabi tutmamız gerekiyorsa bu baskı adedi 10' u geçmemelidir.

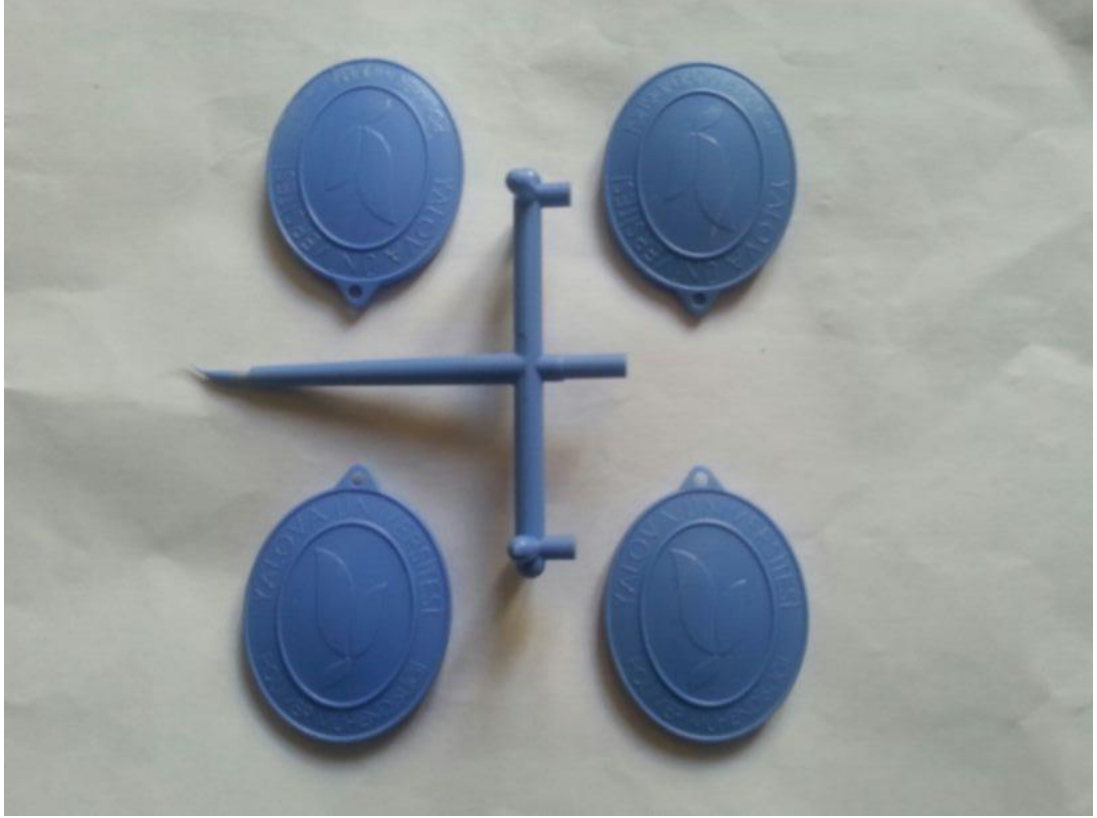


Şekil 5. 30: Deneme baskısı için enjeksiyon tezgahına bağlanması.

Baskı şartları Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5. 2: Enjeksiyon şartları.

Kalıp İsmi		Yalova Universitesi Logolu Anahtarlık					Tarih	04.06.2014	
		4					Test No	1	
Enjeksiyon Şartları (Proses Şartları)									
Rezistans Sıcaklıkları (C°)	Meme	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	4.Bölge				
	220	245	240	230					
Su/Yağ Sıcaklığı (C°)	25		25		Kalıp Sıcaklığı		İtici Taraf	Enjeksiyon Taraf	
							25	50	
	Enjeksiyon				Ütüleme			Soğutma(sn)	
Basınç (Bar)	70	70	70		50	50		45	
Hız	20	25	30		3	3		Çevrim(sn)	
Zaman (sn)					5	5		60	



Şekil 5. 31: Baskı sonucu nihai ürün.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, elektronik sanayisinden otomotiv sanayisine kadar her alanda yaygın olarak kullanılan polimerlerden üretilmiş endüstriyel parçaların imalatını gerçekleştiren plastik enjeksiyon kalıpları detaylı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplarının genel hatlarından, plastik enjeksiyon tezgahlarının genel sistemlerinden bahsedilerek; bilgisayar ortamında, örnek uygulama için seçilen Yalova Üniversitesi' nin logosunun bulunduğu anahtarlık kalıbı parametrelerinin analizleri ve tasarımı yapılmıştır.

Uygulamada; ürünün tasarımı, ürününün kalitesini baştan sona kadar belirleyici faktör olmaktadır. Ürün tasarımı yapılırken doğru malzeme seçimi, parçanın kalıplanabilirliği ve enjeksiyon sırasında yaşanabilecek tüm problemler göz önünde bulundurulmalıdır. Fakat ürün tasarımı ne kadar başarılı olursa olsun, istenilen kalitede ürün alabilmek tamamen doğru kalıplamaya bağlıdır. Erimiş plastiğin kalıp boşluğuna akış biçimi, basıncı, sıcaklığı, dolma süresi, ürünün kalitesini belirlemede önemli rol oynamaktadır.

Ayrıca bu parametrelere ilave olarak kalıp tasarım ilkelerinde değinilmiştir. Kalıplanacak ürünün ayırım hattının belirlenmesi, kalıp göz adedinin uygulamada kullanılacak enjeksiyon tezgahının kapasitesine göre tayini ve kalıp çekirdeklerinin boyutsal durumuna göre hazır kalıp set seçimi hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde, teorik bilgiler doğrultusunda ABS' in baskı sırasında enjeksiyon memesinden çıkış sıcaklığı 220°C olarak tayin edilmiş ve çekme payı olarak kalıba 0,005 mm ofset verilmiştir. Uygulama parçası olan anahtarlığın üç boyutlu modeli endüstriyel bir CAD yazılımı olan TopSolid2011 ile yapılmıştır.

Kalıp içinde ısınma yüksek olduğundan, sürtünmeye daha dayanıklı olması için içinde krom bulunan ve ısıl işlem gördükten sonra 38HRC sertliğe ulaşan yüksek parlatılabilirliğe sahip Impax kalıp çeliği tercih edilmiştir.

Yapılan öngörülere göre parçanın kalıp boşluğundan atılması için iticilerden faydalanılarak düşürülmesine karar verilip buna göre dizaynı yapılmıştır. Kalıp içinde tam soğumayan ürünün kalıp dışına atılması sırasında, iticilerin ürüne zarar vermemesi için geniş yüzeyde yayılı kuvvete ihtiyaç vardır. Bu durum gözetilerek her bir göze üçer adet itici yerleştirilmesi uygun görülmüştür.

Tasarlanıp uygulaması yapılan kalıp, Demag 1750 ton kapama kuvvetli ve 450 gr kapasiteli enjeksiyon tezgahında basılacağı için, bu makinenin kapasitesi göz önünde bulundurularak yapılan hesaplarda kalıp dört gözlü olarak belirlenmiştir. Dört gözlü bu kalıp için 160X140 mm² alana sahip kalıp çekirdeği ölçüsü oluşmuş olup, bu ölçüye göre en uygun set aralığı belirlenmiştir.

Baskıda kullanılacak polimer ABS olduğu için ocak sıcaklığı 1. bölge 245°C, 2.bölge 240°C ve 3. bölge 230°C' dir. İstenilen kalıp sıcaklığı itici tarafı 25°C, enjeksiyon tarafı ise 50°C' de tutulması gerektiği deneme baskısı sırasında ortaya çıkmıştır. Yapılan ilk denemede enjeksiyon ve itici tarafı 25°C olarak belirlenmiş fakat, baskı sırasında ürünün enjeksiyon tarafında kaldığı gözlenmiş ve bu sorun enjeksiyon taraf kalıp sıcaklığını 50°C' ye çıkartarak giderilmiştir.

Kalıp boşluğunu tam doldurmak, kusursuz baskı almak için kalıbın imalatına geçilmeden önce analiz programlarından destek alınmıştır. Kalıbın dizaynında yolluğun ve yolluk girişinin uygunluğu MoldFlow paket programı kullanılarak doğrulanmıştır. Yapılan analizlerde görüldüğü üzere ürünün üzerinde sıcak birleşim izleri, hava kabarcıkları ve soğuma sırasında kalın yüzeylerde kalitesizlik bulunmaktadır. Sıcak birleşim ve hava kabarcığı alanları logonun üstünde bulunan yazılardan kaynaklanmaktadır. Gaz boşlukları yazı içlerinde kaldığı için kalıba gaz tahliye boşlukları açmaya gerek duyulmamıştır. Yolluğun başka bir koordinattan verilmesi durumunda da bu kalitesizlikler devam edecektir. Tasarlanan logolu anahtarlığın göbek kısımlarındaki ölçü yüksekliğinden dolayı ürünün soğuması sırasında çöküntülere sebebiyet verebileceği ön görülmektedir. Çöküntüleri en aza indirmek için ütüleme süresini arttırmak gerekmektedir. Bu durumda çevrim süresini etkilemektedir. Kalıbın MoldFlow analizlerinde verilen soğuma değeri 40,88 sn' dir. Fakat gerçekte bu değer yakalanamamıştır. Ürünün kalınlığından dolayı çökmeler olduğundan soğuma ve ütüleme süresini 5 sn daha arttırmak zorunda kalınmıştır. Kalıbın çevrim süresi uygulamada 60 sn olarak çıkmaktadır. Çevrim süresinin 45 sn gibi büyük bir oranı soğuma için kullanılan zamandır. Uygulamayı yaptığımız ürün

herhangi bir makina parçası olmadığı yada herhangi bir kuvvete, basmaya ve çekmeye mukavemet göstermek zorunda kalmayan bir ürün olduğu için ürünün üstündeki olumsuzluklar ihmal edilmiştir. Normal şartlarda ABS' den üretilcek bir ürün için izin verilen en kalın cidar ölçüsü 2,286 mm' dir. Anahtarlık olarak kullanılan uygulama ürünümüzün kalınlığı ise 8,12 mm' dir. Ürünün soğuması ve boyutsal kararlılığındaki sorunların sebebi bu olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, günümüz teknolojileri kullanılarak plastik enjeksiyon kalıpcılığı için gerekli olan çalışmaların bir modeli örneklenmiştir. Uygulama için belirlenen ürün dizaynından, dizayn edilen ürünün bilgisayar ortamında analizlerle desteklenip ve son olarak imalatı gerçekleştirilerek, analizlerde bulunan parametrelerin gerçekte doğrulamasının yapılması planlanmıştır. Görüldüğü üzere; analiz sonuçları ile plastik enjeksiyon tezgah parametreleri çok az sapmayla ürün elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Rosato, D.V.**, Injection Molding Handbook, Kluwer Academic Publishers, Boston, A.B.D., 1999.
- [2] **Miles, D.C., Briston, J.H.**, Polymer Technology, Chemical Publishing Co. Inc., New York, A.B.D., 1996.
- [3] **Rees, H.**, Mold Engineering, Hanser Publisers, Münih, Almanya, 1995.
- [4] **Kamal, M.R., Lai-Fook, R.A., Hernandez-Aguilar, J.R.**, Residual Thermal Stresses in Injection Moldings of Thermoplastics: A Theoretical and Experimental Study, Polymer Engineering and Science, Cilt 42, No5, 1098-1114, 2002.
- [5] **Kim, C., H., Youn, J., R.**, Determination of Residual Stresses in Injection-Moulded Flat Plate: Simulation and Experiments, Polymer Testing, Cilt 26, 862-865, 2007.
- [6] **Kabanemi, K.K., Vaillancort, H., Wang, H., Salloum, G.** Residual Stresses, Shrinkage and Warpage of Complex Injection Molded Products: Numerical Simulations and Experimental Validation, Polymer Engineering and Science, Cilt 38, No 1, 21-37, 1998.
- [7] **Wen-Bin Young**, Residual Stress Induced by Solidification of Thermoviscoelastic Melts in The Postfilling Stage, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 145, 317–324, 2004.
- [8] **Zoetelief, W.F., Douven, L. F. A., Ingen Housz, A.J.**, Residual Thermal Stresses in Injection Molded Products, Polymer Engineering and Science, Cilt 36, No 14, 1886-1896, 1996.
- [9] **Chen, X., Lam, Y.C., Li, D.Q.**, Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 101, 275-280, 2000.
- [10] **MEGEP**, Plastik teknolojisi, 2008.
- [11] **Cihan CAN**, Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri, Trakya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [12] **Turaçlı, H.**, Enjeksiyon Kalıpları imalatı, Seçkin Yayın Evi, İstanbul, 198s., 2003.
- [13] **Özdemir, A., Gürün, H., Dilipak, H.**, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Nisan, 41-45., 2005.

- [14] **Malloy, R. A.**, Plastic Part Design for Injection Molding, Hanser Publisher, Usa, 454 s., 1994.
- [15] **Akkurt, M.**, Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat, Birsan Yayınevi, İstanbul, 274 s., 1996.
- [16] **Demirer, H.**, Sıcak Yolluk Sistemleri, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitim Bölümü, Ders Notları, İstanbul, 2003.
- [17] <http://www.seiki-hot.com>, (Erişim tarihi: Mart 2014).
- [18] **İri, İ.**, Sıcak Yolluklar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık Öğretmenliği, Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [19] **Bucaklıgil, C.**, Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [20] **Esenlik, M.**, Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [21] www.hasco.com, (Erişim tarihi: Mart 2014).
- [22] <http://www.arbury-injection-moulding-machines.com>, (Erişim tarihi: Nisan 2014).
- [23] **Özyiğit, Ö.**, Bilgisayar Destekli Kalıp Tasarımı ve İmalat Aşamalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [24] **Demirer, A.**, Enjeksiyon Yöntemiyle Şekillendirilecek Plastik Mamüllerin Tasarım Kuralları, Sakarya Üniv. T.E.F. Sakarya, 1997.
- [25] **Akyüz, Ö.**, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, sayfa 29-33, Pagev Yayınları.
- [26] **Aslan, A.**, Plastik Ürün Tasarım İlkeleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
- [27] Fardizayn Tasarım Teknopark Tic. Ltd. Şti, 2008.
- [28] GEENTA Kalıp ve Fikstür Makine İmalat San. Tic. Ltd. Şti, 2008.
- [29] **Kamber, Ö.Ş.**, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Bilgisayarla Tasarımı ile Pratikteki Farklılıklarının Karşılaştırılması ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [30] **TMMO**, Plastik Dünyası, Ankara, Mayıs 2001.
- [31] **Kafalı, M. S.**, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

[32] <http://www.spssenur.com>, (Erişim Tarihi:Aralık 2013).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Enver İÇER

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy 22/02/1985

Adres: Sötlöce Mahallesi Berber Sokak No:4 Da:3 Beyoğlu/İstanbul

E-Posta: envericer@gmail.com

Lisans: Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Faköltesi, Makina Eğitimi, Talaşlı Üretim A.B.D

TEZDEN TÜRETİLEN POSTER BİLDİRİLER/SUNUMLAR

- Bayramoğlu G. İÇER E. “Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı Ve İmalatı: Yolluk Çeşidinin Kalıp Parametrelerine Etkisi", "V. Ulusal Polimer Bilim Ve Teknolojisi Kongresi Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Eylül 2014, Tokat"