

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON
KALIP TASARIMI VE ÖRNEK BİR PARÇA
ÜZERİNDE OPTİMAL YOLLUK YERİNİN
BELİRLENMESİ**

**Tuncay ERZURUMLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2001**

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON
KALIP TASARIMI VE ÖRNEK BİR PARÇA
ÜZERİNDE OPTİMAL YOLLUK YERİNİN
BELİRLENMESİ

Tuncay ERZURUMLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE
2001

ÖZET

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminin esası, ısıtılarak akıcı bir kıvama gelmiş olan plastik malzemesinin uygun bir mekanik düzenle (enjeksiyon makinası), parçanın geometrisine uygun olarak hazırlanmış bir kalıp kavitesi içine basınç altında doldurulması ve katılaşınca kadar bekletilmesidir. Yöntemin avantajları, çok sayıda parçanın dar boyut ve yüzey toleransları içinde elde edilebilmesi ve üretim süresinin kısa olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp ve makine ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve dolayısıyla az sayıda parça için ekonomik olmamasıdır.

Plastik enjeksiyon kalıp uygulamalarında önemli unsur, tasarlanan parçanın ideal boyut ve yüzey kalitesinde elde edilmesi için optimal kalıp dizaynının yapılması ve üretim şartlarının belirlenmesidir. Parçaya ait kavite boşlukları kısa sürede dolmalı, optimal basınç profili ütüleme safhasında uygun değer ve süre ile uygulanmalıdır. Görünüm ve ideal boyutlar açısından kaviteler arasındaki yollukların (runner) dengeli olması ve ayrıca boyutsal çekme sınırları istenen toleranslarda olmalıdır. Ürün üzerindeki çökme, çarpılma miktarları, yanma durumları, birleşme çizgileri müsaade edilir düzeyde olmalıdır. Gaz çıkış noktalarının uygun yer ve ebatta belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, MoldFlow Plastics Insight Plastik Enjeksiyon Analiz paket programı ile, Arçelik'te üretilen KU19 kamlı düğme altlığı olarak adlandırılan bir parçanın zamandan, işçilikten ve malzemeden tasarruf edilmek sureti ile ekonomik olarak üretilmesi adımları üzerinde durulmuştur. Optimal işlem aşamaları da denilebilecek işlem sıralamalarının başında gelen parçaya ait en uygun kavite giriş yeri belirlenmesi yapılmıştır. Kavite giriş yeri göz önüne alınarak yolluk girişi (sprue) ve yolluk şekli (runner layout) uygun şekilde seçilmiştir. Bu modellemeler ve sıralamalar baz alınarak analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Analiz verileri göz önüne alınmak sureti ile ürünün kalıp tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Plastik

enjeksiyon makinasına bağlanıp alıştırma işleminin yapıldığı kalıp düzeneği ile dolum gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışması ile deney çalışması sonuç verileri karşılaştırılarak istenilen performans kriterlerinin ulaşılabilirliği gözlemlenmiştir.

Sonuçta, bir parçaya ait ürün elde edilirken izlenmesi gerekli yaklaşık işlem basamaklarının belirlenmesi amacına ulaşılmıştır. Buradan hareketle bir parçanın kalıbının tasarımının ve ürün olarak eldesinin analiz çalışması-deney üretimi eşzamanlı çalışılması ile zamandan kazanım, ekonomiklik ve üretim kolaylığı açısından faydalarının güvenilirliği gözlemlenmiştir.

SUMMARY

The main idea of injection molding method is filling material, which is liquidized with heat, into proper mold's profile and waited for solidification. The method's advantages are getting a lot of parts with surface tolerances of narrow dimension and less production time. Disadvantages are large mold and machine costs. In addition it is not economical for a few parts.

The most important steps for the plastic injection molding method are designing the optimal mold and defining filling conditions for the most ideal dimension and surface quality on design mold parts. When competitive conditions are considered, cavities on part must be filled with little time, and optimal pressure profile values must be suitable for packing phase. Runners, which are between cavities, must be balanced and volumetric shrinkage limits should be determined appropriately for ideal dimension and appearance. In addition, sink marks, warpage, shear heating, weldline and airtraps must be determined appropriately, too.

In this study, manufacturing of a plastic injection part, which was produced in Arçelik, has been performed considering the economical aspects of the workmanship, production time and material used. The injection parameters have been determined by using MoldFlow Plastics Insight analysis software. In addition to this, appropriate runner layout and sprue locations have been selected for the optimal operating parameters. The analysis has been performed by taking this modeling and operation parameters into account. The die design and manufacturing have been performed according to the results of the analysis. Analysis and experimental results regarding best filling time, packing time, cooling time, mold and melt temperature and cycle time have been compared with each other. A complete match between them was observed.

As a result, the goal of the determination of the operational steps of a part for manufacturing is achieved. In this study, the advantages of interactive studies between analysis and experiment were observed in the name of economic gains and ease of production.

TEŞEKKÜR

Yazar bu çalışmanın tüm safhasında gerekli imkanları sağlayan, yardımları ile destekleyen Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e en derin saygı ve şükranlarını sunar.

G.Y.T.E. Araştırma fonuna bu çalışmayı, araştırma projesi kapsamında kabul ettiği için teşekkür eder.

ARÇELİK A.Ş. Çayırova Çamaşır Fabrikası Araştırma-Teknoloji Geliştirme Merkezi yönetimine çalışma ortamını sağladıkları için ve ayrıca, analiz çalışmaları esnasında yardımlarını hiç esirgemeyen A.T.G.M. sorumlusu Dr. Can MEYDANLI'ya ve çalışanlarına en içten teşekkürlerini sunar.

Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü başkanı Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya, bölüm hocalarımızdan Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN, Yrd. Doç. Dr. A. Zafer SENALP' e ve bölümde araştırma görevlisi olarak çalışan arkadaşlarına, çalışmaları esnasında maddi ve manevi desteklerini esirgemedikleri için ayrıca teşekkür eder.

Yoğun çalışmaları sırasında her zaman fedakarlık yapmaya gayret gösteren eşine de teşekkürlerini sunar.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA NO
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
TABLolar DİZİNİ	XV
1. 1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
3. ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİNE BAKIŞ	10
3.1. Enjeksiyon Presleri	10
3.1.1. Enjeksiyon Memeleri	11
3.1.2. Vidalı Enjeksiyon Preslerindeki Vida Özellikleri	11
3.1.3. Vidanın Plastik Kalıplama Bölgesi	11
3.1.4. Vida Dayanımı ve Hızı	11
3.1.5. Vida Sıcaklığı	12
3.2. Enjeksiyon Presi Kalıp Sıkma Ünitesi	12
3.2.1. Kalıp Sıkma Kuvveti	13
3.2.2. Enjeksiyon Preslerinin Özellikleri	13
3.3. Termoset Plastiklerin Enjeksiyon Yöntemi ile Kalıplanması	13
3.4. Termoplastiklerin Kalıplanması	14
3.4.1. Kalıp Tasarımı	14
3.4.2. Kalıp Elemanları	18
3.4.2.1. Yolluk Burcu ve Yerleştirme Bileziği	18
3.4.2.2. Bağlama Plaka ve Kılavuz Pimleri	18
3.4.2.3. İtici Pimler, Burç ve Plakalar	19
3.4.2.4. Destek Plakaları	19
3.5. Kalıp Tasarımında Esas Kurallar	20
3.5.1. Kalıp Açılma Çizgisi (K.A.Ç.)	20
3.5.1.1. Tek Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar	21
3.5.1.2. İki açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar	21
3.5.1.3. Üç açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar	21
3.5.2. Açılı Pimler ve Kam Blokları	21
3.5.3. Dağıtıcı Kanallar	22
3.5.4. Giriş Kanalları	27
3.5.4.1. Doğrudan Giriş Kanalları	27
3.5.4.2. Sınırlandırılmış Giriş Kanalları	31
3.5.4.3. Giriş Kanallarının Biçimi	33
3.5.5. Hava Tahliye Kanalları	34

3.5.6. Soğutma Sistemi	36
3.5.6.1. Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı	37
3.5.6.1. (a) Çekirdekler ve Dairesel Kesitli Parçalar	
İçin Soğutma Kanalları	37
3.5.6.1. (b) Düzlemsel Parçalar İçin Soğutma Sistemleri	39
3.5.6.1. (c) Soğutma Sisteminin Yalıtılması	39
3.5.7. Çekme Olayı ve Etkileri	40
3.5.7.1. Çekmenin Tanımı	40
3.5.7.2. Çekmenin Nedenleri	41
3.5.7.3. Anizotropik Çekme Nedenleri	41
3.5.7.4. Çarpılmanın Nedenleri	42
3.5.7.5. Toleranslar	42
3.5.8. Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Üretimi	43
3.5.8.1. Enjeksiyon Kalıplarında Kullanılan Malzemeler	43
3.5.8.2. Kalıpların Sınıflandırılması	45
3.5.8.3. Kalıp Üretiminde İşlem Planlaması	45
3.5.8.4. Alıştırma ve Montaj	46
3.5.9. Enjeksiyon Hataları	47
3.6. Kavite Adedi İçin Ekonomik Kriterler	50
3.6.1. Kurum Maliyet Hesaplaması	50
3.6.2. Deneme Üretim Maliyeti	51
3.6.3. Bakım Onarım Maliyeti	51
4. ENJEKSİYON AŞAMALARI	52
4.1. Giriş	52
4.2. Sıcak Yolluklu Makinaların Hazırlanması	54
4.2.1. Sıcak Yolluklu Kalıplar İçin Çalışma Talimatları	54
4.2.1. (a) Kalıp Enjeksiyon Parçasına Bağlanmadan Önce	54
4.2.1. (b) Enjeksiyon Makinesinde Kontrol İşlemi	55
4.3. Plastiğin Hazırlanması Safhası	57
4.3.1. Plastik Ünitesi	57
4.3.2. Kilitleme Ünitesi	58
4.3.3. Kontrol Ünitesi	59
4.4. Plastifikasyon Ünitesi Gaz Tahliyesi	61
4.5. Enjeksiyon Makinasının Özellikleri	62
4.6. Kalıbın Doldurulmasında İşletmeye Ait İstekler ve Enjeksiyon	63
4.7. Ütüleme	65
4.8. Soğutma	66
4.9. İtme	67
4.10. Proses/Ürün Kalite Kontrol Parametreleri	70
5. BİR DENEYSEL PARÇA ÜZERİNDE SONLU ELEMANLAR ANALİZ UYGULAMASI	72
5.1. Giriş	72
5.2. Deneysel Çalışma	72

5.2.1. Deneysel Parça Özellikleri	73
5.2.2. Malzeme Bilgisi ve Mühendislik Plastikleri	73
5.2.3. Kalıp Malzemesi	75
5.2.4. Analizde Kullanılan Yazılımlar	75
5.2.5. Analizde Kullanılan Yolluk Şeması ve Yolluk Kesitleri	78
5.2.5.1. Yolluk Şeması-Kavite Yerleşimleri	78
5.2.5.2. Kullanılan Yolluk-Kesit Şekilleri	78
5.2.6. Tezgah Bilgileri	80
5.3. Analiz Çalışması	80
5.3.1. En İyi Kavite Giriş Yeri Analizi	80
5.3.2. Dolum, Ütuleme ve Çarpılma Analizleri	81
5.3.3. Kavite Sayısı ve Yolluk-Kesit Tipinin Belirlenmesi	85
5.3.3.1. Kavite Sayısının Belirlenmesi	85
5.3.3.2. Yolluk-Kesit Tipinin Belirlenmesi	88
5.3.4. Sıcak-Soğuk Yolluk Sistemlerinin Karşılaştırılması	90
5.3.5. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	92
5.4. Deney Uygulaması ve Deneysel ve Analiz	
Sonuç Değerlendirmesi	92
5.4.1. Deney Uygulaması	92
5.4.2. Deneysel Uygulama ve Analiz Sonuçları ile Değerlendirme	93
5.5. Analiz Çalışması Esnasında veya Üretimde	
Karşılaşılabilecek Bazı Kalıp Problemleri	94
6. SONUÇLAR/ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	104

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama	
ATGM	Araştırma-Teknoloji Geliştirme Merkezi	
AŞ	Anonim Şirketi	
CAD	Computer Aided Design	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Computer Aided Manufacture	Bilgisayar Destekli Üretim
CAE	Computer Aided Engineering	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CNC	Computer Numerical Control	Bilgisayar Sayısal Kontrol
X	Vidalı milin helis açısı	
σ_b	Vida eğilme gerilimi	
D	Çap	
F	Kalıp sıkma kuvveti	
A	Alan sabiti	
p	Birim yüzeye gelen basınç	
d	Yarıçap	
Mv	Parça yolluk hacmi	
L	Akış boyu	
Δp	Maksimum enjeksiyon basıncı	
η_{aeff}	Amorf ve kristal malzemeler için viskozite değeri	
Vf	Akış hızı	
J	Destek plakası dayanım momenti	
C	Destekler arası uzaklık	
ϑ	Debi	
V	Havanın akış hızı	
Vm	Parçanın hacmi	
Vr	Yolluk sisteminin hacmi	
S	Çekme oranı	
Lc	Kavite boyu	
Lm	Parça boyutu	
P- V- T	Basınç- Hacim- Sıcaklık	
ts	Kurum zamanı	

C_{MH}	İşletme hariç saat başına makine maliyeti
n	Kurucu personel adedi
C_{SH}	Kurucu personel saat ücreti
m	Yardımcı personel adedi
C_H	Saat başına ücret
a_{CH}	Malzeme değiştirme ilave zamanı
q	Plastiğin hazırlanması maliyeti
p	Tamamlayıcı ek malzeme maliyeti
C_p	Deneme üretim maliyeti
t_{cycl}	Döngü zamanı
V_p	Kalıp hacmi
ρ_m	Malzeme özgül ağırlığı
Pr	Malzeme fiyatı
C_{MT}	Bakım onarım maliyeti
C_T	Kalıp maliyeti
m	Manifold' un kütlesi
c	Çeliğin ısınma ısısı
η_{tot}	Toplam verim
$Pa.s$	Viskozite birimi
MPI	MoldFlow Plastics Insight
π	Pi sabiti
R	Yarıçap

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Amorf ve Yarıkristalize Termoplastikler	2
3.1 Vidalı Plastik Ünitesi	10
3.2 Enjeksiyon Kalıbına Ait Elemanlar	15
3.3. Kalıplanan Parça ve Kalıp Açılma Çizgisi	20
3.4. Dağıtıcı Kanal Kesitleri	23
3.5. Çoklu Kalıplama Boşluğu Bulunan Kalıplarda Dağıtıcı Kanal Tip Örnekleri	23
3.6. Yolluk Sistemi ve Elemanları	24
3.7. Sıcak Yolluk Sistemi Tasarımı ve Elemanları	26
3.8 Kenardan ve Merkezden Giriş Kanalları	28
3.9. Doğrudan Kenar Giriş Kanalı	28
3.10. Kenar Giriş Kanalı	29
3.11. Değişik Tipteki Konik Giriş Kanalları	29
3.12. Disk Giriş Kanalı	30
3.13. Bilezik Tipi Giriş Kanalı	30
3.14. Çengel Tipi Giriş Kanalı	31
3.15. Giriş Kanalı Yerleşim Konumlarına Göre Açılan Hava Tahliye Kanalları	35
3.16. Çekirdeklerin Seri ve Paralel Soğutulması	38
3.17. O-Ringlerle Yalıtılmış Bir Soğutma Sistemi	40
5.1. Parçada Mesh Uygulamasının Gösterimi	77
5.2. En İyi Giriş Bölgelerini Gösteren Renk Dağılımı	81
5.3. Üst Köşe Girişli Dolum Analizi	82
5.4. Üst Köşe Girişli Ütüleme Analizi Hacimsel Çekme Oranı	83
5.5. Plastik Malzemenin Kavite İçinde İlerlemesi	84
5.6. Üst Köşe Giriş İçin Çarpılma Analizi	84
5.7. Yandan Girişli Dört Kaviteli Soğuk Yolluk Sistemi Hacimsel Çekme Oranı	86
5.8. Sekiz Kaviteli Soğuk Yolluk Sistemi Çalışması	87
5.9. Dört Kaviteli Dairesel Kesitli Yolluk Analizi	89

5.10.	Dört Kaviteli Sıcak Yolluk Analizi	91
5.11.	Ütüleme basınç profili gösterimi	93
5.12.	İki Kaviteli Soğuk Yolluk Sistemi İle Basılmış Eski Tasarım ve Dört Kaviteli Sıcak Yolluk Sistemiyle Basılmış Yeni Tasarım Resmi	94

TABLOLAR DİZİNİ

Tablolar	Sayfa
3.1. Plastik Kalıplarının Yapımında Kullanılan Bazı Malzemelerin Cinsi ve Sertliği	45
5.1. Tek Kavite Değişik (Mavi Renkli) Bölge Girişli Dolumu Hacimsel Çekme ve Toplam Uzama Değerleri	85
5.2. Muhtemel Çarpılma Problemleri	85
5.3. Dört ve Sekiz Kavite İçin Soğuk Yolluk Sistemi İle Çalışarak Elde Edilen Hacimsel Çekme Oranı Ve Toplam Uzama Değerleri	87
5.4. Değişik Yolluk Kesit Tiplerinin Dolum Analiz Sonuçlarına Göre Basınç Değerleri	89
5.5. Dört Kavite İçin, Belirlenen Giriş Bölgelerine Ait Dolum Süreleri ve Hacimsel Çekme Oranları	90
5.6. Dolum Süresince Makinanın Uyguladığı (Sıcak Yolluk Sistemli Makine) Maksimum Basınç Değerleri ve Uygulanma Süreleri	93
5.7. Deneysel Çalışma ve Analiz Sonuçları İle Karşılaştırılması	93
5.7. Analiz Çalışması Esnasında Ve/Veya Üretimde Karşılaşılması Muhtemel Kalıp Problemleri	95

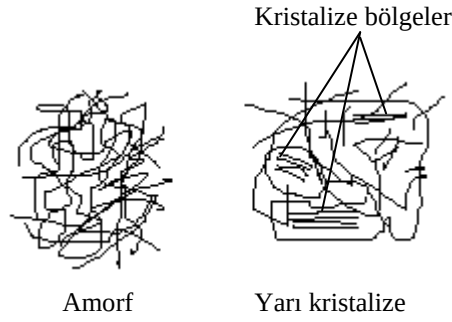
1. GİRİŞ

Plastikler, atomlarının zincir halkaları gibi birbirine bağlandığı büyük molekülü sentetik polimer maddelerdir. Plastiklerin temel özelliği çeşitlilikleridir. Plastiklerin özellikleri geniş sınırlar içinde değiştirilebilir. Diğer malzeme gruplarında görülmeyen bir çeşitlilik elde edilebilir. Plastiklerin ana özellikleri aşağıdaki verilmiştir:

- Yoğunluk 0.8- 2.2 gr/cm³
- Geniş bir aralıkta değişken mekanik özellikler
- Kolay işlenebilmesi
- Katkı maddeleri ile özelliklerinin değiştirilmesi
- Düşük ısı ve elektrik iletkenlik
- Işığı geçirebilme (optik geçirgenlik)
- Yüksek kimyasal direnç
- Geri dönüştürülebilir olması (termoplastikler)
- Hammadde üretimi için gerekli olan enerji ihtiyacının düşük olması

[Alkaya, 1998].

Plastikler değişik kriterlere göre sınıflandırılırlar. Kendi içlerinde genel olarak kabaca kimyasal yapılarına göre, çapraz bağlı olanlar ve çapraz bağlı olmayanlar şeklinde sınıflandırılabilir. Termoplastikler çapraz bağ yapısına sahip değildir. Elastomerler ve termosetler ise çapraz bağ yapısına sahiptirler. Kabaca sınıflandırılacak olursa; plastikler çapraz bağlı olmayanlar [termoplastikler (amorf, kristal yapılı)] ve çapraz bağlı olanlar elastomerler ve termosetler (zayıf, güçlü) şeklindedir. Şekil 1.1 de Amorf ve Yarı kristalize termoplastiklerin yapısı gösterilmiştir [Alkaya, 1998].



Şekil 1.1. Amorf ve yarıkristalize termoplastikler

Plastiklerin ürüne dönüştürülmesi çeşitli yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bunlardan bazıları; sıkıştırma kalıplama metodu, transfer (aktarma) kalıplama metodu, fışkırtma (ekstürizyon) kalıplama metodu, şişirme (süflaj) kalıplama metodu, haddeleme kalıplama metodu, soğuk kalıplama metodu, döndürmeli kalıplama metodu ve plastik enjeksiyon kalıplama metodu şeklinde sıralanabilir [Alkaya, 1998].

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminin esası, ısıtılarak akıcı bir kıvama gelmiş olan plastik malzemesinin uygun bir mekanik düzenle (enjeksiyon makinası), parçanın geometrisine uygun olarak hazırlanmış bir kalıp üzerindeki kavite içine basınç altında doldurulması ve katılaşmaya kadar bekletilmesidir. Yöntemin avantajları, çok sayıda parçanın dar boyut ve yüzey toleransları içinde elde edilebilmesi ve üretim süresinin kısa olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp ve makine ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, dolayısıyla az sayıda parça için ekonomik olmamasıdır [Alkaya, 1998].

Plastik enjeksiyon kalıp uygulamalarında önemli unsur, tasarlanan parçanın ideal boyut ve yüzey kalitesinde elde edilmesi için optimal kalıp dizaynının yapılması ve üretim şartlarının belirlenmesidir. Parçaya ait kavite boşlukları kısa sürede dolmalı, optimal basınç profili ütüleme safhasında uygun değer ve süre ile uygulanmalıdır. Görünüm ve ideal boyutlar açısından kaviteler arasındaki yollukların (runner) dengeli olması ve ayrıca boyutsal çekme sınırları istenen toleranslarda olmalıdır. Ürün üzerindeki çökme, çarpılma miktarları, yanma durumları, birleşme çizgileri müade edilir düzeyde olmalıdır. Gaz tahliye noktalarının uygun yer ve

ebatta belirlenmesi ve ayrıca soğutma kanalları yeri-şematik dağılımının belirlenmesi gerekmektedir [Alkaya, 1998].

Günümüzde, geleneksel kalıp üretimi uygulamalarına ilave olarak, kalıp işçiliği, malzeme tasarrufu ve denemeler esnasında kaybedilen enerji gibi noktalarda tasarruf ve zaman kazanımı sağlamak için plastik enjeksiyon kalıplama ile ilgili simülasyon programları mevcuttur. Bu programlardan Moldflow Plastics Insight simülasyon programıyla yapılan dolum (filling) analizi ile dolum süresini (fillingtime), ütüleme için uygulanacak maksimum basınç değerini, gaz birikme bölgeleri, akış birleşmeleri (weldline) bölgelerini gösterir. Daha sonra kavite giriş soğuma süresi göz önüne alınarak oluşturulan basınç profili ile yapılan ütüleme (packing) analizi ile uygun kalıp ve eriyik sıcaklığı, parçanın donup donmayacağı, ne kadar hacimsel çekmeye maruz kalacağı gibi konularda ön bilgiye sahip olunur. Daha sonra tek kavite ise parça üzerinde, çok kavite ise yolluk girişi-yolluk birleşmesi ile yolluk kavite giriş yerlerine referanslar verilmek sureti ile yapılan çarpılma (warpage) analizi ile de parçada meydana gelebilecek toplam uzama veya kısalma miktarı hakkında fikir elde edilmiş olur. Tüm bu bilgiler ışığında kalıp mimarisi oluşturulur [Alkaya, 1998].

Bu çalışmada ise genel anlamda plastik enjeksiyon kalıpcılığı ele alınacak, enjeksiyon aşamaları şekil ve tablolar yardımı ile anlatılmaya çalışılacaktır. Enjeksiyon aşamaları içinde aktif rol oynayan kalıp tasarımı, bu tasarıma dolaylı olarak etki eden plastik malzemeler ve enjeksiyon makinaları hakkında kalıp tasarımcısının bilmesi gerektiği kadar temel bilgilere de yer verilecektir. Önemli kalıp elemanları tanıtılacak ve kalıp içindeki yerleri anlatılacaktır.

Enjeksiyon aşamaları plastiğin hazırlanması, enjeksiyon, ütüleme, soğutma ve itme başlıkları altında incelenecek ve ayrıca şekil, şema ve tablolarla desteklenerek açıklanacaktır. Son bölümde ise çamaşır makinası programlama kısmı düğme altlığı parçasının Moldflow Plastics Insight sonlu elemanlar programı yardımı ile yapılan analiz çalışmasına yer verilecektir. Parçanın analiz çıktısı rapor sonuçları ile deney üretim değerleri karşılaştırılarak seri üretim için dolum parametreleri belirlenmiş olacaktır. Bu parametreler ışığında seri üretime enjeksiyon makinasında geçilecektir.

Arçelik A.Ş. Çayırova Çamaşır Makinası İşletmesi Kalıp Tasarım Bölümünde, çamaşır makinasında KU19 kamlı düğme altlığı adıyla tasarlanan parçanın imalatı iki kaviteli ve soğuk yolluk sistemi ile oluşturulan bir kalıp setinde basılmaktadır. Çamaşır makinası yıkama programı süresindeki değişim nedeniyle, parçanın dış geometrik formunda (Arçelik ATGM tarafından) değişiklik yapılmıştır. Yeni parçadan beklentiler, eski tasarımına nazaran daha hassas geometrik form ve deterjan kutusunu tahrik etmesi nedeniyle mukavemet kabiliyeti fazla ve ayrıca sıcak suyun geçtiği bölgede olması nedeniyle ısıya karşı duyarlılığının asgari düzeyde olmasıdır.

Parçaya ait kavite girişinin verileceği en uygun yerin tespiti, kaç kavitede ve hangi yolluk sistemiyle (sıcak-soğuk yolluk) basılacağı ve bu basılma esnasında hangi tip yolluk kesitinin kullanılmasının daha avantajlı olacağı noktalarında bir fikir sahibi olmak amacıyla analiz çalışmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı 500.000 adet üretilmesi planlanan yeni geometrik formuna kavuşmuş (dizayn aşamasında) KU19 kamlı düğme altlığı parçasının en ekonomik, en kısa sürede, kolay üretilebilirlik ve istenen kalite seviyesinde üretimi aşamalarını analiz çalışmaları ve tecrübe katılımlı deney uygulamaları yapmak sureti ile belirlemektir. Bu sayede çalışma sonunda hem analiz çalışmaları sonuç raporları güvenilirliği test edilecek hem de parçaya has yaklaşık en uygun üretim aşamaları belirlenmiş olacaktır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu günlerde plastik ürünlere ait kalıp tasarlanırken eş zamanlı olarak o ürüne ait bilgisayar destekli mühendislik analizleri yapılmaktadır. Ürüne ait analiz çalışması sonuç çıktılarına göre, ürün geometrisinde veya kalıp geometrisinde değişiklikler yapılabilir.

Bilgisayar destekli mühendislik analiz çalışmalarının ana gayesi, ürüne ait kavite boşluğuna plastiğin gönderileceği en uygun giriş bölgesini, dolum şartlarını, gaz çıkış yerlerinin belirlenmesi, soğutma işleminin yapılacağı kısımların tanımlanmasını ve ayrıca parçanın fiziksel kabiliyeti ve/veya görünümün nasıl olabileceği gibi konularda önceden fikir sahibi olmaktır.

Kaliteyi ucuza elde etme çabası gereği bilimsel çalışmalar geçmişten bugüne kadar sürmüştür ve gelecekte de sürmeye devam edecektir. Plastik enjeksiyon kalıpcılığında kaliteli ürün; iyi bir dolum, iyi bir malzeme yönlenmesi (material orientation), iyi bir basınç-hız profili, dolum sonrası uygun kalıp-ürün sıcaklığı ve donma prosesi şartlarının sağlanması ile mümkündür. Dolayısıyla bilimsel çalışmalar aşağıda ifade edildiği gibi bu konularda yoğunlaşmıştır.

Üretilcek kalıbın tasarım aşamasından plastik enjeksiyon makinasına montaj edileceği ana kadarki safhaların belirlenmesi ve gerekli ortamın hazırlanması sistemli bir çalışma sebebi ile ekonomik kazanç olarak geri dönecektir. Enjeksiyon kalıp üretiminin en sorunsuz ve akıcı bir şekilde nasıl yapılabileceği, atölye planlaması-gerekli malzeme ve ekipmanların tedariki-inşa ve düzenleme-üretime geçilmesi gibi dört anahtar yol Arsenult [1999] tarafından belirtilmiştir.

Kalıbın, üretilcek ürünün analiz çalışmaları ile eş zamanlı tasarımının yapılabilmesi, üretilcek ürünün analiz çalışmalarına hazır hale getirilmesini gerektirmektedir. Ürün, analiz çalışmasına hazırlanırken geometrik şekillendirme ve ağ (mesh) topolojisi safhalarından geçer. Analiz programları hesaplamaları tamamen

atılan ağ (mesh) topolojisi tipine göre yaptıklarından dolayı hassas hesaplama için hem seçilen mesh tipi hem de bu ağ (mesh) tipini kullanan analiz paket programı önem kazanmaktadır. Bir analiz programının, kavite içi hacimleri attığı otomatik mesh sayesinde hesaplayarak kavite giriş ayırım noktası ile kaviteye ait en uzak noktayı hesaplayarak yolluk çaplarını hesapladığı Chen [2000] tarafından ifade edilmiştir. Ürünün ekonomiklik sınırları içerisinde, analiz çıktıları kaba sonuçlar ve hassas çıktılar şeklinde almak mümkündür. Otomatik atılan ağ (mesh) örgüleri genelde kaba sonuç verirken el ile (manuel olarak) atılan mesh örgüleri daha hassas sonuç vermektedir. Sonuçların hassaslığı önemliyse midplane mesh (el ile (manuel olarak) atılır), kaba sonuç yeterli ve/veya karmaşık geometrik yapıdaki parçaların manuel mesh'lenmesinin zorluğu nedeni ile otomatik mesh (surface mesh) kullanılabileceği Zhou, vd, [2001] tarafından belirtilmiştir.

Ürün geometrisi mesh işlemi ardından analiz ortamına çağrılır. Burada ilk yapılan çalışma en iyi kavite giriş bölgesinin belirlenmesi olmaktadır. Kavite giriş yeri belirlemesi; kalıp ayırma yüzeyi ve sayısı, malzemenin kavite içerisinde ilerlemesi, akış birleşme çizgileri oluşum yerleri ve adedi, hava kabarcıklarının oluştuğu yerleri vb. konularda fikir edinmeye yardımcı olmaktadır. Uygun seçilen bir kavite giriş yeri, uygun kavite içi malzeme yönlendirilmesi oluşturacağı ve hacimsel çekme oranının istenilen sınırlarda tutulabileceği Shi ve Gupta [1999] tarafından belirtilmiştir. Kavite giriş yerleşimi değişiminin, birleşme çizgileri (weld lines) yerleri ve adetleri, ayrıca hava kabarcıkları oluşum yerlerinin değiştirilmesi üzerinde etkin bir metod olduğu Leo ve Cuvellez [1996], Chang ve Fasion [1999] tarafından ifade edilmiştir. Ürün eğer dayanım gerektiren bir ortamda kullanılacak ise mukavemet geliştirici çalışmalar gerektirir. Bir ürünün kullanım yerinde karşılaşacağı zorlamalara daha dayanıklı olması için malzeme nüfuziyet yönünün bu zorlamalara dik olması gerekliliği Kabanemi ve Hetu [1999] tarafından belirtilirken, cam elyaf vb. katkı takviyeli termoplastik malzemelerde lif kesitlerinin ürünün çalışacağı yerde karşılaşacağı kuvvet veya momentlere dik olursa daha yüksek gerilmelere karşı dayanımlı olacağı Gonzalez ve Chassapis [1999], Neves ve Pauzada [1999] tarafından belirtilmiştir.

Fazla sayıda üretimler için genellikle çoklu gözenekli (multi-cavity) diye adlandırılan yolluk şemaları (runner layouts) kullanılmaktadır. Yollukların dengeli

(balanslı) olması kavitelerdeki malzeme miktarını, sıcaklığını, basıncını vb. etkileyerek ürün kalitesine olumlu yönde etki etmesi söz konusudur. Çok gözenekli kalıplarda, eş sıcaklık-eş basınç ve bunun yanı sıra kavite hacmi-yolluk girişi uzaklıklarına göre dengelemesi yapılmış yolluk düzeneği üretilen ürünün; boyut, şekil bütünlüğü, renk dağılımı vb. yönlerden kalite kontrol sınavından rahat geçebileceğini Lam ve Seow [2000], Beaumont, vd, [1999], Beaumont, vd, [1998] tarafından belirtilmiştir.

En iyi kavite girişi bölgesi belirlendikten sonra ve muhtemelen fazla sayıda üretim için çok gözenekli kalıp düzeneği dengelemesinin ardından dolum analizi yapılmaktadır. Dolum esnasında plastiğin akışının gözlemlenmesinin en iyi 3 boyutlu simülasyon çalışması ile mümkün olabileceği Cha ve Lai [2000] tarafından oluşturdukları program çıktıları yardımıyla gösterilmiştir. Dolum esnasında basınç düşümü-akış oranı, akış hızı ayarlaması, sıcaklık dağılımı, malzemenin dolma süresi, gözenekler içi basınç dağılımı gibi durumları gözlemleyip en ideal koşulların oluşturulmasına çalışılmalıdır. Ayrıca malzemenin kavite boşluğuna giriş açısı, yollukların kesiti de üretim kalitesinde etkin rol oynamaktadır. Kavite boşluğunu malzemenin doldurma oranı ile basınç düşümü arasındaki bir ilişkiden Lee ve Stevenson [1999] bahsetmişlerdir. Kavite içindeki sıcaklık dağılımının bilinmesinin soğutma için modellemeye çok faydası olmaktadır. Sıcaklık dağılımının en iyi asimetric bir analiz çözümlemesiyle anlaşılabilceği Beaumont ve Young [1997] tarafından ifade edilmiştir. Malzemenin (hacim-basınç-sıcaklık) karakteristik özelliği de ayrıca dolum esnasında dikkate alınacak hususların başında gelmektedir. Dolayısı ile kavite içinde hangi sıcaklık değerinde hangi basınç dağılımının olmasının uygun olabileceği Hudson [1997] tarafından incelenmiştir. Dolum esnasında akış hızı, ağırlıklı olarak malzemeye hastır ve optimal olarak ugulanması gerekmektedir. Malzeme akış hızının düşük olması durumunda eksik ürün çıkma problemi olabilir iken, aşırı hız ise malzemenin yanması vb. problemleri beraberinde getirmektedir. Eriyik hızındaki küçük bir değişimin ürün üzerindeki etkisi, hız-basınç arasındaki ilişki ve hızın ayrıca malzeme haricinde kalıp yarımı mimarisine bağılı olduğu Poslinski [1997], Quinn vd, [1997], Speight [1997] tarafından belirtilmiştir.

Kavite boşluğunda hava kabarcıkları, malzeme çekmesi vb. nedenlerle meydana gelen eksik dolum, uygun süreli basınç uygulaması ile giderilmelidir. Ütüleme (packing) diye adlandırılan bu uygulamanın hem süre hem de basınç değeri bakımından optimize edilmesi gerekmektedir. Aksi taktirde aşırı çekme, çarpılma vb. problemlerle karşılaşılabilir. Dolayısı ile uygulanacak basınç değeri ya kavite ile giriş temas bölgesinden ya da kavite içi lokal gözeneklerden basınç kontrolörleri sayesinde elde edilebilir. Süre ise en uzak köşeye basıncın iletilmesini engelleyecek malzeme donma süresi kadar olmalıdır. Çok gözenekli kalıplarda basınç kontrolünün kavite girişinde yapılmak sureti ile uygun basınç profili uygulanması gerektiğini Kazmer ve Barkan [1997] ifade ederlerken, ütüleme basınç profilinin soğuma aşamasında gözenekler içindeki basınç dağılımı incelenerek bölgesel olarak tespit edilmesi gerektiği ise Gao, vd, [1996] tarafından ifade edilmiştir.

Aşırı ütüleme uygulanması ve düzgün olmayan (ununiform) soğutma nedeniyle düzensiz olarak, üründe hacimsel çekmenin olacağını ve bunun da çarpımalara yol açacağı Fan, vd, [2000] tarafından ifade edilirken, aşırı çekme-çarpılma gibi problemlerin önüne ütüleme-soğutma safhalarının uygun düzenlenmesi ile geçilebileceği Ilinca ve Hetu [2000] tarafından ifade edilmiştir. Diğer basınç profili yöntemlerine ilave olarak matematiksel algoritmaları kullanmak sureti ile gözeneklerdeki basınç değer dağılımını tanımlama üzerinde Kazmer [1997] durmuştur. Çarpılmanın ütüleme basınç değeri ve süresinin uygunsuzluğu nedeni ile oluşan düzgün olmayan hacimsel çekme nedeniyle oluşmasından daha ağırlıklı oranda kalıp yarımları arasındaki sıcaklık farklarından kaynaklandığı Wang ve Yoon [2000] tarafından ifade edilmiştir.

Alternatif şartları göz önüne almak sureti ile yapılan analiz çalışmaları sonuçları baz alınarak kalıbın tasarımı ve/veya iyileştirmeye gidilir. Kalıpta ayırma yüzeyi yeri ve sayısı, kavite girişi yeri, tipi ve adedi, yollukların şematik dağılımı ve kesitleri tek tek kalıp yarımları üzerinde oluşturulduktan sonra hava tahliye kanalları, soğutucu kanalları ve iticilerin bölgeleri oluşturulur. Hava tahliye kanalı olarak genelde ayırma yüzeyi kullanılmakla birlikte özellikle tek kavitede, gözenek girişi karşısında açılan kanallar kullanılmaktadır. Çok gözenekli kalıplarda ise yolluk şeması üzerinde oluşturulan hava çıkış yerleri (venting) ile bu sorun giderilmektedir. İhtiyaç duyulması durumunda hava çıkış kanallarının boyutları belirlenirken “ İdeal

Gaz Teorisi” sınırları, basma koşulları ve plastiklerin akış oranları göz önüne alınarak oluşturulması gerektiği Gao, vd, [1998] tarafından ifade edilmiştir.

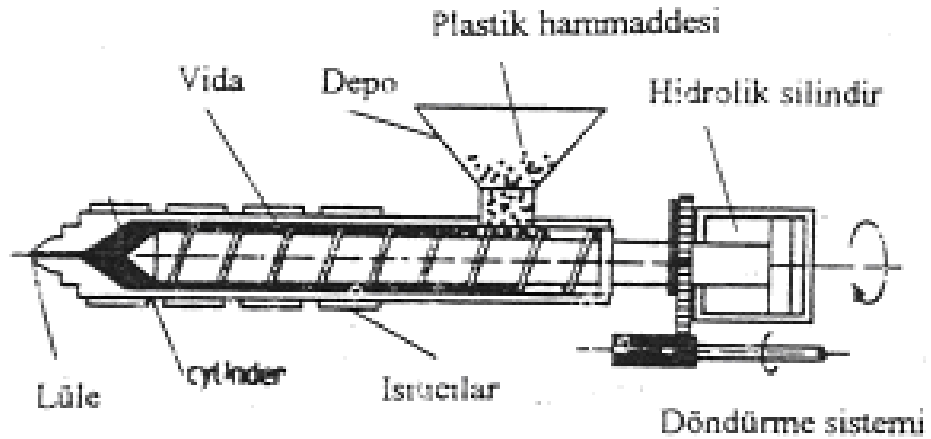
Üründe meydana gelen hatalar, ürünün kullanım yerinde ve süresinde performansını etkileyebilir veya estetik ve satışını etkileyebilecek hatalar olabilir. Genelde hatalar; malzemeden, kalıptan, enjeksiyon makinesinden, parça dizaynından ve üretim şartlarından kaynaklanmaktadır. Termoplastik kalıplamada gözeneklere giriş düzenlemesinin uygun olup olmadığı çoklu girişlerde, ürün üzerindeki görünüm hatalarının (akış birleşmesi, çökme, çarpılma, kırılma vb.); enjeksiyon basıncının artırılması, kavite giriş yerinin değiştirilmesi, katkı malzeme oranının azaltılması vb. yöntemlerle aşılabileceği Lacrampe ve Pabiot [2000], Patel ve Malleck [1998], Salomon ve Donald [1997] tarafından ifade edilmiştir.

Karşılıklı olarak birbirlerini düzeltir ve destekler nitelikte yürütülen analiz çalışması-kalıp tasarımı sonucunda, gerekli profillerinin oluşturulduğu kalıp yarımlarının alıştırma işlemini; kalıp setinin toplanması, enjeksiyon makinasına montajı ve deneme üretimi safhaları takip eder. Enjeksiyon makinasında basılmak sureti ile elde edilen ürünler çeşitli kalite kontrol parametreleri ile elemeye tabi tutulur. Bu kontrol parametreleri görünüm, şekil bütünlüğü, taşıyacağı kuvvet ve güç miktarı, kazayağı, açıklık ve berraklık, taşıyabileceği stress miktarı, boyutsal tamlik, ağırlık tamlığı, biçim bozukluğu veya çarpılma, kalıpsal arıza ve ekonomiklik olarak sıralanabilir. Parça ağırlığının kullanımını istatistiksel veriler yardımıyla, benchmarking (mukayese), üretim esnasındaki değişik etmenleri kontrol etmek (aim point) şeklinde üç aşamada tanımlanabileceği ve bu verilerin bir kontrolmetre olarak kullanılabileceği Wenkus [1997] ifade etmiştir.

3.ENJEKSİYON KALIPLAMA METODUNA GENEL BAKIŞ

3.1. Enjeksiyon Presleri

Enjeksiyon kalıplama, termoplastik ve termoset plastiklerin kalıplama metodudur. Plastik endüstrisinde büyük çoğunlukla vidalı enjeksiyon presi kullanılmaktadır. Vidalı tip enjeksiyon presi ile yapılan kalıplama işleminde; kalıplama sıcaklığına yükselen plastik maddeye basınç uygulanır, kalıplanan parçanın şekil değiştirmesini önlemek için parça kalıp içerisinde bekletilir. Kalıbın otomatik olarak açılması ve kalıplanan parçanın iticiler yardımı ile kalıptan çıkartılması, öncelikle izlenecek yollardan birkaçıdır. Enjeksiyon presleri genellikle üç değişik tipte yapılmıştır. Bunlar tek dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri, çift dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri ve vidalı dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri olarak sıralanabilir. Şekil 3.1. de vidalı enjeksiyon presi plastik ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.1. Vidalı plastik ünitesi

3.1.1 Enjeksiyon Memeleri

Enjeksiyon silindiri ile kalıp arasındaki plastik madde giriş yolu köprüsüdür ve aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

- a. Açma ve kapama vanası bulunmayan enjekte memesi.
- b. İçerisinde yay baskılı açma ve kapama pimi bulunan enjekte memesi.
- c. Ayırma vanalı enjekte memesi [Uzun, ve Erişkin, 1984].

3.1.2. Vidalı Enjeksiyon Preslerindeki Vida Özellikleri

Enjeksiyon basıncını sabit tutmak amacıyla vidalı milin dişleri, derinliğine konik olarak açılmıştır. Bu konikleştirme vidalı mil ucu diş dibi çapından geriye doğrudur. Dalıcı pistonlu ve vidalı milli enjeksiyon preslerindeki vidalı milin diş derinliği her yerde aynıdır. Bu tip enjeksiyon preslerindeki vidalı mil silindir içersindeki plastik maddeyi karıştırır ve ileri doğru iter. Vidalı milin helis açısı $(\alpha)=17^{\circ} 48'$, diş derinliği vida çapının $1/10$ 'i ve toplam vida boyu ise vida çapının 20 katı kadardır [Uzun, ve Erişkin, 1984].

3.1.3. Vidanın Plastik Kalıplama Bölgesi

Vidanın plastik kalıplama bölgesi pompa görevi yaparak akışkan haldeki plastik maddeyi kalıp içersine iten kısımdır. Teorik olarak, vidanın plastik madde kalıplama bölgesindeki basınç adyabatik veya adyabatik basınca göre plastik madde kalıplama bölgesinde ısı kontrolü söz konusu değildir. İzometrik basınca göre, ısı kontrolü vardır ve sabit tutulur [Uzun, ve Erişkin, 1984].

3.1.4. Vida Dayanımı ve Hızı

Vida dayanımı vida dönme hızı ve ilettiği güçle bağıntılıdır. Vidanın döndürme kuvveti arttığında vida tork kuvveti de artar. Genel olarak vida dayanımı, vida çapı karesinin küp kökü ile orantılıdır [Uzun, ve Erişkin, 1984].

$$\sigma_b = (D)^{2/3} \quad (3.1)$$

σ_b = Vidanın eğilme gerilimi, kg/mm²

D = Vida çapı, mm[Uzun, ve Erişkin, 1984].

3.1.5. Vida Sıcaklığı

Plastik madde sıcaklığı artmasına etki eden pek çok faktör vardır. Bütün değerler sabit tutulmak kaydı ile vida dönüş sayısı artırıldığında, plastik maddenin sıcaklığı da artar. Vida dönüş sayısı ve çevre hızı plastik madde sıcaklığını etkilediği için vida plastik madde çıkış miktarını sabit tutmamaktadır.

3.2. Enjeksiyon Presi Kalıp Sıkma Ünitesi

Enjeksiyon preslerinde kalıp sıkma aygıtı en önemli ünitelerden biridir. Bu tip preslerde iki değişik kalıp sıkma aygıtı kullanılmaktadır.

- a. Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtı
- b. Hidrolik kumandalı mafsal kollu kalıp sıkma aygıtı

Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtında silindir-piston sistemi vardır. Piston mili ucuna hareketli kalıp sıkma plakası tespit edilmiştir. Kalıbın açılması, kapanma ve sıkma işlemi doğrudan hidrolik silindir-piston sistemine bağlıdır. Hidrolik kumandası mafsal kollu kalıp sıkma aygıtında ise, kalıbı açma kapama ve sıkma işlemini hidrolik silindir piston sistemi ve mafsal kolları yardımıyla yapılmaktadır. Bu tip kalıp sıkma aygıtlarında kuvvet iletme oranı 50:1'e kadar yükseltilebilmektedir. Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtın da herhangi bir mekanik hareket olmadığı için iletimi doğrudan silindir-piston gücüne bağlıdır.

3.2.1. Kalıp Sıkma Kuvveti

Kalıp sıkma kuvveti tonla ifade edilir. Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtından kuvvet aşağıdaki formül ile bulunur.

$$F=(A.p)/1000 \quad (3.2)$$

F: Kalıp sıkma kuvveti, ton

A: Pistonun kesit alanı= $\pi.d^2$, mm²

D: Piston yarıçapı, mm

p: Birim yüzeye gelen basınç, kg/mm²

3.2.2. Enjeksiyon Preslerinin Özellikleri

Enjeksiyon presleri genellikle kalıp sıkma kuvvetleri ve kalıplama kapasitelerine göre sınıflandırılır. Kalıp sıkma sisteminin, doğrudan hidrolik veya hidrolik kumandalı mafsal kollu aygıtlardan biridir. Enjeksiyon sistemi ise tek dalıcı pistonlu, çift dalıcı pistonlu ve dönüş hareketi ile beraber ileri-geri hareket eden vidalı veya çift istasyonlu vidalı ve dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri denir.

3.3.Termoset Plastiklerin Enjeksiyon Metoduyla Kalıplanması

Termoset plastiklerden üretilecek parçaların, enjeksiyon kalıplama metoduyla kısa zamanda ve seri halde üretimi kolaydır. Termoset plastiklerin kalıplanmasında kullanılan enjeksiyon presin termoplastiklerin kalıplanmasında kullanılan enjeksiyon preslerin bir benzeridir. Ancak, termoset plastiklerin kalıplanmasında kullanılan enjeksiyon preslerindeki ısıtıcı silindir tasarımı, vidalı mil, enjeksiyon memesi ve pres kontrol ünitesi farklıdır. Aynı zamanda bu presler, termoset veya termoplastiklere göre ayarlanabilir konumda yapılmışlardır. Enjeksiyon kalıplama metoduyla termoset plastik maddeden üretilecek parçanın silindir sıcaklığı

termoplastik enjeksiyon presleri silindir sıcaklığından düşük olmasına karşılık kalıplama sıcaklığı daha fazladır.

Termoset plastiklerin kalıplanmasında en çok tünel giriş kanallı kalıplar kullanılır. Ancak, başarılı bir kalıplamada işleminin yapılabilmesi, tünel giriş kanalı eğim açıları ve yerleşimi, itici pimler ve plastik maddenin cinsi ve kalıplanacak parçanın biçimine bağlıdır.

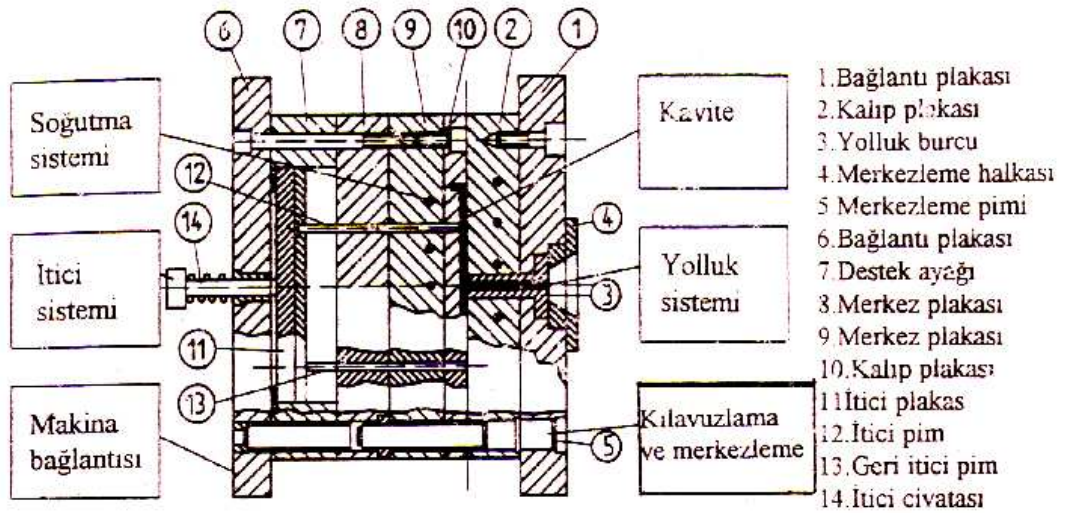
3.4. Termoplastiklerin Kalıplanması

Enjeksiyon kalıplama metoduyla akışkan hale gelen plastik madde kalıp içersine enjekte edilir. Kalıp içersindeki plastik malzeme katılaştıncaya kalıp otomatik olarak açılır ve parça kalıptan alınır.

3.4.1. Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı; enjeksiyon presi, kalıp yapımcısı ve kalıbı kullanacak operatörün çalışma şartları göz önünde bulundurularak yapılır. Ayrıca, kalıplama toleransı, çekme payı miktarı, kalıp boşluğunun yüzey kalitesi ve kalıplanacak plastik maddenin diğer özellikleri de göz önünde bulundurulur. Mümkünse, tasarımı yapılacak kalıpla üretilcek parçanın modeli yapılır. Model olarak plastik, metal, alçı, kil, ağaç, karton, kağıt veya diğer malzemelerden yararlanılır. Kalıp tasarımı yapılırken takip edilecek işlem basamakları dört ana gruba ayrılır. Bunlar, teorik ve teknik bilgileri kapsayan Mühendislik bilgisi, kalıbın yapımı, üretimin sürekliliği ve üretilen parçanın kalitesi şeklinde sıralanabilir. Temel olarak, kalıp malzemesi, maşa pimleri, kalıp açılma çizgisi, yolluk, dağıtıcı ve giriş kanalları, itici pimleri, kalıp sıcaklığı kontrol eden kanalların ölçüleri ve yerleşim planı, hava tahliye kanalları ve özellikleri ilk etapta belirlenip uygulanmaktadır [Uzun, ve Erişkin, 1984]. Ayrıca, kalıbın birlikte çalışacağı makine, kavite sayısı ve eğer verilmemişse parçanın üretileceği hammaddenin seçimi de ilave olarak gerekli olan bilgilerdir. Bu bilgiler, kalıp dizaynı için gerekli olmakla birlikte yeterli değildirler. Bunlara ilave olarak

seçilen plastik malzemenin kalıplanabilme karakteristiği, kaç adet parçanın üretileceği, istenen kalıplama çevrimi, ürünün nerede ve nasıl kullanılacağı, ürün başka parçalarla birliktemi çalışacak veya kullanılacak (toleranslar), çekme, çıkış açıları, ne tür bir yolluk sisteminin gerekli olduğu, kavite giriş noktaları-akış birleşme hatları ve itici izleri, yüzey kalitesi, parça üzerinde istenen yazılar veya şekillerin olup olmaması, kavitelerin numaralandırılması, kalıp için gerekli başka ekipmanlar, kullanılacak makinanın tonaj-parça büyüklüğü ve plastik kapasitesinin uygunluğu, parçanın kalıptan alınmasının ne şekilde olacağı (otomatik veya elle) ve proje süresi gibi sorularında cevaplandırılması gerekmektedir. Şekil 3.2 de enjeksiyon kalıbına ait elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Enjeksiyon kalıbına ait elemanlar

Kalıbın boyutları, öncelikli olarak kalıbın birlikte kullanılacağı makinanın boyutlarına bağlıdır. Bu boyut sınırlamaları; maksimum malzeme miktarı (plastik ünitesinin bir çevrimde kalıp içersine sevk edebileceği ergimiş malzeme miktarı), plastikleştirme hızı (makinanın her birim zaman için plastikleştirebileceği malzeme miktarı), kilitleme kuvveti (kalıp boşluğu içinde meydana gelen maksimum basınca yol açacağı reaksiyon kuvvetini karşılayan kuvvet), makine kolonları arasında kalan maksimum makine plakaları alanları ve maksimum enjeksiyon basıncı şeklinde sıralanabilir. Maksimum kavite sayısı bulunurken ilk olarak maksimum teorik kavite sayısı belirlenir.

Bunun için;

$$N=VS/M_v \quad (3.3)$$

VS: Maksimum malzeme miktarı, cm^3

M_v : Parça ve yolluk hacmi, cm^3

Bu hesaplama makinanın vida çapı ve vida hareket miktarından hesaplanmış makinanın maksimum kapasitesinin kullanılacağı varsayımına dayanmaktadır. İnce cidarlı parçalar için kavite sayısı maksimum plastikleşme hızı kullanılarak aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanır.

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

$$F=A.p, \quad (3.4)$$

Burada;

F: Reaksiyon kuvveti, ton,

A: Kavitelerin ve yollukların iz düşüm alanı, mm^2 ,

p : Kavite basıncı, kg/mm^2 .

Genel olarak tavsiye edilen kilitleme kuvveti hesabı maksimum enjeksiyon basıncı ve toplam projeksiyon alanı esas alınarak hesaplanması tavsiye edilir.

$$F_{\max}=A_{\max}.P_{\text{enj}} < F_{\text{kilitleme}}, \quad (3.5)$$

şeklindedir.

Maksimum kilitleme alanı makine kolonları arasındaki ölçüden 10 mm daha küçük olarak alınır. Akış boyu cidar kalınlığı oranı;

$$L/H^2 = \Delta p / 32 \cdot \phi \cdot V_f \cdot \eta_{\text{aeff}}, \quad (3.6)$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Burada;

L: akış boyu, mm,

H: $2W \cdot T / (W + T)$ hidrolik yarıçapı (W: genişlik, T: kalınlık), mm,

ϕ : 1.5 (genişlik kalınlıktan çok büyük olduğu genel hal için),

V_f : akış hızı, mm/s

Δp : maksimum enjeksiyon basıncı (en yaygın olarak kullanılan makineler için yaklaşık olarak 120 Mpa),

η_{aeff} : 250- 270 Pa.s amorf malzemeler için alınırken kristal malzemeler için bu değer 170 pa.s alınmaktadır.

Eğer malzeme hacimsel olarak %30 kadar cam elyafı ve ya toz ile katkılanırlırsa azaltma faktörü (ϕ) iki alınabilir ve buradan da akış boyunun azalacağı görülebilir. Tasarımın ilk adımı kavite sayısının hesaplanmasıdır. Mevcut makine, ekipmanlar, istenen kalite ve maliyetler gibi teknik kriterler yanında kalıbın teslim tarihi gibi ekonomik kriterlerde göz önüne alınmalıdır. Maliyet hesaplaması kalıp tasarımında önemli yer tutar. Burada önemli olan nokta maliyetlerin kaynağıdır. Bu maliyet kaynakları makine maliyetleri, ürünle ilgili maliyetler, kalıp maliyetleri, dolaylı kalıp maliyetleri ve sabit giderlerdir. Kaviterler yerleştirilirken bütün kaviterler aynı sıcaklıktaki ergimiş malzeme ile aynı zamanda dolmalarına, akış boyu atık malzeme miktarını minimum seviyede tutmak için kısa olmasına, kaviterler arasındaki uzaklık soğutma kanallarına ve itici pimlere izin verecek kadar fazla olmalı ve enjeksiyon basıncının ortaya çıkaracağı kuvvetlere dayanabilecek yeterli kesit alanı sağlamasına ve bütün reaksiyon kuvvetlerinin bileşkesinin plakaların ağırlık merkezinde olmasına dikkat edilmelidir. Kaviterlerin şematik şekil dağılımı olarak dairesel, lineer ve grid olarak yerleştirilirler. Ayırma yüzeyi sayısı standart kalıplarda genellikle tek olarak yapılır. Parça ve yolluk kalıptan birlikte çıkarlar. Çoğunlukla çoklu girişe veya birden fazla kavite ye sahip kalıplardaki gibi yolluğun parçadan otomatik olarak ayrılması gerekiyorsa, yolluk sistemi için ilave bir ayırma yüzeyi (üç plakalı kalıplarda olduğu gibi) gereklidir ya da sıcak yolluklu bir kalıp kullanılır (tünel giriş hariç). Ayırma yüzeyini etkileyen parametreler ise; parça

geometrisi, kavite sayısı n , yolluk sistemi ve kavite girişı ve itici sistemi' dir [Alkaya, 1998].

3.4.2. Kalıp Elemanları

Kalıp elemanları denildiği zaman, kalıp üzerinde bulunan bütün parçalar akla gelmektedir. Bunlar dişı kalıp, zımba, maşa veya maşa pimi, itici pimler, dişı kalıp ve zımba çerçevesi, yolluk burcu, kalıp seti gövdesi, ve benzeri elemanlardır.

3.4.2.1. Yolluk Burcu ve Yerleştirme Bileziği

Yerleştirme bileziği, sabit veya hareketli kalıp yarımı üzerindeki yolluk burcu ile enjekte memesinin aynı merkezde çalışmasını sağlar. Yolluk burcunun plastik giriş ağızı iç bükey küresel yüzlü yapılarak dış bükey küresel yüzlü enjekte memesine uyması sağlanır. Ayrıca, yolluk burcunun plastik giriş ağızı kavis yarı çapı, enjekte memesi ucu kavis yarı çapından biraz büyük yapılır. Burç ağızında sertleşen artık plastik maddenin enjekte memesi oturma yüzeyinde kalması önlenir.

3.4.2.2. Bağlama Plaka ve Kılavuz Pimleri

Kalıplama boşluğunu oluşturan kalıp yarımlarının desteklenmesinde kullanılan kalıp elemanlarındanr. Kalıp dayanımını artırmak amacıyla kullanılabileceği gibi, kalıp elemanlarının montajını da kolaylaştırmaktadır.

Kalıp yarımlarının aynı konumda açılıp kapanmasını sağlamak amacıyla, ara plakalarına veya kalıba iki ile dört adet kılavuz pimi ve burcu yerleştirilir. Kılavuz burçları, kılavuz pimleri üzerinde sürtünerek çalışır ve kalıp elemanlarını konuma getirir. Kalıbın çalışma kurs boyu göz önünde bulundurularak kılavuz pim boyları seçilir.

3.4.2.3. İtici Pimler, Burç ve Plakalar

İtici pimler genellikle krom vanadyumlu çeliklerden veya nitrasyon çeliklerinden yapılır. İtici pimlerin çalışma yüzeyleri honlanır ve çap ölçüsü 0,125 mm fazla yapılmak sureti ile aşınmış itici pim burçlu kalıplarda kullanılır. Burçlar itici pimlere desteklik yaparlar ve aynı konumda kullanılırlar. Böylece yolluk çekici ve benzeri çekme pimlerini, çalışma süresince meydana gelebilecek zorlamalardan korur.

3.4.2.4. Destek Plakaları

Büyük hacimli kalıplarda üretilen parçaların kalıp içerisinden çıkarılmasında kullanılan itici pim, burç ve plakalarının desteklenmesinde kullanılan ilave kalıp elemanlarından. Ayrıca bu plakalar, kalıp yarımlarının desteklenmesinde kullanılır. Kalıp sıkma kuvveti fazla olan preslerde kalıplama alanına uygun destek plakası boyutları veya destek plakası boyutlarına bağlı olarak toplam kalıplama alanı bulunur. Destek plakası kuvveti ve kalıplama alanı aşağıdaki formül ile bulunur.

$$F=8J\sigma_b/C \quad (3.7)$$

$$J=Lh^2/6 \quad (3.8)$$

$$A=F/P \text{ veya } A=1,6h^2L/C \quad (3.9)$$

Burada ;

F : Destek plakası kuvveti, kg

J : Destek plakası dayanım momenti, mm³

A : Toplam kalıplama alanı, mm²

σ_b : Destek plakası eğilme gerilimi, kg/mm²

C : Destekler arasındaki uzaklık, mm

H : Destek plakası kalınlığı, mm

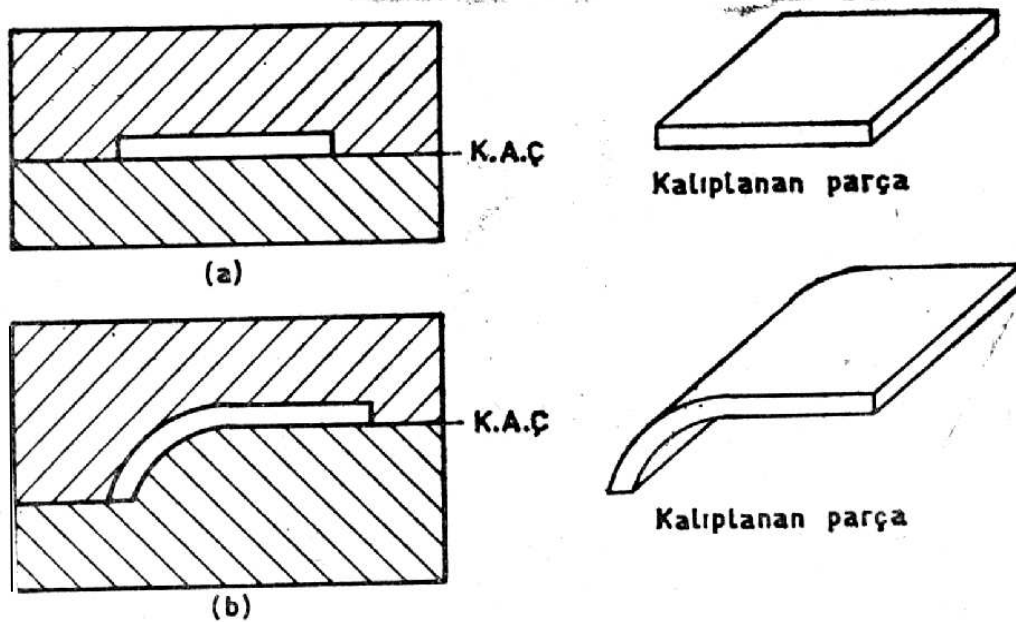
L : Destek plakası boyu, mm

P : Destek plakasına etki eden kalıplama basıncı, kg/mm²

3.5. Kalıp Tasarımında Esas Kurallar

3.5.1. Kalıp Açılma Çizgisi

Kalıp yarımlarının açılıp kapandığı ve kalıplanan parçanın açılma düzlemi üzerinde meydana gelen çizgiye, Kalıp Açılma Çizgisi (K.A.Ç) denir. Kalıplanacak parçanın biçim ve boyutlarına göre kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Açılma çizgisi sayısına göre de kalıplar birkaç parçaya ayrılır. Ayrıca kalıplanacak parçanın biçimi, üretim sayısı, parçaya verilecek eğim açısı, boyutsal toleranslar, enjeksiyon kalıplama metodu, parçanın estetik görünüşü, ön kalıplama işlemleri, parça içersine konacak plastik taşıyıcılar, hava tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı ve yerleşim planı ve giriş kanalı tipine göre kalıp açılma çizgisi sayısı belirlenir. Kalıplanan parçanın kalıp içerisinden kolayca çıkartılabilmesi için kalıplama boşluğu kalıp açılma çizgisine doğru bir miktar konikleştirilir ($1^0/4-1^0$) arası . Şekil 3.3 te kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisine örnek verilmiştir.



Şekil 3.3. Kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisi

3.5.1.1. Tek Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Alt ve üst kalıp yarımlarından oluşan ve tek açılma çizgisi bulunan kalıplardır. Bu tip kalıplara uygulanacak ısı kontrol kanalları destek plakalarına veya dişi kalıpla zımba içersine açılır. Destek plakalarına açılan kanallar, kalıbın soğutulmasında, dişi kalıp ve zımbaya açılan kanallar ise, kalıbın ısıtılmasında kullanılır.

3.5.1.2. İki Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Üretim sayısını artırmak amacıyla birden fazla kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda iki açılma çizgisi tasarımı yapılabilir. Bu tip kalıplarda dişi kalıp veya zımba, çift yönlü kalıplama işlemini görür kalıp dayanımını artırmak için esas kalıp elemanları, destek plakaları ile takviye edilir, ve ayrıca kalıp içersine ısıtıcı veya soğutucu kanallar açılabilir.

3.5.1.3. Üç Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Bir merkez çerçevesinde çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıpların genellikle üç kalıp açılma çizgisi bulunur. Çoklu veya değişik profilli parçaların üretilmesinde kullanılan kalıplarda üç açılma çizgisi bulunur. Aksi halde, parçanın kalıptan çıkartılması veya artık plastik maddenin alınması zorlaşır ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamıyabilir.

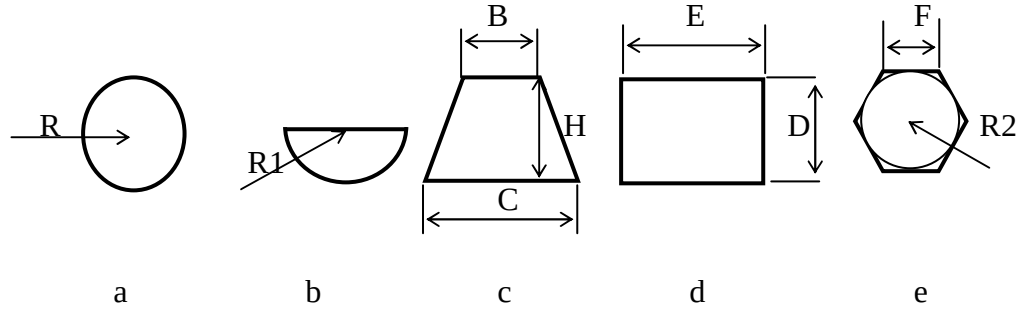
3.5.2. Açılı Pimler ve Kam Blokları

Kayma hareketli pek çok plastik hacim kalıpları vardır. Bu kalıpların açılma ve kapanma hareketi, açılı pimler yardımı ile sağlanır. Genellikle kademeli parçaların kalıplanmasında veya maça piminin dışarı çekilmesinde, açılı konumda yerleştirilen kılavuz pimli veya kam bloklu kalıplar kullanılır. Kayma hareketi kalıp elemanları kalıp eksenine dik olarak yana doğru açılır veya çevreden merkeze doğru kapanır. Bu

kayma hareketli kalıp elemanlarının açılma ve kapanma uzaklığı kayma hareketini yapan pimlerin eğim açılarına bağlıdır. Ayrıca bu eğim açısı kalıplanan parça biçimine ve üzerindeki kademeli çıkıntıların kalıplama konumuna bağlıdır.

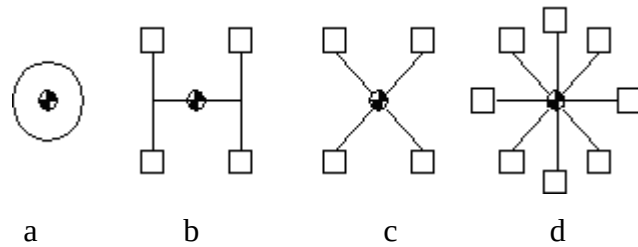
3.5.3. Dağıtıcı Kanallar

Dağıtıcı kanallar, yolluk ve giriş kanalı arasındaki bağlantı kanalıdır. Dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları, kalıp tasarımında düşünülmesi gereken en önemli kısımlardan biridir. Enjeksiyon basıncı kaybını en aza indirecek ve plastik maddenin akışına hız kazandıracak boyutlarda olmalıdır. Ancak, plastik malzemenin donmasına sebep olacak değerde olmamalıdır. Kalıp tasarımı yapılırken dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları da beraber tasarlanır. En çok kullanılan açılma çizgisi üzerindeki dağıtıcı kanal tiplerini yuvarlak kesitli, yarım-yuvarlak, trapez ve dikdörtgen biçimleri söylenebilir. Buna ilave olarak çokken, parabolik ve elips tipi kesitleri de rastlamak mümkündür. Şekil 3.4 te dağıtıcı kanal kesitleri gösterilmektedir. Yuvarlak kesitli dağıtıcılar basınç ve sıcaklık kaybını önleyen en iyi yolluk ve giriş bağlantı kanalıdır. Trapez kesitli dağıtıcı kanallar genellikle kalıp yarımlarından birine açılır. Yarım yuvarlak kesitli dağıtıcı kanalların açılması mümkün olmayan kalıplara açılır. Yarım yuvarlak ve dikdörtgen kesitli dağıtıcı kanallar tercih edilmezler ve mümkünse kullanılmazlar. Dengeli yerleştirilmiş dağıtıcı kanallar, yolluktan düzgün hızda gelen plastik maddeyi, yolluktan eşit uzaklıktaki ve aynı ölçülerdeki kalıplama boşluklarına aynı hızda iletirler. Radial dağıtıcı kanallar kalıp boşluğuna direk olarak açılmaktadırlar. En direk radial dağıtıcı tipleri ise, sıcaklığı fazla olan plastik maddenin kalıplamasında ve kalıplanan boşluğu düzgün kollara ayrılmış kalıplarda kullanılır.



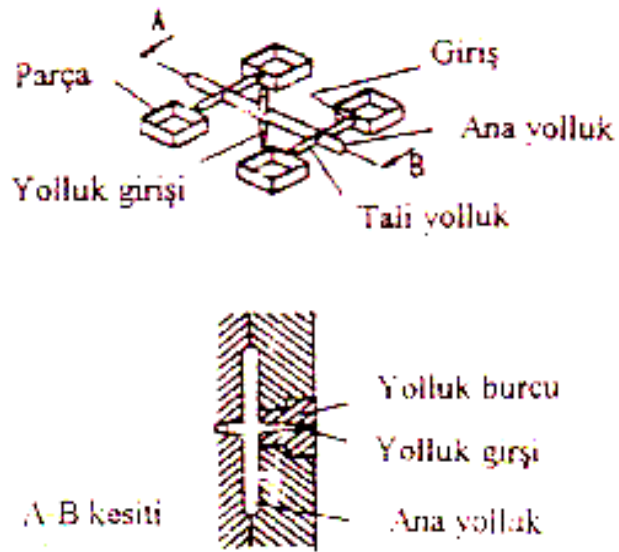
Şekil 3.4. Dağıtıcı kanal kesitleri, a. Daire, b. Yarımdaire, c. Trapez, d. Dikdörtgen, e. Altıgen

Plastik maddenin akacağı uzaklık eşit ise kalıp yapılmaları dengelenmiş veya “H” tipi dağıtıcı kanal sistemini tercih edilebilir. “H” tipi uygulamalarında bazen plastik madde giriş kanalı yakınlarında donabilir. Bu durumda dengelenmiş dağıtıcı kanal tipi veya dağıtıcı kanal civarlarına ısıtıcı sistem yerleştirilmiş “H” tipi tercih edilir. Şekil 3.5 te çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tipleri gösterilmektedir. Dağıtıcı kanal ölçüleri, kalıplanacak plastik maddenin cinsi veya parça boyutlarına bağlıdır. Yapışkanlığı az olan plastik maddenin kalıplanmasında, yolluk burcu ile kalıplama boşluğu arasındaki mesafe 125 mm ‘in altında ise, 3-6,5 mm çapında yuvarlak kesitli dağıtıcı kanallar kullanılabilir.



Şekil 3.5. Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tip örnekleri, a. Tek gözlü, b. Dört gözlü endirek bağlı, c. Dört gözlü direk bağlı, d. Sekiz daire tipi

Büyük hacimli parçaların kalıplanmasında bu değerler 8-9.5 çapa kadar artabilir. Yapışkanlığı fazla olan plastik maddeler için kalıba açılacak dağıtıcı kanal ölçüleri de yuvarlak kesitli ve 10mm çapındadır. Bir yolluk sistemi genellikle farklı kısımlardan oluşur. Bu durum özellikle çok kaviteli kalıplarda daha da belirgindir [Uzun, ve Erişkin, 1984]. Şekil 3.6 da bir yolluk sistemini oluşturan elemanlar gösterilmiştir.

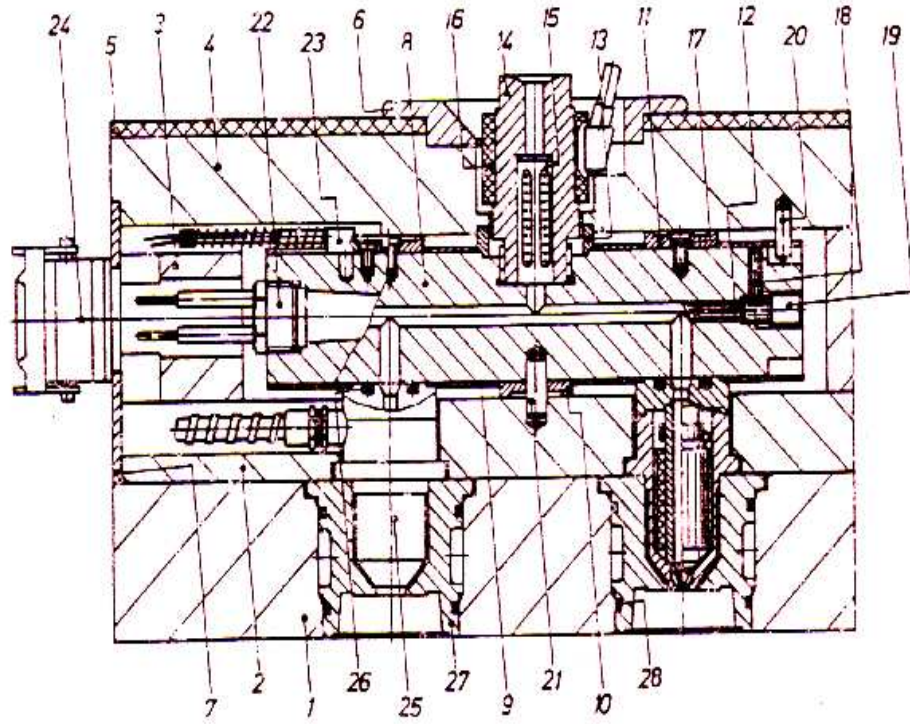


Şekil 3.6. Yolluk sistemi elemanları

Bu kısımlar yolluk girişi (sprue), yolluklar (birincil (ana) ve ikincil (tali) yolluklar) ve parça girişi (gate) dir. Yolluğun boyutları parça büyüklüğüne, kalıbın tasarımına ve kalıplanan plastik malzemenin cinsine bağlıdır. Yolluk çapı en kalın kesitten 1.5 mm daha kalın olmalıdır. Bir termoplastik kalıbın sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak karakterize edilir. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar. Yolluk kalıptan çıkarılmaz ve bir sonraki çevrim için hazırdır. Belirli bir sıcak yolluk sisteminin seçimi kalıplanacak malzemeye bağlıdır. Günümüzde takviye edilmiş plastik malzemeler dahil hemen tüm plastik malzemeler sıcak yolluk sistemleri kullanılarak kalıplanabilmektedir. Uygulanabilirliği belirleyen sınırlamalar plastiklerin termal duyarlılığı ve malzemenin alevlenme direncidir.

Sıcak yolluk sistemleri konvensiyonel yolluk sistemlerine göre ekonomik ve teknolojik olarak birçok avantaja sahiptirler. Bu avantajları yolluklar için kullanılan malzeme miktarında ve malzemenin tekrar kullanılması için gereken kırma maliyetlerinden tasarruf sağlaması, daha kısa çevrim zamanları sağlaması-yollukların kalıptan çıkarılması için ilave sistemlere gerek kalmaması-soğuma zamanı geç soğuyan yolluklar tarafından belirlenmez ve lülelerin tıkanma sorununun olmaması, gerekli makine boyutlarının küçülmesi-yolluk sistemi reaksiyon kuvvetleri meydana getirmemesi-bir çevrimde kalıplanan malzeme miktarı yolluk miktarı kadar azalır veya daha büyük parçalar ya da daha çok kaviteli kalıpların kullanılması-üç plakalı kalıplar için daha kısa açılma strokları sağlaması, kalıp yapımı kalıp standartları içinde gerçekleştirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Teknolojik avantajları ise yolluk sistemini çıkarmak için herhangi bir düzeneğe gerek olmaması nedeniyle sistemin optimize edilmesinin kolay olması, yolluğun ısıtılması daha uzun akış yollarının gerçekleşmesine izin verir. Ayrıca girişlerinde optimum noktalardan yapılmasını sağlaması, yollukların kesitlerinin daha az basınç kaybına sebep olacak şekilde artırılabilmesi, daha uzun tutma basıncı zamanlarının mümkün olması, yolluk sisteminin dengelenmesi mekanik olarak veya sıcaklık kontrollü olarak yapılabilmesi, özel lüleler kullanılarak birleşme hatlarının oluşumu önlenmesi şeklinde sıralanabilir. Şekil 3.7 de sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve elemanları gösterilmiştir. Bu faydaları yanında sıcak yollukların dezavantajları da mevcuttur. Bunlar ekonomik olarak; kalıp ve yolluk sistemi gerekli sıcaklığa ulaşana kadar daha fazla bozuk malzeme çıkması, kalıp tasarımı için harcanan zaman ve eforun daha fazla olması, ısıtıcılar-sıcaklık sensörleri ve kontrol üniteleri gibi yardımcı ekipmanların varlığı ve montajı kalıp maliyetini artırması,



Şekil 3.7. Sıcak yolluk sistemi tasarımı ve elemanları

Sıcak yolluk sistemi elemanları

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Kavite taşıyıcı plakası | 15. Filtre |
| 2. Aralık plakası | 16. Isıtıcı |
| 3. Destek bloğu | 17. Düz şapkalı civata |
| 4. Bağlantı plakası | 18. Set screw |
| 5. Yalıtım tabakası | 19. Dişli pim |
| 6. Merkezlenme halkası | 20. Tutucu pim |
| 7. Muhafaza | 21. Tutucu pim |
| 8. Sıcak manifold | 22. Yüksek güçlü ısıtıcı |
| 9. Isı reflektörü | 23. Termo çift |
| 10. Aralık parçası | 24. Bağlantı kutusu |
| 11. Aralık parçası | 25. Isıtılan lüle |
| 12. Tıkaç | 26. Metal O-Ring |
| 13. Merkezlenme halkası | 27. Kavite |
| 14. Lüle uzantısı | 28. Viton O-Ring |

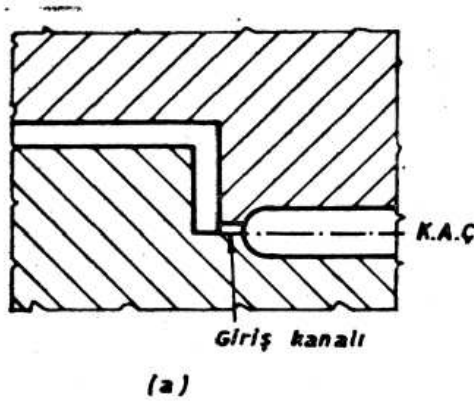
ısıtıcı elemanlarda sızdırmazlık veya arıza olasılığının daha yüksek olması, sistem daha kompleks olduğu için daha eğitimli eleman bulma veya elemanları eğitme zorluğu şeklinde sıralayabilirken teknolojik olarak ise; uzun akış yolları ve yüksek kayma oranından dolayı duyarlı malzemelerde ısıl bozulma oranının artması, heterojen sıcaklık dağılımları-ergimiş malzeme içinde-kalıbın dolmasının uniform bir şekilde olmasını engelleyen sıcaklık farkları meydana getirmesi, kavite girişlerinde basınç kontrolünün yapılamaması gibi sıralanabilmektedir [Alkaya, 1998].

3.5.4. Giriş Kanalları

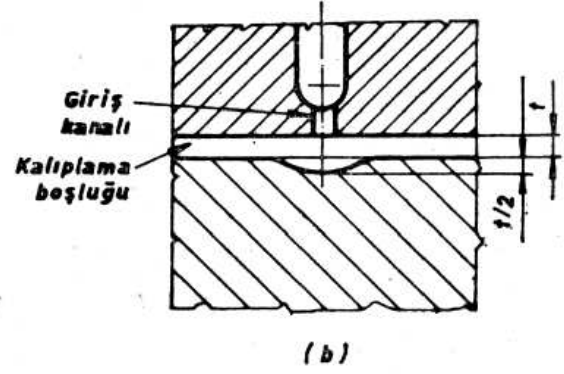
Dağıtıcı kanal ile kalıplama boşluğunu birbirine bağlayan belli biçim ve boyutlardaki kanallara, giriş kanalı denir. Giriş kanalları, yeterli miktardaki plastik maddenin kalıplama boşluğuna girmesini ve kalıbı doldurmasını sağlar. Ayrıca kalıplanan parçanın çekme payını bir miktar önler. Giriş kanallarının boyutları, tipi ve yerleşim planı kalıplanan parçaya etki ederek fiziksel özelliklerini değiştirir. Bu nedenle giriş kanalı boyutları, kalıplanacak plastik maddenin cinsine, kalıplama hacmine dağıtıcı kanal boyutlarına ve enjeksiyon basıncına göre seçilir. Giriş kanalları doğrudan giriş kanalı ve sınırlandırılmış giriş kanalı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 3.8a, ve Şekil 3.8b de kenar ve merkezden giriş kanallarına örnek verilmiştir. Şekil 3.9 da doğrudan kenar giriş kanalına örnek verilmiştir. Şekil 3.10 de kenar giriş kanalına örnek verilmiştir. Şekil 3.11 de değişik tipteki konik giriş kanallarına örnek verilmiştir. Şekil 3.12 de disk giriş kanalına örnek verilmiştir. Şekil 3.13 te bilezik tipi giriş kanalına örnek verilmiştir. Şekil 3.14 te çengel tipi giriş kanalına örnek verilmiştir.

3.5.4.1. Doğrudan Giriş Kanalları

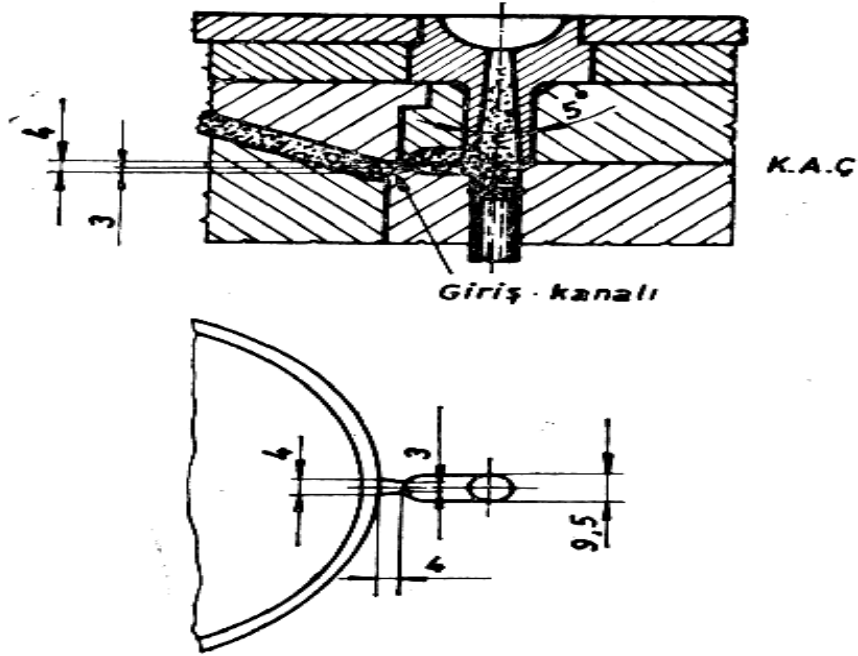
Genellikle kesit alanı büyük olan giriş kanallarıdır. Bu tip giriş kanalları termoplastiklerin kalıplanmasında ve aşağıda verilen amaçlar için kullanılır.



Şekil 3.8a. Kenar giriş kanalı



Şekil 3.8b. Merkezden giriş kanalı

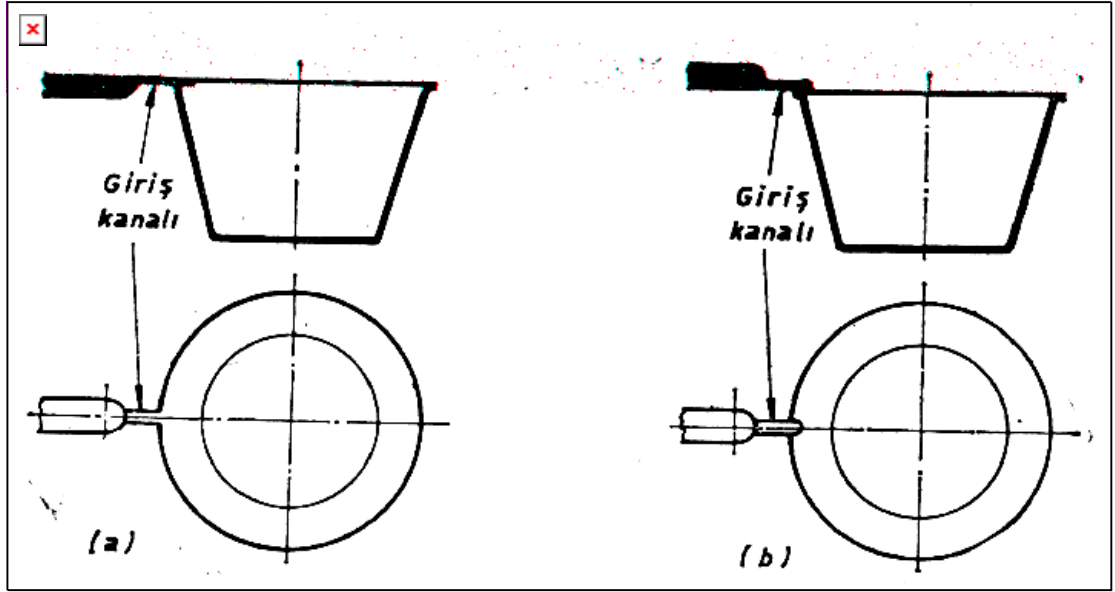


Şekil 3.9. Doğrudan kenar giriş kanalı

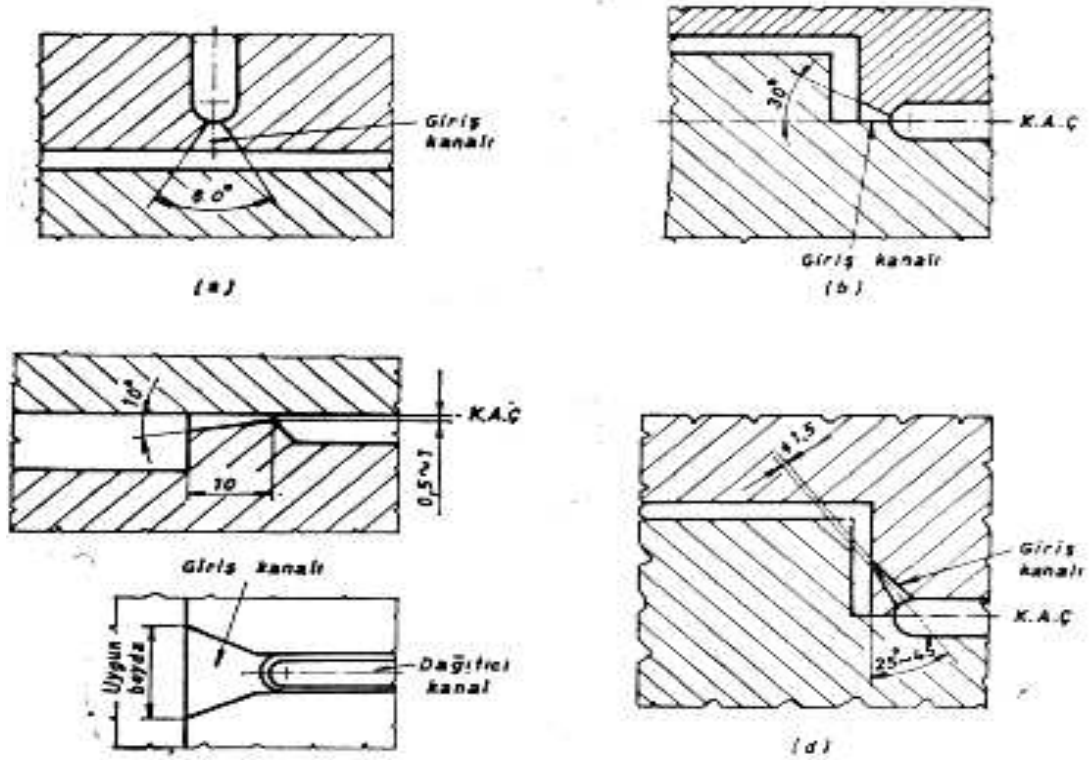
* Dağıtıcı kanalı olmayan iki plakalı kalıplarda uygulanan yolluk beslenmeli giriş kanalı

* Akrilik ve benzeri yüksek viskozitedeki plastiklerin giriş kanalı,

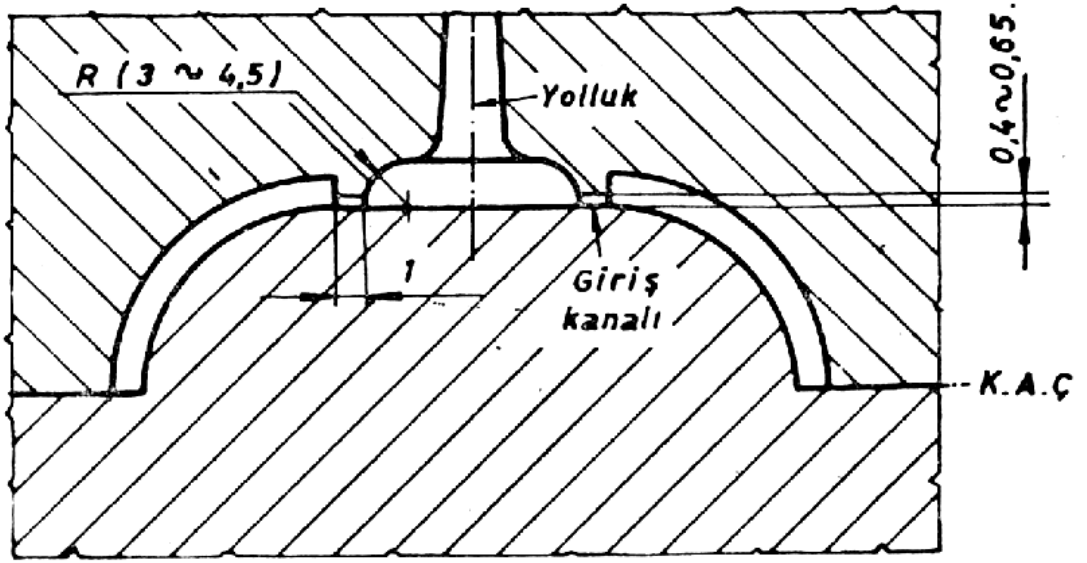
* Maksimum kalıplama basıncını iletmek amacıyla derinliği veya kalınlığı fazla ve simetrik olmayan kalıplama işlemlerindeki giriş kanallarıdır.



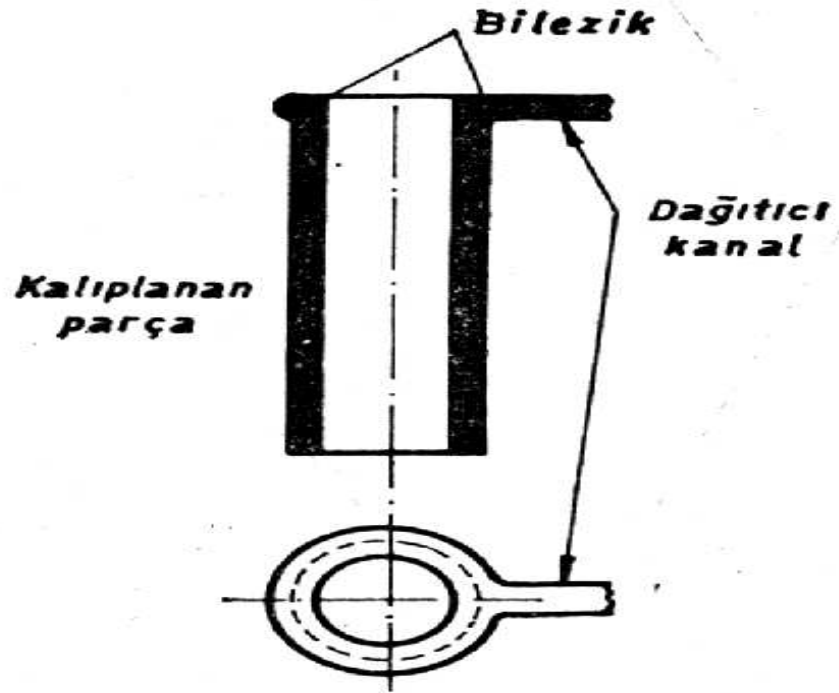
Şekil 3.10. Kenar giriş kanalı



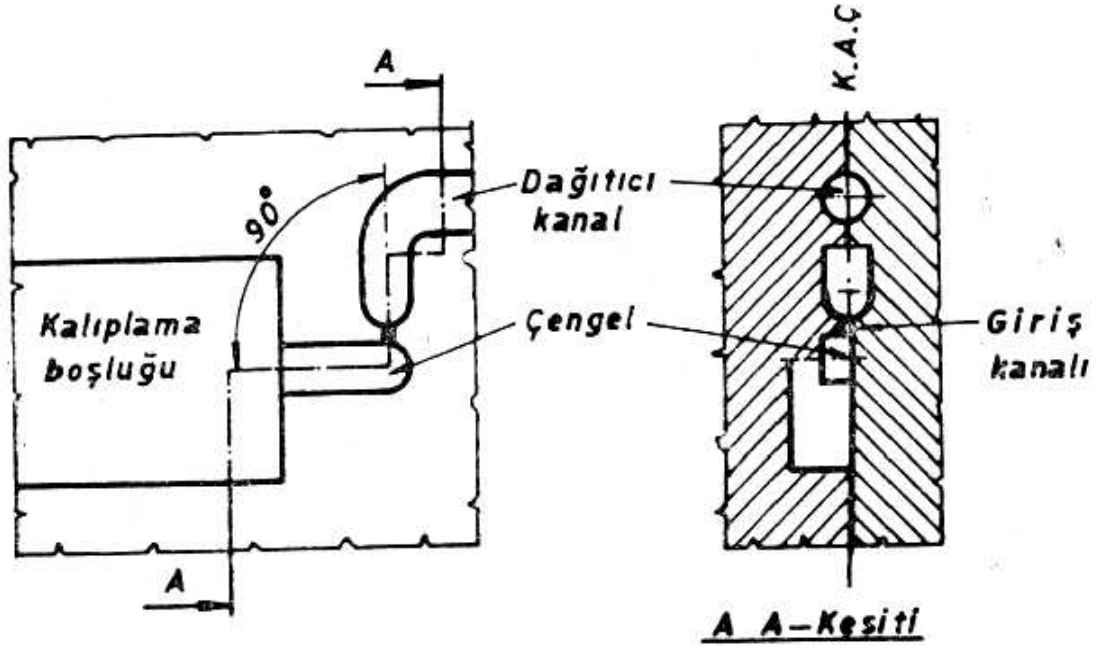
Şekil 3.11. Değişik tipteki konik giriş kanalları



Şekil 3.12. Disk giriş kanalı



Şekil 3.13. Bilezik tipi giriş kanalı



Şekil 3.14. Çengel tipi giriş kanalı

Çoklu kalıplama işlemlerinde kullanılan kalıpların her kalıplama boşluğuna giriş kanalı açılır. Bu giriş kanalları yarım yuvarlak, dikdörtgen veya kare kesitlidir. En küçük kesit alanı $1,6 \times 1,6 \text{ mm}^2$ doğrudan giriş kanalları genellikle, yandan kenar giriş veya üstten kenar giriş kanallarıdır. Bu giriş kanalları yarım yuvarlak, kare veya dikdörtgen ve bazen de trapez kesitli olarak açılır.

3.5.4.2 Sınırlandırılmış Giriş Kanalları

Bu tip kanallar genellikle kenar veya merkezden beslenmelidir. En çok serbest akışlı ve düşük viskoziteli plastik maddelerin kalıplanmasında kullanılır. Sınırlandırılmış giriş kanallarının faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Kalıplama işleminden sonra giriş kanalındaki artık plastik maddenin çok hızlı donması gerekiyorsa,
- Erken donması gereken giriş kanalları
- Giriş kanalı çok kısa kesilip kalıplanacak parçanın estetik görünüşü bozulmayacaksa, sınırlandırılmış giriş kanalları kullanılır.

İki plakalı kalıplarda dağıtıcı kanal, kalıp yarımlarından birine yarım yuvarlak, dikdörtgen veya kare kesitli olarak açılır. Buna bağlı olarak giriş kanalın da yarım yuvarlak, dikdörtgen veya kare kesitli olarak kalıp yarımlarından birine açılır. Plastik maddenin kalıp içersindeki fışkırma etkisini azalmak için kenardan veya merkezden giriş kanalı açılır. Otomatik kalıplama işlemini ve giriş kanalının koparılmasını kolaylaştırmak amacıyla giriş kanalı, kalıplama boşluğuna doğru konikleştirilir.

Kalıp merkezindeki yolluktan gelen plastik maddeyi çevredeki kalıplama boşluklarına dağıtan giriş kanalına, disk giriş kanalı denir. Bu tip giriş kanalları, doğrudan yolluktan aldığı plastik maddeyi kalıplama boşluğuna iletir. Derinliği 0,4-0,65 mm arasındaki dikdörtgen kesitli giriş kanalları kullanılır. Disk giriş kanalları genellikle aşağıdaki amaçlar için kullanılır.

- Düz boru veya içi boş kap biçimindeki simetrik parçaların elle kalıplama işlemlerinde,
- Kalıp açılma çizgisinin görülmesi gereken kalıplama işlemlerinde,
- Kenar giriş kanalının uygulanması zor büyük hacimli parçaların kalıplanmasında kullanılır.

Derinliği fazla olan kalıplama işleminde maça pimi çevresini kolayca doldurmak amacıyla bilezik (ring) tipi giriş kanalı kullanılır. Bilezik tipi giriş kanalı, dağıtıcı kanaldan aldığı plastik maddeyi kalıplama boşluğuna maça pimi kanalı, dağıtıcı çerçevesinden iletir.

Parça dayanımını artırmak amacıyla akrilik plastiklerin kalıplanmasında, çengel tipi giriş kanalı kullanılır. Bu tip giriş kanallı kalıplarda, dağıtıcı kanaldan gelen plastik madde sınırlandırılmış çengel giriş kanalına yöneltilir ve buradan da kalıplama boşluğuna iletilir. Çengel tipi giriş kanalları genellikle kare veya dikdörtgen kesitli yapılır. Bazen de yarım yuvarlak kesitli yapılabilirler. Giriş kanalı boyutları ise, kalıplanacak plastik maddenin cinsine ve kalıplama hacmine bağlıdır. Büyük hacimli parçaların kalıplanmasında bu giriş kanallarının boyutları (1,5-4,8)×1,8

mm dikdörtgen kesitli olarak yapılır. Dağıtıcı kanal ise, 8 mm çapında yuvarlak kesitli olarak açılır.

3.5.4.3. Giriş Kanallarının Biçimi

Giriş kanallarının biçimi, boyutları ve plastik maddenin cinsine göre kalıplama boşluğuna gönderilecek plastik maddenin debisi aşağıdaki formüllerle bulunur. Dairesel, yarım dairel ve dikdörtgensel giriş kanallarının ilettiği debi miktarları aşağıdaki formüller yardımıyla bulunmaktadır.

Dairesel kesitli giriş kanalları için debi;

$$Q = \pi \cdot R^4 \cdot P / 8 \cdot \eta \cdot L \quad (3.10)$$

Yarım dairel kesitli giriş kanalları için debi;

$$Q = \pi \cdot R^4 \cdot P / 16 \cdot \eta \cdot L \quad (3.11)$$

Dikdörtgen kesitli giriş kanalları için debi;

$$Q = b \cdot h^3 \cdot P / 12 \cdot \eta \cdot L \quad (3.12)$$

formülleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada;

Q: Debi; mm³/s

P: Birim yüzeye gelen basınç, kg/mm²

R: Giriş kanalı yarı çapı, mm

b: Giriş kanalı genişliği, mm

h: Giriş kanalı derinliği, mm

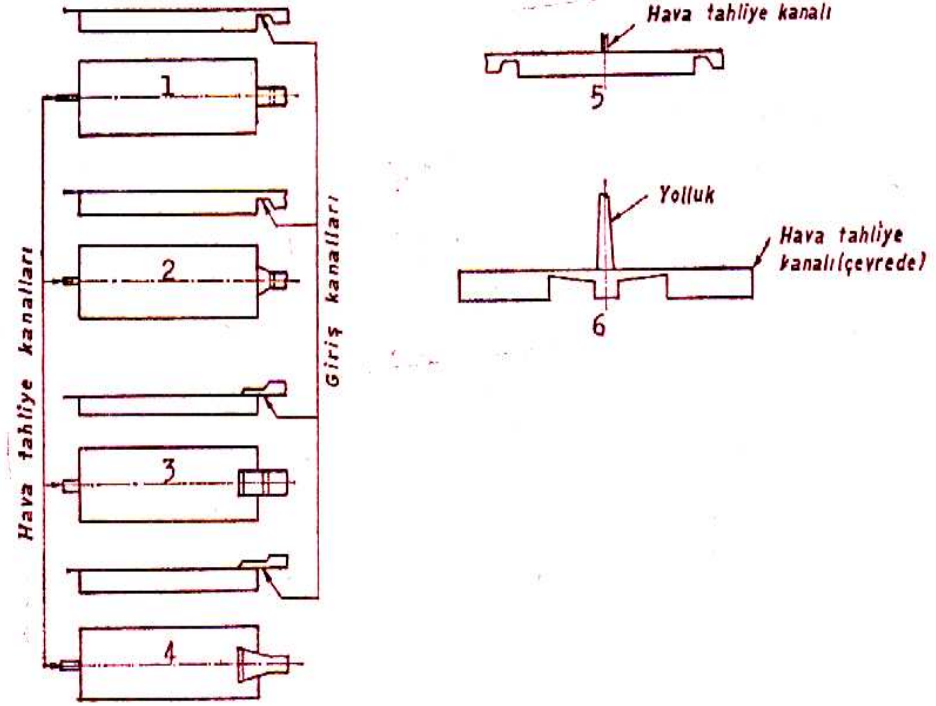
L: giriş kanalı boyu, mm

η : plastik malzemenin kalıplama anındaki dinamik viskozitesi; kg.s/mm²

3.5.5. Hava Tahliye Kanalları

Akışkan haldeki ısıtılmış plastik madde kalıp içersine enjekte edildiğinde, kalıplama boşluğundaki havayı dışarı atar. Hava tahliye kanalı açılmamış ve hassas olarak alıştırılmış bir kalıp istenilen sıkma kuvvetiyle kapatıldığında, kalıp içersine enjekte edilen plastik madde hava basıncıyla karşılaşır. Kalıp içersindeki sıkışan hava, plastik maddenin kalıplama boşluğunu doldurmasını engeller. Aynı zamanda plastik madde ile hava karışarak kalıplanan parça içersine hava boşlukları meydana getirir. Bu nedenle, hacim kalıpları içersine uygun ölçülerde hava tahliye kanalları açılır ve kalıplama anında kalıp içersindeki havanın dışarı çıkması sağlanır. Hava tahliye kanalları genellikle kalıp açılma çizgisi üzerine yerleştirilir. Yerleşim konumu ve boyutları ve kalıplanacak plastik maddenin cinsi ve kalıplama boşluğunun hacmine bağlı olarak seçilir. Genellikle 0,250 mm derinliğinde ve kalıplama hacmine bağlı olarak 25 mm genişliğinde bu mümkün değil ise 0,125 mm derinliğinde ve 12 mm genişliğinde olacak şekilde kalıp yarımlarından birine açılır. İtici pimli kalıp tasarımı yapılıyorsa itici pim ve deliği arasındaki boşluk hava tahliye kanalı görevi yapar. Bazen özel pimler geliştirilmek sureti ile hava tahliye kanalı görevi yapması sağlanır. Genellikle küçük boyutlu hacim kalıplarında hava tahliye kanalı açılmasına gerek yoktur. Çünkü kalıp yarımları alıştırma boşluğu arasından hava kolayca çıkabilir.

Büyük boyutlu hacim kalıplarındaki hava tahliye kanalı plastik madde giriş kanalı karşısına gelecek şekilde açılmalıdır. Merkezden disk giriş kanalı kalıplardaki hava tahliye kanalları giriş kanalı konumuna göre çevreden veya merkezden açılır. Şekil 3.15 te giriş kanalı yerleşim konumuna göre açılan hava tahliye kanalları gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Giriş kanalı yerleşim konumlarına göre açılan hava tahliye kanalları

Eğer tahliye aralığı dikdörtgen bir kesit olarak kabul edilip parça hacmi, yolluk hacmi ve enjeksiyon zamanı bilinecek olursa havanın kalıp içinden tahliye hızı bulunabilir.

$$V = (V_M + V_R) / t_1 \quad (3.13)$$

şeklinde formülize edilir. Burada;

V : Havanın akış hızı, cm^3/s

V_M : Parçanın hacmi, cm^3

V_R : Yolluk sisteminin hacmi, cm^3

t_1 : Enjeksiyon zamanı, s,

olarak ifade edilir.

Eğer akış hızı dikdörtgen kesitten girişe eşitlenecek olursa aşağıdaki ifade den tahliye aralığının genişliği hesaplanabilir.

$$L=A \times (TK \times 2 \times 10^{-2} / 293)^{1/2}, \quad (3.14)$$

eşitliğinde;

$L : V, m^3/s,$

$A : b \times h$ aralığın kesiti, $cm^2,$

$b : aralığın genişliği, cm ,$

$h : aralığın yüksekliği, cm ,$

$TK : havanın sıcaklığı, ^\circ K$

dır [Uzun, ve Erişkin, 1984].

3.5.6. Soğutma Sistemi

Kalıp içine enjekte edilen plastik malzeme ile kalıp arasındaki ısı transfer hızı bir enjeksiyon kalıbının ekonomik performansını belirleyen faktördür. Parçadan, kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelene kadar ısı çekilmelidir. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir. Çekilmesi gereken ısı miktarı ergimiş malzemenin sıcaklığına, parçanın kalıptan çıkarılabileceği sıcaklığa ve plastik malzemenin özgül ısısına bağlıdır. Parçadan ısı çekmek için kalıbın içinde soğutucu akışkan geçen kanallar yapılır. Parçanın kalitesi, sabit ısı profiline çok güçlü bir şekilde bağlıdır. Üretim verimliliği ise aynı zamanda bir ısı değiştiricisi olan kalıptan çok fazla etkilenir. Parça üzerinde noktadan noktaya değişen soğutma hızları; farklı soğuma zamanlarına, çekme farklılıklarına ve kalıntı gerilmelere yol açar. Parçanın farklı bölgeleri farklı basınç altında katılaşırlar ve daha geç katılaşırlar çekme sınırlamalarına maruz kalırlar. Parçaların köşeleri yüzey alanlarının farklılığından dolayı dış kısımlarda yüksek iç kısımlarda düşük soğuma hızlarına sahiptirler.

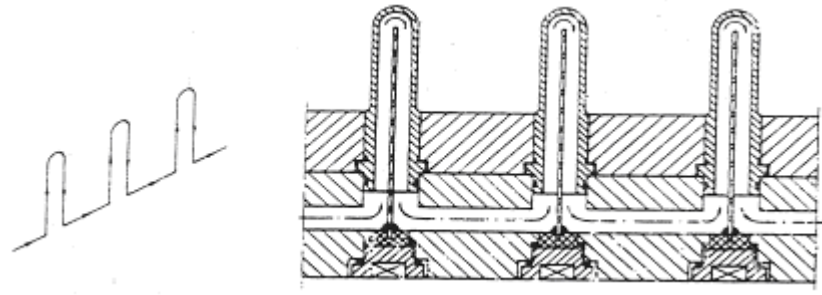
Enjeksiyondan hemen sonra ergimiş malzeme yüzeyde katılaşır ve kesitin merkezindeki sıcaklık maksimum olur. En son merkezin katılaşması, katılaşma işleminin dışarıdan içeriye doğru olduğunu gösterir. Kalın ergimiş malzeme ve onun meydana getirdiği çekme kuvvetleri, bir simetri düzleminde tutulabilirse deformasyon engellenebilir.

3.5.6.1. Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı

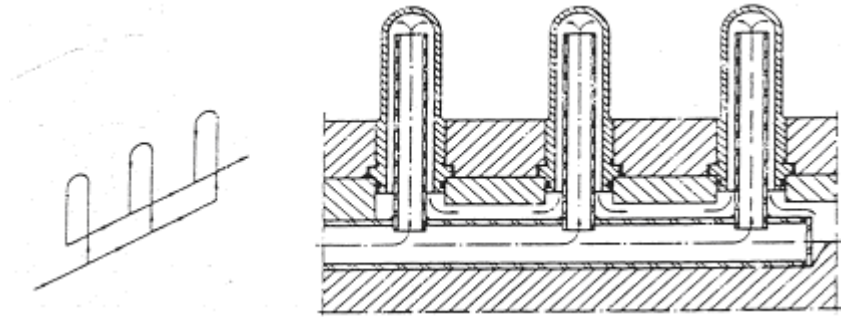
a. Çekirdekler ve Dairesel Kesitli Parçalar İçin Soğutma Sistemleri

Soğuma kalıp gövdesinden çekirdeğin iç kısmına doğru olur. Parçanın kalıptan çıkarılma sıcaklığını çekirdek sıcaklığı olarak tanımlamak mümkündür. Çekirdek duvarı ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması kalıbın kararlı ısı dengeye gelmesi için önemli olan dinamik karakter isteğini bozar. Bunun anlamı kalıbın çok uzun bir zaman süresi içinde ısı olarak kararlı denge durumuna ulaşacağıdır. Eğer genişlik veya çap küçükse çoğu zaman hava ile soğutma mümkün olur. İnce çekirdeklerin daha iyi soğutulması bakır, berilyumlu bakır veya yüksek dayanımlı simterlenmiş bakır-tungsten gibi yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemeler ile mümkündür. Bu tür çekirdekler insert şeklinde yapılırlar ve girdikleri yere pres veya sıkı geçme şeklinde geçirilirler. İç kısımdaki bir boru soğutucu akışkanı çekirdek içindeki kör bir deliğe kanalize eder.

Soğutucu akışkan borusunun çapı ve kör deliğin çapı tüm kesitlerde akışa karşı olan direncin aynı olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Soğutma sıvısının saflığı sıvının geçtiği deliklerin tıkanmaması için önemlidir. Soğutma boruları sadece çekirdeklerin soğutulmasında değil aynı zamanda soğutma kanallarının delinemeyeceği düz kalıp kısımlarında da kullanılırlar. Soğutma sistemlerinde kullanılan en son ve gelişmiş tekniklerden biride ısı borusu adıyla da anılan sistemdir. Bu sistem kompozisyonu kullanım sıcaklığına bağlı olan sıvı bir ısı ileticisiyle, dolu kapalı bir silindirik borudan ibarettir. Isı boruları ticari olarak 3mm ve daha büyük çaplarda bulunmaktadır. Nikel kaplı olabilirler ve çekirdeklerle hemen kullanılabilirler. Şekil 3.16 da çekirdeklerin seri ve paralel soğutulması gösterilmektedir.



Çekirdeklerin seri soğutulması



Çekirdeklerin paralel çalışması

Şekil 3.16. Çekirdeklerin seri ve paralel bağlanması

Seri soğutma da her bir çekirdek soğutucunun birinden çıkıp diğerine girmesi yoluyla soğutulur. Soğutucunun sıcaklığı yükseldiği ve parça ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkı artan soğutucu akış boyu ile azaldığı için çekirdeklerin ve parçaların uniform soğuması sağlanamamaktadır. Bu tür sistemle çok kaviteli kalıplarda üretilen parçaların kalitesi de aynı değildir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için paralel soğutma kullanılır. Paralel soğutma ile her bir çekirdek aynı ana kanaldan sağlanan soğutucu ile soğutulur. Diğer bir toplayıcı kanalda soğutucuyu kanaldan uzaklaştırır. Böylece her çekirdek aynı sıcaklık ta ki soğutucu ile soğutulur. Buda uniform soğuma sağlar ve ayrıca soğutucuda hacimsel olarak eşit şekilde bölünür. Tüm bu soğutma sistemleri dairesel kesitli parçaların soğutulması için uygundur.

b. Düzlemsel Parçalar İçin Soğutma Sistemleri

Dairesel parçalar için spiral soğutma kanalları pratik başarı ile kullanılmaktadır. Soğutucu spiral boyunca akarak sıcaklığı yükselirken ergimiş malzemede akış boyundan dolayı aynı oranda soğukluk sıcaklık farkı gittikçe azaldığı için daha az ısı uzaklaştırılır. Buda daha uniform bir soğutma sağlar. Yüksek kaliteli parçanın üretilmesi için her iki kalıp yansıda bu soğutma sistemi ile donatılmalıdır.

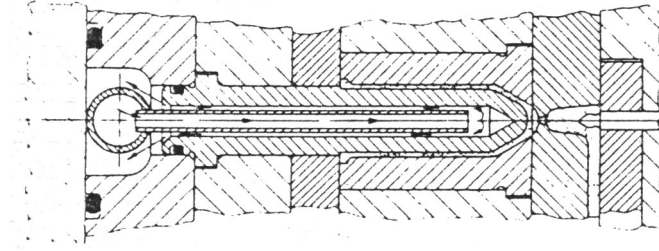
Ekonomik sebeplerden dolayı çok sık olarak dairesel parçalar için kalıp içinden düz olarak geçen doğrusal soğutma kanalları açılır. Bu yöntem uniform bir sıcaklık dağılımı sağlayamaz ve parçada distorsiyonlar meydana gelebilir. Fakat dikdörtgen yapılı parçalar için kullanılması hem daha kolay-ucuz ve uygundur.

Çok kaviteli kalıplarda yüksek kaliteli parçalar her kavite için aynı olan soğuma koşullarının sağlanması ile elde edilebilir. Dolayısıyla her kavite ayrı olarak soğutulmalıdır. Eşit akış hızlarında paralel diziliş çok faydalı olduğu görülmektedir.

c. Soğutma Sisteminin Yalıtılması

Soğutma kanallarının uçlarını kapatmak için kullanılan tıkaçlar ve kaynaklar kadar üzerinde bulundukları plakalardaki sızdırmazlık sistemi de halledilmesi gereken bir problemdir. Plakalardaki eğilmeler sızdırmazlık problemine, kanallar arasında oluşabilecek bir kısa devre soğutulmayan bölgeler ortaya çıkmasına neden olacağı için hasara neden olurlar. İtici pimlerin delikleri ayrı ayrı O-ring'lerle veya başka elemanlarla izole edilmelidir. Sıcaklık dirençleri ise -55° ile 200° arasındadır. Kolayca sökülebilmeleri için genellikle O-ring'ler kullanılır. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak sentetik veya doğal ve silikon veya flor kauçuğundan yapılırlar. O-ring'in yerleştireceği kanal O-ring yerleştirildikten ve montaj yapıldıktan sonra O-ring'in emniyetli bir şekilde sızdırması sağlayabilmesi için %10 civarında deforme olmasına

izin verecek şekilde yapılmalıdır. Kullanma sıcaklığına göre farklı malzemelerden yapılan O-ringler aşağıdaki sıcaklık aralıklarında kullanılır. 20⁰ altında sentetik kauçuk, 20⁰ üstünde silikon veya flor kauçuğu O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi mümkündür. Şekil 3.17 de O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemine örnek verilmiştir.



Şekil 3.17. O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi

3.5.7. Çekme Olayı ve Etkileri

3.5.7.1. Çekmenin Tanımı

Eğer plastikler enjeksiyon yöntemi ile işleniyorsa, üretilen parçanın boyutlarının kavite boyutlarında sapması kaçınılmazdır. Normal boyutlarda bu sapmalar çekme olarak özetlenir. Enjeksiyon kalıplama tekniğinde çekme kavite boyutları referans alındığında, kavite boyutlarıyla parça arasındaki farktır. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$S = (L_c - L_m) / L_c \quad (3.15)$$

Burada;

S: Çekme miktarı %

L_c: Kavite boyutu, mm

L_m: Parça boyutu, mm

olmaktadır.

Yukarıdaki ifade de boyutlar parça ve kavite hacmi ile değiştirilecek olursa aşağıdaki ifadeyle verilen hacimsel çekme elde edilir:

$$S_v = (V_c - V_m) / V_c \quad (3.16)$$

3.5.7.2. Çekmenin Nedenleri

Enjeksiyon yöntemi ile iletilen parçalarda çekmenin doğal sebebi malzemenin termodinamik davranışdır. Bu davranış P-V-T (basınç– hacim– sıcaklık) davranışı olarak adlandırılır ve plastik malzemelerin sıkıştırılabilirlik ve termal genleşme davranışlarını karakterize eder. Amorf ve kristalin plastik malzemelerin P-V-T davranışları arasında temel farklılık, katı halde iken, kristalin malzemelerde özgül hacim sıcaklıkla üssel bir değişim gösterirken amorf malzemelerde özgül hacim sıcaklığa lineer bir ilişki ile bağlanmasındadır. Bu fark kristalin malzemelerde neden daha fazla çekme meydana geldiğini açıklamaktadır.

3.5.7.3. Anizotropik Çekme Nedenleri

Hacimsel çekme, lokal çekme potansiyelini oluştururken ve malzemenin P-V-T davranışından saptanabilir. Çekmenin anizotropisi daha başka etkilere de bağlıdır. Çekme içten ve dıştan engellenir. Çekmenin içten engellenmesinin sebebi soğuma nedeniyle oluşan artık gerilmelerdir. Kalınlık doğrultusunda tabakaların mekanik olarak birleşmesi nedeniyle oluşan çekme engellemeleri olmadığından hacimsel çekmenin büyük bir kısmı kesit daralmasına dönüşür. Çekmeyi kısıtlayan bu tür iç etkilerin yani sıra cam elyafı takviyeli malzemelerdeki çekmeyi kısıtlayan iç etkilerden de söz edilebilir. Cam lifleri malzemenin akış yönüne göre yönlendirilir ve cam liflerin ısı genleşmesini küçük olması nedeniyle yönlenme doğrultusunda çekmeyi kısıtlayan etki daha büyüktür. Ayrıca cam kürecikleri ve mineral toz katkıları da çekmenin azalmasına neden olurlar. Genellikle çekmeyi engelleyen dış etki ise parçanın içinde bulunduğu şekil değiştirmesini mekanik olarak engelleyen kalıptır.

Anizotropik çekmenin bir diğer nedeni malzemenin akışından kaynaklanan anizotropidir. Malzemenin yönlenmesi çekmeyi iki şekilde etkiler. Bir yandan yönlenmeye bağlı lineer genleşme katsayıları çekmede farklılıklara neden olurken öte yandan çekme yönündeki re-oryantasyon (daralma) çekmenin artmasına neden olur. Yönlenme, işlem parametrelerinin yanı sıra kavite girişinin yerine ve türüne de bağlıdır. Takviyeli malzemeler, takviye edilmemiş olanların tersine akış yönünde daha az çekme gösterirler. Kristalin malzemelerde yönlenmiş kristalleşme de söz konusudur. Akış yönündeki daha yoğun paket yapı daha büyük çekmeye sebep olur.

3.4.7.4. Çarpılmanın Nedenleri

Bazı distorsiyonlar anizotropik çekmenin sonucu meydana gelirler. Doğrultuya bağlı olan farklı ısı genleşme istenen geometriyi bozar. Bu problem sadece kavite giriş şeklinin ve yerinin değiştirilmesi ile giderilebilir. Eğer distorsiyon asimetrik soğumadan kaynaklanıyorsa, soğuma kanalları yeniden düzenlenmeli veya ek soğutma kanalları yapılmalıdır.

Uniform soğuma şartları ve izotropik malzemelerde de distorsiyonlar meydana gelebilir. Girişin katılaştığı andaki yükseklik sıcaklıkta ve cidar kalınlığındaki farklılıklar kalın kesitlerde daha büyük çekmeye rastlanır. Distorsiyon eğriliğin iç kısmında meydana gelir iken, bu tür distorsiyon tabanda ve feder de farklı soğuma sıcaklıkları ile engellenebilir.

3.5.7.5. Toleranslar

Toleranslar parçanın kullanımda fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesini sağlayacak değerlerden daha dar olmamalıdır. Dar toleranslar kalıbın ve makinenin tam olarak kontrol edildiği durumlarda elde edilebilir. Kalıba bağlı olan boyutlar meydana getirdikleri kalıp parçanın aynısıdır. Kalıba bağlı olmayan boyutlar ise birbirine göre hareket eder, kalıp parçalarının (sabit ve hareketli kalıp yarıları ve maçalar) etkileşimi sonucu meydana getirilirler. Bu farklılık hareketli kalıp

parçalarının meydana getirdiği boyutların daha düşük bir hassasiyete sahip olduklarını ve tekrar edilebilirliklerinin tam olmadığı anlamına gelmektedir.

3.5.8. Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Üretimi

3.5.8.1. Enjeksiyon Kalıplarında Kullanılan Malzemeler

Metallerin çeşitli takım tezgahları ile talaş kaldırma yöntemiyle işlenmesi sonunda yapılan plastik enjeksiyon kalıplarına ait parçalar, üretildikten sonra bu parçaların yüzey işlemlerinin yapılması, birlikte çalışan parçaların ve yüzeylerin uygun geometrik ve boyutsal tolerans sınırına getirilmesi ve birbirine alıştırmaları gerekmektedir. Malzeme maliyetleri enjeksiyon kalıplama işleminde toplam üretim maliyetini küçük bir kısmını (%10) oluşturduğu için hemen hemen yalnızca metallerden, özellikle çelikten yapılmış yüksek dayanımlı kalıplar kullanılır. Kaviteler genellikle yüksek alaşımlı çekirdekten veya belirli durumlarda kavite taşıyıcı plakasına yerleştirilen diğer metallerden yapılırlar. Bir enjeksiyon kalıbı bir çok parçanın bir araya gelmesiyle oluşur. Parçayı oluşturan kavite ve çekirdek parçanın istenen konfigiriasyonunu ve yüzey pürüzlülüğünü sağlar. Bu yüzden bu parçaların malzemelerinin seçimi ve üretilmesi özel bir dikkat gerekir.

Çelikler kalıbın uzun ömürlü çalışmasını sağlayan tek malzeme grubudur. Uzun servis görevi ise çelik üreticileri tarafından verilen ve çeşitli işlemlerle istenilen kullanım için gerekli değerlere getirilen spesifikasyonlarla sağlanır. Yeterli tokluk ve dayanıma sahip olmaları, çeliklerin parlatmasını kolaylaştırır. Isıya ve aşınmaya dayanıklı olmaları yüksek ısı iletme kat sayısına sahip olmaları, korozyona karşı dirençli olması istenilir.

Kalıp sıcaklığı ve kalıptaki soğutma kalıplanan plastik malzeme tarafından belirlenir. Termoplastiklerin büyük bölümünde işlem esnasında kalıp sıcaklığından (genellikle 120°C'nin altında) kaynaklanan ısı etki kalıp malzemesinin seçiminde pratik olarak önem taşımamaktadır. Fakat 200°C'ye ulaşan kalıp sıcaklıkları olan termo- plastikler bu sıcaklık değerinde kalıp malzemesinin etkilenmesine (aşınma ve distorsiyon artımı yorulma ve sürtünme değer azalımı) sebep olurlar.

Bu tür termoplastiklerin kalıplanması söz konusu olunca kalıp malzemesi seçimi ona göre yapılır. Kavitelerin ve çekirdeklerinin yapımında kullanılabilecek çelik türleri; kabuk serleşen çelikler, nitrasyon çelikleri, tüm kütlece sertleşen çelikler, temperlenmiş çelikler, martenzit sertleşmesi yapan çelikler, korozyona dayanıklı çelikler ve saflaştırılmış çelikler şeklinde sıralandırılabilir. Tablo 3.1 de plastik kalıp malzemelerine örnek verilmiştir.

İtici için kullanılan itici sistemi önem kazanmakla birlikte itici pimler için sıcak iş takım çelikleri ve yolluk burcu için ise aşınmaya korozyona dayanımlı ve kolay parlatılabilir. 52-56 HRC' serleştirilmiş 2826 standart malzemesi kullanılabilir. Standart kalıp setlerinin eğer kavite doğrudan kalıp plakasına işlenecekse, kalıp plakası 2312,2162,... gibi malzemelerden yapılabilir. Eğer kalıp plakası taşıyıcı gövde olarak kullanılacaksa C45W alaşımsız takım çeliklerinden yapılırlar. St37 ham plakada gövde için kullanılabilir. Merkezlenme pimleri tipik olarak 7131 malzemedan üretilirler. Yüzey sertlikleri 60-62 HRC ve mukavemet değerleri 800-1100N/mm² arasındadır. Merkezlenme yapan kısımların tamamı taşlanmış olarak üretilir. Malzeme burçları da herhangi bir problem gözükmemesi için merkezlenme pimleri aynı malzemedan (serlik ve mukavemet değerleri aynı ve merkezlenme yapan kısımlar taşlanmış) üretilirler. Merkezlenme halkaları sabit kalıp yarısında yolluk burcunun hemen arkasında yer alırlar. Görevleri makinenin lülesi ile kalıbın merkezlenmesini sağlamaktır. Tipik olarak St 37-2'den üretilirler. Gerek olduğunda kullanılan konik veya doğrusal merkezlenme elemanları 7131, 2162...gibi malzemelerden de yapılırlar ve sertlikleri 58-62 HRC civarındadır.

Tablo 3.1. Plastik kalıplarının yapımında kullanılan bazı malzemelerin cinsi ve sertliği [Uzun, ve Erişkin, 1984].

Malzemenin cinsi	Yüzey sertliği	Öz sertliği
Karbitler	68-75 Rc	68-75 Rc
Nitrasyon çelikleri	68	38 Rc
Karbürasyon çelikleri	60-55 Rc	20-42 Rc
Su çelikleri	67	40-55 Rc
Yağ çelikleri	62	40-60 Rc
Hava çelikleri	50	60 Rc
Nikel-kobalt alaşımları	45-52 Rc	45-52 Rc
Önceden sertleştirilmiş çelikler	44 Rc	44 Rc
Berilyum-bakır alaşımı	28-42 Rc	28-42 Rc
Alüminyum bronz	118 HBn	118 HBn
Az karbonlu çelik alaşımları	180 HBn	180 HBn
Çinko alaşımları	80-105 HBn	80-105 HBn
Alüminyum alaşımları	60-95 HBn ₁	60-95 HBn ₁
Pirinç	50 HBn ₁	50 HBn ₁
Epoksi (dolgu)	85 Rm	85 Rm
Epoksi (dolgunsuz)	80-110 Rm	80-110 Rm
Lastik kaplama silisyum	15-65 Shore-A	15-65 Shore-A

Rc Rockwell “C” sertliği, Rm Rockwell “M” sertliği

HBn Brinell sertliği, 3000 kg yüklemeli,

HBn₁ Brinell sertliği, 500 kg yüklemeli

3.5.8.2. Kalıpların Sınıflandırılması

Kalıplar fonksiyonel ve yardımcı elemanlardan oluşmuşlardır. Fonksiyonel kısımları kaviteler ve çekirdeklerdir. Kaviteler ve çekirdekler genellikle dolu çelik bloklarından talaş kaldırmak sureti ile üretilirler. Yardımcı parçalar ise genellikle standart parçalardan meydana gelirler ve kalıbın merkezlenme, parçanın çıkarılması, soğutma gibi fonksiyonlarını yerine getirmesini sağlarlar.

3.5.8.3. Kalıp Üretiminde İşlem Planlaması

Kalıp üzerinde bilgi akışı ve üretim adımları kalıp tasarımı (geometri transferi ve modifikasyonu dahil), takım yolunun üretilmesi, kaba işleme, hassas işleme bitirme işlemleri ve kalıbın denenmesini kapsar. Yapılan son araştırmalar enjeksiyon kalıp endüstrisinde toplam üretim zamanının kalıp boyutuna, geometrisine ve karmaşıklığına bağlı olarak 1200–3800 saat arasında değiştiğini göstermektedir.

Kalıp üretimi için işlem planlaması; üretim için parça tasarımı, test ve geliştirme için prototiplerin üretimi, optimum kalıp tasarımı için işlemin modellenmesi, CNC (Computer Numerical Control) tezgahlarla işleme, EDM (Electro Discharge Machining) için elektrotların üretimi, yüzey ve bitirme işlemleri ve kalıbın ve üretilen parçanın boyutlarının kontrolü şeklinde sıralanabilir.

Kalıp parçaların üretiminde en önemli olan kısımlar kalıbın fonksiyonel kısımlarıdır. Fonksiyonel parçaların ve ayırma yüzeyleri için birkaç farklı üretim yöntemi vardır. Bunlar; konvensiyonel frezeleme ve tornalama, kopya frezeleme ve tornalama zımbalama (hobbing), EDM ve CNC takım tezgahları ile üretim diye sıralanabilir. Temel olarak üç tip EDM türü vardır. Bunlar; dalma EDM (Die sinking), tel erezyon EDM (wire cutting) ve EDM milling olarak sıralanabilir. CNC takım tezgahlarında veri transferi belirli formatta yapılır. İki tür operasyon söz konusudur. NC tezgahlarında bunlar; operatör tarafından (manuel) programlama, bilgisayar destekli programlama şeklindedir. Yüzey işlemleri, güzel görünümlü parça çıkarımı ve dolma esnasında kavite içinde oluşan sürtünmeleri en aza indirir. Belli başlı yüzey parlatma işlevleri taşlama ve parlatma (el ile) titreşimli parlatma, kum püskürtme, elektro–kimyasal parlatma, ED (electro Discharge) parlatma şeklinde sıralanabilir.

3.5.8.4. Alıştırma ve Montaj

Alıştırma kalıbın ayrılma yüzeylerinin birbirlerine ergimiş malzemeyi sızdırmayacak şekilde kapanması anlamına gelmesidir. Alıştırma işlemi kavitelerin işlenmesinden önce ve sonra olmak üzere iki türdür. Kaviterler işlenmeden önce yapılan alıştırma işlemi genellikle ayırma yüzeyleri düzlemsel olmayan kalıplara uygulanır. Kaviterler ve parçaya şekil veren diğer kısımlar işlendikten sonra yapılan alıştırma işleminin amacı ise sadece sızdırmazlığı sağlamaktır. Bu alıştırma işlemi için özel alıştırma adı verilen bir tür boya kullanılır. Dikkatlice birbirinden ayrılan parçaların boyalı kısımlarında boya kalmayacağı için dönen disk zımparalar ve benzeri araç gereçlerle talaş kaldırma yoluyla ile aşındırırlar. Bu plastik enjeksiyon kalıbının montajı sadece parçaların bir araya getirilmesi değil aynı zamanda onların

birbirleriyle uyum içinde çalışabilmelerini ve kalıbın fonksiyonunu tam olarak yerine getirebilmesini sağlamaktır. Kalıbın her iki yarısı montaj yapılarak kapatılırlar ve çalışmaya hazır hale getirilirler [Alkaya, 1998].

3.5.9. Enjeksiyon Hataları

Enjeksiyon hatalarını iki guruba ayırabilir. Birincisi, ürünün kullanım yerinde ve kullanım süresinde performansını etkileyecek hatalar, ikicisi ise, parçanın estetiğini ve satışını etkileyebilecek olan görünüm bozukluklarıdır. Hatalar çeşitli olmakla birlikte genellikle malzemeden, kalıptan enjeksiyon makinasından, ürün tasarımında ve hatta üretim şartlarından kaynaklanırlar.

Genel olarak enjeksiyon işlemlerinde karşılaşılan hatalar; eksik ürün, parçaların kalıpta kalması, akış izleri, birleşme izleri, yanık izleri, çapaklı ürün, parça yüzeyinde çöküntüler ve iç boşluklar, kalıptan çıkartılırken ve sonrada çarpılma, kötü görüşlü ve pürüzlü yüzey, yüzeydeki lekeler serpinti (gümüş izleri) oluşumu ve parça yüzeyinde çizikler şeklinde sıralanabilir.

Enjeksiyon hatalarını incelerken problem kaynağı olarak 5 temel durumlarla karşılaşılır. Bunlar ;

- a. Parça dizaynı,
- b. Kalıp,
- c. Malzeme,
- d. Proses şartları,
- e. Makine.

Deformasyon: Parçanın kalıp içersinde iken aldığı şeklin, kalıptan çıktığı anda veya belirli bir süre sonra çarpılması olarak ifade edilebilir. Bu ise kalıp içersinde veya kalıptan çıktığı anda denge halinde olan iç gerilmelerin dengesinin bozulmasıyla ortaya çıkar. Parçaların yüzeye yakın bölgelerinde basma, iç bölgelerinde çekme gerilmesi oluşmaktadır. Çünkü kenar kısımlar ilk olarak

soğumakta ve bu soğuyan tabaka halen sıcak olan iç kısmın hacimsel olarak küçülmesini engellemekte dolayısı ile iç kısımlarda çekme gerilmesi oluşmaktadır.

a. Parça dizaynı

Kesitlerde uniform yapı sağlanmalıdır. Çünkü kalın kesitler ince bölgelere göre daha geç soğurlar. Farklılık mutlaka gerekli ise kalın kesitler soğuk ince kesitler biraz sıcak tutulmalıdır.

b. Kalıp

a. Kutu şeklindeki parçalarda deformasyon.

a-1. Kalıp iki yarısındaki sıcaklık farkının kaldırılması ile deformasyonun giderilmesi

a-2. Geometri değişikliği ile deformasyonun giderilmesi

a-3. Kalıp yapımında bakır insertler kullanarak deformasyon giderimi

b. Yolluk yerinin etkisi

c. Soğutma kanallarının etkisi

Kalıbın kavite ve itici kısmı farklı sıcaklıklarda tutulur. İç bükey kenarın ısı alanı genişletilerek son olarak soğuyan malzemenin parça ekseninde olması sağlanır. İç bükey kenarın ısı iletimini artırmak için köşegenlere bakır vs. malzemelerden yapılmış insertler konur.

Polimer zincirleri kalıp içersinde ilerlerken akış yönüne doğru uzayacaklardır. Daha sonra uzayan bu zincirler eski hallerine dönmek isteyeceklerdir. Oryantasyon enjeksiyon prosesinde ayrılma ve uzama etkisi ile ortaya çıkar. Genelde yolluk yeri yakınındadır. Bunun yanında saydam malzemelere elyaf takviyesiyle oryantasyon yönünü belirlemeye yönelik çalışmalar, oryantasyon yönünün proses şartlarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Soğutma kanalının etkisi ele alındığında genelde dikkat edilecek husus, kalıp içersinde soğutma suyu ile plastik arasındaki sıcaklık farkları her bölgede eşit veya eşite yakın olmalıdır.

c. Malzeme

Malzemenin akış yönüne dik ve akış yönündeki çekme oranlarındaki farklılıktan meydana gelir. Kristal malzemelerde amorf malzemelere oranla daha fazla görülür. En fazla deformasyon etkisi (cam elyaf katkılı vs.) malzemelerde görülmektedir.

d. Proses şartları

Proses şartları deformasyonu oluşturan iç gerilmeleri azaltacak yada ortadan kaldıracak şekilde düzenlenmelidir. Eğer kalıp ve malzeme eriyik sıcaklığı katalog bilgisine uyuyorsa, deformasyona sebep etken enjeksiyon hızıdır. Parça mümkün olan en yüksek hızda doldurulmalıdır (dolum esnasında üründe yanmanın olmayacağı). Ortadan yolluklu parçalarda ütüleme zamanı ve basıncı parça içersinde iç gerilme oluşturmayacak düzeyde olmalıdır.

e. Makine

Makine proses şartlarını sağlayamıyorsa deformasyona sebep olur. Ya hidrolik pompadaki problem nedeniyle gerekli enjeksiyon hızını oluşturacak hidrolik basıncının sağlanamamasından veya vidalar back-flow valfinde bir aşınma var ise, bu da yeterli enjeksiyon hızının elde edilmesini önler demektir [Tuğrul, 1998].

3.6. Kavite Adedi İçin Ekonomik Kriterler

3.6.1. Kurum Maliyet Hesaplaması

Aşağıdaki formülle kurum maliyeti hesaplaması yapılabilir.

$$C_R = t_s \cdot (C_{MH} + n \cdot C_{SH} + m \cdot C_H) + a_{CH} \cdot t_s \cdot (q \cdot p), \quad (3.17)$$

Burada;

t_s : Kurum zamanı, h,

C_{MH} : İşletme hariç saat başına makine maliyeti,

n : Kurucu personel adedi,

C_{SH} : Kurucu personel saat ücreti,

m : Yardımcı personel adedi,

C_H : Saat başına ücret,

a_{CH} : Malzeme değiştirme ilave zamanı,

q : Plastiğin hazırlanma maliyeti,

p : Tamamlayıcı (ek) malzeme

olmaktadır [Menges/Mohren, 1986].

3.6.2. Deneme Üretimi Maliyeti

Deneme üretimi maliyeti aşağıdaki formülle hesaplamak mümkündür.

$$C_p = t_p \cdot (C_{MH} + C_H) + c \cdot ((3600 \cdot t_p) / t_{cycl}) \cdot (V_P + V_R) \cdot \rho_M \cdot P_r, \quad (3.18)$$

Burada;

t_p : Deneme üretim zamanı h,

C_{MH} : İşletme haricinde saat başına makine maliyeti,

C_H : Saat başına ücret,

c : Etkinlik zamanı,

t_{cycl} : Döngü zamanı, s,

V_P : Kalıp hacmi, dm^3 ,

V_R : Yolluk hacmi, dm^3 ,

ρ_M : Malzeme özgül ağırlığı, kg/dm^3 ,

P_r : Malzeme fiyatı, \$/kg.

olmaktadır [Menges/Mohren, 1986].

3.6.3. Bakım Onarım Maliyeti

Aşağıdaki formülle bakım onarım maliyeti hesaplanabilir.

$$C_{MT} = h \cdot C_T, \quad (3.19)$$

Burada;

h : Bakım- onarım faktörü,

C_T : Kalıp maliyeti

olmaktadır [Menges/Mohren, 1986].

4. ENJEKSİYON AŞAMALARI

4.1. Giriş

Parçanın geometrisine ve malzemenin karakteristiklerine ek olarak, enjeksiyon yönteminin bir bütün olarak kendisi de parçanın ve parça özelliklerinin üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi, her biri kısmi olarak bir sonraki safhaya da giren, çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için, bu safhalar, çevrim kalıbın kapanması ile başlar, makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha, sıcak yolluk sistemli kalıplarda gözardı edilebilir.

Konvensiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir. Makine enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı artırmaya başlar. Artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler. Ergimiş malzeme kalite duvarı ile temas eder etmez soğuduğu için enjeksiyon safhası ile aynı anda başlar.

Ütüleme basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının eksenel hareketi, kavite içine soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi optimize etmek için yeteri kadar malzemeyi kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve iç yapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve ütüleme safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir. Ütüleme basıncı safhasından sonra makine lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makine lülesinin

plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinada plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçanın cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tanımlanır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyetleri artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur. Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar. Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makine ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir.

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

Bir soğuk yolluk sisteminde her döngü sonunda ürün ile itilen yolluktaki katılaşan plastik malzeme işlenmemiş malzemeyle karıştırılarak öğütülür ve tekrar teknik şartların müsaadesi oranında sağlıklı bir şekilde kullanılır. Termoplastik kalıplamada soğuk yolluklu kalıplar en eski olarak kullanımda yerini almıştır. Özellikle yüksek verim istenmeyen durumlarda en yaygın kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Soğuk yolluklu kalıplar temelde 2 ve 3 plakalı olarak 2 tiptir. Bu orijinal tanımlama ilk günden beri kullanılmaktadır. Günümüzde kalıplar çoğu kez 2, 3 veya daha fazla plakalardan meydana gelmektedir. 2 plakalı kalıplarda plastik ayırma yüzeyinden kalıp boşluğuna ulaşırken, 3 plakalıda ise genellikle girişe plastik alttan veya ürünün merkezinden veya kenarından ulaşarak boşluğa akar. Sıcak yolluklu sistemlerde bir termoplastik kalıbın sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak karakterize edilir. 180°C dereceden fazla olan sıcaklığı ile

termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ile 120°C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar. Basit olarak sıcak yolluklar makine plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilir. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk içinde sıvı olarak kalır. Bu yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanıma hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır.

4.2. Sıcak Yolluklu Makinaların Hazırlanması

4.2.1. Sıcak Yolluklu Kalıplar İçin Çalışma Talimatları

a. Kalıbı Enjeksiyon Makinesine Bağlamadan Önce

1-Sıcak yolluk sistemindeki her sıcak yolluk memesi ve her manifold bölgesi için Sıcaklık Kontrol Cihazın da ayrı bir sıcaklık kontrol kartı kullanıldığından emin olunması gerekir.

2-Kalıbı prese bağlamadan önce sıcak yolluk sistemini elektriksel olarak mutlaka kontrol edilmesi gerekir. Tüm ısı ve sıcaklık ölçer kablo bağlantılarında kopukluk ve kısa devre olmadığından emin olunmalıdır. Sıcak yolluk sistemini makinaya bağlanmadan önce, “Sıcaklık Kontrol Cihazı” ile kontrol için tabii tutulması gerekir.

3-Elektriksel Kontroller

Isıtıcılar: Rezistanslarda kopukluk olup olmadığı daima ohmmetre ile kontrol edilir. Isıtıcının ohm değerlerini,

$$R=V/P, \quad (4.1)$$

R: Direnç, Ohm

V: Gerilim, Volt

P: Akım, Amper

formülü yardımı ile teknik resminden kontrol edilir. Çok gözlü sistemlerde aynı güçteki ısıtıcılarla birbirine yakın ohm değerleri okunmalıdır. Isıtıcı tel ile toprak arasında hiçbir ohm değeri okunmamalıdır. Ancak nem almış ısıtıcılarda Mega ohm değerleri (250 kohm-10 Mohm arasında) görülebilir. Bu durumda ısıtıcılar kurutulana kadar (hiçbir ohm değeri okunmayana kadar) 100-200°C arasında ısıtılmalıdır. İzolasyonun direnci 250 kohm değerinin altında ise ısıtıcıya hiçbir zaman tüm güç uygulanmamalıdır.

Sıcaklık ölçerler: Sıcaklık ölçerler (+ ve -) uçlarına ohmmetre bağlanarak kontrol edilmelidir. Sıcaklık ölçerin ucuna ısı uygulandığından ohmmetre ibresi hareket etmiyor ise sıcaklık ölçer değiştirilmelidir. Sıcaklık ölçerin uzunluğuna göre ohmmetre de 9 ile 25 ohm arasında farklı değerler okunabilir.

4-Daima “Soft Start” özelliği olan Sıcaklık Kontrol Cihazı kullanınız. Hiç bir zaman yüzdelikli (açık çevrimli) sıcaklık kontrolü kullanmamak daha uygun olur.

5-Enjeksiyondan önce sıcak yolluk sisteminin ısıtıcı planından, bölge numaralarına göre hangi sıcak yolluk memesinin hangi kalıp bölgesinde olduğundan ve sıcaklık kontrol cihazının hangi ısıtıcı bölgesine bağlı olduğundan emin olunmalıdır.

b. Enjeksiyon Makinesinde Kontrol İşlemi

1-Enjeksiyon makine memesi çapının, sıcak yolluk sistemin malzeme giriş çapına eşit veya en fazla 1 mm daha küçük olduğundan emin olunulur. Yolluk girişine iyi oturmayan makine memesi, malzemede yüksek kesme gerilmelerine, basınç kayıplarına ve renk değişimlerine problem yaratacak ölü bölgelere neden olacaktır.

2-Tüm su bağlantılarına, mevcut ise hidrolik ve pnomatik ve bağlantılarını yapıp test edilmelidir. Hidrolik sistemde hava kalmadığından emin olunması gerekir. Valf pinlerin hareketi kontrol edilir.

3-Sıcaklık yolluk sistemi için öngörülen çalışma sıcaklığını (Sıcak Yolluk Sistemi resimlerinde belirtilen) hiçbir zaman aşmamalıdır. Bu sayede ısı genleşmeler sonucu oluşacak yükler artmayacak ve kalıpta hasar veya olası plastik malzeme kaçakları önlenecektir. Enjeksiyona başlamadan önce bütün bölgelerin çalışma sıcaklığına eriştiğinden emin olunmalıdır.

4-Sıcak yolluk sistemi ısıtılır iken başlangıçta tüm ısıtıcıların kapalı olması, her bölgenin ayrı ayrı ısıtılarak o bölgedeki sıcaklık ölçerin cevap verdiğiinden emin olunması gerekir. Bu işlemin kalıp enjeksiyon presinde tam kapama kuvveti altında iken yapılarak sıkışmış kablo olmadığından emin olunmalıdır.

5- Özellikle “Valf Gate”li kalıplarda soğutma sularını açtıktan sonra sıcak yolluk sistemi ısıtılır. Kalıp sökülürken de önce sıcak yolluk sisteminin ısıtıcılarını kapatılır, kalıp oda sıcaklığına soğuduktan sonra soğutma suları kapatılır ve kalıp presten indirilir.

6- Sıcak yolluk sistemini dengeli termal genleşmeler oluşturacak şekilde çalışma sıcaklığına iyice ısıtılır. Bunun için kalıpta su devreleri açık iken, sıcak yolluk sistemini sıcaklığını çalışma sıcaklığının 50-100°C daha altına ayarlayıp, sistem bu sıcaklıkta en az 10 dakika tutulur.

7- Sıcak yolluk sisteminin sıcaklığı makine vida sıcaklığından farklı olmamalıdır. Sıcak yolluklu kalıplarda makine vidasından yolluk giriş ucuna kadar eşit bir sıcaklık profili sağlanmalıdır.

8- Manifold sıcaklığını çalışma sıcaklığına ayarladıktan sonra, aynı sıcaklıkta olan sıcak yolluk memelerin sıcaklıkları istenilen yolluk artışı miktarına göre çok küçük aralıklarla değiştirilebilir.

9- Yolluk meme uçlarındaki soğutma çevrimleri hiçbir zaman seri bağlanmamalıdır.

10- Çok küçük yolluk girişleri kullanıldığında makine enjeksiyon memesinde filtre kullanılması tavsiye edilir. Bu filtre seçilir iken filtrenin aşırı basınç kaybına neden olmamasına da dikkat edilmelidir.

11- Kalıp açık iken sıcak yolluk sisteminden malzeme kusturmayı sadece geri basıncı (max 14 bar) kullanarak yapılır.

12- Sıcak yolluk sisteminin içinde malzeme var ise, önce öngörülen baskı miktarın iki katı makine memesinden kusturulur, sonra enjeksiyon yapılır.

13- Parça ağırlığı, yolluk giriş çapı ve malzemeye göre enjeksiyon parametreleri ayarlanır. Öncelikle ısıtıcı plakaların kullanıldığı sistemlerde çalışma sıcaklığına erişildikten sonra sistemin dengeli ısınması için en az 10 dakika beklenilir.

14- Beş dakika ile bir saat aralığındaki bir süre için enjeksiyon baskısı yapıldığı zaman, sıcak yolluk sisteminin sıcaklıklarını çalışma sıcaklığının 50–100°C daha altına düşürülür. Sıcak yolluk sistemini tekrar devreye almadan önce sistemi çalışma sıcaklığında 2–3 dakika tutarak dengeli ısınma sağlanır.

[MoldMasters, 1998]

4.3. Plastiğin Hazırlanması Safhası

4.3.1. Plastik Ünitesi

Plastik ünitesinin ana görevi plastik malzemeyi eritmek ve ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna enjekte etmektir. Aynı özelliklere sahip parçalar üretmek için her çevrimde sabit kalitedeki eşit miktarda malzeme kalıp boşluğuna gönderilmelidir. Bu yüzden plastik ünitesi sabit sıcaklıkta ve homojen ergimiş malzemeyi sağlamak zorundadır.

Plastik teknolojisinin gelişmeye başladığı ilk yıllarda plastik malzemenin silindir duvarlardan ısı transferi yoluyla ısıtıldığı pistonlu tip enjeksiyon makineleri kullanılmıştır. Bu gün ise vidalı tip plastik üniteleri kullanılmaktadır. Bu tür plastik

üniteleri aynı zamanda piston görevini de gören bir vida yardımıyla çalışırlar. Vida döner ve aynı anda plastik ünitesinin deposundan malzeme alır. Vidanın dönmesi malzemenin plastik ünitesine ait lüleye doğru hareket etmesine ve sürtünme ile ısınmasına neden olur. Ayrıca plastik malzeme ısıtıcılar yardımıyla ısıtılan silindir duvarlarına temas ettiği için ayrıca ısınır ve böylece malzeme erir. İleri doğru hareket ettirilen ergimiş malzeme vidanın ön tarafındaki bir boşlukta biriktirilir. Vida yer değiştirebildiği için, ön tarafındaki boşluk kalıp boşluğunu doldurmaya yetecek kadar ergimiş malzemeyle dolana kadar geriye doğru kayar. Vidanın dönmesi süresince vidanın arka kısmındaki piston, vidanın geriye doğru olan hızını azaltmak için ve ergimiş malzemenin daha homojen hale gelmesi için, sabit basınçta kalır. Bu işlem sona erdikten sonra vida hidrolik silindire yüksek basınç uygulamak suretiyle bir piston gibi çalışır, eksensel olarak ileri doğru hareket eder ve ergimiş malzemeyi vidanın ön kısmındaki boşluktan plastik ünitesinin lülesinden geçirerek kalıp boşluğuna enjekte eder.

Makine gövdesi üzerine yerleştirilen plastik ünitesi yukarıda bahsedilen şekilde hareket edebilir. Bu hareket gereklidir, çünkü makine lülesi ve kalıbı ana girişi enjeksiyon safhası ve enjeksiyondan sonraki safha da temas halinde olmak zorundadırlar. Plastik ünitesinin lülesinin ana kalıp girişini çok fazla ısıtmasını engellemek, soğutulan kalıbın da ısıtılan lüleyi soğutmasının önüne geçmek için bu parçalar mümkün olduğu kadar ayrı tutulmalıdırlar. Eğer lüle çok fazla soğursa, malzeme katılaşacak ve plastik ünitesini bloke edecektir.

4.3.2. Kilitleme Ünitesi

Bir enjeksiyon makinesinin kilitleme ünitesi kalıbı kapatmalı, enjeksiyon basıncına karşı kalıbı sıkı bir şekilde kapalı tutmalı ve parçanın kalıptan çıkabilmesi için kalıbı açmalıdır. Kilitleme ünitesi yatay bir pres gibi düşünülebilir. Bu ünite sabit destek plakası, hareketli kalıp taşıyıcı plakası (kilitleme tarafında), sabit kalıp taşıyıcı plakası (enjeksiyon lülesi tarafında) ve hareketli tarafı hareket ettiren tahrik sistemi (kilitleme tarafında) gibi parçalardan oluşur. İki ana parçadan oluşan kalıbın bir yarısı enjeksiyon lülesi tarafındaki taşıyıcı plakaya bağlanırken, diğer yarısı

eksensel olarak hareket eden hareketli kalıp taşıyıcısına bağlanır. Sabit destek plakası makine gövdesine bağlanmıştır ve sadece makineye boyutları farklı kalıpların bağlanırken ayarlanabilmesi için eksensel olarak hareket edebilir. Enjeksiyon süresince kalıp boşluğu içersindeki basınç çok yüksektir ve bu basınç kalıbı açmaya çalışır. Bu açılmanın ve iki kalıp yarısı arasındaki boşluğa malzemenin akması ile oluşabilecek ve parçada ilave işlem yapılmasını gerektirebilecek çapak gibi sonuçlarının önüne geçebilmek için kilitleme ünitesini kalıbı yeterli büyüklükte bir kuvvetle kapalı tutmak zorundadır. Enjeksiyon makinasının bu kilitleme kuvveti makine büyüklüğünü tanımlayan karakteristik bir değerdir. Enjeksiyon makinelerinin kilitleme kuvvetleri 25-5000 ton arasında veya daha fazla olabilmektedir.

4.3.3. Kontrol Ünitesi

Enjeksiyon makinası kalıplama işleminin doğru olmasını sağlamak için ciddi kontrol elemanlarını içeren büyük bir kontrol sistemine sahiptir. Aşağıdaki fiziksel değerler işlem süresince izlenmek zorundadır. Plastik ünitesinin ve kalıbın sıcaklığı, plastik ünitesinin-vidanın ve kalıbın konumları, enjeksiyon süresince vidanın-kapanma süresince kalıbın hızları ve enjeksiyondan sonraki ütüleme safhasındaki basınç, kilitleme ünitesi için ise doğru kilitleme kuvvetidir.

Kontrol sistemi sadece bu değerleri izlemek değil aynı zamanda tüm çevrimi koordine etmek zorundadır. Modern makinalar da bu işlemler elektronik elemanlar yardımıyla yapılmaktadır. Sıcaklık, konum, hız ve basınç gibi kontrol edilen büyüklükler sıcaklık, yerdeğiştirme ve basınç transdüserleri gibi özel sensörlerle kaydedilir. Bu sinyaller daha sonra anabilgisayarın anlayabileceği şekle çevrilir ve ana bilgisayara okutulur. Bu temel girdilere göre kontrol programları belirli işlemleri yaparak işlemi kontrol altında tutar. Örneğin plastik ünitesinin sıcaklığı çok düşük ise ısıtıcı elemanlara enerji gönderir veya eğer vida durma pozisyonuna gelmişse bir kontrol valfinde kumanda ederek vidanın dönmesini durdurur.

Enjeksiyon makinalarında bir çok kontrol ünitesi vardır. Bu üniteler genelde ekonomik çalışmayı temin eder. Bu ünitelerden bazıları şunlardır. Plastifikasyonun

başlangıcını tehir etmek. Bu kumanda tertibatı soğutma fazında plastifikasyona başlamayı geciktirir. Bu suretle erimiş malzemenin silindir içinde kalma zamanı kısaltılır, dolayısı ile aşırı termik zorlanmalardan korunmuş olur. Bu suretle küçük dozlarda kaliteli malzemeler üretilir. Dönen vida ile enjeksiyon yapmak. Bu kumanda sistemi, ancak parçayı karşılayabilecek kapasitedeki makinalarda çok yararlıdır. Zira enjeksiyon esnasında malzeme hazırlanmaya devam edilir. Bu çalışma tarzından mümkün mertebe kaçınmak gerekir. Çünkü malzeme ve vida aşırı zorlamalara uğrar. Her durumda plastifikasyona zamanını çok kısa seçmek gerekir. Aksi halde geri kapama ventili yüzünden basınç silindirde çok fazla artabilir. Biriken basıncı azaltmak, vida geriye dönüşü aktif olarak vida geriye çekildiğinde biriken basınç derhal sıfır olur. Bu suretle erimiş haldeki malzeme basıncı, önde birikmiş olarak kalmaz derhal düşer. Reoloji açısından daima açık lüle ile çalışması için ön taraftaki basıncın düşmesi lüleden dışarıya malzeme akmasına mani olur. Ayrıca sıcak yolluklarda da vida geriye giderken basınç düşer.

Plastifikasyondan önce veya sonra vidanın geriye gitmesi esnasında malzemenin dışarıya akmaması için bir tertibata lüzum yoktur. Bu suretle de ekonomik çalışılmış olur. Ön kısımda basınç ayarlaması, devir sayısı ayarı, ön kısımda birikmiş erimiş malzemenin akış yönünde sıcaklık farkı bu basınç ayarlamasıyla minimuma indirilir. Bu suretle plastifikasyona esnasında önde biriken basınç kademeli veya kademersiz olarak ayarlanabilir. Genelde sabit bir basınçla parçalar üretilir. Özel hallerde iki kademeli basınç gerekebilir. Elastomerlerde 3 veya 4 basınç ayarı gerekir. Bu tip makinalarda vida döndürme momenti sabit kaldığı halde basınç değiştirilebilir. Devir sayısı da aynı basınç gibi düşünülür ve malzeme bu suretle daha homojen olur.

4.4. Plastifikasyon Ünitesi Gaz Tahliyesi

Eğer bir enjeksiyon makinası plastifikasyona ünitesi gaz tahliyesi ünitesine sahipse ham maddeden bitmiş mamule kadar, hidroskopik hammaddeler de dahil, bir defada imal edilebilirler. Daha önceleri hidroskopik malzemelerin kurutulması ve tekrar nem almadan imali gereklidir. Bu işlem beraberinde bir mali yük getiriyordu. Büyük miktarlardaki plastik hammaddeleri genellikle rutubet ve kalıntı monomerler ihtiva ederler. Bunlar plastifikasyon esnasında yüksek sıcaklıkla gaz haline gelirler ve bunlar eriyikten alınmazsa malzeme içinde boşluklar veya yüzeyde bozukluklar meydana getirirler. Dolayısı ile parça kullanılamaz duruma gelir. Bilhassa polikarbonatlar da nem, imal edilen malzemeyi kullanılamaz hale getirir. Bu yüzden bu tip malzemeler ancak önceden kurutularak kullanılabilir. İşte gaz alma tertibatı vasıtasıyla bu ön kurutmadan vazgeçilebileceği için ekonomik bir imalat olur.

İyi bir kurutma 6 saatten aşağı olamamaktadır. Böyle bir kurutma sisteminde verim çok düşüktür. Ayrıca şu dezavantajlar da mevcuttur. Direk imalata başlanamaması, uzun kurutma zamanı, kurutmanın tam olması ihtimalinin azlığı, kirlenme ihtimali (bilhassa dekoratif malzemelerde), ara nakillerde yeniden nem alma ihtimali, yanlışlıkla başka bir malzeme yerine kullanılmasıdır.

Gaz almanın kullanıldığı yerler, bütün hidroskopik malzemeler, dekoratif malzemeler ve teknik bazı malzemelerde kullanılırlar. Gaz alma sistemi iki kademeli olursa daha iyi netice alınır. Malzeme besleme borusu burada devamlı dolu değildir. Bu yüzden toz haldeki malzemenin yapışması mümkün değildir. Ayrıca bu bölgede bir ön kurutma için bu sistem çok müsaittir. Yalnız gaz alma sistemi 18 mm den 120 mm ye kadar çapa sahip burgularda uygulanabilir. Prensip olarak 35 mm çapın altında imalat güçlüğü vardır. Gaz alma bölgesindeki çap ancak mevcut döndürme momentini taşıyacak kadar seçilir. Küçük parçaları büyük enjeksiyon makinalarında üretmek yanlıştır. Zira malzemenin makine içinde kalma zamanı artar ve gaz alma bölgesinde hasara uğrar.

Bir makina da asla maksimum verimin % 25 in altına inilmemelidir. Önceleri vidalar $\varnothing(12-14)$ civarında imal edilmektedir. Burada gaz alma mümkün değildir. Daha sonraları $20\varnothing$ uzunluğunda vidalar yapılmaya başlanmıştır ve strok $3\varnothing$ yi bulmuştur. Bu tip vidalar gaz almaya çok müsaittirler. Strok artırılırsa malzeme sıcaklık farkları da artar.

Vidanın fonksiyonel olması için gaz alma bölgesinin geometrisi iyi tayin edilmelidir. Burası üç bölgeden (kısmı bölgesi, kesme bölgesi, karıştırma bölgesi) ibarettir. Gaz alma şekli her rutubet derecesi için geçerli olmalıdır. Aynı bir parametreye ihtiyaç göstermemelidir. Gaz alma bölgesinden sonra vida geometrisi, eriyik malzemeyi biriktirmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gaz alma bölgesinde yeniden genişlediği için ortam basıncına düşülür.

4.5. Enjeksiyon Makinasının Özellikleri

Bir enjeksiyon makinasından optimum olarak istifade edebilmek için onun termik ve hidrolik fonksiyonlarını iyi tanımak gerekir. Rejim haline gelene kadar sapma olabileceği, termik balanstan ne kadar sapma olabileceği, enjeksiyon basıncından- ütülemeye- muhtelif şartlarda geçişte her defada aynen tekrarlanabilme ve enjeksiyon parametrelerinde yapılan en küçük değişimlerde hassas olması gereklidir. Bu noktalar makinanın tipinden, teçhizatından ve yaşından müstakil olarak bilinmelidir. Standart bir makine kritik değerlerden kaçınmalı, uygun olmayan durumları ortadan kaldırarak çok iyi imalat yapılabilir. Eğer makinanın sınır değerleri biliniyorsa, ne zaman ne ayarlanacağı bilinir (enjeksiyon, ütüleme, proses ayarı gibi). Bir mamulü her defasında aynen imal edebilmek için kalıbın soğutması çok iyi olmalıdır. Kalıp konstrüksiyonu termik olarak tam bilinmeli, güçlü ve çok hassas ayarlanabilen termometreler ile sağlanabilmelidir. Kalıp konstrüksiyonu ya tecrübe ile yada bilgisayar destekli analiz ön çalışmaları ile belirlenebilir. Örneğin sıcak yolluk mekanizmasının kullanıldığı makinalarda kuvvet hesaplanması aşağıdaki formül yardımı ile yapılabilir [Tamer, 1998].

Kuvvet yerine aşağıdaki eşitlik konulabilir.

$$P=(60.m.c.\Delta T)/t.\eta_{tot}, \quad (4.2)$$

Burada;

P : Kuvvet, kW

m : Manifold' un kütlesi, kg,

c : Çeliğin ısınma ısısı = 0.48, kJ/kg*K,

T : Eriyik sıcaklığı ile manifold sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının, ısıtıcı başlangıç değerinde, K,

t : Isıtma zamanı, dak,

η_{tot} : toplam verim (elektrik- termal) (ca.0.4-0.7, genellikle 0.6)

[Menges/Mohren, 1986].

4.6. Kalıbın Doldurulmasında İşletmenin İstekleri ve Enjeksiyon

Öncelikle aynı yüksek kalitenin devamlı olarak elde edilmesi istenir. Ayrıca parçadan; düzgün yüzey, çekme toleransı içinde ve çarpılmamış gibi özellikler de beklenir. Termodinamik büyüklükler, enjeksiyonla imal edilen bir parçanın kalitesi şekil verme esnasındaki, spesifik hacim değişikliğine bağlıdır. Bu değişiklik basınç altında termik olarak yürür. İşte buradaki basınç, sıcaklık ve özgün hacim değişikliği (P- V- T) termodinamik büyüklükler olarak ifade edilir. Bu her polimer için özgün hacim sıcaklık bağlantısı olarak verilmiştir.

Bazı zorluklar olmasına rağmen (soğutma hızlarının değişik olması) bu diyagramlar enjeksiyon prosesini çok iyi tarif eder. Teorik olarak basınç kalite için en önemli faktördür. Zira çekme, çarpılma ve hatırlamaya direk olarak tesir eder. Bu diyagramlar başlangıç için iyi bir fikir verirler. Parça toplam kompleks durumu göz önüne alınırsa bunun kolay hesaplanamayacağı görülür. Bunun en büyük sebebi de farklı cidar kalınlıkları, akış yolunun farklı uzunlukta olması, parçanın toplam geometrisi, soğuma hızı ve basınç oranlarıdır. Amorf ve yarı kristal malzemeler için

bu durum diyagramları benzerdir. Makine üzerinde çalışma parametrelerini kumanda eden değerler değiştiğinde basınç dağılımına direk olarak veya en direk olarak tesir ederler. Bu suretle enjeksiyon fazında, geçiş fazında ve ütüleme fazında kaliteyi tanımlayan etkenler sıralanabilir.

Enjeksiyon fazından sonra ütüleme kumandasına geçiş hali sırasında, diğer bir faza geçiş kumandası için seçilecek nokta, enjeksiyon prosesi için çok önemlidir. Sabit kalması gereken basıncın veya değiştirilmesi gereken basıncın, olması gerekenden farklı olması, bütün basınç dağılımını değiştirir. Bu suretle de bütün kalite değerleri değişir. Bu faz kumanda noktasında şalterin devreye sokulması ile kalıp içinde istenen basıncın oluşması için geçen zaman makinanın yapısına bağlıdır. Bu geçiş zamanını makinadaki eriyik malzemenin sıcaklığına ve vidanın dönme hızına bağlıdır.

Kalıp boşluğu hacimsel dolduktan sonra, ütüleme fazına geçilmesi için verilecek sinyalin biraz erken veya geç gerekebilir. Zira bu parçanın büyüklüğüne bağlıdır. Prensipte olarak enjeksiyon hızının düşük olması dezavantajlıdır. Zira soğumadan dolayı eriyiğin viskozitesi artar ve daha büyük basınç gerektirir. Bu bilhassa yolluk uzak noktalarda ve ince cidarlarda çok barizdir. Kalıp boşluğunda birleşme hattında iyi bir kaynama meydana gelmemesi bunun en iyi belirtisidir. Gerekli basıncın altına düşmek, ağırlık farklılıklarını meydana getirir.

Hacimsel dolma meydana geldikten sonra, kompresyon çok yüksek tutulursa kalıp içinde maksimum değere çıkılır ve akma mukavemeti de artar. İşte bu basınçla kalıp elastik bölgede şekil değiştirebilir veya kalıp yarıları birbirinden ayrılır. Bu suretle de parça ölçüsü değişir, çapak meydana gelir. Ayrıca kalıptaki çıkarma güçleşir, kalıp hasara uğrayabilir.

Burada sadece şalter kumanda noktasının seçimi önemli değildir, yolluk sisteminin de seçimi çok önemlidir. Eğer bu birkaç noktadan giriş yapılıyorsa daha

da önem kazanır. Kollardan birinde basınç düşmesi olursa akış düzgünlüğünü kaybeder. Ütülemeye geçişte basınç düşmesi, kalıp boşluğunun dolmasından sonra sistemin hidrolik basıncı artmaya başlar, bu yüzden ütülemeden sonra gecikmesiz uygun, hızlı bir basınç düşmesi gereklidir. Bunun manası bu artan basınç sisteminde çok hızlı hareket eden bir basınç düşmesine ihtiyaç vardır.

Küçük parçalarda bu düşme zamanı, 80 ms olması gereklidir. Bu basınç düşüşü parça içinde devamlılık göstermeli ve tek yönlü olmalıdır. Donan ön kısım asla geri dönmemelidir. Eriyik hareketi yolluktan geriye makinenin ön kısmına dönüp, tekrar kalıba geri giderse, hatırlama olasılığı çok artar.

4.7. Ütüleme

Kalıba gönderilen eriyiğin kalıp cidarı tarafından soğutulmasıyla meydana gelen hacim küçülmesini ortadan kaldırmak için ütüleme tatbik edilir. En dar yerde yani yollukta eriyik malzemenin ön kısmındaki basınç artırılarak kumanda edilir. Kalıptaki soğuma neticesinde iç basınç cidar kalınlıklarına bağlı olarak değişir. Soğuma neticesinde artan viskozite akışı zorlaştırır. Buna tesir eden faktörler, sadece zaman değil aynı zamanda hidrolik basınç ve kalıp sıcaklığıdır. Parça ağırlığı, boşluk noksan çıkan kısımlar, büzülme derecesine bağlıdır.

Ütüleme derecesi, ütüleme zamanı, tam dolma noktası, yüksek ütüleme ve uzun ütüleme zamanını doğurur. Ütüleme yolluk yardımıyla, yolluk uzak noktası arasındaki statik basınç kaybına göre hesaplanır ama daima daha büyük seçilir. Güç sınırı, maksimum kalıp içi basıncı meydana geldiği durumda olarak alınır. Maksimum basıncın üzerine çıkıldığında parçanın ağırlığı artar. Ayrıca kalıp açılma çizgisi yönündeki kalınlıklar artar. Bu artış yolluk yakınında daha çok hissedilir. Akış istikametindeki basınç nakli şekle bağlı olduğu gibi kalıp sıcaklığına da bağlıdır. Eğer basınç çok artarsa akış istikametindeki hatırlama hesaplamanın çok üstüne çıkar. Pratikte noksan kalan yerler, kütle sabitliğidir, yolluk yakınında hatırlama ve kalıptan çıkarma, ütüleme yüksekliği tayin için en önemli kriterlerdir. Parçanın şekline uygun bir ütüleme, eriyik ve kalıp sıcaklığı tespit edildikten sonra,

parça ağırlığı, tam dolmanın fonksiyonu olarak tespit edilir. Ütüleme kademe kademe artırılır parça ağırlığının artmaya başladığı nokta tam dolma noktası olarak tespit edilir. Ütüleme zamanı tam dolma zamanından kısaysa, basınç dağılımı aşağı doğru bir kırılma gösterir. Ütüleme zamanı, tam dolma zamanı ile eşit veya yüksek ise yukarı doğru çıkar. Tam dolma zamanının tayini çok lüzumludur. Ütüleme tekrarlanabilirliği, dolayısıyla parçanın aynen tekrar imali dışında diğer birçok özelliğe de tespit eder. Ütüleme zamanının kısa olması eriyik malzemenin yolluk vasıtası ile tekrar vida ucunun geri dönmesine sebep olur. Bu esnada parça kalıp cidarından ayrılır, dolayısıyla da parça soğuması durur. Böyle bir parça hurdaya atılır [Tamer, 1998].

4.8. Soğutma

Tasarımcı kalıp soğutma tasarımına başlarken tüm parametrelerin ekonomikliğe etkisinin farkında olmalıdır. Genellikle dikkat edilmesi gereken parametreler kalıplanacak malzemeler, kalıp malzemesi, kalıp için hangi tip makinanın kullanılacağı, verim beklentisi, kalıp üretimi proje maliyeti, ürün şekli, kalıp maliyeti, bakım maliyeti aktif personel ve sonrasındaki bakım ekibi maliyeti gibi etkenlerdir. Tasarımcı ideal bir kalıp koşullarına yaklaşımda bulunarak soğutma tasarımı yapabilir. Yukarı da sayılan parametreler ışığında tasarımcı soğutma şematik yerleşimi oluşturmada özgürdür.

Kalıp soğumasına etki eden faktörleri; soğutucunun içten dışa doğru sıcaklığında artış, içten dışa doğru soğutucu akış, soğutucu kimyasal kompozisyonu, kalıp parçalarının termal iletkenliği, enjeksiyondan itmeye plastik sıcaklığında düşme, yolluk sistemi (kesit ve şematik dağılımı), yolluk tipi (sıcak, soğuk), soğutma kanallarının (şematik dağılımı, kesit) kalıp üretimi ile teması, kalıp plakası üzerinde soğutma kanallarının şematik dağılımı ve kesit yerleşimi ve gidiş dönüş olarak soğutma hortumu ile destekleme ve kullanılan çap değerleri şeklinde sıralanabilir.

Soğutma kanalları içinde soğutucu akışkanın özellikle türbülanslı olması istenir. Türbülanslı akış esnasında akışkan duvarlardan aldığı sıcaklığı akış hattının

ap merkezine doğru yönelttiği için uniform soğutma hattı oluşmaktadırdır. Lineer bir soğutucu akışında ise, sürekli duvar teması nedeniyle, devamlı ısı alışı olacak ve soğutma layerların da uniform bir yapı oluşmayacaktır.

Genel olarak soğutucu akışkana etki eden faktörleri soğutucu kaynağı ve gidiş dönüş boru hattı arasındaki soğutucu basınç farklılığı, soğutucu akış hattı kesit alanı, akış hattı uzunluğu ve onların dağılımı, soğutucu viskozitesi, soğutucu kanal koşulları ve reynolds sayısı şeklinde sıralanabilir.

Kalıp için soğutucu gereksinimi anlamak için sık sık sorulan sorular kalıp için ne kadar soğutucu gerektiği (litre), soğutucu sıcaklığı gereksinimi, soğutucu ihtiyacı, bu kalıp için soğutma kanal genişliği ve kalıba ne kadar soğutma hattı yapılabilir, şeklinde sıralanabilir.

Soğutma problemleri uniform olmayan soğutma, fazla döngü zamanı ve pompa kapasitesini açma durumları olarak özetlenebilir. Uniform olmayan soğutma durumunda sıcaklık farkları, üst donma tabaka kalınlığı, üst-alt donma kalınlıkları, plastik alt- üst sıcaklığı gibi sıcaklıkları görülürken döngü zamanı fazla olduğunda üst donma katmanı sıcaklığı, üst-alt donma katmanları sıcaklığı, elemanlara da fazla sıcaklık durumu, maksimum plastik sıcaklığı, donma zamanı ve gridler arası soğuma sıcaklığı noktalarında ortaya çıkar. Pompa kapasitesi üzerinde bir durum söz konusu olduğunda ise soğutucu kanalları basınç dağılımı, soğutucu akış oranı, reynolds sayısı ve soğutucu sıcaklığında sorunlar olabilir.

4.9. İtme

Ürün soğuduktan sonra kalıptan itilerek atılır. Bu sadece itme (ejection) mekanizması bulunan makinalarda mümkündür. Bazı üretim proseslerinde robot veya operatör sayesinde ürün kalıp yarımından atılır veya alınır. Bazen itme hava yardımıyla da yapılabilir. Havanın yanı sıra pinler, kol mekanizması, sıyırma mekanizması gibi elemanlardan yararlanılabilir. Tasarım için gerekli bazı terminolojileri tanımlanacak olunursa;

Otomatik itme operasyonlarında;

Çoğunlukla ürün kalıptan özellikle orta kısımdan itilmek sureti ile uzaklaştırılır.

Ürün kalıptan uzaklaştırıldıktan sonra manuel olarak kalıp boşluğu temizlenir.

Yarıotomatik operasyonlar da ise;

İtme mekanizması ile ürün yerinden çıkarıldıktan sonra operatör tarafından yeni döngü başlamadan emniyeti kendi oluşturur (açar). Muhakkak makinanın başında bir operatör olmalıdır. Bu ilave durum, ürün maliyetine eklenmemelidir. Farklı operatörler ve/veya aynı operatörün yorulması, döngü zamanının değişmesine neden olur ve ürünün kalitesine (plastığın yerleşme zaman farklılığı nedeni ile) etki eder ve boyutsal olarak (farklı çekme) farklılık arz eder.

İki çeşit otomatik itme vardır:

Bunlar serbest düşme ve kontrollü çıkarmadır. Serbest düşmede, ürün serbest bir şekilde bir kutu içine veya taşıyıcı konveyör bandı üzerine düşer. Kontrollü itmede ise, ürün bir mekanizma ile havalandırılır veya robot yardımı ile kalıp yarımından uzaklaştırılır.

Otomatik uzaklaşma sisteminin faydaları:

1. Tutarlı döngü zamanı ve o nedenle ürünlerde boyutsal tamlik,
2. Sistemi yoluna koymak için makine başında operatör gerekliliğinin olmaması,
3. Operatörlülere göre daha hızlı döngü mümkündür. Yarı otomatik makineler de operasyon operatör hızına bağlıdır. Çok kısa süreli döngüler operatör için yorucu olacağından ideal olmayacaktır [Rees, 1995].

Parça katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılmalıdır. Kalıp açıldıktan sonra parçanın kendi ağırlığı ile kaviteden veya çekirdekten ayrılması ideal olanıdır. Ancak parça üzerindeki girintiler, adezyon ve iç gerilmeler gibi nedenlerden kalıptan ayrılmaz ve yerinde kalır ve bu yüzden de özel bir yöntemle kalıptan ayrılıp uzaklaştırılmalıdır.

İtici sistemi genellikle makinanın açılma stroku esnasında mekanik olarak harekete geçirilir. Eğer bu basit yöntem parçayı kalıptan çıkarmak için yeterli değilse sistem hidrolik veya pnomatik olarak harekete geçirilir. Elle harekete geçirilen itici sistemleri ise çok küçük veya prototip kalıplarla çok küçük sayılarda parçaların üretileceği ve küçük kuvvetlerin parçayı çıkarmak için yeterli olduğu çevrim sürelerinin çok önemli olmadığı kalıplarda kullanılır.

İtici sistemi hareketli kalıp yarısına yerleştirilmiştir. Kalıbın açılması itici sisteminin ayırma yüzeyine doğru hareket ettirilerek parçanın çıkarılmasına neden olur. Bu işlemin ön şartı parçanın hareketli kalıp yarısının üstünde veya içinde kalmasıdır. Bu da parça hareketli kalıp yarısındaki girintilerle veya parçanın çekirdek üzerinde çekmesine izin verilerek sağlanır. Yine de yüzeydeki aç ve yüzey kalitesi parçanın kalıba çok fazla yapışmasını önlemelidir.

Eğer kalıp çekirdeği sabit kalıp yarısında ise parçanın hareketli kalıp yarısında kalmaması problemi ortaya çıkar. Bu durumdan kaçınmak gerekir ya da çok daha detaylı bir itici sistemine ihtiyaç duyulur.

Büyük parçaların kalıptan çıkarılması itilerek yapılmamalıdır. Bu tür büyük parçalar iticiler ile kalıbın gevşetildikten sonra elle veya robot kollar vasıtasıyla kalıptan uzaklaştırılmalıdır.

İtme esnasında ürüne zarar verilmemesine dikkat edilir. Yerine göre, örneğin itici pin tarafından soğutma verilerek ileri geri hareketinde pin' in sarma yapması engellenir. İtici hızı parçaya göre optimal olarak ayarlanmalıdır.

4.10. Proses/Ürün Kalite Kontrol Parametreleri

İtme işleminden sonra bir arada toplanan plastik ürün görünüm, şekil bütünlüğü, taşıyacağı kuvvet ve güç miktarı, iki çıkıntı arasında istenmeyen kapanma (kaz ayağı), açıklık ve berraklık, taşıyabileceği stres miktarı, boyutsal tamlık, biçim bozukluğu veya çarpılma, kalıpsal arıza ve ekonomiklik kriterleri göz önüne alınarak kalite kontrol süzgecine tabi tutulur.

Dış görünüş olarak özellikle görünümün önemsendiği ürünlerde kavite giriş bölgesinin iyi seçilmemesi, dengesiz olarak verilen birden fazla giriş yerleri, zorunluluk dışında oluşturulmuş olan geometrik parça üzerindeki adacıklar veya delikler, uygun olarak oluşturulmayan hava tahliye kanalları yerleri veya boyutları gibi nedenlerle oluşan açılma veya birleşme çizgileri ile yanma durumları yanında ilerde mukavemet olarak zayıflatacak ve aynı zamanda görünümü bozacak gözenek problemleri oluşacaktır.

Düşük piston basıncı veya uygun oluşturulmamış yolluk kesitleri ve kavite girişleri nedeniyle tam dolmanın mümkün olmaması ve bunun yanı sıra gerektiğinde ısıtma ve gerektiğinde uygun soğutmanın yapılmaması nedeniyle de erken donmanın meydana gelmesi ile ürün bütünlüğü sağlanamamış olmaktadır.

Kavite boşluklarına giriş yeri ilerde ürünün çalışacağı ortam düşünülmeden verilmesi durumunda malzemenin kavite boşluğu içindeki ilerleyiş yönü taşıyacağı kuvvet veya ileteceği moment değerini karşılama kabiliyetini azaltacaktır.

Yine tasarım esnasında parçanın geometrisi mümkün olduğu kadar köşeli yapılmamalıdır. Bu sayede kuvvet yönlenmesi oluşturulacak bombelerle sağlanacak ve ürün daha yüksek düzeyde stresin altından kalmasının sağlanması için adım atılacaktır.

Enjeksiyon hızı optimal seçilmez ise yani aşırı olur ise aşırı sürtünme değeri nedeni ile yanmalar meydana gelecektir. Parlaklık gibi problemlerin ortaya çıkmaması için P-V-T etkenleri arasındaki oran değerlerine riayet edilmelidir.

Parçanın boyutlarının istenen toleranslarda elde edilmesi çok önemlidir. Örneğin aşırı yüklenen ütüleme basınç değeri fazla çekmeye neden olacaktır. Bu da beraberinde çarpılmaları meydana getirecektir. Kalıp yarımları arasındaki sıcaklık farkı mutlaka sıfırda tutulmaya çalışılmalıdır. Bu sayede 3D bir üründe Z- yönünde bir çarpılma meydana gelmeyecektir. Yine uygun bölgesel soğutmalar sayesinde çekme ve/veya bunun öncü olduğu çarpılmaların önüne geçilebilecektir.

Kalıp setinde olan her hata ürüne direkt veya dolaylı da olsa yansıyacaktır. Örneğin iyi kapanmamış bir ayırma yüzeyi malzeme kaçağı için bir yol olmaktadır. Dolayısı ile hem kalıp tasarımı hem kalıbın malzemesinin seçimi ve hem de kalıp alıştırma ve montajı esnasında kurallara titizlikle riayet edilmelidir.

Tüm bu sayılanlara ve ek etkenler nedeniyle yöneltilecek sorulara ürün cevap verebiliyorsa kalite kontrol yönüyle sınıfı geçecek demektir.

5.BİR DENEYSEL PARÇA ÜZERİNDE SONLU ELEMENLAR ANALİZ UYGULAMASI

5.1. Giriş

Bir plastik enjeksiyon prosesi; plastiğin hazırlanması (plastication), dolum (injection), ütüleme (packing), soğuma (cooling), itme (ejection) ve ürün kalite kontrol (process/part quality) aşamalarından ibarettir [Reilly, vd, 2001]. Kalıp tasarımı daha önceden ürün olarak elde edilmesi planlanan bir parçanın içerdiği fiziki geometriye göre yapılır. Bu tasarım esnasında kavite sayısı, parçanın geometrisi veya bir kalıp ailesi (family) oluşturup oluşturmaması dikkate alınır. Parçanın tekli-çoklu veya aile (family) tipi olmasına göre uygun yolluk tipi ve giriş yeri belirlenir. Yolluk şeması içinde balansa önem verilir. Bu, dengeli dolum için gereklidir. Kaviteye giriş yeri ve geometrisi gereksinimlere göre belirlenir. Parçanın oluşturulması için kullanılacak malzemenin çekme sınırlarının bilinmesi ve ayrıca ürünün rahat çıkarılması için gerekli tolerans değerlerinin verilmesi gerekir. Parçada yüzey görünümü önemli ise, hava tahliyesine, giriş geometrisi yerine ve adetine uygun sistem oluşturulur. Sıcak-soğuk yolluk tipi dikkate alınarak hazırlanan kalıp seti enjeksiyon makinasına bağlanır ve ilk olarak alıştırma işlemine tabi tutulur. Daha sonra uygun şartlarda dolum işlemi yapılır. Dolum işlemi ardından kavite giriş basınç profili göz önünde bulundurularak belirli bir süre ütüleme işlemi gerçekleştirilir. Eğer ürün kısa sürede–kaliteli olarak basılacaksa soğutma sistemi kalıp geometrisi üzerinde oluşturulur. Tüm bu işlemlerin devamında, ürünün uygun adım ve hızda itilmek süreti ile makine ürün sepetine ulaşması sağlanır ve ardından, parça kalite kontrole tabi tutulur.

5.2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, iki kaviteli soğuk yolluk sistemiyle basılarak üretimi yapılan bir parçanın boyutsal sınırlarına daha iyi ulaşmak amacıyla, parça yeniden tasarlanmıştır (yeni tasarımda parçanın yıkama ve sıkma süre aralığını belirleyen tahrik mesafesi daha kısadır). Parçanın yeniden tasarımı esnasında tek bir malzeme

kullanılacağı kabul (Arçelik A.Ş. firmasının yıllık yaptığı malzeme sipariş anlaşması sınırlaması) edilmiştir. Yeni parçanın işletme şartları göz önüne alınarak ideal kaviteye giriş yeri, uygulanacak yolluk tipi, kavite sayısı, yolluk kesit tipi gibi parametreler Moldflow sonlu elemanlar programı yardımıyla analiz edilerek belirlenecektir. Burada sıcak ve soğuk yolluk şartlarında dolum, ütüleme ve tek kaviteli (sıcak yolluklar tek kavite gibi modellenir) durum için çarpılma analizleri yapılacaktır. Ayrıca soğuk yolluk kullanılması durumu için değişik yolluk kesitlerinin, aynı dolum süresi değerleri için, basınç büyüklüklerinin analizi yapılarak bunların parça üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

5.2.1. Deneysel Parça Özellikleri

Parça Adı :Çamaşır makinası PC Düğme Altlığı (kamlı),
Parça Ağırlığı ve Hacmi :18 gr, $\sim 15\text{cm}^3$,
Parçanın Görevi :Çocuk kilidi, montaj imkanı sağlama, program geçişleri arasındaki yıkama tipi-sürecini belirleme ve konumu belirleme (hassas bir geometrik yapı gerektirmekte) deterjan sistemini tahrikleme,
Parçanın Basılacağı Malzeme: Ticona (Europa) Hostaform – POM (Polyacetal) C 9021 G 60307 kristal yapılı mühendislik malzemesi,
Parçadan Beklenen Fiziksel Özellikler : Isıya dayanıklı (ısıyan suyun geçtiği bölgede olduğundan), mukavemet özelliği iyi (tahrik görevi).

5.2.2. Malzeme Bilgisi ve Mühendislik Plastikleri

Mühendislik plastikleri, ticari plastiklerin dışında kalan satış fiyatları yüksek ve kullanımı az miktarda olan plastiklerdir. Bu plastikler, yüksek sıcaklıklarda daha iyi mekanik özellikler ve ısı altında yüksek eğilme direnci gösterirler (heat deflections).

Bu plastik türleri genelde; dar toleranslı, sabit boyutlu parça özelliklerinin elde edilmesi, yanma direnci, yüksek mukavemet, aşınma direnci vb. malzeme özelliklerinin elde edilmesi ve ağırlık-maliyetten tasarruf için metal parçalarının yerine kullanılırlar.

Lif (elyaf) katkılı olanlarda ısı iletkenliğine rastlanır. Mühendislik plastikleri karşılaştırması yapılırsa; amorf (amorphe) malzemeler yavaş katılaşma hızlarından dolayı yolluk giriş bölgesinde, kristal yapılı mühendislik plastiklerine göre, çok daha fazla bir soğutmaya ihtiyaç duyarlar. Mühendislik plastiklerine birkaç örnek verilecek olursa:

*Amorf yapıda : Polycarbonate-PC vb.

*Kristal yapılı malzemeler: Polyamide11 – PA11, Polyacetal-POM vb.

[Gevrek, 1998]

Mühendislik malzemeleri özellikle düşük viskozite isterler. Moleküler ağırlıklarında düşme olmamaktadır [Selden, 2000]. Bu çalışmada aşağıda özellikleri verilen plastik malzeme kullanılacaktır.

Ticari adı: Ticona (Europa) Hostaform–POM (Polyacetal) C 9021 G 60307 VI (200) 225

Termal özellikleri:

Eriyik Yoğunluğu : $1,2\text{gr/cm}^3 = 1199,000122\text{kg/m}^3$

İtme (Kalıptan Atılma) Sıcaklığı : 165 C^0

No Flow (Akışın Olmadığı) Temperature: 160 C^0 (bu sıcaklıkta malzeme akmamaktadır).

Viskozite: 50.7 Pa.s

Tavsiye edilen kalıp ve eriyik sıcaklığı: Sırası ile 90 ve 200 C^0 (Ütüleme sonunda).

Malzeme karakteristikleri: .

- Kristal yapılı malzemesi elyaf katkısız ,
- Eriyik akış - dolum oranı : $0,8\text{cm}^3/\text{dak}$,
- Emsallerine nazaran mekanik ve ısıya dayanımı iyi [Moldflow, 1999]

5.2.3. Kalıp Malzemesi

Kalıp malzemesi olarak alaşımlı çelik P-20 kullanılacaktır. Bu malzeme; genellikle ölçü tamlığı, yüzey temizliği ve seri üretimi gerektiren parçalar için uygundur. Uzun süre özelliklerini koruduğundan kalıp ömrünü artırır. ISI P-20 alaşımlı çeliği değişik boyutlu kalıpların yapımında kullanılır. Sertliği 32- 35 Rc' dir. Genellikle düşük viskoziteli plastik malzemelerin kullanılacağı kalıpların yapımında kullanılır. Aşınmaya ve ısıya karşı direnci iyidir [Uzun, ve Erişkin, 1984].

Kalıp takımı makinaya bağlanarak (montaj) alıştırma işlemine tabi tutulur (ayrım yüzeyleri arası sızdırmazlık kontrol).

5.2.4. Analizde Kullanılan Yazılımlar

Parça tasarım esnasında Bilgisayar Destekli Tasarım (I-DEAS Master Series 7M1) paket programı ve dolum analizinde MoldFlow Plastics Insight analiz programı kullanılmıştır. Mesh tipi olarak Midplane Mesh Şekil 5.1 de gösterilmiştir. Reifschneider [2001]'in Polycarbonate-PC ve high impact polistirene malzemesini kullanarak yapmış olduğu dolum analizi çalışmasını deneysel olarakda destekleyici nitelikte, belirli sürelerde dolumu durdurarak (short shuts) gerçekleştirmiştir. Analiz uygulamasını, Part Adviser ve Fusion (Automatic surface mesh), MoldFlow Plastics Insight (Midplane Mesh) simulasyon programlarını kullanarak yapmıştır. En iyi sonucu Midplane Mesh ağına sahip Analiz rapor verileri olduğuna karar vermiştir. Yapılan çalışmada Midplane Mesh, bu veriler dikkate alınarak seçilmiştir. Midplane mesh'te, üç boyutlu bir parçaya ait geometri lineer sınırlar dahilinde akışın bir yüzey boyunca olduğu varsayılır ve iki boyutta ele alır. Dolayısı ile parça geometrisinin orta yüzeyleri çıkartılır ve mesh atılırken her yüzeye o yüzeye ait kalınlık mesh esnasında verilir. Böylece Midplane Mesh'i kabul eden Moldflow Plastics Insight (MPI) plastik dolum analiz programı hesaplama esnasında yüzeyleri akışa ait yönlendirme, kalınlığı ise ürünün alacağı şekli tanımada kullanır.

Part adviser ürün tasarımının başlangıç aşamasında plastik parçanın imalat edilebilirliği ile ilgili analizi yapar ve bulunan problemlerin giderilmesi için önerilerde bulunur. Part adviser gaz boşluklarını ve kaynak birleşme yerlerini hassas bir şekilde tespit eder. Ayrıca plastiğin doluş şekli, basınç ve sıcaklık dağılımı ile ilgili grafikler oluşturur. Üç boyutlu, katı tabanlı, CAD sistemleri ile entegre ve öğrenimi ve kullanılması kolay bir ara yüze sahiptir. Mold adviser kalıp tasarımcılarına ve imalatçılara kalıbın hazırlanması ve optimizasyonu için çalışmanın başlangıcından itibaren yol gösterici bilgiler sağlar.

Mold adviser, part advisere ilave olarak bağlantı kanalları ve parçanın pozisyonu ile ilgili bilgileri analize katar. Kapama tonajını, döngü zamanı gibi diğer tahminlerini de verir. Dynamic series fusion, katı nesnelerin (solid model) analizinde kullanılır. Önemli ölçüde zaman kazancı sağlar. Detaylı analizler için CAD modeli hazırlamanın hızlı ve kolay yoludur. Dynamic series fusion, karmaşık geometriye sahip parça tasarımı yapan ancak enjeksiyon analizi için midplane model oluşturmaya zamanı olmayanlar için geliştirilmiştir.

3 boyutlu katı modeller direk olarak MF/FLOW-FUSION, MF/COOL-FUSION ve MF/OPTIM_FUSION ile analiz edilebilir. Fusion ile direk olarak adviser serisinden gelen dosya ya da 3D CAD katı modeli üzerinden analiz yapmak mümkündür. Dynamic series midplane model de MF/FLOW imal edilmek üzere tasarımı yapılan parçanın kabul edilebilir kalitede olması için kalıp içinde plastiğin enjeksiyon sürecinde akışını gösterir.

MF/COOL, MF/COOL for GAS ile ise kalıp soğuma analizi kalıbın ve soğutma kanallarının, parçanın ve kalıbın homojen bir şekilde soğumasını sağlayacak şekilde tasarımının yapılmasını sağlar.

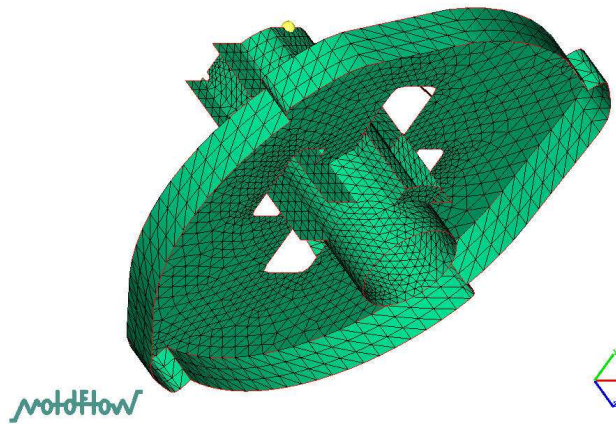
MF/WARP mamuldeki çekme ve burulmanın analiz ve kontrolünün yapılmasını ve parçanın kabul edilebilir olup olmadığının analizinin yapılmasını sağlar. MF/STRESS plastik enjeksiyon analizi yapılan parçaların mukavemet

analizlerinin yapılmasını sağlar. MF/OPTIM enjeksiyon makinasının optimum çalışma değerlerini bulup direk olarak Bilgisayar Destekli Mühendislik paket programı analiz rapor sonuçlarını enjeksiyon makinasına aktarmayı mümkün kılar. MF/FIBER plastik liflerinin hesaplanması ve analizi için kullanılır.

MF/MIDPLANE otomatik olarak midplane oluşturulmasını ve mesh'i oluşturulmuş katı modelin moldflow CAE analiz sisteminde analize hazır hale getirilmesini sağlar. MF/GAS gaz enjeksiyon kalıp komponentlerinin dizaynı ve optimizasyonu için kullanılır.

MF/TSETS termosetting polimerler için akış analizi ve dizaynı için kullanılır. MF/VIEW moldflow dynamic series için güçlü post yeteneklerini sunar. Modellerin görülüp incelenmesini sağlar.

MF/FLOW 3D üç boyutlu analiz ihtiyacı, basit ve kolay model yaratılması, modele uygun mesh yaratılması ve detaylı analiz sonuçları gibi imkanlar sunmaktadır. Kalın yada midplane hesaplaması zor olan plastik parçaların tasarımı yapılıyorsa MF/FLOW 3D ihtiyaca cevap verecektir. MF/FLOW 3D kalın cidara sahip parçaların analizini ve diğer yazılımlar ile yapılması imkansız olduğu durumlarda çözüm sunabilmektedir.



Şekil 5.1. Parçada mesh uygulamasının gösterimi

5.2.5. Analizde Kullanılan Yolluk Şeması ve Yolluk Kesitleri

Plastik kalıpcılığında radial, h-tipi ve grid tipi yerleşimi yolluk (runner layout) şemaları üretim şartlarına göre tercih edilmektedir.

5.2.5.1. Yolluk Şeması-Kavite Yerleşimleri

Tek ayırma yüzeyi için runner layoutlar seçilirken tüm kavitelere eşit akış boyu, dolayısı ile uniform olarak dolum için özel tedbirler gerekmemesi, daha büyük yolluk hacminin olmaması, yolluklar boyunca (soğuk yolluklar için) daha fazla atıl malzeme miktarının olmaması ve malzemenin yolluklarda çok çabuk soğuması gibi problemlerle daha az karşılaşmak için Üçüncü Bölüm Şekil 3.6 da verilen yolluk şekilleri tercih edilmiştir [Alkaya, 1998].

5.2.5.2. Kullanılan Yolluk-Kesit Şekilleri

Plastik enjeksiyon kalıpcılığında ihtiyaca göre birçok yolluk kesitleri kullanılır. Çalışmada Şekil 3.5 de verilen yolluk kesitleri kullanılacaktır. Kullanılan runner uzunlukları ve kesit alanları eşit tutulmuştur. Amaç hangi kesit tipinin aynı sürede en az basma basıncına ihtiyaç duyduğunu anlayıp, çalışmaya o kesit tipiyle devam etmektir.

Soğuk yolluk kullanılarak yapılacak analiz çalışmasında yolluk kesitleri, eşit yolluk uzunluğu ve eşit kesit alanı kullanılarak yapılacaktır. Dairesel kesit girişli bir sistemde debi iletimi aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$Q = \pi \cdot R^4 P / 8 \cdot \eta \cdot L$$

Bu debi eşitliğinden hareketle elde edilen dairesel kesitli yolluk kesit alanı diğer kesitler için temel alınmıştır. Diğer kesitlerin parametreleri dairenin alanına eşit değerlerde kesit oluşturacak şekilde seçilmiştir.

Burada;

P: Birim yüzeye gelen basınç, kg/mm^2 ,

L: Giriş kanalı boyu, mm,

η : Kalıplanan plastik malzemenin viskozitesi, Pa.s.

Buradan hareketle;

Dairenin kesit alanı :	$A = \pi \cdot R^2$
Yarım dairenin kesit alanı:	$A = R_1^2 = 2 \cdot R^2$
Trapez kesit alanı:	$A = \frac{B+C}{2} \cdot H = \pi \cdot R^2 / H$
Dikdörtgenin kesit alanı:	$A = E \cdot D$
Altıgenin kesit alanı:	$G = 6 \cdot F$ ve $2 \times R = L$

formülleri yardımıyla hesaplanır. Burada;

R : Dairenin yarıçapı	mm
R_1 : Yarım dairenin yarıçapı	mm
B: Trapezin kısa kenarı	mm
C: Trapezin uzun kenarı	mm
D: Dikdörtgenin kısa kenarı	mm
E: Dikdörtgenin uzun kenarı	mm
F: Altıgenin kenar uzunluğu	mm
H: Trapezin yüksekliği	mm
L: Altıgenin alanına eş düşünülen dairenin yarıçapı	mm
A: Kesit alanları	mm^2
G: Altıgenin çevre uzunluğu	mm
π : pi sabiti	

şeklinde ifade edilmektedir.

Dairesel kesitlerde kesit alanına göre düşük ısı ve sürtünme kayıpları, yavaş soğuma hızı, kanal merkezinin en son donması nedeniyle ütüleme basıncının etkili

bir şekilde iletilmesi mümkün iken dezavantaj olarak işleme zorluğu ve onun getirdiği pahalılık sayılabilir. Parabolik kesitler dairesel kesite en iyi yaklaşımdır. Tek bir kalıp yarısına işlenmeleri, dairesel kesitlere göre tercih edilebilir üstünlüğüdür. Fakat dairesel kesite göre daha fazla ısı kaybı söz konusudur. Soğuk yolluklu kalıplarda malzeme kaybı fazladır. Trapez kesitler parabolik kesitlere alternatif olarak çözüm olabilir fakat daha fazla ısı ve malzeme kaybı olur. Yarım daire ve dikdörtgen kesitler kaçınılması gereken kesit tipleridir [Alkaya, 1998]. Dairesel kesitlere alternatif olarak altıgen tipi yani her iki kalıp yarısına açılmış eşkenarlı trapez birleşimi alternatif olabilir. Fakat malzeme ve ısı kaybının fazla olması dezavantajdır.

5.2.6. Tezgah Bilgileri

Çalışmanın deney aşamasında ARBURG marka yatay çalışan, Kapama maksimum kuvvet: ~200 ton, Max basma basıncı: ~100-120 mpa, Screw press:0.02 sec, Shot size: 0.02 kg özelliklerine sahip bir enjeksiyon presi kullanılmıştır.

5.3. Analiz Çalışmaları

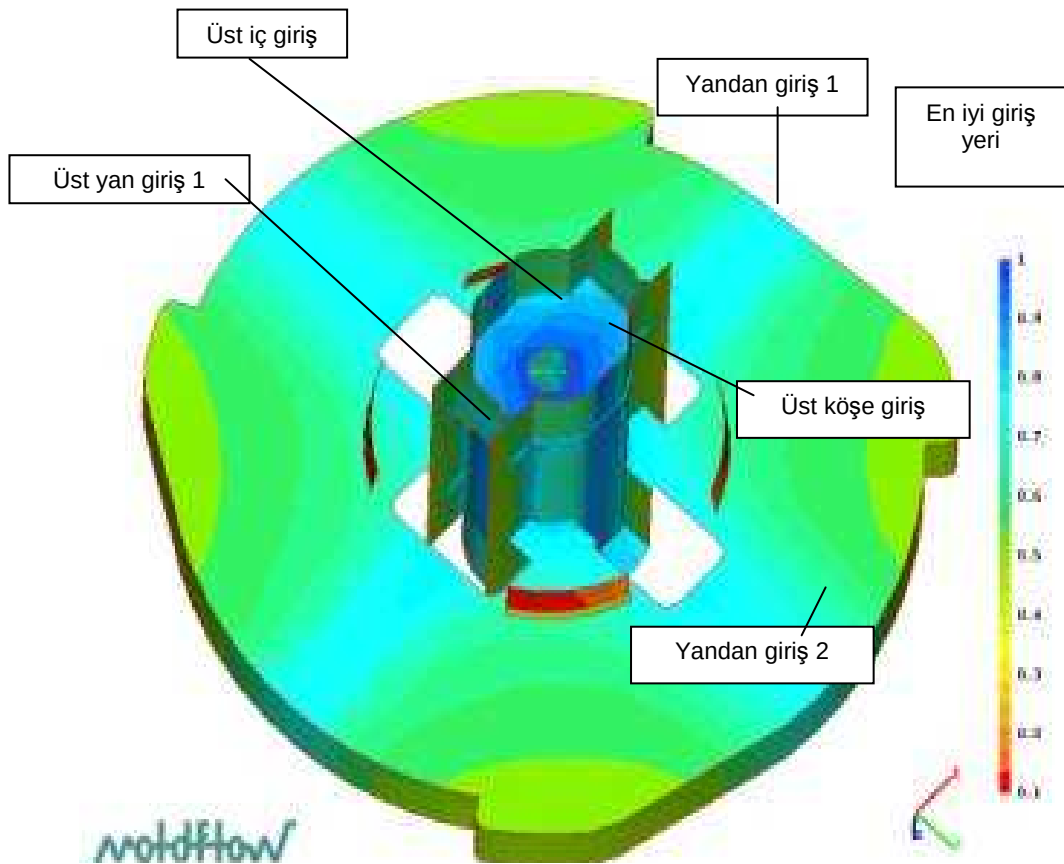
5.3.1. En İyi Kavite Giriş Yeri Belirleme Analizi

En iyi kavite giriş yeri “Best gate location” belirleme analizi parçaya ait kavite boşluğuna en iyi girişin verilmesi için ön fikir verir. Kalıp açılma çizgisi yeri, yolluk şeması yapılandırması vb. işlemler kavite girişi göz önüne alınarak yapılır. Yapılan analiz çalışmasında 5 değişik bölge için en iyi giriş bölgelerini simgeleyen mavi renk dağılımının olduğu gözlemlenmiştir.

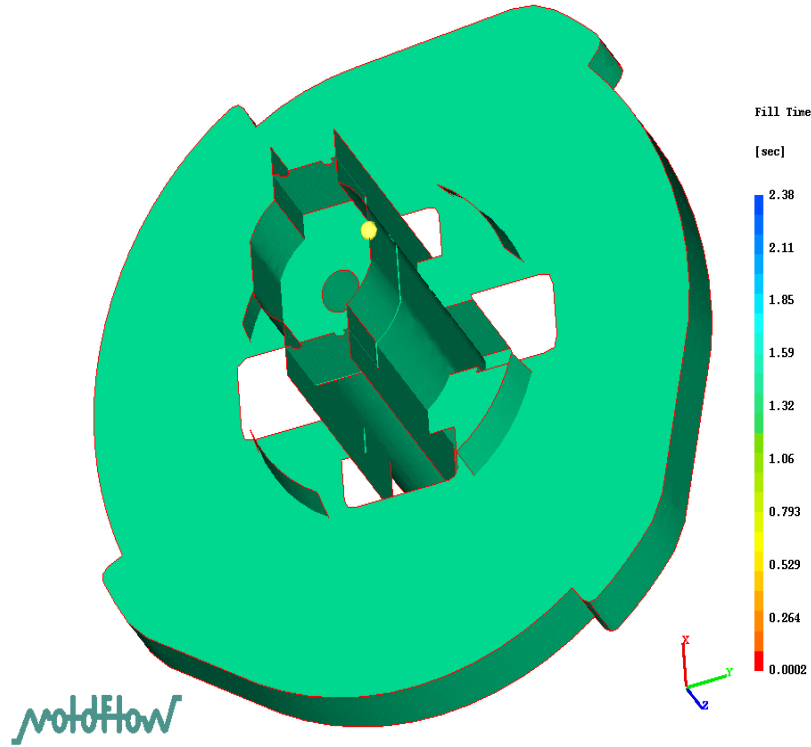
Şekil 5.2 de görüldüğü gibi mavi renkli bölgeler giriş için uygun iken, kırmızı renkli bölgeler ise girişe elverişli olmayan bölgelerdir. Kavite girişleri yeri doğru seçilmeyen plastik ürünlerinde enjeksiyon sonrası birleşme çizgileri ve gaz boşluklarının oluşturduğu yüzey görünüm bozuklukları, yer yer sıkışan gazların oluşturdukları yanmalar ve gözenekler nedeniyle mukavemet kayıpları gibi problemler ortaya çıkmaktadır.

5.3.2. Dolum, Ütöleme ve Çarpılma Analizleri

Kavite boşluğuna girişin verilmesinin ilk analiz rapor çıktısına göre uygun 5 bölge için, en ideal olan bölgenin seçilmesi istemi ile ayrı ayrı dolum analizi yapılmıştır. Dolum analizi parçanın dolum (filling time) süresini, en yüksek basınç değeri ve ütöleme süresine temel teşkil edecek soğuma süresini belirlemek için yapılır. Burada yalnız üst köşe giriş bölgesi için sonuç Şekil 5.3 de verilmektedir. Karşılaştırmaya tabi tutulacak olan dolum süreleri ayrı ayrı elde edilir. Bu değerler Tablo 5.1 de verilmektedir.

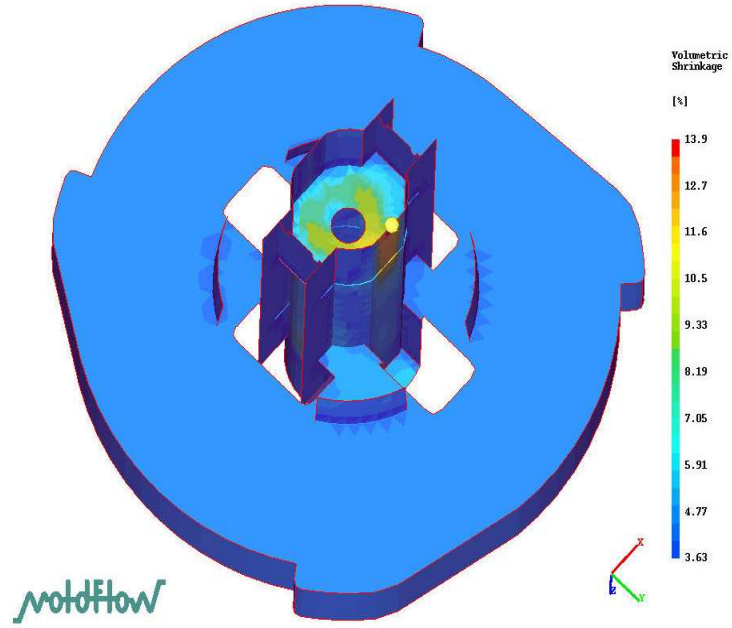


Şekil 5.2. En iyi giriş bölgelerini gösteren renk dağılımı



Şekil 5.3. Üst köşe girişli dolum analizi

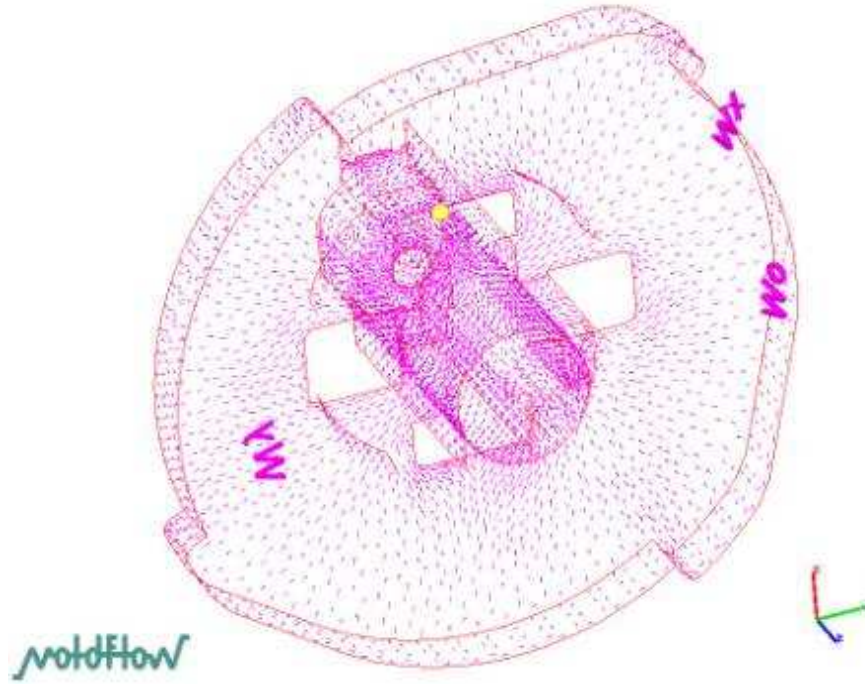
Dolum analizinin ardından parça ütüleme analizine (Ütüleme analizi, kavite içi tam dolumu sağlamak için yapılır. Soğuma nedeni ile çekme ve eksik dolan kısımların tamamlanması sağlanır) tabi tutulur. Ayrı ayrı yapılan dolum analizlerindeki en büyük basınç değerleri ile kavite içi renk dağılımlarından anlaşılan soğuma (cooling) süreleri dikkate alınarak kavite boşluğuna yönelik basınç uygulaması (ütüleme işlemi) 5 giriş yeri için ayrı ayrı uygulanır. Ütüleme sonunda parçanın hacimsel çekme (müsaade edilebilir sınırlarda olup olmadığı) oranı gözlenir. Üstköşe giriş bölgesine ait sonuç resim ve değerleri Şekil 5.4 de verilmektedir. Ayrıca Tablo 5.1 de sayısal değerler ifade edilmektedir. Soğuma zamanı süresi ütüleme süresini etkileyen faktörlerin başında geldiğinden iyi bir seçim yapılmalıdır. Aksi takdirde uzun süreli basınç uygulanması üründe fazla çekme gibi problemleri açığa çıkaracaktır.



Şekil 5.4. Üst köşe girişli ütüleme analizi hacimsel çekme renk dağılımı

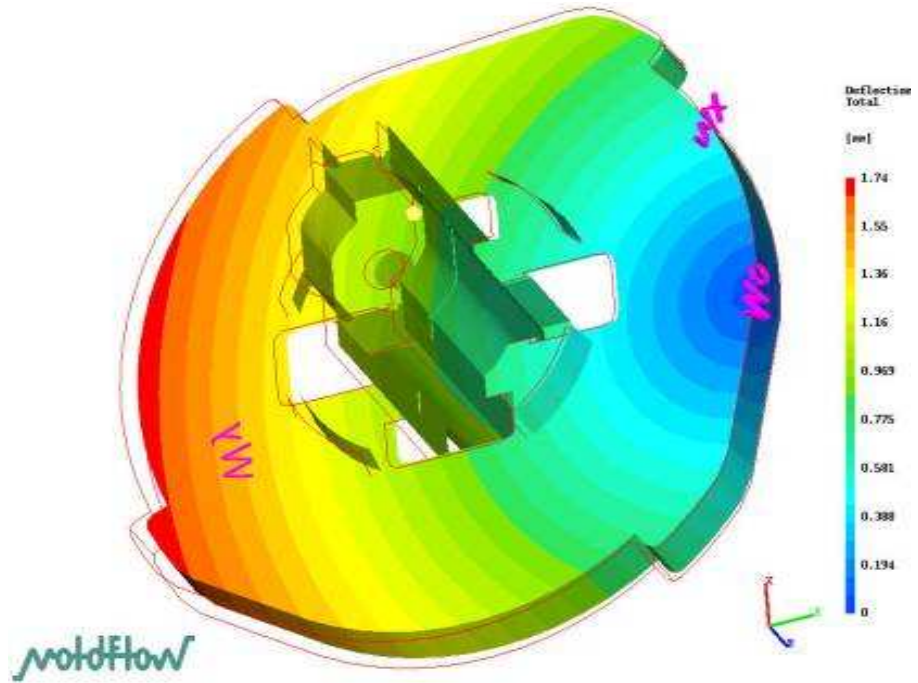
Parçaya ütüleme analizi ardından x, y, z yönlerinde parçada meydana gelebilecek toplam uzama- kısıalma veya sapma (total deflections) dağılımını görmek için çarpılma analizi 5 ayrı giriş yeri için yapılır. Bu analiz uygulamasının amacı üründe olabilecek düzensiz çekmenin olup olmadığını anlamak ve ayrıca ürünün çalışma ortamında kaldırabileceği stresi tahmine yöneliktir.

Malzemenin kavite içindeki ilerleme yönlenmesi (parçanın kullanım yerinde karşılaşacağı zorlanmalara karşı daha mukavemetli olması için parça malzemesinin, malzeme ilerleme yönünün zorlanmalara dik olması istenir) hakkında bilgi edinmek için malzeme (lif) yönlenmesi (material orientation) incelenir. Şekil 5.5 de malzemenin kavite içindeki dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.5. Plastik malzemenin kavite içindeki ilerlemesi

Toplam uzama-kısalma (sapma) ile ilgili veriler Şekil 5.6 da verilmektedir ve ayrıca sonuç değerleri. Tablo 5.1 de sunulmaktadır.



Şekil 5.6. Üst köşe giriş için çarpılma (toplam uzama- kısalma) analizi sonuç renk dağılımı

Kırmızı renk içeren bölgelerde (seçilen optimal başlangıç noktasına göre) daha çok çarpılmanın meydana geldiği görülmektedir.

Muhtemel çarpılma problemleri Tablo 5.2 de verilmektedir.

Tablo 5.1.Tek kavite değişik (mavi renkli) bölge giriş dolum, hacimsel çekme ve toplam uzama değerleri

Giriş yeri isimlendirme	Dolum zamanı (sec)	Hacimsel çekme (%)	Toplam çarpılma (mm)
Üstköşe girişli	2.38	13.9	1.74
Üstüçten girişli	1.93	15.1	1.74
Üstyan giriş	1.92	14	1.77
Yandan giriş 1	2.15	11.1	1.74
Yandan giriş 2	2.05	14	1.75

Sonuçlara bakıldığında kaviteye giriş yeri olarak verilen “Yandan giriş1” ile “Üst köşe girişli” bölgelerin uygun seçim olabileceği gözükmemektedir.

Tablo 5.2. Muhtemel çarpılma problemleri

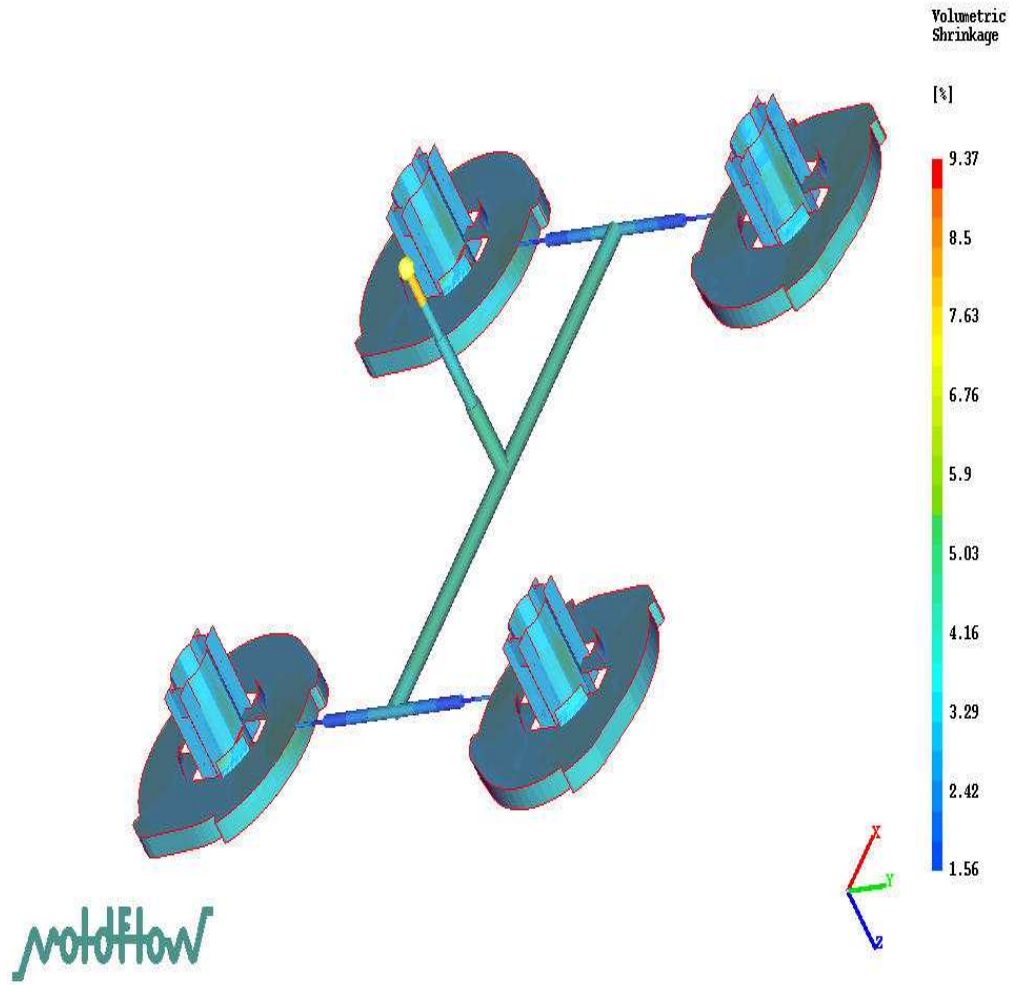
Çarpılma Problemleri	
Çarpılma problemleri ve çözümleri	Görülecek sonuçlar
Yönlenme (akış doğrultusu)	Bağıl sapma, paralel çekme, dikey çekme, nufuziyet yönü, paralel sapma, dikey sapma
Çekme farklılıkları	Bağıl sapma (isotropic çekme)
Soğuma farklılıkları	Hacimsel Çekme, bağıl sapma

5.3.3. Kavite Sayısı ve Yolluk- Kesit Tipinin Belirlenmesi

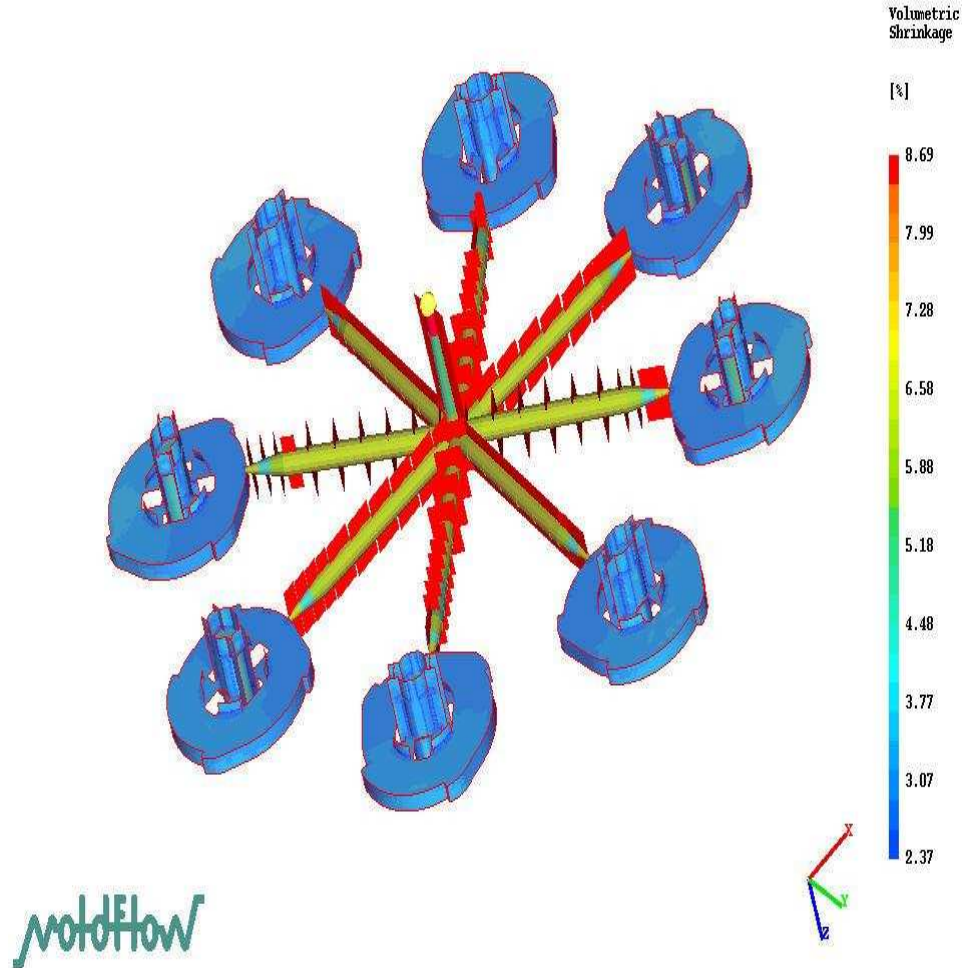
5.3.3.1. Kavite Sayısının Belirlenmesi

Soğuk yolluklar için daha uygun olan “Yandan giriş1” giriş bölgesi dikkate alınarak kavite artışının (balansı yapılan 4 ve 8 kavite dağılımına göre) ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenir. Hacimsel çekme (volumetric shrinkage) ve x, y, z yönlerinde toplam uzama veya kısalma (total deflection) değerleri müsaade edilir toleransta olursa, parça kaliteli olarak o sayıda basılabilir demektir. Bu incelemeler sırası ile dolum analizleri, oluşturulan basınç profilleri ile ütüleme işlemleri ve

Çarpılma analizleri sonuçları Tablo 5.3 de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.7 de ve Şekil 5.9 da 4 ve 8 kavite soğuk yolluk sistemi ile yapılan ütüleme analizi sonucu elde edilen hacimsel çekme oranları verilmektedir.



Şekil 5.7.Yandan girişli 4 kaviteli soğuk yolluk hacimsel çekme oranı incelemesi



Şekil 5.8. Sekiz Kaviteli yandan giriş verilen soğuk yolluk çalışması

Tablo 5.3. Dört ve sekiz kavite için soğuk yolluk sistemi ile çalışılarak elde edilen hacimsel çekme oranı ve toplam uzama değerleri.

Gözenek adedi	Dolma zamanı (sec)	Hacimsel çekme (%)	Toplam çarpılma (mm)
4	2.71	9.37	6
8	3.8	8.69	5.11

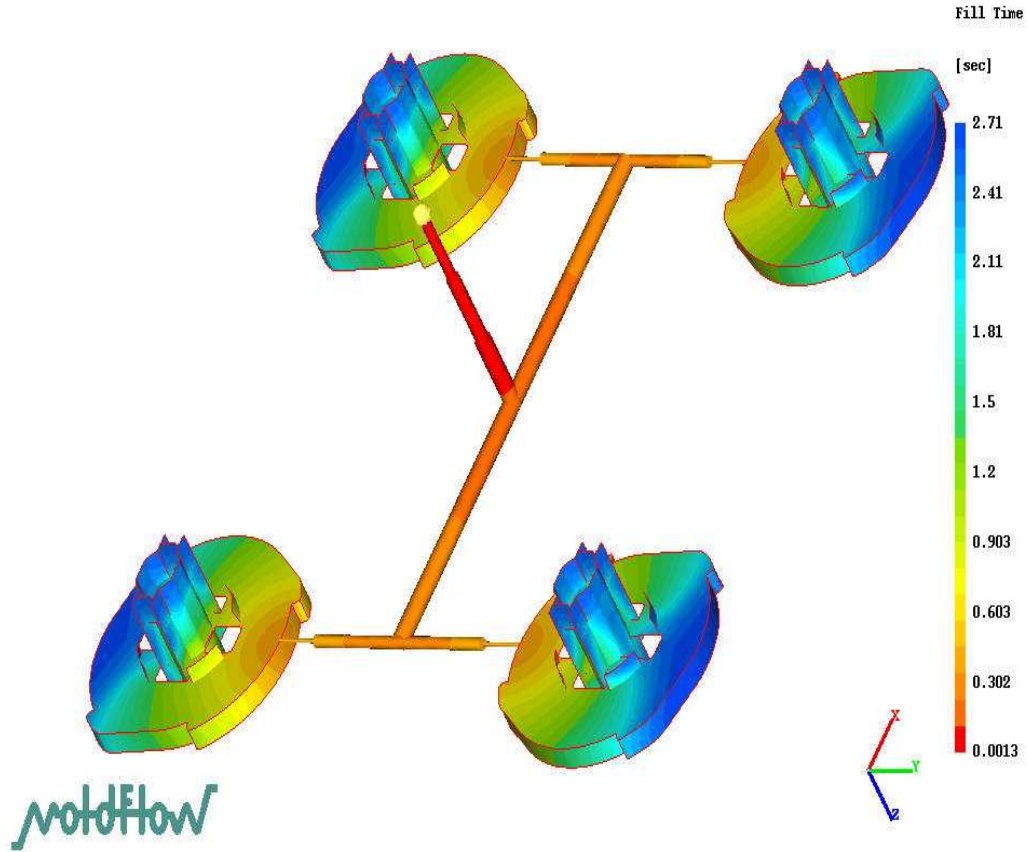
Soğuk yolluk sistemi kullanılarak yapılan analiz çıktılarına bakıldığında ürün kalitesi yönünden ve adet avantajı olarak 8 gözenekli şematik dağılıma sahip kalıp ile basım işleminin yapılması uygun gözükmemektedir. Fakat 8 gözenekli (kaviteli) kalıbın 4 gözenekli kalıp setine nazaran işçilik, ek maliyet ve yüksek kapasiteli makine talebi

nedeni ile enerji kaybı yüksek olacaktır. Kalıp işçiliği bakımından kalıbın boyutlarının artması, kalıp yarımları ve seti üzerinde yapılacak işlemlerin yaklaşık iki katına çıkması gibi durumlarla karşılaşılırken ek maliyet yönünden ise kalıp malzemesi, kalıp seti eleman adedi, yolluklardaki kayıp malzeme artışı, tamirat vb ek giderle karşılaşılacaktır.

Tanımlayıcı etkenlerden biride firmanın istekleri olmaktadır. Firma 1.5 ay gibi bir sürede 500 bin adet ürünün üretiminin plan dahilinde olduğunu ifade etmektedir. Dolayısı ile 3 vardiya tam kapasite ile çalışan bir plastik enjeksiyon makinası 4 gözenekli kalıp seti sayesinde 1 ay 20 gün 16.8 saatte 500 bin adete ulaşmaktadır. Ayrıca enjeksiyon makinesinin saat başına maliyetinin 100\$ olduğu kabul edilirse, parça başına maliyet 0.09\$ (bir parça için gerekli tüm giderler dahil) olmaktadır. Görüldüğü gibi 4 kavite ile şematik yapı kazandırılan kalıp ile basım süresi de hedeflenen süreyi aşırı zorlamamaktadır. Bu veriler ışığında 4 kavite adedine karar verilmiştir.

5.3.3.2. Yolluk Kesit Tipinin Belirlenmesi

Kavite sayısını belirlemek için kullanılan dairesel kesitli runner tipinin uygunluğunun hem kontrol edilmesi hem de önceki çalışmayı destekleme niteliğinde 5 ayrı geometri (dairese, yarım dairese, altıgen, trapez ve dikdörtgen) üzerinde çalışılmaktadır. Yolluk uzunlukları ve kesit alanları eşit olmak şartı ile aynı süre için belirlenen runner kesit tiplerinin dolum analizleri yapılarak elde edilen değerler Tablo 5.4 de verilmektedir. Bu analizlerden örnek olarak alınan dairesel kesit sonuçları Şekil 5.9 da verilmektedir.



Şekil 5.9. Dört kaviteli dairesel kesitli yolluk analizi

Aynı süre için en az basma değerine (basınç=MPa) ulaşan dairesel kesitli yolluk tipi tercihinin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Tablo 5.4. Değişik yolluk kesit tiplerinin dolum analiz sonuçlarına göre basınç değerleri

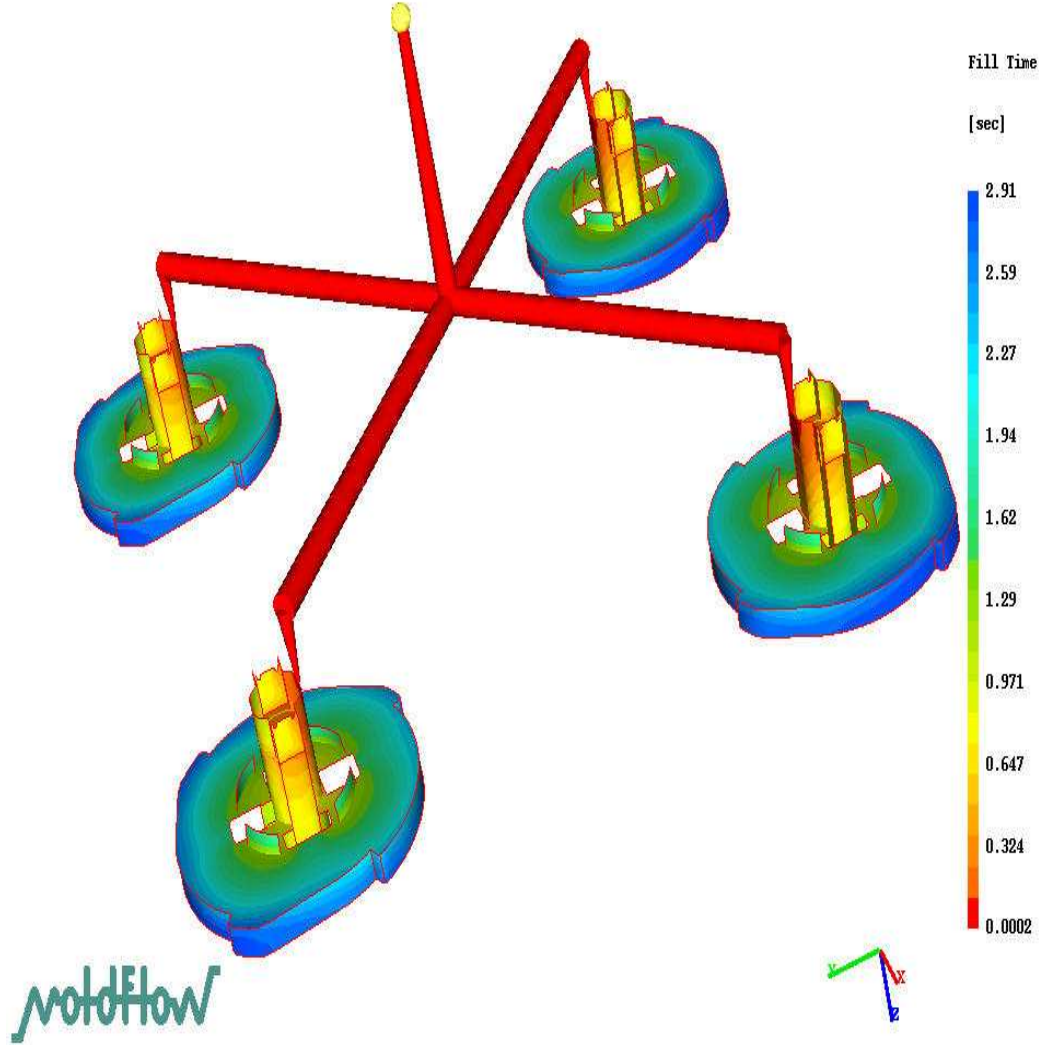
Yolluk kesiti	Dolum zamanı (sn)	Basınç (MPa)
Dairesel	2.71	67.2
Altıgen	2.71	69
Yarım dairesel	2.71	74
Trapez	2.71	71
Dikdörtgen	2.71	75

5.3.4. Sıcak-Soğuk Yolluk Sistemlerinin Karşılaştırılması

Bu kıyaslama Şekil 5.2 de gösterilen en iyi giriş bölgelerinden “Yandan giriş 1” soğuk yolluk uygulaması için, “Üst köşe giriş” bölgesi ise sıcak yolluk uygulamasına yönelik olarak seçilmiştir. Amaç, hacimsel çekme oranı ile ilgili çıkan sonuçlar doğrultusunda sıcak veya soğuk yolluk sisteminden birine karar verilmesidir. Önce belirlenen giriş yerlerinden dolum analizi, ardından da bu giriş yerleri şartlarından elde edilen değerlerle de basınç profili oluşturularak dolum süreleri ve hacimsel çekme oranlarını karşılaştırmaktır. Şekil 5.10 da dört kaviteli sıcak yolluk analiz sonuçları verilmektedir. “Üst köşe giriş” için sıcak yolluk dolum uygulaması görülmektedir. Ayrıca bu giriş bölgelerine ait dolum süreleri ve hacimsel çekme oranları Tablo 5.5 de verilmektedir.

Tablo 5.5. Dört kavite için, belirlenen giriş bölgelerine ait dolum süreleri ve hacimsel çekme oranları

Giriş yeri adı	Dolum zamanı (sec)	Hacimsel çekme (%)
Üstköşe giriş	2.91	11.3
Yandan giriş 1	2.71	11.3



Şekil 5. 10. Dört kaviteli sıcak yolluk analizi

Sonuçlar incelendiğinde parça kalitesine etkileri (hacimsel çekme oranı) her iki giriş için aynı olması ve sıcak yolluk uygulamasının (ek ısıtma vb. Maliyetler getirir) üretilen parçanın basma adedi sayısına göre soğuk yolluklarda atıl hale gelen malzeme miktarı göz önüne alındığında daha ekonomik olması) üst köşe girişli bölgenin uygun olduğuna karar verilerek “4 kaviteli sıcak yolluk sistemi” deney çalışması için tercih edilmiştir.

5.3.5. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tüm analiz çalışmaları sonuç çıktıları göz önüne alınarak 4 kaviteli üstten girişli sıcak yolluk (manifold) ile parçanın basılmasına karar verilmiştir. Sıcak yolluğun karakteristikliği gereği yolluktaki malzemenin sıvı kalması için kullanılan düzenek pahalı da olsa, soğuk yolluk sisteminde yolluklarda atıl hale gelen malzeme miktarı ile 500 bin adette yaklaşık olarak 6608 adet parça kazanımı sağlanmakta ve ayrıca üstten girişte kullanılan manifold daha kolay enjekte işlemi sağlanmaktadır. Yine ilave olarak enjekte noktasının üstten verilmesine karardaki etkenlerden biride “Best gate location” analizi sonuçların da elde edilen mavi renk yoğunluğudur. Kalıp tasarımı bu analiz çıktıları göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

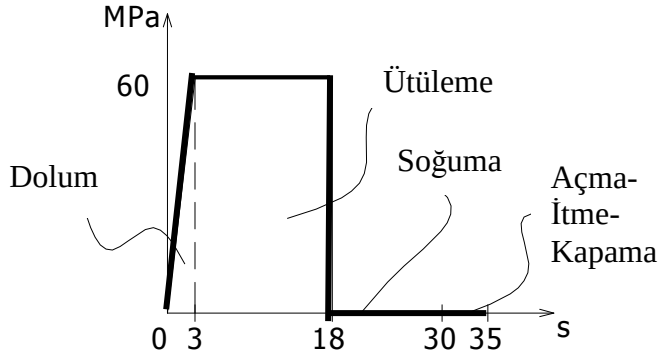
5.4. Deney Uygulaması ve Deneysel ve Analiz Sonuç Değerlendirmesi

5.4.1. Deney Uygulaması

Malzemenin hazırlanması ve makinaya gerekli giriş değerleri (makine inputları), girildikten sonra dolum çalışması başlatılmıştır. Bu çalışmada soğutma sıvısı olarak su kullanılmaktadır (çekirdek sıcaklığını sabit tutmak için 80 derecede su girişi sağlanmaktadır). Ayrıca itici tarafından da 30°C sıcaklıkta su verilerek sıvama probleminin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Oluşabilecek ısı kayıplarına karşı tedbir olarak ocak sıcaklığı 215 ile 220°C arası tutulmaya çalışılmaktadır. Parçanın iç kısımlarına berilyum bakır maça (su ile irtibatlı) ve ayrıca orta kısımda bulunan boydan boya delik için içinde mikro soğutma kanalı olan mil konularak o kısmın geometrisinin istenen düzeyde çıkması hedeflenmektedir. Parçayı basma işlemi esnasında ütüleme safhasında analiz dolum sonuç çıktısı Tablo 5.6 da verilen veriler kullanılarak basınç profili oluşturularak uygulanmaktadır. Şekil 5.11 de ütüleme basınç profili gösterilmektedir. Burada; 0-3 s aralığı dolum süresini, 3-18 s aralığı ütüleme süresini, 18-30 s aralığı soğuma süresini, 30-35 s aralığı ise kalıp açılma-ürünü itme ve tekrar kalıbın kapanmasını ifade etmektedir.

Tablo 5.6.Dolum süresince makinanın uyguladığı (sıcak yolluk sistemli) maksimum basınç değerinin uygulama süreleri

Basınç (MPa)	Uygulama süresi (sn)
60	0
60	15
0	12
0	5



Şekil 5.11. Ütuleme basınç profili gösterimi

5.4.2. Deneysel Uygulama ile Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneme üretimi ile analiz sonuç çıktılarının Tablo 5.7 de görüldüğü gibi hemen hemen aynı olduğu gözlenmektedir. Ayrıca her iki çalışmada da Tablo 5.5 de gösterildiği gibi hacimsel çekme miktarının uygun boyutlarda olduğu gözlenmektedir.

Tablo 5.7. Deneysel çalışma ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması

4 Gözenekli sıcak yolluk deney sonuçları	Analiz (moldflow mpi series) sonuçları
Basma basıncı 60 MPa	59 MPa
Dolum süresi 3 s	2.91 s
Ütuleme süresi 15 s	15 s
Soğuma zamanı 12 s	11 s
Kalıp açılma-itme-kapama* 2-1-2	2-1-2
Kapama kuvveti 60 ton	57 ton

* Kalıp açılma-itme-kapama süresi tecrübeye dayalı olarak verilmiştir.

Aşağıda Şekil 5.12a da bu çalışma öncesi 2 kaviteli soğuk yolluk sistemi ile basılan parçanın resmi görülürken Şekil 12b de ise bu çalışma sonrası karar verilen 4 kavite sıcak yolluk sistemi ile basılan parçaya ait ürün resmi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.12. a) 2 kaviteli soğuk yolluk sistemiyle basılmış eski tasarım,
b) 4 kavite sıcak yolluk sistemiyle basılmış yeni tasarım resmi

5.5. Analiz Çalışması Esnasında veya Üretimde Karşılaşılabilecek Bazı Kalıp Problemleri

Yapılan deney çalışmasında, analiz sonuç verileri dikkate alınarak hareket edildiği için, eksik dolum, kazayağı, çatlak vb. problemlerle karşılaşılmamıştır. Aşırı ütüleme süresi ve kalıp yarımları arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan çarpılma-çökme ve çekme problemi hem analiz verileri hem de tecrübe ile kavite giriş yeri değişikliğine ve üniform soğutma yoluna gidilerek sorunun giderilmesi gerçekleştirilmiştir. Parçada var olan adacık ve tam delikler nedeniyle akış birleşme çizgilerinin önüne yüzde yüz geçilememiştir. Hava kabarcıklarının kalıp açılma yüzeyi boyunca birikmesi sağlanarak, yanma, çentik vb. problemlerin önüne geçilmiştir. Tablo 5.8 de analiz çalışması esnasında ve/veya üretimde karşılaşılabilecek kalıp problemleri verilmektedir.

Tablo 5.8. Analiz çalışması esnasında ve/veya üretimde karşılaşılabilecek muhtemel kalıp problemleri

Muhtemel kalıp problemleri			
Kalıp problemi	Dolum indeksi	Görülecek sonuçlar	Çözüm yöntemleri
Eksik dolum	Duraksama	Dolum zamanı, Eriyik sıcaklığı, Basınç, Eksik hacim	Balanslı akış yolu, Enjeksiyon hız artışı, Eriyik, sıcaklık artışı, Et kalınlığı ayarı, Giriş yeri ve sayısı artışı
Kazayağı	Aşırı ütüleme	Dolum zamanı, Eriyik sıcaklığı, basınç, tutma kuvveti, tasarım süreci	Balanslı akış yolu, Dolum zamanı düzeltme, Enjeksiyon ve ütüleme profili kullanma, Tutma kuvvet artışı
Parça büyüklüğü	Aşırı ütüleme	Dolum zamanı,	Balanslı akış yolu,
Ağırlık		Eksik hacim	Giriş yeri değişimi, Yolluk balansı, Duvar kalınlığı değişimi, Enjeksiyon ve ütüleme profili kullanma
Çarpılma	Aşırı ütüleme	Dolum zamanı, Eriyik sıcaklığı, Gerilme dağılımı	Balanslı akış yolu, Giriş yeri değişimi, Ütüleme profili kullanma, Et kalınlık düzeltme
Hava kabarcıkları	Akış yolu etkisi	Dolum zamanı, Akış açısı, Hava kabarcığı	Balanslı akış yolu, Giriş yeri ve sayısını düzenleme, Et kalınlığını düzenleme
Birleşme Çizgisi	Akış yolu etkisi	Dolum zamanı, Eriyik sıcaklığı, Basınç, Akış birleşmesi	Balanslı akış yolu, Giriş yeri ve sayısını düzenleme, Eriyik sıcaklık artışı, Et kalınlığı değişimi
Çatlak (kırık)	Kesim büyüklüğü	Burkulma gerilme kesimi	Malzeme değişimi
	Gerilme		Enjeksiyon profili kullanma
Çökme	Büyük hacim	Çekme	Ütüleme artışı
	Çekme	Çökme	Basınç

[Moldflow, 1999]

Yukarıdaki tabloda muhtemel kalıp problemleri, görülebilecek sonuçlar ve çözüm yöntemleri verilmektedir. Örneğin ağırlık ile ilgili bir problem yaşanması durumunda eksik hacmin söz konusu olabileceği görülmektedir. Bu problemin giderilmesi için kavite giriş yeri değiştirme, yollukların balansının gözden geçirilmesi, duvar kalınlıklarında oynanması gibi yöntemlerin dikkate alınması söz konusudur.

6. SONUÇLAR/ÖNERİLER

Kalıpçılık, oldukça eski bir imalat yöntemi olup birçok farklı şekillerde uygulanmaktadır. Bu çalışmada ise genel anlamda plastik enjeksiyon kalıpçılığı ele alınmış, enjeksiyon aşamaları şekil ve tablolar yardımı ile anlatılmaya çalışılmıştır. Enjeksiyon aşamaları içinde aktif rol oynayan kalıp tasarımı, bu tasarıma dolaylı olarak etki eden plastik malzemeler ve enjeksiyon makinaları hakkında kalıp tasarımcısının bilmesi gerektiği kadar temel bilgilere de yer verilmiştir. Önemli kalıp elemanları tanıtılmış ve kalıp içindeki yerleri anlatılmıştır.

Enjeksiyon aşamaları; plastiğin hazırlanması, enjeksiyon, ütüleme, soğutma ve itme başlıkları altında incelenmiş ve ayrıca şekil, şema ve tablolarla desteklenerek açıklanmıştır. Son bölümde ise çamaşır makinası programlama kısmı düğme altlığı parçasının Moldflow Plastics Insight sonlu elemanlar programı yardımı ile yapılan analiz çalışmasına yer verilmiştir. Parçanın analiz çıktıları paralelindeki değerlerle seri halde enjeksiyon makinasında üretime geçilmiştir.

Plastik malzemelerden yapılan parçaların istenilen kalitede olabilmesi için kalıp tasarımcısına büyük sorumluluklar düşmektedir. Çünkü kalıplanacak parçanın; malzemesi ve özellikleri, kalıplama metodu, kalıplama tezgahı, kalıp tasarımı ve yapımını içeren teknik bilgilerin öncelikle bilinmesi gerekmektedir. Tasarımı iyi yapılmış ve konstrüksiyon hatası bulunmayan plastik enjeksiyon kalıplarıyla yapılan üretimin sağladığı faydalar:

- Üretim oranı yüksekliği,
- Seri üretim kolaylığı,
- Parça başına harcanan işçiliğin azlığı,
- Kalıplama işleminin otomatik hale getirilmesinin kolaylığı,
- Üretilen parçaların yeniden işlenmesine gerek olmaması,
- İstenilen yüzey kalitesi,
- Renklendirme ve bitirme işlemlerine uygunluğu,
- Desen işlemine imkan vermesi,

Diğer metotlarla üretilmeyen çok küçük veya büyük parçaların üretilmesi,

Değişik boyut ve şekillerdeki parça üretiminin daha ekonomik oluşu,

Bazı hallerde kalıplama tezgahı (enjeksiyon makinesi) ve kalıbı değiştirmeden farklı plastik malzemelerin kullanılabilmesi,

Üretim süresi boyunca kalıplanan parça ölçülerinin istenilen sınırlar içerisinde tutulabilmesi

şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda da görülen, plastik enjeksiyon kalıpcılığı için en uygun mesh tipinin midplane mesh olduğu gerçeğidir. Mühendislik plastikleri diğer plastiklere göre daha pahalı ve titiz uygulama isteyen malzemelerdir. Soğuk yolluk analiz uygulama çalışmaları için kavitelere yandan giriş verilmesi parça kalitesinin kontrolü için yapılan çarpılma analizi için daha uygundur. Gevrek [1998]'e göre sıcak yolluk sistemi 40 yıllık bir çalışmanın ürünüdür. Dolayısı ile bu gayretler, sıcak yolluk sisteminin uygulayıcıları için birçok kolaylık geliştirilmesine vesile olmuştur. Fakat hala manifold (hazır basma seti) tipleri artırılmadıkça ve yolluk içinde sıvı halde kalan eriyik malzemenin ısı kayıplarına yeni çözüm yöntemleri getirilmedikçe daha ucuz halde olması söz konusu değildir.

Bu günlerde sıkça telaffuz edilen Rapid-Prototyping uygulamasının önümüzdeki 10 ile 15 yıl içinde enjeksiyon kalıplamanın yerini alacağını Kazmer ve Speight [1997] belirtmektedir. Fakat bu söylemin (*vision*) gerçekleşmesinin önündeki en büyük engellerin başında reçine malzemesinin iyileştirilmesi problemi, silikon kalıplama teknolojisi geliştirilmedikçe (örneğin poliüretanın yerine polycarbonat malzemesinin kullanılması gibi), hız-adet olarak büyük farkın ortadan kaldırılması, reçine malzemesinin donmasını sağlayan lazer kalınlığında katmanlar arası boşluğun oluşması problemi ve pahalılığı gibi durumlar da göz ardı edilmemelidir.

Şekil 5.12b deki çalışmada kullanılan parçanın yeni yüz ve sahip olduğu geometriye ait boyutlar, bu parçanın imal edildiği Şekil 5.12a daki eski yönteme nazaran, daha optimal değerlerde elde edilmiştir. Ancak, üzerinde çalışılan parça

hızlı şekilde müşteriye yeni teknoloji ve dizayn sunma gayretlerinden nasibini alarak değişime uğrayacaktır.

Analiz çalışmalarında belirlenen üretim aşamalarının uygulanmasıyla 500.000 adet üretileceği düşünüldüğünde sıcak yolluk sistemiyle basıldığında soğuk yolluklu sisteme nazaran 4 kavite açılmış bir kalıp setinde 6608 adet kar edileceği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak denilebilir ki;

1. Yolluklarda atıl hale gelen malzeme miktarı (katkı yapılarak tekrar kullanılmak için geri dönüşleri (termoplastik malzemeler) olsa bile bu işlemler esnasında ilk hal özelliklerinin istenen düzeyde tutturulamaması söz konusu), üniform boyut kazanımı ve iyi görünüm gibi nedenlerle örnek parçanın sıcak yolluk sistemi ile yapılması kararlaştırılmıştır.

2. Basılması istenilen 500.000 adedin sıcak yolluk sistemi ile basımın yapılmasının soğuk yolluk ile basımının yapılmasına göre, aynı kavite sayısında, 6608 adet daha karlı olacağı hesaplanmıştır.

3. Çalışmada kullanılan midplane mesh'in diğer mesh tiplerine nazaran daha hassas sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4. Mühendislik plastikleri, diğer plastiklere göre daha pahalı olmalarına rağmen, ısıya duyarlılıkları, mukavemet kazanımları vb. özellikleri nedeniyle tercih edilirler ve bu çalışmada kullanılmıştır.

5. Çalışmada, en iyi kavite giriş yeri analiz sonuçları ışığında, işçilik kolaylığı, malzeme kaybının az olması (soğuk yolluk), soğutma sistemi yerleşimi kolaylığı ve/veya üniform soğumanın daha rahat sağlanması nedeniyle ve istenmeyen erken soğumalarla daha az karşılaşmak için Şekil 3.6 yolluk şema yapıları kullanılmıştır.

6. Parça, programlama düğmesi altlığı olarak kullanıldığı ve dolayısıyla hassas geometrik boyutta üretilmesi gerektiği için, deney çalışmasında, kalıp malzemesi olarak alaşımlı çelik P-20 kullanılmıştır. Bunun ürünün istenen özelliklerde elde edilmesinde önemli etkisi görülmüştür.

Konuyla alakalı ileride yapılabilecek muhtemel çalışmalar aşağıdaki ifadeler doğrultusunda olabilir;

1. Bu çalışma, daha fazla soğuk yolluk alternatifleri kullanılarak geliştirilebilir.

2. Sıcak yolluk sisteminin kavite girişi verme sınırlaması ve ısıtmadan dolayı ek ekonomik gider ve yalıtımın yüzde yüz oranında yapılamaması gibi durumları göz önüne alınarak alternatif soğuk yolluk sistemleri oluşturulabilir.

3. Parça üzerinde meydana gelen akış birleşmeleri (weld line) probleminin çözümü üzerinde durulabilir.

4. Parçanın üretimi için kullanılan plastik malzemesinin eriyik halinin sona erdiği sıcaklık değerinin yüksek olması nedeniyle aynı avantajları sağlayacak alternatif malzemeler araştırılabilir.

5. Yeniliklere açık teknolojik ortamda parçanın yeni istek ve ihtiyaçlara cevap verecek şekilde yeniden tasarlanacağı muhakkaktır. Bu konuda çalışmalar yapılabilir.

6. Soğuk yolluk sistemleri kullanılması durumunda, daire-yarımdaire-dikdörtgen-trapez-altıgen tipi yolluk kesit uygulamaları dışında farklı kesit geometrilerde, yolluk kesit tipi seçilerek sayısal ve analitik çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

Alkaya A. R., Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, 1998

Arsenault D., How to Design and Build a Turnkey Injection Molding Facility, Journal of Injection Molding Technology, pp 27-38, 1999

Beaumont J., Ralston J., and Shuttleworth A., Troubleshooting Cavity to Cavity Variations In Multi-Cavity Injection Molds, Journal of Injection Molding Technology, pp 88-98, 1999

Beaumont J., Young J. H., and Jaworski M. J., Solving Mold Filling İmbalances Multi-Cavity Injection Molds, Journal of Injection Molding Technology, pp 47-58, 1998

Beaumont J.P., and Young J.H., Mold Filling İmbalances in Geometrically Balanced Runner Systems, Journal of Injection Molding Technology, pp 133-143, 1997

Chang T.C., and Fasion E., Optimization of Weldline Quality in Injection Molding Using an Experimental Design Approach, Journal of Injection Molding Technology, pp 61-66, 1999

Cha S., and Lai F.S., 3-D Simulation of Thin-Wall Injection Molded Part by CAE, pp 739-743, Antec 2000

Chen K.C., A Fast Approach to Automatic Runner Balance, pp 609-611, Antec 2000

Fan Z., Zheng R., Kennedy P., Yu H., and Bakharev A., Warpage Analysis of Solid Geometry, pp 723-726, Antec 2000

Gao D. M., Reymond S., and Garcia-Regon, Modeling of The Effects of Mold Venting on The Injection Molding Process, Journal of Injection Molding Technology, pp 136-140, 1998

Gao F., Patterson W. I., and Kamal M. K., Cavity Pressure Control During The Cooling Stage İn Thermoplastics Injection Molding, Polymer Engineering and Science, pp 2467-2476, 1996

Gevrek M., Sıcak Yollukların Gelecekteki Gelişmeleri, Plastik& Ambalaj Teknolojisi, Ağustos 98

Gevrek M., Mühendislik Plastikleri İçin Sıcak Yolluk Sistemleri, Plastik & Ambalaj Teknolojisi, Eylül 98

Gonzalez F., and Chassapis C., Plain Strain Fracture Toughness Performance of Injection Molded Long Fiber Reinforced Thermoplastics: An Experimental Investigation, Journal of Injection Molding Technology, pp 133-140, 1999

Hudson J.A., Injection Molding of Thermoplastics Elastomers: A Processing Guide, Journal of Injection Molding Technology, pp 117-122, 1997

Ilinca F., and Hetu J.F., 3-D Simulation of The Packing-Cooling Stage in Polymer Injection Molding, pp 727-731, Antec 2000

Kabanemi K. K., and Hetu J. F., Modeling and Simulation of Nonisothermal Effects In Injection Molding of Rigid Fiber Suspensions, Journal Of Injection Molding Technology, pp 80-87, 1999

Kazmer D., Best Practies in Injection Molding, Journal of Injection Molding Technology, pp 10-17, 1997

Kazmer D., and Barkan P., Multi-Cavity Pressure Control In The Filling and Packing Stages of The Injection Molding Process, pp 1865-1879, 1997

Kazmer D., and Barkan P., The Process Capability of Multi-Cavity Pressure Control for The Injection Molding Process, Polymer Engineering and Sience, pp 1880-1895, 1997

Kazmer D. O., and Speight R. G., Polymer Injection Molding Technology for The Next Milennium: A Vision to The Future, Journal of Injection Molding Technology, pp 81-91, 1997

Lam Y. C., and Seow L. W., Cavity Balance for Plastics Injection Molding, Polymer Engineering and Science, pp 1273-1280, 2000

Lacrampe M. F., and Pabiot J., Defects In Surface Apperance of Injection Molded Thermoplastics Parts-A Review of Some Problems In Surface Gloss Distribution, Journal of Injection Molding Technology, pp 167-176, 2000

Lee C. C., and Stevenson J. F., Optimized Runner System for Multi-Cavity Injection Molds, Polymer Engineering and Science, pp 375-384, 1999

Leo V., Cuvelliez Ch., The Effect of the Packing Parameters, Gate Geometry, and Mold Elasticity on the Final Dimensions of a Molded Part, Polymer Engineering and Science, pp 1961-1971, 1996

Menges/Mohren, How to Make Injection Molds, pp 77-78 and 155, Hanser Publisher, 1986

Neves N.M., and Pauzada A.S., Prediction of Stiffness From Orientation Data of Glass Reinforced Injection Moldings, Journal of Injection Molding Technology, pp 126-132, 1999

Patel S.A., and Malleck P.K., Development of a Methodology for Defect Reduction in Injection Molding Using Process Simulations. Part II: A Multi-Factor Design of Experiments Approach, Journal of Injection Molding Technology, pp 184-191, 1998

Poslinski A.J., Effect of Small Changes in the Melt Velocity on the filling and Packing Stages of Injection Molding, Journal of Injection Molding Technology, pp 57-71, 1997

Quinn K.R., Duffy J.A., and Ellis C.S., Reinforced Thermoplastics: Understanding Weld Line Integrity, Journal of Injection Molding Technology, pp 123-129, 1997

Rees H., Mold Engineering, pp 185, Hanser Publisher, 1995

Reifschneider L. G., Reliability of Mold Filling Simulation For Part Design, Journal of Injection Molding Technology, pp 38-48, 2001

Reilly J. F., Doyle M., and Kazmer D., An Assesment of Dynamic Feed Control in Modular Tooling, Journal Of Injection Molding Technology, pp 49-59, 2001

Salamon B.A., and Donald R.J., Characterizing and Controlling Secondary Flows in Injection Molds, Journal of Injection Molding Technology, pp 36-43, 1997

Selden R., Thin Wall Molding of Engineering Plastics-A Literature Survey, Journal of Injection Molding Technology, pp 159-165, 2000

Shi L., and Gupta M., Prediction of Sink Marks In Cross-Rib-Reinforced Injection Molded Plastics Parts by Localized Finite Element Shrinkage Analysis, Journal Of Injection Molding Technology, pp 108-116,1999

Speight R.G., Optimization of Velocity to Pressure Phase Transfer for the Polymer Injection Molding Process, Journal of Injection Molding Technology, pp 25-35, 1997

Tamer M., Plastik Enjeksiyon Makinaları, Pagev Plastik Dergisi, pp 111-119 ve pp 92-95, 1998

Tuğrul M., Enjeksiyonla Üretilen Plastik Parçalarda Deformasyon, Plastik Dergisi, pp 18-23, 1998

Uzun İ., ve Erişkin Y., Enjeksiyon Kalıplama Metodu, Hacim Kalıpçılığı, 1984

Wang T.J., and Yoon C.K., Shrinkage and Warpage Analysis of Injection-Molded Parts, pp 687-692, Antec 2000

Wenskus J.J., Part Weight as a Control Metric for Injection Molding, Journal of Injection Molding Technology, pp 151-157, 1997

Zhou H., Zhang Y., and Li D., A Numerical Filling Simulation of Injection Molding Using a 3-D Surface Model, Journal of Injection Molding Technology, pp 31-37, 2001

Material Details Database Search, Moldflow Plastics Insight Help, 1999

MoldMasters Türkiye Yetkili Temsilciliği, MMG teknik Yayınlar-3, pp 1-2, 1998

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Samsun’da doğdu. Samsun Merkez İmam-Hatip Lisesini 1990 yılında tamamladı. 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğine girdi. 1997 yılının Ekim ayında eğitimini tamamladıktan sonra Mute Mühendislikte Proje Sorumlusu olarak işe başladı. Daha sonra Matim Cam Yıkama ve Kesme İmalat Sanayi A.Ş. de Mühendis olarak çalıştı. 1998 yılının Aralık ayında G.Y.T.E.’ Bilgisayar Mühendisliği Bölümün de Araştırma Görevlisi olarak işe başladı.

G.Y.T.E.’de tez ile ilgili **“Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Yollukların Simülasyon Yoluyla Araştırılması”** (Research through Gates in Plastics Injection Molding by Simulation) Proje No: 01-A-03-04-09 projesi ve ayrıca **“Kompleks Parçaların Bilgisayar Yazılımları İle Tasarım ve İmalatı (CAD-CAM)”** projesi grubundadır.

Tez ile ilgili yaptığı çalışma International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey, August 30-31, 2001’ de sunuldu ve aşağıdaki başlıkla Sakarya Üniversitesi Web sayfasında yayınlandı **“Finite Elements Analysis and Application Work for a Plastic Injected Experimental Part”**.