

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALIP DEFORMASYONLARININ PLASTİK ENJEKSİYON PARÇALARIN ÖLÇÜ
VE BİÇİM TAMLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

ARMAN İPEKÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. MEHMET EMİN YURCİ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALIP DEFORMASYONLARININ PLASTİK ENJEKSİYON PARÇALARIN ÖLÇÜ
VE BİÇİM TAMLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Arman İPEKÇİ tarafından hazırlanan tez çalışması 08.04.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Mehmet Emin YURCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Mehmet Emin YURCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doc. Dr. Vedat Temiz
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doc. Dr. Anıl AKDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Plastik enjeksiyon parçaların ölçü ve biçim tamlığını etkileyen en önemli etmenlerden birisi kalıpların göstermiş olduğu elastik deformasyonlardır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında söz konusu deformasyonların ortaya çıkış şekilleri incelenerek, meydana getirdikleri ölçü ve biçim sapmalarına karşı alınabilecek önlemler tartışılmış bulunmaktadır. Bunlara ilaveten konunun daha iyi pekişmesi için plastik enjeksiyon kalıpları, plastik enjeksiyon prosesi, plastik enjeksiyon makinesi ve termoplastik malzemeler hakkında temel bilgilere yer verilmiştir. Tezin son kısmında, otomotiv sektöründe kullanılmakta olan dört adet parça seçilerek bunlara ait kalıplar için mukavemet analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar çeşitli açılardan irdelenerek önerilerde bulunulmuştur.

Yüksek lisans eğitimim ile iş hayatımı beraber devam ettirebilme şansını bana tanıyan AL-KOR MAKİNA ve KALIP SAN. TİC. A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Alen Darçın'a ve Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı Sayın Berc Darçın'a teşekkürü bir borç bilirim.

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı konusunda benden bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen AL-KOR MAKİNA ve KALIP SAN. TİC. A.Ş. personeli Sayın Sinan Karaköz'e ve Sayın Erol Divanyan'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda bana akış analizleri konusunda desteklerini esirgemeyen Sayın Ruşen Mutlu'ya ve Sayın Abdullah Yaman'a da teşekkürlerimi sunarım.

Makine mühendisliği lisans eğitimimin başlangıcından itibaren bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım değerli hocam Prof. Mehmet Emin YURCİ'ye şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında bana olan desteklerini gösteren, her şeyimi borçlu olduğum aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2014

Arman İPEKÇİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	3
1.2 Tezin Amacı.....	10
1.3 Bulgular.....	11
BÖLÜM 2	
ELASTİK DEFORMASYONLAR ve PLASTİK PARÇALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	12
2.1 Elastik Deformasyon Gösteren Sistemler	12
2.1.1 Makine	12
2.1.2 Kalıp.....	13
2.2 Kalıpların Elastik Deformasyonunda Rolü Olan Donanım ve Etmenler.....	13
2.2.1 Ergiyiğin Akışı	13
2.2.1.1 Akış Özellikleri.....	13
2.2.1.2 Teorik Viskozite Modelleri	18
2.2.1.3 Viskoziteye Etki Eden Unsurlar	21
2.2.1.4 Sayısal Çözümleme Metotları	21
2.2.2 Proses Penceresi	23
2.2.3 Parça Tasarımı.....	26
2.2.4 Kalıp Tasarımı	27
2.3 Elastik Deformasyonların Hesaplanması	29

2.3.1	Makineyi Etkileyen Gerilmeler ve Elastik Deformasyon Hesaplamaları...	29
2.3.2	Kalıbı Etkileyen Gerilmeler ve Elastik Deformasyon Hesaplamaları.....	30
2.3.2.1	Enjeksiyon Basınç Değerinin Hesaplanması	30
2.3.2.2	Gerilmelerin ve Elastik Deformasyonların Hesaplanması	30
2.4	Deformasyonları Önleyici Tasarımlar	36
2.4.1	Deformasyonları Önleyici Kalıp Tasarımları.....	36
2.4.2	Deformasyonları Önleyici Parça Tasarımları.....	41

BÖLÜM 3

PLASTİKLER	ve	PLASTİK	ENJEKSİYON	ile	İLGİLİ	TEMEL	BİLGİLER	
								43
3.1	Plastikler ve Özellikleri.....							43
3.2	Plastik Enjeksiyon Prosesi.....							46
3.3	Plastik Enjeksiyon Kalıpları							48
3.3.1	Yolluk, Dağıtıcı Kanallar ve Girişler							50
3.3.2	Hava tahliye kanalları.....							51

BÖLÜM 4

UYGULAMALAR.....	53
4.1 Giriş.....	53
4.2 Uygulamalarda Kullanılan Plastik Malzemelerin Tanıtılması.....	53
4.2.1 PP (Polipropilen)	54
4.2.2 PBT (Polibütilen Tereftalat).....	54
4.3 Kapak Parçasının Ait Çalışma	58
4.3.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması	58
4.3.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları	59
4.3.3 Parçanın Analiz Aşamaları.....	61
4.3.4 Sonuçlar	64
4.4 Plastik Duy Parçasına Ait Çalışma	66
4.4.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması	66
4.4.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları	67
4.4.3 Parçanın Analiz Aşamaları.....	68
4.4.4 Sonuçlar	70
4.5 A01 Kodlu Ampul Taşıyıcı Plastik Gövde Parçasına Ait Çalışma	72
4.5.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması	72
4.5.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları	74
4.5.3 Parçanın Analiz Aşamaları.....	75
4.5.4 Sonuçlar	76
4.6 A02 Kodlu Plastik Ampul Taşıyıcı Gövde Parçasına Ait Çalışma	79
4.6.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması	79
4.6.2 Parçanın Analize Hazırlanması	80
4.6.3 Parçanın Analiz Aşamaları.....	81
4.6.4 Sonuçlar	82
4.7 Kapak Kalıbının Erkek Plakasına Ait Çalışma.....	83

BÖLÜM 5

SONUÇ ve ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGE LİSTESİ

A	Viskozite faktörü
A_i	Malzemenin sıcaklığı
A	Yüzey alanı
a	Malzeme sabiti
B	Üs yasası modeline bağı sabit
c	Malzeme sabiti
D	Ana yolluk çapı
d_s	Polimerin elastik gerinimi
d_K	Kalıbın elastik gerinimi
e	Uzaklık
E	Elastiklik modülü
f	Elastik deformasyon miktarı
F	Kuvvet
G	Parça ağırlığı
G	Kayma modülü
h	Plaka uzunluğu
H	Lokmanın yüksekliği
I	Kesit atalet momenti
L	Akış uzunluğu
ℓ	Deformasyona uğrayan bölgenin uzunluğu
ΔL	Elastik deformasyon miktarını
m	Poisson sayısı
m	Yoğunluk indeksi
M_0	Malzeme sabiti
M_e	Eğilme momenti
n	Üs yasası indeksi
p_i	İç basınç
p_D	Dış basınç
p	Ergiyik basıncı
r_{Ni}	Lokmanın iç çapı
r_{Nd}	Lokmanın dış çapı
Δr_n	Elastik deformasyon miktarı
r_{co}	Lokmanın iç çapı
r_{Ci}	Lokmanın dış çapı
s	Plaka kalınlığı
S_v	Toplam hacimsel çekme miktarı

S_p	Akış doğrultusundaki çekme miktarı
S_n	Akışa dik yönde çekme miktarı
S_z	Kalınlık yönündeki çekme miktarı
T	Malzemenin sıcaklığı
T_0	Malzemenin sabit sıcaklık kabul değeri
t_m	Kalıptan henüz çıkmış parçanın kalınlığı
t_a	Kalıptan çıkan soğumuş parçanın kalınlığı
ΔV	Hız farkı
Δy	Düzlemler arası uzaklık
Q	Kesme kuvveti
W	Yanak genişliği
W_e	Eğilme direnç momenti
α	Isıl genleşme katsayısı
γ	Kayma oranı
η	Kayma viskozitesi
τ	Kayma gerilimi
τ_s	Polimerin gerilmesi
τ_k	Kalıbın gerilmesi
ρ	Ergiyik polimerin basıncı
ε_z	Kalınlık doğrultusundaki gerinim
σ_{eg}	Eğilme gerilmesi
σ	Basma gerilmesi
$\vec{\sigma}_p \vec{x}$	Akış doğrultusundaki gerilme
$\vec{\sigma}_n \vec{y}$	akışa dik yöndeki gerilme
$-p \vec{z}$	Kalınlık doğrultusundaki gerilme

KISALTMA LİSTESİ

3D	3 boyutlu tasarım dosyası
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
ANSYS	Analiz yazılım programı
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
FMEA	Hata türleri ve etkileri analizi
Nx	Unigraphics yazılım programı
PA	Poliamid
PBT	Polibutilen tereftalat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PMMA	Polimetil metakrilat
POM	Polioksi metilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
PvT	Basınç-özgül hacim-sıcaklık

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Plastik tüpler 4
Şekil 1.2	Ölçüm raporları ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması 6
Şekil 1.3	Alüminyum lokmanın deforme olması..... 6
Şekil 1.4	Deformasyonları gösteren temsili bir çizim 7
Şekil 1.5	Çalışmalarda kullanılan kalıp..... 8
Şekil 1.6	Deney proseslerinin isimleri ve şartları..... 9
Şekil 1.7	Hesaplamaların sonuçları..... 9
Şekil 1.8	Gerilemeler ile deformasyon miktarının ilişkisi 9
Şekil 1.9	Çalışmada kullanılan kalıp 10
Şekil 2.1	Ergiyik basıncının neden olduğu gerilemeler 13
Şekil 2.2	Deformasyonların ölçeklendirilerek abartılı gösterimi 14
Şekil 2.3	Ergiyiğin kalıp duvarlarına olan teması 15
Şekil 2.4	Akış eğrisi 16
Şekil 2.5	Dilatant, newtonien ve pseudoplastik malzemelere ait akış eğrileri..... 16
Şekil 2.6	Ergiyiğin kalıp boşluğundaki akışı..... 17
Şekil 2.7	Basınç ile akış uzunluğunun ilişkisi 18
Şekil 2.8	Basıncın yolluktan son dolum noktasına kadar olan değişimi 18
Şekil 2.9	Örnek bir PvT diyagramında prosesin izlediği aşamaların gösterimi..... 24
Şekil 2.10	Yarı kristalin polipropilen ile amorf polistirene ait Pvt diyagramı 25
Şekil 2.11	Üç boyutlu PvT diyagramı 25
Şekil 2.12	Sıcaklık ve basınç parametrelerinin neden olabileceği üretim hataları..... 25
Şekil 2.13	Akış uzunluğunun parça et kalınlığı ile olan ilişkisi 27
Şekil 2.14	Örnek bir girişin ölçülendirilmesi 28
Şekil 2.15	Kalıp içi ergiyik basıncının dağılımı ve belirlenmesi 30
Şekil 2.16	Ergiyik iç duvardan teması 31
Şekil 2.17	Ergiyiğin dış duvardan teması 31
Şekil 2.18	Dikdörtgen kesitli kalıp plakalarının deformasyon modelleri..... 32
Şekil 2.19	Plaka deformasyonu 33
Şekil 2.20	Silindirik takozları kalıplarda deformasyon hesapları..... 33
Şekil 2.21	Tepki kuvvetlerinin dağılımı 34
Şekil 2.22	Maçaların kilitlenmesi 34
Şekil 2.23	Kalıp lokmasının üzerindeki basınç dağılımı 35
Şekil 2.24	Derin bir forma sahip kalıp plakasının ölçülendirilmesi..... 35
Şekil 2.25	Konik kilit..... 36
Şekil 2.26	Prizmatik kilit 36

Şekil 2.27	Kalıplardaki yekpare kilitler	37
Şekil 2.28	Silindirik takoz kullanımı	37
Şekil 2.29	Yolluk giriş yerinin lokmanın üstünden verilmesi	38
Şekil 2.30	Lokmaların kilitlenmesi	39
Şekil 2.31	Kademeli lokma tasarımı	39
Şekil 2.32	Maçaların birbirlerine kilitlenmesi.....	40
Şekil 2.33	Gaz tahliye kanalları açılmış bir kalıp plakası	40
Şekil 2.34	Sıcak yolluk sistemi	41
Şekil 2.34	Federli ve düz tabanlı bir plastik kasa	42
Şekil 3.1	Polimerlerin sınıflandırılması	43
Şekil 3.2	Enjeksiyon prosesi.....	46
Şekil 3.3	Prosesin zaman göre dağılımı	47
Şekil 3.4	Plastik enjeksiyon kalıbı	48
Şekil 3.5	Dağıtıcı kanal geometrileri	50
Şekil 3.6	Dağıtıcı kanal kesitleri	50
Şekil 3.7	Tünel giriş ölçüleri	51
Şekil 3.8	Hava tahliye kanalı ölçüleri	52
Şekil 4.1	PBT'nin kullanım sıcaklığı ve yük altında bozulma sıcaklığı değerleri.....	54
Şekil 4.2	PBT'nin nemlendirme öncesi ve sonrası çekme gerilmesi.....	55
Şekil 4.3	Çeşitli polimerlerin %30 cam elyaf takviyeli tiplerinin çekme modülü ve çekme mukavemeti değerleri	55
Şekil 4.4	Kapak parçası	58
Şekil 4.5	Kalıbın erkek tarafı	58
Şekil 4.6	Kalıbın dişi tarafı.....	59
Şekil 4.7	Kalıpta analizi yapılan lokma	59
Şekil 4.8	Kapak parçasının dışa aktarılan geometrisi.....	60
Şekil 4.9	Ağ örmede alınan geometri hatalarına örnekler	61
Şekil 4.10	Moldflow ağ onarma komutları	61
Şekil 4.11	Kapak parçasının ağ örme bilgileri	63
Şekil 4.12	Kapak ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü... 64	
Şekil 4.13	Kapak parçasına ait dolum analizi sonucu	64
Şekil 4.14	Kapak parçasına ait basınç-zaman grafiği	65
Şekil 4.15	Kapak kalıbının lokmasına ait deformasyon değerleri.....	65
Şekil 4.16	Plastik duy numuneleri	66
Şekil 4.17	Plastik duy	66
Şekil 4.18	Duy kalıbının erkek tarafı	67
Şekil 4.19	Duy kalıbının yolluk tarafı	68
Şekil 4.20	Duy kalıbındaki incelenen lokmalar.....	68
Şekil 4.21	Duy parçasının dışa aktarılan görüntüsü	68
Şekil 4.22	Duy parçasının ağ örme bilgileri	69
Şekil 4.23	Duy ve lokmalarının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü ... 69	
Şekil 4.24	Duy ve kalıbın aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü	70
Şekil 4.25	Duy parçasına ait dolum analizi	70
Şekil 4.26	Duy parçasına ait basınç-zaman grafiği	71
Şekil 4.27	Duy gövde kalıbının lokmalarına ait deformasyon değerleri.....	71
Şekil 4.28	Duy gövde kalıbının erkek plakasına ait deformasyon değerleri.....	72
Şekil 4.29	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde.....	72

Şekil 4.30	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının erkek tarafı.....	73
Şekil 4.31	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının dışı tarafı	73
Şekil 4.32	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbında incelenecek lokma	73
Şekil 4.33	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı kalıbındaki yolluk dağıtıcıların yüzey modellemeleri.....	74
Şekil 4.34	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcıdaki markalamalar	74
Şekil 4.35	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının dışı aktarılan görüntüsü	75
Şekil 4.36	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının ağ örme bilgileri	75
Şekil 4.37	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü	76
Şekil 4.38	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) dolum analizi	76
Şekil 4.39	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) basınç-zaman grafiği.....	77
Şekil 4.40	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) deformasyon değerleri.....	77
Şekil 4.41	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) dolum analizi	77
Şekil 4.42	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) basınç-zaman grafiği.....	78
Şekil 4.43	A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) deformasyon değerleri.....	78
Şekil 4.44	A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının dışı tarafı.....	79
Şekil 4.45	A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının erkek tarafı	79
Şekil 4.46	A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde parçası	80
Şekil 4.47	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbında incelenecek lokma	80
Şekil 4.48	Onarılan yüzeyler	81
Şekil 4.49	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcının dışı aktarılan görüntüsü	81
Şekil 4.50	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcının ağ örme bilgileri	81
Şekil 4.51	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü	82
Şekil 4.52	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin dolum analizi	82
Şekil 4.53	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin basınç zaman grafiği.....	83
Şekil 4.54	A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin deformasyon değerleri.....	83
Şekil 4.55	Kapak kalıbının erkek tarafının görüntüsü.....	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Yolluk giriş tipine göre tasarım oranları 38
Çizelge 2.2	Kalıp çeliklerinin fiziksel özellikleri 41
Çizelge 4.1	Polipropilene ait enjeksiyon proses bilgileri 56
Çizelge 4.2	PBT'ye ait enjeksiyon proses bilgileri 57

KALIP DEFORMASYONLARININ PLASTİK ENJEKSİYON PARÇALARIN ÖLÇÜ VE BİÇİM TAMLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Arman İPEKÇİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Mehmet Emin YURCİ

Plastiklerin hafiflik, kolay işlenebilirlik, korozyona karşı dayanıklılık, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı, boyanabilirlik özellikleri otomotiv, uçak, elektrik, elektronik, ev aletleri gibi sanayinin bir çok dalında kullanımının yaygınlaşmasına neden olmaktadır.

Günümüz imalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, plastik enjeksiyon parçalarının ölçü ve biçim tamlığının önemini giderek artırmaktadır. Sanayi firmalarının birbirleriyle rekabet edebilmeleri bahsinde, maliyet azaltıcı çalışmalar ön planda yerlerini almaktadır. Bu nedenle, hassas ölçü ve biçim tamlığındaki parçalar ile kısa sürede projeler devreye alınmak istenmektedir.

Bu çalışmada plastik parçaların ölçü ve biçim tamlığına etki eden faktörlerden elastik deformasyonlar incelenmiştir. Elastik deformasyonlar incelenirken plaka deformasyonları ve kalıp lokma deformasyonları olmak üzere iki ayrı konu başlığına ayrılmıştır. Elastik deformasyonlara ergiyiğin akışının, proses penceresinin, kalıp tasarımının ve parça tasarımının etkileri ortaya konarak elastik deformasyonların hesaplanma metotları çeşitlendirilerek açıklanmıştır. Bunun akabinde önleyici kalıp ve parça tasarımları hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

Bu güne kadar olan literatür çalışmalarında otomotiv sektöründeki gibi karmaşık serbest yüzey geometrilerinden oluşan parçaların kalıpları hakkında bir çalışmanın olmadığı göz önünde bulundurularak, tez çalışmasının sonunda dört adet plastik enjeksiyon kalıbının elastik deformasyonları incelenmiştir. Analizlerde kalıp plaka ve

lokma elastik deformasyonları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda alınan tasarım önlemlerinin önemi, hammadde seçiminin önemi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon kalıpları, elastik kalıp deformasyonları, plastik akış analizleri

**INFLUENCE OF MOLD DEFORMATION ON DIMENSIONAL AND SHAPE
INTEGRITY OF PLASTIC INJECTION PARTS**

Arman İPEKÇİ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Mehmet Emin YURCİ

Lightness, machinability, corrosion resistance, electric and heat insulation, dyeability are some of main features that increases application range of plastics in automotive, electrics-electronics and white goods industries.

According to developments of manufacturing technologies, dimensional and shape integrity of plastics parts are getting more important. Companies need cost reducing for being more competitive. For this reason, they want to finish projects immediatly by high precision plastic parts.

In this thesis , elastic deformations which are factor of integrity, was researched. Elastic deformations were seperated into plate and core deformation. Polymer flow, process window, mold design and part design were detailed as main factors of elastic deformations. Furthermore, preventive design tips were explained in this study.

In litreature, researchers studied with parts such as tubes, caps, barrels ext. There is not a study within free form surface parts. That's why four free form plastic injection mold was selected from automotive industry. In thesis application chapter, plate and core elastic deformation were analyzed. Final of the thesis, importance of preventive designs and material selections were mentioned.

Keywords: Plastic injection molds, elastic mold deformations, polymer flow analysis

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Plastik malzemeler tüm dünyada gerek araştırma ve geliştirme, gerekse uygulama alanı bakımından hızlı bir gelişme göstermektedir. Plastiklerin gelişiminde en büyük aşama, malzemenin cam, grafit ve karbon elyafları ile karıştırılarak kuvvetlendirilmiş plastiklerin elde edilmesidir. Bu sayede plastiklerin mekanik özellikleri metallerin seviyesine yaklaşmakta ve bir çok alanda metallere rakip olmaya başlamaktadır. Günümüzde, plastik malzemeler metallerin yerini almaktadır ve laboratuvar koşullarında elde edilen malzemeler oldukları için çeşit, mekanik, optik vb. özelliklerini geliştirme imkânı sonsuzdur. Bu nedenle gelecekte ağır koşullarda çalışan makine parça ve sistemlerinde plastik parçalar güvenle kullanılabilecektir.

Plastikler hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına, iyi bir yüzey kalitesine ve görünüşe sahip polimerlerdir. Makine, uçak, elektrik, elektronik, ev aletleri gibi sanayinin bir çok dalında gün geçtikçe daha çok kullanılmaktadır. Ayrıca tıp alanında insanların dokuları ve organları arasında plastikten yapılan yapay doku ve organlar gittikçe daha çok kullanılmaktadır.

Günümüzdeki yazılımsal ve teknolojik gelişmeler sonucunda, kalıp imalat süreleri ve seri imalata geçiş süreleri kısalmıştır. Otomotiv ana sanayi firmaları ve onların tedarikçileri birden çok plastik parçanın bir arada bulunduğu sistemler tasarlayıp, üretmektedir. Bu sistemlere aydınlatma ve havalandırma grupları örnek verilebilir. Örneğin bir otomobilin arka stop lambasına ait bir projenin bütçesi ürün tasarımı ve kalıp maliyetleri ile 1 milyon €'yu bulmaktadır. Bu nedenle, yapılabilecek bir tasarım hatası veya kalıplardan kaynaklanan ölçü ve biçim hataları ek maliyetler getirmektedir.

Bu gibi durumlarda ya üründe tasarımsal bir geliştirme yapılır ya da kalıba tadilat yapılarak eski ölçü ve biçim tamlığı yakalanmaya çalışılır. Fakat her koşulda kalıp tadilata alındığı için bu durum proje bütçelerine ek bir maliyet yüklemektedir. Böyle durumlarda satın alma bölümü ile ürün geliştirme bölümleri karşı karşıya gelir. Sonuçta, kalıp imalatçılarına yüklü tadilat bedelleri ödenerek kalıplar seri imalatı uygun parça üretebilecek hale getirilmeye çalışılır.

Birden fazla plastik parçanın bir arada çalışıp, bir sistem oluşturması için parçaların teknik resimlerinin titizlikle hazırlanmasını gerektirir. Şöyle ki, kalıpları doğru yapılmış ve teknik resimlerine uygun olan parçalar bir arada çalışmayabilir. Bu problemlerin nedeni, verilen toleransların hatalı olması olabilir. Prosesteki dalgalanmalar da göz önüne alınarak, kritik fonksiyonu olan parçalar için tolerans analizleri yapılır. Birbirine sıkı geçmesi gereken, boş geçmesi gereken veya merkezleme yapması gereken parçaların analizleri yapılarak muhtemel ölçü çakışmaları veya ölçü hataları engellenmeye çalışılır. Bunun yanında teknik resimlerinde geometrik toleranslandırma yapılarak parçanın biçimsel ve şekilsel tamlığı kontrol edilmektedir. Parçanın referans yüzeyleri ile aracın referans düzlemleri arasında paralellik, diklik gibi kontroller yapılarak ve araç eksenindeki pozisyonları nokta bulutları atanarak ile ölçülmektedir. Aslında yapılan bu toleranslandırma çalışmalarının amacı, kalıpları tadilata almadan hızlı bir şekilde ürünün onay safhasına gelmektir. Bunun sonucunda otomotiv ana sanayi firmaları veya sistem tedarikçileri, kalıp imalatçılarına hazırladıkları teknik resimlerde toleranslarda daraltmalara gitmektedirler. Dar toleranslarda, yüksek hassasiyette istenilen parçalar sayesinde, hem tolerans çakışmalarıyla karşı karşıya kalınmayacak hem de kalıplara her hangi bir müdahaleye lüzum olmayacaktır. İşte bu nedenle, plastik parçaların ölçü ve biçim hassasiyeti son yıllarda giderek önem kazanmıştır. AL-KOR MAKİNA firmasında yaklaşık 3,5 yıldır devam ettiğim kalıp tasarımcılığı ve ürün geliştirme projelerimde gördüğüm kadarıyla, her geçen yıla oranla plastik enjeksiyon parça toleransları daralmakta, talaşlı imalat parça toleranslarına yaklaşmaya başlamaktadır.

Bir plastik parçanın tasarımından üretimine kadar yaşadığı parça tasarımı, kalıp tasarımı, proses ayar parametreleri ve enjeksiyon makinesinden oluşan aşamalara doğrudan veya dolaylı yoldan bağlı tüm bileşenler plastiklerin ölçü ve biçim

hassasiyetine etki eder. Alt başlıklar halinde etmenleri saymak istersek ilk akla gelenler çarpılmalar, çekmeler, büzülmeler, kalıp elastik deformasyonları, talaşlı imalat hataları(toleransları), enjeksiyon prosesinin ve makinesinin süreksizliği sayılabilir. Çalışmamda kalıplardaki elastik deformasyonların parçaların ölçü ve biçim hassasiyeti üzerine olan etkisi incelenmiştir. Otomobillerin aydınlatma gruplarına ait plastik ve montajlı parça üretimi yapılan AL-KOR MAKİNA firmasına ait 4 adet plastik enjeksiyon kalıbı incelenmiştir. Autodesk Moldflow programını kullanarak, kalıp plakalarındaki ve kalıp lokmalarındaki elastik deformasyonlar incelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Yapılan literatür araştırmalarına göre, ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki akışını ve kalıpta yarattığı deformasyonu tespit etmek için analitik çözümler, simülasyonlar, yapay zeka yöntemlerine dayalı yöntemler, deney ve donanımlarla akış parametreleri ve akışın tipi gözlemlenmektedir. Kimyasal yapısı ve ısı-fiziksel değişimlerinden çok karmaşık akış özelliğine sahip olmasından dolayı, plastiklerin kalıp boşluğundaki akışını analitik olarak çözüp, doğru tahminlerde bulunabilmek neredeyse imkansız denecek kadar zordur. Deneysel yöntemlerle yapılan akış analizleri de, gerçekte akış analizi ve simülasyon mantığına uygun değildir. Literatürde yapılan çalışmalarda da, seçilmiş olan model uygulamalarını gerçekçi kılabilmek adına bazı ihmaller yapılmaktadır. Bu ihmallerle sayesinde bir sonuca varılabilmektedir. Ayrıca önemle belirtmek isterim ki, literatürde deformasyonları kolayca analiz edilebilecek ve son derece uygun geometriye sahip parçalar seçilmiştir.

Kennedy vd. [1]'de kalıp deformasyonlarının öngörülebilmesiyle ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Kalıpta deformasyonların ince kesitli parçalarda problemlere neden olduğunu ve sonlu elemanlar yöntemindeki sınır şartlarını değiştirdiğinden bahsederek konuya giriş yapmıştır. Deformasyon ve yer değiştirmelerin laborant test tüplerinde, şırıngalarda, şişelerde vb. parçalarda olabileceğini belirtilmiştir. Enjeksiyon ve ütüleme zamanlarda oluşan non-uniform akış lokmaları deforme ederek, parçanın kalınlığı değiştirmektedir. Başka bir araştırmacı olan Shepard, yaptığı çalışmalarda deformasyonlara etken olarak kalıp tasarımını ve enjeksiyon proses ayarlarını göstermiştir.

Ergiyik polimerin basıncı p , kalıbın yüzeyine f kuvveti uygulamaktadır ve bu kuvvet elastik deformasyonlar oluşturur. F kuvvetinin sebep olduğu deformasyonun hızı, hesaplamalarda kullanılan kütle korunumu eşitliklerine ilaveten S_p terimini ekletir.

S_p teriminin etkileri şöyle sıralanır;

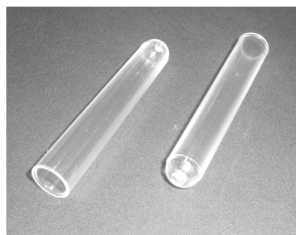
- 1) Ütöleme fazının son aşamalarında viskozitenin yükselmesiyle ergiyiğin basıncına etki etmeye başlar.
- 2) Ergiyik polimer, kalıp yüzeyine temasıyla katılaştıkça elastik deformasyonlar kararlılığa ulaşır ve sabit bir değer almaktadır. Polimerin akışı ile kalıp deformasyonları arasında oluşan bileşik etki(coupling effect), kalıpta oluşan deformasyonları kalıcı hale getirmektedir. Eğer bileşik etki olmaz ise, deformasyonlar ergiyiğin basıncının etkisiyle başlayacak, basıncın sıfırlanmasıyla deformasyonlar kaybolacaktır.

Kennedy vd.'nin diğer bir bulgusu da, enjeksiyon hızı ile deformasyonların ilişkisidir. Enjeksiyon hızı artırıldığında, deformasyon değerlerinin azaldığını ortaya çıkarmışlardır. Katılaşmaya başlayan katmanların daha ince oldukları ve ince katmanların da daha az elastik deformasyonlara neden oldukları düşünülmektedir.

Kennedy çalışmalarını aşağıdakiler gibi özetlemişlerdir;

- 1) Deformasyonlar, enjeksiyon aşamasında maksimum olduktan sonra ütöleme safhasında azalır ve polimerin katılaşmasıyla belirli bir kararlılıkta sabitleşirler. Bu da plastik parçada kesit değişimlerine sebebiyet verir.
- 2) Deformasyonlar, akışı ve ütöleme basıncının dağılımını etkilemektedir.
- 3) Enjeksiyon hızı artırılması, deformasyonların azalmasına neden olur.

Giacomin vd. [2]'de yapmış olduğu çalışmada bazı ihmallere ve kabuller yapılarak deformasyonlar hakkında bilgi edinilmiştir. Genelde tüp formuna sahip parçalarda olabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Plastik tüpler

Giacomin vd. aşağıdaki hallerde kalıp geometrisinde elastik deformasyonların ortaya çıkabileceğini öne sürmektedir;

- 1) Sıvı polimerin kalıp lokmalarına tek taraftan çarpması
- 2) Kalıp veya lokmalardaki yolluk girişlerinin asimetrik tasarlanması
- 3) Kalıbın kılavuzlanmasını ve kilitlenmesini sağlayan kayıtlama yüzeylerinde kaçıklık olması; dolayısıyla yanal kuvvetlerin karşılıklı dengelenememesi
- 4) Uniform olmayan soğutma sonucu, sıcak ergiyiğin soğuyan bölümden önce kalıp cidarlarına ulaşp, kalıp lokmalarına tek taraftan çarpması
- 5) Yetersiz veya yanlış konumlandırılmış gaz kanallarının ergiyiğin gidiş yönünde sapmalara neden olması ve lokmalar ile beklenmedik şekilde temas etmesi
- 6) Şelale tipi soğutma kanalları için kesiti inceltilen lokmalar kullanılması

Yukarıdaki sakıncalı durumların ortaya çıkmaması için lokmalara federler atılabilir, malzemeleri tungsten karbürden seçilebilir ve lokmanın uzunluk/çap oranının 5'ten fazla olmamasına çalışılır.

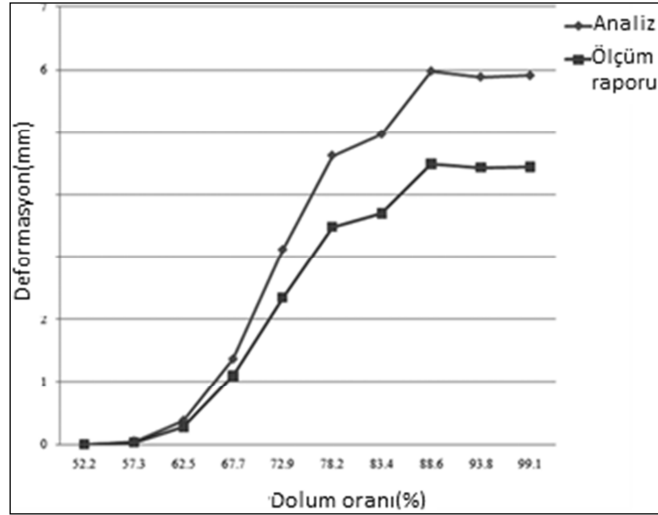
Yukarıda adı geçen bileşik etki ifadesini açmamız gerekiyor. Sıvının, katıya olan temasından sonra başlayan deformasyonların neticesinde, katının da sıvının akışını etkilemesine denir. Eşitlik (1.1)'den görüleceği üzere polimerin ve kalıbın, deformasyon ve gerilme değerleri birbirlerine eşittir. Burada d_s polimerin elastik gerinimini, d_k kalıbın elastik gerinimini, τ_s polimerin gerilmesini, τ_k kalıbın gerilmesini göstermektedir.

$$\begin{aligned} d_s &= d_k \\ \tau_s &= \tau_k \end{aligned} \tag{1.1}$$

Yi-Chang Chen vd. [3] akış analizlerini Moldex3d programında yapmış, buradan aldıkları basınç dağılımını ANSYS programına aktararak deformasyonları görmüşlerdir. Daha sonra da analiz sonuçları ile parçaları ölçüm raporlarını karşılaştırmışlardır.

Kalıp plakalarından birinin içine temperlenmiş cam yerleştirildikten sonra bir ayna vasıtasıyla görüntü kameraya yansıtılmıştır. Akış non-izotermal ve kararsız akıştır (akış parametreleri zamana bağlı olarak değişmektedir). Viskozite tanımlaması viskoelastisite ihmal edilerek, düzeltilmiş Cross modeli uygulanmak suretiyle yapılmıştır. Hesaplamalarda bileşik etki ihmal edilmiştir.

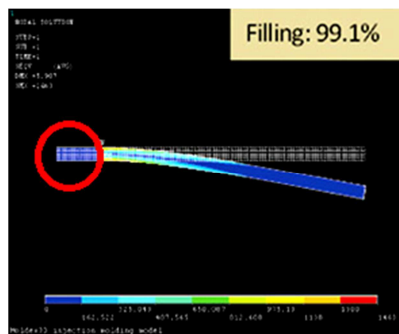
Çalışmanın sonucunda, deformasyonların kalıp boşluğu hacminin % 57.3'ünü geçtikten sonra başladığı görülmüştür. Hacmin %89'unda maksimum değerine ulaşan deformasyon değeri, hacmin %94'ünden sonra düşüşe geçmiştir. Ölçüm raporları ile analiz sonuçları kıyaslandığında Şekil 1.2'deki sonuç çıkmıştır.



Şekil 1.2 Ölçüm raporları ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması [3]

Araştırmacılar sonuçların farklı çıkmasını bileşik etkinin hesaplanmamış olabileceğine bağlamışlardır. Ancak, viskoelastisiteyi ihmal etmelerine rağmen analiz sonuçlarının yüksek çıkmasını şaşırtıcı bulmaktadırlar.

Sonuçların farklı çıkmasıyla ilgili olarak kişisel fikrim, analizi tanımlarken Şekil 1.3'teki alüminyum lokmanın sadece kırmızı daire ile belirtilen bölgeden mesnetlenmiş gibi gösterilmesidir. Erkek ve dişi çekirdekler kapandıkları zaman, alüminyum lokmaya basma gerilmesi uygulayacaktır ve bu gerilmenin yaratacağı kuvvetler lokmanın deformasyonunu engellemeye çalışacaktır. Kalıp imalatlarından edindiğim tecrübelerle istinaden, bu tür parçalarda çapak oluşumunu engellemek için metal parçaya fazladan 0.05 mm sıkma payı verilmektedir.

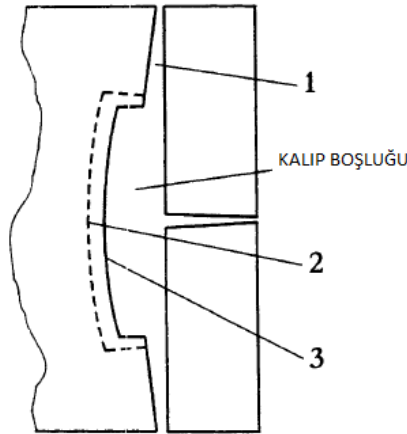


Şekil 1.3 Alüminyum lokmanın deforme olması [3]

Delunay vd. [4] yaptığı çalışmada kalıp deformasyonlarının basınç dağılımlarına ve parçanın kendini çekmesine karşı oluşan etkilerini incelemiştir. Çalışmaların ana amacı kalıp rijitliklerini lokal olarak incelemektir. Bir diğer amaç da deformasyonların etkilerini incelemektir.

Çalışmaların temelinde termomekanik, viskoelastik, kristalizasyon kinetiği denklemleri vardır.

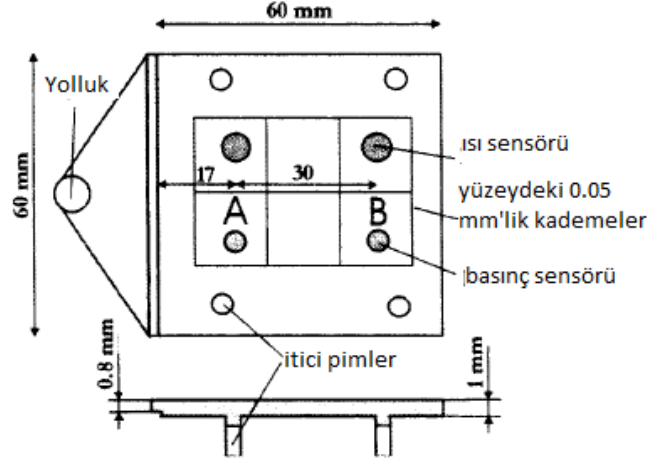
Delunay vd. deformasyonları üç kategoriye ayırmıştır. Şekil 1.4'te gösterildiği üzere, düşük kapama kuvvetli makine seçimi sonucu kalıbın açılması(1), kalıp boşluğunun yeterli rijitliğe sahip olmayıp deforme olması(2), kalıp plakalarının deforme olması(3) şeklinde sınıflandırılmıştır.



Şekil 1.4 Deformasyonları gösteren temsili bir çizim [4]

Kalıpların içinde hareketli, çalışan parçalar olduğundan basit bir yapısı yoktur. Bu sebeple yapılan uygulamanın bir değerlendirme niteliğinde olup, basınç düşümü ve hacimsel/lineer kendini çekmelerin incelendiği belirtilmiştir.

Kalıba Şekil 1.5'te görüleceği gibi basınç sensörleri ve ısı sensörleri yerleştirilmiştir. Lineer çekmeyi anlayabilmek için de kalıp yüzeyine 0.05 mm'lik kademeler yapılmıştır.



Şekil 1.5 Çalışmalarda kullanılan kalıp [4]

Çekme ile ilgili denklem (1.2) eşitliğindeki gibidir. Burada S_p akış doğrultusundaki çekme, S_n akışa dik çekme, S_z kalınlık yönündeki çekmedir.

$$S_v = 1 - (1 - S_p)(1 - S_n)(1 - S_z) \quad (1.2)$$

Kalıp boşluğunun derinliği 1.04 mm olarak belirtilmiştir. Akış analizleri Moldflow Yazılımında yapılarak ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında görülmüştür ki, ütüleme safhasından basınç düşüşü olmaktadır ve soğuma sırasındaki yastıklamayla beraber basınç az da olsa yükselmektedir.

Deformasyona neden olan eşdeğer gerilmeler $\bar{\sigma}_p \bar{x}$ akış doğrultusundaki, $\bar{\sigma}_n \bar{y}$ akışa dik, $-p \bar{z}$ kalınlık doğrultusundaki şeklindedir. Parça itildikten sonra bu gerilmeler sıfır olmaktadır.

Kalınlık doğrultusundaki gerinim ε_z , kalıptan henüz çıkan parçanın kalınlığı t_m ile kalıptan çıkan soğumuş parçanın kalınlığının t_a farkına, t_a 'nın bölümüdür. Kalıp boşluğunun derinliği ile deformasyon miktarı kalıptan henüz çıkan parçanın kalınlığına eşit olduğu belirtilmiştir.

Araştırmacılar, hesaplamalarda kullanılan denklemler belirlerken akışın izotropik termo elastik olduğu kabul etmişlerdir. Plastiklerin anizotropik olduğunu, çalışmayı kolaylaştırmak için böyle bir kabul yaptıklarını da ayrıca belirtmişlerdir.

Hesaplamalarda kullanılan normal doğrultudaki gerilemeleri sensörlerden, deformasyon miktarını ise kalıp boşluğu derinliği ile kalıptan henüz çıkmış parçanın

kalınlık farklarından, Young Modülünü ve Poisson oranlarını malzemenin teknik dökümanlarından elde etmişlerdir.

Şekil 1.6’da yapılan deneylerin proses isimleri ve şartları yer almaktadır. Şekil 1.7’de hesaplamaların sonuçlarına yer verilmiştir.

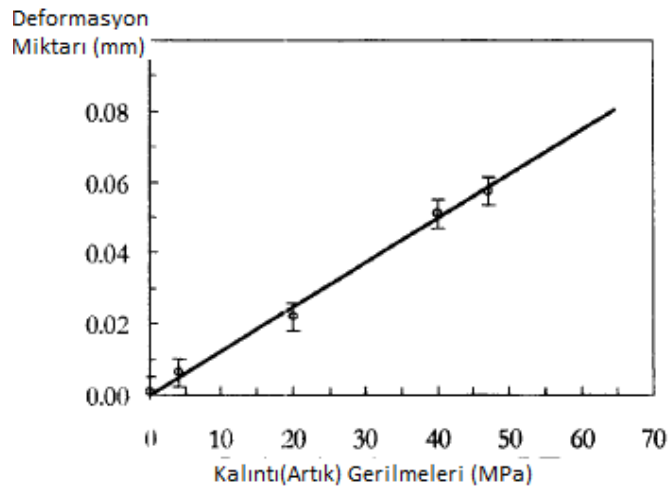
Proses İsimleri	C40-8	C40-17	C60-8	C80-8	C80-17
Enjeksiyon zamanı (s)	0.8	1.7	0.8	0.8	1.7
Ütölleme basıncı (MPa)	43	40	60	85	80

Şekil 1.6 Deney proseslerinin isimleri ve şartları [4]

Proses İsimleri	Kalıntı Gerilmeleri (Mpa)	ta (mm) Parçanın kalıptan çıktan sonraki kalınlığı	Sp(%)	Sn(%)	$\epsilon_z(\%)$	tm (mm) Kalıptan henüz çıkan parçanın kalınlığı	d (mm) Kalıp Deformasyonu
C40-8	0	1.055	1.53	1.08	-1.30	1.041	0.001
C40-17	4	1.063	1.75	1.02	-1.52	1.045	0.006
C60-8	20	1.077	1.14	0.88	-1.41	1.062	0.022
C80-8	40	1.110	0.97	0.72	-1.71	1.091	0.051
C80-17	47	1.122	1.28	0.76	-2.15	1.097	0.057

Şekil 1.7 Hesaplamaların sonuçları [4]

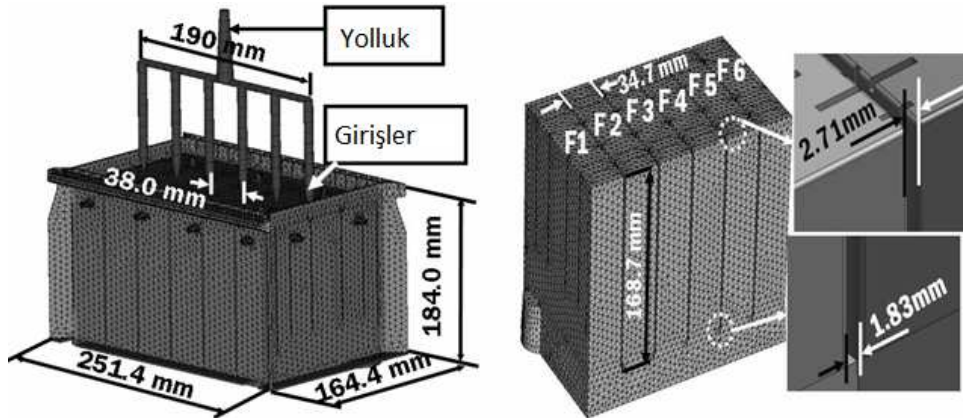
Bu sonuçlara bakıldığı zaman, ütölleme basıncının yükseltilmesiyle kalıpta oluşan artık gerilmelerle paralel olarak kalıp deformasyonunun arttığı görülmektedir. Şekil 1.8’de durum gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.8 Gerilemeler ile deformasyon miktarının ilişkisi [4]

Dong-Gyu Ahn vd. [5] yaptığı çalışmada plastik akü kutusuna ait bir kalıbın optimum enjeksiyon parametreleri kalıp deformasyonu açısından belirlenmek istenmiş. Araştırmacı burada deneysel ve yazılımsal olarak ona yakın denemelerde bulunarak farklı enjeksiyon parametrelerinde deformasyonların nasıl değiştiğini gözlemlemiştir. Optimize edilecek enjeksiyon parametrelerinin aynı zamanda parçada çarpılmaya

sebebiyet vermemesi göz önünde bulundurulmuştur. Kalıba ait görsel Şekil 1.9'daki gibidir.



Şekil 1.9 Çalışmada kullanılan kalıp [5]

Çalışmanın sonucunda edilen verilere göre kalıbın erkek tarafındaki lokmanın deformasyon miktarı 0.15 mm civarlarında çıkmıştır. Yapılan optimizasyon ile bu sonuç 0.07 mm değerlerine indirilebilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda enjeksiyon basıncı artırıldığı zaman deformasyon miktarının arttığı fakat parçadaki çarpılmaların azaldığı görülmüştür. Bu nedenle 0.07 mm deformasyon değeri ve buna ait çarpılma makul kabul edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Plastik enjeksiyon kalıplarında elastik deformasyonların ortaya çıkması tasarımcılar ve kalıpcılar tarafından bilinen bir konudur. Bunun etkilerini azaltmak için tasarımsal önlemler alınmaktadır. Açılı pim ile çalışan maçaların arkalarına kilit koymak bunun en tipik uygulamalarındandır. Plastikğin akışının tam olarak bilinmemesi, hesaplamaların kolaylaşması için bazı ihmaller yapılması, ergiyiğın çevresel faktörlerden kolayca etkilenebilmesi, hammadde üreticilerinin stabil bir üretim yapamamaları nedeniyle analiz programlarının doğru sonuç verme ihtimalleri %70-90 arasındadır. Literatürde yapılan önceki çalışmalarda akış analiz programları ile hesaplanan basınç değerleri, ANSYS gibi yazılımlara aktararak veya el ile hesaplamalar yaparak elastik deformasyonlar görülmeye çalışılmıştır. Kalıp tasarımları sırasında yapılan dolum ve ütüleme analizlerine bu çalışmada farklı bir yaklaşım ile bakılarak, mukavemet analizleri dolum ütüleme analizleri ile birlikte yapılmıştır.

Son yıllardaki bazı çalışmalarda kapak, tüp, şırınga vb. derinliğe sahip parçaların, kalıp lokmalarındaki deformasyonlar incelenmiştir. Fakat, otomotiv sektöründeki gibi serbest yüzeylerden tasarlanarak oluşturulan parçalara ilgili bir çalışma yoktur. Hassas ölçü ve biçim tamlığı olan karmaşık geometrilerdeki kalıpların ve lokmaların deformasyonlarını incelemek, çıkacak sonuçların nedenlerini ortaya koymak, Moldflow programının mukavemet analizlerindeki kabiliyetlerini keşfetmek ve uygulamacı mühendislere göstermek tezin amaçları arasındadır.

1.3 Bulgular

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, plastiğin akışının zor ve karmaşık olduğu her çalışmada belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda ele alınan kap, tüp, şırınga gibi boy kesit oranın orantısız olduğu parçalarda kalıp lokmalarının deformasyonları yoğunlukla incelenmiştir. Bunun sebebini de hesaplanmasının kısa ve kolay olması açısından açıklayabiliriz. Uygulama bölümünde yaptığım analizlerde, Türkiye bulunabilecek sayılı iş istasyonu olarak tabir edilen bir bilgisayar kullanmama rağmen, bir kalıba tümüyle ağ(mesh) örüp, analizi koşturmak imkansızdır. Çünkü karmaşık geometrideki parçaların çekirdeklerine ağ örülürken, hassas ve ince bir mesh ayarı kullanmak zorunda kalınmaktadır. Aksi takdirde mesh hataları ile karşılaşp, geometriyi sadeleştirmeniz gerekiyor. Bu da analizin, gerçekten uzaklaşmasını sağlıyor. İnce bir ayar kullandığınızda da eleman sayısı arttığı için, bilgisayarın kapasite sınırları zorlanıyor. Bu nedenle, literatürdeki çalışmalarda da yapmış olduğum uygulamalarda da ağırlıklı olarak kalıp lokmalarındaki elastik deformasyonlar incelenmiştir.

Yapılan incelemelerim neticesinde kalıp plakalarının ve kalıp lokmalarının elastik deformasyonlarının birinci nedeninin parça tasarımı olduğu görülmüştür. İkinci neden olarak da, elastik deformasyonları öngörülmemiş yani önlem alınmamış kalıp tasarımları olarak açıklanabilir.

ELASTİK DEFORMASYONLAR ve PLASTİK PARÇALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

2.1 Elastik Deformasyon Gösteren Sistemler

Enjeksiyon kalıpları, ergimiş polimerin yüksek basıncına maruz kalmaktadır. Kalıpların yapısal tasarımı bu kuvvetlere karşı dayanıklı olabilmeli ve kaliteli ürün üretebilmelidir. Deformasyonlar; parçaların kalınlıklarını, ölçülerini etkilemekle beraber çapak oluşuma neden olabilmektedir. Deformasyona maruz kalan bir kalıp, gerek fonksiyonel özellikleri gerekse çalışma mekanizması olumsuz yönde etkilenir. Bu etkiler aşağıdakiler gibi sıralanabilir;

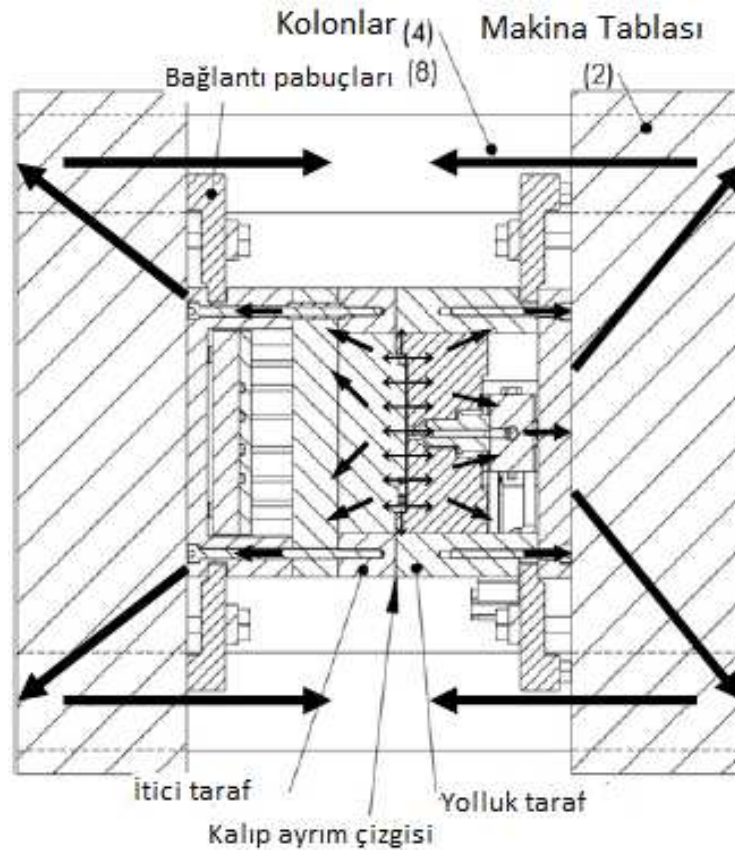
- Kalıbın merkezleme elemanlarında eksen kaymaları, kayıtlama yüzeylerinde aşınmalar veya istenmeyen çalışma boşlukları olması
- Kalıp elemanlarının ömürlerini beklenenden önce tamamlaması
- Kaliteli bir üretimin yapılamamasında ötürü maddi kayıpların olması
- Hareketli mekanizmalarda kasıntılar olması

Ergiyik polimerin basıncı, kalıbın ve makinenin deformasyonuna neden olmaktadır [6]. Bu bölümde makine ve kalıplara etki eden gerilmeler ve deformasyonlar açıklandıktan sonra Bölüm 2.3'te hesaplamalara değinilecektir.

2.1.1 Makine

Mukavemetli bir tasarım için, kalıbın iç gerilmeleri ile kalıp ve makine arasındaki ilişkinin iyi bilmesi gerekmektedir. Şekil 2.1'de gerilmelerin yönleri gösterilmiştir.

Makinenin tablası eğilme gerilmesine maruz kalıp, gerilmeleri kolonlara aktararak onları da çekme gerilmesine maruz bırakmaktadır.



Şekil 2.1 Ergiyik basıncının neden olduğu gerilemeler [6]

2.1.2 Kalıp

Kalıp lokmaları, maçalar, dişi plaka, erkek plaka ve destek plakası basma, kesme ve eğilme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Şekil 2.1’de kalıp elemanlarına etkiyen gerilmelerin yönleri görülebilmektedir. Şekil 2.2’de kalıp ve makinaya ait deformasyonlar ölçeklendirilerek gösterilmektedir.

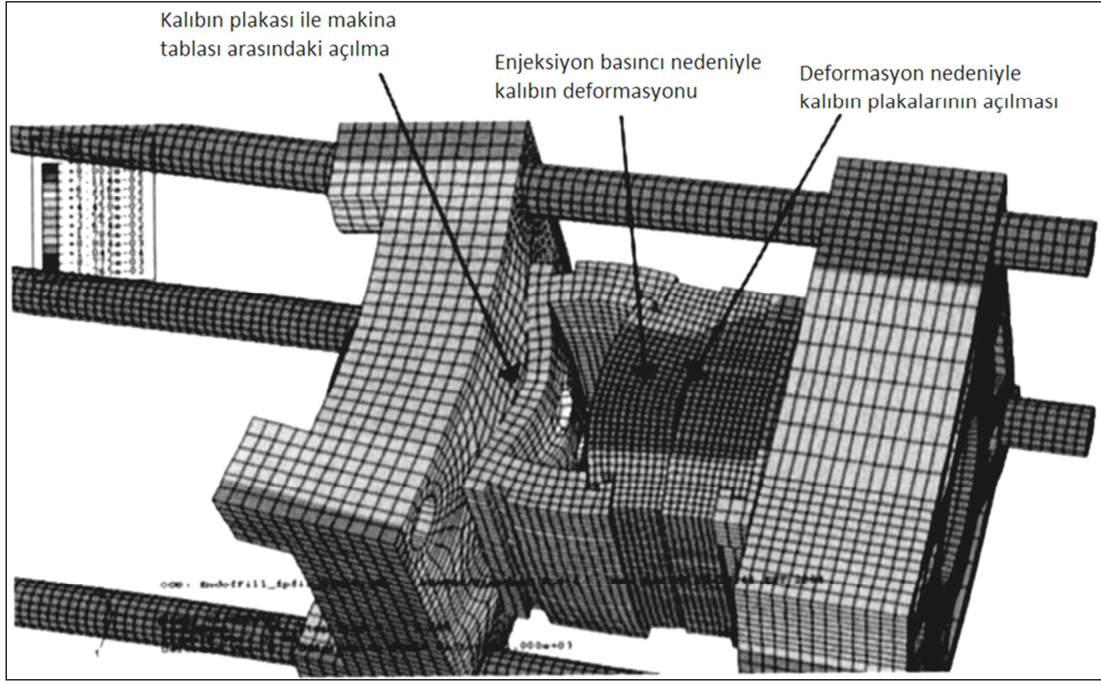
2.2 Kalıpların Elastik Deformasyonunda Rolü Olan Donanım ve Etmenler

2.2.1 Ergiğin Akışı

2.2.1.1 Akış Özellikleri

Plastik enjeksiyon yöntemiyle parça üretiminde, ergimiş plastik genellikle ince kesitli ve düzgün olmayan geometrideki kalıp boşluklarına belirli bir basınç, hız ve

sıcaklık altında enjekte edilmektedir. Enjekte edilen ergimiş plastik kalıp boşluğuna dolarken, ideal olmayan ve üniform ısıya sahip olmayan formda akmaktadır.



Şekil 2.2 Deformasyonların ölçeklendirilerek abartılı gösterimi [7]

Plastiklerin enjeksiyon prosesinde en karmaşık konu plastiklerin akışıdır. Plastiklerin akışının karmaşık ve çözümünün zor olmasının sebebi, ergimiş plastiğin yapısından kaynaklanan karmaşık akış karakterine sahip olmasıdır.

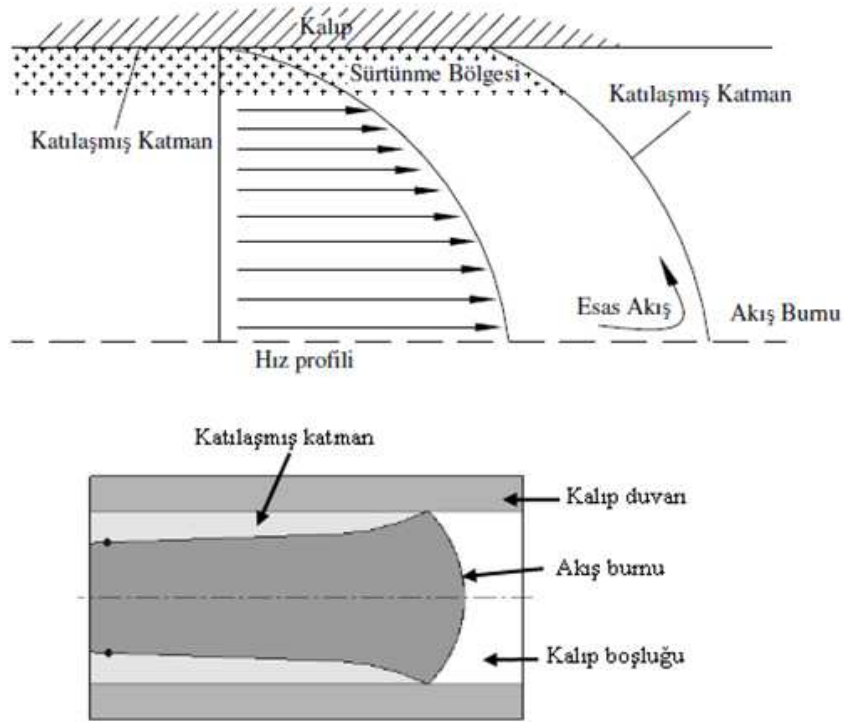
Akış esnasında soğuk kalıp yüzeylerine temas eden ergiyik, yüzeye yapışarak ilerlemekte ve ısını kaybetmektedir. Ergiyik, boşluk içerisinde katılaşarak şekillendirilmektedir. Enjeksiyon memesinden yolluğa enjekte edilen plastik malzemenin kalıp içerisindeki akışı Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, plastiğin akışı sırasındaki akış burnunda (akışın ucu) ve kalıp yüzeylerinde katılaşmış bir yüzey bulunmaktadır [8], [9].

Ergiyiğin, ocak veya kalıp duvarları gibi yüzeylere yapışık olarak akması iki yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı kayma gerilmesi meydana getirmektedir. Kayma oranı, hacimsel birimin üst ve alt kenarlarının hızları arasındaki farkın, hacimsel birimin kalınlığına oranıdır. (2.1)'de γ kayma oranı, ΔV hız, Δy ise düzlem arası uzaklıktır.

$$\gamma = \Delta V / \Delta y \quad (2.1)$$

Kayma gerilimi τ , malzemeyi akış yönünde deforme etmek için gerekli kuvvetin hacimsel birimi kesit alanına oranıdır. Su veya yağ gibi bazı sıvılar için kayma oranı ile kayma kuvveti yani kayma gerilimi lineer bağlantılıdır. İdeal viskoz sıvı veya Newtonien sıvılarında kayma gerilimi (2.2)'deki gibi ifade edilmektedir. Burada τ kayma gerilimi,

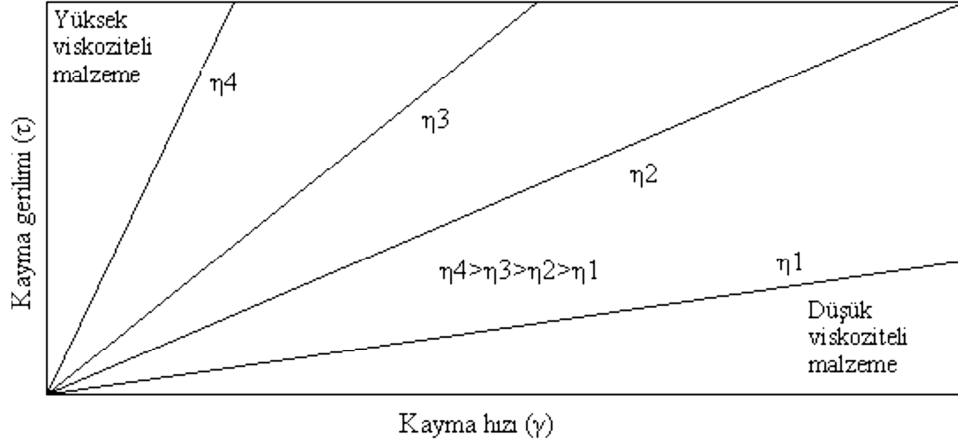
$$\tau = \gamma \eta \quad (2.2)$$



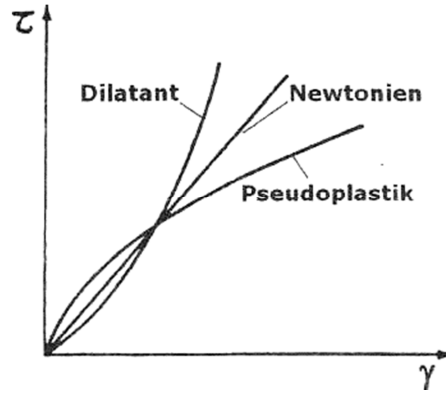
Şekil 2.3 Ergiyiğin kalıp duvarlarına olan teması [9]

η kayma viskozitesi ve γ kayma oranı olmaktadır. Kayma viskozitesi, gerilmeye maruz kalan akışın direncini gösteren bir kriterdir. Kayma oranı γ ve kayma gerilimi τ arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilere akış eğrisi adı verilir (Şekil 2.4). Aynı kayma oranı(hızı) değerinde yüksek viskozite yüksek kayma gerilimi anlamına gelmektedir. Yine aynı şekilden, aynı kayma geriliminde viskozite azalırken kayma oranının arttığı da görülmektedir.

İdeal bir viskoz sıvıda viskozite sabittir. Ergimiş polimer ise Newtonien veya basit sıvı karakteristikleri göstermez. Polimer ergiyiğin kayma hızı ile kayma gerilmesi doğrusal olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Non-Newtonien akış olarak da bilinen bu özellik, plastiklerin akışını diğer akışkanlardan ayırmaktadır. Non-newtonien sıvılar, dilatant ve pseudoplastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ergimiş plastik, pseudoplastik malzemelerdir. Şekil 2.5'te akış eğrileri gösterilmektedir [10].



Şekil 2.4 Akış eğrisi [9]



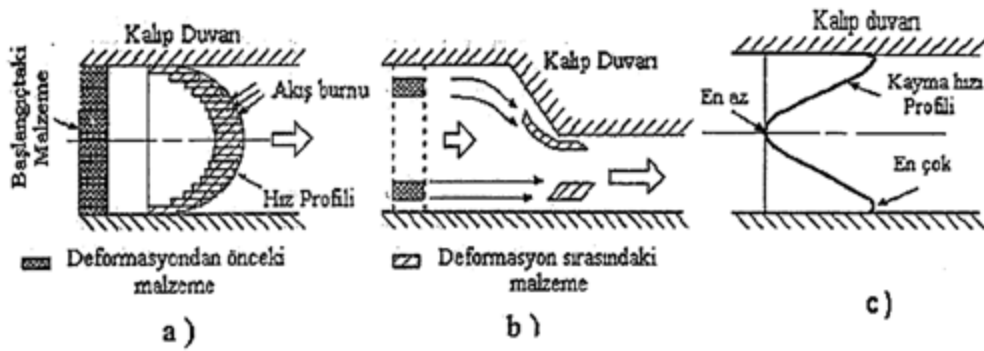
Şekil 2.5 Dilatant, newtonien ve pseudoplastik malzemelere ait akış eğrileri [10]

Ergiğin diğer bir özelliği de Weissenberg olarak isimlendirilmektedir. Akış sırasında ilave kuvvetlerin oluştuğu ve bu kuvvetlerin kalıp plakaları birbirinden ayırmaya çalıştığı yani akımın yönüne dik olduğu belirtilmiştir [10].

Uzun zincirli ve çok sayıda moleküllerden (makro molekül) oluşan plastikler, üzerlerine uygulanan itme kuvveti ile akmaya zorlandıklarında hem plastik hem de viskoz akış özelliği göstermektedir. Üzerine uygulanan yük ile harekete geçen akışkanın, kayma hızına bağlı olarak akış doğrultusu değişmekte ve böylelikle uzun zincirli makro moleküller de yönlendirilebilmektedir. Uzun zincirli moleküller akış doğrultusunda yönlendirildiklerinde, akışa karşı göstermiş oldukları direnç azalmakta dolayısıyla, ergiğin viskozitesi akış sırasında düşmektedir. Kayma incelmesi olarak da bilinen plastiklerin bu özelliği ihmal edildiğinde, akış analizleri hatalı olmaktadır.

Ergimiş plastikler, 180°C-350°C sıcaklık aralığında şekillendirilmektedir. Enjeksiyon kalıbının sıcaklığı 30°C-70°C aralığında olup, akış esnasında ergimiş plastik ile kalıp yüzeylerine arasında ısı transferi olmaktadır. Değişen sıcaklık ile birlikte akışkanın yoğunluğu da değişmektedir. Dolayısıyla, kayma gerilmesi ve kayma hızı da değişen bu akış tipinde, zamana bağlı olarak, akışı etkileyen sıcaklık, basınç, hız, viskozite gibi tüm parametreler değişmektedir. Bu yüzden ergiyiğin akışı çok karmaşık ve zor bir konu olmaktadır.

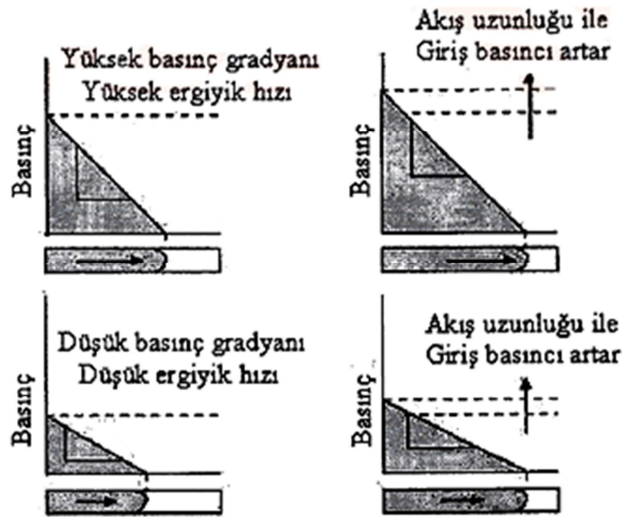
Yukarıdaki paragrafta belirttiğim gibi enjeksiyonla kalıplama sırasında, ergimiş termoplastiklerin akışı, katmanların birbiri üzerinden kayması şeklinde olmaktadır. Şekil 2.6'da ergimiş termoplastiklerin, kesit daralması olan bölgeden geçerken kayarken incilmesi(uzama akışı) görülmektedir. Yine Şekil 2.6'dan görüleceği üzere kalıp duvarları ile ergimiş plastiğin ara yüzeylerinde kayma hızı en yüksek değerine ulaşmakta, akış merkezinde ise kayma hızının değeri sıfıra yaklaşmaktadır [8].



Ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki akışı. a) Kalıp boşluğunun dolumu sırasında kayma akışı b) Kalıp boşluğu içindeki uzama akışı, c) Kalıp boşluğunun dolumu sırasında kayma hızı dağılımı

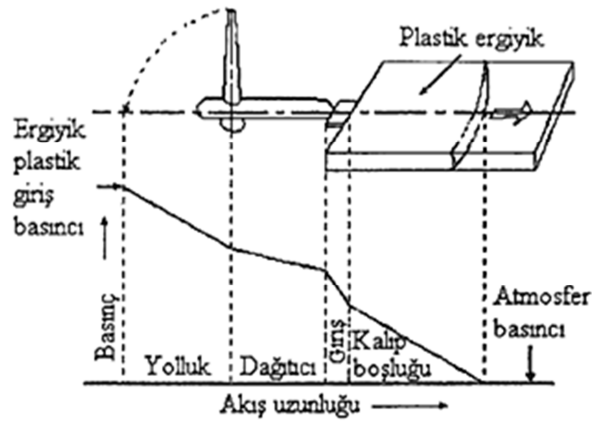
Şekil 2.6 Ergiyiğin kalıp boşluğundaki akışı [8]

Ergimiş plastikler, kalıp boşluğunda akarken yüksek basıncın etkisi altında olduklarından, basınçlı bölgeden atmosfer basıncına sahip bölgeye doğru akmaktadır. Gaz tahliye kanalları doğru tasarlanan bir kalıpta basınç, akış boyunca ergiyik burnuna doğru azalmaktadır. Girişteki yüksek basınç, ergiyik akışını hızlandırmaktadır. Bu nedenle, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi akış hızını korumak için, akış uzunluğuna göre basınç değeri ayarlanmalıdır.



Şekil 2.7 Basınç ile akış uzunluğunun ilişkisi [8]

Şekil 2.8’de enjeksiyon basıncının yolluktan son dolum noktasına kadar olan değişimini göstermektedir.



Şekil 2.8 Basıncın yolluktan son dolum noktasına kadar olan değişimi [8]

Basınç değerinin çok düşük olduğu yerlerde plastiğin akışı mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, basıncın düşük olduğu bölgeler eksik enjeksiyon hataları alınabilmekte, buna karşılık basınç değerinin çok fazla olduğu bölgelerde ise, sıkıştırma işlemi ve deformasyonlar gerçekleşmektedir. Bu nedenle, tecrübelerime istinaden bir kalıp denemesinde hacmin %80’inden başlayarak kademeli olarak kalıp doldurulmaya başlanmalıdır ki kalıpta ilgili istenmeyen durumlarla karşılaşılmasın.

2.2.1.2 Teorik Viskozite Modelleri

Enjeksiyon işlemi konusunda yapılan çalışmalarda, ergimiş plastiğin akış simülasyonu, dolum sonrasındaki termodinamik değişimleri, bu değişimlerin ürün üzerindeki fiziksel

ve mekanik özellikleri, estetik görünümü, geometrik yapısı ve boyut tamlığı gibi ürün kalitesini doğrudan etkileyen parametrelere etkilerinin araştırılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bununla ilgili ticari bilgisayar yazılımlarının da araştırma ve geliştirme süreçleri devam etmektedir. Ayrıca CAD tasarım programları da son yıllarda, kullanıcı sayılarını artırmak için programlarına yeni plastik akış analizi modülleri eklemektedirler. Plastiklerin akış analizleri yapılırken, kullanılan temel denklemler(momentum, enerji ve süreklilik denklemleri) genellikle diferansiyel formda ve çok sayıda terimden oluşur. Bu sebeple çözümleri zor ve uzun süreler almaktadır. Bunun için akış simülasyonu için yapılan analizler genellikle sayısal çözümleme metotları ile yapılmaktadır. Temel denklemlerin çözümü için çok sayıda sayısal çözümleme metotları geliştirilmiştir. Bununla birlikte, sayısal çözümleme metotlarının yanında farklı kabuller ve ihmaller yapılarak temel denklemlerden değişik yöntemlere dayalı bir çok yeni denklemler ortaya çıkmıştır. Temel denklemlerin oluşmasını sağlayan teorik modeller sonraki başlıklarda anlatılmaya çalışılmıştır.

Malzemelerin akış davranışlarını ifade etmek için viskozite denklemine ihtiyacımız vardır. Bununla ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Modeller aşağıdakiler gibidir;

- Üs yasası(power law) modeli
- Moldflow ikinci dereceden viskozite modeli
- Carreau modeli
- Cross modeli
- Cross WLF modeli
- Moldflow matris verileri
- Ellis modeli

Üs Yasası Modeli: Üs yasası modeli, ergiyik plastiklerin yüksek kayma hızı bölgesindeki davranışlarını ifade edebilmektedir. (2.3)'te görüleceği üzere, üs yasasına göre viskozite tanımlanmıştır. $\dot{\gamma}$ kayma oranı(1/s), η viskozite, m yoğunluk indeksi, a malzeme sabiti, T malzeme sıcaklığı, T_0 malzemenin sabit sıcaklık kabul değeri, n üs yasası indeksi, M_0 malzeme sabiti olarak tanımlanmıştır.

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.3)$$

Üs yasası viskozite modelinde, $m = \eta$ ve $n = 1$ olduğunda, ideal bir akışkan için viskozite fonksiyonu elde edilmektedir. Plastik ergiyikler için n üs yasası indeksi, 0 ile 1 arasında değişmekte olup, logaritmik olarak çizilen kayma gerilmesi ($\log \tau$) ile kayma hızının ($\log \dot{\gamma}$) eğimine eşittir. Deneysel sonuçların bu modele uydurularak, m ve n sabitleri kolayca belirlenebilmektedir. Bu nedenle üs yasası modeli bir çok çalışmada kullanılmaktadır. Bu model, düşük kayma hızı oranlarında istenilen sonucu verememektedir. Bu olumsuzluğa rağmen enjeksiyonla kalıplamadaki akışın modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, kalıp boşluğunun dolumu safhasındaki kayma hızları, bu modelin kullanabileceği yeterli büyüklüktedir.

Üs yasası modelinin sıcaklığa bağlılığını gösteren modele Moldflow birinci dereceden viskozite modeli denir. Sıcaklığa bağımlılık (2.4)'te ifade edilmektedir.

$$\eta = A \dot{\gamma}^B \exp(cT) \quad (2.4)$$

Bu denklemde T sıcaklık, A viskozite faktörü, B üs yasası modeline bağlı sabit ve c malzeme sabitidir.

Moldflow ikinci dereceden viskozite modeli: Düşük kayma hızı bölgelerinde viskozitenin gelişmiş bir şekilde anlatılabildiği bu model Moldflow analiz yazılımında kullanılmaktadır. Viskozite (2.5)'te tanımlanmıştır.

$$\ln \eta = A_0 + A_1 \ln \dot{\gamma} + A_2 T + A_3 (\ln \dot{\gamma})^2 + A_4 T \ln \dot{\gamma} + A_5 T^2 \quad (2.5)$$

Burada η viskozite, $\dot{\gamma}$ kayma oranı, T malzemenin sıcaklığı, A_i malzemenin sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. İhtiyaç duyulan duruma uygun olarak deneysel verilerle mümkün olduğunca uyuşan bir model oluşturularak polimer eriyiğın davranışları karakterize edilebilir olan ikinci dereceden viskozite modeli, eriyiğın özellikle aşağıdaki niteliklerinin sağlanmasında kullanılmaktadır;

- Artan sıcaklığa bağlı olarak kayma hızı eğrilerinin yakınsanması
- Artan kayma hızına göre izotermilerin (eş ısı eğrileri) yakınsanması
- Kayma hızının artıp viskozitenin azaldığı durumlardaki artan oranlar
- Sıcaklığın artıp viskozitenin azaldığı durumlardaki azalan oranlar

Modelin dezavantajı, karmaşık akış karakteristiği nedeniyle plastiğın reolojik karakterinin tam olarak yansıtılamamasıdır [8].

2.2.1.3 Viskoziteye Etki Eden Unsurlar

Maddenin akmaya karşı gösterdiği direnç olan viskozite, bir çok unsurdan etkilenmektedir. Viskozite üzerinde en etkin parametre kayma hızı ve sıcaklık olmakla birlikte, diğer unsurları da dikkate değer bir etkisi vardır.

Sıcaklık: Uzun zincirli molekül yapılarına sahip olmaları ergimiş plastiğin akışını ve şekillendirilebilmesini zorlaştırmaktadır. Sıcaklığın artırılması neticesinde plastiklerin iç enerjisi artırılarak molekül zincirlerinin daha kolay deforme olabildiği için viskozitesi düşer ve sonuç olarak akışkanlığı artar [9].

Basınç: Ergiyik, kalıp içinde akışını sağlayan itme kuvvetini enjeksiyon basıncından alır. Dolayısıyla, yüksek enjeksiyon basıncı ile daha kolay ve hızlı bir akış sağlanmış olur. Basınç ve kayma hızı arttıkça, viskozite azalmaktadır. Ancak basıncın süresi arttıkça, sıkışmanın etkisiyle yoğunluk artmaktadır. Yoğunluğun artmasıyla, viskozite yükselir [9].

Akış iyileştiriciler: Akışı kolaylaştırıp, viskoziteyi düşürmek için kullanılmaktadırlar [9].

Molekül ağırlığı: Yüksek molekül ağırlıklı plastikler akmaya karşı dirençlidir. Yüksek moleküler ağırlıklı yani daha uzun makro moleküllere sahip bir polimer, düşük moleküler ağırlıklı yani daha kısa makro moleküllere sahip bir polimerden daha zor akar [9].

Enjeksiyon hızı: Enjeksiyon hızı, kayma hızını artırmaktadır. Kayma hızının artışı hem viskoziteyi düşürmektedir hem de ergiğin sıcaklığının artmasına da sebep olduğu için viskozitenin düşmesine katkıda bulunmaktadır [11].

Viskozitenin düşük olması, düşük enjeksiyon basıncı ile imalat yapılacağı anlamına gelmektedir. Basıncın düşük olması da deformasyonlara neden olabilecek yüksek gerilmelerin oluşmaması anlamına gelmektedir. Kısaca, deformasyonların oluşmaması için bir önlem alınacak olursa, viskozitenin düşük olduğu şartlar yaratılmalıdır.

2.2.1.4 Sayısal Çözümleme Metotları

Plastiklerin akış analizlerinde kullanılan temel eşitlikler, kütle, momentum ve enerjinin korunumu prensiplerine dayanmaktadır. Doğrusal zincirlere sahip ergimiş plastiklerin akışı sadece basınç, hız ve sıcaklıktan

ibaret olmayıp, kayma hızı, viskozite ve yoğunluk parametrelerinde oldukça büyük bir etkisi vardır. Polimerler, kimyasal yapıları gereği sıcaklıkla genleşmekte olup, basınç karşısında da sıkışma özelliğine sahiptir. Ayrıca, plastiklerin viskoziteleri de kendine has karakteristik bir yapıdadır. Bu kadar karmaşık ve çok sayıda etkeni bulunan bir akışın analizinde kullanılan eşitlikler, diferansiyel formda olduğu için çözümü de karmaşıktır.

Diferansiyel formdaki temel denklemlerin analitik çözümleri için bazı metotlar geliştirilmiş ise de, analitik çözümler tek boyutta sınırlı kaldığından, plastiklerin akış simülasyonunu ve akış dinamiğinin incelenmesinde pek kullanılmamıştır. Analitik çözümün uygun olmadığı bu akış türünde, diferansiyel ifadeler için çok çeşitli sayısal çözümlemeler geliştirilmiştir. Karmaşık yapıda olan ergimiş plastiklerin akışlarının incelenmesinde, belirli kabuller yapılarak diferansiyel ifadeler sadeleştirilip uygun sınır şartlarına göre çözümlenebilmektedir.

Hele-Shaw Modeli: Temel denklemler belirli kabuller yapılarak sadeleştirilmektedir. Enjeksiyonla kalıplamada ergimiş plastiğin akış analizinde kullanılan temel denklemler verilmiştir(2.6). Hele-Shaw yaklaşımının ana prensiplerinden olan kabullerden biri, akışın sıkıştırılmaz olduğudur. Hele-Shaw yaklaşımının diğer bir önemli kabulü ise, enjeksiyonla kalıplama da kalıplanan plastik parça ince kesitli olduğundan, kalıp boşluğu içerisinde z doğrultusu olarak tanımlanan üçüncü doğrultuda akışın fazla değişmediğidir. Yani analiz yapılırken denklemler iki boyutlu gibi kabul edilmektedir

Navier-Stokes Modeli: Navier-Stokes eşitliklerinin çözümlenmesi ile yapılan analizlerde ise, bu terimler genellikle ihmal edilmemiş olup, diferansiyel denklem takımları, tanımlanan sınır şartlarına bağlı olarak ayrıklaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Ayrıca, üçüncü boyutun ihmal edilmesi yerine, kalınlığa bağlı olarak bulunan akışkanlık terimi hesaplanmaktadır. Moldflow yazılım programında yapılan analizlerde eğer parçayı 2 boyutlu olarak tanıtırken, Hele-Shaw modeli, eğer parçayı 3d olarak tanıtırken Navier-Stokes modeli kullanılıyor. Navier-Stokes modelinin çözümünü de 3d Flow Solver isimli patentli programı ile yapıyor. Plastik akışının yapıldığı bir çok çalışmada ise, hem Sonlu Elemanlar hem de Sonlu Farklar yöntemi bir arada kullanılmaktadır. Moldflow analiz programı basınç ve hız değerlerini ve akış burnunun tayinini, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak hesaplarken, sıcaklık terimini ise sonlu

farklarla hesaplamaktadır. Ergimiş plastiklerin akış dinamiğinin incelenmesi ve simülasyonunda, akışı etkileyen tüm parametrelerin dikkate alınarak çözümlenmesi oldukça zordur. Sonlu Elemanlar ile sayısal olarak çözüm mantığında esas kural, çözüm alanının sonlu sayıda alt bölgelere ayrılması prensibine dayanmaktadır. Sonlu Farklar yönteminde ise, çözüm alanı istenilen aralıklarda ızgaralar şeklinde (grid) bölümlenip, sonlu sayıda düğüm noktalarının oluşturulması esasına dayanmaktadır [8].

Moldflow yazılımı Navier-Stokes eşitliklerini sonlu elemanlar yöntemiyle, kendine patentli 3d Flow Solver yazılımı ile çözerek non-Newtonien plastiğin ergiyiğın akışının analizlerini yapmaktadır.

2.2.2 Proses Penceresi

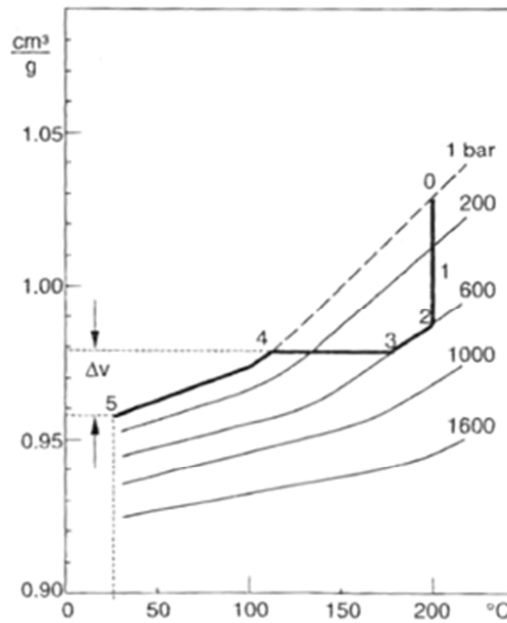
Enjeksiyon prosesi kalıp plakalarının kapanması, kalıbın doldurulması ve basınç altında tutulması, soğutulması ve kalıptan çıkarılması gibi temel başlıklara ayrılabilir. Kalıplar, ergiyiğın belli bir sıcaklık ve basınç altında kalıp boşluğuna akması ile dolmaktadır. Dolum ve dolum sonrasındaki ütüleme aşamalarında kalıplar elastik deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle, ergiyiğın akış sırasındaki ve sonrasındaki proses ayar parametrelerinin incelenmesi gerekmektedir. İncelenmesi gereken parametrelerin başında basınç ve sıcaklık gelmektedir.

Polimerin basınç, özgül hacim ve sıcaklık ile olan ilişkisi P-v-T diyagramları ile açıklanabilmektedir. Bu diyagramları kullanarak polimerin proses çevrimi sırasındaki değişimleri görülebilmekte ve başka polimer ile aynı diyagram içinde kıyaslanabilmektedir.

Şekil 2.9'daki PvT diyagramında dikey eksen özgül hacmi, yatay eksen sıcaklığı ve eğriler de enjeksiyon basıncını göstermektedir. Burada 0 ile 2 arasında enjeksiyon, 2-3 arasında ütüleme(sabit basınç) sırasındaki soğuma, 3-4 arasında yastıklama(kademeli olarak basıncın düşürülmesi) altındaki soğuma ve 4-5 arasında da yollukların katılıp parçanın soğutulma aşamasıdır. ΔV ile gösterilen bölge, parçanın çekme sırasındaki hacimsel küçülmeyi göstermektedir. Plastikler yapılarından dolayı, sıcaklık ve basınç karşısında hacimsel değişimi yüksek malzemelerdir. Sıcaklığın artması ile plastik malzeme genişlemektedir. Kütlesi sabit kalıp, hacminin büyümesinden dolayı, birim hacimdeki plastik malzeme yoğunluğu azalmaktadır. Benzer fakat ters ilişki olarak

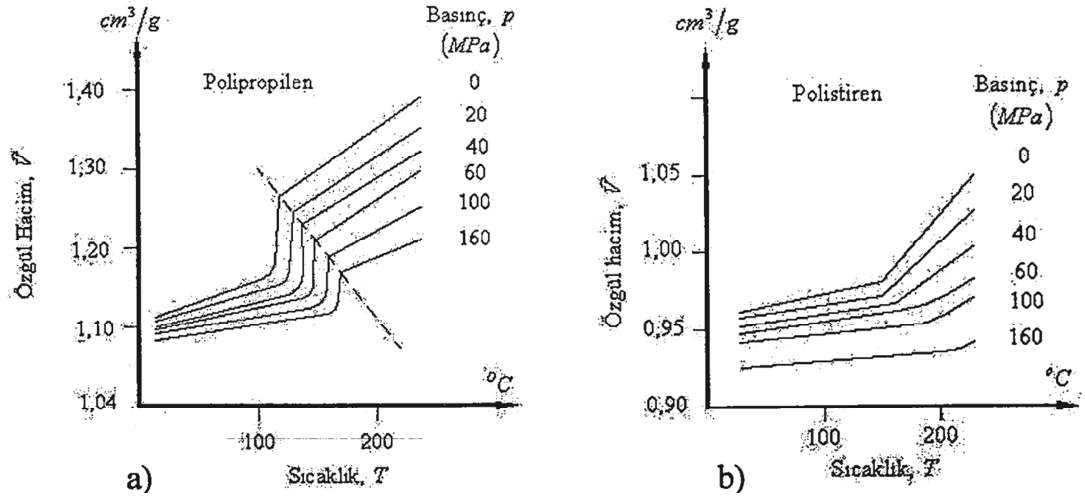
basınç karşısında da sıkışma olmaktadır. Plastiğin genleşme miktarı yüksek olduğundan, sıkışma miktarı da büyük olmaktadır. Plastiklerde sıcaklığın artması ile yoğunluk($1/v$) azalırken, basıncın artması ile basıncın sıkıştırma etkisinden dolayı yoğunluk artmaktadır [8], [12]. Plastiklerin özgül hacimleri sabit basınçta sıcaklık artışına bağlı olarak artmakta, sabit sıcaklıkta basınç artışına bağlı olarak da azalmaktadır.

Şekil 2.10'da yarı kristalin ve amorf iki termoplastiğin diyagramları verilmiştir. Kesikli çizgi ergiyik fazdan katı faza geçiş hattını göstermektedir. Kesikli çizginin solunda kalan eğriler katı fazı, sağında kalan eğriler ergiyik fazı temsil etmektedir.



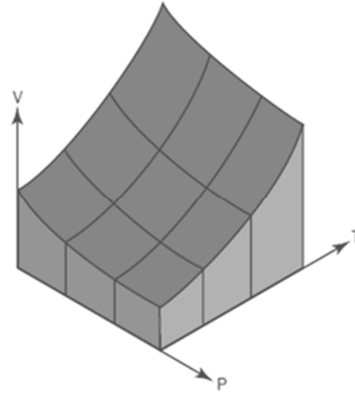
Şekil 2.9 Örnek bir PvT diyagramında prosesin izlediği aşamaların gösterimi [12]

Optimum kalıp parametreleri belirleyerek, hatasız bir üretim yapabilmek için teorik bilgilerin yanında pratik tecrübesi olan proses mühendislerine ihtiyaç vardır. İlk üretim denemelerinde, parçaların biçimsel ve ölçüsel durumları hakkında fikir sahibi olunmaktadır. Parçalar incelererek doğru yorumlandığı takdirde sorun kaynağı ve çözümleri de ortaya çıkmış olacaktır. Şekil 2.12'de sıcaklık ve basıncın yaratacağı üretim hataları gösterilmektedir.

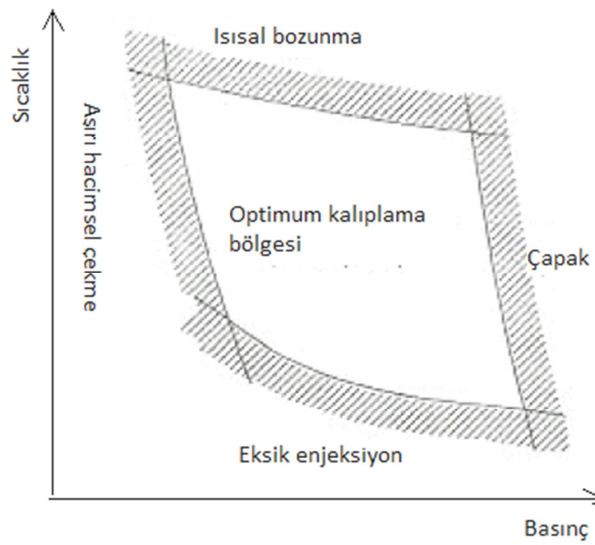


Şekil 2.10 Yarı kristalin polipropilen ile amorf polistirene ait PVT diyagramı [8]

Şekil 2.11’de de üç boyutla ifade edilmiş bir PVT diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Üç boyutlu PVT diyagramı [8]



Şekil 2.12 Sıcaklık ve basınç parametrelerinin neden olabileceği üretim hataları [12]

Sıcaklığın düşük seçilmesi eksik enjeksiyona(viskozitenin yüksek olması), yüksek seçilmesi ise plastikte bozunmalara(kömürleşmelere) neden olmaktadır. Basıncın düşük seçilmesi ise yüksek hacimsel çekmelere neden olarak parçanın ölçü ve biçimsel tamlığının bozulmasına sebep olmaktadır.

Kalıp elastik deformasyonları yönünden konuyu ele alırsak; aşırı enjeksiyon basıncının kalıp plakalarının açılmasına, kalıp maçalarının ayrılmasına, lokma deformasyonlarına sebebiyet vererek çapak oluşumuna neden olduğunu Şekil 2.12'den görebilmekteyiz. Yüksek enjeksiyon basınçlarına gerek duymamak için de hammadde tedarikçilerinden alınan teknik şartnamelerde belirtilen sıcaklık değerlerini kullanmak gerekmektedir. Aksi halde malzemenin viskozitesi düşmeyecek, ergiğin son dolum noktasına kadar itilmesi için yüksek enjeksiyon basıncına ihtiyaç duyulacaktır.

Enjeksiyon hızı da bir başka önemli parametredir. Enjeksiyon hızının artmasının akış uzunluğunu önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Enjeksiyon hızı, kayma hızını artırmaktadır. Kayma hızının artışı hem viskoziteyi düşürmektedir hem de ergiğin sıcaklığının artmasına da sebep olduğu için viskozitenin düşmesine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla yüksek basınçlara gereksinim duyulmamaktadır [11]. Enjeksiyon hızı yüksek proseslerde ergiyik katmanların daha ince oldukları ve bu nedenle de elastik deformasyonların oluşmadığı gözlemlenmiştir [1].

2.2.3 Parça Tasarımı

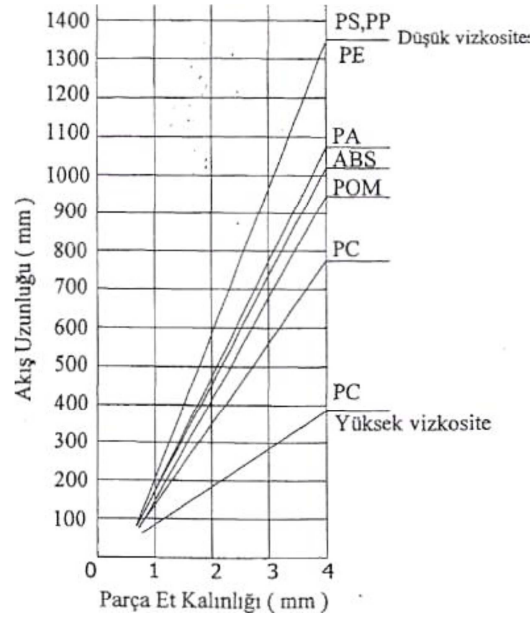
Plastik parça tasarımları yapılırken fonksiyonellik ve estetik unsurlar düşünülerek çalışmalar yapılır. Tasarımcı, parçanın fonksiyonelliğine ve estetik gereksinimlerine uyumlu bir malzeme seçimi yapmalıdır. Parça tasarımı yapılırken, enjeksiyon kalıbının düşünülmesi talaşlı imalatta ve proseste yaşanabilecek hataların önüne geçmektedir. Bu bağlamda, kalıp deformasyonlarının olmaması için parça tasarımının önemi büyük olmaktadır.

Tasarımı Şekil 1.1'deki tüp, kap, şişe gibi olan parçaların lokmalarında deformasyonlar görülmektedir. Bu aşamada kalıp tasarımında bazı önlemler alınarak, elastik deformasyon değerleri asgariye indirilmeye çalışılır. Parça tasarımda ise, lokma boyunun çapına olan oranının beşten büyük öngörülmemesi gerekmektedir. Parçanın

diğer karmaşık, derinliği bulunan bölgelerinde de ince kesitli tasarımlardan kaçınılmalıdır.

Fonksiyonelliğe bir etkisi yoksa plastik parçanın malzeme seçiminde düşük viskoziteli polimerlerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Tasarımda belirlenen parça kalınlığı ile akış uzunluğu arasında Şekil 2.13'te gösterilen bir ilişki bulunmaktadır. Çok ince kesitli parçalarda yüksek enjeksiyon basınçlarına gereksinim duyulduğundan, bu tür tasarımlardan kaçınılmalıdır.



Şekil 2.13 Akış uzunluğunun parça et kalınlığı ile olan ilişkisi [11]

Bölüm 2.4'te elastik deformasyonları önleyici parça tasarımları örneklendirilerek açıklanmaktadır.

2.2.4 Kalıp Tasarımı

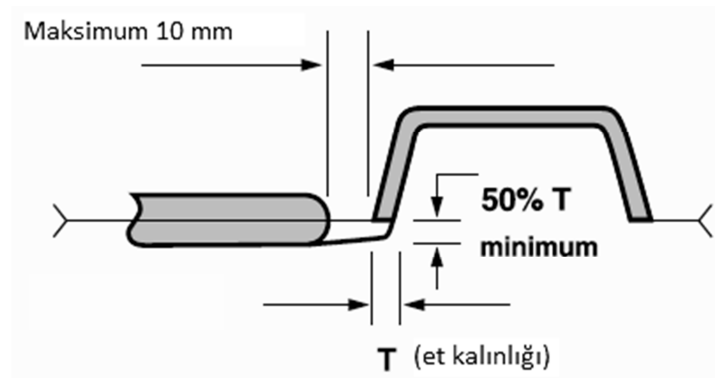
Plastik enjeksiyon kalıbının ergiyiğin basıncına karşı mukavemetli olması gerekmektedir. Mukavemet hesapları yapılmayan ve saha tecrübesi eksik bir tasarımcının kalıbında elastik deformasyonlar görülebilir. Elastik deformasyon gören bir kalıptan ömür, biçimsel ve ölçüsel tamlik beklenmemelidir. Deformasyonları önlemek için alınacak tedbirler Bölüm 2.4'te örneklendirilerek açıklanmaktadır.

Kalıplarda oluşan deformasyonlar plaka ve lokma deformasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kalıp plakalarının ölçüleri mukavemet hesapları doğrultusunda tasarlanmalıdır. Gereken kalınlıkta kullanılmayan plakalarda elastik deformasyon olabileceği gibi, en ve boy ölçüleri gereğinden büyük belirlemek de kapama kuvvetinde kullanılan projeksiyon alanını büyütecektir. Eğer bir genelleme yapılırsa en boy ölçüleri mümkün olduğunca minimumda, kalınlık ölçüsü ise hesaplamalara ilaveten bir emniyet payı konarak belirlenmelidir. Kalıpların erkek taraflarındaki itici plakalarının çalışma boşluğu nedeniyle, erkek plakanın elastik deformasyonu yüksektir. Bunun için destek plakaları kalıba montaj edilerek, mukavemet artırılmaya çalışılır. Kalıbın yüksek enjeksiyon basınçlarına gerek kalmadan üretim yapabilmesi için, kalıp yolluk ve giriş ölçülerinin optimum değerde seçilmesi gerekmektedir. Yetersiz giriş ölçülerine sahip bir kalıpta eksik baskı alınabileceği için prostate, enjeksiyon basıncı yüksek tutularak ergiyik akması sağlanır ancak basıncın yükselmesi kalıpta deformasyonlara neden olabilmektedir. Ergiyik akış analizleri ile yolluk ve giriş ölçüleri belirlenebilmekle beraber (2.6)'daki gibi de öngörülebilmektedir [10].

$$D = \frac{\sqrt{G}^4 \sqrt{L}}{3.7} \quad (2.6)$$

Burada D ana yolluk çapı, G parça ağırlığı, L ise akış uzunluğudur. Şekil 2.14'te giriş ölçüleri ile ilgili bilgi verilmektedir.



Şekil 2.14 Örnek bir girişin ölçülendirilmesi [13]

Kalıp tasarımında, malzemeye göre yolluk ve giriş tasarımları yapılmaktadır. Bu tasarımlar da prosesin plan ve parametrelerinin sınırlarını çizmektedir. Örneğin sert plastiklerde tünel giriş kullanılmaz çünkü tünelin içinde kalan plastiğin esneyerek çıkması gerekmektedir.

Lokma deformasyonları, boy/çap oranının beşten büyük olduğu tasarımlarda görülebilmektedir. Bunun dışında ergiyeğin lokmaya tek taraftan teması halinde, lokma akış yönüne doğru elastik deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle, kalıp tasarımında yapılacak yolluk yeri tayinleri ile lokmanın deformasyondan etkilenmesi önlenmektedir.

2.3 Elastik Deformasyonların Hesaplanması

2.3.1 Makineyi Etkileyen Gerilmeler ve Elastik Deformasyon Hesaplamaları

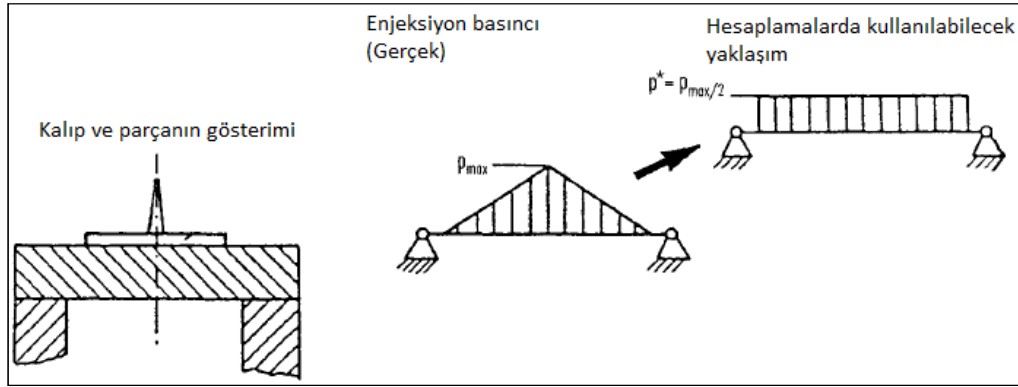
Enjeksiyon makinesi ile üzerine bağlanmış olan kalıp arasında ilişkiler bulunmaktadır. Kalıp kapama kuvvetinin yetersiz gelmesi, kalıp plakalarının açılması ve çapak oluşması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda makinenin tablasında eğilmeler, kolonlarında uzamalar meydana gelmektedir [6].

Kuvvet eşitlikleri tanımlarken, her sistemi kendi içinde bir yaya benzeterek yay sabitlikleri belirlenmektedir. Makinelerin ve kalıpların elastik deformasyonlarında hesaplamalar bu yol ile yapılmaktadır. Literatürdeki yayınlar bu yolun kalıplar için uygulanabilirliği konusunda hem fikirdir ancak kesin bir sunuca varabilmek için makinelerin deformasyon hesaplarında bu yolun kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir. Çünkü bu yaklaşım makaslı makinelerin mekanizmalarını veya hidrolik bir makinenin yağının sıkıştırılabilirliği gibi bir çok faktörü ihmal etmektedir. Genellikle makinenin elastik deformasyonu ile ilgili bilgileri edinmek çok zordur. Makine bir çok hareket ve kilitleme mekanizmasından oluştuğu için, makine imalatçıları tarafından bu bilgilerin hazırlanması gerekmektedir ancak bu bilgilerin hazırlanmasının zahmetli olması nedeniyle bu teknik bilgilere ulaşamamaktadır. Bu nedenle elastik deformasyon değerlerinin hesaplanmasında enjeksiyon makinesinin üzerinde durulmamıştır. Bundan sonraki bölümlerde kalıbın kendi iç basıncının neden olduğu deformasyonlar incelenecektir [14].

2.3.2 Kalıbı Etkileyen Gerilmeler ve Elastik Deformasyon Hesaplamaları

2.3.2.1 Enjeksiyon Basıncı Değerinin Hesaplanması

Ergiyiğin kalıba dolmasından itibaren kalıp gerilmelere maruz kalmaya başlamaktadır. Enjeksiyon basıncının maksimum değerine ulaşmasıyla da, deformasyonlar en yüksek değerine çıkmaktadır. Bu nedenle, hesaplamalarda kullanılan basıncın tayin edilmesi gerekmektedir. Hesaplamalarda kullanılan kalıp içi ergiyik basıncını tayin etmek zordur. Bir çok plastik parça karmaşık serbest yüzeylerden oluştuğu için enjeksiyon basıncının dağılımı farklı olabilmektedir. Bu yüzden hesaplamaları basitleştirmek için Şekil 2.15'deki yaklaşımla hesaplanabilir. Buna göre kalıp içi ergiyik basıncı maksimum enjeksiyon basıncının yarısı kadar alınmalıdır [14].



Şekil 2.15 Kalıp içi ergiyik basıncının dağılımı ve belirlenmesi [14]

2.3.2.2 Gerilmelerin ve Elastik Deformasyonların Hesaplanması

Elastik deformasyona uğrayan kalıp elemanlarına örnek olarak dikdörtgen kesitli plakalar, dairesel kesitli plakalar ve lokmalar verilebilir. Basma, eğilme ve kesme gerilmelere ait elastik deformasyon eşitlikleri (2.7)'de görülmektedir. Burada F basmaya neden olan kuvveti, A yüzey alanını, σ basma gerilmesini, E elastiklik modulünü, ε elastik gerinimi, ΔL elastik deformasyon miktarını, σ_{eg} eğilme gerilmesini, M_e eğilme momentini, W_e eğilme direnç momentini, e uzaklığı, Q kesme kuvvetini, G kayma modulünü ve γ kayma oranını ifade etmektedir.

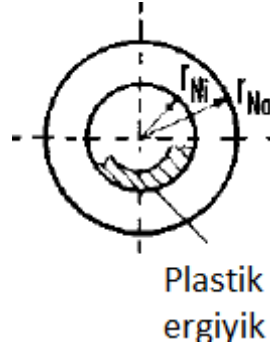
$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma_{eg} = \frac{M_e}{W_e} = \frac{M_e}{I} e$$

$$\tau = \frac{Q}{A} = G\gamma \quad (2.7)$$

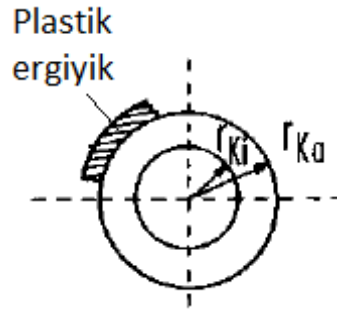
Dairesel kesitli lokmalarda ergiğin hem iç duvardan teması hem de dış duvardan teması incelenmiştir. Şekil 2.16'da ergiğin iç duvardan teması ve (2.8) eşitliğinde hesaplamalar verilmiştir. Şekil 2.17'de ergiğin dış duvardan teması ve (2.9) eşitliğinde hesaplamalar verilmiştir.



Şekil 2.16 Ergiyik iç duvardan teması [14]

$$\Delta r_N = \frac{p_i \cdot r_{Ni}}{E} = \left[\frac{1 + \frac{r_{Ni}^2}{r_{No}^2}}{1 - \frac{r_{Ni}^2}{r_{No}^2}} + \frac{1}{m} \right] \quad (2.8)$$

Burada Δr_n elastik deformasyon miktarı, r_{Ni} iç çap, r_{No} dış çap, p_i iç basınç, E elastiklik modülü, m ise poisson sayısıdır.

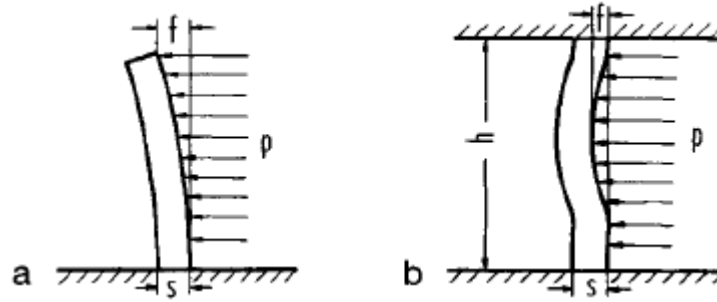


Şekil 2.17 Ergiğin dış duvardan teması [14]

$$\Delta r_k = \frac{p_D \cdot r_{Co}}{E} = \left[\frac{1 + \frac{r_{Ci}^2}{r_{Co}^2}}{1 - \frac{r_{Ci}^2}{r_{Co}^2}} + \frac{1}{m} \right] \quad (2.9)$$

Burada r_{Co} dış çap, r_{Ci} ise iç çap, Δr_n elastik deformasyon miktarı, p_D dış basınç, E elastiklik modülü, m ise poisson sayısıdır.

Dikdörtgen kesitli plakalarda görülen modeller “a” ve “b” olarak Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Kalıp lokmaları veya bu şekilde mesnetlenen kalıp elemanlarında “a” modeli, kalıp plakalarında ise “b” modeli kullanılmaktadır. Mengenin kapama kuvveti nedeniyle plakaların her iki kenarı mesnetlenmiş kabul edilmektedir. Modelleri ait hesaplamalar (2.10)’da verilmiştir [14].



Şekil 2.18 Dikdörtgen kesitli kalıp plakalarının deformasyon modelleri [14]

$$\begin{aligned} a) f &= \frac{12 \cdot p \cdot h^4}{8 \cdot E \cdot s^3} + \frac{p \cdot h^2 \cdot 2,66}{2 \cdot E \cdot s} \cdot 1,2 \\ b) f &= \frac{12 \cdot p \cdot h^4}{384 \cdot E \cdot s^3} + \frac{p \cdot h^2 \cdot 2,66}{8 \cdot E \cdot s} \cdot 1,2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Eşitliklerdeki f elastik deformasyon miktarını, p ergiyik basıncını, E elastiklik modülünü göstermektedir. Diğer semboller şekil üzerinde gösterilmiştir.

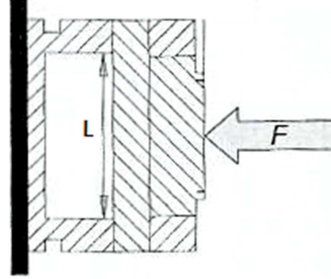
“b” modeli üzerine başka bir kaynakta (2.11) eşitliği kullanılmıştır[12]. Burada δ elastik deformasyon miktarını, F kuvveti, l deformasyona uğrayan bölgenin uzunluğunu, E elastiklik modülünü, I ise kesit atalet momentini göstermektedir.

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} \quad (2.11)$$

“b” modeli ile ilgili başka bir kaynakta da (2.12) eşitliği kullanılmıştır. Şekil 2.23’te durum gösterilmektedir [6].

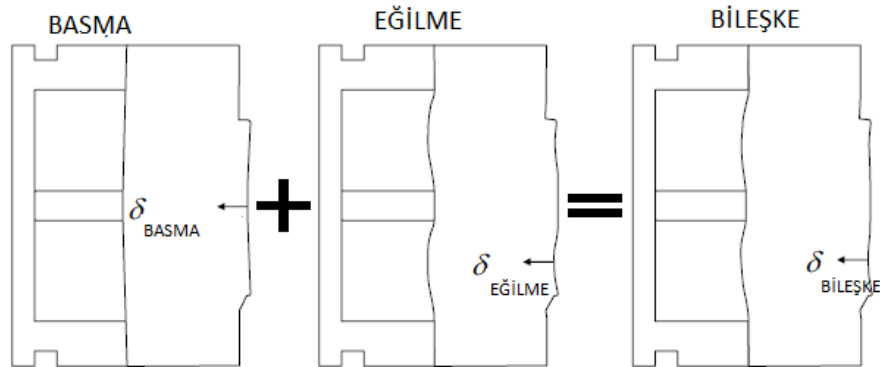
$$\delta_{eğilme} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (2.12)$$

Burada δ elastik deformasyon miktarını, F kuvveti, L deformasyona uğrayan bölgenin uzunluğunu, E elastiklik modülünü, I ise kesit atalet momentini göstermektedir.



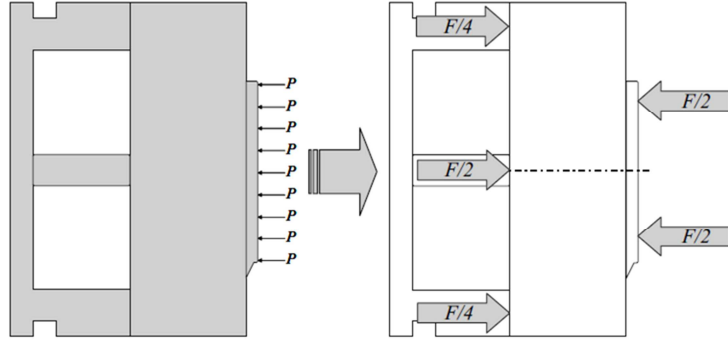
Şekil 2.19 Plaka deformasyonu [6]

Şekil 2.19’te görülen L uzunluğundaki bölgeyi desteklemek için o bölgeye silindirik takozlar yerleştirilmektedir. Bu takozların yerleştirilmesi ile plakaların deformasyonları Şekil 2.20’te gösterildiği gibi olmaktadır. Silindirik takozun yerleştirilmesiyle hem basma hem eğilme gerilmeleri hesaplanacaktır.



Şekil 2.20 Silindirik takozları kalıplarda deformasyon hesapları [6]

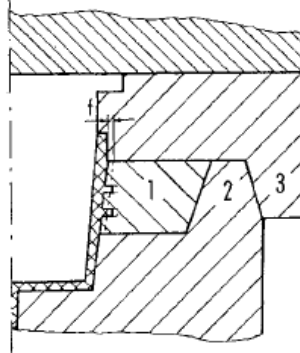
Plastik ergiyiğin yarattığı basınç ile kalıp yüzey alanının çarpılmasıyla bulunan “F” kuvvetinin silindirik takozlar ve kalıp takozları üzerindeki tepki kuvvetleri Şekil 2.24’teki gibi olmaktadır. Kalıptaki oluşabilecek maksimum deformasyon, silindirik takoz ile kalıp takozu arasındaki mesafenin yarısında oluşmaktadır. Eşitlik (2.13)’teki gibi deformasyon hesaplanmaktadır.



Şekil 2.21 Tepki kuvvetlerinin dağılımı [6]

$$\delta_{maks} = maks\left(\delta_{basma}, \frac{\delta_{basma}}{2} + \delta_{eğilme}\right) \quad (2.13)$$

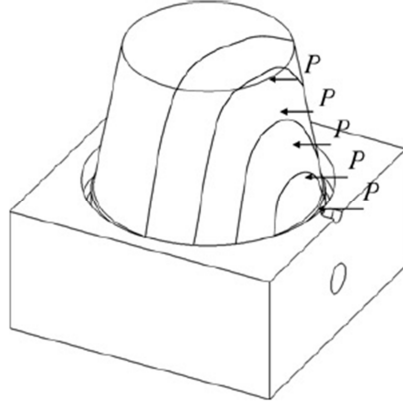
Kalıptaki ters açılar kalıptan çıkarabilmek için açılı pim ile çalışan maça, gizli maça, iç maça vb. hareketli mekanizmalar kullanılır. Bunlar bir pim, açılı konik yüzeyler veya yay gibi elemanlarla çalışmaktadır. Kalıp kapandığı zaman enjeksiyon basıncı nedeniyle hareketli mekanizmaların çözülmemeleri için ön yükleme altında sıkı bir şekilde kilitlenmelidirler (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Maçaların kilitlenmesi [14]

1 rakamı ile gösterilen maça, doğrudan basma gerilmesine maruz kalır. Onun arkasında yer alan 2 ve 3 numaralı kitleme parçaları ise aynı akış basıncının eğilme gerilmesine maruz kalır.

Kalıp lokmalarında veya boy/çap oranı yüksek olan parçalarda deformasyonları Şekil 2.23'te görebilmekteyiz. Deformasyon hesabı (2.14) eşitliğine göre yapılmaktadır.



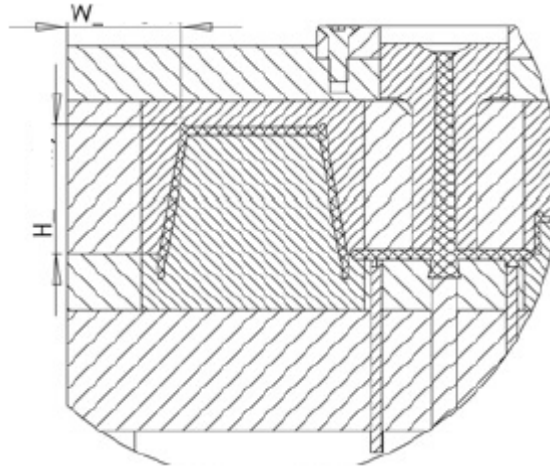
Şekil 2.23 Kalıp lokmasının üzerindeki basınç dağılımı [6]

$$\delta = \frac{\Delta P \cdot \phi_{lokma} \cdot H_{Lokma}^4}{8 \cdot E \cdot I}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (\phi_{lokma}^4 - \phi_{iç-çap}^4)$$
(2.14)

Burada H lokmanın yüksekliği, δ elastik deformasyon miktarını, ΔP basınç farkını, ϕ çap ölçülerini, E elastiklik modülünü, I ise kesit atalet momentini göstermektedir.

Kalıp lokmalarında olan deformasyonlar gibi, dişi geometrideki derin duvarlarda da eğilme deformasyonları görülmektedir. Derinlik, yanak kalınlığı, basınç vb. faktörler deformasyon değeri ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 2.24'te örnek bir gösterim vardır. (2.15)'te deformasyonu veren eşitlik verilmiştir.



Şekil 2.24 Derin bir forma sahip kalıp plakasının ölçülendirilmesi [6]

$$\delta_{eğilme} = \frac{3 \cdot P \cdot H^4}{2 \cdot E \cdot W^3}$$
(2.15)

2.4 Deformasyonları Önleyici Tasarımlar

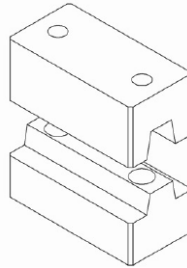
2.4.1 Deformasyonları Önleyici Kalıp Tasarımları

Kalıpların tasarımları sırasında bazı öngörülerde bulunarak deformasyonların azaltılmasına veya ortadan kaldırılması sağlanabilmektedir. Önceki bölümde kalıp tasarımının deformasyonlardaki rolü anlatılmıştı. Bu bölümde önleyici tasarımlara değinilecektir.

Kalıpların dişi ve erkek taraflarına birbirlerine geçmeli kilitlemeler konulmaktadır. Bunun amacı kalıp yüzeylerinin enjeksiyon basıncı nedeniyle birbirleri üzerinde kaymalarını ve kalıbın deformasyonu sırasında da yer değiştirmeleri engellemektir. Kilitler, hazır kalıp elemanları olarak satılmaktadır. Konik ve prizmatik olmak üzere iki çeşidi vardır. Şekil 2.25'te konik kilitleme, Şekil 2.26'da prizmatik kilitleme gösterilmiştir. Prizmatik olanlar daha emniyetli bir çalışma sağladığından genellikle tercih edilmektedir. Bazı uygulamalarda da bu kilitlemeler kalıplara yekpare yapılır. Şekil 2.27'de örnek bir görsel bulunmaktadır. AL-KOR MAKİNA firmasında edindiğim tecrübelerle göre bu kilit çeşitlerinden en az birini kullanılması gerekmektedir.



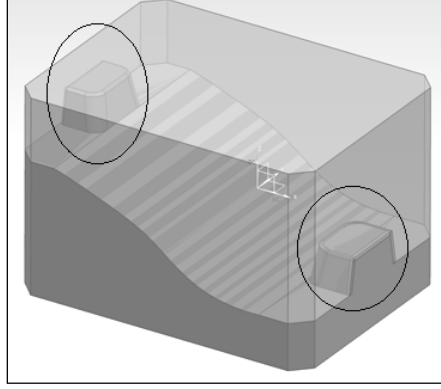
Şekil 2.25 Konik kilit [6]



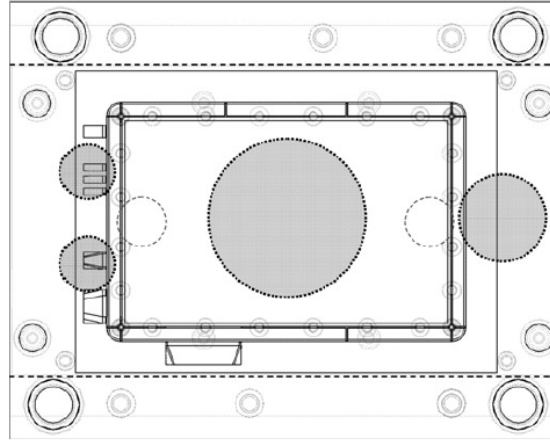
Şekil 2.26 Prizmatik kilit [6]

İtici plakalarının çalışma boşluğu nedeniyle, destek plakası ve kalıbın erkek plakasında deformasyonlar görülmektedir. Bu konuyu önceki bölümlerde incelemiştik. Plakaların

bu altı boşa gelen bölgelerini Şekil 2.28'deki gibi silindirik takozlarla destekleyerek deformasyonlar azaltılabilir.



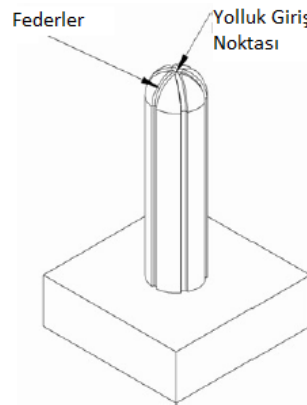
Şekil 2.27 Kalıplardaki yekpare kilitler



Şekil 2.28 Silindirik takoz kullanımı [6]

Lokma deformasyonlarında ergiğin akışının incelenmesi gerektiği daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Ergiğin akış analizleri, giriş yeri tayinin yapıp lokmaya tek taraftan yanal yüklerin etkimesi önlenabilmektedir. Örneğin Şekil 2.29'daki gibi lokmanın üstünden açılan bir giriş gösterilmektedir. Lokmanın üstünden akan eriyik yanal yüklere maruz kalmayıp, eriyik çevresinde uniform olarak akacaktır. Uniform akmayı sağlamak içinde akışı yönlendirmek için lokmaya federler atılmaktadır. Ayrıca parçaya hangi tip giriş açılacağı da önemli konular arasındadır. Çünkü lokmanın etrafından ergiğin nasıl aktığının belirlenmesi gerekmektedir. Lokmalardaki basınç dağılımına etki eden yolluk girişlerinin etkisi literatürde bulunan bir çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmada 3 farklı deneme yapılmıştır. Birinci denemede lokmanın tepesinden disk giriş yapılmış, ikinci denemede lokmanın tepesinden giriş verilmiş ve üçüncü çalışmada da lokmanın tabanından giriş verilmiştir. Çıkan sonuçlar

incelendiğinde Çizelge 2.1’de lokmanın boyu ile çapı arasında bir orantı kurularak emniyetli çalışmayı sağlayan değerler verilmektedir.



Şekil 2.29 Yolluk giriş yerinin lokmanın üstünden verilmesi [6]

Çizelge 2.1 Yolluk giriş tipine göre tasarım oranları [14]

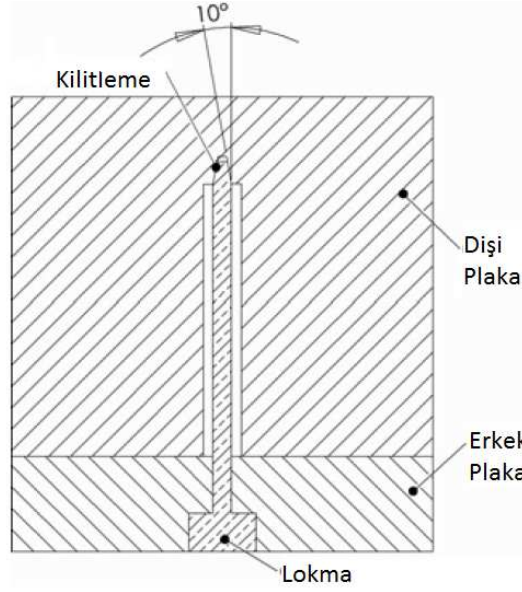
Giriş Tipi	H/D oranları
Disk giriş	5
Tepeden giriş	1,5
Tabandan giriş	2,5

Lokmaların tasarımlarında da mekanik kilitler yapılabilinmektedir. Eğer parça tasarımı müsaade ediyorsa Şekil 2.30’daki gibi bir tasarım yapılabilir. Buradaki amaç, lokmanın serbest olan ucunun mesnetlenmesidir.

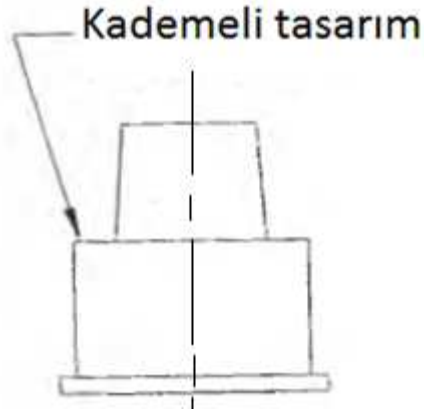
Lokmalarla ilgili bir başka çözüm de daha rijit bir montajdır. Şekil 2.31’deki gibi kademeli bir tasarım yaparak taban oturma yüzey alanı artırılıp, lokmanın yuvasında oynama riski azaltılmaya çalışılır.

Maçaların tasarımlarında birbirlerini öpen yüzeylerde eğer yeterli alan varsa, konik veya prizmatik kilitlemeler kullanılabilir.

Maçalar, eğer boru şeklindeki parçaların kalıplanmasında kullanılıyorsa yüksekliğin çapa oranı yüksek çıkabileceğinden, deformasyonlar olabilir. Tıpkı lokmalarda olduğu burada da maçalar birbirini içersine Şekil 2.32’deki gibi kilitleme yapılarak deformasyonlar önlenmeye çalışılır.

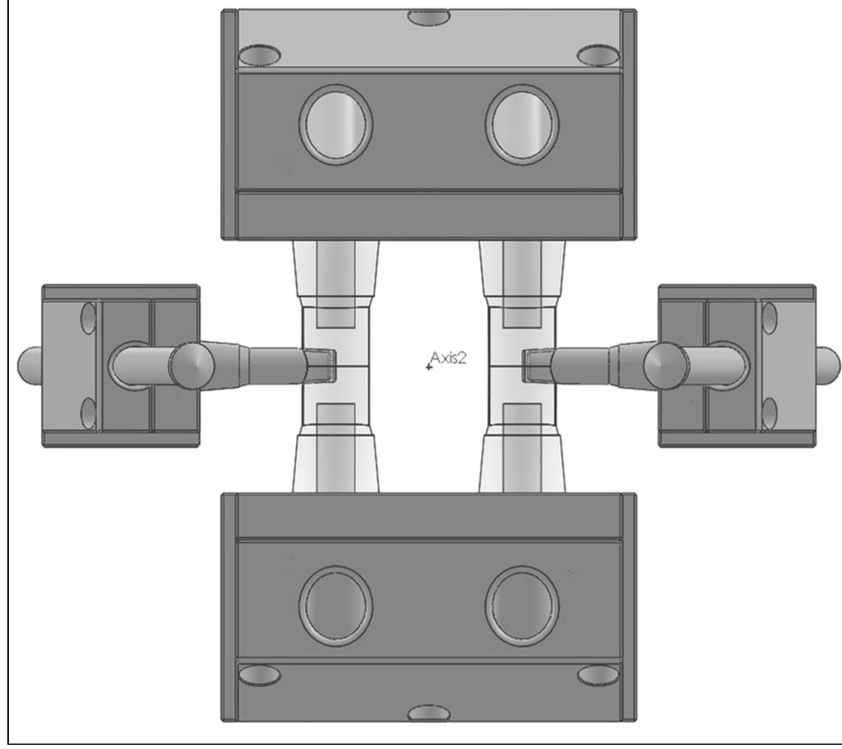


Şekil 2.30 Lokmaların kilitlemesi [6]

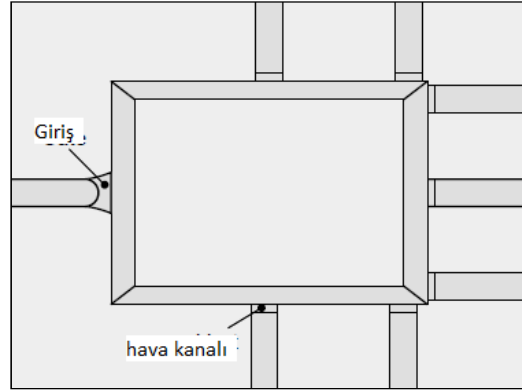


Şekil 2.31 Kademeli lokma tasarımı [12]

Ergiyik akışının uniform ve kontrollü olması, basıncın akışın süresince aniden yükselmemesi için kalıplarda gaz tahliye kanalları olmalıdır. Havalandırma işleminin yetersiz yapılması enjeksiyon işlemi sırasında akışkan ön yüzünde sürüklenen havanın kalıp yüzeyleri ve plastik malzeme arasında sıkıştırılmasına neden olur. Sıkışma anında enjeksiyon basıncı sıkıştırılan havanın basıncını yenemez ise kalıp boşluğu tam olarak doldurulamaz veya malzeme içerisinde gözenek şeklinde boşluklar kalır, bu basıncı yenerek kalıbı doldurmak için enjeksiyon basıncını artırmak gerekir. Gaz birikmesi federlerin diplerinde ve son dolum noktalarına yakın bölgelerde çoğunlukla görülmektedir. Şekil 2.33’de örnek bir uygulama bulunmaktadır.



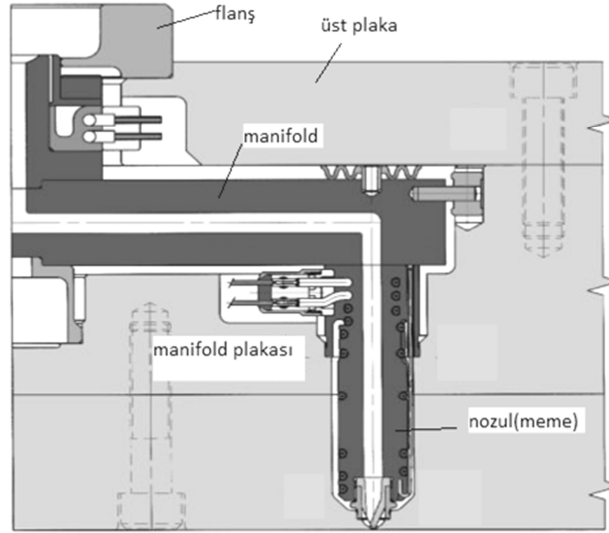
Şekil 2.32 Maçaların birbirlerine kilitlenmesi



Şekil 2.33 Gaz tahliye kanalları açılmış bir kalıp plakası [13]

Kalıplarda enjeksiyon basıncının yüksek olmaması için malzemenin viskozitesinin düşük olması gerektiği daha önceki konularda ifade edilmişti. Enjeksiyonun memesinden çıktıktan sonra sıcaklığı düşmeye başlayan ergiyiğin viskozitesi yükselmektedir. Viskozitenin yükselmesi ise akış yolu uzunluğunun ksalmasına ve daha yüksek enjeksiyon basıncı ihtiyacına neden olmaktadır. Kalıplarda kullanılan sıcak yolluk sistemleri bulunmaktadır. Sıcak yolluklar içerisinde malzeme, elektrik dirençleri ile önceden belirlenmiş bir sıcaklık değerinde erimiş durumda çevrim boyunca muhafaza edilirler (Şekil 2.34). Sıcak yolluk manifoldu içerisinde bulunan malzemenin sıcaklığı kullanılan termoplastik malzemenin cinsine göre değişmekle birlikte genellikle

180C°'nin 20 ila 120C° üzerinde olabilmektedir. Sıcak yolluklu sistemlerde akışın ısı kaybetmeden, enjeksiyon memesinden direk kalıp boşluğuna yapıldığı düşünülebilir. Bu nedenle sıcak yolluk sistemleri önleyici tasarım tercihi olarak değerlendirilebilir [15].



Şekil 2.34 Sıcak yolluk sistemi [15]

Kalıplardaki hem plaka hem de lokma deformasyonlarına malzeme değişimi ile çözüm getirilebilmektedir. Yüksek elastiklik modülüne sahip, düşük ısıl genleşme katsayısına(α) sahip malzemeler seçilerek elastik deformasyonların önüne geçilmiş olmaktadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Kalıp çeliklerinin fiziksel özellikleri

Kalıp Çelikleri	E (N/mm ²)	$\alpha(1/^{\circ}\text{C})$
1,2738	205000	0.000013
1,2344	215000	0.000012
1.2842	210000	0.000013
1.2083	225000	0.000010
Unimax(patentli)	213000	0.000011

2.4.2 Deformasyonları Önleyici Parça Tasarımları

Parça tasarımı, kalıp tasarımını yönlendirir pozisyonda yer almaktadır. Dolayısıyla iki tasarım aşaması da iç içe devam ederek, mamüle varılmaktadır. Bu nedenle, kalıp tasarımı için verilen önerilerin bazılarını parça tasarımı da ortaktır.

Bir önceki bölümde de belirtildiği üzere, parça tasarımında çukur formda geometriler, ince kesitli geometriler, büyük projeksiyon alanlı geometriler istenmemektedir.

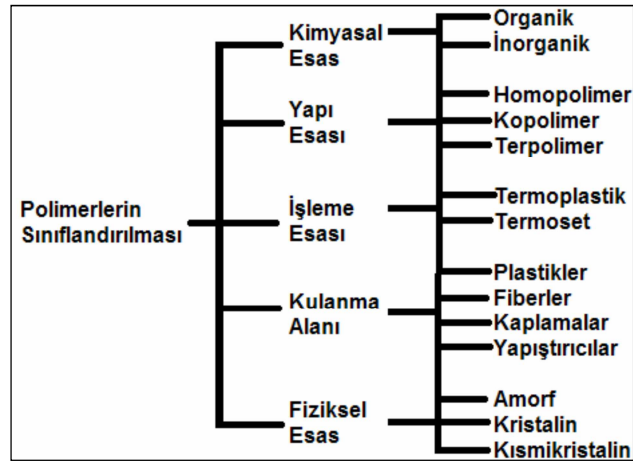
Tasarımı yapılan parçanın kalıbında ergiyik akışı mümkün olduğu kadar kolay olmalı, yüksek enjeksiyon basınçlarına gerek duyulmamalıdır. Akışı kolaylaştırmak için tasarımlarda federler kullanılabilir. Bu federler aynı zamanda bir yolluk vazifesi görmektedir (Şekil 2.29, Şekil 2.34).



Şekil 2.34 Federli ve düz tabanlı bir plastik kasa [16]

PLASTİKLER ve PLASTİK ENJEKSİYON ile İLGİLİ TEMEL BİLGİLER**3.1 Plastikler ve Özellikleri**

Polimer olarak bilinen malzemeler, karbonun hidrojen, azot, klor ve oksijen elementleri ile meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Monomerlerin, ısı ve basınç altında zincir şeklinde birleşmesiyle oluşan bu makro moleküllere polimer adı verilmektedir [17]. Bir monomer polimerizasyon yoluyla başka monomer molekülleri ile birleşerek çok uzun zincir şeklinde bir polimer meydana getirmektedir. Böylece çeşitli monomerler veya monomer kombinezonu kullanılarak çeşitli tipte plastikler elde edilmektedir [18]. Polimerlerden oluşan plastikler, polimerlerin farklı kimyasal yapılarından dolayı farklı fiziksel özellikler gösterirler ve bu özelliklerinden dolayı da sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Polimerler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Polimerlerin sınıflandırılması [19]

Polimerlerin sınıflandırılmasında en çok kullanılanı, işleme yöntemine göre yapılan sınıflandırmadır. Buna göre polimerler termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki büyük gruba ayrılır.

Termoplastikler ısı ve basınç altında ergiyip şekillendirilebilen ve soğutulduğunda da sertleşebilen malzemelerdir. Termosetlerden en büyük farkları parçalanıp tekrar kullanılabilinmesidir. Termoplastikler lineer ve dallanmış zincirli molekülden oluşmaktadır. Bağ yapılarını incelediğimizde monomerleri bir arada tutan bağlar kovalent bağlar, zincirleri bir arada tutan zayıf bağlar ise Van der Waals bağları olarak isimlendirilir. Artan sıcaklıkla birlikte moleküller arası bağ zayıflayarak ve zincir moleküllerinin birbiri üzerinde kayması başlamaktadır [18]. Termosetler, ısıtılıp soğutulduklarında termoplastiklerin aksine kalıcı olarak katılaşmaktadır çünkü ısıtılıp soğutulma esnasında kimyasal yapılarında değişiklikler oluşur. Yapılarında bulunan çapraz bağlar nedeniyle gevrek, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Polimerlerin sınıflandırılması fiziksel esasa göre de sıklıkla yapılmaktadır. Fiziksel esasa göre amorf, kristal ve yarı kristalin olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Amorf yapıda molekül zincirleri, birbirine göre karışık bir şekilde bulunmaktadır. Kristalin yapıda ise molekül zincirleri birbirine göre üç boyutlu bir düzeni andıran bir şekilde bulunmaktadır.

Kristalin yapının oluşması molekül zincirlerinin şekline (lineer, dallanmış, çapraz bağlı) ve molekül zincirleri arasındaki kuvvetlere bağlı olmaktadır. Zincirlerin birbirine tertiplenmesine göre amorf ve kristalin gibi yapı özellikleri ortaya çıkmaktadır. Soğutma yoluyla ergimiş durumdan katı duruma geçildiğinde lineer zincirler birbirine daha çok yaklaşabilirler ve dolayısıyla kristalin bir yapı oluşturabilmektedirler. Bu nedenle lineer molekül zincirine sahip plastikler oldukça büyük bir kristalleşme kabiliyeti gösterirler. Dallanmış zincirler birbirlerine kolayca yaklaşamazlar bu nedenle kolay bir şekilde kristalin halini alamayıp, genellikle amorf bir yapı oluştururlar. Aynı şekilde çapraz bağlı molekül zincirleri (termosetler) amorf bir yapı meydana getirirler. Kristalin yapı daha rijit olmakla birlikte genellikle daha yüksek ve daha belirgin ergime sıcaklığına, daha büyük çekme, sürünme, ısı mukavemetine, düşük viskoziteye sahiptir. Amorf yapı düşük ergime sıcaklığı ve çekme mukavemetine sahiptir. Amorf yapılar, kalıp içerisinde kristalin yapılar gibi kolay akmazlar [10], [20].

Amorf termoplastiklere ABS, PC, PMMA, PS ve PVC örnek verilebilir. Yarı kristalin termoplastiklere PBT, PP, PE, POM, PA örnek verilebilir.

Plastikler, günümüzde gerek miktar gerekse çeşit bakımından büyük gelişme göstermektedirler. Hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına, iyi bir yüzey kalitesine ve görünümüne sahip olan polimerin özellikleri aşağıdakiler gibidir [10].

Plastiklerin görünüşü: Plastiklerin çoğu renksizdir. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır.

Plastiklerin yüzey sertliği: Plastik malzemelerin bir dezavantajı, yüzeylerinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncinin az olmasıdır.

Plastiklerin yoğunluğu: Plastik malzemelerin yoğunlukları, diğer çoğu malzemelerin yoğunluklarından daha azdır. Plastiklerin yoğunluğu 0.8-2.5 g/cm³ arasındadır. Bundan dolayı hafifliğin önemli olduğu yerlerde plastikler kullanılmaktadır.

Isısal özellikler: Çoğu plastik geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama göstermektedir. Genellikle plastiklerin ısı iletkenliği düşüktür ve bu sebeple sürtünme veya tekrarlanan gerilmelerin sebep olduğu sıcaklık büyümesi, malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısıl yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı azaltmak için, plastik malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları veya çeşitli elyaflardır.

Kimyasal özellikler: Plastikler, metal malzemelere göre kimyasal alanlara daha dayanıklıdır. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Termoplastiklerin çoğu organik solventlerin etkisi altında çözünme veya şişme gösterirler; kuvvetli asit veya alkalilerden kimyasal olarak etkilenirler.

Alevlenme: Plastikler alevle karşı çok hassastırlar. Genellikle termoplastiklerin çoğu alevle veya aşırı ısı ile temas ettikten sonra kullanılmaz hale gelirler.

Hava etkisiyle bozunma: Radyasyon, uçan parçacıkların meydana getirdiği aşınma, yağmur veya dolu erozyonu ve hava kirliliğinin kimyasal etkisinin bir neticesiyle plastiklerde yıpranma olabilmektedir. Genelde iklim şartları, plastiğin renginin solmasına veya bozulmasına neden olmaktadır.

Elektriksel özellikler: Elektriksel özellik bakımından en önemli faktör elektriksel iletkenliktir. Genelde plastiklerin elektrik iletkenlikleri zayıftır, yalıtkan olarak

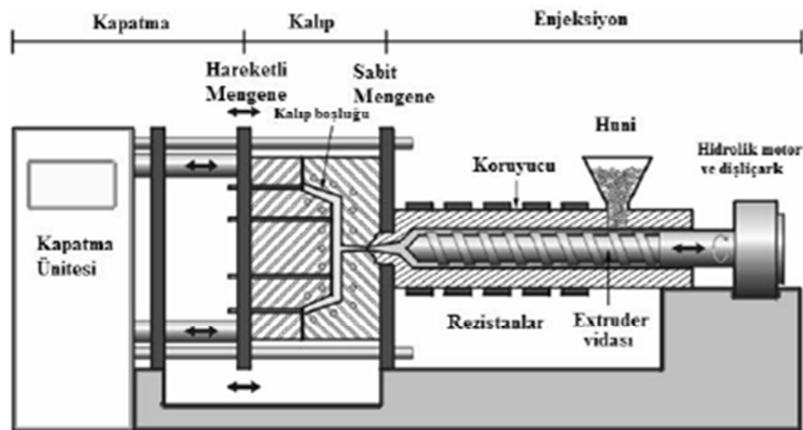
kullanılırlar. Polimerin yapısındaki zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirini kuvvetli etkilemesi, yüksek kristalizasyon ve yönlenme olayları elektronların serbest hareketlerini engellemekte ve plastiklerin düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır.

Mekanik özellikler: Kristalizasyon derecesinin büyümesi ile malzemenin ergime derecesi artmaktadır, bunun sonucu olarak mekanik mukavemet artmaktadır. Plastiklerin mekanik özellikleri kimyasal ve fiziksel hallerinin yanı sıra sıcaklığa da bağlıdır. Ayrıca cam elyafı ilave edilerek mekanik özellikler yükseltilebilir.

3.2 Plastik Enjeksiyon Prosesi

Toz veya granül biçimde olan plastik reçinesi sıvı haline gelinceye kadar ısıtılmaktadır. Bir basınç uygulanarak ergiyik, meme denilen bir geçişten kalıp içine girmesi için itilmektedir. Kalıp içinde parça boşluğuna giden ergiyik, malzeme katılaşmaya kadar basınç altında tutulduktan sonra kalıptan çıkarılmaktadır.

Şekil 3.2’de bir enjeksiyon prosesi gösterilmektedir. Enjeksiyon makinesi, enjeksiyon ünitesi ve kalıp bağlama ünitesi olmak üzere iki üniteden meydana gelmektedir. Enjeksiyon ünitesi, reçinenin yüklendiği huni ve bir silindirden meydana gelmektedir. Silindir içinde reçineyi ileriye doğru hareket ettiren ve sonra bunu kalıp içine basan bir sonsuz vida ve dış yüzeyinde, reçineyi ısıtmak ve eritmek için ısıtıcılar bulunmaktadır. Silindirin ön kısmı içinde dar bir geçit kanalı şeklindeki kısım meme olarak isimlendirilir.

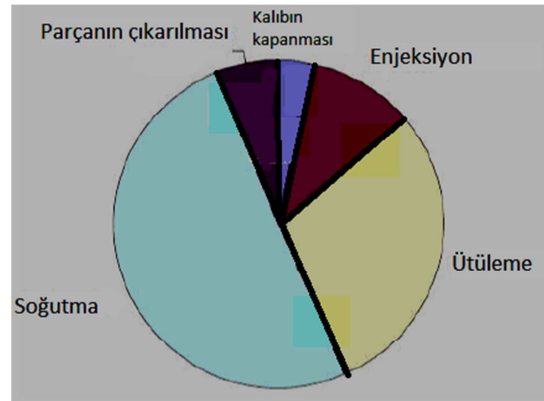


Şekil 3.2 Enjeksiyon prosesi [20]

Kalıp bağlama ünitesi silindirin ön kısmında bulunur ve kalıbın bağlanması açılması ve kapatılması için kullanılır. Bu sistemin bir sabit ve bir de hareketli plakası bulunur.

Kalıbın yarısı dişi(sabit) plakaya, diğer yarısı erkek(hareketli) plakaya bağlanır. Şöyle ki erkek plakanın ileri ve geri hareketleri ile kalıp açılır veya kapanır.

Enjeksiyon prosesi, toz ve granül şeklinde bulunan reçinenin bir işe yetecek miktarda besleme hunisinden silindire aktarılır, burada malzeme ısıtılarak ergimiş hale getirilir. Aynı zamanda silindirin içinde bulunan sonsuz vida ile dönerek silindirin ön kısmına taşınır. Vidanın aksenal hareketi ile ergimiş reçine yüksek basınçla meme kanalı ve yolluktan kalıbın boşluğuna sevk edilir. Parçanın biçimini alan reçine, soğuyuncaya kadar baskı altında tutulur. Memeye daha fazla plastik reçine takviyesi yaparak, ütüleme ve tutma basınç safhaları uygulanarak parçanın kendini çekmesi telafi edilir. Soğuduktan sonra, hareketli plakanın ileri hareketi ile kalıp açılır ve parça, iticilerin yardımı ile dışarıya çıkarılır. Kalıbın açılması sırasında vida geriye çekilir, parça çıktıktan sonra kalıp kapanır ve yeni bir iş için huniden, silindirine reçine aktarılır. Prosesin zamana göre dağılımı Şekil 3.3'te gösterilmektedir [20].



Şekil 3.3 Prosesin zaman göre dağılımı [20]

Enjeksiyon prosesinde önemli olan aşağıdaki ifadeler açıklanmaya çalışılmıştır [10].

Ergime sıcaklığı: Her malzeme için ergime sıcaklığı farklıdır. Bu sıcaklığı sağlamak enjeksiyon silindirindeki ocakların ısılarının ayarı ile yapılır.

Plastiğin ergime haznesinde kalma süresi: Plastiğin bozulma miktarı sıcaklığa ve bu sıcaklığın uygulama süresine bağlı olmaktadır. Örneğin plastik yüksek sıcaklıkta kısa süre veya düşük sıcaklıkta uzun süre tutulduğunda bozulma olabilir.

Enjeksiyon hızı: Vidanın kalıbı doldurmak için ileri doğru hareketinden kaynaklanan hız olarak ifade edilmektedir. İnce kesitli parçalarda ergimiş plastiği katılaşmadan doldurmak için yüksek enjeksiyon hızı gerekmektedir. Fakat kalın parçalarda daha iyi

bir yüzey kalitesi, yavaş enjeksiyon hızı ile elde edilmektedir.

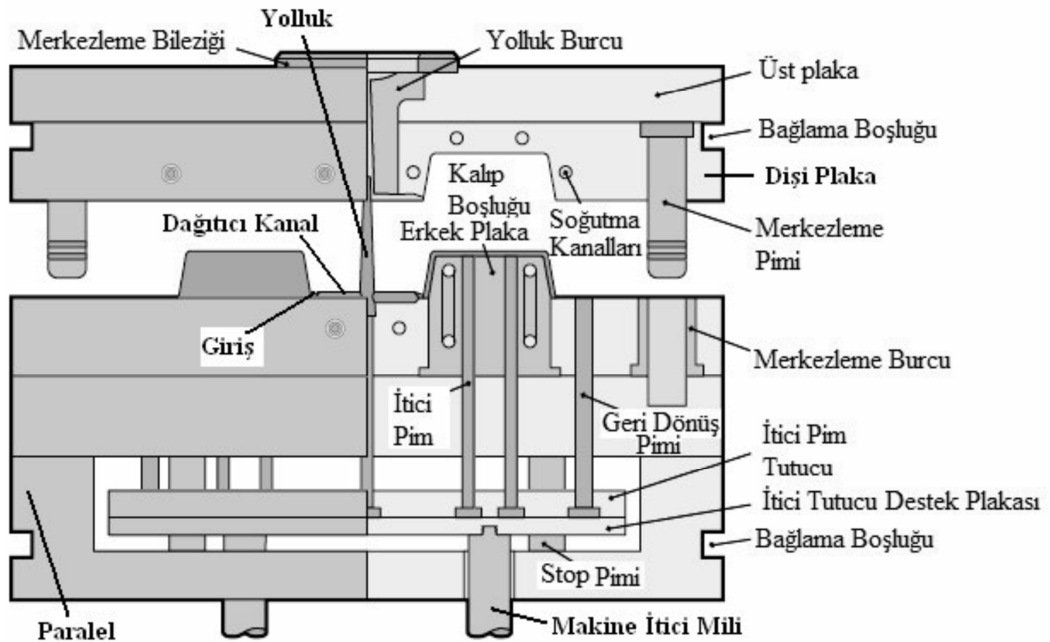
Enjeksiyon basıncı: Kalıbın doldurulmasına lazım olan itme kuvvetini yaratır. Aşırı olması halinde deformasyonlara, yetersiz olması halinde eksik baskıya neden olur.

Ütüleme basıncı: Malzemenin kendini çekmesi telafi etmek amacıyla katılaşmaya kadar devam eder.

Vida dönme hızı: Plastiğin ergimesi için gerekli ısının bir kısmı vida dönüşüyle sağlanmakta ve hızı arttıkça sıcaklık da artmaktadır. Vida baskı süresine uygun ayarlanmakta ve vida hızı düşük tutulmaktadır. Çünkü düşük hız makinede daha düzgün sıcaklık dağılımını sağlamakla, makinenin yıpranmasını ve ergimiş plastiğin beklemesini azaltmaktadır.

3.3 Plastik Enjeksiyon Kalıpları

Kalıp, makinenin ergitme ünitesinde gelen plastiğin nihai ürüne ulaşmasını sağlayan sistemdir. Plastik enjeksiyon yönteminde ürünün şekli, boyutları, kalitesi ve toleransları öncelikli olarak kalıp tarafından belirlenmektedir [14]. Plastik enjeksiyon kalıbı Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Kalıp elemanları aşağıda sıralanarak, görevleri açıklanmıştır.



Şekil 3.4 Plastik enjeksiyon kalıbı [21]

Yolluk burcu(kalıp memesi): Enjeksiyon memesinden geçen hammadde görüldüğü gibi yolluk burcundan geçerek çeliğin içine yayılmaktadır. Yolluk burcu hazır kalıp elemanlarıdır.

Merkezeleme bileziği(flanş): Kalıbı enjeksiyon makinesinin plakasına merkezlemektedir.

Merkezeleme pimleri(kolonlar) ve burçlar: Enjeksiyon makinesinde kalıbın dişi ve erkek tarafının açılıp kapanmasında, birbirlerine yataklama yaparak kalıbın düzgün bir eksen etrafında çalışmasını sağlayan elemanlardır. Genellikle pimler dişi tarafa, burçlar erkek tarafa yerleştirilir.

İtici pimler: Kalıbın iticileri, parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlamaktadır. Kalıpların bir çoğunda itici grubu kalıbın erkek tarafında yer alsa da bazı özel uygulamalarda dişi tarafta da olabilir. İtici pimler silindirik ve lama kesitte olabilmektedir.

Dişi ve erkek plaka: Plastik enjeksiyon kalıplarında dişi ve erkek plakalar kendi içlerinde bazı parçalara ayrılmaktadır. Plakların parça geometrisinin işlendiği bölüm kalıp çekirdeği ve erkek çelik/dişi çelik denilerek ana taşıyıcı plaka ile yekpare yapılmayabilir. Bunun nedeni maliyetleri düşürmek içindir. Çünkü parça geometrisinin işlendiği çekirdekler yüksek alaşımlı çeliklerdir. Dolayısıyla büyük ölçülerde bir yüksek alaşımlı çelik kullanmaktansa daha küçük ölçülerde kullanabilirsiniz. Ana taşıyıcı plakayı da Ck45 çeliğinden kullanarak maliyetleri azaltılabilir. Böyle kalıplarda geometrinin işlendiği parçaya erkek/dişi çekirdek(çelik) denir, taşıyıcı plakaya da erkek/dişi hamil denir.

Eğer tonluk kalıplar söz konusu ise montaj zorluğundan dolayı dişi ve erkek plakalar yekpare işlenir.

Kalıpların soğutma sistemlerinin bağlantıları, kalıp kilitleri, kalıp etiketleri hamillerin üzerinde yer alır.

Üst plaka: Dişi hamil ile enjeksiyon tablası arasında kalmaktadır. Enjeksiyon makinasına kalıbın dişi tarafı bu plakadan bağlanmaktadır. Sıcak yolluklu kalıplarda üst plaka ile enjeksiyon tablası arasında ısı yalıtım plakası konur.

Alt plaka: Kalıbın erkek tarafının makine tablasına bağlanan plakasıdır.

Destek plakası: Kalıbın erkek hamilinin altına yerleştirilir. İtici plakalarının çalışma boşluğu erkek hamilin altına gelir. Kalıpta bu bölge deformasyona uğrayabilir. Destek

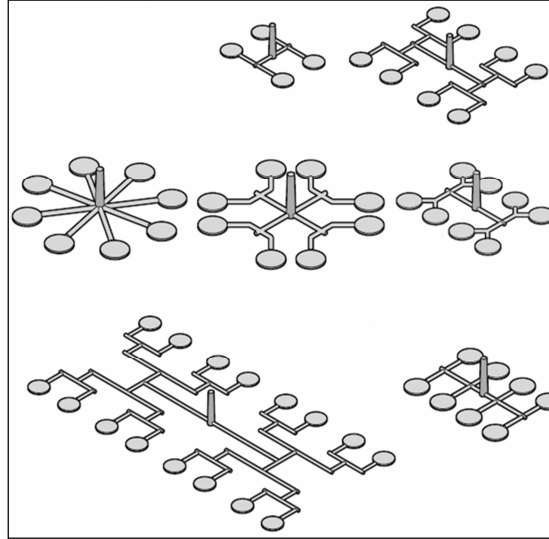
plakaları deformasyonu azaltmak için kullanılan kalınlıkları 27-37 mm olabilen kalıp elemanlarıdır. Bu konu ilerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Paralel takozlar: Paralel takozlar erkek hamilin iki yanında bulunurlar. İtici plakaları takozların arasında çalışırlar. Takozların yükseklikleri, kalıptan parçanın ne kadar itileceğini belirler.

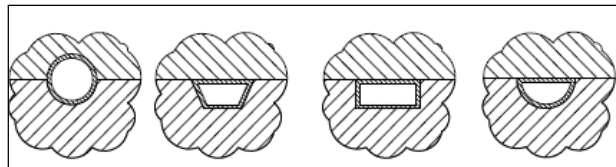
Silindirik takozlar: Erkek hamilin altındaki bulunan, basınçlar karşında hamili deforme olmaya maruz bırakan itici plakalarının çalışma boşluklarına yerleştirilir.

3.3.1 Yolluk, Dağıtıcı Kanallar ve Girişler

Dağıtıcı kanallarının geometrisi Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Akma hacmindeki düşmeye bağlı olarak basınçta da düşme olmaktadır. Şekil 3.6'te çeşitli kesitlerdeki kanallar gösterilmiştir. Gerek imalat kolaylığı gerekse basınç düşümlerinin az olması sebebiyle en verimli kesitler dairesel ve trapez kesitli olanlardır [9]. Bu nedenle en az enjeksiyon basıncına gereksinim duyanlar dairesel ve trapez kesitli dağıtıcılar olmaktadır.



Şekil 3.5 Dağıtıcı kanal geometrileri [9]

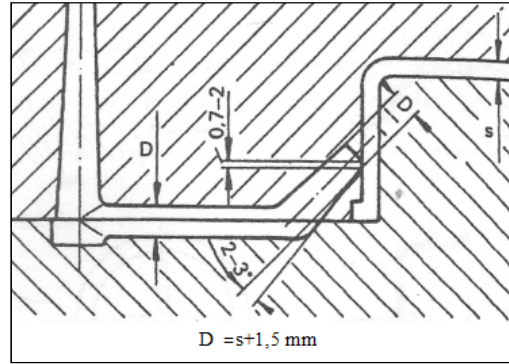


Şekil 3.6 Dağıtıcı kanal kesitleri [9]

Bir çok sayıda giriş tipi vardır. Bunlardan hangisini seçeceğimiz parçanın hammadmesine, parçanın fonksiyonuna, parçada bırakacağı izin varlığına ve dolum analizlerinin sonuçlarına göre belirlenir.

Doğrudan giriş: Dağıtıcı kanallar yoktur. Yolluk burcundan gelen ergiyik doğrudan kalıp boşluğuna akar. Genelde viskozitesi yüksek, yüksek basınç gereken derin çukurlu parçaların kalıplarında kullanılır. Örneğin kova ve kasa kalıplarında.

Tünel yolluk: İnce tarafı parçada olan konik bir yolluk girişidir. Dağıtım yolluğundan parçaya bir konik tünel açılır. Kalıp açılırken yolluk parçadan kendiliğinden ayrılır. Kalıbın otomatik çalışması sağlanır. Şekil 3.7’de tünel girişlere ait ölçüler ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Tünel giriş ölçüleri [22]

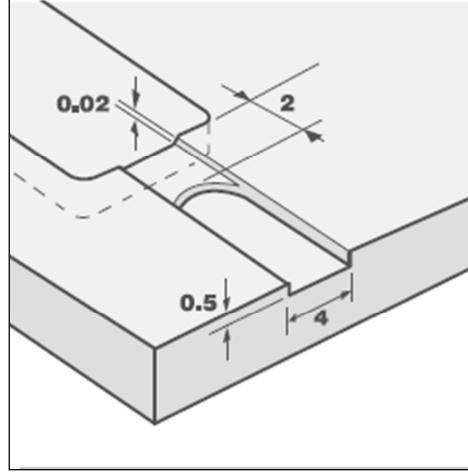
Kenardan giriş: Parçaya kalıp ayrılma hattı üzerinden doğrudan kenardan girimektedir. İmalatı kolay ve giriş kesitinde hassas boyutlandırma ve kolay modifikasyon yapılabilir. Kalıp gözünün doldurulma hızı kolaylıkla kontrol edilebildiğinden birçok genel amaçlı polimer için uygun bir giriş kesitidir.

Fan giriş: Dağıtım yolluğundan parçaya girerken kesit bir fan şeklinde açılarak ve genişlemektedir. Böylece ergiyik, kalıp boşluğuna girmeden önce yavaşlatılır ve geniş bir alana yayılır. Kayma hızı düştüğünden akış izlerinin görülme ihtimali düşmektedir. Mercek, lens gibi parçaların kalıplarında tercih edilmelidir.

3.3.2 Hava tahliye kanalları

Kalıp içerisinde kullanılan havalandırmaların kullanılma nedeni enjeksiyon işlemi sırasında yolluk ve kalıp boşlukları içerisindeki havanın plastik malzemenin enjekte edilmesi sırasında eş zamanlı olarak tahliye edilmesini sağlamaktır. Havalandırma

işleminin yetersiz yapılması enjeksiyon işlemi sırasında akışkan ön yüzünde sürüklenen havanın kalıp yüzeyleri ve plastik malzeme arasında sıkıştırılmasına neden olur. Bu sıkışma ergiyiğin akış yönünü etkileyerek lokma deformasyonlarına neden olabilmektedir. Ayrıca sıkışan havayı yenebilmek için yükseltileen enjeksiyon basıncı kalıp elastik deformasyonlarına neden olabilmektedir. Şekil 3.8’de hava tahliye kanalının ölçüleri verilmiştir [20].



Şekil 3.8 Hava tahliye kanalı ölçüleri [13]

UYGULAMALAR

4.1 Giriş

Uygulama bölümünde dört farklı parça ve bu parçaların kalıpları incelenmiştir. Bu parçaların önce akış analizleri yapılmış(dolu+ütüleme), ardından deformasyona uğraması muhtemel kalıp lokmaları üzerindeki elastik deformasyonlar (core-shift analizleri) incelenmiştir. Kalıp plakaları üzerindeki deformasyonları görmek için hem analiz hem de el ile hesaplamalar yapılmıştır.

Analiz programının ağ örme(mesh) işleminde sorun çıkartabileceği radyusler, yüzeyler, delikler vb. geometrilerin data sadeleştirilmeleri Nx 7.5 yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. Akış analizlerinde ve deformasyon analizlerinde Moldflow Insight 2010 programı kullanılmıştır. İki program arasındaki data transferi parasolid uzantılı dosyalarla sağlanmıştır. Katı model tabanlı dosya kullanarak, muhtemel data transfer hataları da kısmen azaltmış olur.

Analizleri yapılan parçaların yolluk sistemleri doğrudan kalıplardan alınmıştır. Moldflow programında herhangi bir yolluk yeri belirlenmesi ve buna müteakiben dağıtıcı kanal tasarımları yapılmamıştır. Analizde kullanılan ayar parametreleri, parçanın seri imalat proses ayar formlarından bakılarak yapılmıştır.

4.2 Uygulamalarda Kullanılan Plastik Malzemelerin Tanıtılması

Uygulama bölümünde incelenen parçalar PP ve PBT malzemelerdir. Analizlerde A.Schulman firmasına ait PBT ve BASF firmasına ait PP hammaddeleri tanımlanmıştır. Bu malzemelerin özellikleri ayrıntılı olarak incelenecektir. Otomotiv aydınlatma

sektöründe kullanılan plastik malzemelerin büyük çoğunluğu bu malzemelerdendir. Uygulama parçalarının da bu sektörden olması sebebiyle, bu iki malzeme incelenmiştir.

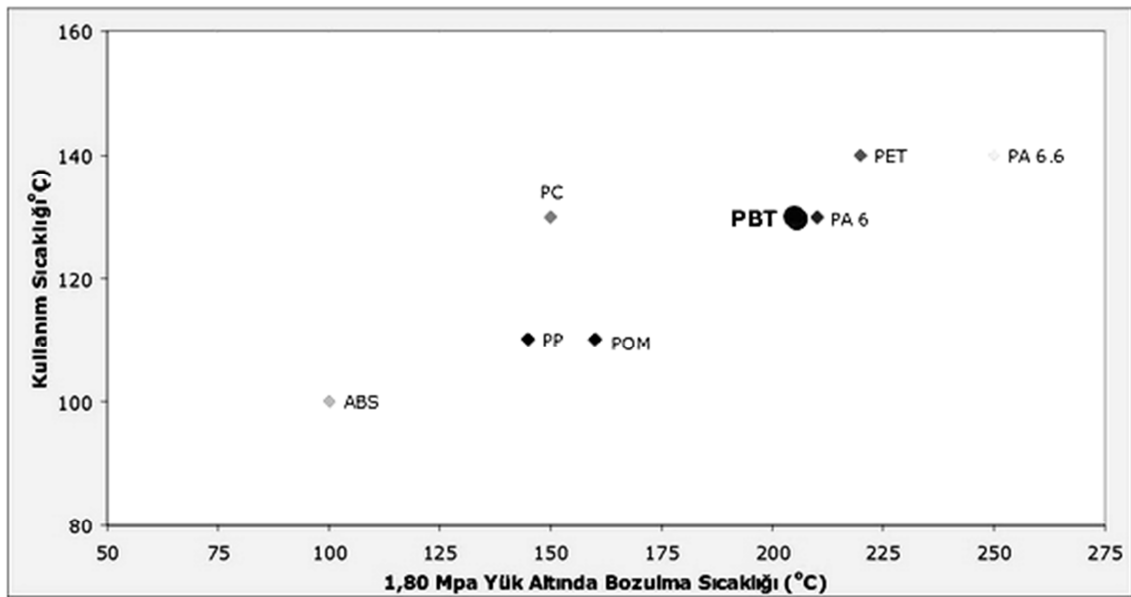
4.2.1 PP (Polipropilen)

Alçak yoğunluklu bir reçine olan polipropilen tabi olarak yarı saydam ve süt beyaz rengindedir, buna ilaveten boyanabilmektedir. Polipropilen sınırlı ısısal, kimyasal ve elektriksel özellikler sağlamaktadır. Orta derecede mukavemetine rağmen cam elyafı ile mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme gibi üretim metotları ile seri imalatta uygulamaları vardır. Polipropilen ilaç, kozmetik, besin sektöründe şişe, kapak, kutu olarak; otomotiv sektöründe aydınlatma sistemlerinde yalıtkan gövde olarak; köpük çeşidi ise mobilya veya koltuk yastıklarının yapımında kullanılır. Polipropoline ait proses bilgileri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir [23].

4.2.2 PBT (Polibütilen Tereftalat)

Yarı kristalin bir polimerdir. PBT’ye ait proses bilgileri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir [23].

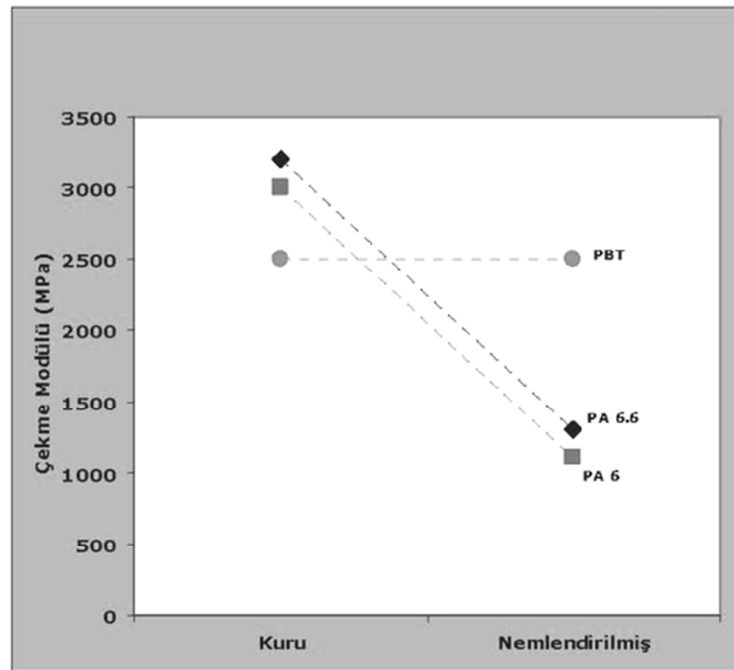
Yüksek ısısal kararlılığa, nem geçirmezliği ve elektrik yalıtkanlığı bakımından aydınlatma ve elektronik sektöründe güvenilir bir malzemedir(Şekil 4.1)(Şekil 4.2). 250-260°C’de çalışma aralığına sahiptir ve sürünme dayanımları da yüksektir [24].



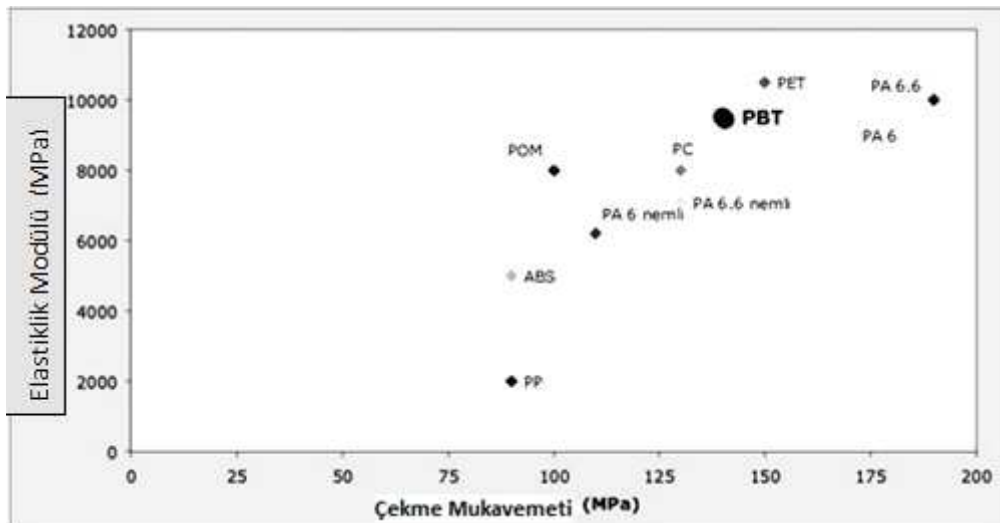
Şekil 4.1 PBT’nin kullanım sıcaklığı ve yük altında bozulma sıcaklığı değerleri [24]

Çok yüksek sertliğe ve rijitliğe sahip olmakla beraber mekanik özellikleri yüksek sıcaklıklarda büyük oranda korumaktadır(Şekil 4.3). Cam elyafı takviyesi ile mekanik özellikleri artırılabilir [24].

Kimyasallarla karşı oldukça dayanıklı olan PBT, mekanik özelliklerinde de büyük kayıplar vermeden kimyasal ortamlarda çalışabilmektedir.



Şekil 4.2 PBT'nin nemlendirme öncesi ve sonrası çekme gerilmesi [24]



Şekil 4.3 Çeşitli polimerlerin %30 cam elyaf takviyeli tiplerinin çekme modülü ve çekme mukavemeti değerleri [24]

Çizelge 4.1 Polipropilene ait enjeksiyon proses bilgileri [23]

Yapı	Yarı Kristalin
Özgöl Ağırlık	0,91-0,93 g/cm ³
Fiziksel Özellikler	Serttir. Yüksek darbe mukavemetine, mükemmel elektriksel yalıtıma sahiptir, toksik değildir. PE'den daha serttir ve sıcaklık direnci daha iyidir ama düşük sıcaklık direnci özel tipleri hariç daha zayıftır, özellikle canlı menteşeler için uygundur.
Kimyasal Özellikler	Asitlere, alkaline çözeltilere, tuzlu çözeltilere, alkollere, yakıtlara, meyve sularına, yağlara ve süte karşı dirençlidir ama klorlu hidrokarbonlara karşı halinde yük altında çatlama eğilimi azdır.
Malzemenin Tanınması	Çok yanıcıdır. Damlayarak yanar ve yanmaya devam eder. Parlak ve mavi alevle yanar, güçlü katran benzeri parafin (mum) kokusu çıkarır.
Eriyik Sıcaklığı	220-280 °C
Kalıp Sıcaklığı	20-70 °C
Enjeksiyon Basıncı	İyi akış özellikleri sayesinde ince cidarlı kaplar hariç 800-1400 bar gibi yüksek enjeksiyon basınçlarına gerek yoktur. İnce cidarlı kaplarda 1800 bar'a kadar çıkmak gerekebilir.
Ütöleme Basıncı	Çöküntü izlerini engellemek için uzun süreli ütöleme gerekir (çevrim süresinin %30'u kadar). Ütöleme basıncı gerekli enjeksiyon basıncının %30-60'ı kadardır
Geri Basınç	50-200 bar
Enjeksiyon Hızı	İnce cidarlı kaplar için yüksek enjeksiyon hızları (akümülatör) gerekir, diğer uygulamalar için orta enjeksiyon hızları yeterlidir.
Dozaj Stroğu (min.-max.)	0,5-4,0 D (D: vida çapı)
Yastıklama	Dozaj stroğuna ve vida çapına göre değişir, 2-8 mm'dir
Ön Kurutma	Kötü depolama koşulları haricinde gerekli değildir, gerektiği durumlarda 80 °C'da 1 saat önerilebilir.
Geri Dönüşüm	%100 kırma malzeme kullanılabilir
Çekme	%1,5-2,5, (sonradan çekme derecesi yüksektir) malzeme 24 saate kadar çekmeye devam eder.
Yolluk Tipi	İğne yolluk, veya çoklu iğne yolluk, sıcak yolluk, yalıtımlı yolluk kullanılır. Yolluk, kalıplanan parçanın en kalın yerine denk getirilmelidir, aksi takdirde büyük çöküntü izleri oluşabilir.

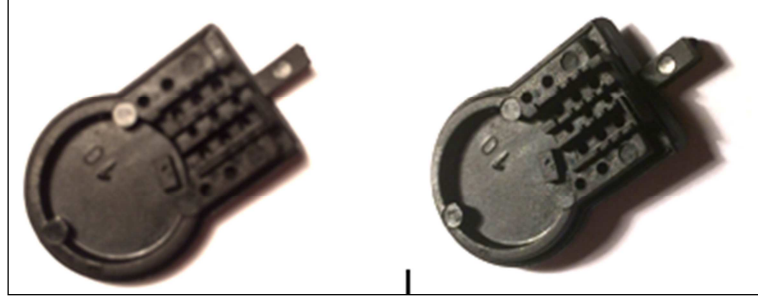
Çizelge 4.2 PBT'ye ait enjeksiyon proses bilgileri [23]

Yapı	Yarı Kristalin
Özgöl Ağırlık	1,30 g/cm ³
Fiziksel Özellikler	Yüksek ısısal kararlılığa, çok yüksek sertliğe ve rijitliğe sahiptir. Nem emmesi düşüktür. Kimyasallarla temas halinde yük dayanımı iyidir. Mükemmel sürtünme karakteristikleri ve yıpranma direncine sahiptir. Boyutsal kararlılığı iyidir, toksik değildir.
Kimyasal Özellikler	Yağlara, greslere, alkollere, eterlere, yakıtlara, zayıf asitlere ve zayıf alkalın çözeltilere dirençlidir ancak benzene, alkalilere, güçlü asitlere ve güçlü alkalın çözeltilere ve ketonlara dirençli değildir.
Malzemenin Tanınması	Alev geciktiricidir, alev kaynağından uzakta söner, parlak sarımsı portakal ve dumanlı alev ile yanar, tatlımsı aromatik bir kokusu vardır.
Eriyik Sıcaklığı	250-260 °C, dar işleme aralığı, 230 °C' nin altında donmaya meyillidir, 270 °C üzerinde bozunabilir.
Kalıp Sıcaklığı	60-80 °C
Enjeksiyon Basıncı	1000-1800 bar
Ütüleme Basıncı	Ütüleme basıncı gerekli enjeksiyon basıncının %50-60'ı kadardır
Geri Basınç	Sürtünme ısısından kaçınmak için sadece 50-100 bar'dır.
Enjeksiyon Hızı	Yüksek katılaşma ve kristalizasyon oranlarından dolayı yüksek hızlara ihtiyaç duyulur. Enjeksiyon sırasında ergiyiğin soğuması ve katılaşmasından kaçınılmalıdır. Kalıpta etkili havalandırma sıkışan havanın akış yolunun sonunda kömürleşme sebebiyet vermemesi için önemlidir.
Dozaj Stroğu (min.-max.)	0,5-4,0 D (D: vida çapı)
Yastıklama	Dozaj stroğuna ve vida çapına göre değişir, 2-5 mm'dir
Ön Kurutma	120 °C'de 4 saat önerilebilir.
Geri Dönüşüm	%20 kırma malzeme kullanılabilir
Çekme	Kalıp sıcaklığından çok fazla etkilenir. Kalıp sıcaklığı ne kadar yüksek olursa çekmede o kadar yüksek olur: % 1,4-2,0 veya %30 cam elyafli tiplerinde % 0,4-0,6
Yolluk Tipi	Merkezi yolluk kullanmaktan ve cam elyafli tiplerde tünel yolluk kullanmaktan kaçınılmalıdır, yolluk girişleri parça dolumu düzgün olacak şekilde yerleştirilmelidir, sıcak yolluk kullanıldığı takdirde iyi sıcaklık kontrolü gerekir.

4.3 Kapak Parçasının Ait Çalışma

4.3.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması

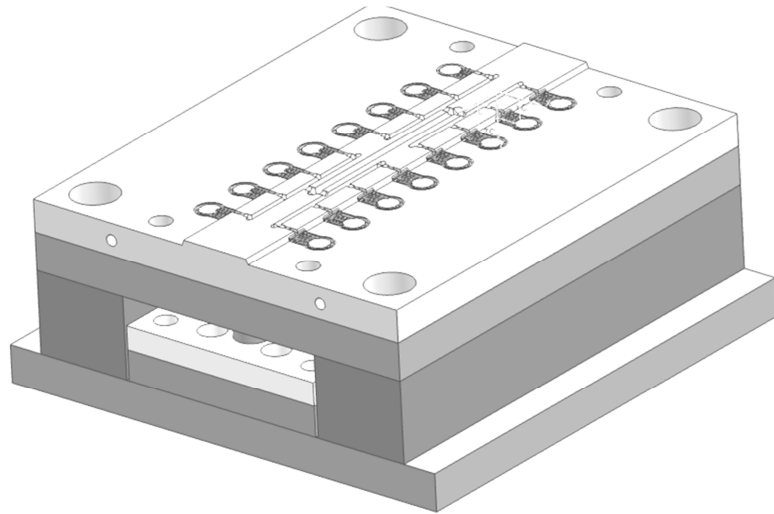
Bu çalışmada kullanılan parça, otomobillerin ön far lambasının plastik duyun kapağıdır. Malzemesi PBT %20 cam elyaflıdır. Kapak, plastik duya ultrasonik kaynak ile birleştirilmektedir. Şekil 4.4'te parçaya ait fotoğraf görülebilir.



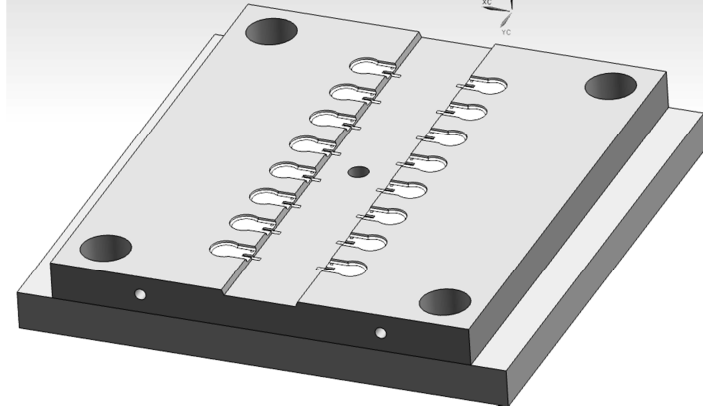
Şekil 4.4 Kapak parçası

Parçanın kalıbına ait görseller Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki gibidir. Maçası olmayan ve hareketli bir mekanizması olmayan on altı gözlü bir kalıptır. Kalıp kenardan giriş yapılarak tasarlanmıştır. Kalıpta sıcak yolluk kullanılmamıştır. Analizlerde Şekil 4.7'de daire içine alınan pimlerden birinin elastik deformasyonu incelenecektir. Pimlerin malzemesi 1.2516, elastiklik modülü 215000 N/mm^2 'dir.

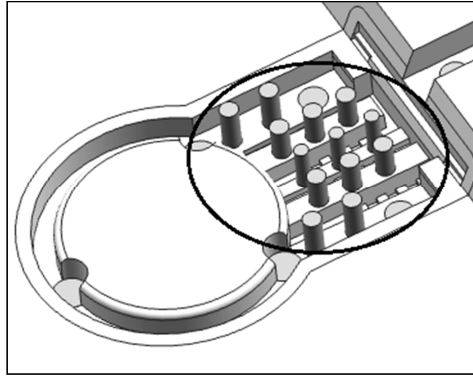
Bu kalıbın seçilmesindeki amaç, çok gözlü bir kalıpta elastik deformasyonları görebilmektir. Ayrıca Şekil 4.7'de görülen lokmaların çap ölçülerinin bir olması nedeniyle elastik deformasyonlar görülmek istenmiştir.



Şekil 4.5 Kalıbın erkek tarafı



Şekil 4.6 Kalıbın dişi tarafı

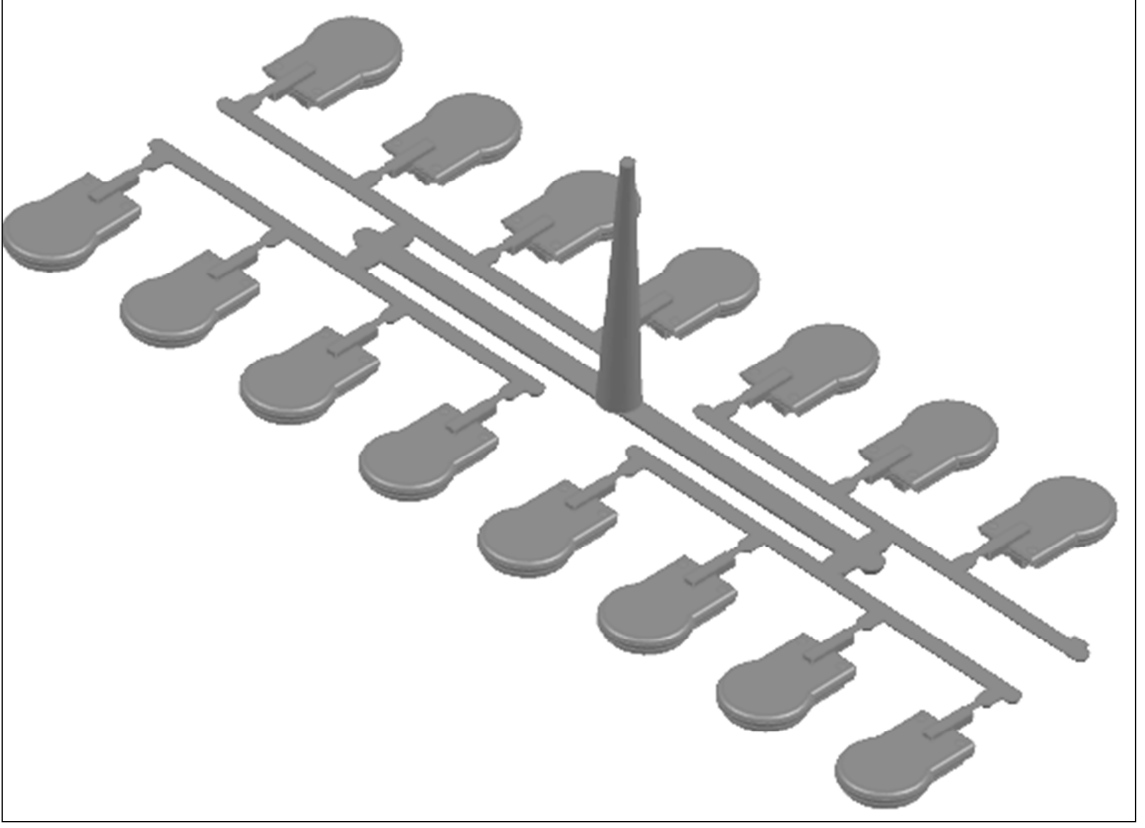


Şekil 4.7 Kalıpta analizi yapılan lokma

4.3.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları

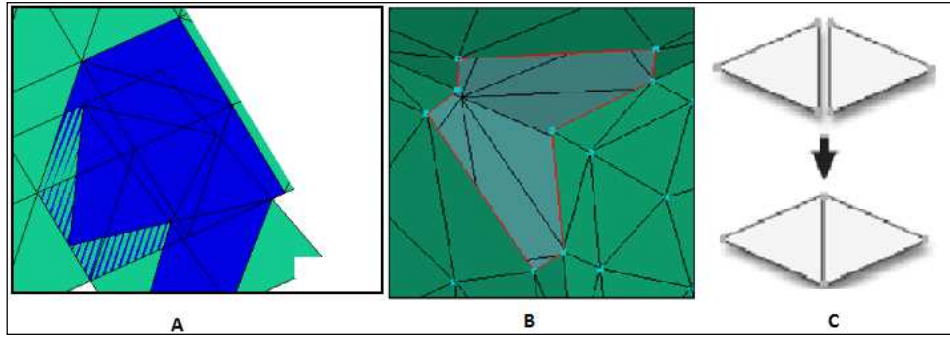
Parçaları ve kalıp datalarını analizlere hazırlarken bir takım düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu düzenlemeler parçaların kalıp gözündeki dizilmeleri, yolluk dağıtıcı giriş geometrilerinin kalıptan alınması ve geometrinin sadeleştirilmesi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Plastik parçaların kalıp gözlerindeki dizilimleri, yolluk dağıtıcı ve girişlerinin tasarlanması Moldflow programında da yapılabilinmektedir. Fakat bir CAD programının sunduğu imkanların daha fazla olması nedeniyle, çalışmamda bu tip düzenlemeleri CAD programında kullanarak yapmış bulunmaktayım. Kalıp geometrisinden giriş dağıtıcı kanal geometrileri alınıp, göz eksenlerine göre yerleştirilen parçalarla birleştirilmiştir (Şekil 4.8).



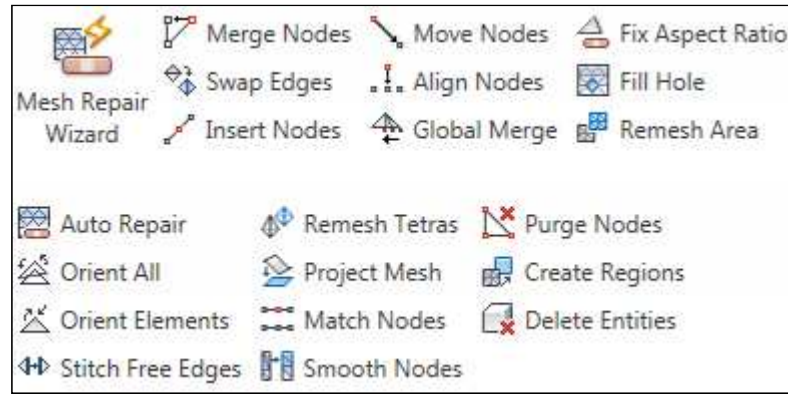
Şekil 4.8 Kapak parçasının dışa aktarılan geometrisi

Plastik parçalar CAD yazılımları ile analiz yazılımlarının içe aktarabileceği dosya formatlarını dışa aktarılmaktadır. Gerek CAD yazılımlarında gerekse analiz programlarında geometriler üzerinde sadeleştirme yapılması gerekmektedir. Bu sadeleştirmeler radyuslerin silinmesi, serbest yüzeylerin yenilenerek çevreye geometriye eşleştirilmesi, deliklerin kapatılması, katı gövdelerin birleştirilmesi gibi sayılabilir. Bu sadeleştirmelere iki nedenden dolayı ihtiyaç duymaktayız. Birincisi ağ örme(mesh) işleminde sorunlu çıkan bölgelerin onarılması, ikincisi ise sonlu eleman sayısının azaltılıp daha sade ve hızlı bir analiz amaçlanmasıdır. CAD yazılımından gelen data, Moldflow’da içe aktarıldıktan sonra, ağ örme işlemi uygulanmaktadır. Ağ örmenin sonucunda, sorunlar kullanıcıya belirtilir. Bunlar çakışan yüzeyler(Şekil 4.9A), patlak yüzeyler (Şekil 4.9B), serbest kenarlar (Şekil 4.9C), çok küçük birim elemanlar, oryantasyonu bozuk yüzeyler olarak sıralanabilir.



Şekil 4.9 Ağ örmede alınan geometri hatalarına örnekler [25]

Sıralanmış olan bu muhtemel hatalardan bazıları Moldflow’da tespit edilerek, CAD yazılımında onarılabilineceği gibi, bu hataların bazıları da Şekil 4.10’da gösterilen Moldflow’un komutlarıyla da yapılabilinmektedir.



Şekil 4.10 Moldflow ağ onarma komutları [25]

Moldflow bu hataları otomatik olarak tespit edip, onarabilmektedir. Ancak, her hatayı onaramadığı için, bu hataları kullanıcı Şekil 4.10’da görülen komutlarla kendisi onarmalıdır.

Bu verdiğim bilgiler genel olup, çalışmada kullanılan tüm analizler için geçerlidir.

Kapak parçasında her hangi bir geometri sadeleştirme işlemine gereksinim duyulmamıştır.

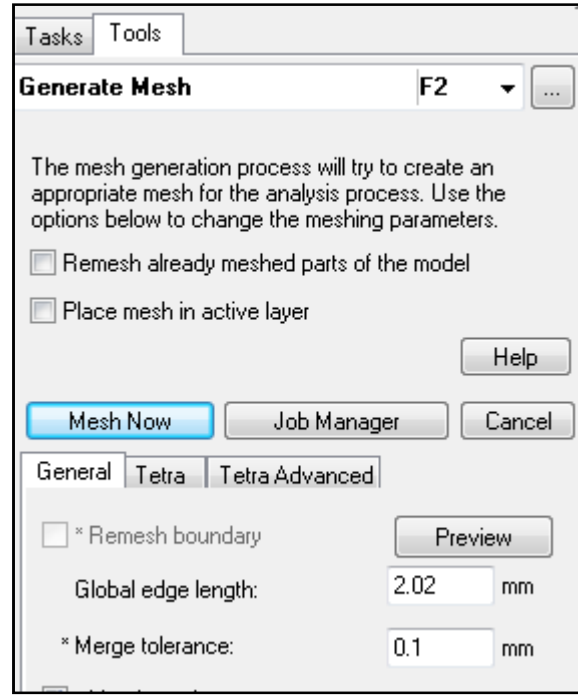
4.3.3 Parçanın Analiz Aşamaları

Moldflow programında bir kalıbın veya lokmanın deformasyonlarını incelenmek için izlenmesi gereken adımlar bulunmaktadır. Bu tür analizlerin ismi “core shift” olarak adlandırılmaktadır. Bu analiz çeşidini koşturabilmek için önce dolum ve ütüleme analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Dolum ütüleme analizleri yapılacak parçanın datası parasolid (.xt) formatında alındıktan sonra Moldflow'da açılır. Bu aşamadan sonra, ağ örme işlemi yapılmalıdır. Parçanın geometrisine göre seçilmesi gereken üç adet ağ örme modeli mevcuttur. "Midplane", "Dual Domain" ve "3D Mesh" olmak üç çeşit model bulunmaktadır. Bir yüzeye kalınlık verilerek çizilen parçalarda veya buna benzer geometriye sahip parçalarda "Midplane" model kullanılabilir. "Midplane" modelin avantajı, analizin koşturulma zamanı diğer modellere göre kısa olabilmektedir. "Dual Domain" model iki boyutlu bir ağ yapısı vermektedir. Bu modelde parça yüzeylerden oluşuyor gibi düşünülmekte, iç yapısında bir ağ örme yoktur. Genel dolum ve ütüleme analizlerinde bu model kullanılmaktadır. Ancak, deformasyonların hesaplanacağı analizlerde mecburen "3D Mesh" yapılması gerekmektedir. Bu modelde, parçanın kalınlık istikametinde de ağ örülmektedir. Bu noktadaki önemli bir husus, parçalara önce "Dual Domain" sonrasında "3D Mesh" modeli ile ağ örülmesidir. Bunun sebebi ise, "Dual Domain" modelin geometri ile daha uyumlu çalışarak birim elemanları belirlemesi yani daha az ağ örme hatası vermesidir.

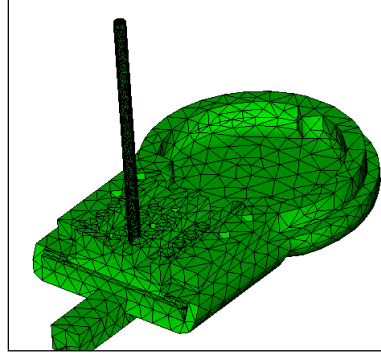
Ağ örme işlemi için Şekil 4.11'de görülen ara yüze birim eleman boyutları yazılmaktadır. Sonlu eleman analizi yapan programlarındaki analizin hassasiyetini, birim elemanın boyutları belirlemektedir. İlk değer birim elemanın ölçüsü, ikinci değer ise birim elemanların birbirleriyle olan eşleşme hassasiyetini ifade etmektedir. Çok küçük bir parçada büyük ölçülü birim eleman, çok büyük bir parçada küçük ölçülü birim eleman seçimi ağ örme hatalarına sebebiyet vermektedir. Küçük ölçüdeki birim elemanlar, her zaman hassas sonuç vermemektedir. Bu değeri belirleme konusu, analizcinin tecrübesine bağlı bir konu olmakla beraber Moldflow kullanıcıya her analizde tavsiye niteliğinde ölçüler sunmaktadır. Ayrıca, hassas sonuç almak istediğiniz bölgelerin küçük ölçülü birim elemanlarla, diğer bölgelerin daha büyük ölçülü birim elemanlarla örülmesi mümkündür. Kapak parçasındaki birim eleman ölçüleri Şekil 4.11'deki gibidir.

Parçaya ağ örüldükten sonra kalıp sıcaklığının 60°C, meme sıcaklığı 295°C, soğuma zamanı 17 saniye ve toplam çevrim süresi 25 saniye olmak üzere proses penceresi doldurulur. Daha önceden belirttiğim gibi analiz tipinin dolum ve ütüleme olarak seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.11 Kapak parçanın ağ örme bilgileri

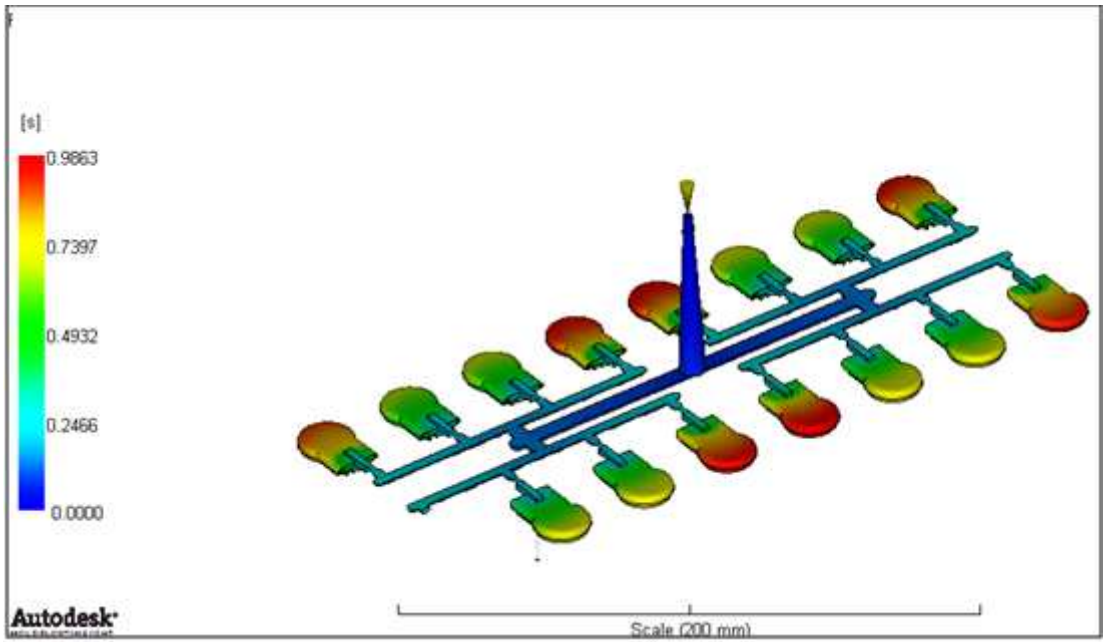
Plastik parçanın analizi bu şekilde koşturulmaya hazır hale gelmiş olduktan sonra sıra lokmanın analizine gelmiştir. Lokma için ayrı bir analiz dosyası açıldıktan sonra, data analizin içine çağrılır. Ağ modeli olarak “3D Mesh” modeli seçilip, lokmaya uygulanır. Ağ örme bittikten sonra, lokmanın tüm birim elemanları seçilerek farenin sağ tuşuna tıklanır. Birim elemanların özellikleri “Core(3D)” olarak değiştirildikten sonra artık program lokmayı plastik parça olarak değil, lokma olarak tanımaktadır. Bu noktadan sonra lokmanın malzemesi de Moldflow’un kütüphanesinden seçilebilmektedir. Son olarak lokmanın, kalıp çeliği içersinde yataktanmış olan yüzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için “Boundry Conditions” menüsünden “Constraints-Fixed” sekmesi seçilip, yatakta kalan yüzeylerdeki birim elemanlar seçilmektedir. Bu işlemden sonra lokmanın analiz dosyası kaydedilip, kapatıldıktan sonra parçanın analiz dosyasına “Import-Add Study” sekmesinden çağrılmaktadır. Bu işlem ile plastik parça ve lokma ayrı ayrı bir analiz dosyasının içinde yer almış olacaktır(Şekil 4.12). Analiz koşturulduğunda deformasyon hesaplanabilinecektir.



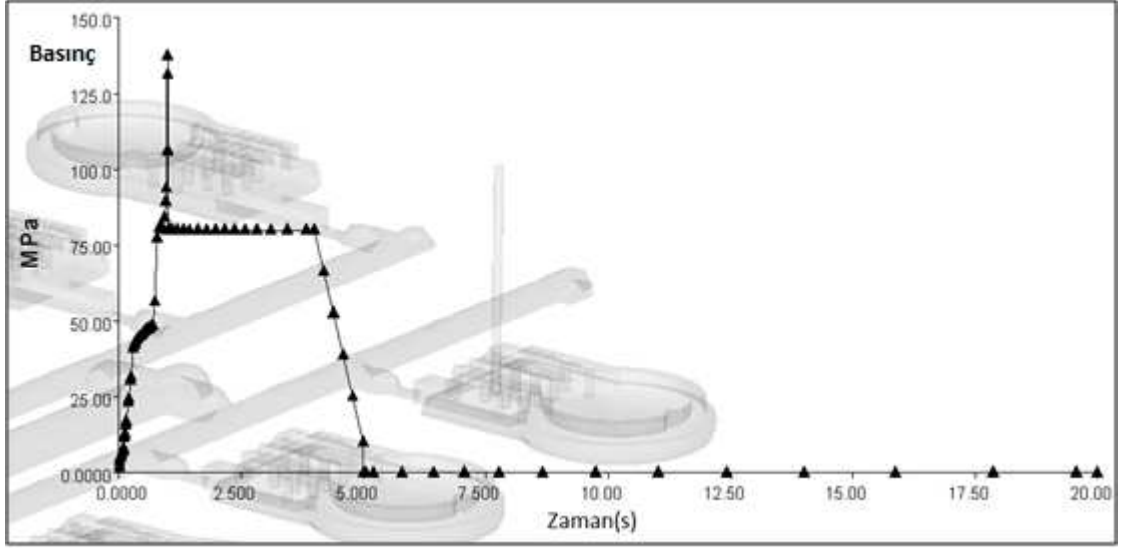
Şekil 4.12 Kapak ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü

4.3.4 Sonuçlar

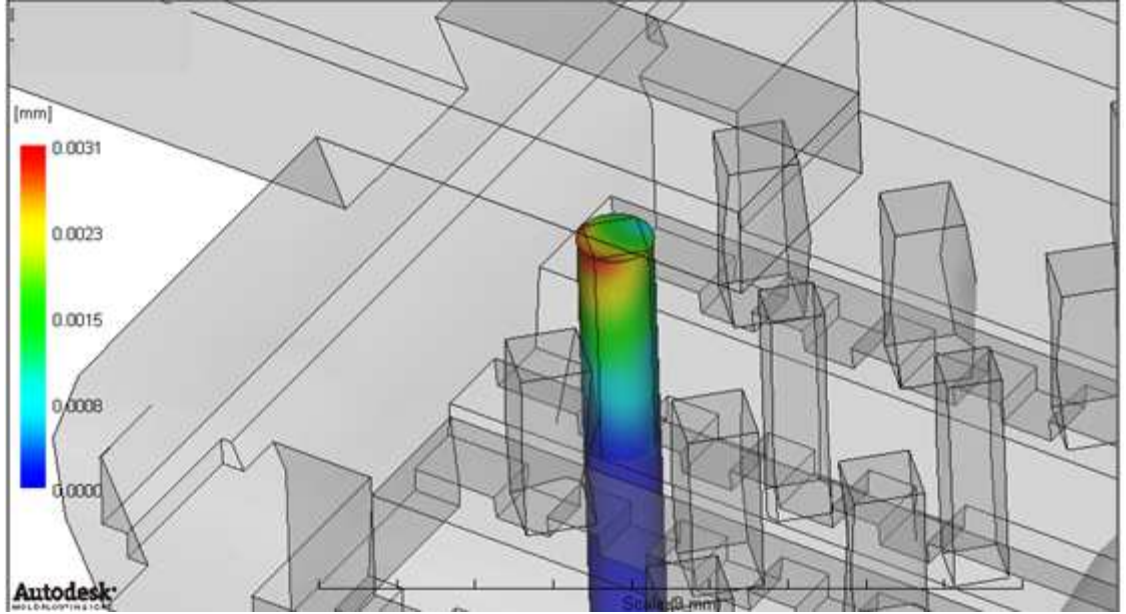
Analiz koşturulduktan sonra dolum, ütüleme ve deformasyon analizleri alt başlıklar halinde program tarafından bizlere sunulur. Şekil 4.13'te dolum analizinin sonucu, Şekil 4.14'te basınç-zaman grafiği, Şekil 4.15'te deformasyonlar görülmektedir.



Şekil 4.13 Kapak parçasına ait dolum analizi sonucu



Şekil 4.14 Kapak parçasına ait basınç-zaman grafiği



Şekil 4.15 Kapak kalıbının lokmasına ait deformasyon değerleri

Kapak kalıbının lokmasına ait elastik deformasyon sonuçları incelendiğinde değerlerin çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni parça tasarımının doğruluğu olarak gösterilebilir. Kalıbın lokması incelendiğinde lokmanın çapı 1 mm, boyu ise 3 mm'tür. Çizelge 2.1 incelendiğinde bu ölçünün uygun olduğu görülmektedir. Lokmanın doğru ölçülerde olması da parça tasarımının doğru olduğunu işaret etmektedir.

4.4 Plastik Duy Parçasına Ait Çalışma

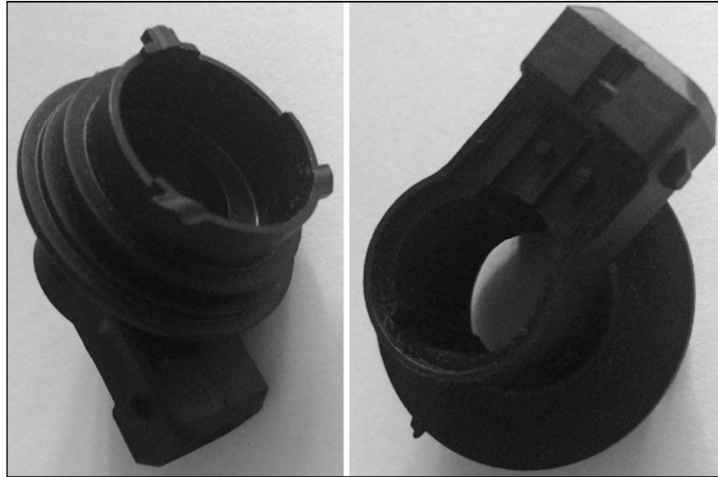
4.4.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması

Plastik duy olarak isimlendirilen bu parçalar Şekil 4.16’da görülebileceği üzere ampulün temas ettiği metal bir lameli, sızdırmazlık için contası ve plastik kapağı vardır. Otomobillerin ön far ampulleri bu mamül haldeki duya takılmakta bu nedenle far içindeki merkezleme önemli olduğu için plastik duyun ölçüleri kritik olarak nitelendirilebilir.

Malzemesi PBT%20 camlıdır. Şekil 4.17’de analizde kullanılan parça gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Plastik duy numuneleri [26]



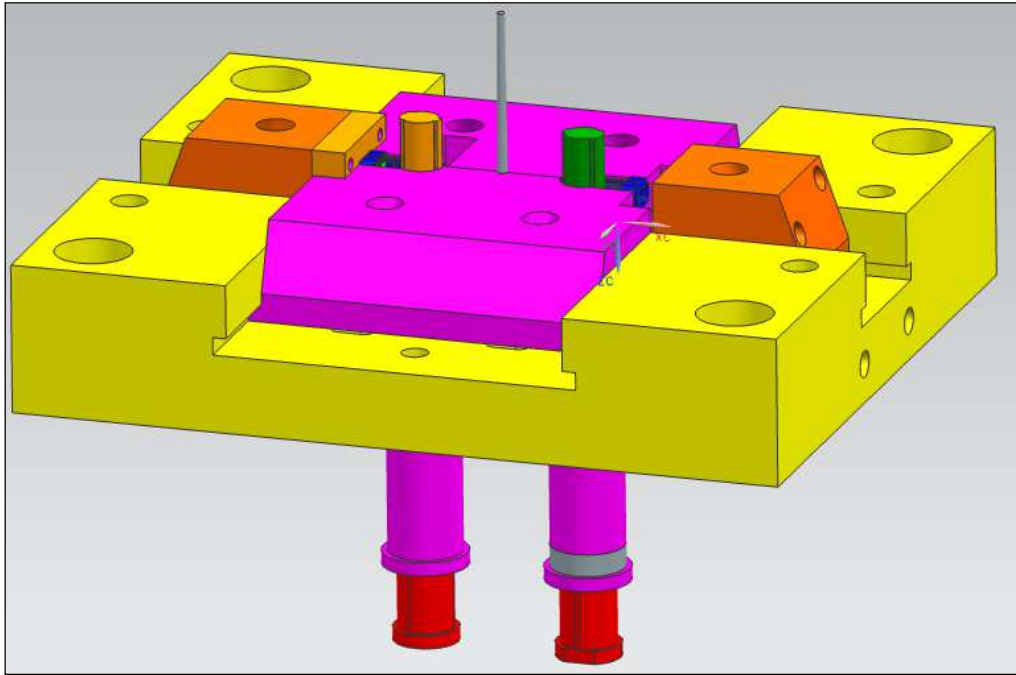
Şekil 4.17 Plastik duy

Plastik duyun kalıbı iki gözlüdür. Kalıpta 4 adet açılı pim ile çalışan maça bulunmaktadır. Kalıpta sıcak yolluk kullanılmamıştır. Kalıp tasarımı yapılırken kenardan giriş tercih edilmiştir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da kalıba ait görseller bulunmaktadır. Elastik

deformasyon analizlerinde Şekil 4.20’de görülen lokmalar incelenmiştir. Lokmaların malzemesi 1.2344’tür.

Bu kalıba ait ikinci bir analiz daha mevcuttur. Analiz için kalıp plakası tasarım önlemlerinden arındırılarak ve kalıp plaka ölçüleri inceltilerek hazırlanmıştır. Bu noktadaki amaç, tasarım önlemlerinin alınmadığı ve hatalı bir kalıp tasarımında elastik deformasyonların durumunu görmektir. İkinci analizde kalıbın erkek plakasının elastik deformasyon analizleri yapılmıştır.

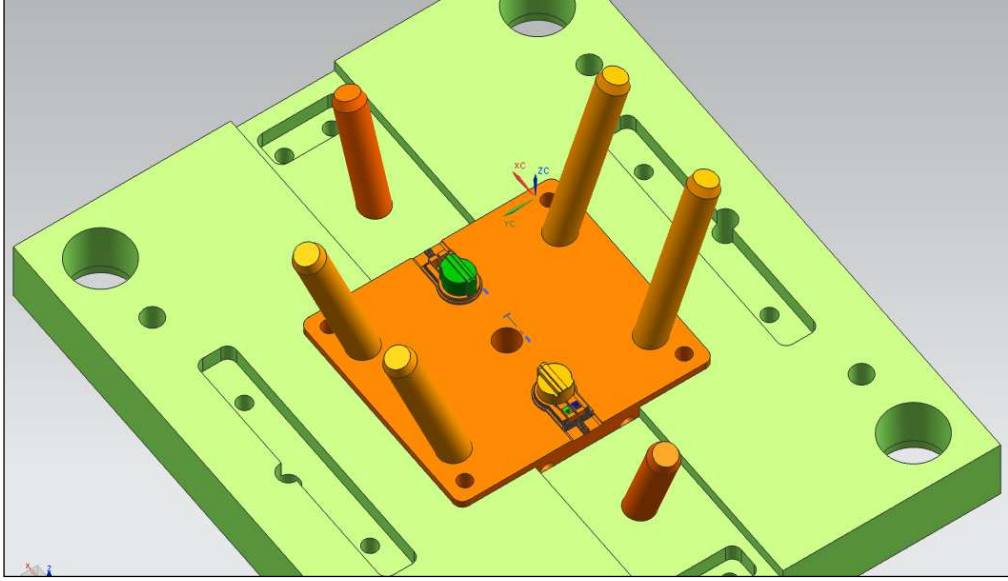
Duy gövde parçasının seçilmesinin nedeni, dişi ve erkek taraftan gelen lokmaların parçanın ortasında buluşmaları ve birbirlerine kilitlenmeleridir. Böyle bir durumda oluşacak elastik deformasyonlar incelenmek istenmiştir.



Şekil 4.18 Duy kalıbının erkek tarafı

4.4.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları

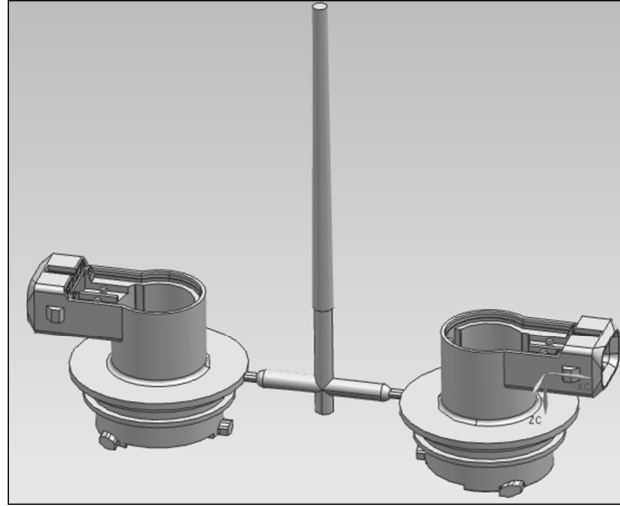
Kalıp geometrisinden giriş dağıtıcı kanal geometrileri alınıp, göz eksenlerine göre yerleştirilen parçalarla birleştirilmiştir(Şekil 4.21). Duy parçasında her hangi bir geometri sadeleştirme işlemine gereksinim duyulmamıştır.



Şekil 4.19 Duy kalıbının yolluk tarafı



Şekil 4.20 Duy kalıbındaki incelenen lokmalar

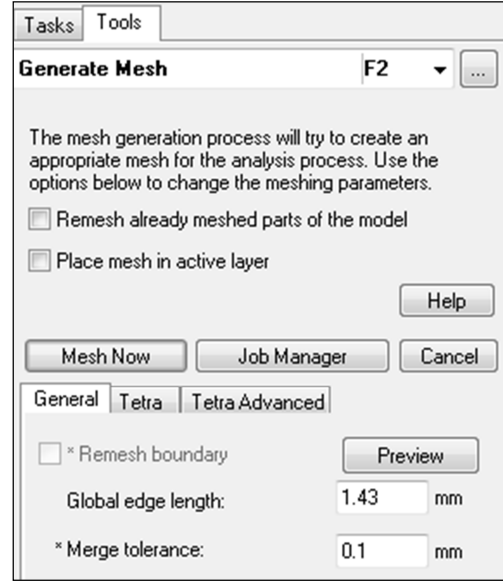


Şekil 4.21 Duy parçasının dışa aktarılan görüntüsü

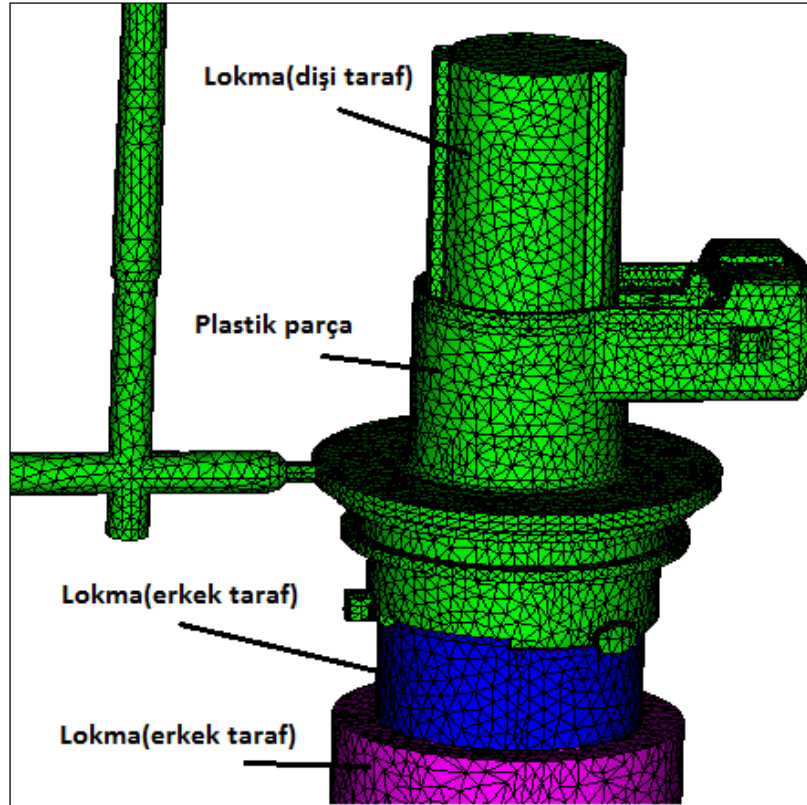
4.4.3 Parçanın Analiz Aşamaları

Başlık 4.3.3'te anlatılan yol, bu çalışmaya da uygulanmıştır. Ağ örme işlemi Şekil 4.22'deki gibi yapıldıktan sonra sınır düğüm noktalarının tanımlanması ve proses penceresinin girilmesi şeklinde devam edilerek, analiz koşturulmaya başlanır(Şekil 4.23-Şekil 4.24). Proses penceresine kalıp sıcaklığı 60°C, meme sıcaklığı 295°C, soğuma

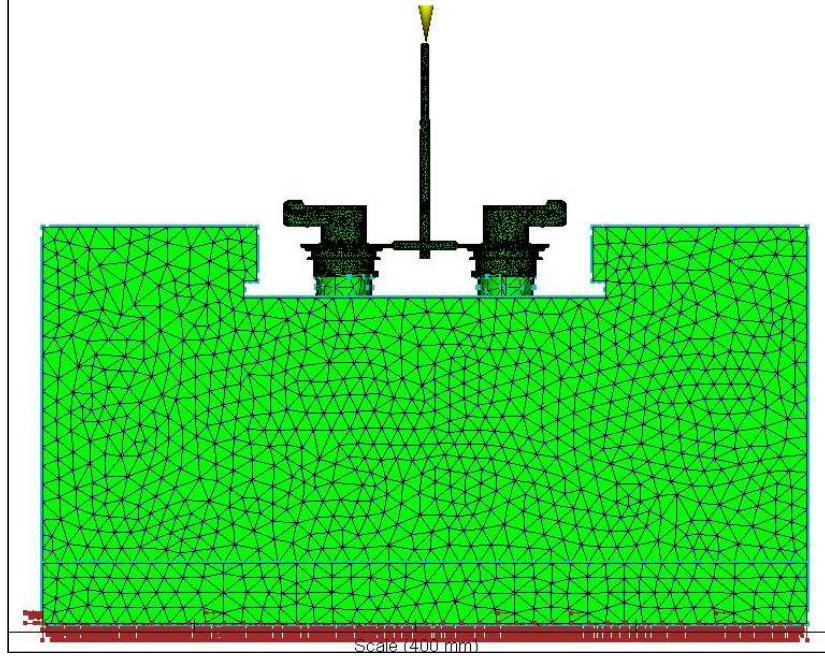
zamanı 17 saniye ve toplam çevrim süresi 26 saniye olmak üzere proses penceresi doldurulur.



Şekil 4.22 Duy parçasının ağ örme bilgileri



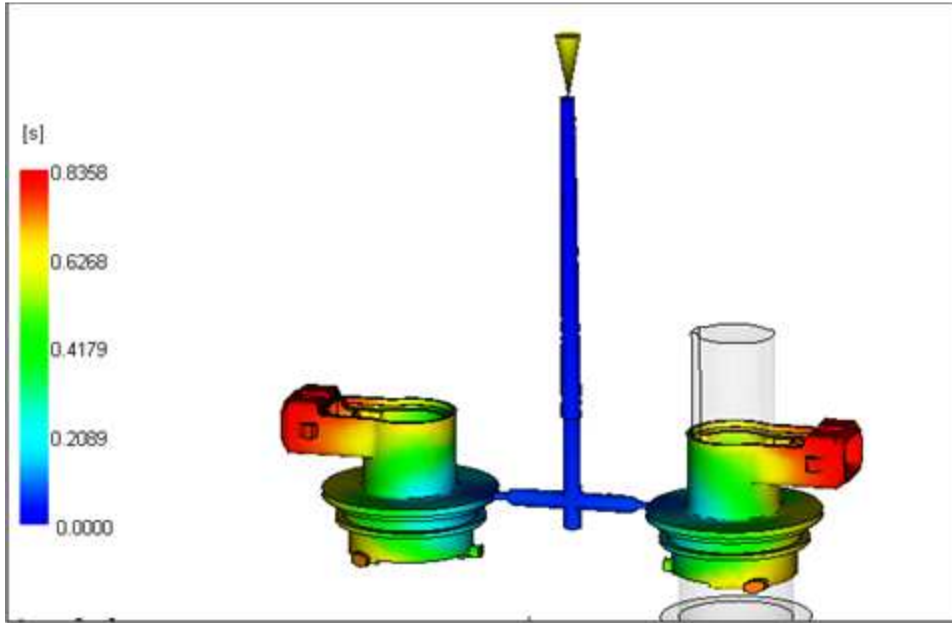
Şekil 4.23 Duy ve lokmalarının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü



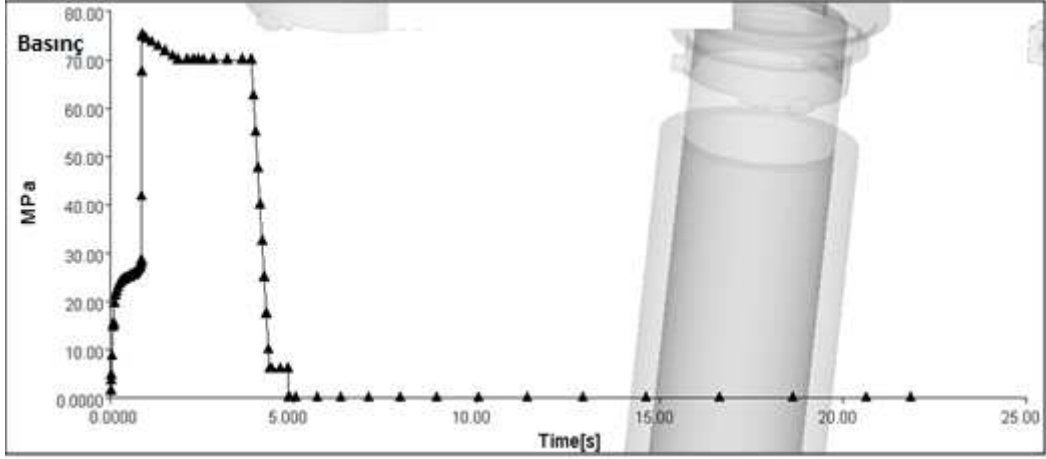
Şekil 4.24 Duy ve kalıbın aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü

4.4.4 Sonuçlar

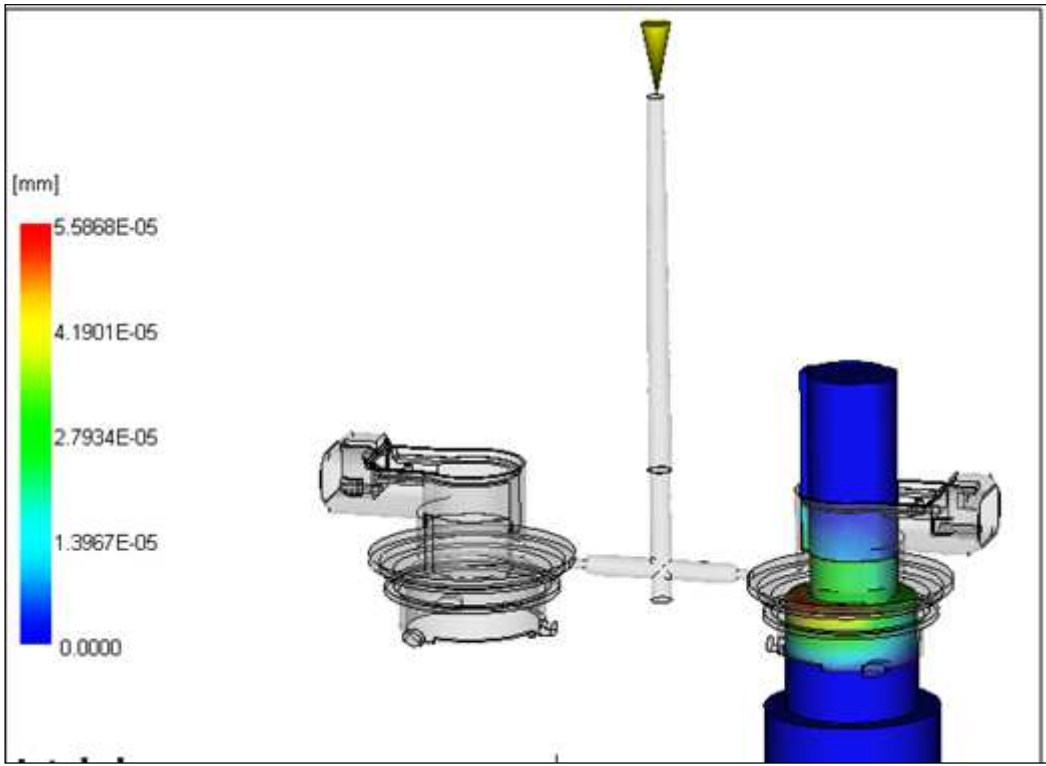
Analiz koşturulduktan sonra dolum, ütüleme ve deformasyon analizleri alt başlıklar halinde program tarafından bizlere sunulur. Şekil 4.25'te dolum analizinin sonucu, Şekil 4.26'da Basınç-Zaman grafiği, Şekil 4.27'de lokma deformasyonlar değerleri ve Şekil 4.28'de plaka deformasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 4.25 Duy parçasına ait dolum analizi

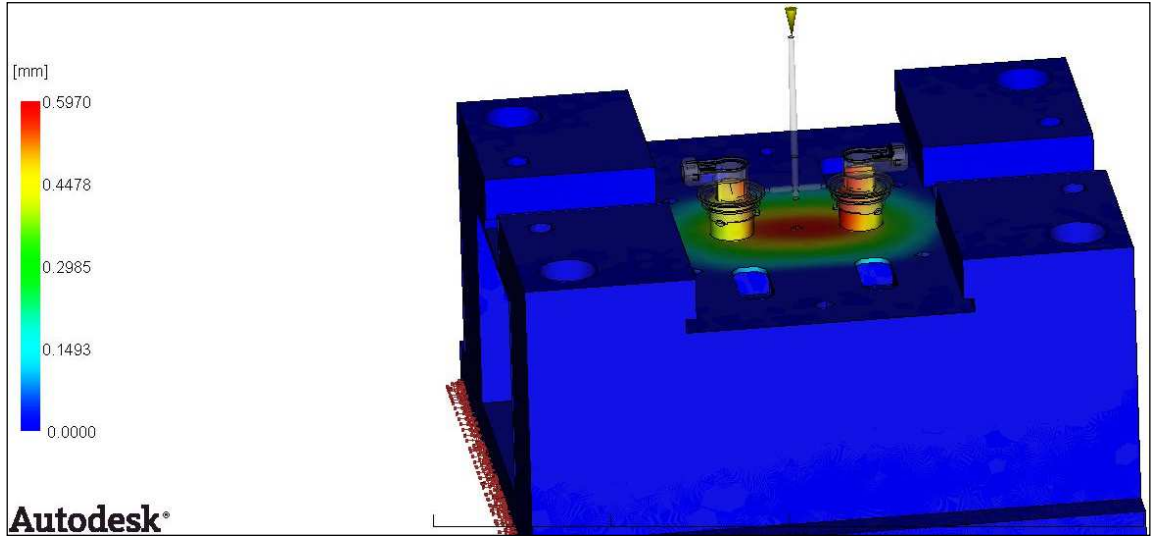


Şekil 4.26 Duy parçasına ait basınç-zaman grafiği



Şekil 4.27 Duy gövde kalıbının lokmalarına ait deformasyon değerleri

Duy gövde kalıbı erkek plakası ve kalıbın lokmalarına ait elastik deformasyon sonuçları incelendiğinde lokmalara ait değerlerin çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni lokma tasarımında elastik deformasyonu önleyici mekanik kilitler ve kademeli tasarım anlayışıdır.(Şekil 2.30)(Şekil 2.31)(Şekil 2.32). Lokmalar birbirlerine kenetletilmiş ve elastik deformasyonlar önlenmiştir.



Şekil 4.28 Duy gövde kalıbının erkek plakasına ait deformasyon değerleri

Kalıp plakasının deformasyonunda ise değerler 0.59 mm olarak çıkmıştır. Buna göre, silindirik takoz kullanımına ihtiyaç olduğu ve kalıp plaka kalınlıklarının artırılması gerektiği sonucu çıkmıştır.

4.5 A01 Kodlu Ampul Taşıyıcı Plastik Gövde Parçasına Ait Çalışma

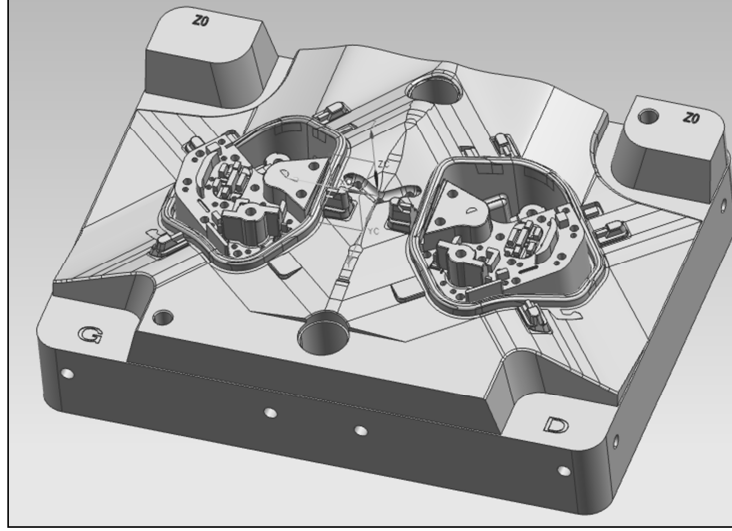
4.5.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması

Ampul taşıyıcılar; otomobillerin arka stop farlarında bulunan ampullerin duy yuvalarının bulunduğu, araçtan gelen elektrik socketinin takıldığı mamullerdir. Plastik bir gövde ve metal bir devreden oluşan montajlı parçalardır.

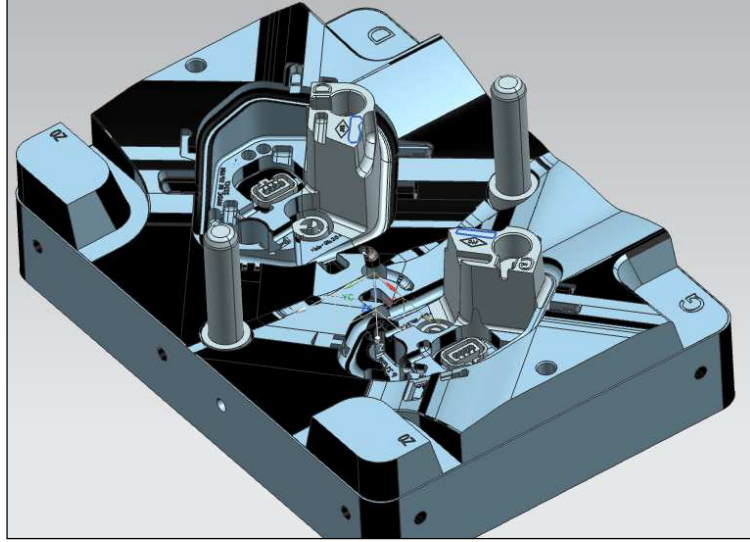
Şekil 4.29'da plastik gövde, Şekil 4.30'da erkek taraf, Şekil 4.31'de dişi taraf ve Şekil 4.32'de kalıbın lokması gösterilmektedir. Kalıbın bir gözü sol, diğer gözü sağ parça çıkmaktadır. Kalıpta sıcak yolluk kullanılmıştır. Yolluk giriş tipi tünel şeklindedir. Kalıp lokmasının malzemesi 1.2344'tür.



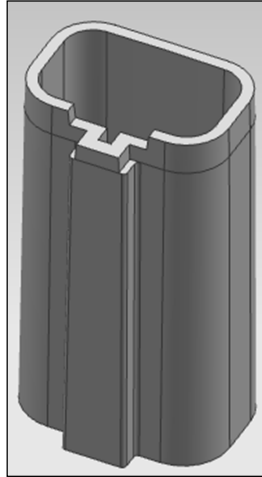
Şekil 4.29 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde



Şekil 4.30 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının erkek tarafı



Şekil 4.31 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının dişi tarafı



Şekil 4.32 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbında incelenecek lokma

Analizlerde malzemeler PP ve PBT%20 cam elyafı seçilerek, hammaddenin elastik deformasyonlar üzerindeki etkileri görülmeye çalışılmıştır.

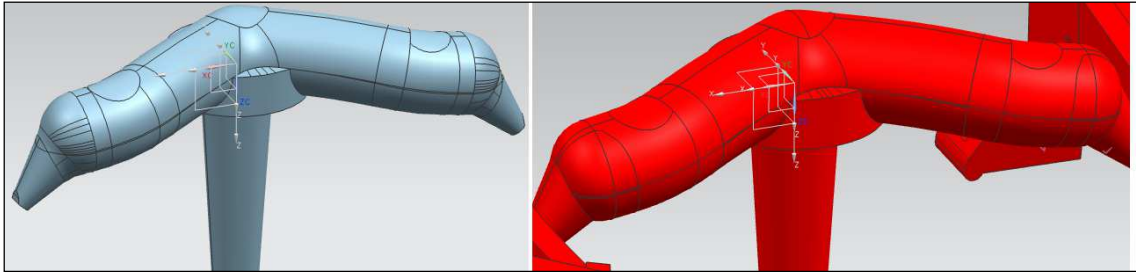
A01 parçasının seçilmesinin nedeni serbest yüzey geometrilerinden oluşan bir parçanın incelenme isteğidir.

4.5.2 Parçanın Analize Hazırlanma Aşamaları

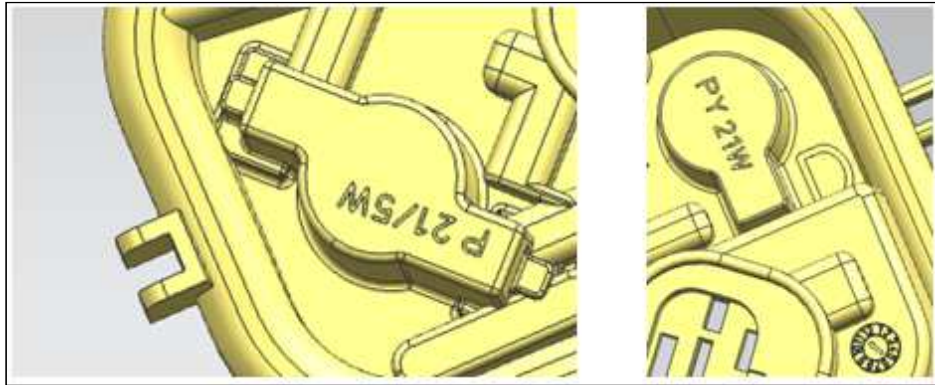
Önceki başlıklarda incelenen parçaların aksine bu geometri oldukça karmaşıktır. Çoğunluğu serbest yüzeylerden oluşan bu gibi parçaların analize hazırlanmaları gerekmektedir.

Dağıtıcı kanallarda bazı parçalı yüzeyler, ağ örülürken hata verdiği için Şekil 4.33'te görüldüğü gibi düzenlemeler yapılmıştır.

Plastik parçaların üzerinde bir takım yazılar yazılabilenmektedir. Bunlar parçanın hammaddesini, göz numaralarını, tarih bilgilerini ve bazı fonksiyonel bilgilerini fark edebilmek içindir. Bu yazılar kalıp terminolojisinde markalama olarak adlandırılır. Markalamalar ağ örerken sorun çıkardığı için silinmelidir(Şekil 4.34).

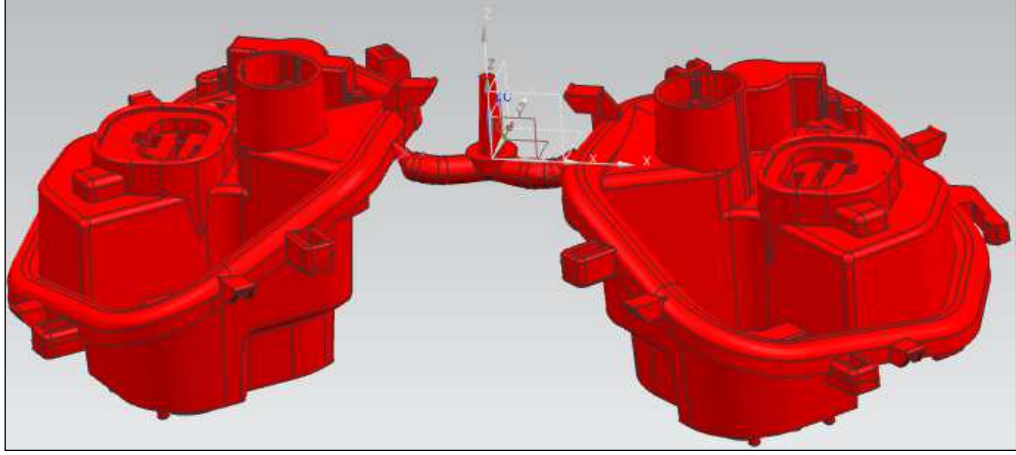


Şekil 4.33 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı kalıbındaki yolluk dağıtıcıların yüzey modelleri



Şekil 4.34 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcıdaki markalamalar

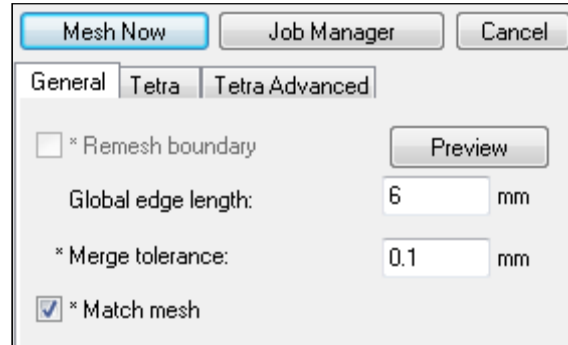
Düzenlemelerden sonra parça Şekil 4.36’teki gibi dışa aktarılmıştır.



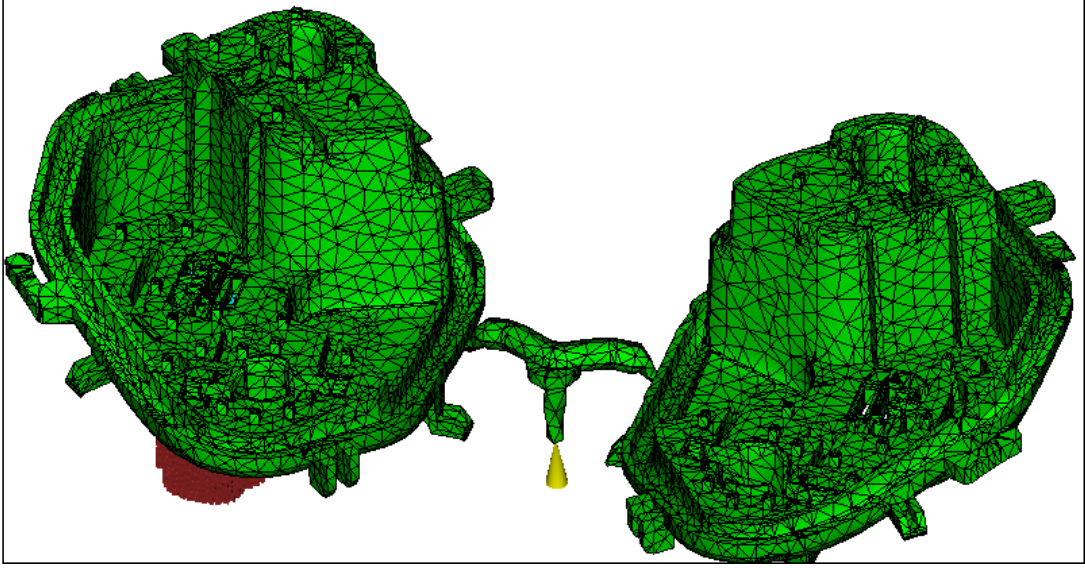
Şekil 4.35 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının dışa aktarılan görüntüsü

4.5.3 Parçanın Analiz Aşamaları

Başlık 4.3.3’te anlatılan yol, bu çalışmaya da uygulanmıştır. Ağ örme işlemi Şekil 4.36’daki gibi yapıldıktan sonra sınır düğüm noktalarının tanımlanması, proses ayar penceresinin girilmesi şeklinde devam edilerek, analiz koşturulmaya başlanır(Şekil 4.37). PBT için proses penceresine kalıp sıcaklığı 60°C, meme sıcaklığı 270°C, soğuma zamanı 20 saniye ve toplam çevrim süresi 36 saniye olmak üzere doldurulur. PP için proses penceresine kalıp sıcaklığı 30°C, meme sıcaklığı 220°C, soğuma zamanı 20 saniye ve toplam çevrim süresi 36 saniye olmak üzere doldurulur.



Şekil 4.36 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının ağ örme bilgileri

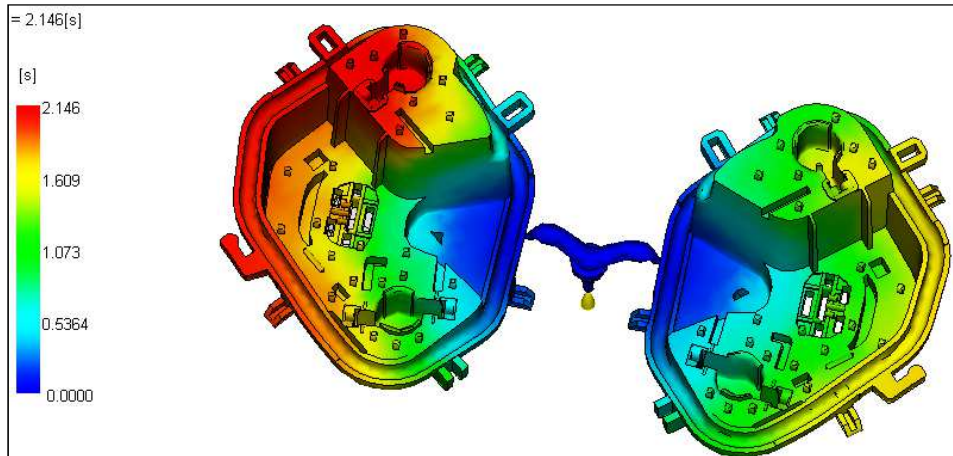


Şekil 4.37 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcı ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü

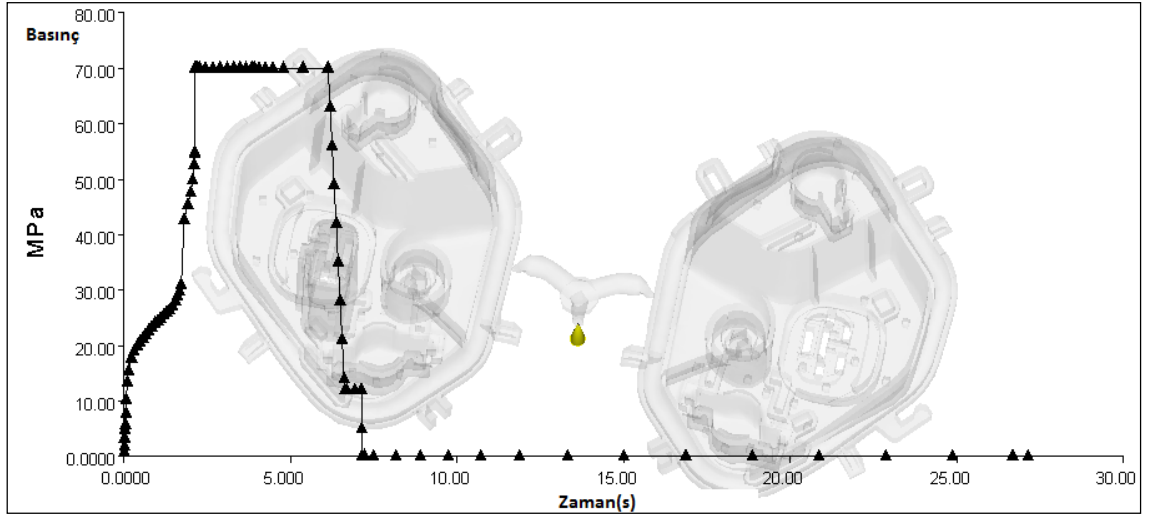
4.5.4 Sonuçlar

Analiz koşturulduktan sonra dolum, ütüleme ve deformasyon analizleri alt başlıklar halinde program tarafından bizlere sunulur. PBT%20 cam elyafı için Şekil 4.38’de dolum analizinin sonucu, Şekil 4.39’da Basınç-Zaman grafiği, Şekil 4.40’da deformasyonlar görülmektedir. PP için Şekil 4.41’de dolum analizinin sonucu, Şekil 4.42’de basınç-zaman grafiği, Şekil 4.43’te deformasyonlar görülmektedir.

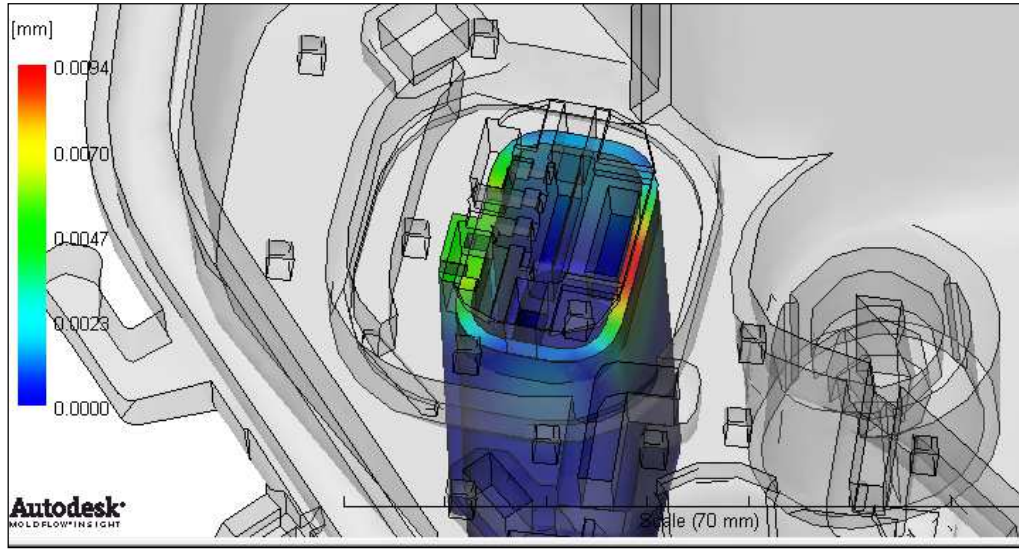
Dolum analizinde renk skalasından parçaların eşit zamanda dolmadığı görülmektedir. Saniyenin onda biri kadar bir fark nedeniyle bu şekilde bir sonuç göstermektedir. İki model arasındaki çok küçük geometri farklılığı bile bu durumu ortaya çıkarabildiği için ihmal edilmesi gereken bir durumdur.



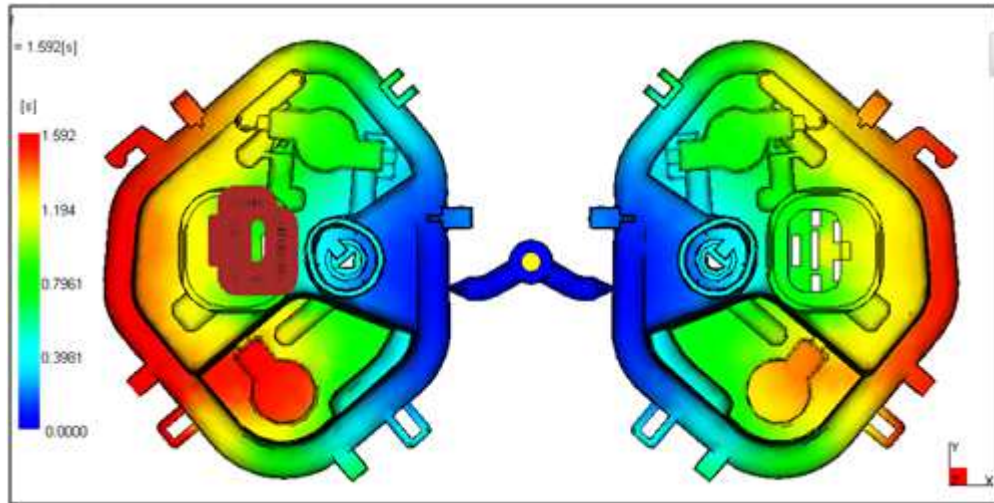
Şekil 4.38 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) dolum analizi



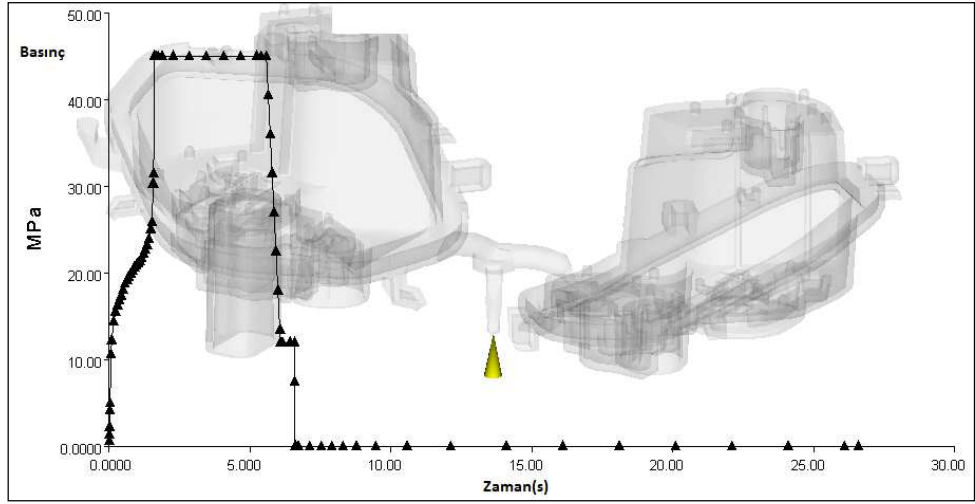
Şekil 4.39 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) basınç-zaman grafiği



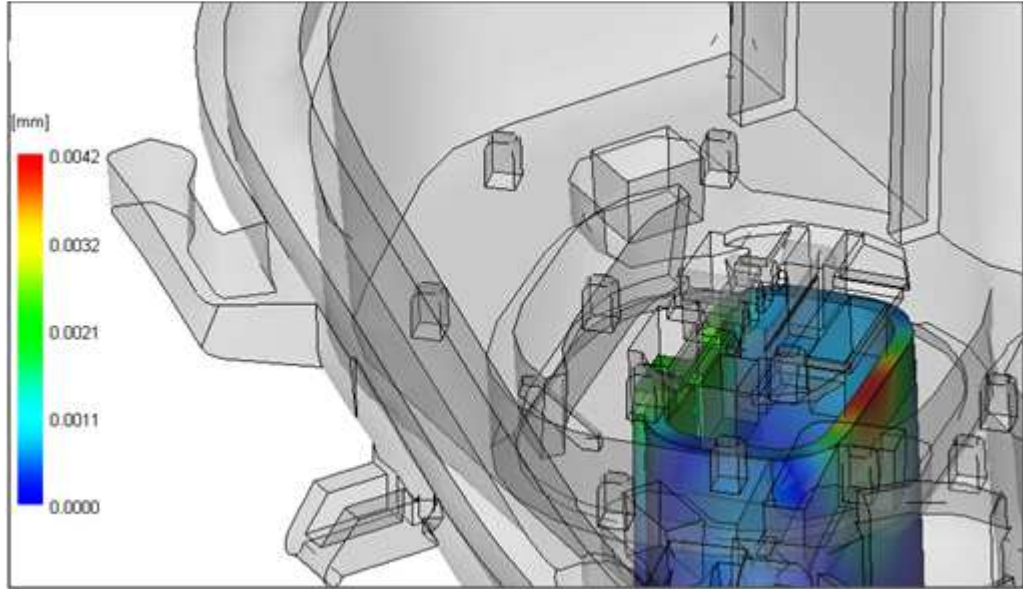
Şekil 4.40 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PBT) deformasyon değerleri



Şekil 4.41 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) dolum analizi



Şekil 4.42 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) basınç-zaman grafiği



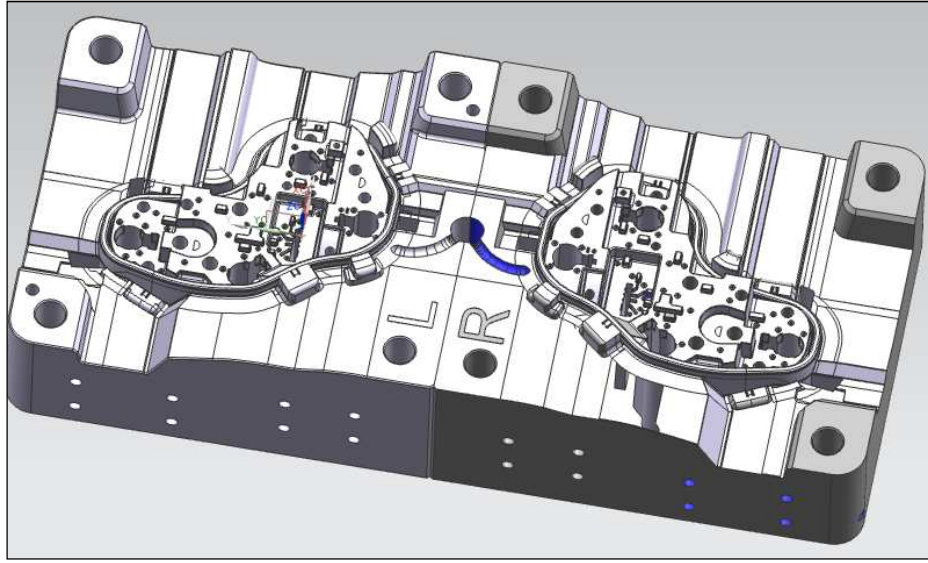
Şekil 4.43 A01 kodlu plastik ampul taşıyıcının(PP) deformasyon değeri

A01 ampul taşıyıcı gövde kalıbı lokmasına ait elastik deformasyon sonuçları incelendiğinde PBT %20 cam elyafı malzeme ile sonuçlar daha büyük çıktığı görülmektedir. PP malzemeye göre viskozitesi daha yüksek olan ve daha büyük enjeksiyon basıncı ile imal edilebilen PBT, elastik deformasyon değerlerini artırmaktadır. Bununla beraber Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilen değerlerde PP malzemenin elastiklik modülünün daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum malzemenin sıkıştırılabilirliğine etki ettiği için PP malzeme daha düşük enjeksiyon ve ütüleme basıncı ile imal edilebilmektedir. Yolluk giriş yerinin doğru tayin edilmesi ile ergiliğin lokmaya ulaşana kadar basınç kaybı yaşamaması ve sıcak yolluk kullanılması elastik deformasyon değerlerinin düşük çıkmasının nedenleri arasındadır.

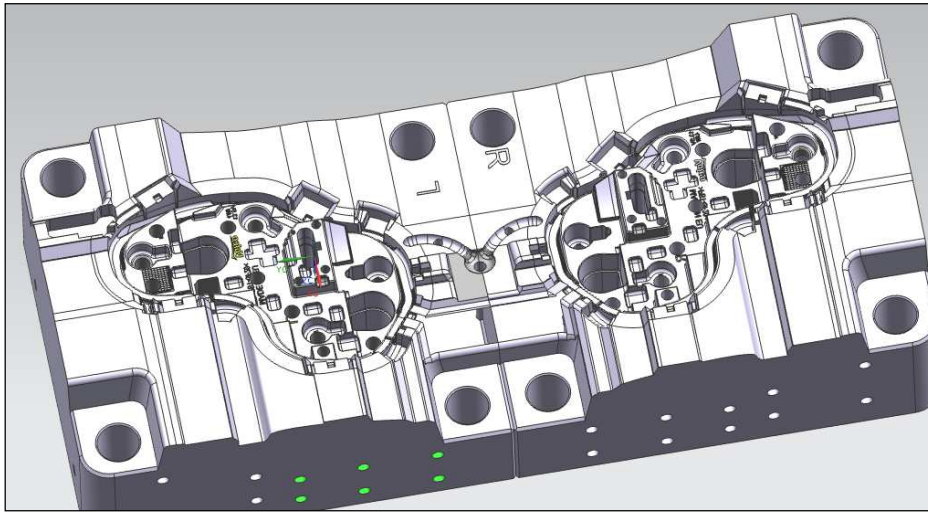
4.6 A02 Kodlu Plastik Ampul Taşıyıcı Gövde Parçasına Ait Çalışma

4.6.1 Parçanın ve Kalıbın Tanıtılması

A02 kodlu projeye ait olan bir ampul taşıyıcı gövdesi incelenecektir. Bir önceki bölümde parçanın fonksiyonelliği üzerinde durulmuştur. Şekil 4.44'te kalıbın dişi tarafı, Şekil 4.45'te kalıbın dişi tarafı, Şekil 4.46'da ampul taşıyıcı gövde ve Şekil 4.48'de kalıp lokması gösterilmektedir. Kalıpta sıcak yolluk kullanılmıştır. Yolluk giriş tipi tünel şeklindedir. Kalıbın bir gözü sol, diğer gözü sağ parça çıkmaktadır. Hammadde PBT%20 cam elyaflıdır. Kalıp lokmasının malzemesi 1.2083'tür.



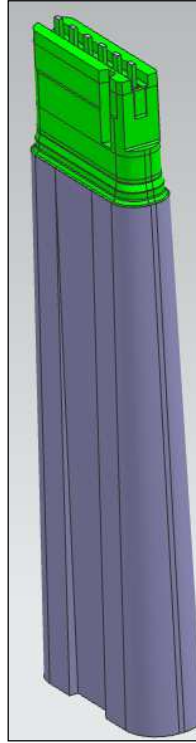
Şekil 4.44 A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının dişi tarafı



Şekil 4.45 A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbının erkek tarafı



Şekil 4.46 A02 Kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde parçası

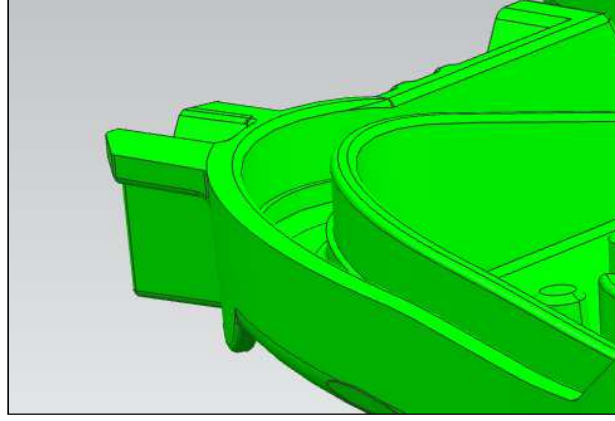


Şekil 4.47 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövde kalıbında incelenecek lokma

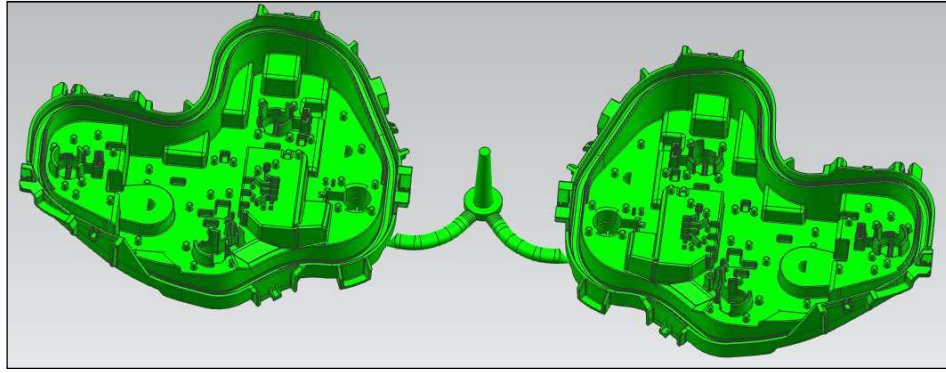
4.6.2 Parçanın Analize Hazırlanması

Parçanın yine dağıtıcı kanallarındaki yüzeyler ve Şekil 4.48’de göre ince cidarlardaki radyuslerde patlak yüzeyler bulunmaktaydı. Bu geometriler hem CAD ortamında hem de Moldflow programındaki araçlarla düzeltilip, sadeleştirilmiştir.

Şekil 4.49’da dışa aktarılan geometrinin görüntüsü verilmiştir.



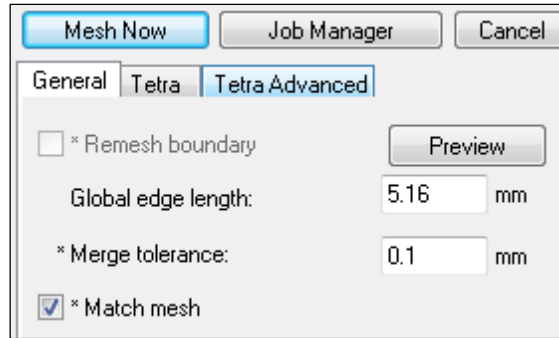
Şekil 4.48 Onarılan yüzeyler



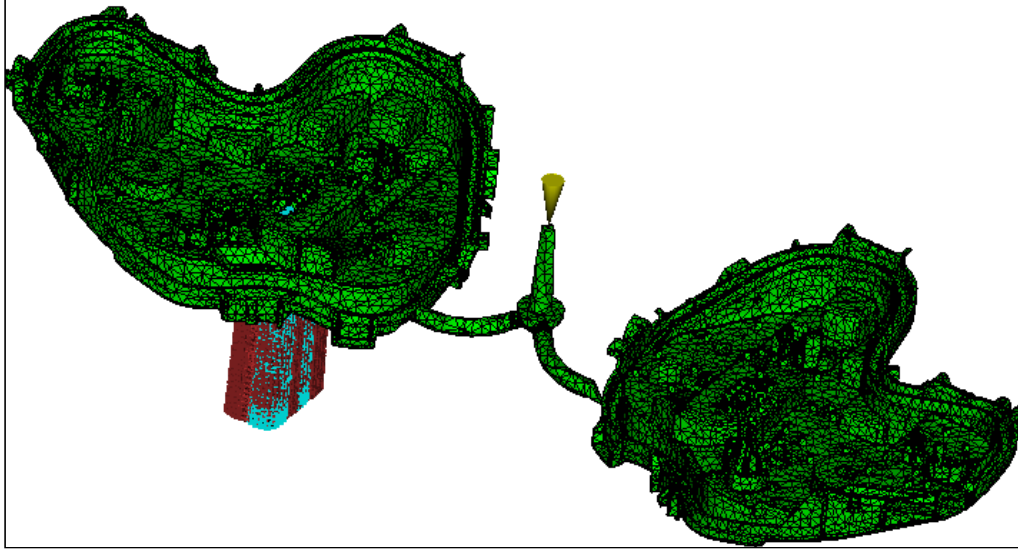
Şekil 4.49 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcının dışa aktarılan görüntüsü

4.6.3 Parçanın Analiz Aşamaları

Başlık 4.3.3'te anlatılan yol, bu çalışmaya da uygulanmıştır. Ağ örme işlemi Şekil 4.50'deki gibi yapıldıktan sonra sınır düğüm noktalarının tanımlanması ve proses penceresinin girilmesi şeklinde devam edilerek, analiz koşturulmaya başlanır(Şekil 4.51). Proses penceresine kalıp sıcaklığı 45°C, meme sıcaklığı 280°C, soğuma zamanı 20 saniye ve toplam çevrim süresi 35 saniye olmak üzere proses penceresi doldurulur.



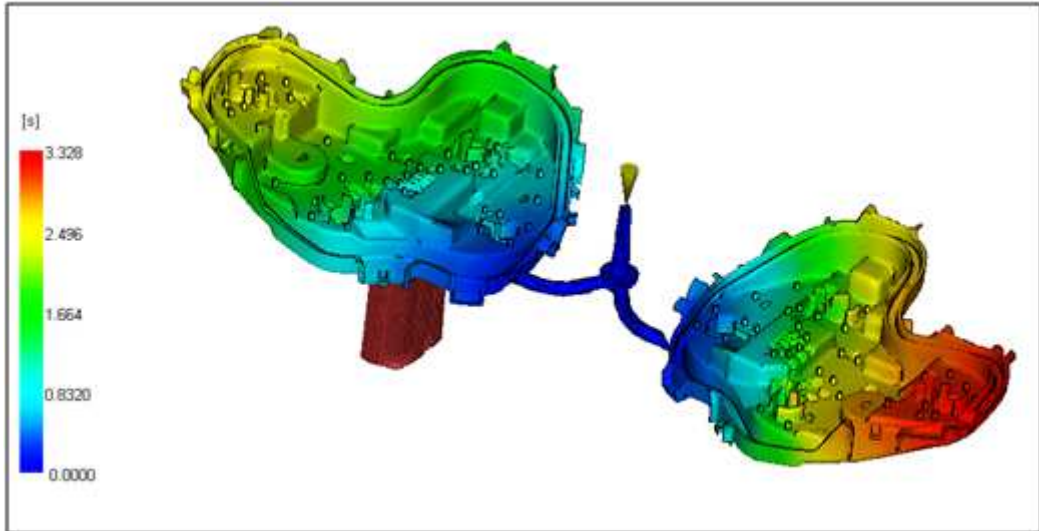
Şekil 4.50 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcının ağ örme bilgileri



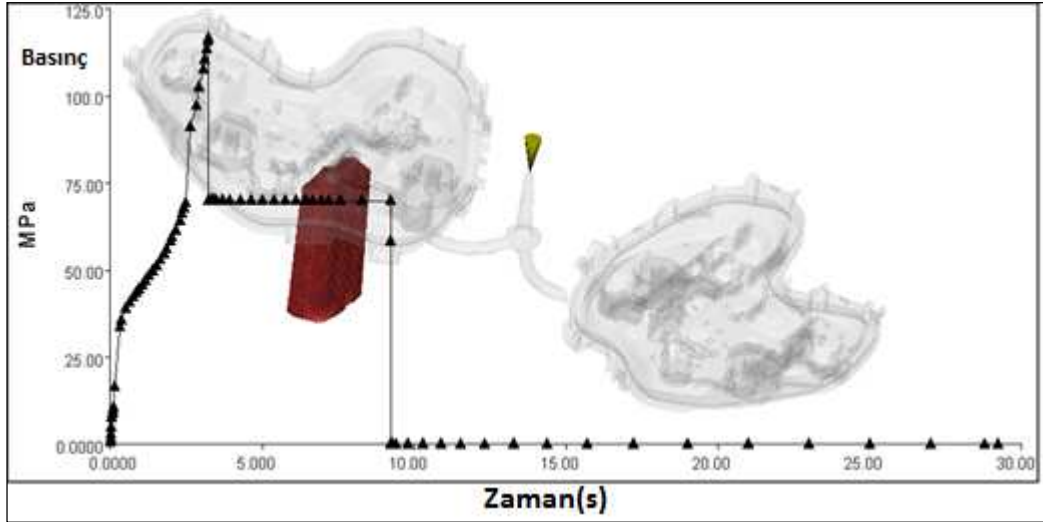
Şekil 4.51 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı ve lokmasının aynı analizin içine çağrılmış durumdaki görüntüsü

4.6.4 Sonuçlar

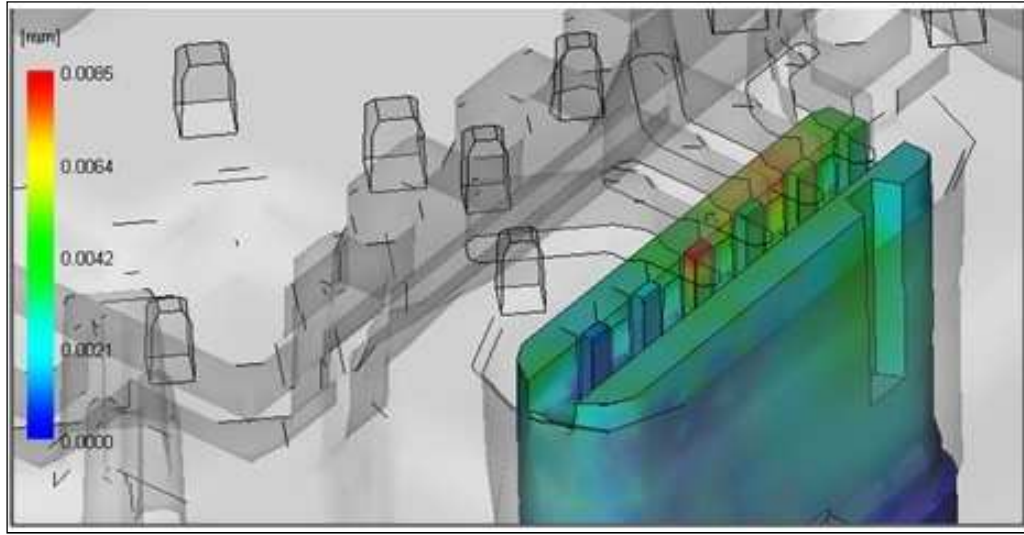
Analiz koşturulduktan sonra dolum, ütüleme ve deformasyon analizleri alt başlıklar halinde program tarafından bizlere sunulur. PBT%20 cam elyafı için Şekil 4.52’de dolum analizinin sonucu, Şekil 4.53’te basınç-zaman grafiği, Şekil 4.54’te deformasyonlar görülmektedir.



Şekil 4.52 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin dolum analizi



Şekil 4.53 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin basınç zaman grafiği



Şekil 4.54 A02 kodlu plastik ampul taşıyıcı gövdenin deformasyon değerleri

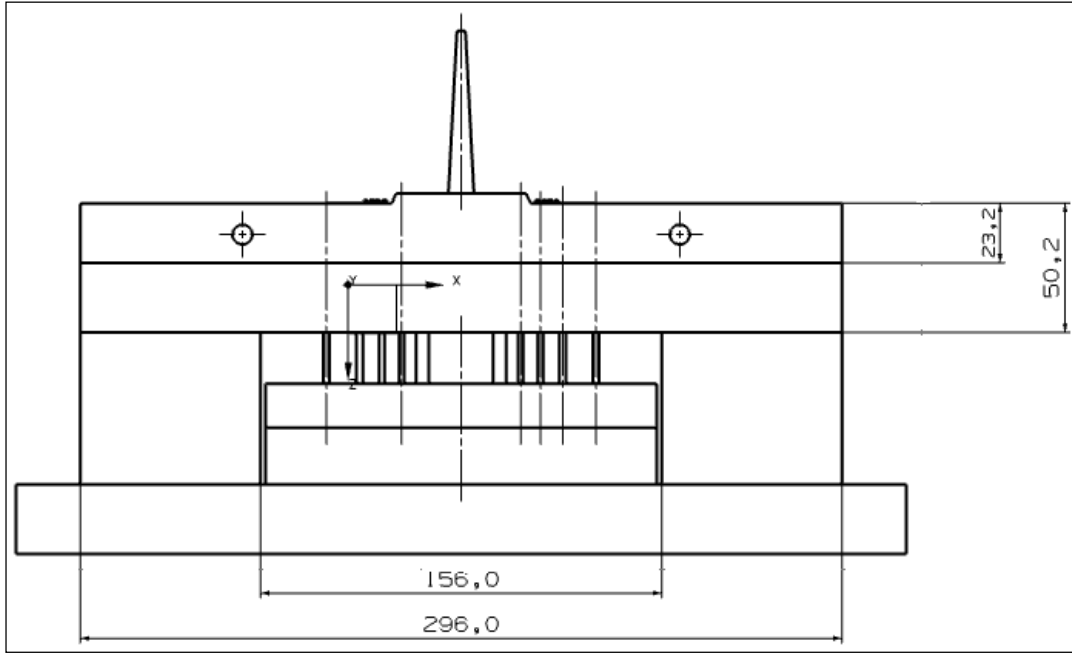
A02 ampul taşıyıcı kalıbının lokmasının elastik deformasyonları incelendiğinde sonuçlar düşük çıkmaktadır. Lokmanın Çizelge 2.1'deki oranlara uyması, malzeme seçiminde 1.2083 kullanılarak elastiklik modülü yüksek tutulması, sıcak yolluk tercih edilmesi, yekpare kitleleme yüzeyi ve silindirik takozlar kullanılması elastik deformasyonları önleyici unsurlardır. Ayrıca lokmanın montajında verilen ön yükleme, deformasyonların önlenmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 1.3).

4.7 Kapak Kalıbının Erkek Plakasına Ait Çalışma

Kapak kalıbının erkek plakasına ait deformasyonlar Bölüm 2'de verilen eşitlikler ile hesaplanmaya çalışılacaktır(Şekil 4.55).

Kalıbın erkek plakası 296x346x50.2 mm ölçülerindedir. Bununla birlikte silindirik takozun ölçüsü Ø25x59 mm'dir. Kalıp takozları arasındaki mesafe ise 156 mm'dir. (2.7) ve (2.12)'ye göre basma ve eğilme gerilmeleri sonucundaki elastik deformasyonlar hesaplanacaktır.

Bölüm 4.4'te yapılan analizlerde hidrostatik basıncın yarattığı kuvvetin 1078770N(110 ton) olduğu görülerek hesaplamalarda kullanılmıştır.



Şekil 4.55 Kapak kalıbının erkek tarafının görüntüsü

Kalıp elemanlarına kuvvetin nasıl etki ettiği Şekil 2.21'de gösterilmiştir. Bu nedenle gerek "F" gerek "L" değerleri bu anlayışta belirlenmiştir.

Kalıbın eğilme gerilmesinden neden olan elastik deformasyon miktarı aşağıdaki gibi çözülerek 0.0041 mm olarak bulunmuştur. Basma gerilmesinde dolayı elastik deformasyon değeri 0.0026 mm olarak hesaplanmıştır. Basma gerilmesinin neden olduğu elastik deformasyonun hesaplanmasında çıkan netice çok küçük olduğu için silindirik takozun deformasyonunu hesaplamaya gerek kalmamıştır.

$$\delta_{eg} = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{\left(\frac{1078770}{2}\right) \left(\frac{156-25}{2}\right)^3}{48(205000) \left(\frac{1}{12} 346(50.2^3)\right)} = 0.0041\text{mm}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1078770}{(296)(346)} = E\varepsilon = 205000 \frac{\Delta L}{L} = 205000 \frac{\Delta L}{50.2}$$

$$\Delta L = 0.0026mm$$

(2.13)'e göre kalıbın maksimum elastik deformasyonu;

$$0.0026 + \left(\frac{0.0041}{2}\right) = 0.00465 \text{ mm olmaktadır.}$$

Toplam elastik deformasyon değeri makul düzeylerde çıkmıştır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Otomotiv sektöründe kullanılan dört adet plastik enjeksiyon kalıbının elastik deformasyonları incelenmiştir. Literatür incelemelerinde sıklıkla görülen tüp, kapak gibi parçaların yerine, serbest yüzey geometrilerinden oluşan parçaların kalıpları incelenmiştir. Farklı geometrideki dört adet kalıbın analizlerinde, kalıp plaka deformasyonu ve kalıp lokma deformasyonu incelenerek hammadde değişiminin de etkisi gözlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

- Tasarım önlemlerinde yekpare kilitleme yüzeylerinin ve silindirik takozların büyük önem taşıdığı
- Çizelge 2.1'deki oranlara göre tasarımlar yapıldığında elastik deformasyon değerlerinin makul olması
- Birbirlerine mekanik kilitlenen lokmaların elastik deformasyonlara uğramaması
- PBT %20 cam elyafı malzeme ile elastik deformasyonları PP'ye göre daha büyük çıktığının görülmesi

Kalıp tasarımları sırasında yapılan dolum ve ütüleme analizlerine bu çalışmada farklı bir yaklaşım ile bakılmıştır. Dolum ve ütüleme analizlerinin mukavemet analizi özelliğini kullanarak plastik parçalar üzerinde etkileri ortaya konmuştur. Kalıplar açısından incelenirse de, kalıplarda bulunan mekanizmaların çalışma sırasında kilitlenmesini veya istenmeyen yüzey aşınmalarının oluşması gibi hataların tespit edilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle klasik dolum ve ütüleme analizlerine ilaveten mukavemet analizlerinin de yapılmasında fayda vardır.

Yapılan mukavemet analizlerinde, bulunan elastik deformasyon değerlerinin parçaların ölçü ve biçim tamlığına etki edecek kadar büyük olmadığı gözlenmiştir. Bölüm 2'de

elastik deformasyonların en büyük iki nedeninin hatalı parça ve kalıp tasarımı olduğu belirtilmişti. Kalıp tasarımı ve imalatını 1970'den itibaren yapan AL-KOR MAKİNA firmasında, elastik deformasyonlara alınan önlemler bir standart haline getirilerek tüm kalıplara uygulanmaktadır. Parça tasarımları ise otomotiv ana sanayi firmaları ve yabancı menşeli yan sanayi firmaları tarafından yapılmaktadır. Parça tasarımları dondurulmadan önce akış analizleri, FMEA analizleri ve kalıp tasarımcısının görüş ve önerilerinin dikkate alınmaktadır. Bu nedenle parça tasarımları da doğru yapılmaktadır. Sonuç olarak parça ve kalıp tasarımlarında alınan önlemler ile elastik deformasyonların önüne geçilebildiği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Kennedy, P., Han, S. ve Jin, X., (2004). "Prediction of Core Shift Effects Using Mold Filling Simulation", ANTEC, 16-20 May 2004, Chicago.
- [2] Giacomini, A.J., Hade, A.J., Johnson, L.M., Mix, A.W., Chen, Y.C., Liao, H.C. ve Tseng, S.C., (2011). "Core Deflection in Injection Molding", Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 166: 908-914.
- [3] Chen, Y.C., Liao, Y.J., Tseng, S.C. ve Giacomini, A.J., (2011). "Core Deflection in Plastics Injection Molding: Direct Measurement, Flow Visualization and 3D Simulation", Polymer-Plastics Technology and Engineering, 50: 863-872.
- [4] Delunay, D. ve Le Bot, P., (2000). "Influence of Mold Deflection on Pressure History and Shrinkage", Polymer Engineering and Science, 40(7): 1692-1700
- [5] Ahn, D.G., Kim, D.W. ve Yoon, Y.U., (2009). "Optimal Injection Molding Conditions Considering The Core Shift for a Plastic Battery Case with Thin and Deep Walls", Journal of Mechanical Science and Technology, 24: 145-148.
- [6] Kazmer, D.O., (2007). Injection Mold Design Engineering, Hanser Publications, Cincinnati.
- [7] Carpenter, B., Patil, S., Hoffman, R., Lilly, B. ve Castro, J., (2006). "Effect of Machine Compliance on Mold Deflection During Injection and Packing of Thermoplastic Parts", Polymer Engineering and Science, 46(7): 844-851.
- [8] Gldaş, A., (2004). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ergimiş Plastik Akışının Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] Buldu, L., (2007). Enjeksiyon Parametrelerinin Bazı Mühendislik Plastiklerinin Akış Uzunluğuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Akkurt, S., (2007). Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [11] Türk, R., (2010). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ergiyik Plastik Akış Hatlarında Kesit Biçimi ve Ölçü Değişiminin Kalıplanabilirliğe Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Osswald, T.A., Turner, L.S., Gramann, P., (2007). Injection Molding Handbook, Second Edition, Hanser Publications, Madison.

- [13] DSM Engineering Plastics, (2005). Design Guide, USA.
- [14] Menges, G., Mohren, P. ve Michaeli, W., (2001). How to Make Injection Molds, Thirrd Edition, Hanser Publications, Munich.
- [15] Köse, E., (2006). Plastik Enjeksiyon Proses ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Plastik kasa resimleri, www.hipas.com.tr, 28 Ocak 2014.
- [17] Paksoy, Ö. (2008). Plastik Enjeksiyon Prosesinde Elyaf Yönlenmesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Dursun, V.E., (2010). Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Kalıp İçi Eriyik Sıcaklıklarının Mekanik ve Boyutsal Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [19] Özbay, A., (2008). Alternatif Kalıp Malzemelerinin Değişik Polimerlerden Elde Edilmiş Nihai Ürünün Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [20] Erdem, V., (2007). Geometrik Mamül Spesifikasyonu ve Doğrulanması Çerçevesinde Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, İmalat ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [21] Bayer Engineering Polymers, (2000). Part and Mold Design Guide, Pittsburgh.
- [22] Güneş, A.T., (2005). Plastik Enjeksiyon Kalıpları, MMO Yayınları, Ankara.
- [23] Arburg GmbH Co KG, (2002). Enjeksiyon Kılavuzu, İstanbul.
- [24] PBT Kullanımı, www.interplast.com.tr, 28 Ocak 2014.
- [25] Shoemaker, J., (2006). Moldflow Design Guide, First Edition, Hanser Publications, Massachusetts.
- [26] Plastik duy örnekleri, www.plas-met.com.tr, 29 Ocak 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Arman İPEKÇİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.02.1988/ İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : armanipekci@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	YTÜ	2010
Lise	Fen-Matematik	Atatürk Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	Al-kor Makina Kalıp San. Tic. A. Ş.	Proje Lideri