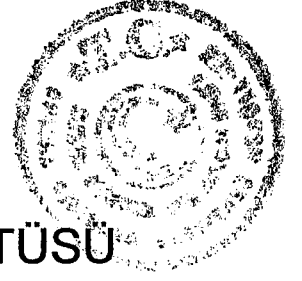


171046

T.C.



GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA
BİR PLASTİK ÜRÜNDEKİ ÇARPILMA VE
MUKAVEMETİN ENJEKSİYON
PARAMETRELERİYLE DEĞİŞİMİNİN
ANALİZİ

İbrahim SONAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd.Doç.Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE

2005

İbrahim SONAT' ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..17../ ..01../ 2005 tarih ve 2005../...3 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç Dr. Hasan KURTARAN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Metin USTA

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..10../ ..03../ 2005 tarih ve 2005../...11 sayılı kararı

İmza / Mühür

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAPOĞLU
GYTE Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdür Yardımcısı



ÖZET

Günümüzde endüstrinin tüm dallarında plastik malzemeler oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Tarihsel gelişim ile plastiğin üretimi giderek artmış, 1980 yılında hacimce toplam üretimi metalik malzeme üretimini geçmiştir. Ve de plastik malzemelerin kullanımı metalik malzemelerin kullanımını geride bırakmıştır. Günümüzde plastik malzemelere ek kimyasal ve fiziksel özellikler eklenilerek kullanım alanları iyice genişletilmiştir. Plastik malzemelerin başlıca kullanım alanları: ambalaj sanayii, havacılık ve uzay, inşaat ve konstrüksiyon, taşımacılık, elektronik malzemeler, mobilyadır.

Plastik malzemeler polimer malzemeler olarak da tanımlanır. Polimerler, içlerine çeşitli katkı ve dolgu maddeleri (boyayıcı maddeler, güneş ışığına karşı koruyucu özel katkıları, kayganlaştırıcılar, işleme kolaylığı sağlayan katkıları) karıştırılarak bir ön karışım hazırlanır. Bu karışıma plastik işleme karışımı adı verilir. Bu karışımından eritme-kalıplama gibi uygun yöntemler ile son şekli verilmiş ürün elde edilir. Elde edilen şekillendirilmiş ürün plastik olarak tanımlanır. Polimer maddeler sert veya yumuşak, rijit veya esnek, kauçuk veya camsı yapıda olabilmektedir. Ayrıca polimer maddeler değişik fiziksel yapılar kazandırılarak gözenekli/gözeneksiz, ısı ile sertleşip şekillenen veya ısı ile tekrar eriyebilen türlerde üretilebilmektedir.

Plastik malzemeleri ısı etkisine göre iki gruba ayırabiliriz. Bunlar; termoplastikler ve termosetlerdir. Termoplastik malzemeler soğutulup katılaştırıldıktan sonra ergitilerek tekrar kullanılabilirler. Fakat termoset malzemelerde bu işlem gerçekleştirilemez. En çok kullanılan plastik malzemeler termoplastiklerdir.

Kullanım amacıyla seçilmiş olan polimer gerekli özelliklerden bir veya daha fazlasını yerine getiremeyecek durumda ise gerekli özellikleri karşılayabilmek için iki veya daha fazla plastik polimerize edilerek her bir plastiğin özelliği tek bir plastikte



toplanarak arzu edilen malzeme elde edilir. Bu tip polimerlere (kopolimer) örnek olarak poliakrilonitril butadien sitiren (ABS) verilebilir.

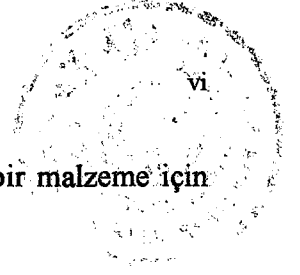
Plastik enjeksiyon ile kalıplama yönteminde, enjeksiyon kalıplama metodu ile akışkan hale gelen plastik madde kalıp içerisine enjekte edilir. Kalıp plastik malzeme ile dolduktan sonra, vidanın plastik malzemeyi dolu kalıbın içerisine enjekte etmesi devam ettirilerek kalıba uygulanan enjeksiyon basıncı artırılır. Bu işleme “ütüleme” denir. Plastik malzeme katılaştığında kalıp açılır ve parça kalıp dışına atılır.

Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalarda çeşitli nedenlerden dolayı hatalı parçalar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenler parçanın veya kalıbın tasarımı, kullanılan malzeme, enjeksiyon yapan makine veya işlem şartlarıdır. Ortaya çıkan problemlerden birisi de çarpılmadır. Daha önceden gerçekleştirilmiş olan bilimsel araştırmalarda çarpılmanın artması veya azalması durumunu etkileyen en önemli işlem parametrelerinin:

- Ütüleme basıncı
- Kalıp sıcaklığı
- Eriyik malzeme sıcaklığı
- Ütüleme zamanı

olduğu belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında bu parametrelerden yola çıkarak ilk olarak üç farklı parça kalınlığında (0,9 mm, 1 mm, 1,1 mm) ve üç farklı malzemede (ABS, ABS+PC ve PC) daha sonrada ABS ve ABS+PC malzemeye belirli bir oranda (%15) “carbon fiber” katkı malzemesi katarak 1mm kalınlık için çarpılma analizleri yapılmıştır. Analizlerde kullanılan parça bir cep telefonu kapağı modelidir. Bu model CATIA V5R12 programında tasarlanmıştır. Analizler ise Moldflow 4.0 programında gerçekleştirilmiştir. Bu programdan elde edilen analiz sonuçları her bir malzeme ve



kalınlık için grafiksel olarak gösterilmiştir. Sonuçların yorumları her bir malzeme için yapılmıştır.

Çarpılma analizlerinden sonra ise 1mm kalınlığındaki cep telefonu kapağı için beş farklı plastik malzeme kullanılarak (ABS, ABS+PC, PC, %15 fiber katkılı ABS, %15 fiber katkılı ABS+PC) kuvvet analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde her beş malzeme için de parça üzerinde belirlenen noktalarda hangi yük miktarlarında kırılma olacağına bakılmıştır. Analizler CATIA V5R12 programının Generative Structural Analysis modülünde gerçekleştirilmiştir.



SUMMARY

Today plastic materials are commonly used in every branch of industry. By the historical progress, production of the plastic materials became bigger. In 1980 production of the plastic materials passed the production of metallic materials. Also the usage of the plastic materials passed the usage of metallic materials. Today some physical and chemical properties are being added to plastic materials to enlarge their usage in market. Generally plastic materials are used in: packaging, aviation and space technology, building and construction, transportation, electronic materials, furniture.

Plastic materials are also described as polymers. Some additives and fillers (colorants, special additives protecting material from sunlight, lubricants, materials that make the product more processible) are added to the polymers to make pre-mixture. This mixture is called plastic process mixture. The desired product can be made from this mixture by appropriate methods such as melting and molding. This desired product is called plastic. Polymer materials can be in hard or soft, rigid or elastic, rubber or glass structure. Polymers can also be produced in types of pore/poreless or melt/hardened by heat by making different physical structures.

Plastic can be divided into two groups by the effect of the temperature. These are; thermoplastics and thermosets. Thermoplastic materials can be reused by melting of the product after cooling. But this process can't be done for the thermoset materials. The most popular plastic materials are thermoplastic materials.

If the chosen plastic material is not enough for one or more of the required properties, two or more plastics are polymerized together to take each plastic's property into one. Polyacrylonitrile butadiene styrene (ABS) can be an example of this type plastic (copolymer).

In the plastic injection molding method, plastic material which becomes fluid by injection molding method, is injected into the mold. After the mold is filled with plastic material, the injection pressure applied to the mold is increased, making the screw keep injecting the plastic material into the mould. This process is called “packing”. When the plastic material freezes, mold is opened and the part is ejected from the mold.

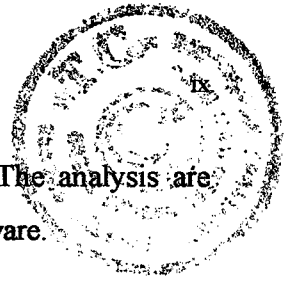
Because of some reasons, there may be some problems in plastic parts which is produced by plastic injection molding method. These reasons are design of the part or mold, material used, the machine which makes the injection and the process conditions. One of these problems is warpage. In the recent scientific researches it is stated that, the most influential parameters that increase or decrease the warpage are:

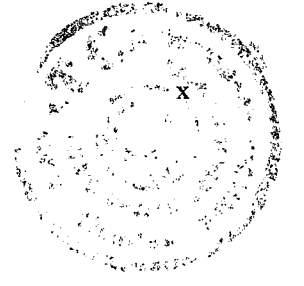
- Packing pressure
- Mold temperature
- Melt temperature
- Packing time

In this work, starting from the parameters above, warpage analysis are made to three different wall thickness (0,9 mm, 1 mm, 1,1 mm) at first for three plastic material (ABS, AS+PC, PC) and then to ABS, ABS+PC materials by adding the same amount carbon fiber (%15) for 1mm wall thickness. The part that is used for the analysis is a cellphone cover. This part is designed by CATIA V5R12 software. The analysis are made by Moldflow 4.0 software. The results taken from these analysis are shown graphically for each material and wall thickness. The commentary for the results are also written.

After the warpage analysis, for 1mm wall thickness cellphone cover, force analysis are made by using five materials (ABS, ABS+PC, PC, %15 carbon filled ABS, %15 carbon filled ABS+PC). In these analysis, for five materials, we searched that for

which amount of force make the part broken at the decided points. The analysis are made in Generative Structural Analysis module of CATIA V5R12 software.





TEŞEKKÜR

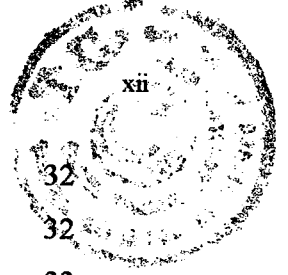
Bana bu araştırma konusunu öneren ve çalışmalarım sırasında hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocalarımdan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, önerileriyle bana yol gösteren Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya, Moldflow programının kullanımına izin verdiği için UMTAŞ A:Ş ye ve katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Tuncay ERZURUMLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.





İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	x
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. PLASTİK MALZEMELER	9
3.1 Plastiklerin Kullanım Alanları	9
3.2 Plastik Tanımı	12
3.3 Plastiğin Hammaddeleri	13
3.4 Termoplastikler ve Termosetler	15
3.5 Malzeme Olarak Plastikler (Polimerler)	18
3.5.1 Sağlam Polimer Malzemeler	20
3.5.2 Hafif Polimer Malzemeler	22
3.5.3 Saydam Polimer Malzemeler	23
3.5.4 Isıya Dayanıklı Polimer Malzemeler	24
3.5.5 Ucuz ve Ekonomik Polimerler	25
3.6 Polimerlerin Güçlendirilmesi	26
3.7 Katkı Maddeleri ve Modifikatörler	27
3.7.1 Takviye Edici Katkılar	27
3.7.2 Dolgu Maddeleri	28
3.7.3 Renklendiriciler	28
3.7.4 Dengeleyiciler ve Yanma Dayanımını Arttırıcı Katkılar	29
3.7.5 Köpürtücü Katkılar	30



4. ENJEKSYON KALIPLARI

4.1 Kalıp Malzemeleri	32
4.2 Kalıpların Sınıflandırılması	33
4.3 Enjeksiyon Kalıbının Temel Komponentleri	33
4.4 Enjeksiyon Kalıbında Yer Alan Elemanlar	34
4.5 Kalıp Çevrimi	35
4.6 Enjeksiyon Kalıbında Yeralan Fonksiyonel Elemanlar	36
4.7 Kalıp Boşluğu ve Kalıp Boşluklarının Yerleşimi	37
4.8 Yolluk Sistemleri	39
4.8.1 Yolluk	39
4.8.2 Yolluk Tasarımı	41
4.8.3 Giriş	43
4.9 Kalıplarda Havanın Dışarı Atılması	51
4.10 Kalıbın Soğutulması	54
4.10.1 Tek Parçalı Dişi Kalıp Plakasının Soğutulması	56
4.10.2 Erkek Plaka Soğutma Yöntemi	56
5. Plastik Enjeksiyon Makinaları	58
5.1 Enjeksiyon Memeleri	60
5.2 Enjeksiyon Presi Kalıp Sıkma Ünitesi	62
6. Plastik Enjeksiyon Yönteminde Meydana Gelen Problemler	63
6.1 Üründe Oluşan Hatalar	64
6.1.1 Parçada Oluşan Akış Çizgileri	64
6.1.2 Yeterli Olmayan Akış Menzili	64
6.1.3 Çöküntüler	65
6.1.4 Yanık İzleri	65
6.1.5 Yüzey Lekesi	65
6.1.6 Birleşme İzleri	66
6.1.7 Dalgalı Yüzeyler	66
6.1.8 Kalıptan Çıkarken Çarpılma	66
6.1.9 Sonradan Oluşan Çarpılma	66
6.1.10 Çapaklı Ürün	67

6.1.11 Eksik Ürün	67
6.1.12 Jetting	68
6.2 Plastik Malzemeden Dolayı Oluşan Hatalar	68
6.3 Kalıp ve Kalıp Tasarımından Dolayı Oluşan Hatalar	68
6.4 Enjeksiyon Makinasından Kaynaklanan Hatalar	69
7. PLASTİK ENJEKSİYON ANALİZİ	70
7.1 Çarpılma Analizi	71
7.1.1 Cidar Kalınlıkları	72
7.1.2 Kullanılan Malzemeler	73
7.1.3 Giriş Noktasının Bulunması	75
7.1.4 Kullanılan Parametreler	76
7.2 Analiz Sonuçları	79
7.2.1 ABS	80
7.2.1.1 Sonuçlar	86
7.2.2 ABS+PC	89
7.2.2.1 Sonuçlar	95
7.2.3 PC	98
7.2.3.1 Sonuçlar	104
7.2.4 Karbon fiber katkıli malzemeler	107
7.2.4.1 ABS	106
7.2.4.2 ABS+PC	111
7.3 Sonuçlar	115
7.3.1 ABS	115
7.3.2 ABS+PC	116
7.3.3 PC	117
7.3.4 1 mm kalınlığında %15 karbon fiber katkıli ABS ve ABS+PC	118
7.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	119
7.4.1 Regresyon Analizi	119
7.4.2 ANOVA Analizi	124
7.4.3 Sonuçların Karşılaştırılması	140
8. KUVVET ANALİZİ	141

8.1 Analiz Şartları	141
8.2 Dört Nokta İçin Analiz Sonuçları	143
8.2.1 Sonuçlar	149
8.3 Diğer Noktalar	150
8.3.1 Analiz Şartları	151
8.3.2 Sonuçlar	160
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	163
KAYNAKLAR	168
ÖZGEÇMİŞ	172



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AYPE	Alçak yoğunluklu polietilen
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil Klorid
ABS	Akrilonitril Butadien Stiren
PE	Polietilen
PS	Polistiren
PTFE	Poli tetrafloroetilen
PES	Polieter sülfon
PEK	Polieter keton
g/cm ³	Yoğunluk birimi
PC	Polikarbonat
-C-C-	Polimer zincirinde yer alan iki carbon atomu arasındaki kovalent bağ
-C-N-	Polimer zincirinde yer alan carbon ve nitrojen atomu arasındaki kovalent bağ
-C-O-	Polimer zincirinde yer alan carbon ve oksijen atomu arasındaki kovalent bağ
MPa	Elastisite modülü birimi (MegaPascal)
PET	Polietilen tefratalat
SAN	Stiren akrilonitril
Cal/cm/sn/°C	Isı iletkenliği birimi
°C	Sıcaklık birimi
PMMA	Polimetilmetakrilat
-C-H-	Polimer zincirinde yer alan carbon ve hidrojen atomu arasındaki kovalent bağ
D	Çembersel kesitli yollukta kesit çapı
w	Parabolik veya trapezoid kesitli yolluklarda ayırım hattı üzerinde bulunan kenarın uzunluğu

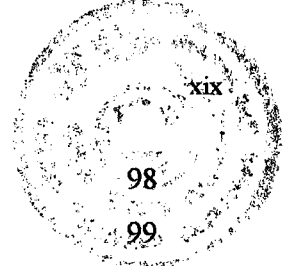
s_{max}	Parçanın maksimum kalınlığı
d_f	Konik ana girişin maksimum çapı
d_a	Konik ana girişin minimum çapı
mm	Uzunluk ölçüsü
d	Soğutma kanalı çap
D	Soğutma kanalının yüzeyden olan derinliği
P	Soğutucu kanallar arasındaki mesafe
D	Vida çapı
Q	Helis açısı
S	Diş derinliği
t	Vida adımı
L	Vida boyu
H	Vida diş derinliği
$J/kg^{\circ}C$	Özgül ısı
$W/m^{\circ}C$	Isıl iletkenlik
$R-sqr$	Regresyon analizinde kararlılık katsayısı



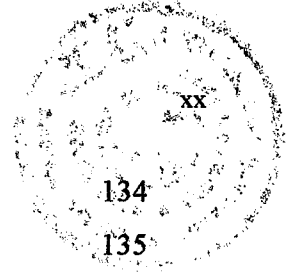
ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Pazardaki toplam plastik kullanımı	10
3.2 2000 yılında paketlenme sektöründe kullanılan plastik malzemeler	10
3.3 2000 yılında inşaat ve konstrüksiyon sektöründe kullanılan plastik malzemeler	11
3.4 Plastik moleküllerin yapısı	15
3.5 PE, PP ve PVC Polimer zincirlerinin şematik gösterimi	16
3.6 1970 - 2000 yılları arasında toplam termoset üretimi	18
3.7 1970-2000 yılları arasında toplam termoplastik üretimi	19
3.8 Kopolimerizasyon ve karışım oluşturma	27
4.1 Enjeksiyon kalıbının komponentleri	33
4.2 Enjeksiyon kalıbının elemanları	34
4.3 Kalıp çevrimi	35
4.4 Ana giriş ölçüleri	44
4.5 Ana giriş	45
4.6 Kenar Giriş	45
4.7 Disk Giriş	46
4.8 Halka Giriş	47
4.9 Halka Giriş	47
4.10 Açılı tünel giriş	48
4.11 Ucu kesik açılı tünel giriş	48
4.12 Üç plakalı kalıp	49
4.13 Üç plakalı kalıplarda iğne uçlu giriş	49
4.14 Ters ana giriş	50
4.15 Yolluksuz Kalıp	51
4.16 Uygun giriş yeri	52
4.17 Havanın dışarı atılmasında yetersiz durum	52

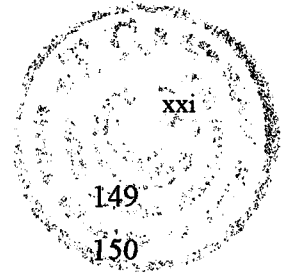
4.18 Kaburgalı bir parça	53
4.19 Havanın dışarı çembersel kesitli kanalların kullanıldığı kalıp	53
4.20 Daha iyi hava tahliyesi için tasarlanmış itici pim delikleri	53
4.21 Enjeksiyon Kalıbında ısı akışı	54
4.22 Tavsiye edilen soğutma kanalı ölçüleri	57
4.23 Yeterli ve yetersiz soğutma kanalı yerleşimi	57
5.1 Dalıcı pistonlu enjeksiyon presi	59
5.2 Vidalı Enjeksiyon presi	59
5.3 Çeşitli tipteki Enjeksiyon memeleri	61
5.4 Enjeksiyon vidası	61
7.1 Cep telefonu kapağı üstten ve yandan görünüşü	70
7.2 Cep telefonu kapağının 3 boyutlu görünüşü	71
7.3 Moldflow analiz programına göre en uygun giriş nokta	75
7.4 0.9 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri	80
7.5 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	81
7.6 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	81
7.7 1 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri	82
7.8 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	83
7.9 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	83
7.10 1,1 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri	84
7.11 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	85
7.12 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	85
7.13 0.9 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için top. çarpılma değerleri	89
7.14 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	90
7.15 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	90
7.16 1 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri	91
7.17 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	92
7.18 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	92
7.19 1,1 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri	93
7.20 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	94
7.21 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	94



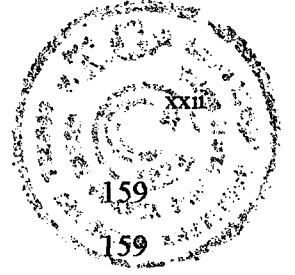
7.22 0.9 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri	98
7.23 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	99
7.24 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	99
7.25 1 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri	100
7.26 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	101
7.27 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	101
7.28 1,1 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri	102
7.29 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	103
7.30 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	103
7.31 1 mm kalınlığında fiber kat. ABS mal. için toplam çarpılma değerleri	107
7.32 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	110
7.33 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	110
7.34 1 mm kalınlığında fiber kat. ABS+PC mal. için top. çarpılma değerleri	111
7.35 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri	114
7.36 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri	114
7.37 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları	125
7.38 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları	125
7.39 Ütöleme basıncı için ANOVA sonuçları	126
7.40 Ütöleme Zamanı için ANOVA sonuçları	126
7.41 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı	127
7.42 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları	128
7.43 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları	128
7.44 Ütöleme basıncı için ANOVA sonuçları	129
7.45 Ütöleme Zamanı için ANOVA sonuçları	129
7.46 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı	130
7.47 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları	131
7.48 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları	131
7.49 Ütöleme basıncı için ANOVA sonuçları	132
7.50 Ütöleme zamanı için ANOVA sonuçları	132
7.51 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı	133
7.52 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları	134



7.53 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları	134
7.54 Ütöleme basıncı için ANOVA sonuçları	135
7.55 Ütöleme zamanı için ANOVA sonuçları	135
7.56 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı	136
7.57 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları	137
7.58 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları	137
7.59 Ütöleme basıncı için ANOVA sonuçları	138
7.60 Ütöleme zamanı için ANOVA sonuçları	138
7.61 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı	139
8.1 Mesh edilmiş cep telefonu kapağı	141
8.2 Analiz Noktaları	142
8.3 Sabitleme yapılan yüzey	142
8.4 Bir numaralı nokta	143
8.5 İki numaralı nokta	143
8.6 Üç numaralı nokta	144
8.7 Dört numaralı nokta	144
8.8 Bir numaralı nokta	145
8.9 İki numaralı nokta	145
8.10 Üç numaralı nokta	145
8.11 Dört numaralı nokta	145
8.12 Bir numaralı nokta	146
8.13 İki numaralı nokta	146
8.14 Üç numaralı nokta	146
8.15 Dört numaralı nokta	146
8.16 Bir numaralı nokta	147
8.17 İki numaralı nokta	147
8.18 Üç numaralı nokta	148
8.19 Dört numaralı nokta	148
8.20 Bir numaralı nokta	149
8.21 İki numaralı nokta	149
8.22 Üç numaralı nokta	149



8.23 Dört numaralı nokta	149
8.24 Tüm malzemeler için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri	150
8.25 Tüm noktalar için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri	150
8.26 A Noktası	151
8.27 B Noktası	151
8.28 C Noktası	151
8.29 D Noktası	151
8.30 A Noktası	152
8.31 B Noktası	152
8.32 C Noktası	153
8.33 D Noktası	153
8.34 B Noktası (yüzeye dik)	153
8.35 D Noktası (yüzeye dik)	153
8.36 A Noktası	154
8.37 B Noktası	154
8.38 C Noktası	154
8.39 D Noktası	154
8.40 B Noktası (yüzeye dik)	155
8.41 D Noktası (yüzeye dik)	155
8.42 A Noktası	156
8.43 B Noktası	156
8.44 C Noktası	156
8.45 D Noktası	156
8.46 B Noktası (yüzeye dik)	156
8.47 D Noktası (yüzeye dik)	156
8.48 A Noktası	157
8.49 B Noktası	157
8.50 C Noktası	158
8.51 D Noktası	158
8.52 B Noktası (yüzeye dik)	158
8.53 D Noktası (yüzeye dik)	158



8.54 A Noktası	159
8.55 B Noktası	159
8.56 C Noktası	159
8.57 D Noktası	159
8.58 B Noktası (yüzeye dik)	160
8.59 D Noktası (yüzeye dik)	160
8.60 Tüm malzemeler için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri	161
8.61 B noktasında malzemelere göre kuvvet dayanımı (kuvvet yüzeye dik)	161
8.62 D noktasında malzemelere göre kuvvet dayanımı (kuvvet yüzeye dik)	162





TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo

Sayfa

3.1 Bölge bazında Dünya Plastik Tüketimi	11
3.2 1960-2000 Arası Dünya Plastik Üretimi ve 2005 Yılı ile İlerisi için Tahmin (1000 ton/yıl)	12
3.3 Plastik Hammaddeleri	14
3.4 Bazı Plastik ve Metallerin Kopma Dayanıklılıkları	22
3.5 Bazı plastik köpükler ait bilgiler	23
3.6 Moleküller arası çekim kuvvetine bağlı olarak polimerlerin kullanım sıcaklığındaki artış	25
4.1 Kalıp boşluğu yerleşimleri	38
4.2 Yolluk kesitleri	42
7.1 Cypolac EP'nin fiziksel özellikleri	73
7.2 Cypoloy C1200'ün fiziksel özellikleri	73
7.3 Lexan 105'in fiziksel özellikleri	74
7.4 Electrafil'in fiziksel özellikleri	74
7.5 Panlite'in fiziksel özellikleri	75
7.6 Analizlerde kullanılan parametrelerin değerleri	76
7.7 Kullanılan Taguchi Çizelgesi	77
7.8 Kullanılan değerlerin taguchi çizelgesindeki yerleri	78
7.9 ABS malzeme için analiz sonuçları	115
7.10 ABS+PC malzeme için analiz sonuçları	116
7.11 PC malzeme için analiz sonuçları	117
7.12 1 mm kalınlık, ABS ve ABS+PC malzeme için analiz sonuçları	118
8.1 ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	143
8.2 ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	144
8.3 PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	146
8.4 %15 karbon fiber kat. ABS mal. kopmaya neden olan kuvvet değerleri	147



8.5 %15 karbon fiber kat. ABS+PC mal. kopmaya neden olan kuv. değerleri	148
8.6 ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	153
8.7 ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	155
8.8 PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	157
8.9 %15 karbon fiber kat. ABS mal. kopmaya neden olan kuvvet değerleri	158
8.10 %15 karbon fiber katkılı ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri	160



1. GİRİŞ

Plastik malzemeler günümüzde endüstride ve günlük hayatımızda en fazla kullanılan malzemelerden birisidir. Bunun nedenleri plastiklerin sahip olduğu çeşitlilik, geniş kullanım alanı ve sahip oldukları malzeme özellikleridir. Bu malzeme özelliklerinden bazıları; hafifliği, korozyona olan dayanıklılığı, kolay işlenebilirliği ve fiziksel ve kimyasal özelliklerine kolayca müdahale edilebilir olmasıdır.

Plastik malzemelerin kullanım alanının geniş olmasının bir nedeni, bu malzemelerin çok sayıda değişik türe sahip olmasıdır. Kullanım yerleri ve kullanılan plastik çeşitleri farklılaştıkça plastik parçaların üretim yöntemleri de değişmektedir. Günümüzde plastik parçaların üretiminde en çok kullanılan yöntem enjeksiyon kalıpcılığıdır. Bu çalışmada da enjeksiyon kalıpcılığı yöntemi üzerinde durulmaktadır.

Bu üretim yönteminin esası, ısıtılarak ergitilmiş plastik malzemenin enjeksiyon makinası ile, üretimi yapılacak parçanın şekline ve boyutlarına göre dizayn edilmiş olan kalıp içerisine enjekte edilmesidir.

Bu yöntem, uygun plastik ve kalıp malzemesi, parçanın ve kalıbın doğru bir biçimde tasarımı, doğru işlem şartları, doğru ve efektif bir biçimde çalışan enjeksiyon makinası gibi birçok etkene dayanmaktadır. Bu etkenlerden birinde veya bazılarında yapılabilecek hatalar üretilen parçanın doğru ve istenilen şekilde elde edilmesini önleyecektir.

Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisiyle bilgisayar destekli tasarım ve sonlu elemanlar yöntemi esaslı programlar kullanılarak plastik enjeksiyon işleminin bir öngörüsü (simülasyonu) gerçekleştirilebilmektedir. Bu tip programlar ile üretilen parçanın tasarımı yapılabilir, plastiğin akışı, plastiğin kalıbı doldurup doldurmaması, üretilen parçada çarpılma olup olmaması gibi durumlar önceden görülebilir. Bu

öngörüyle enjeksiyon işleminden önce gerekli önlemler ve düzeltmeler yapılarak parçanın hatasız bir biçimde üretilmesi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada plastik parçalarda meydana gelen çarpılma, çarpılmaya etki eden parametreler, uygun işlem şartları gibi konular üzerinde durulmuştur. Parçanın tasarımı, bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan CATIA V5R12 ile yapılmıştır. Çarpılma analizi ise Moldflow 4.0 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Çarpılmanın dışında bu çalışmada plastik parçanın sahip olduğu kuvvet dayanımı da analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar esaslı olan bu analiz ise CATIA V5R12 programının Generative Structural Analysis modülünde gerçekleştirilmiştir.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Plastik üretiminde enjeksiyon işlemi yapılmadan önce kalıp tasarımı yapılırken, kalıbın, parçanın düzgün bir şekilde hatasız üretimine uygun olup olmadığını kontrol etmek, parçadan istenen özellikler için en uygun malzemenin belirlenmesini sağlamak, parçanın plastik enjeksiyona uygun bir şekilde tasarlandığını onaylamak için aynı zamanda bilgisayar ortamında çeşitli yazılım ile analiz ve simülasyonlar gerçekleştirilebilir. Bu şekilde imalat işlemine bir ön bakış, hataların önceden tespiti, meydana gelecek parçanın kalitesi, uygun üretim şartları hakkında bilgiler sağlanmış olur. Bunun sonucunda enjeksiyonuna başlanmamış parça üzerinde, tasarımı ve üretimi tamamlanmış kalıp üzerinde veya malzeme üzerinde değişiklikler yapılarak ek olarak gelecek zaman ve işgücü gibi maliyet artırıcı etkenler ortadan kaldırılır.

Ming-Chih Huang ve Ching-Chih Tai [1999] yılında enjeksiyon kalıpcılığında üretilen ince cidarlı parçalarda meydana gelen çarpılmaya etki eden önemli faktörleri incelemiştir. Elektronikte kullanılan parçaların daha hafif, daha ince ve daha küçük olmasının gerekliliği günümüzde artmıştır. Fakat bu tip ince cidarlı parçaların üretiminde bununla birlikte gelen çeşitli sorunlarda vardır. İnce cidarlı parçalarda meydana gelen en önemli sorunlardan birisi de çarpılma. Burada yapılan analizlerde C-Mold isimli yazılım kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Taguchi metodu kullanılarak enjeksiyon kalıpcılığındaki şartlar belirlenmiştir ve optimum değerlere ulaşılmıştır. Enjeksiyon kalıpcılığı şartları ve parametreleri ince cidarlı parçalardaki çarpılma göz önünde bulundurularak elde edilmiştir. Sonuçlar çarpılmaya etki eden en önemli faktörün tutuma basıncı (ütüleme basıncı) olduğu görülmüştür. Bununla beraber malzemenin giriş noktasının ve doldurma zamanının etkisinin az olduğu saptanmıştır. Y.K. Shen, P.H. Yeh ve Y.S. Wu [2001] fiber ile güçlendirilmiş termoplastik malzemeye sahip ince cidarlı bir parçada nümerik analizler yapmışlardır. Kalınlığı 1 mm den az olan veya akış uzunluğu ve kalınlığın birbirine oranı 150 den fazla olan parçalar, ince cidarlı parçalar olarak adlandırılmıştır. Bu makalede Moldflow programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişik işlem parametreleri (enjeksiyon basıncı, eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon zamanı), değişik fiberler (glass, long-glass) değişik fiber oranları (%40,

%50) ve değişik kalınlıklar (0.9mm ve 1 mm) kullanılmıştır. Analiz modeli olarak bir notebook bilgisayarın dış aksamı kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda kalıp sıcaklığının en önemli işlem parametresi olduğu görülmüştür. İnce cidarlı parçalarda enjeksiyon basıncı, kalıp ve eriyik sıcaklıkları değerlerinin geleneksel kalıp parçalarına göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Y. K. Shen , J.J. Lui, C. T. Chang ve C.Y. Chiu [2002] plastiğin ve magnezyumun enjeksiyonu arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Değişik malzemeler (ABS, ABS/PC, Mg), değişik işlem parametreleri (enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon zamanı) ve değişik kalınlıklar (0.9mm ve 1mm) kullanarak Moldflow programında analizler yapılmıştır. Optimum sonuca ulaşmak içinse simülasyon Taguchi metoduyla birleştirilmiştir. Bu şekilde enjeksiyon kalıpcılığında etkili olan her bir parametre göz önünde bulundurulmuştur. Analizde kullanılan parça bir notebook bilgisayarın dış aksamıdır. Analiz sonuçlarına göre ince cidarlı notebook için en uygun malzemenin Mg olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin ise Mg'un enjeksiyon basıncı, zamanı ve sıcaklık farkının diğer malzemelere göre daha düşük olmasıdır. Düşük basınç ve sıcaklık farkı daha düşük çarpılma ve çekme değerleri verir. Analiz sonuçlarına göre plastik ve yarı katı malzemeler kullanılarak yapılan plastik enjeksiyon işleminin sonuçları birbirinden oldukça farklıdır. Mg'un bu tip parçanın imalatında kullanılması daha uygundur. Y.K. Shen, T.W. Ye, S.I. Chen, C.H. Yin ve W. D. Song [2001] elektronik ve bilgisayar endüstrisinde kullanılan bir parçanın Moldflow isimli yazılım kullanılarak değişik parametrelerde (kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon zamanı), değişik malzeme giriş noktalarında (gate location) ne gibi sonuçlar verdiği analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda enjeksiyon basıncı, basınç düşümü, sıcaklık, dolum zamanı, welding line, hava boşlukları gibi olgular incelenmiştir. Parçada malzeme olarak "epoxy" isimli malzeme kullanılmıştır. Giriş noktası olarak üç değişik nokta kullanılmıştır. Bunlar merkez noktası, köşe ve  /4 yan dır. Analiz sonuçlarına göre işlem parametrelerinden en etkili olanları enjeksiyon sıcaklığı ve kalıp sıcaklığıdır. Ayrıca en iyi malzeme giriş noktasının ise köşe noktası olduğu (merkez ve  /4 yan a göre) görülmüştür. L.W. Seow ve Y.C. Lam [1996] plastik enjeksiyon kalıpcılığında malzeme akışının optimize edilmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Dolum sürecinde plastik akışının kontrolü, çeşitli kesitlerin kalınlıklarının ayarlanması ile yapılır ve bu ayarlama deneme yanılma yöntemi kullanılır. Bu makalede ise kalınlık ayarlaması otomatik hale getirilmiştir. Optimizasyon işlemi kalıp boşluğunu dengelemek için gerekli

kalınlığı oluşturmada kullanılmıştır. Bu işlem, bir PC’de Fortran kodu arayüzü ve Moldflow yazılımının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Akışın dengelenmesiyle “over-packing” ve kalıcı gerilme (residual stress) azalmıştır. “Weld-line” ların ve hava boşluklarının oluşması da önlenmiştir. H.S. Kim, J. S. Son ve Y.T. Im [2003] enjeksiyon kalıpcılığı ile üretilen bir otomobil parçasında malzeme giriş noktasının (Gate location) belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Otomobillerdeki destek parçalarında, bükülmeye karşı oldukça dayanıklı polypropilen ve polyetilen gibi polymer malzemeler kullanılır. Fakat çeşitli noktalardaki akış dirençleri nedeniyle veya malzeme giriş noktalarının yanlış seçilmesi nedeniyle parçalarda çeşitli hatalar oluşabilmektedir. Bu makalede nümerik analizlerle elde edilmiş çeşitli giriş noktalarına göre malzeme akışı incelenmiştir. Dört tane değişik malzeme giriş noktası denenmiştir. Nümerik analizler Moldflow yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen otomobil parçasında dört tane menteşe bulunmaktadır. Bu menteşeler sayesinde parçanın montajı ve demontajı kolay bir şekilde gerçekleşmektedir. Menteşeler ve esas parça arasında yüksek kalınlık farkı mevcuttur. Menteşelerin kalınlığı 0,4 mm iken parçanın kalınlığı ise 3 mm dir. Uygun durumda akışın tüm menteşelere aynı anda dolması gerekmektedir. Bu dört giriş noktasından birisi 15 senelik kalıpcılık tecrübesi olan bir kişi tarafından diğer üç tanesi ise literatür doğrultusunda seçilmiştir. Bu çalışma sonucunda birinci ve ikinci durumlarda parçanın tamam doldurulamadığı görülmüştür. Parçanın uygun olarak üretilmesi için malzeme giriş noktasının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. L.M. Galantucci ve R. Spina[2003] termoplastik enjeksiyon kalıpcılığında akış koşullarını optimize etmek için giriş noktası konfigürasyonlarının nasıl geliştirileceği incelemiştir. Sonlu elemanlar analizi ve deney tasarımı arasındaki data entegrasyonu, enjeksiyon prosesi parametrelerini optimize etmek için ve ürün kalitesini arttırmak için kompleks geometriye sahip parçaların enjeksiyonu üzerinde çalışılmıştır. Enjeksiyonun nümerik simülasyonu ile tasarımın üretilabilirliği daha önceden görülebilir. Normal olarak sonlu elemanlar analizi ile kalıbın doldurulup doldurulamayacağı ve soğutma evreleri gibi kavramlar incelenebilir. Ayrıca daha ileri olarak gerilme ve strain dağılımları da görülebilir. Kullanılan parça CATIA’da tasarlanmış daha sonra Moldflow ortamına aktarılmıştır. Her parça 874 mesh elemanından oluşmuştur. Enjeksiyon makinası olarak Negribossi Canbio kullanılmıştır. Daha sonra sıra ile malzeme giriş noktası (gate location) analizi yapılmıştır. Uygun giriş noktası bulunduktan sonra yolluk tasarımı ve doldurma

(filling) analizi yapılmıştır. Deneysel uygulamalarda iki aşamaya ayrılmıştır. Bunlar, “Taguchi design” ve beklenen değerlerle elde edilen değerlerin karşılaştırılmasıdır. X.Chen, Y.C. Lam ve D.Q. Li [1999] plastik enjeksiyon metoduyla imal edilmiş bir parçada meydana gelen kalıcı gerilmeleri (residual stress) incelemişlerdir. Plastik enjeksiyonun karakteristikleri, plastik enjeksiyonun soğutma işleme sırasındaki ütüleme “packing” bulk strain’in göz önünde bulundurulmasıyla termo-viskoelastisite teorisi kullanılarak elde edilmiştir. Kalıcı gerilmeler (residual stress) modeli, sonlu farklar “finite difference” modeli ile çözülmüştür. Başlangıç safhasındaki hızlı değişimler nedeniyle, sanki-nümerik (quasi-numerical) prosedür, soğutma safhasında termal kalıcı gerilme modelinden gelen integral terimlerin gelişimine adapte edilmiştir. Termal kalıcı gerilmelerin analizi için ince cidarlı bir oyuncak otomobil parçası incelenmiştir. Bu oyuncak araba modeli 1109 elemandan ve 611 noddan oluşmaktadır. Ayrıca analizde soğutma için 3 adet soğutma kanalı kullanılmıştır. Parçanın boyutları 300 mm x 100 mm x 80 mm dir. Cidar kalınlığı 3 mm dir. Kullanılan malzeme ABS, enjeksiyon sıcaklığı, zamanı ve basıncı sırasıyla 210 derece, 3 saniye ve 60 MPa dir. Tutma basıncı ve zamanı ise 50 MPa ve 10 saniyedir. Kalıp malzemesi 45# çelik, soğutma sıvısı sıcaklığı ve hızı 28 derece ve 0.8 m/s dir. Ortam sıcaklığı 20 derecedir. C.L. Li [2000] enjeksiyon kalıbında yer alan soğutma sistemi incelenmiş ve optimize etmiştir. Kompleks bir şekle sahip olan plastik parça basit unsurlara ayrılmıştır. Ve bu basit unsurlara ayrılan elemanlar için ayrı ayrı soğutma sistemleri tasarlanmıştır. Bunlar daha sonra tüm parçanın soğutma sisteminin oluşturulması için bir araya getirilmiştir. Parçalarda yapılan analizler C-Mold isimli yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. S. J. Liao, D.Y. Chang, H.J. Chen, L.S. Tsou, J.R. Ho, H.T. Yau ve W.H. Hsieh [2004] ince cidarlı plastik parçalarda çekme ve çarpılma için en uygun işlem koşulları belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Analizler bir cep telefonu kapağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, ütüleme sıcaklığı ve Enjeksiyon hızı alınmıştır. Yapılan deneysel testler taguchi metodu üzerine kurulmuştur. Çarpılma ve çekme değerlerinin ölçümünde ise Cicolone Scanner, PolyCAD ve poly works kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda ütüleme basıncının en önemli işlem parametresi olduğu görülmektedir. H. Kikuchi [1996], kütlece %33 oranında fiber glass içeren PA66 malzemesinden plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen disk şeklindeki parçalarda, parça kalınlığı, çarpılma ve anisotropi arasında ilişkiyi sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Sonlu elemanlar

analizinde MARC isimli analiz programı kullanılmıştır. Disk parçalarda meydana gelen bükülme (buckling) çarpılma olarak ele alınmıştır. S.J Liu [1996], enjeksiyon kalıpcılığı yöntemiyle üretilen parçalarda ısı nedenlerle oluşan stress ve çarpılmanın modellenmesi ve simülasyonu üzerinde çalışmıştır. Çarpılma ve ısı stress problemi üzerine iki tip nümerik yaklaşım yapılmaktadır. Bunlar; basit geometriye sahip parçalara kompleks bir model uygulanması, diğeri ise kompleks geometriye parçaya basit bir model uygulanmasıdır. Liu'nun yapmış olduğu çalışmada ise çarpılma ve stress, yeni bir malzeme tanımı (sıvıdan katıya geçiş safhasını içeren viskoelastik davranış) ve daha geniş kapsamlı geometrik tanım kullanılmıştır. Böylece problemlere daha gerçekçi bir bakış sağlanmış olur. Katılaşmış polimer için standart lineer katı, eriyik polimer içinse viskoz sıvı ile parçadaki çarpılma ve kalıcı gerilmeleri simüle etmek için 2 boyutlu viskoelastik faz değişim modeli kullanılmıştır. K. Kabanemi, H. Vaillancourt, H. Wang, G. Salloum, [1998] kompleks plastik parçalardaki kalıcı gerilme, çarpılma ve çekmenin simülasyonunu gerçekleştirmişler ve bu değerleri deneysel yöntemlerle desteklemişlerdir. Bu çalışmada deney parçası olarak bir plastik kutu kullanılmıştır. Kutunun boyutları 123,4 mm x 48,3 mm x 26,1 mm dir. Kutunun dip kalınlığı 3.8 mm yan duvar kalınlıkları ise 2.2 mm dir. Kullanılan malzemeler polikarbonat ve yüksek yoğunluklu polietilendir. Kalıcı gerilmeler deneysel olarak delik delme tekniğiyle ölçülmüştür. Çarpılmanın ölçülmesinde ise LVTD sistemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda polikarbonat malzemenin işlem şartları altında stabil olduğu görülürken polietilenin işlem şartlarının değişmesiyle daha fazla değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Y. Gu, H. Li, C. Shen [2000], enjeksiyon kalıpcılığı ile üretilmiş olan termoplastik parçalarda ısı nedeniyle oluşan gerilme ve çarpılmanın nümerik olarak simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kalıcı gerilme ve çarpılmanın oluşum nedeninin düzgün olmayan kalıp tasarımı ve işlem şartları olduğu belirtilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan nümerik simülasyon ile enjeksiyon çevriminin soğuma safhasındaki gerilme ve çarpılma araştırılmıştır. Nümerik hesaplama için basit iki boyutlu termoviskoelastik malzeme modeli kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda dengesiz sıcaklık çarpılmayı belirleyen en önemli faktör olarak bulunmuştur. Bunun yanında belirli bir değerin altındaki tutuma basıncının da etkili olduğu görülmüştür. M. Akay, S. Ozden, T. Tansey [1996], enjeksiyon kalıpcılığı ile üretilmiş plastik parçalarda işlem şartları nedeniyle oluşan çarpılmanın tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Çarpılmanın asıl nedeninin değişen kesit alanları nedeniyle kalıbın cidarlarındaki düzgün olamayan sıcaklık dağılımı, parça geometrisi ve kalıp yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı olduğu belirtilmiştir. Deney parçası olarak L şeklinde 3 boyutlu bir parça kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan analizler sonlu elemanlar esaslı bir program ile gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen değerler ile parça üzerinden alınan değerler karşılaştırılmıştır. Plastik malzemeler olarak ABS ve PC kullanılmıştır. Sonuçta parçada meydana gelen çarpılma ile parçanın üretiminde kullanılan kalıbın iki yarısının sıcaklıkları arasındaki farkın değişimi arasında bir ilişki kurulmuştur. W. Bushko, V. Stokes [1996], eriyik termoplastik malzemenin katılaşması sırasında meydana gelen çarpılmaya kalıp yüzeyindeki sıcaklık farklarının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada akış etkileri dikkate alınmamıştır. Model olarak basit viskoelastik malzeme modeli seçilmiştir. Malzeme olarak polikarbonat kullanılmıştır. Fakat elde edilen sonuçların ABS, polietilen gibi malzemelerde adapte edilebileceği söylenmiştir. Ütöleme basıncının parçada meydana gelen çarpılma üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. H Kikuchi ve K. Koyama [1996] disk şeklinde plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen bir parçada kalınlığın çarpılma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan malzeme %33 oranında fiber glass katkılı PA66 malzemesidir. Yapılan analizlerde kalınlığı az olan (1,5 mm) bir parçada çok yüksek bir çarpılma (6,5 mm) görülürken daha kalın bir parçada (5 mm) çarpılmanın olmadığı belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda diskteki çarpılmanın çarpılmanın ölçüldüğü sıcaklığa bağlı olduğudur. Kalınlığın değişiminin çarpılma miktarını etkilediğini fakat çarpılma karakteristiğini etkilemediği bulunmuştur. Bu karakteristikler; kalıcı çarpılma deformasyon geometrisi ve niteleyici fiber oriyantasyonudur. H. Kikuchi ve K. Koyama [1996], genelleştirilmiş çarpılma parametresi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada %30 fiber glass katkılı PA66 plastik malzemesi kullanılmıştır. S. Liao, D. Chang, H. Chen, L. Tsou, J. Ho, H. Yau, W. Hsieh, J. Wang, Y. Su [2004] ince cidarlı parçalarda çarpılma için optimum işlem şartlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında plastik malzeme olarak PC+ABS malzeme kullanmışlardır. Model olarak ise cep telefonu kapağı incelenmiştir. Yazılım olarak ise PolyCAD, Polyworks ve Cyclone Scanner isimli programlar kullanılarak çarpılma incelenmiştir.



3. PLASTİK MALZEMELER

Plastik sanayii nitroselüöz'un 1868 yılında plastiğin babası olarak görülen John Wesley Hyatt tarafından ticari üretimi ile başladığı kabul edilir. Tarihsel gelişim ile plastiğin üretimi giderek artmış 1980 yılında hacimce toplam üretimi metalik malzeme üretimini geçmiştir. Ve de plastik malzemelerin kullanımı metalik malzemelerin kullanımını geride bırakmıştır. Günümüzde plastik malzemelere ek kimyasal ve fiziksel özellikler eklenilerek kullanım alanları iyice genişletilmiştir.

Günümüzde tüketilen farklı plastik türlerinin sayısı fazla olmakla birlikte, içlerinden bazıları büyük miktarlarda üretilmektedir. Bunlar genel amaçlı plastikler olarak tanımlanmaktadır. Genel amaçlı plastiklerin üretim miktarları diğerlerine kıyasla oldukça fazla olduğundan, istatistiksel verilerde sadece bu plastikler dikkate alınmaktadır.

Genel amaçlı plastikler arasında alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen (AYPE be YYPE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), akrinotril-butadien-stiren üçlü kopolimeri (terpolimer, ABS) ve stiren-akrilonitril kopolimeri bulunmaktadır. [Savaşçı ve ark., 2002]

3.1 Plastiklerin Kullanım Alanları

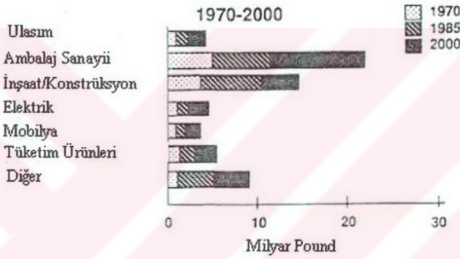
Plastiklerin kullanımı giderek artmakta ve kullanım alanları günlük hayatımızdaki uygulamalardan ileri teknoloji gerektiren sektörlere kadar giderek genişlemektedir. Plastik sanayisinin etkilemediği veya ilişkisinin bulunmadığı hiçbir sektör yoktur denilebilir. Bu sektörlerden başlıcaları:

- Ambalaj sanayii (şişe,poşet, film, lastik, bant, kapak....)
- Havcılık ve uzay sanayii
- İnşaat ve konstrüksyon (Tesisat, elektrik kabloları, elektrik aksam, yalıtkan malzemeler, duvar kağıtları, banyo üniteleri, döşeme....)

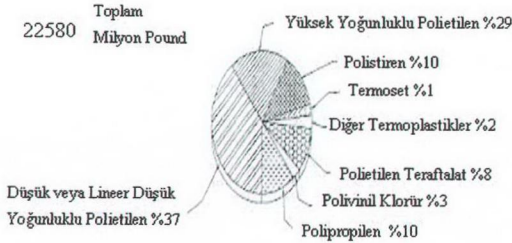
- Taşımacılık (otomobil endüstrisinde kullanılan parçalar..)
- Elektrik elektronik (elektronik eşya, elektrik kabloları....)
- Mobilya
- Havacılık ve uzay sanayii



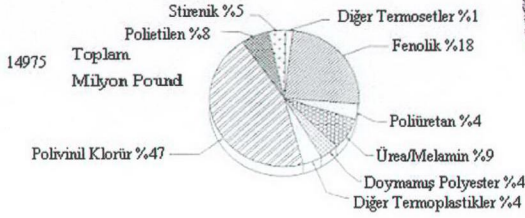
Şekil 3.1 de plastiklerin 1970 ile 2000 yılları arasında pazardaki toplam plastik kullanımını göstermektedir. Şekil 3.2 de 2000 yılında paketleme sektöründe kullanılan plastik malzemeler, şekil 3.3 de ise 2000 yılında inşaat ve konstrüksiyon sektöründe kullanılan plastik malzemeler grafiksel olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.1 Pazardaki toplam plastik kullanımı [14]



Şekil 3.2 2000 yılında paketleme sektöründe kullanılan plastik malzemeler [14]



Şekil 3.3 2000 yılında inşaat ve konstrüksiyon sektöründe kullanılan plastik malzemeler [14]

Aşağıdaki tabloda dünyada çeşitli bölgelerdeki plastik tüketimi gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Bölge bazında Dünya Plastik Tüketimi [15]

Bölgeler	Yıllar			
	1993	1994	1998	2000
Kuzey Amerika	30620	35840	36430	43690
Batı Avrupa	30700	31850	36200	38600
Asya/Okyanusya	25700	27250	33075	36900
Doğu Avrupa	7560	7240	8495	8420
Latin Amerika	2950	3800	4500	4950
Afrika/Ortadoğu	1870	1900	2400	2700
Dünya Toplamı	99400	108000	121000	135260

Plastik malzemeleri, genel amaçlı (PE, PP, PS, PVC), mühendislik (ABS, Poliamif, Polikarbonat, Polifenilen oksit, Polyester), özellikli (PTFE, PES, PEK), kompozitler (Karbon veya Aramid elyafla takviye edilmiş Polietersülfon ve Epoksitler, vs..) şeklinde gruplarsak 1960-2000 arası plastik üretimi ve 2005 ve ilerisi için plastik üretiminin tahminini gösteren tablo:

Tablo 3.2 1960-2000 Arası Dünya Plastik Üretimi ve 2005 Yılı ile İlerisi için Tahmin (1000 ton/yıl) [15]

Yıl	Genel Amaçlı	Mühendislik	Özellikli	Kompozitler
1960	7000	50	3	-
1974	43000	600	25	-
1979	60000	900	40	1
1985	70000	1500	80	7
1990	100000	2100	130	14
2000	132000	4000	300	100
2005	160000	6000	460	180

3.2 Plastik Tanımı

Plastik için iki tane sözlük tanımı bulunmaktadır. Bunlar; birincisi şekillendirilebilen (sıfat), ikincisi ise kullanım amacıyla şekillendirilip sertleştirilebilen sentetik (metalik olmayan) malzemedir (isim). Fakat bu tanımlar plastiği gerektiği şekilde açıklamaktan çok uzaktır.

Plastikler daha doğru bir biçimde polimerler olarak tanımlanır. Polimer, mer adını verdiğimiz tekrarlanır birimlerin zincir şeklinde kovalent bağlarla birbirine bağlanmasından oluşan organik (karbon temelli) makro moleküllerdir. En az iki adet merin bir arada bulunmasıyla bir polimer (dimer) oluşturulur. Mer sayısı arttıkça, öncelikle fiziksel özellikleri de değişecektir. Mer sayısı küçük iken sıvı halde bulunan polimer, bu sayı arttıkça giderek yoğunluğu ve viskozitesi artmış, bal kıvamında bir sıvı, mer sayısı çok yükseklere çıkmış polimer ise katı halde olabilecektir. Mer sayısını sonsuz değere kadar yükseltme olasılığı vardır.

Periyodik cetvelde sol tarafta metalik malzemeler, sağ tarafta ise ametaller bulunmaktadır. Metalik elementler kolaylıkla elektron vererek metalleri oluştururlar. Ametaller ise polimerleri oluşturan ana yapıtaşlarıdır. Metalik ve ametalik elementlerin karışımı ise seramikleri oluştururlar. Metaller ısıyı ve elektriği iyi

iletirler, parlak ve genellikle serttirler yoğunlukları 1g/cm^3 ten yüksektir, elektron vererek tepkimeye girerler. Polimerler ise elektriği ve ısıyı iyi bir şekilde iletmezler, saydam veya donuk görünümlüdürler. Yoğunlukları küçük ve de hafiftirler.

Polimerleri malzeme olarak kullanabilmek için işlemek gereklidir ve polimerler genelde saf olarak işlenemezler. Polimerler, içlerine çeşitli katkı ve dolgu maddeleri (boyayıcı maddeler, güneş ışığına karşı koruyucu özel katkılar, kayganlaştırıcılar, işleme kolaylığı sağlayan katkılar) karıştırılarak bir ön karışım hazırlanır. Bu karışıma plastik işleme karışımı adı verilir. Bu karışımdan eritme-kalıplama gibi uygun yöntemler ile son şekli verilmiş ürün elde edilir. Elde edilen şekillendirilmiş ürün plastik olarak tanımlanır.

Tarihsel gelişim içerisinde polimer malzemeler metalik olanlara rakip olarak düşünülmüş olup, polimer malzemelerin üretimleri ve kullanımları devamlı olarak artmış ve 1980 yılında hacimce toplam polimer malzeme üretimi metalik malzeme üretim miktarını geçmiştir. Bu yıl plastik yılı olarak isimlendirilir. Günümüzde geliştirilmiş polimer malzemeleri, pek çok metal malzeme yerine kullanılır hale gelmiştir ve geleceğe ilişkin tahminler bu kullanılabilirliğin daha büyük bir hızla devam edeceğini göstermektedir. Günümüzde polimer malzemelere istenilen artı özelliklerin kazandırılması mümkündür.

Polimer maddeler sert veya yumuşak, rijit veya esnek, kauçuk veya camsı yapıda olabilmektedir. Ayrıca polimer maddeler değişik fiziksel yapılar kazandırılarak gözenekli/gözeneksiz, ısı ile sertleşip şekillenen veya ısı ile tekrar eriyebilen türlerde üretilebilmektedir. [Muccio,2000]

3.3 Plastiğin Hammaddeleri

Plastik üretiminde kullanılan hammaddeler üç grupta toplanır:

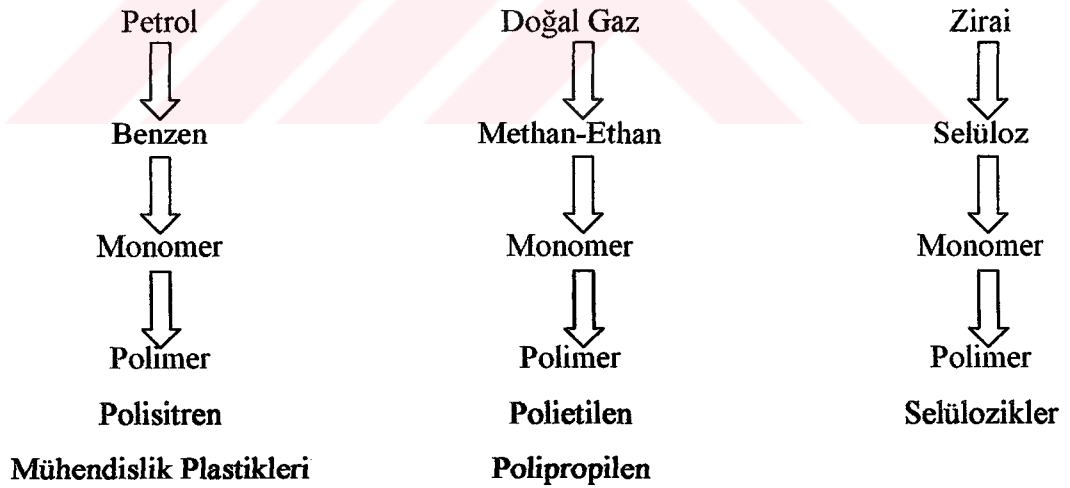
- Petrol (genellikle benzen gibi hafif damıtılmış durumdadır)
- Doğal gaz (metan formundadır)

- Zirai malzemeler (odun veya pamuk (selüloz) formunda olabilir)

Petrol tabanlı hammadde ve plastik malzeme fiyatları plastik malzeme kullanıcıları tarafından dikkatle izlenmelidir. Politik nedenler, doğal felaketler, çevresel faaliyetler, hammadde fiyatlarına ve bulunabilirliğine etki etmektedir. Körfez savaşı sırasında plastik fiyatlarındaki artıştan bunu net bir biçimde görebiliriz.

Hammaddeler kimyasal olarak monomerlere dönüştürülürler. Daha sonra monomerler katalizör, ısı ve basınç ile reaksiyona girerek polimer oluştururlar. Bu işleme polimerizasyon adı verilir. Polimerizasyon işleminde plastik, büyük reaktörler içerisinde üretilir. Daha sonra plastik kütle taneleştirilir ve 0,006 inç çapında ve 0,18 inç yüksekliğinde silindirik bir şekle getirilir. Polisitren gibi bazı plastikler direkt olarak küresel bir şekle getirilir. Bunun amacı plastiklerin işleme ekipmanları arasında kolaylıkla taşınması ve kontrol edilmesidir. [Muccio, 2000] Aşağıdaki tabloda plastiğin hammaddeleri ve oluşma safhaları görülmektedir.

Tablo 3.3 Plastik Hammadeleri [14]

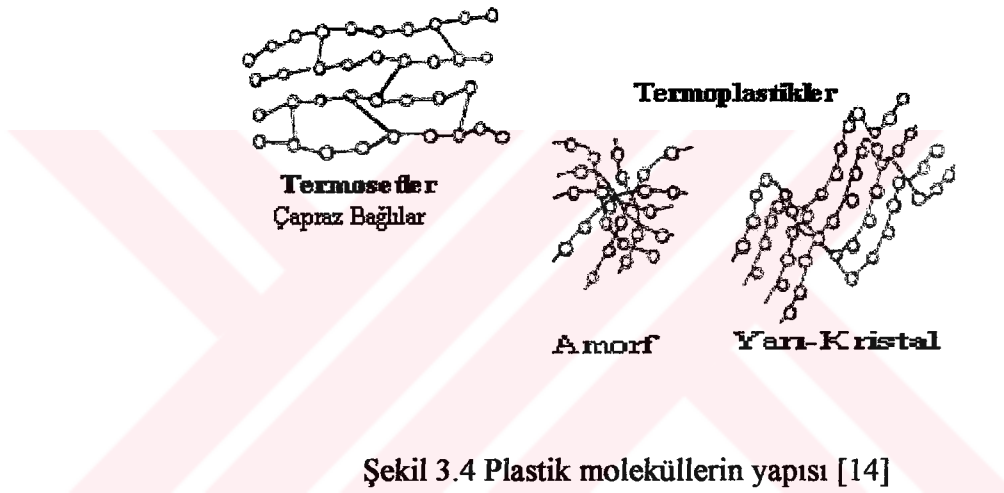


3.4 Termoplastikler ve Termosetler

Plastikleri ısıнын etkisine göre iki gruba ayırmak mümkündür.

- Termoplastikler
- Termosetler

Aşağıdaki şekilde termoset ve termoplastik malzemelerin molekül yapıları gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Plastik moleküllerin yapısı [14]

Polimer maddeye ısı şeklinde enerji verildiğinde, polimer zincirlerinin hareketliliğinde artışlar meydana gelir. Başlangıçta polimer zincirinin küçük parçalarında oluşan hareketlilik ısı arttıkça giderek büyük parçaları kapsar ve tümüne yayılır. Bu konumda polimer zincirleri birleri üzerinde kaymaya başlayacak ve katı polimer eriyerek akacaktır.

Polimerleri şekillendirirken polimer malzemenin belli sıcaklık değerlerinde sıvı hale geçmesinden yararlanılır. Böylece karışım daha sonra ters işlemle soğutulup katılaştırılmakta ve plastik parça kalıptan çıkartılarak kullanıma hazır hale getirilir. Bazı plastiklerde istenildiğinde bu katı plastik, tekrar ısıtılıp eritilebilir ve soğutulup katılaştırılabilir. Tamamen fiziksel ve tersinir olan bu dönüşüm tekrarlanabilir. Bu tür

plastiklere termoplastik adı verilir. Çok yaygın olarak kullanılan polimerlerin hepsi termoplastiktir.

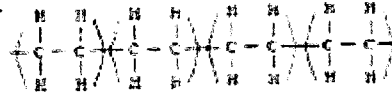
Termoplastik moleküllerini rasgele karışmış olduğu yapıya amorf yapı adı verilir. Amorf mantıksal bir düzen olmadan anlamına gelir.

Tipik amorf termoplastikler:

- Polisitren
- Akrilikler
- Polikarbonat (PC)
- Polivinil klorid (PVC)

Moleküllerin bir düzen içerisinde bulunduğu yapıya ise semikristal (yarıkristal) adı verilir. Tuz veya metallerdeki kristal yapının aksine termoplastiklerdeki yarıkristallik moleküllerin birbiri ardına sıralandığı bir durumdur. Yarıkristal termoplastik, opaklık (ışık geçirmezlik), düzgün olmayan özellikler ve de ergime aralığı ile karakterize edilir. Aşağıdaki şekilde PE, PP ve PVC Polimer zincirleri şematik olarak gösterilmiştir.

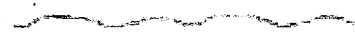
Kimyasal Yapısı



Kısa Gösterimi



Pratik Gösterimi



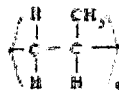
Polivinil klorür (PVC)

zincir gösterimi



Polipropilen (PP)

zincirinin gösterimi



Şekil 3.5 PE, PP ve PVC Polimer zincirlerinin şematik gösterimi[15]

Tipik yarıkristal termoplastikler:

- Polietilen
- Polipropilen
- Naylon
- Termoplastik polyesterler

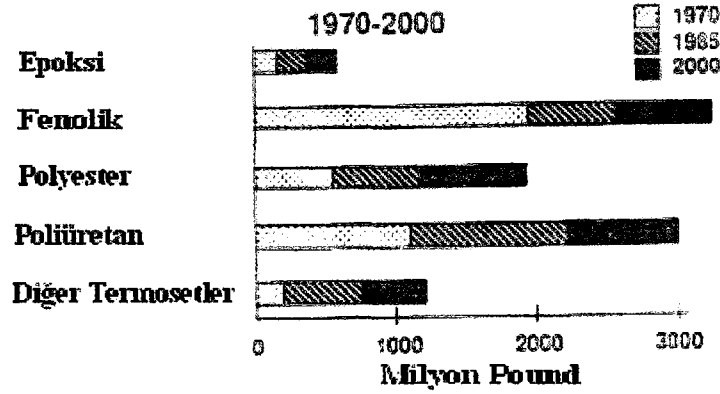
Termoplastiklerin yanı sıra ısı ile farklı bir davranış gösteren ikinci grup polimer grubu termosetlerdir. Termosetler, ısı ile bir kez şekil verildikten sonra tekrar ısıtıldıklarında bozulurlar. Bunlar ısıtıldıklarında yumuşamazlar ve ergimezler. Isının yükselmesine karşı ilk konumlarını korurular. Ancak polimer sistemini oluşturan polimer zincirindeki bağlar ısıtmaya karşı bir sınır değere kadar direnebilirler. Belli bir yüksek sıcaklık değerine ulaşıldığında bağlar kopabilir ve termoset malzeme bozularak tersinmez şekilde tepkime verir. Yani termoset malzemeler ısıtılıp soğutularak şekillendirilemezler. Bunlar özel olarak şekillendirilecekleri kalıpta tepkimeye sokulup termoset malzeme eldesi sağlanabilir. [Savaşçı ve ark., 2002]

Bu maddeler ısı ile yumuşatılıp ergitilemediği için çeşitli özel uygulamalarda termoset malzemelere gerek duyulur (örneğin elektrik prizleri ve elektrik malzemeleri).

Tipik termosetler:

- Epoksi
- Fenolik
- Polyester
- Poliüretan

Şekil 3.6 da 1970- 2000 yılları arasında toplam termoset üretimi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6 1970- 2000 yılları arasında toplam termoset üretimi [14]

3.5 Malzeme Olarak Plastikler (Polimerler)

Günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olan polimerler, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahiptir. Bazı polimerlerden elektriksel özellikler nedeni ile yararlanılırken diğer bazı polimerlerden optik ve termal özellikleri nedeniyle faydalanılır. Buna karşılıksa başka bir grup ise mekanik veya biyokimyasal özellikleri nedeniyle seçilmektedir. Kullanım alanı her ne olursa olsun polimer maddelerin kendilerine özgü ve diğer malzemelerin yerine geçen alanlarda kullanılmalarına yol açan temel özellikleri mekanik özellikleridir ve bu özellikleri göz önünde bulundurularak malzeme bilimine göre sınıflandırılırlar. [Savaşçı ve ark., 2002]

Polimer malzemelerin mekanik özellikleri germe-birim uzama davranışları ile belirlenmektedir. Bu amaçla özel olarak şekillendirilmiş olan bir örnek belirli bir yönde gerdirilerek davranışları gözlenip kaydedilmektedir. Bu davranışlara göre polimer maddeler:

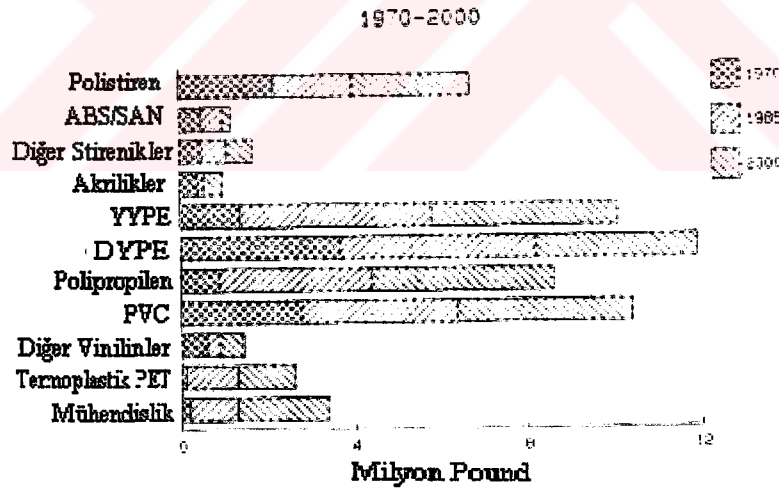
- Elyaf (lifler/fiberler)
- Rijit plastikler
- Esnek plastikler
- Elastomerler

olarak dört genel grupta sınıflandırılmaktadırlar. Her grup içerisinde çok çeşitli ve çok sayıda polimerler bulunmaktadır.

Polimer maddelerin yapı ve performans özelliklerinin polimer kimyacıları ve mühendislerince giderek daha iyi anlaşılması sonucu olarak, daha iyi ve istenilene uygun özelliklerde polimer maddelerin tasarlanıp sentezleri yapılabilmektedir. Bütün bu çalışmaların sebebi polimer maddeleri gerektiğinde:

- Sağlam
- Hafif
- Saydam
- Isıya dayanıklı
- Ucuz ve ekonomik

hale getirebilmektir. [Muccio, 2000]



Şekil 3.7 1970-2000 yılları arasında toplam termoplastik üretimi [14]

Yukarıdaki şekilde 1970-2000 yılları arasında toplam termoplastik üretimi grafiksel olarak gösterilmiştir.

3.5.1 Sağlam Polimer Malzemeler

Ticari termoplastiklerin kopma dayanımları, 20-120 MPa civarındadır. Buna karşılık değişik çelik türlerinin kopma dayanımı 500-1200 MPa dır. Polimer zincirlerinde yer alan -C-C-, -C-N-, -C-O- veya -C-S- gibi kovalent bağların kopma dayanımı ise 14000 MPa civarındadır. Ancak polimer maddelerin mekanik özelliklerini ve sağlamlığını belirleyen kovalent bağlar değil, polimer zincirleri arasındaki etkileşim ve zincirleri bir arada tutan kuvvetlerdir. Kovalent bağları birincil güç olarak adlandırırsak, polimer zincirleri arasındaki etkileşimleri sağlayan güçleri ikincil güçler olarak tanımlayabiliriz.

Polimerlerde sağlamlığın artırılması için, uzun yıllar zincirlerarası ikincil etkileşmeyi en üst sınıra getirmek amacı ile zincirler arasında kovalent bağlarla çapraz bağlama uygulanmış ve bu en yaygın uygulanan yöntem olmuştur. Bu yöntem sağlam ve güçlü termoset plastikler elde etmenin en önemli yoludur. Maleatların veya triallil esterlerin kısmi çapraz bağlanmasıyla ısıl olarak işlenebilen, daha güçlü polimerler elde edilebilmektedir. Bu yöntem, yüzey kaplamalarının sertleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Oluşturulan kovalent çapraz bağlar yüksek mekanik gerilimlerde bile dayanıklıdır. Ancak çok yüksek gerilimlere çıkarıldığında çapraz kovalent bağlar koparak malzeme özelliklerinde bozulmalar meydana gelir.

Polimer malzemelerde mekanik özellikleri etkileyen diğer unsur kristalliktir. Kristal yapının etkisi, en belirgin olarak elastisite modülünde izlenebilmektedir. Örneğin dallanmış zincir yapısı nedeniyle kristal yapısı nispeten düşük olan alçak yoğunluklu polietilende bu değer 7 MPa civarında iken düz zincir yapısı nedeni ile kristal içeriği daha yüksek olan yüksek yoğunluklu polietilende bu değer 1400 MPa civarındadır. Ayrıca oluşan kristal yapının mükemmelliği de bu değeri etkilemektedir. Örneğin naylon 6/6 ve polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilenden bir miktar daha fazla kristalli olmasına karşın, daha mükemmel kristal yapı oluşturabildikleri için elastik modülleri daha yüksektir. Genel amaçlı ticari polimerlerin pek çoğunun kristallenme miktarı %50 civarındadır.

Görüldüğü gibi polimer malzemelerin mekanik dayanıklılığı; molekül ağırlığına, zincir yapısına, polimer zincirleri arasındaki etkileşime ve kristallenme oranına göre değişmekte ve mekanik özellikler, üretim sırasında ve/veya sonrasında gerçekleştirilen modifikasyonlarla değiştirilebilmektedir. Bu modifikasyonlar kimyasal ve/veya fiziksel yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Aşağıdaki tabloda takviyeli termoplastikler, kalıp döküm metalleri ve takviyeli termosetlerin göreceli kopma dayanıklılıklarını görebiliriz. [Savaşçı ve ark., 2002]



Tablo 3.4 Bazı Plastik ve Metallerin Kopma Dayanıklılıkları [15]

	Kopma Dayanımı (MPa)			
	Takviyesiz	Takviyeli		
		Kısa	Cam	Cam
		Cam Elyaf	Yünü	Dokuma
Takviyeli Termoplastikler				
Düz Polietilen	7-25	50-77		
Polipropilen	30-40	56-63		
Polioksimetilen	70	74-88		
Polistiren	42-56	80-100		
SAN (Stiren akrilonitril)	67-77	100-130		
ABS (Akrilonitril-Butadien Stiren)	35-50	100-130		
Polikarbonat	56-67	130-140		
Naylon 6/6	63-84	140-200		
Kalıp Döküm Metalleri				
Alüminyum	230-330			
Magnezyum	240			
Takviyeli Termosetler				
Poliester	15-90	28-70	140-175	200-500
Epoksi	35-100	70-140	100-200	140-400
Fenolik	50-56	35-125	35-130	280-400
Camelyaf	1750-2800			
Çelik	560-1225			

3.5.2 Hafif Polimer Malzemeler

Doğrudan plastiklerinin kendilerinin veya köpürtülmüş hallerinin kullanılmasıyla pek çok eşyanın çok daha hafif, ancak aynı zamanda sağlam üretilmeleri mümkün olabilmektedir. Köpük plastikler istenildiğinde esnek, istenildiğinde ise sert yapıda olabilmektedir. Aşağıdaki tabloda plastik köpüklerin bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.5 Bazı plastik köpükler ait bilgiler [15]

Köpük Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Sıkıştırılma Dayanımları (MPa)	Isı İletkenliği (Cal/cm/sn/°C)	Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)
Termosetler				
Poliüretan	0,024	0,14	6.6×10^{-4}	120-125
Epoksi	0,032	0,12	6.6×10^{-4}	70
Fenolik	0,032	0,18	1.0×10^{-3}	130
Üre-Formaldehit	0,032	-	-	120
Termoplastikler				
Polistiren	0.016	0.11	1.0×10^{-3}	75-80
SAN	0.013	0.04	1.2×10^{-3}	78-88
ABS	0.24	-	1.5×10^{-3}	-
PVC	0.048	0.56	8.3×10^{-4}	65-105
YYPE	0.56	5.6	3.8×10^{-3}	70
Selüloz Asetat	0.096-0.128	0.88	1.3×10^{-3}	175
Silikon (R-7002)	0.224	1.4	1.2×10^{-3}	350-360

SAN: Stiren-Akrilonitril

ABS: Akrilonitril-Butadien-Stiren

PVC: Polivinilklorür

YYPE: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

3.5.3 Saydam Polimer Malzemeler

Polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS), stirenakrilonitril (SAN), polivinil klorür (PVC) ve selüloz esterleri gibi amorf yapılı polimer maddeler saydamdır. Bu nedenle, fotoğraf filmlerinden saydam şişelere ve diğer ambalaj malzemelerine kadar çok geniş bir kullanım alanı bulur. Hemen hemen tüm kristal içeren polimerler saydam değildir. Genel kural olarak saydam bir polimer elde edilebilmesi için kristallenmenin azaltılması veya önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla polimer zincirine büyük ve hacimli yan guruplara takılabilir. Ancak bu

durumda kristallenmenin önlenmesine karşın polimerin sertliği azalır ve daha düşük sıcaklıklarda deforme olmaya başlayarak kullanım sıcaklığı düşebilir. Kullanım sıcaklığının artması için polimer zinciri esnekliğinin azaltılarak hareketliliğin kısıtlanması veya önlenmesi gerekir. Bu amaçla uygulanan en klasik yöntem ana zincire aromatik halkalar yerleştirmektir.

3.5.4 Isıya Dayanıklı Polimer Malzemeler

Polimer malzemelerde kullanım sıcaklığının yükseltilmesi, genellikle;

- Polimer zincirleri arasındaki etkileşimi arttırarak
- Polimer zincirinin ve yan zincirlerin hareketliliğini azaltarak ve oksitlenerek bozunmayı önlemek üzere oksijenle etkileşimi daha kolay olan C-H bağları yerine polimerde oksijenle etkileşmeyen C-F gibi bağlar oluşturarak,

sağlanmaktadır.

Standart deney yöntemleriyle belirlenen ısı ile deformasyon özelliğinin saptanması, polimer maddelerin kullanım sıcaklıklarını kıyaslamalı olarak belirleyebilmektedir.

Yukarıda belirtilen görüşler çerçevesinde, kristal yüzdesi daha düşük olan alçak yoğunluklu polietilenin ısıyla deformasyon sıcaklığı, kristal miktarı daha yüksek olan yüksek yoğunluklu polietilenden daha düşüktür. Aynı şekilde, klora kıyasla daha küçük hacimde bir atom olan florun polimer zincirinde yer aldığı poliviniliden florür'ün ısıyla deformasyon sıcaklığı; polimer zincirinde klor atomları içeren poliviniliden klorür'e kıyasla 54°C daha yüksektir.

Bunun temel nedeni poliviniliden florür'ün poliviniliden klorür'e kıyasla daha fazla kristal yapıda olmasıdır. Aynı nedenle değişik sterik konfigürasyondaki polimerlerde de ısı ile deformasyon sıcaklıkları farklılıklar göstermektedir. Genellikle izotaktik ve sindiotaktik yapıdaki polimerler ataktik yapıdaki polimerlere

kıyasla daha yüksek sıcaklıklarda ısıyla şekil değiştirirler. Polimer zincirlerinin daha güçlü ikincil kuvvetlerle etkileştiği polimerlerde de ısıyla şekil değiştirme (deformasyon) daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır.

Polimer zincirinde hareketliliğin kısıtlanmasıyla ergime noktası ve polimerlerin kullanım sıcaklığı arttırılabilmektedir.

Tablo 3.6 Moleküller arası çekim kuvvetine bağlı olarak polimerlerin kullanım sıcaklığındaki artış [15]

Kristalli Polimer	İkincil Kuvvetler	Isı ile deformasyon sıcaklığı °C
Yüksek yoğunluklu PE	Van der waals	60-78
Polioksimetilen	Kutupsal	170
Naylan 6/6	Hidrojen bağı	185

Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen polimerleri elde etmenin bir yöntemi, polimer zincirine anorganik elemanlar yerleştirilmesidir. Bu grubun en bilinen üyeleri polisiloksanlardır. Bu polimerler yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalarına karşı bu sıcaklıklarda mekanik özelliklerinde kayıplar olmaktadır. Bu durum, yapıya, polimer zincirinde yer alacak şekilde, alüminyum, kalay, titan, magnezyum, fosfor gibi başka elementler yerleştirilerek önlenebilmekte ve malzeme 400°C'nin üstünde bile kullanılabilir. Polisiloksanlarda, yapıda yer alan oksijenin azotla değiştirilmesi ile polisilazonlar elde edilmektedir. Bu polimer 540°C'lere varan sıcaklıklarda kullanılabilir. Sadece bor ve silis içeren monomerlerden üretilen bazı özel polimerlerin, kullanım sıcaklığı 1000°C'nin üzerine çıkabilmektedir.

3.5.5 Ucuz ve Ekonomik Polimerler

Polimer malzemeler, uygun fiyatlarının yanında fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle günümüzde pek çok malzemenin yerine kullanılmaktadır. Polimerlerin yerini aldığı malzemeler, metalden ipeğe, tahtadan cama kadar geniş bir

alan içinde yer almaktadır. Polimer malzemelerin en ucuz olanları genel amaçlı plastikler olarak adlandırılan sınıfta yer alan günümüzde çok büyük miktarlarda üretilen polimerlerdir. Polietilenler, polipropilen, polistiren, polivinil klorür gibi polimerlerin yer aldığı bu grubun fiyatı petrol fiyatlarına ve petrokimya sektöründeki duruma göre dalgalanmalar göstermekle birlikte diğer malzemelere kıyasla ekonomik cazibelerini daima koruyabilmektedirler. Kendilerinden özel fonksiyonlar beklenen polimerlerin fiyatları ise nispeten daha pahalı olmakla birlikte yerini aldıkları malzemelere göre fiyat bakımından cazibelerini her zaman koruyabilmektedirler. [Savaşçı ve ark. 2002]

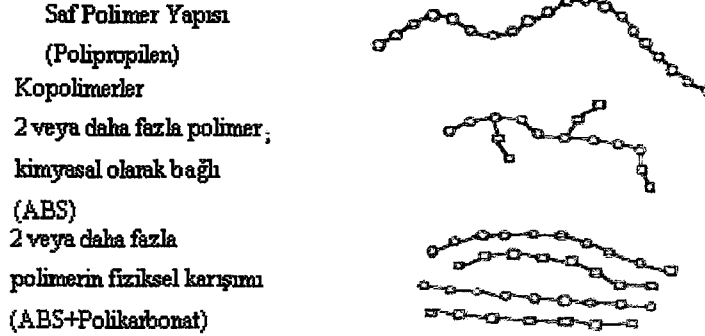
3.6 Polimerlerin Güçlendirilmesi

Eğer kullanım amacıyla seçilmiş olan polimer gerekli özelliklerden bir veya daha fazlasını yerine getiremeyecek durumda ise gerekli özellikleri karşılayabilmek için iki veya daha fazla plastik polimerize edilerek her bir plastiğin özelliği tek bir plastikte toplanarak arzu edilen malzeme elde edilir.

Bu tip polimerlere (kopolimer) örnek olarak poliakrilonitril butadien stiren (ABS) verilebilir. Bu malzeme üç polimerin birleşiminden oluşmaktadır. Akrilik polimerler kırılganlıkları ve renklilikleri ile bilinir. Butadien ise lastik benzeri bir malzemedir. ABS içerisinde darbe sönümleyici olarak görev yaparak darbe dayanımını arttırmırlar. Polystiren ise ucuz ve kırılğan bir polimerdir. Bu üç polimer birleştirildiğinde sonuç olarak ucuz, darbe dayanımı yüksek ve renkli gibi fiziksel özelliklere sahip bir malzeme elde edilir.

Plastikleri güçlendirmek için kullanılan başka bir teknik ise iki veya daha fazla polimeri birleştirmektir. Oluşan malzemedede kimyasal bağlar meydana gelmemektedir. Bu şekilde oluşturulan malzemelere iyi bir örnek, ABS ve polikarbonat (PC) karışımıdır. Polikarbonat, darbe dayanımı yüksek ve yanmaya karşı dirençli bir malzemedir. Bu özellikleri ile PC, ABS den daha iyi bir malzeme olarak gözükmeye karşın ABS'ye göre daha pahalıdır. Bu nedenle ABS ve PC

birleştirilerek istenilen özelliklerde bir plastik malzeme oluşturulur. [Muccio, 2000]
Aşağıdaki şekilde iki polimerin karıştırılması ve kopolimerizasyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Kopolimerizasyon ve karışım oluşturma [14]

3.7 Katkı Maddeleri ve Modifikatörler

İstenen özellikleri kazandırmak amacıyla plastik maddelere eklenen katkı maddeleri ve modifikatörler:

- Takviye Edici Katkılar (Fiber Glass, Karbon/Grafit)
- Dolgu Maddeleri
- Renklendiriciler
- Dengeleyiciler (Stabilizatörler), Yanma Dayanımını Arttırıcı Katkılar
- Köpürtücü Katkılar

3.7.1 Takviye Edici Katkılar

Takviye edici katkılar rijitlik ve gerilme direnci gibi fiziksel özellikleri geliştirmek amacıyla kullanılır. Bozulma sıcaklığı gibi termal özelliklerde takviye edici katkılarla değiştirilebilir. Bu katkıların esas amaçları malzemenin rijitliğini ve mukavemetini arttırmak ve de ısı dayanımını arttırmaktır. Bu katkıları kullanmanın dezavantajları ise yüksek maliyet, kısa ekipman ve takım ömrü, ürünün dış görünüşündeki kalite düşüklüğüdür. En çok kullanılan takviye edici katkı fiber glassdır. Fiber glass kullanmadan kalıplanan plastik malzeme ile aynı ekipmanlar

28

kullanılarak fiber glasslı plastik kalıplanabilir. Fakat bu katkının kullanılması enjeksiyon kalıbında aşınmaya yol açabilir. Günümüzde iki tip fiber glass kullanılmaktadır. E-glass ve S-glass. E-glass daha ucuzdur ve elektrik direnci daha iyidir. S-glass ise daha pahalı olup daha mukavim bir malzemedir.

3.7.2 Dolgu Maddeleri

Dolgu maddeleri genelde düşük maliyetli plastik malzemelerine eklenir. Genelde kullanılan dolgu maddeleri; tahta parçacıkları, kaolin (kalay), pamuk ve kumaştır. Dolgu maddeleri genellikle termoset malzemelerde kullanılmasına rağmen termoplastiklerde de kullanılabilir. Dolgu maddelerin avantajları; düşük maliyet, artırılmış ısı direnci ve plastiğin yüksek yoğunluklu olmasıdır. Dezavantajları ise; Dolgu maddesi katılmamış plastiğe göre daha düşük mekanik özellikler, daha fazla değişik işlem gerektirmesidir.

3.7.3 Renklendiriciler

Renklendiriciler plastik malzemelerin renklerini değiştirmek için kullanılan katkılarıdır. Renklendirme yapmak için kullanılan renklendiricinin plastik malzemeye uygun olup olmadığının belirlenmesi ve uygun rengin seçilmesi karışık ve teçhizat gerektiren bir işlemdir.

Renklendirme işlemi giderek karmaşıklaşan bir işlemdir çünkü her bir plastiğin kendi rengi mevcuttur. Örneğin akrilikler, polisitrenler ve polikarbonatlar temiz ve hale hazırda renklidir. Naylon ve ABS nin doğal rengi kahverengimsidir. Ve bunlar renklendirilmesi daha zordur. Termoset plastikleri ve takviye edilmiş plastikler opaktır (ışık geçirmez) ve bu malzemelerin renklendirilmesi sınırlı seviyededir.

Renklendiriciler organik veya inorganik boya ve pigmentlerdir. Plastiğe eklenen renklendirici miktarı plastiğin rengine bağlıdır. Plastiğin ilk rengi koyu ise

daha fazla renklendirici gereklidir. Eklenen renklendirici toz, sıvı veya topak haldedir ve eklenen renklendirici kütlesi toplam kütlenin yüzde biri ila dördü arasındadır.

Diğer tüm katkı maddeleri gibi renklendiriciler de malzemelerin özelliklerine etki ederler. Siyah veya beyaz renklendiricileri göz önünde bulundurursak: Beyaz renklendiriciler genellikle titanyum dioksit formundadır. İyi bir beyaz renk oluşturmak için malzemeye eklendiğinde plastik malzeme daha katı hale gelir, esnekliği azalır. Siyah renklendiriciler ise karbon formundadır. Bu renklendirici plastik malzemeye eklendiğinde plastik malzemenin rijitliği azalır.

Aynı plastik malzeme renklendirici katılmamış ve renklendirici katılmış durumlarda değişik özellikler gösterir. Renklendiricilerin avantajları; geniş mevcut renkler ve tüm malzemenin renklendirilmesidir. Dezavantajları ise; yükselen maliyet, diğer özelliklere negatif etkisi, ısıya ve güneş ışığına maruz kaldığında renklerin değişmesidir.

3.7.4 Dengeleyiciler ve Yanma Dayanımını Arttırıcı Katkılar

Plastik malzemeler yanabilen malzemelerdir. Birçok tasarımcı müşteri beklentileri doğrultusunda plastik malzemelerin yanma hızlarını kontrol altında bulundurmak ve bu yanma hızlarını azaltmak istemektedir. Yanma dayanımı arttırıcı katkılarda bu nedenle plastik malzemelerin içerisine eklenir. Yanma dayanımını arttırıcı katkıları iki ana grupta toplanır. Bunlar; ısıtıldığında oksijeni ortamdan uzaklaştırarak alevin beslenmesini engelleyen bir gaz oluşturan bileşimler ve mevcut plastikten daha fazla yanma dayanımına sahip olup mevcut plastik ile karıştırılan plastiklerdir.

Yanma dayanımı aynı zamanda parçanın cidar kalınlığı ile ilgilidir. Değişik cidar kalınlıklarına sahip parçalar değişik yanma dayanımlarına sahiptir. Bu katkıların avantajları; düşük alev alma, arttırılmış ısı dayanımıdır. Dezavantajları ise; yüksek maliyet, olası işleme problemleri, azalan mekanik özelliklerdir.

Plastik malzemelerde belirli özellikleri geliştirmek ve kontrol altında bulundurmak amacıyla dengeleyici (stabilizör) adı verilen katkı maddeleri kullanılır. Bu katkılar plastik malzemeye artı yönde etkide bulundukları gibi negatif etkilerde bulunabilir. Kullanılan dengeleyiciler:

- Termal Dengeleyiciler: plastik malzeme ısıyla etkileşime girdiğinde malzemenin bozulmazlığının uzun süre korunulmasını sağlar.
- Plastikleştiriciler: Plastiklere (genellikle polivinil klorid) eklenen ve plastiklerin daha esnek olmasını sağlayan kimyasal maddelerdir.
- Ultraviole Işık Dengeleyicileri: Birçok termoplastik güneş ışığına maruz kaldığında rengine solma fiziksel olarak bozulma eğilimindedir. Ultraviole ışık dengeleyicileri dış uygulamalarda kullanılmak amacıyla ultraviole ışık dayanımını arttırmak için kullanılır.
- Antistatik katkılar: Plastiklerin en büyük avantajlarından biri elektriğı iletmemesidir. Fakat plastiklerin elektriğı iletmemesi, statik elektriğın dağıtılması gerektiğinde bir problem olur. Plastiğın yüzeyinde biriken elektrik akımı etkisiz bırakılana kadar orada kalır.
- Biyoksitler: Birçok plastik bakteri ve mantar gibi istenmeyen canlıları çekme özelliğine sahiptir. Ayrıca plastikler birçok canlı için besin kaynağı durumundadır. Yeraltına döşenen devre tesisat ürünleri için bu tür canlılara karşı koruma sağlar.

3.7.5 Köpürtücü Katkılar

Köpüklendirilmiş plastikler, inşaat ve konstrüksyon sektöründe termal yalıtkan olarak ve marketlerdeki ambalajlama işlemlerinde kullanılırlar. Tüm plastikler katkı ve dolgu maddeleri ile köpüklendirilebilirler. Üç ana köpüklendirme yöntemi vardır. İçten patlatıcılar, dış sistemler ve mikrobalon-mikrokürelerdir.

İçten patlatıcılar plastik malzemeye eklenen ve belirli bir sıcaklıkta kalıplama işleme sırasında malzemenin içerisinde ayrışan maddelerdir. Bu maddelerin

ayrışması sonucunda nitrojen gazı meydana gelir ve plastik eriyiğinin içerisinde genişleyerek gözenekli(köpüklü) bir yapı oluşturur.

Dış sistemler ise genellikle gazdır (buhar, hidrojen). Bunlar plastik eriyiğe fiziksel olarak etkiyerek köpüklü yapının oluşmasını sağlar.

Mikrobalonlar veya mikro küreler küçük boş kürelerdir. Genellikle termoset plastik malzemelerle karıştırılırlar ve sentatik (syntatic) köpük adı verilen gözenekli yapıyı oluştururlar. [Muccio, 2000]



4. ENJEKSİYON KALIPLARI

Modern enjeksiyon kalıpcılığı, ekonomik değeri olan yüksek kaliteli parçaların üretimini gerçekleştirmek için gün gittikçe artan gereksinimleri karşılayacak bir üretim yöntemidir. Bu yüksek kaliteli parçaların düzgün şekilde üretilmesi, kalıpcının kalıplama işlemini gerektiği şekilde kontrol edebilmesi, parça geometrisinin kalıp malzemesinin karakteristiğine uygunluğu, kalıbın gerekli ölçüsel ve geometriksel doğruluğu ve kalıbın yüzeyinin kalitesi gibi unsurlara bağlıdır. Bu nedenle enjeksiyon kalıpları en yüksek doğrulukla üretilmelidir. Kalıplama işlemi sırasındaki ağır şartlara karşı dayanıklı olması ve uzun ömürlü olması gerekir.

Enjeksiyon kalıplarında genellikle çelik kullanılır. Bunun nedeni kalıp malzeme maliyetlerinin toplam maliyetin küçük bir kısmını oluşturmasıdır. Plastik, seramik, ve karbon gibi malzemeler prototip amaçlı kalıplarda malzeme olarak kullanılır.

Bir enjeksiyon kalıbı çeşitli komponentlerin birleşmesinden meydana gelir. Bu komponentlerin herbirinin belirli görevleri bulunmaktadır. Bu nedenle her bir komponentin malzemesinin seçilmesinde özen gösterilmesi gereklidir. [Menges and Mohren, 1983]

4.1 Kalıp Malzemeleri

Enjeksiyon kalıpcılığında kullanılan kalıp malzemeleri:

- 1) Çelik
 - Sertleştirilmiş çelikler
 - Nitrasyon çelikleri
 - Temperlenmiş çelikler
 - Martenzitik çelikler

- Paslanmaz çelikler
- Arıtılmış çelikler
- 2) Alaşımlar
 - Bakır alaşımları
 - Çinko alaşımları
 - Alüminyum alaşımları
 - Bizmut alaşımları
- 3) Metal olmayan malzemeler (rezin)

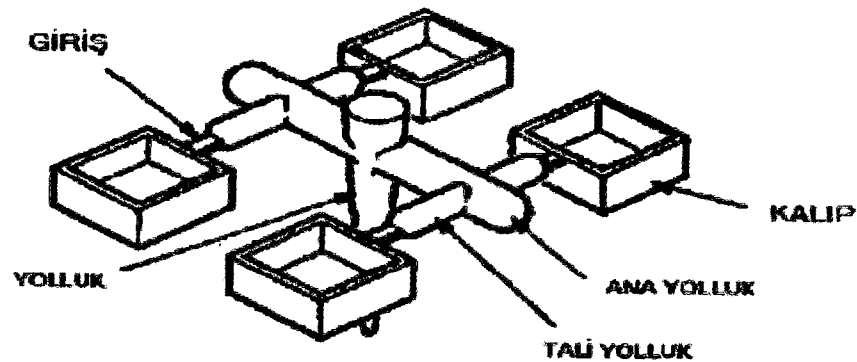
4.2 Kalıpların Sınıflandırılması

Enjeksiyon kalıpları kullanılan malzeme türüne göre sınıflandırılır:

- Enjeksiyon Kalıpları (termoplastik)
- Termoset Kalıpları
- Elastomer (lastik) Kalıpları
- Köpük Kalıpları

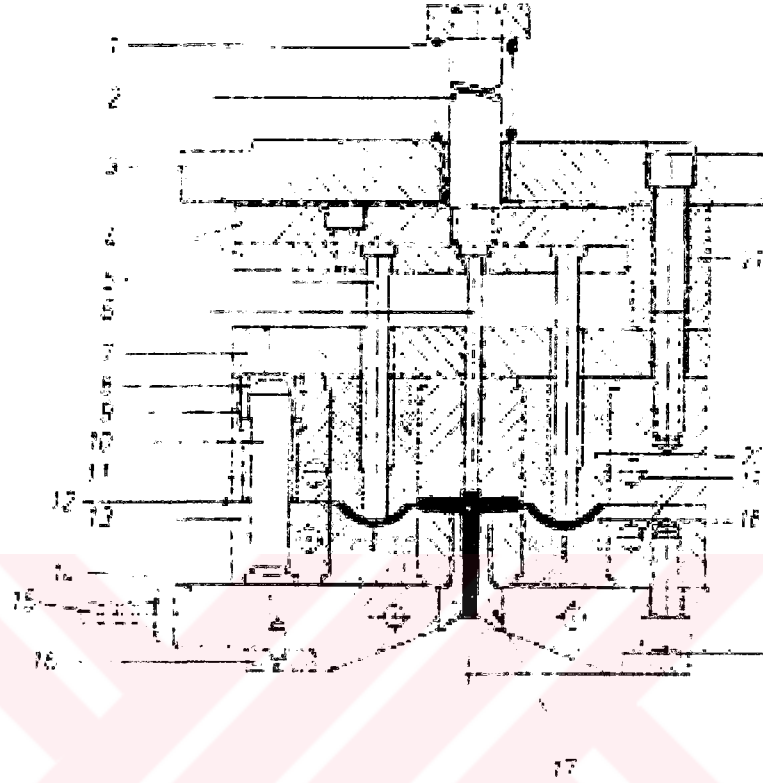
4.3 Enjeksiyon Kalıbının Temel Komponentleri

Yolluk (runner), soğutma sistemleri ve kalıptan çıkarma (ejection) sistemleri enjeksiyon kalıbındaki temel komponentleridir. Bu nedenle her enjeksiyon kalıbında bulunması zorunludur. Aşağıdaki şekilde bu elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Enjeksiyon kalıbının komponentleri [25]

4.4 Enjeksiyon Kalıbında Yer Alan Elemanlar



Şekil 4.2 Enjeksiyon kalıbının elemanları [17]

- 1) Baskı yayı 2) İtici civatası 3) Hareketli sıkıştırma plakası 4) İtici ve itici tutucu plakaları 5) İtici pimi 6) Merkezi ana giriş (sprue) iticisi 7) Destek plakası 9) Kalıp boşluğu tutucu plakası 10) Kılavuz pimi 12) Ayırım hattı 13) Kalıp boşluğu tutucu plakası 14) Merkezi tutma plakası 15) Soğutma hattı bağlantısı için tıpa 16) Yerleştirme halkası 17) Anagiriş (sprue) boşluğu 18) Kalıp boşluğu sıkıştırıcısı 19) Soğutma hattı 20) Kalıp boşluğu sıkıştırıcısı 21) Destek sütunu

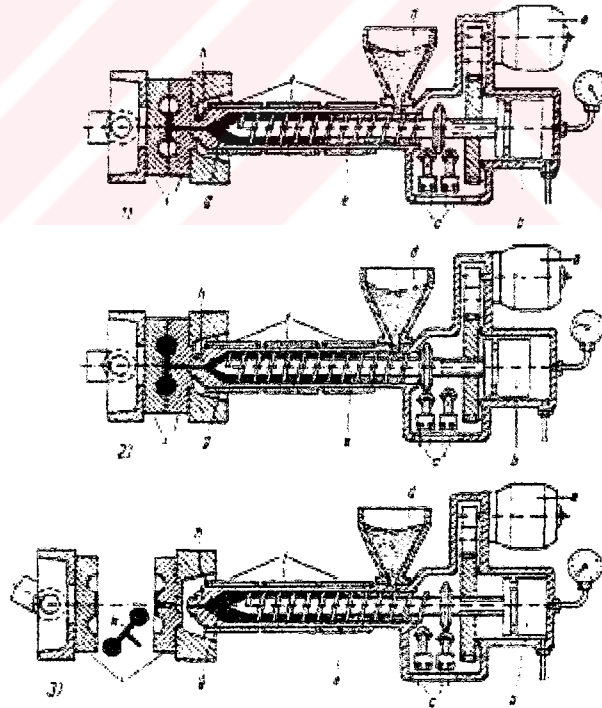
Yukarıdaki şekilde bir enjeksiyon kalıbında bulunan elemanlar gösterilmiştir.

4.5 Kalıp Çevrimi

En basit ve en genel durumda, enjeksiyon kalıbı iki parçadan oluşmaktadır. Birisi sabit birisi hareketli olan iki parça nasıl dizayn edilirse edilsin tüm kalıplarda bulunmaktadır. Bu iki parçaya da erkek ve dişi ismi verilmektedir.

Enjeksiyon kalıplarında plastik parçalar, ergitme kalıp boşluğuna doldurma, soğutma ve daha sonrada parçaların kalıptan çıkarılması kademelerinden geçirilerek elde edilir. Bu kademeler üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar:

- Enjeksiyon (injection)
- Tutma ve plastikleştirme
- Çıkartma (ejection)



Şekil 4.3 Kalıp çevrimi [15]

Besleme hunisine konulan toz veya granül polimer huninin titreşimleri ve vidanın emme hareketiyle enjeksiyon makinasına beslenir. Uygulanan ısıtma ve

vidanın hareketi ile yaratılan sürtünme ısı ve basınçla ertitilip silindir çıkışına (kalıba) doğru iletilir. Ergimiş polimer vidanın ileri doğru ani olarak itilmesi ile çıkışa takılan kalıbın içine sıvı halde enjekte edilir. Yüksek basınç altında bir süre kalıpta tutulan ürün daha sonra soğutularak kalıbın hareketli bölümünün açılmasıyla katı halde dışarı atılır. Bu arada vida tekrar geri çekilir. Şekil 4.3 te bu aşamalar gösterilmiştir.

İkinci çevrim için besleme hunisinden silindire tekrar malzeme aktarılır ve işlem böylece devam eder. Enjeksiyonla kalıplama, enjeksiyondan sonra ikinci enjeksiyon için beklenen kısa süreler nedeni ile, kesikli olarak çalışan bir tekniktir. İşlem hızını arttırmak için çoklu döner kalıplar kullanılmakta ve bir basmada birden fazla kalıp doldurulabildiği gibi, doldurulan kalıbın silindir ağzından çekilerek soğuma süresinde diğer seri kalıpların doldurulması da sağlanabilmektedir.

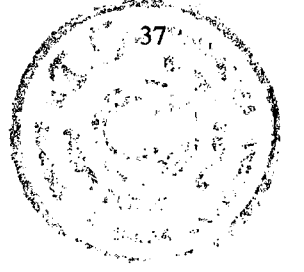
Tek kademeli klasik enjeksiyon sisteminde, malzeme besleme hunisine konmadan önce herhangi bir ön ısıtma uygulanmaz ve sistemde piston kullanılır. Modern ve seri çalışan enjeksiyon sistemlerinde ise ertirme süresini kısaltmak amacı ile polimere ön ısıtma uygulaması yapılır ve sonsuz vida sistemi kullanılır. Günümüzde enjeksiyon sistemleri otomatik olarak ve yüksek üretim hızlarında çalışmakta üretim hızlandırılmaktadır. [Menges and Mohren, 1983]

4.6 Enjeksiyon Kalıbında Yeralan Fonksiyonel Elemanlar

Enjeksiyon kalıplarında istenen plastik parçanın üretilebilmesi için gerekli elemanlar ve sistemler bulunmaktadır. Bu fonksiyonel elemanlar ve sistemler:

- Kalıp boşluğu
- Ana giriş ve yolluk sistemi
- Soğutma sistemi
- İtici (ejection) sistemi
- Kılavuz ve sabitleme sistemi
- Hareket ileticiler

- Kuvvet ileticiler
- Makina plakası sabitleyicileri

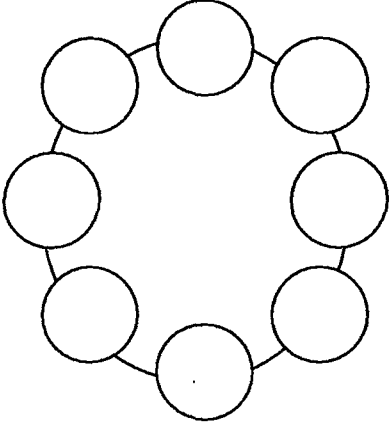
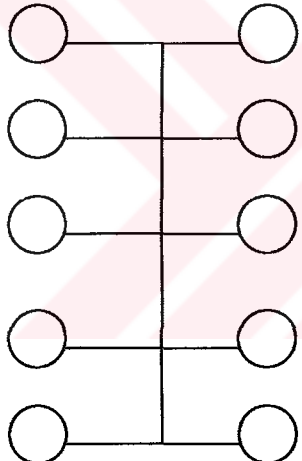
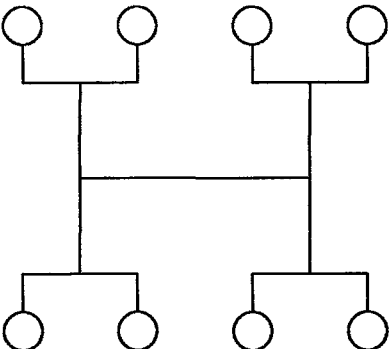


4.7 Kalıp Boşluğu ve Kalıp Boşluklarının Yerleşimi

Üretilen ürüne göre enjeksiyon kalıbında birden fazla kalıp boşluğu bulunabilir. Birden fazla kalıp boşluğunun bulunduğu durumlarda her boşluktaki ürünün sağlıklı olarak elde edilebilmesi için kalıp boşluklarının düzgün bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Modern enjeksiyon makinalarında plastik malzemenin bulunduğu depo sabitleyici plakanın merkez ekseninde bulunur. Böylece ana girişin yeri de belirlenmiş olur. Boşluklar aşağıdaki koşullar sağlanacak şekilde ana girişe göre yerleştirilir. [Szibalski, 1976] Olası kalıp boşluğu yerleşimleri Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

- Tüm boşluklar aynı anda aynı eriyik sıcaklığında dolmalıdır.
- Akış uzunluğu mümkün olduğunca kısa olmalıdır.
- Etkiyen tüm kuvvetlerin bileşkesi plakanın ağırlık merkezinde olmalıdır.
- Bir boşluktan diğerine olan mesafe soğutma kanallarının, itici pimlerin kalıp içerisinde bulunabilmesine imkan sağlaması ve de yüksek enjeksiyon basıncına karşı yeterli kesit alanını sağlaması gereklidir.

Tablo 4.1 Kalıp boşluğu yerleşimleri [19]

Çembersel	Avantajları	Dezavantajları
	Herbir kalıp boşluğa eşit uzaklıkta akış mesafesi	Sınırlı sayıda boşluk
Seri	Avantajları	Dezavantajları
	Çembersel yerleşime göre daha fazla boşluk sayısı	Herbir boşluğa farklı uzaklıklarda akış mesafesi, ancak değişik kanal çaplarıyla düzgün bir dolun sağlanır.
Simetrik	Avantajları	Dezavantajları
	Herbir boşluğa eşit uzaklıkta akış mesafesi	Yüksek yolluk hacimi, eriyiğin boşluklara ulaşınca kadar soğuması ve katılaşması

4.8 Yolluk Sistemleri

Yolluk sistemi, eriyik plastik malzemeyi bulunduğu depodan kalıp boşluğuna taşır. Bu sistemin tasarımı, ölçülendirilmesi ve bağlantısı kalıbın dolma işlemini ve böylece de oluşan ürünün kalitesini oldukça etkilemektedir. Sadece ekonomik faktörler göz önünde bulundurularak yapılan tasarım kalite açısından beklenenleri karşılamayacaktır.

Yolluk sistemi genellikle birkaç tane komponentten oluşmaktadır. Bu komponentlerin birden çok olması çoklu kalıp boşluğuna sahip enjeksiyon kalıplarındadır. Bu komponentler:

- Ana giriş (sprue)
- Yolluklar
- Giriş (gate)

Ana giriş (sprue) plastik malzemeyi depodan alarak ayırma hattı adı verilen iki tane kalıp plakasının birbiriyle temas ettiği düzleme kadar götürür. Bu düzlem genellikle ana girişe (sprue) diktir. Tek boşluklu kalıplarda sadece ana giriş (sprue) bulunmaktadır. Yolluğun esas amacı çok boşluklu kalıplarda plastik malzemeyi aynı zamanda ve aynı özelliklerle boşluklara ulaştırmaktır.

Giriş (gate) ise plastik malzemenin yolluktan kalıp boşluğuna akmasını sağlamaktır. Ayrıca enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra parçalar ve yolluğun birbirinden ayrılması için girişin ince olması gereklidir. [Pye, 1983]

4.8.1 Yolluk

Yolluklar ana giriş (sprue) ve kalıp boşluğu arasındaki bağlantıyı giriş (gate) yardımcı ile sağlar. Ayrıca yolluklar plastik malzemeyi aynı zamanda eşit basınçlarda

boşluklara taşımak zorundadırlar. Sıcaklık durumlarına göre üç çeşit yolluk tipi bulunmaktadır. Bunlar standart yolluk, sıcak yolluk, soğuk yolluktur.

a) Standart Yolluk Sistemleri

Standart yolluklar direkt olarak kalıp plakalarına işlenmiştir. Tek tek ısıtılan manifoldlar içermez. Bu nedenle bu yollukların sıcaklıkları tüm kalıbın sıcaklığı ile aynıdır. Bu yolluklara izotermal yolluklarda denilir. Her enjeksiyon işleminden sonra malzeme yolluklarda donar ve her bir basma işleminden sonra parça ile beraber çıkar. Bu durum termoplastikler için olan durumdur.

b) Sıcak Yolluk Sistemleri

Termoplastikler için sıcak yolluk sistemleri, tek tek ısıtılan manifoldlar olarak karakterize edilebilir. Bunların sıcaklıkları eriyik malzeme sıcaklık aralığı olan 180-300 derece aralığı civarındadır. Yani genel kalıp sıcaklık değerleri olan 20-120 °C tan oldukça fazladır. Manifold eriyik malzemeyi makine nozulundan herhangi bir ısı kaybı olmadan boşluğun girişine kadar getirir. Normal yolluk sistemiyle karşılaştırıldığında termoplastik sıcak yollukta sıvı halde kalır. Bu nedenle yolluktaki malzemenin bir sonraki enjeksiyon işlemi için çıkarılmasına gerek yoktur. Sıcak yolluk sistemlerindeki ana problem sıcak manifold ile manifolddan daha soğuk olan kalıbın ısı olarak birbirinden ayrılmasıdır.

c) Soğuk Yolluk Sistemleri

Soğuk yolluk sistemleri termoset ve lastik gibi malzemelerin kalıplarında kullanılır. Soğuk yolluklarda da sıcak yolluklarda bulunan ısının izolasyonu problemi yaşanmaktadır. 160 ila 180 derece sıcaklığında bulunan kalıpta yolluk 80 ila 120 derece sıcaklığında tutulmalıdır. Bu soğuk yolluk terimi standart yolluk terimiyle karıştırılmamalıdır.

4.8.2 Yolluk Tasarımı

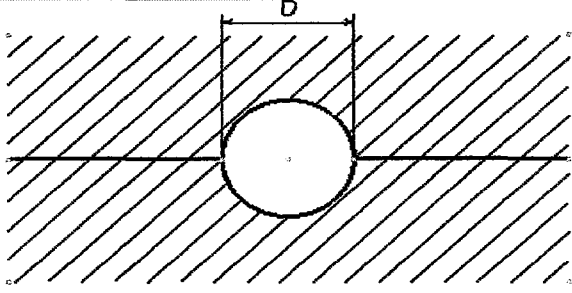
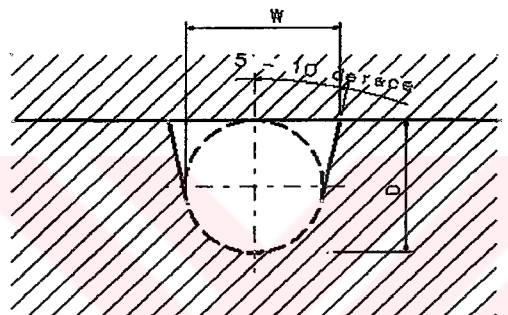
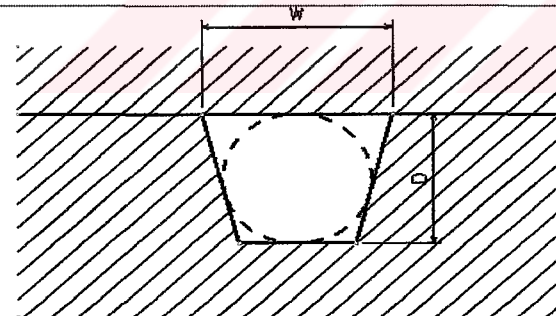
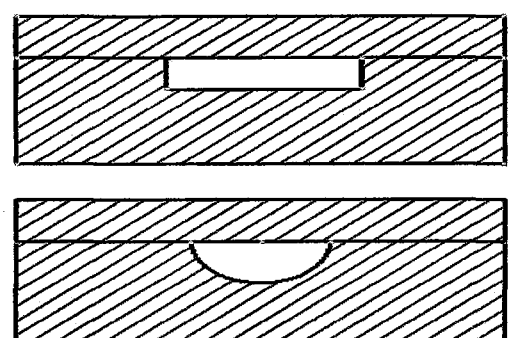
Yolluk sisteminin ölçülendirilmesine birçok faktör etki etmektedir. Bunlardan bazıları, üretilecek ürün, kullanılan plastik malzeme, enjeksiyon makinası, enjeksiyon kalıbıdır. Bunlarla beraber ekonomik unsurları ve kalite gereksinimlerini karşılamak için yolluk sisteminin yerine getirmesi gereken bazı şartlar bulunmaktadır. Bunlar:

- Kalıp boşluğu, minimum birleşim hatları ile dolmalıdır.
- Akışı önleyecek unsurlar minimum olmalıdır.
- Toplam ağırlığın paylaşımı mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.
- Kalıptan çıkartılması kolay olmalıdır.
- Parçanın görünümünün değişmemesi gerekir.
- Uzunluğun, ısı ve sıcaklık kaybı olmayacak şekilde mümkün olduğunca kısa olması gerekir.
- Yolluk sisteminin çevrim zamanına çok küçük veya hiç etkisi olmaması gerekir.
- Giriş parçanın en kalın yerinden olmalıdır.

Yolluk ölçüleri parçanın şekline, büyüklüğüne, kalıbın tasarımına, kullanılan plastiğe göre değişir. Genel bir kural olarak parçanın büyüklüğü ve parçanın cidarlarının kalınlığı arttıkça yollukların kesit alanı artar. Büyük kesit alanlı yolluklar kalıbın kolayca dolmasını sağlar. Küçük kesit alanına sahip yolluklarda daha fazla akış direnci olacağından bunlarda kalıbın dolması daha zordur. [Szibalski, 1976]. Tablo 4.2 de kullanılan yolluk kesitleri görülmektedir. Yollukların büyüklüğünü ve tasarımını etkileyen faktörler:

- Parça hacmi
- Cidar kalınlığı
- Plastik malzeme
- Akış yolunun uzunluğu
- Akış direnci
- Üretim maliyeti
- Isı kayıpları

Tablo 4.2 Yolluk kesitleri [21]

Çembersel Kesit	
 $D = S_{max} + 1,5 \text{ mm}$	Avantajları: Kesit alanına göre en küçük yüzey, en yavaş soğuma oranı, düşük ısı ve sürtünme kaybı. Kanalın merkezi en son donar böylece efektif bir tutma basıncı sağlanır. Dezavantajları: Her iki kalıp yüzeyini işlemek zor ve pahalıdır.
Parabolik Kesit	
	Avantajları: Çembersel kesite en yakın kesit alanı, kalıp yüzeylerinin sadece birinin basit bir şekilde işlenmesi Dezavantajları: Daha fazla ısı kaybı
Trapezoid Kesit	
 $W = 1,25 D$	Parabolik kesite alternatif Dezavantajları: Parabolik kesite göre daha fazla ısı kaybı
	Kaçınılması gereken kesitler

4.8.3 Giriş

Giriş, kalıp boşluğu ve yolluğu birbirine bağlar. Burası genellikle tüm sistemin en ince noktasıdır. Yeri ve büyüklüğü çeşitli gereksinimler dikkate alınarak belirlenir. Girişin yerini şeklini ve büyüklüğünü etkileyen faktörler:

- Parçanın geometrisi
- Cidar kalınlığı
- Mekanik yükün doğrultusu
- Akış uzunluğu/cidar kalınlığı
- Viskozite
- Sıcaklık
- Akış karakteristiği
- Çekme
- Kalıptan çıkarma kolaylığı
- Maliyet
- Çarpılma

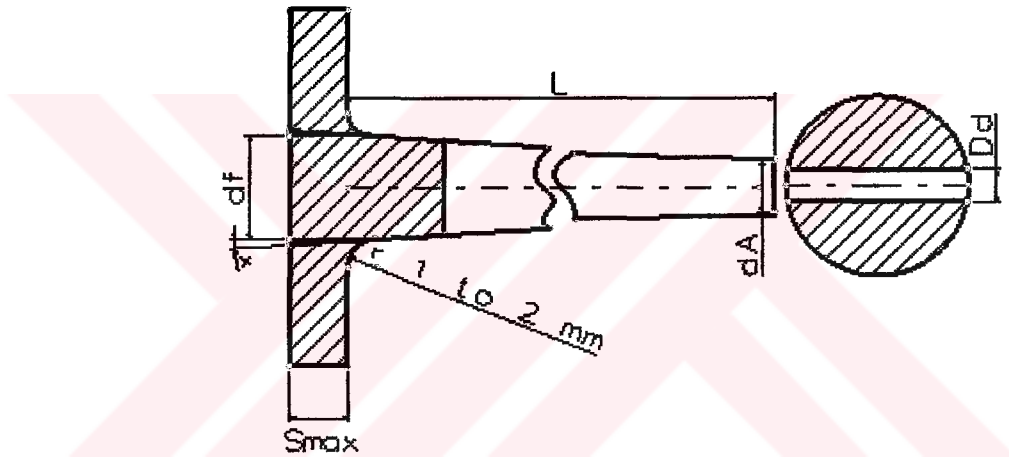
Kullanılan giriş küçük olmalı, kolaylıkla kalıptan çıkarılabilmeli ve de parçadan kolaylıkla ayrılabilmelidir. Çok çeşitli giriş tipleri mevcuttur. Bunlar:

- Ana giriş (sprue)
- Kenar giriş
- Disk giriş
- Halka giriş
- Tünel giriş (denizaltı giriş)
- Üç plakalı kalıpta iğneucu girişi
- İğneuçlu uçlu girişli ters ana giriş
- Yolluksuz kalıp

a) Ana Giriş (Sprue)

Ana giriş tipi en basit ve en eski giriş tipidir. Çembersel bir kesiti vardır. Bu kesit parçaya doğru genişler. Ana giriş her zaman parçanın en kalın kesitine yerleştirilir. Tutma basıncı parçanın katılaşması sırasında etkili bir şekilde kalır. Soğuma sırasındaki hacim kaybı da boşluğa gönderilen ek malzeme ile telafi edilir.

Ana girişin büyüklüğü parçanın cidar kalınlığına ve de makina nozulunun orifiz çapına bağlıdır. Aşağıdaki şekilde ana giriş ölçüleri gösterilmiştir.

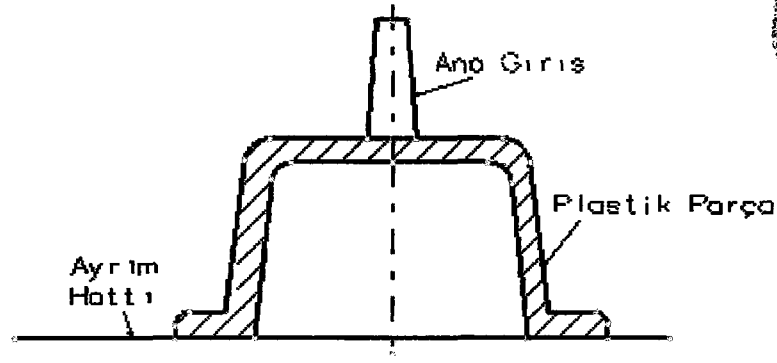


Şekil 4.4 Ana giriş ölçüleri

$$d_F \geq S_{max} + 1.5 \text{ mm}$$

$$d_A \geq D_d + 1 \text{ mm}$$

Ana girişin oluşturduğu açı ana girişin uzunluğuna bağlıdır. Bu uzunlukta kalıp plakalarının kalınlığına bağlıdır. Açı kalıptan kolay çıkarılabilmesi için 2 dereceden küçük olmamalıdır. Şekil 4.6 da ana girişin parçaya bağlanış şekli gösterilmiştir.

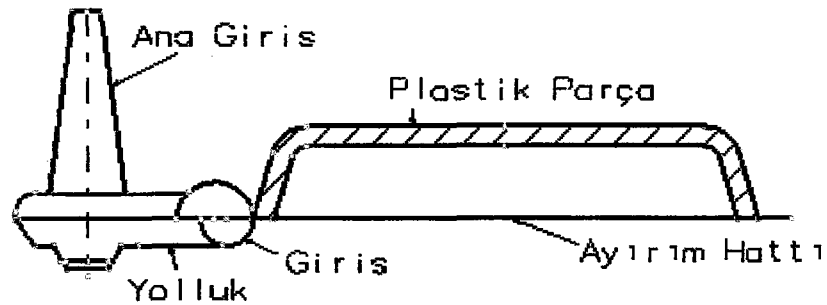


Şekil 4.5 Ana giriş [16]

Bu ana girişin en büyük dezavantajı kalıplama işlemi sonunda giriş noktası izinin parça üzerinde kalmasıdır. Bu da giriş noktasının, parçanın montaj işleminin sonrasında gözükmeyecek bir yerde olmasına veya girişin parçanın içi yüzeyinde olmasına dikkat edilerek önlenabilir. [Menges and Mohren, 1983]

b) Kenar Giriş

Kenar giriş genellikle geniş yüzeyleri olan ince cidarlı parçaların kalıplanmasında kullanılır. Bu tip parçalarda ana giriş (sprue) kullanılması akışın iyi olmasını engeller, birden fazla giriş kullanmak ise kaynak çizgileri oluşturabilir. Aşağıdaki şekilde kenar girişin parçaya bağlanış şekli görülebilir.



Şekil 4.6 Kenar Giriş [19]

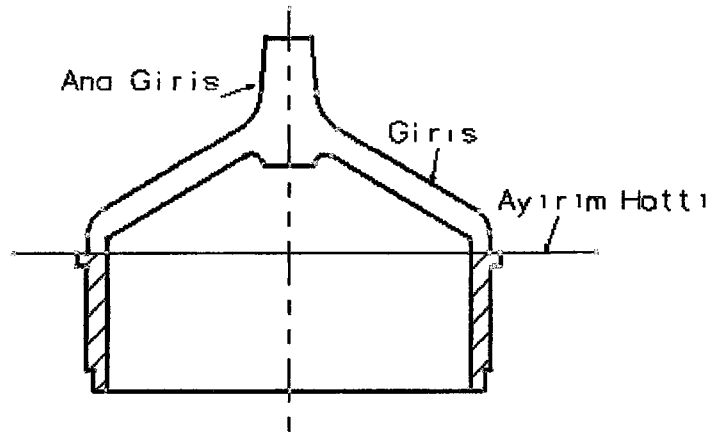
Girişten çıkan malzeme ilk olarak genişletilmiş dağıtıcı kanala girer. Bu kanalda dar bir noktada kalıp boşluğuna bağlanır. Bu dar kesit kalıbın dolması sırasında işlemi ivmelendirici bir rol oynar.

Dağıtıcı kanalın çembersel bir kesiti vardır. Bu çembersel kesitin yanında balık kuyruğu şeklinde kanal da kullanılır. Bu kesit daha fazla işçilik ve malzeme gerektirir fakat sonuçta çok kaliteli parçalar elde edilir.

Kenar giriş genellikle parçanın kenarına yerleştirildiğinden tek boşluklu kalıplar dengesiz olabilir ve kalıp basıncı, kalıbı ayırım hattından açmaya zorlayabilir. Bu nedenle girişin ayırım hattı üzerinden verilmesi daha uygundur. [Menges and Mohren, 1983]

c) Disk Giriş

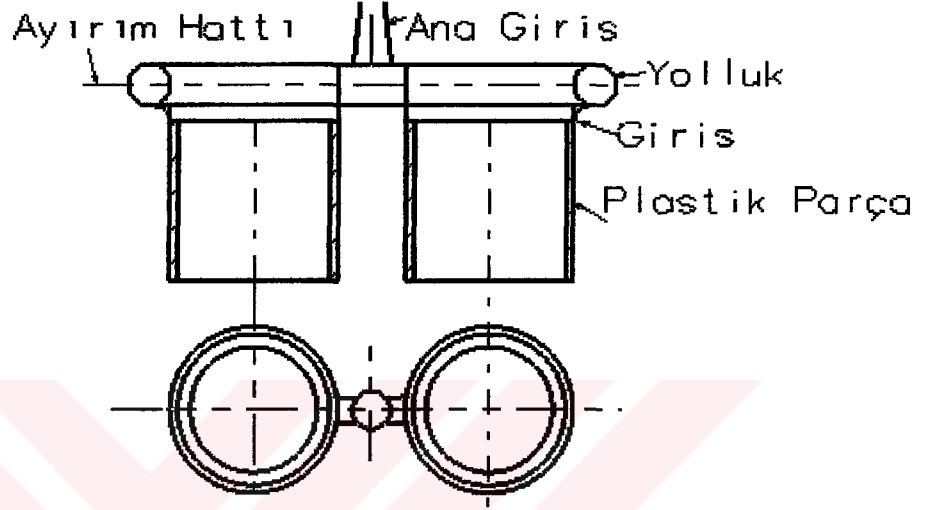
Disk giriş dönme eksenini etrafında simetrik olan parçaların kaliteli bir biçimde kalıplanmasını sağlar. Tüm kesitin düzgün bir şekilde dolmasını sağlamak için ana giriş direkt olarak girişe bağlanmıştır. Burada ana giriş bir dağıtıcı kanal olarak görev yapmakta ve malzemeyi kalıbın daha geniş çapına doğru götürmektedir. Bu tip tasarımın avantajı kaynak çizgilerinin önlenmesidir. Bunun yanında olası çarpılmalarda önlenir. [Menges and Mohren, 1983] Aşağıdaki şekilde disk girişin parçaya nasıl bağlandığı görülmektedir.



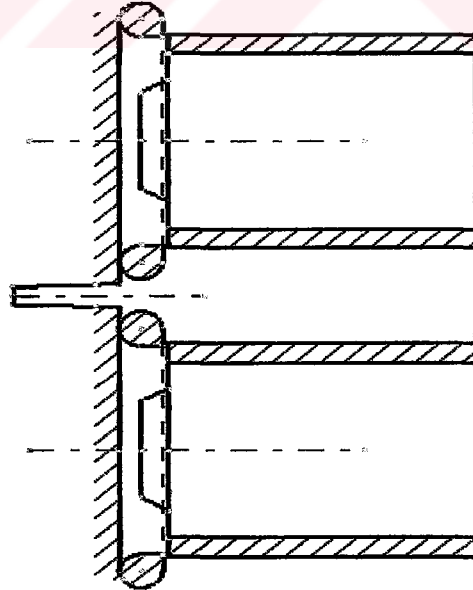
Şekil 4.7 Disk Giriş

d) Halka Giriş

Halka giriş, parçanın uzunluğu nedeniyle çekirdeğin, parçanın her iki tarafında bulunduğu silindirik parçaların kalıplanmasında kullanılır. Aşağıdaki iki şekilde halka girişin plastik parçaya bağlanmış şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.8 Halka Giriş [16]



Şekil 4.9 Halka Giriş [16]



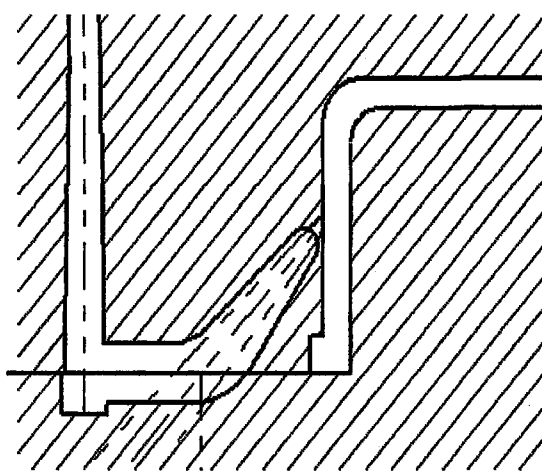
Eriyik malzeme ana girişten halka şeklindeki kanala geçer. Bu kanal parçaya bir yerden bağlanmıştır. Bu yer dar kesitiyle dolum işlemi sırasında ivmelenendirici bir etki yaratır.

Bu tarz bir giriş tipinin avantajı her iki tarafta da çekirdeğin beslenebilmesinin mümkün olmasıdır. Böylece uzun silindirik parçalar düzgün bir şekilde üretilir. Ayrıca disk giriş silindirik parçaların çoklu kalıplarda üretilmesinde kullanılır. Bu durumda tasarım tek boşluklu kalıptakinin benzeridir. Tek fark her iki tarafta çekirdek desteğinin bulunmamasıdır. [Menges and Mohren]

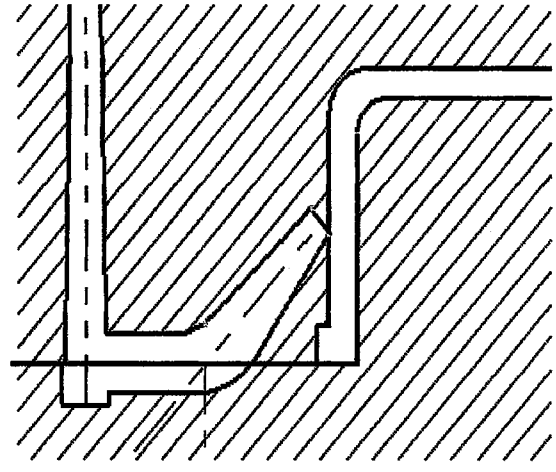
e) Tünel Giriş

Tünel giriş çoklu kalıp boşluğu olan kalıplarda yan taraflarına giriş yapılabilen küçük parçaların üretiminde kullanılır. Parça ve yolluk aynı ayırım hattındadır. Yolluklar, boşluklara yakın açılı oldukları noktalara taşınırlar. Ve yolluklar gittikçe incelererek bir delik ile kalıp boşluğuna bağlanırlar. Eğimli bir açılı ile kalıp boşluğunun duvarına açılmış tünel benzeri delik tünel ve kalıp boşluğu arasında keskin bir kenar oluşturur. Tünel girişler için iki dizayn tipi vardır. Bunlar:

- Açılı tünel giriş
- Ucu kesik açılı tünel giriş



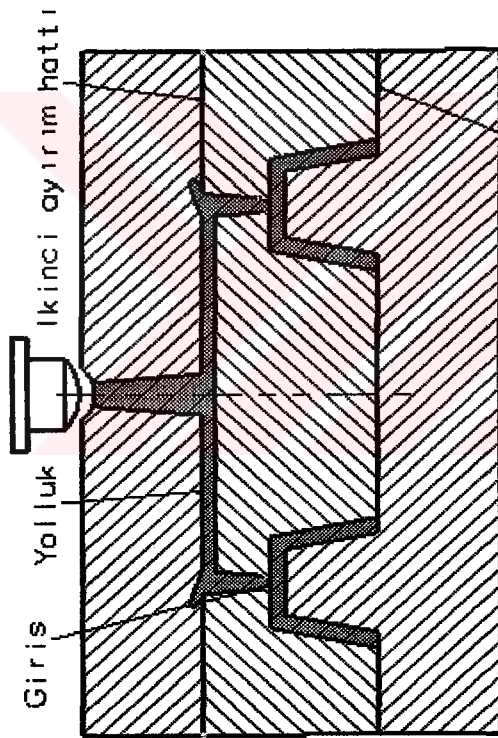
Şekil 4.10 Açılı tünel giriş [16]



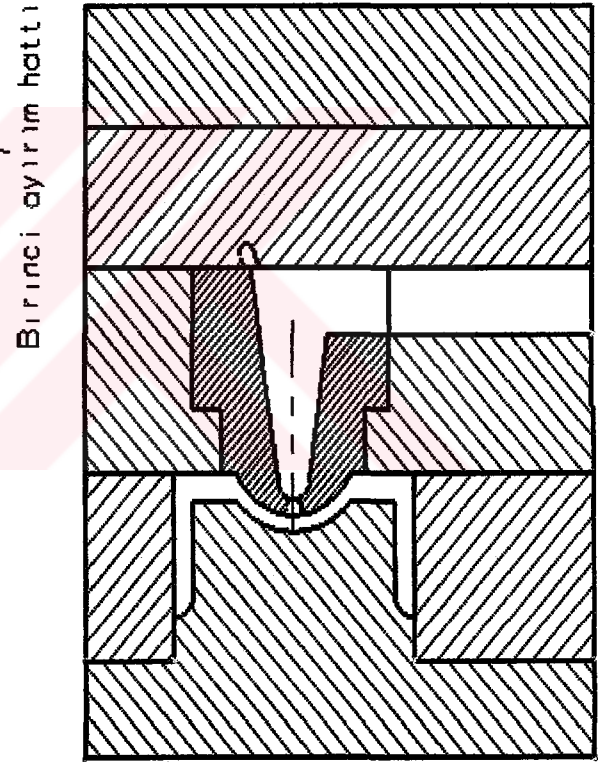
Şekil 4.11 Ucu kesik açılı tünel giriş [16]

f) Üç Plakalı Kalıplarda İğneuçlu Giriş

Eğer parça ve giriş iki değişik ayırım hattında birleştirilmişlerse, iğneuçlu giriş parçayı bozabilir. Sabit ve hareketli kalıp plakaları üçüncü bir plakayla ayrılır. Bu üçüncü plaka kalıbın açılma hareketi sırasında ikinci bir ayırım hattı sağlar. Bu tip tasarımlara üç plakalı kalıp adı verilir. Bu sistem genellikle çok boşluklu kalıplarda girişin merkezden yapıldığı ve istenmeyen izlerin oluşmadığı durumlarda kullanılır. Aşağıdaki resimlerde üç plakalı kalıp ve üç plakalı kalıplarda iğne uçlu giriş gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Üç plakalı kalıp [16]



Şekil 4.13 Üç plakalı kalıplarda iğne uçlu giriş [16]

İnce cidarlı geniş yüzey alanlı parçalarda tek boşluklu kalıplarda bu şekilde üretilir. Bu durumlarda birden fazla giriş kullanmakta mümkündür. [Menges and Mohren, 1983]

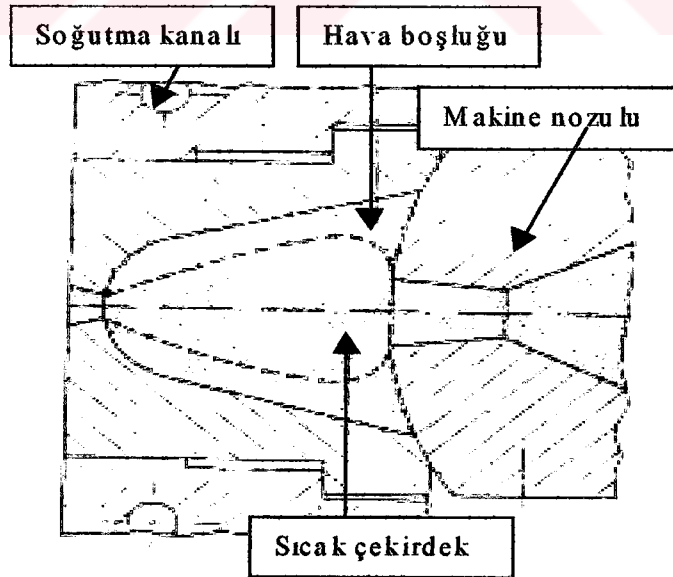
g) İğneuçlu uçlu girişli ters ana giriş

Ters ana giriş kullanmanın iki yöntemi vardır. Birinci metotta ana girişin çekirdeği sıcak ve sıvı halde kalır. İkincisinde ise ana girişin soğumasına ve katılaşmasına izin verilir.

İlk durumda ana giriş bir cep şeklinde sabit plakaya işlenir. Burası kalıp boşluğuna ters açılı bir şekilde bağlanır.

Bu işlemde ana giriş makina nozulu ile sıkıca kapanmıştır ve ilk enjeksiyon sırasında tamamen plastik ile dolmuştur. Kısa çevrim zamanları ile ana giriş içerisindeki malzeme eriyik bir biçimde kalır ve bir sonraki enjeksiyon ana giriş içerisine girebilir. Nozulda her defasında geri çekilmez.

Ters ana girişin çalışma şekli aşağıdaki resimde gösterilmiştir. Taze malzemenin basıldığı merkezdeki sıcak çekirdek ana girişin cidarlarında donmuş olan plastik malzeme tarafından yalıtılmıştır.

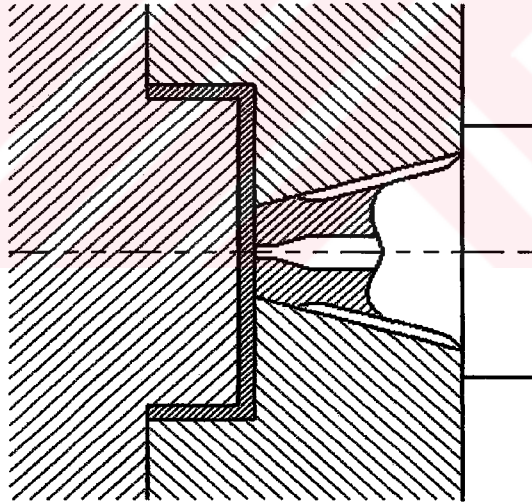


Şekil 4.14 Ters ana giriş [16]

Diğer tüm giriş tiplerinde olduğu gibi buradaki girişinde ölçüsü plastik malzemeye ve de parçanın cidar kalınlığına bağlıdır. Girişin büyüklüğünü olabildiğince azaltmak için yüksek eriyik sıcaklıkları kullanılır. Ayrıca açılı iğne uçlu giriş kullanılarak kalıptan çıkarılma sırasında parçanın kolayca ayrılması sağlanır.

h) Yolluksuz Kalıp

Yolluksuz kalıplarda nozul kalıba doğru uzar. Malzeme iğne uçlu giriş ile enjekte edilir. Nozulun yüzeyi kalıp boşluğu yüzeyinin bir parçasıdır. Bu parçada giriş izlerine sebep olur. Bu nedenle nozul olabildiğine küçük olmalıdır. Çapının 6-12 mm arasında olması önerilir. Bu yöntem ince cidarlı parçaların hızlı çevrimle üretilmesinde kullanılır. Bu işlem nozulun katılaşmaması için dakikada 3 enjeksiyondan daha az olmamalıdır. [Mörwald, 1965]



Şekil 4.15 Yolluksuz Kalıp [17]

4.9 Kalıplarda Havanın Dışarı Atılması

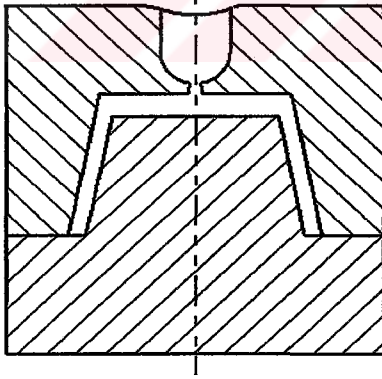
Kalıbın dolum işlemi sırasında, eriyik maddenin kalıp boşluğunda bulunan hava ile yer değiştirmesi gerekir. Eğer bu gerçekleşmezse hava, kalıp boşluğunun tamamı ile dolmasını engelleyebilir. Bunun yanında basınç nedeniyle havanın

oldukça ısınmasıyla, hava çevresinde malzemeyi yakabilir. Bu olay genellikle havanın iyi bir şekilde dışarı atılmadığı kalıplarda görülmektedir.

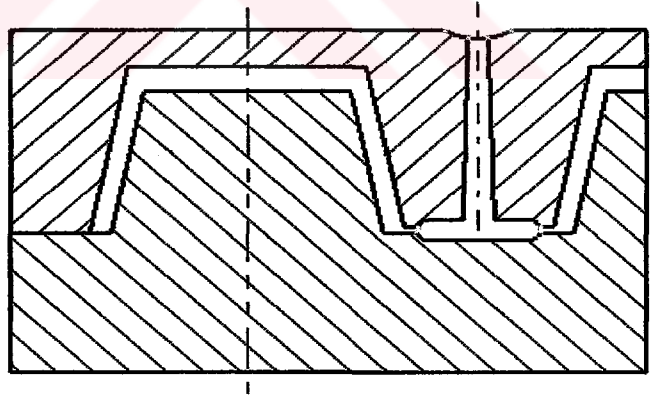
Birçok kalıpta havanın dışarı atılması için özel bir tasarıma gerek yoktur. Hava itici pimlerden veya ayırma hattında dışarıya çıkabilir. Ayırım hattından havanın dışarı çıkabilmesi için buradaki pürüzlülük değerin sağlanmış olması gerekir. Bu durum yerine getirilememişse havanın kalıptan dışarı atılması için çeşitli önlemler almak gereklidir.

Parçanın tasarımı, parçanın kalıp içerisindeki yerleşimi ve giriş, havanın kalıptan dışarı atılmasına etkiye bulunmaktadır. Giriş, kalıpta bulunan havanın ayırım hattında dışarı çıkmasını zorlayacak şekilde yerleştirilebilir. Örneğin bir su bardağının enjeksiyonunda girişin alttan verilmesi yandan verilmesine göre havanın ayırım hattında dışarı atılabilmesi için daha avantajlı olacaktır. [Gregosian, 1966]

Aşağıdaki şekillerde kalıpta bulunan havanın dışarıya atılabilmesi için uygun ve uygun olmayan durumlar gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Uygun giriş yeri [24]



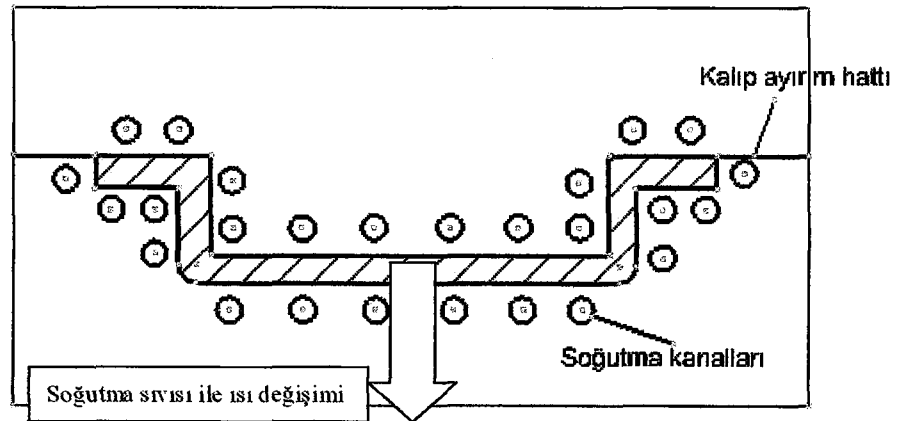
Şekil 4.17 Havanın dışarı atılmasında yetersiz durum [24]

Kaburgalı bir parçanın üretimine ise girişin yandan verilmesi havanın kaburgada sıkışıp kalmasına neden olacaktır. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

4.10 Kalıbın Soğutulması

Plastik kalıpların ısıtılması ve soğutulması, kalıplanan parçanın kaliteli ve enjeksiyon işleminin ekonomik olmasını sağlamaktadır. Kalıbı belirlenen sıcaklıkta tutma kalıp içerisinde açılmış kanallarda sıvılar dolaştırılarak sağlanır. Bu kanal ve deliklere soğuma yolları ve bu sisteme de soğutma sistemi adı verilir. Kalıbın katılaşması sırasında en sıcak erimiş plastik, kalıbın girişinde, en soğuk erimiş plastik ise girişten en uzak olan noktadadır. Soğutma suyunun sıcaklığı bu kanallardan geçtikçe artar. Kalıpta eşit bir soğuma sağlamak için kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı ve kalıbın soğuk bölgelerine de sıcak sıvı girişi sağlanmak gerekmektedir. Genelde en basit sistem kalıbın boydan boya delinmesiyle sağlanan soğutma sistemidir. En etkili kalıp ısıtma ve soğutma metotları, dişi kalıp, dalıcı zımba veya maça pimi içerisinde dolaşım yapabilen kanalların açılmasıyla elde edilmektedir. Aşağıdaki şekilde soğutma sistemi gösterilmiştir. Dişi kalıp ve dalıcı zımba (maça pimi) içerisine açılacak ısıtma ve soğutma kanalları kalıplama yüzeyinden uygun olan uzaklıkta ve kalıbın çatlamasına sebep olmayacak şekilde açılması gerekmektedir.

Plastik kalıpları genellikle su veya basınçlı hava ile soğutulur. Su ile yapılacak soğutma işleminde kalıp yarımları içine açılan kanallardan geçiş yapan suyun birleşim yerlerinden kalıp içerisine dağıtılmasını önlemek için geçiş yolları üzerindeki delikler kör tapa ile kapatılır. [Özaydınlı, 2003]



Şekil 4.21 Enjeksiyon Kalıbında ısı akışı [27]

Kalıp takviye plakaları arasındaki su sızıntıları da dairesel kesitli salmastralarla önlenir. Bu salmastralar yumuşak bakır, alüminyum ve kauçuk malzemelerden yapılır. Sızdırmazlığı sağlayan bu salmastralara “O” ring denir. Kalıplanacak parçanın boyutlarına bağlı olarak kalıp içerisine açılacak olan soğutma kanallarının özellikleri ve soğutucu etkisi değişmektedir.

Doğrudan kalıp yarımlarına açılan soğutma kanallarında soğutma sıvısı kısa zamanda etkisini göstermekte ve kalıplanan parçanın sertleşmesi hızlanmaktadır. Ancak kalıp yarımlarının ani soğutulmasıyla kalıpta meydana gelen değişken ısı, kalıbın zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca kalıplanan parçanın et kalınlığı fazla ise dış yüzeylerdeki sertleşme hızı iç kısımlara oranla daha fazladır. Bu da parçanın kalıptan çıktıktan sonra şekil değiştirmesine sebep olabilir. Bu zararlar göz önünde bulundurulduğunda, doğrudan kalıp yarımlarına açılan soğutma kanalları, kalıplama yüzeyinden uygun uzaklıkta ve ölçüde olmalıdır.

Derinliği fazla olmayan kalıplama işlemlerinde kalıp yarımlarına açılacak soğutma kanalları içerisine bakır borulu soğutucu sistemler yerleştirilir. Ve üzerine düşük sıcaklıkta eriyen bir maden dökülerek bakır boruların sabitleşmesi sağlanır. Derinliği fazla olan kalıplama işlemlerinde, kalıbın çatlamasını önlemek ve soğutucu sistemin yerleşimini kolaylaştırmak amacıyla bakır borulu soğutma sistemi kullanılır. Bu tip bakır borulu soğutma sistemi, dalıcı zımba veya dişi kalıp içerisine yerleştirilir.

Çok parçalı kalıplarda soğutmanın kısa zamanda etkisini göstermesi için soğutucu kanallar, destek plakaları ve kalıp yarımları içerisinden geçerek kalıbı terk edecek şekilde tasarlanır.

Su ile soğutmanın uygun olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba ve kalıplanan parçaya zarar verdiği hallerde kalıp basınçlı hava ile soğutulur. Basınçlı havayla yapılacak soğutma işleminde basınçlı hava kalıp içerisinde açılan kanalları dolaşarak kalıptan ayrılır.

Tek parçalı kalıp plakası tipinin sıcaklığı plakaya açılmış delikten geçirilen su sirkülasyonu ile kontrol edilir. Bu delikler birbirine bağlanarak devre oluşturulur.

Kalıbın dişi ve erkek kısımları birbirine benzemediğinden bunları soğutma şekilleri de ayrı ayrı ele alınmalıdır.

4.10.1 Tek Parçalı Dişi Kalıp Plakasının Soğutulması

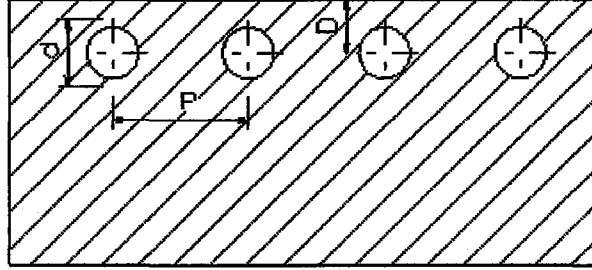
Kalıp için en basit olan yaklaşım iki tane su kanalı, kalıp boşluğunun her iki tarafına açılır ve bunlar esnek hortumla birbirine bağlanır. Akma kanalının sonuna adaptör takılır. Dışarıdan yapılan esnek hortumlu su kanalı bağlantısı, kalıp içine kalıp eklenerek dahili olarak da yapılabilir. Bu U şeklindeki kalıp devresi dar ve uzun kalıp boşluklarını soğutmada kullanılabilir. Dahili kanalları birleştiren delik açma yerine, freze ile açılmış yarıklı plakayı kalıba bağlamak suretiyle de bu su kanalları bağlanabilir. Burada iki temel tasarım kullanılır. Kalıp plakasının yanına açılmış delikle bu soğutma kanalları birleştirilerek suyun bu kanallarda devamlı kalıp plakasının içine gömülecek şekilde vidalanır. Bu bağlantıda conta kullanılarak su kaçağı önlenir.

Derin tek plakalı kalıplarda soğutma için çok tabakalı soğutma sistemi kullanılır. Her seviyedeki su devresi, kalıp boşluğuna mümkün olduğunca yakın olarak düzenlenir. Kalıp boşluğundaki her bir duvarın sıcaklığının kontrolü isteniyorsa, soğutucu plaka metodu düşünülmelidir. Bu plaka, kalıbın yan duvarlarına takılır ve soğutma suyu bu plakalar içine açılmış kanallardan geçer.

4.10.2 Erkek Plaka Soğutma Yöntemi

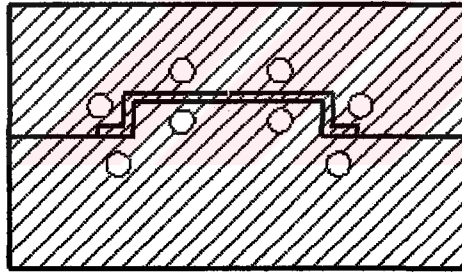
Erkek kalıp plakasının derinliği az ise (25 mm altında) Z tipi tek kademeli su soğutma kullanılabilir. Su kanalı erkek tarafın altına yerleştirilir. Açılı delik sisteminde, kalıbın erkek plakasının altından delinmiş soğutma kanalları birleşirler. Bunlar yüzeye oldukça yakındırlar. Bu deliklerin herbirine tıkaç takılır. Bu kanallar

yandan açılmış kanalla birbirine bağlanır. Basamaklı su devresinde kanallar erkek plakanın yan tarafına ve yüzeye paralel olarak açılır. Bu deliklere çok dikkatli tıkaç yerleştirilmelidir ve parlatılmalıdır. [Özaydın, 2003] Aşağıdaki şekilde tavsiye edilen soğutma kanalı ölçüleri gösterilmiştir. Şekil 4.24 de ise yeterli ve yetersiz soğutma kanalı yerleşimi ve bunların sonuçları gösterilmiştir.

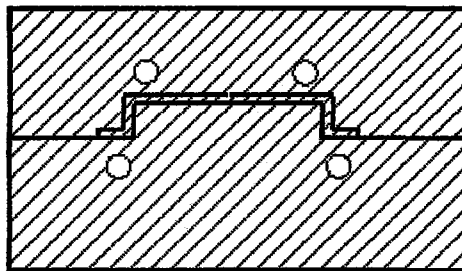


d: Soğutma kanalı çapı= 11.2 - 14.2 mm
D: Yüzeyden derinliği=1.5d - 2.5d
P: Soğutucu kanallar arasındaki mesafe=3d - 5d

Şekil 4.22 Tavsiye edilen soğutma kanalı ölçüleri [28]



Yeterli Soğutma



Yetersiz soğutma
ve uzun soğutma
süresi

Şekil 4.23 Yeterli ve yetersiz soğutma kanalı yerleşimi [25]

5. PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNALARI

Plastik enjeksiyon makinalarının uygunluğu kullanım yerlerine göre belirlenir. Birçok faktör, kalıp tasarlanmadan önce makine dizaynına uygunluğu hesaba katılmalıdır. Kalıp tasarımının, makinaya uygunluğunu seçerken ve işlemin tamamını anlamak için aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurmalıyız.

- Enjeksiyon baskısı yapılacak parçanın kullanım yeri
- Kullanılan plastik malzemenin yapısı
- Prosesten istenilen parçanın kalitesi ve üretim hacmi
- Ekonomik olması

Enjeksiyon makinası 3 ana bölüme ayrılır.

- Makine gövdesi
- Enjeksiyon ünitesi
- Kapatma ünitesi

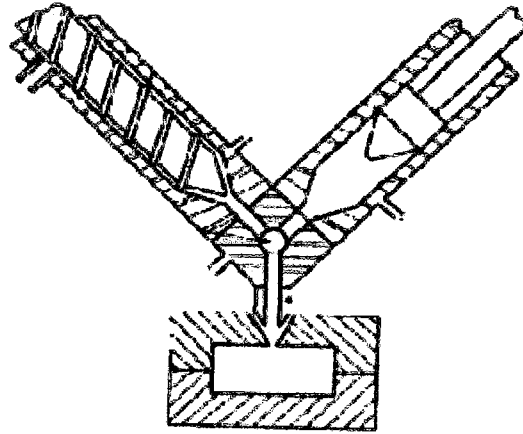
Makine gövdesi; kilitleme ve enjeksiyon ünitesinin monte edildiği yerdir. Ana fonksiyonu boyutsal, dengeli, hassas ve kuvvetli olmasıdır. Modern makinaların bu temel üniteleri, ağır çelik blokların yan plakalarla kaynaklanarak yapılmasıyla oluşur.

Enjeksiyon ünitesi; bir enjeksiyon makinasında plastik hammaddenin makinaya alınması, alınan plastiğin ısıtılarak eriyik hale getirilmesi, yüksek basınç uygulayarak plastiğin kalıba doldurulması işlemlerini yapana çeşitli elemanlardan oluşur. enjeksiyon makinası ünitesinin temel fonksiyonları, polimer reçinesini eritmek ve hazırlamak, erimiş plastiği kalıba göndermektir. [Bucaklıgil,1999]

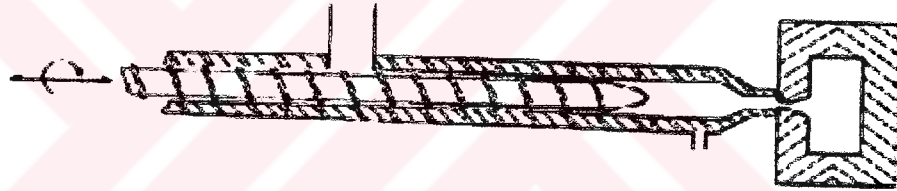
Enjeksiyon presleri genellikle iki değişik tipte yapılmıştır.

- Tek ve çift dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri

- Vidalı ve dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri



Şekil 5.1 Dalıcı pistonlu enjeksiyon presi [25]



Şekil 5.2 Vidalı enjeksiyon presi [25]

Dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri, 450 gram kapasiteli ve 425 ton hidrolik kalıp sıkma üniteli preslerdir. Bu enjeksiyon presinin üzerinde bulunan huni içerisine talaş veya boncuk halindeki plastik malzeme doldurulur. Besleme kanalı yardımıyla plastik madde enjeksiyon silindirinin arka boşluğuna akar. Dalıcı piston, silindir içerisindeki plastik maddeyi sıkıştırır. Akışkan haldeki plastik madde, basınç ve sıcaklık altında kalıp boşluğuna enjekte edilir. Ancak vidalı enjeksiyon preslerine oranla, dalıcı pistonlu enjeksiyon preslerinin kalıplama hızı daha düşük ve basınç kaybı da daha fazladır. Bu nedenle dalıcı piston ucundaki enjeksiyon basıncı, enjeksiyon memesi ucundaki basınçtan daha azdır. Vidalı enjeksiyon preslerinde ise silindir içerisinde ve enjeksiyon memesi ucundaki basınçlar aynıdır.

Çift dalıcı pistonlu enjeksiyon preslerinde, bir besleme silindiri aynı zamanda plastik madde ergitme silindiri ve enjeksiyon silindiri vardır. Besleme silindiri enjeksiyon silindirini sürekli besler. Vidalı ve dalıcı pistonlu enjeksiyon preslerinde vidalı enjeksiyon silindiri, plastik maddeyi eritir ve enjeksiyon silindirini beslemektedir. [Özaydın, 2003]

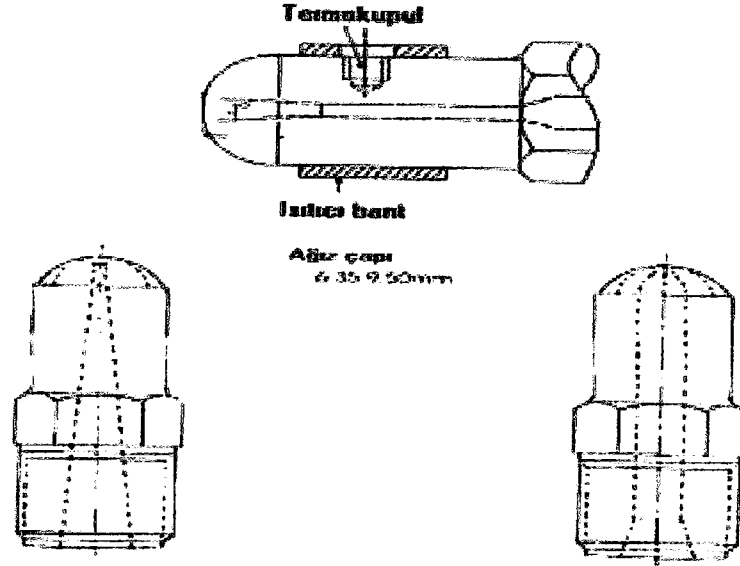
5.1 Enjeksiyon Memeleri

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

- Açma ve kapama vanası bulunmayan enjeksiyon memesi
- İçerisinde yay baskılı açma ve kapama pimi bulunan enjeksiyon memesi
- Ayırma vanalı enjeksiyon memesi

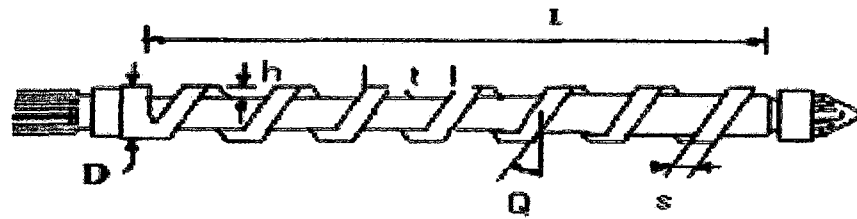
Açık kanallı enjeksiyon memesi bulunan preslerde dalıcı piston veya vidalı mil, kalıplama işleminden sonra geri emiş yaparak arta kalan plastik malzemenin enjeksiyon memesinden çıkmasını önler.

İçerisinde yay baskılı açma ve kapama pimi bulunan enjeksiyon memeli preslerde kalıplama yapılacağı zaman enjeksiyon basıncıyla yay baskısı yenilir ve yay açılır. Kalıplama sonunda silindir içerisindeki basınç düşmesinden dolayı yay baskılı vana enjeksiyon memesini kapatır. Ve plastik maddenin dışarı çıkmasını önler. Ayırma vanalı enjeksiyon memeleri genellikle vidalı enjeksiyon preslerinde kullanılır. Dönüş hareketi yapmayan vana, vidalı milin ileri geri hareketinden yararlanarak enjeksiyon memesinin açılmasını veya kapanmasını sağlar. Şekil 5.3 te çeşitli tipteki enjeksiyon memeleri gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Çeşitli tipteki enjeksiyon memeleri [25]

Enjeksiyon basıncını sabit tutmak amacıyla vidalı milin dişleri derinliğide konik olarak açılmıştır. Bu konikleştirme vidalı mil ucu diş dibi çapından geriye doğrudur. Vidanın kalıplama bölgesi pompa görevi yaparak akışkan halindeki plastik malzemeyi kalıp içerisine iten kısımdır. Vida dayanımı, vida dönme hızı ve ilettiği güçle orantılıdır. Vidanın döndürme kuvveti artırıldığında vida tork kuvveti de artar. Genel olarak vida dayanımı, vida karesinin küp kökü alınarak bulunur. Plastik madde sıcaklığının artmasına etki eden pek çok faktör vardır. Bütün değerler sabit tutulmak kaydıyla vida dönüş sayısı artırıldığında plastik maddenin sıcaklığı da artar. Şekil 5.4 de enjeksiyon vidasının şekli ve ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Enjeksiyon vidası [27]

D = Vida çapı

Q = Helis açısı

S = Diş genişliği

t = Vida adımı

L = Vida boyu

H = Vida dış derinliği

5.2 Enjeksiyon Presi Kalıp Sıkma Ünitesi

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

- Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtı
- Hidrolik kumandalı mafsal kollu kalıp sıkma aygıtı

Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtında silindir piston sistemi vardır. Ve piston mili ucuna hareketli kalıp sıkma plakası sabitlenmiştir. Kalıbın açılması kapanması ve sıkma işlemi doğrudan hidrolik silindir-piston ve mafsal kolları yardımıyla yapılmaktadır. Bu tip kalıp sıkma aygıtlarında kuvvet iletme oranı 50 ye 1 kadar yükseltilebilmektedir. Doğrudan hidrolik kalıp sıkma aygıtında herhangi bir mekanik hareket olmadığı için kuvvet iletimi doğrudan silindir-piston gücüne bağlıdır. [Özaydın, 2003]

6. PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİNDE MEYDANA GELEN PROBLEMLER VE BUNLARIN ÖNLENMESİ

Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünlerde çeşitli nedenlerden dolayı hatalı parçalar ortaya çıkmaktadır. Problemlere yol açan sebeplerin kaynağı olarak enjeksiyon makinası, kalıp işlem zamanı, işlem sıcaklığı, işlem basıncı, kullanılan malzeme, parça dizaynı başta gelmektedir. Problemlerin odağında kalıplama döngüsü gelmektedir. Enjeksiyon zamanı, doldurma zamanı, kalıp sıcaklığı, kapanma zamanı, soğuma zamanı, açılma zamanı yolluk tasarımı, parça kalınlığı ve akış yolunun uzunluğu belirleyici bir ölçü olmaktadır. Kalıplama döngüsünün problem analizinde üç büyük eleman doğrudan ilgilidir. Bunlar:

- Enjeksiyon kalıp makinası: Kalıbın kilitleme mekanizmasının yeterli olup olmadığı ve kapasitesi
- Kalıp: Kalıp tasarımında eksiklik olup olmadığı
- Malzeme: Polimerin uygunluğu

Bu üç eleman zaman, basınç ve sıcaklıktan direkt etkilenir. Bu problemi çözmek için yapılması gereken ana işler şunlardır:

- Enjeksiyon işlemi incelenmeli
- Yapılması gereken değişiklikler sırayla yapılmalı, yapılan her değişikliğin etkisini göstermesi için bir süre beklenmeli ve etkileri dikkatli bir biçimde incelenmelidir.
- Problemin makinadan, kalıptan, çalışma şartlarından, malzemeden veya parça tasarımından mı olduğu tespiti yapılmaya çalışılmalıdır.

Eğer problem sürekli değilse veya rasgele meydana geliyorsa büyük ihtimalle makinadan kaynaklanıyordur. Parça kalitesi operatörden operatöre değişiyorsa problem muhtemelen operatörden kaynaklanıyordur. Problem tek boşluklu kalıpta

meydana geliyorsa ve sürekli aynı bölgede meydana geliyorsa problem, akış modelinden kaynaklanabilir.

6.1 Üründe Oluşan Hatalar

6.1.1 Parçada Oluşan Akış Çizgileri

Plastik malzeme bir kalıba enjekte edildiğinde, her akışkanda olduğu gibi kalın ve geniş bölgelere daha hızlı yayılır. Buralara dolduktan sonra daha dar ve ince kesitlere nüfuz eder. Malzemenin yol alışı esnasında delik oluşturan bir birim, oyuk çıkaran bir erkek parçaya rastladığında türbülans olayı yaşanır ve akış bölünür. Akış esnasında oluşan türbülans akışın bölünmesine ve oluşan izin akış yolunun sonuna kadar taşınmasına sebep olabilir. Bu olay sonucu yüzeyde dalgalı bir görüntüye sebep olur. Aynı olay yolluk girişinde de yaşanabilir. Besleme ağzından giren akışkan kalıp duvarına dikey çarptığında dalgalı bir görüntü oluşabilir. Yandan ürün besleme ağzı kullanılarak bu görüntü bozukluğu azaltılabilir yada tünel tipi besleme ağzıyla parçanın görüntüsünü etkilemeyeceği bir bölgesine taşınır. Akış izi proses ayarlamalarıyla giderilmesi zordur. Bu nedenle ürün ve kalıp tasarımı esnasında önlem alınmalıdır. enjeksiyon basıncının yeniden ayarlanması, enjeksiyon hızının artırılması, nozul ağzının büyütülmesi, kalıp sıcaklığının artırılması, parça girişinin büyütülmesi gibi önlemler alınabilir. Kalıp tasarımında boşluk girişi yeniden düzenlenebilir.

6.1.2 Yeterli Olmayan Akış Menzili

Muhtemel çözümler enjeksiyon basıncını arttırmak, plastik sıcaklığını arttırmak nozul sıcaklığını arttırmak, enjeksiyon hızını arttırmak, nozul ağzını büyütme, kalıp sıcaklığını arttırmak ve parça girişini büyütme. [Rosato, 1995]

6.1.3 Çöküntüler

Malzeme yeterince kurutulmamışsa, özellikle et kalınlığı fazla olan parçaların içerisinde boşlukların oluşmasına neden olabilir. Malzeme uçucu madde taşıyorsa veya gaz oluşumu varsa boşluklar oluşabilir. Akışkanlığı fazla olan malzemenin kullanıldığı kalın parçalarda, kalıplama boşluğu içinde hapis olan hava boşluk oluşturur. Tutma basıncını ve zamanını arttırmak, nozul sıcaklığını arttırmak enjeksiyon hızını azaltmak, nozul ağzını büyütmek, kalıp sıcaklığını azaltmak, parça girişini büyütmek, soğuma süresine azaltmak çözüm yöntemi olabilir.

6.1.4 Yanık İzleri

Bir parçanın bir bölgesinde siyahlaşma sararma varsa ilk yapılacak iş kalıptaki havanın dışarı atılması durumu incelenmesidir. Kalıba giren plastik malzeme tarafından sıkıştırılan ve çıkamayan hava çok yüksek sıcaklıklara kadar çıkar ve plastik oksidasyon reaksiyonuna girer ve yüzeyde siyah bir iz bırakır. Bu şekilde üretime devam edildiği takdirde metal yüzeyinde oksitlenme sonucu hasar yapacaktır. Kalıbın temas yüzeyleri iyice parlatılır ve tampon pimleri düzgün bir şekilde yapılırsa havanın tahliyesi engellenmiş olur. Bu nedenle temas yüzeyleri çok iyi parlatılmayıp kalem izleri bırakılmalıdır. Bu problemi önlemek için plastiğin giriş sıcaklığını düşürme, kalıbın içindeki keskin geçişleri yuvarlatma, enjeksiyon hızını düşürme, nozul ağzını büyütmek parça girişini büyütme işlemleri yapılabilir.

6.1.5 Yüzey Lekesi

Plastik malzeme içerisindeki bir katkı maddesinde kullanılan pigmentin yüzeye çıkması veya yanığa neden olmasa da kalıp yüzeyiyle reaksiyona giren gazlanmış polimer, parça yüzeyinde lekeler oluşturabilir. Plastik giriş sıcaklığını arttırmak, nozul sıcaklığını arttırmak, enjeksiyon hızını azaltmak, kalıp sıcaklığını arttırmak, kalıbı parlatmak, köşeleri kırmak, parça giriş büyüklüğünü arttırmak gibi önlemler alınabilir.

6.1.6 Birleşme İzleri

İki veya daha çok akış hattının birleştiği ve kaynaştığı yerde oluşan çizgilere birleşme izleri denir. Kalıpta birden fazla besleme ağzı, delik çıkaran pimler yada maçalar varsa birleşme izi olacaktır. Birleşme izleri görüntünün önemli olduğu yerlerde derin ve uzun çizgiler halinde belirebilir. Birden fazla besleme ağzının olması birleşme izlerinin sayısını çoğaltır. Bu durumda en iyi çözüm yolu sıcak yolluk kullanmaktır. Birleşme izleri mukavemet sorunlarına da yol açar. Kalıba giren malzeme eğer birleşme tam gerçekleşmeden donuyorsa bu izi yapabilir. Birleşme izlerinin azaltılması için kalıp sıcaklığının yükseltilmesi kadar hızlı enjeksiyonda önemli bir rol oynar.

6.1.7 Dalgalı Yüzeyler

Genelde düzensiz yarım daireler şeklinde olan izlerdir. Bunun nedeni basınç eksikliği sonucu malzemenin kalıp yüzeyinin şeklini almamamsıdır. Kalıp yolluk kanallarının kısaltılması, genişletilmesi, parlatılması gibi önlemler alınabilir. enjeksiyon hızını arttırmak, tutuş basıncı ve zamanını arttırmak, kalıp sıcaklığını düşürmek, kuru malzeme kullanmak olası çözümler olabilir.

6.1.8 Kalıptan Çıkarken Çarpılma

Bir parça çarpılmış olarak kalıptan çıkıyorsa bunun nedeni yetersiz soğuma veya soğutma zamanıdır. Parçalar mutlaka kullanılan plastik malzemenin ısı çarpılma sıcaklığının altında soğutulmalıdır. Aksi takdirde yeterince soğumamış yüzeye vuran itici pimler parçanın çarpılmasına neden olur.

6.1.9 Sonradan Oluşan Çarpılma

Parçanın kalıptan çıktıktan kısa bir süre sonra yada uzun bir süre sonra çarpılması iç gerilmeler veya malzemenin çekmesinin sonucunda oluşur. Ürün

tasarımında farklı et kalınlıkları, farklı soğumalar neticesinde parça çarpılacaktır. Yanlış yerleştirilmiş federlerde çarpılmaya yol açabilirler. Çarpılmanın bir nedenide parçadaki farklı malzeme çekmesindendir. Malzeme kalıba girdikten sonra karşılaştığı soğuk kalıp duvarı üzerinde bir film tabakası yaparak donar. Kesit daraldıkça akış yönünde bir kayma gerilmesi oluşacak molekül zinciri fazladan gerilecektir. Çarpılmayı önlemek için farklı soğuma yapılmalıdır.

6.1.10 Çapaklı Ürün

Genellikle kalıp temas yüzeylerinde, itici pimlerin çevrelerinde veya parçanın herhangi bir yerinde çapak olarak adlandırılan malzemenin taşmasının bir çok nedeni vardır. Çapak oluşması kalıp veya makinadan kaynaklandığı gibi plastik parçanın ve kalıbın iyi tasarlanmamış olmasından da kaynaklanabilir. Makinanın kapama gücünün yetersiz kalması çapağa neden olabilir. Isıtıcı rezistanslara kumanda eden termokupulların arızalanması, vidanın hızlı yada gereğinden uzun süre dönmesi sonucu oluşan mekanik sürtünme kökenli ısınma sonucu plastik malzemenin sıcaklığının istenilenden fazla yükselmesinin doğurduğu düşük viskozite, kalıp temas yüzeylerinden malzemenin sızmasına neden olur. Ürün besleme ağızlarının geniş tutulması, plastik eriyik sıcaklığının ve gerekli enjeksiyon basıncının düşürülmesinde etkin olacaktır. Çapak oluşmaması için enjeksiyon şartlarının dengeli ayarlanması gerekir. Malzeme sıcaklığını yükselterek viskozitesinin azaltılması sonucu kalıp içerisinde gereğinden fazla basınç oluşur. Basınç, kapama gücünü aşarsa çapaklanma başlar. Bu durumda enjeksiyon basıncı azaltılmalı veya sıcaklık düşürülmelidir.

6.1.11 Eksik Ürün

Eksik ürün elde etmenin birçok nedeni olabilir. İlk bakılması gereken şey makinanın enjeksiyon grubunun güçlü olup olmadığı, malzeme akışkanlığının yeterince sağlanıp sağlanmadığı ve kalıbın tamamen dolmasını engelleyen karşı bir basıncın veya engelin varlığıdır. Kalıp içerisinde oluşan ve parçanın tamamen şekillenmesine karşı koyan bir iç basınç genellikle hava veya gazın sıkışıp

kalmasındandır. Hava tamamen sıkışıp kalıyor ve hiçbir şekilde kaçamıyorsa, eksik ürün verme olayının yanında yanık izinin oluşmasında kaçınılmazdır. Ancak bazen havanın yavaş bir sızma şeklinde kaçması durumunda yanma oluşmaz fakat malzeme bu sırada donduğu için kalıbın dolması gerçekleşmez. enjeksiyon basıncının artırılmasıyla tam doldurma gerçekleştirilebilir. Ancak bu ürün besleme ağızı çevresinde kalıcı gerilmelere yol açacağından iyi bir yöntem değildir. Bunun yerine enjeksiyon hızı artırılmalıdır. Veya kalıp sıcaklığı düşürülmelidir. [Birinci, 1997]

6.1.12 Jetting

Bakı yüzeyinde kaba ve mat izler görülür. Fıskırtma (jetting) renkte ve parlaklıkta farklılığa neden olur. Fiziksel nedeni fişkırtmanın normal plastik akışından farklı olmasıdır. Sicim şeklinde oluşmuş plastik, yolluk geçidinden başlayarak kontrolsüz bir hareketle kalıp boşluğuna girer ve arkadan gelen plastik ile homojen olarak karışmaz Bu durum sıkça uzun parçaların yüksek enjeksiyon hızıyla dolması durumunda oluşur. Önlenmesi için kavite giriş pozisyonunun uygun tasarlanması gerekir. [Turaçlı, 1999]

6.2 Plastik Malzemedan Dolayı Oluşan Hatalar

Çökeltilerin sebebi, plastik malzemenin nemli olmasından kaynaklanır. Akış çizgilerinin sebebi ise malzemenin nemli ve pis olmasıdır. Bu aynı zamanda kırılganlığa da neden olabilir. Yüzey lekelerinin sebebi, granüllerin pis ve büyüklüklerinin aynı olmamamsıdır. Büzülmenin sebebi ise nemli ve farklı büyüklükteki granüller ile ön ısıtmadaki ısı farklarıdır.

6.3 Kalıp ve Kalıp Tasarımından Dolayı Oluşan Hatalar

Yanlış parça girişi yerleştirme sonucunda üretilen parçada kaynak çizgileri, akış çizgileri, jetting, hava girişi, delik, oluşumu, çarpılma, boşlu ve çökelmeler meydana gelir. Parça girişinin ve yollukların çok dar olması, kısa akış mesafesi,

plastığın çok ısınması, yollukların erken donması, çökelti ve boşluklara neden olur. Yollukların çok büyük olması, uzun kalıplama çevrimi, artık malzeme artışı ve basınç kayıplarına neden olur. Çok kaviteli kalıplarda iyi merkezlenmemiş kaviteler kalıpta bozulmaya yol açar. Eşit olmayan kalıp soğutması, kalıp çevriminin uzun olmasına, yüzey bozukluğuna ve bozulmalara yol açar.

6.4 Enjeksiyon Makinasından Kaynaklanan Hatalar

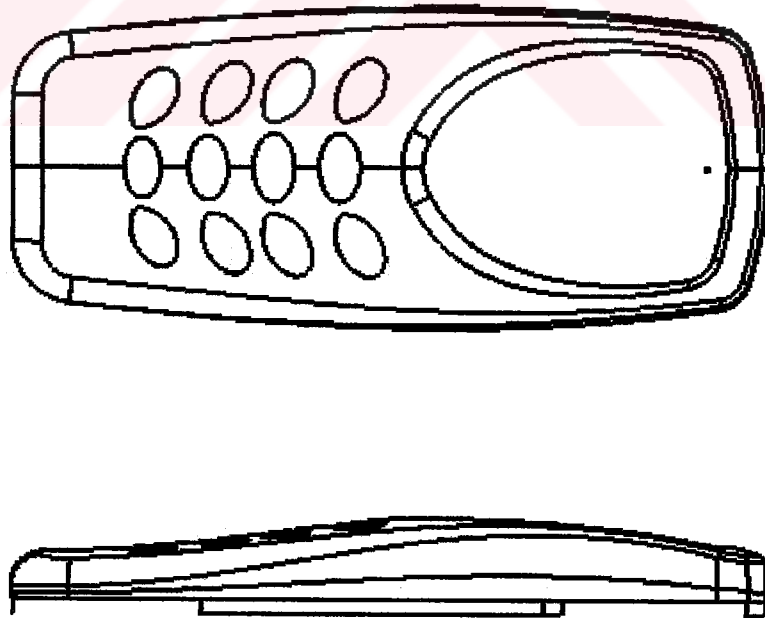
Enjeksiyon makinasından kaynaklanan hatalar:

- Eksik ürün elde edilmesi
- Çapak meydana gelmesi
- Yollukta renk bozulmasının olması
- Parça üzerinde meydana gelen çukurlar
- Boyutsal ölçülerde meydana gelen yanlışlıklar

7. PLASTİK ENJEKSİYON ANALİZİ

Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalarda gerek tasarımdan gerekse işlem şartlarından meydana gelen sebepler nedeni ile hatalı ürünler elde edilebilir. Bu hatalar parçaların üretiminden sonra anlaşıldığı için zaman işçilik ve en önemlisi maliyet açısından çeşitli sıkıntılar doğurur. Bunları önlemek için plastik enjeksiyon kalıbının tasarımından ve enjeksiyon işleminden önce çeşitli bilgisayar programları yardımıyla simülasyon ve analizler yapmak faydalı olacaktır. Bu analizler ve simülasyonlar ile kalıbın dolup dolmadığı, oluşan parçada çarpılma veya çekme olup olmadığı, ütülemenin ne gibi etkilerinin olabileceği görülebilir.

Bu çalışmada aşağıda şekli görünen 145 mm x 60mm x 20 mm boyutlarındaki cep telefonu kapağındaki çarpılma durumları incelenmiştir. Analizler Moldflow 4.0 programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1 Cep telefonu kapağı üstten ve yandan görünüşü



Şekil 7.2 Cep telefonu kapağının 3 boyutlu görünüşü

Cep telefonu CATIA V5R12 de tasarlanmıştır. Ve IGES ile Moldflow ortamına taşınmıştır. Şekil 7.2 de telefonun CATIA ortamındaki görüntüsü yer almaktadır

7.1 Çarpılma Analizi

Çarpılma analizinde yukarıda görünen cep telefonu kullanılmıştır. Ayrıca bu cep telefonunun üç farklı kalınlığında analizler yapılmıştır. Cep telefonunun yapımında kullanılan malzemeler 5 farklı malzemedir.

Ming-Chih Huang ve Ching-Chih Tai nin 1999 yılında yayınlamış oldukları bir çalışmada ince cidarlı parçalarda çarpılmaya etki eden en önemli faktörlerinin ütüleme basıncı, kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, ütüleme zamanı olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada üstünde durulan ortam şartları da yukarıda belirtilen dört parametredir. Bu parametrelerde değişiklik yaparak her üç kalınlık ve her plastik malzeme için analizler gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar analizlerinde Moldflow programında kullanılan mesh tipi Midplane meshtir. Kullanılan mesh eleman sayısı 5318 dir.

Yukarıda belirtilen makalede çarpılma üzerinde etkili olan en önemli etkenler arasında soğutma sistemi olmadığı için, analizlerde soğutma sistemine ait olan değerler moldflow programının varsayılan değerleridir. Bu değerler:

Soğutma kanalı çapı: 10 mm

Soğutma kanalının parçadan olan uzaklıkları: 25 mm

Kanal sayısı:2

Kanal merkezleri arasındaki uzaklık: 30 mm

7.1.1 Cidar Kalınlıkları

1. 0,9 mm

2. 1 mm

3. 1,1 mm

7.1.2 Kullanılan Malzemeler

1. ABS - Cycolac EP (GE Plastics Europe)

Tablo 7.1 Cycolac EP'nin fiziksel özellikleri

<u>Cycolac EP'nin Fiziksel Özellikleri</u>	
Malzeme Yapısı	Amorf
Elastik modülü	2240 MPa
Poisson Oranı	0,392
Kesme (shear) Modülü	805 MPa
Özgül Isı	2100 J/kg°C
Isıl iletkenlik	0,24 W/m°C
Eriyik Yoğunluğu	0,93305 g/cm ³
Katı yoğunluğu	1,0541 g/cm ³

2. ABS+PC – Cycloy C1200 (GE Plastics USA)

Tablo 7.2 Cycloy C1200'ün fiziksel özellikleri

<u>Cycloy C1200'ün Fiziksel Özellikleri</u>	
Malzeme Yapısı	Amorf
Elastik modülü	2780 MPa
Poisson Oranı	0,41
Kesme (shear) Modülü	986 MPa
Özgül Isı	1990 J/kg°C
Isıl iletkenlik	0,28 W/m°C
Eriyik Yoğunluğu	0.96861 g/cm ³
Katı yoğunluğu	1.1161 g/cm ³

3. PC – Lexan 105 (GE Plastics USA)

Tablo 7.3 Lexan 105'in fiziksel özellikleri

<u>Lexan 105'in Fiziksel Özellikleri</u>	
Malzeme Yapısı	Amorf
Elastik modülü	2280 MPa
Poisson Oranı	0,417
Kesme (shear) Modülü	805 MPa
Özgül Isı	1900 J/kg°C
Isıl iletkenlik	0,24 W/m°C
Eriyik Yoğunluğu	1.0433 g/cm ³
Katı yoğunluğu	1.1916 g/cm ³

4. ABS (%15 karbon fiber katkılı) - Electrafil J-1200/CF/15/VO/ND BK2089 (DSM Engineering Plastics (NA))

Tablo 7.4 Electrafil'in fiziksel özellikleri

<u>Electrafil'in Fiziksel Özellikleri</u>	
Malzeme Yapısı	Amorf
Elastik modülü	8489 MPa
Poisson Oranı	0,35
Kesme (shear) Modülü	1891 MPa
Özgül Isı	1877 J/kg°C
Isıl iletkenlik	0,333 W/m°C
Eriyik Yoğunluğu	1.1668 g/cm ³
Katı yoğunluğu	1.2819 g/cm ³

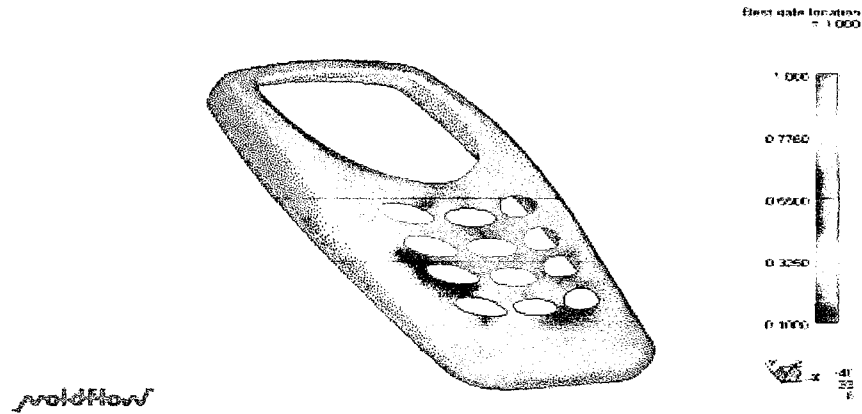
5. ABS+PC (%15 karbon fiber katkı) - Panlite BN-3120N (Teijin Chemicals)

Tablo 7.5 Panlite'in fiziksel özellikleri

<u>Panlite'in Fiziksel Özellikleri</u>	
Malzeme Yapısı	Amorf
Elastik modülü	7944.82 MPa
Poisson Oranı	0.4238
Kesme (shear) Modülü	4041.05 MPa
Özgül Isı	1965,8 J/kg°C
Isıl iletkenlik	0,363 W/m°C
Eriyik Yoğunluğu	1.1029 g/cm ³
Katı yoğunluğu	1.257 g/cm ³

7.1.3 Giriş Noktasının Bulunması

Yapılacak analizlerde malzemenin parçaya nereden verilmesi gerektiğinin belirlenmesi amacıyla moldflow'da best gate location analizi yapılmıştır. Bu analizin sonucu aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Moldflow analiz programına göre en uygun giriş noktası

7.1.4 Kullanılan Parametreler

Çarpılma analizinde kullanılan parametrelerin ütüleme basıncı, ütüleme zamanı, eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı olduğu belirtilmişti. Analizlerde kullanılan parametrelere ait değerlerde aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.6 Analizlerde kullanılan parametrelerin değerleri

	Kalıp Sıcaklığı (C°)	Eriyik Sıcaklığı (C°)	Ütüleme Basıncı (MPa)	Ütüleme Zamanı (sn)
1	60	274	20	10
2	73.5	287	25	15
3	87	300	30	20

Bu tabloda kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı için olan 1. Ve 3. değerler ABS+PC (Cycloy C1200) için moldflow tarafından önerilen maksimum ve minimum sıcaklık değerleridir. Tablodaki 2. değer ise bu iki değer ortalamasıdır. Ütüleme basıncının 1. değerine ABS malzeme (Cycloc EP) için yapılan akış analizinde maksimum enjeksiyon basıncı olarak ulaşılmıştır. 2. ve 3. değerlerde bu değerden elde edilmiştir. Aynı şekilde ütüleme zamanı için kullanılan 1. değer ABS malzeme için yapılan analizlerden elde edilmiştir.

Yapılan analizler taguchi çizelgesine göre yapılmıştır. Taguchi çizelgesi:

Tablo 7.7 Kullanılan Taguchi Çizelgesi

Analiz	Kalıp Sıcaklığı	Eriyik Sıcaklığı	Ütüleme Basıncı	Ütüleme Zamanı
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2	1	1	2
11	2	1	2	3
12	2	1	3	1
13	2	2	1	3
14	2	2	2	1
15	2	2	3	2
16	2	3	1	1
17	2	3	2	2
18	2	3	3	3
19	3	1	1	3
20	3	1	2	1
21	3	1	3	2
22	3	2	1	1
23	3	2	2	2
24	3	2	3	3
25	3	3	1	2
26	3	3	2	3
27	3	3	3	1

Bu çizelgeye göre analizler ve analizlerde kullanılan değerler:

Tablo 7.8 Kullanılan değerlerin taguchi çizelgesindeki yerleri

Analiz	Kalıp Sıcaklığı (C°)	Eriyik Sıcaklığı (C°)	Ütüleme Basıncı (MPa)	Ütüleme Zamanı (sn)
1	60	274	20	10
2	60	274	25	15
3	60	274	30	20
4	60	287	20	15
5	60	287	25	20
6	60	287	30	10
7	60	300	20	20
8	60	300	25	10
9	60	300	30	15
10	73.5	274	20	15
11	73.5	274	25	20
12	73.5	274	30	10
13	73.5	287	20	20
14	73.5	287	25	10
15	73.5	287	30	15
16	73.5	300	20	10
17	73.5	300	25	15
18	73.5	300	30	20
19	87	274	20	20
20	87	274	25	10
21	87	274	30	15
22	87	287	20	10
23	87	287	25	15
24	87	287	30	20
25	87	300	20	15
26	87	300	25	20
27	87	300	30	10

Yukarıdaki tabloda yer alan değerler her malzeme için üç kalınlık için de ayrı ayrı kullanılmıştır.

7.2 Analiz Sonuçları

Moldflow'da yapılan çarpılma analizleri sonucunda dört adet çarpılma sonucu bulunmuştur. Bunlar:

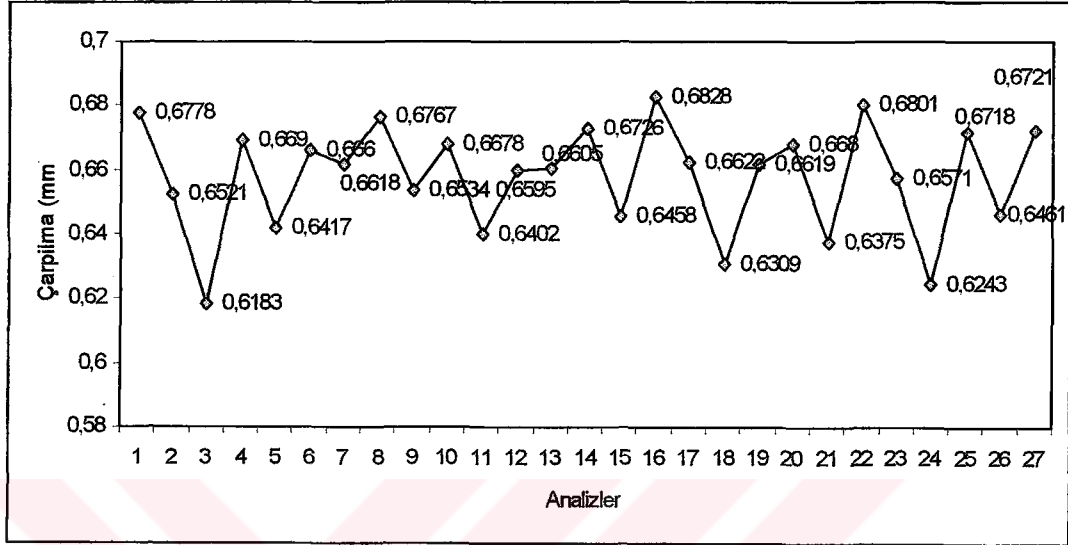
- a) Toplam Çarpılma
- b) X Eksenli Boyunca Çarpılma
- c) Y Eksenli Boyunca Çarpılma
- d) Z Eksenli Boyunca Çarpılma

Bu çalışmada bu değerlerde toplam çarpılma değeri üzerinde durulmuştur.



7.2.1 ABS

a) 0.9 mm kalınlık:



Şekil 7.4 0.9 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tabloda ABS malzeme, 0,9 mm cidar kalınlığı için analiz sonuçlarının değişimi görülmektedir. Parçadaki en yüksek çarpılma değeri 0,6828 mm dir. Bu değere de onaltıncı analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.5’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

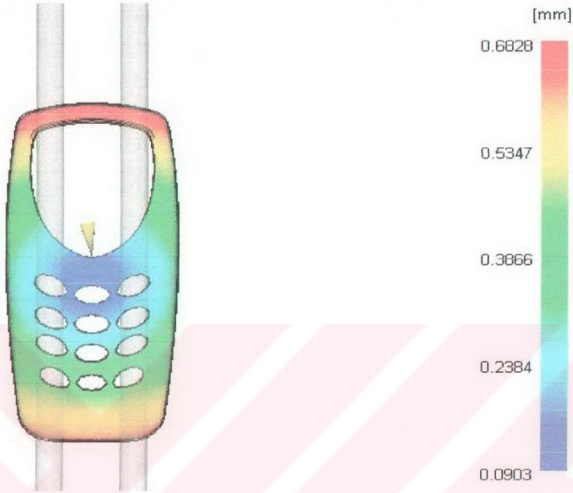
Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C
Eriyik sıcaklığı = 300 °C
Ütuleme basıncı = 20 MPa
Ütuleme Zamanı = 10 sn

Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,6183 mm dir. Bu değere de üçüncü analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.6’da görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

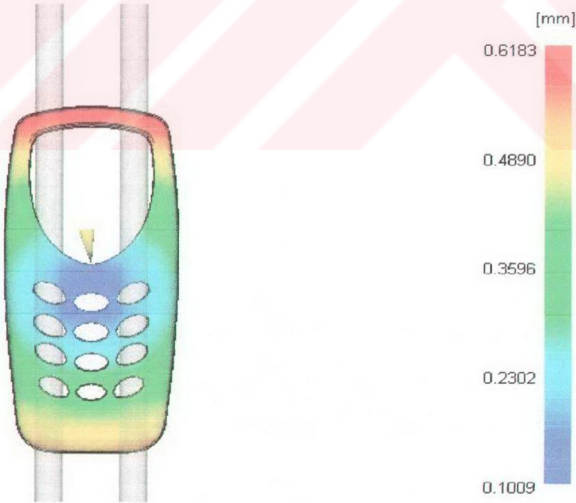
Kalıp sıcaklığı = 60 °C
Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

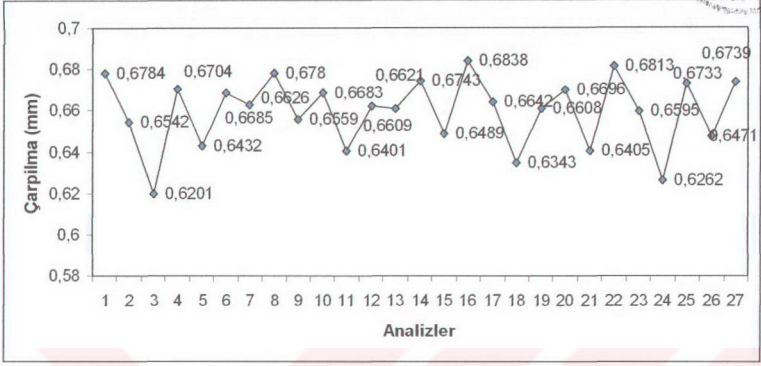


Şekil 7.5 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.6 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

b) 1mm kalınlık



Şekil 7.7 1 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tabloda ABS malzeme, 1 mm cidar kalınlığı için analiz sonuçlarının değişimi görülmektedir. Parçadaki en yüksek çarpılma değeri 0,6838 mm dir. Bu değere de onaltıncı analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.8’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme Zamanı = 10 sn

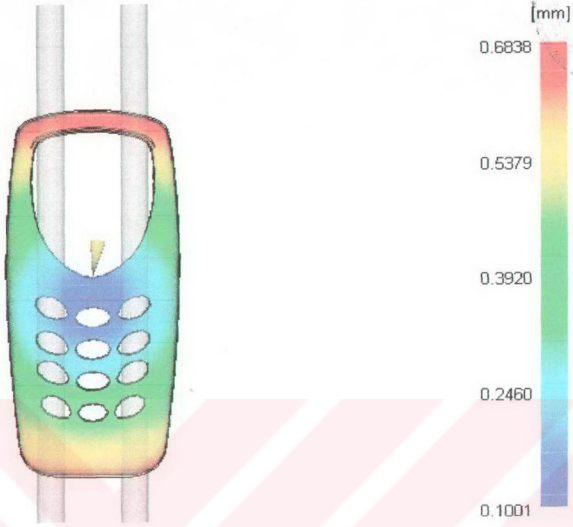
Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,6201 mm dir. Bu değere de üçüncü analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.9’da görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

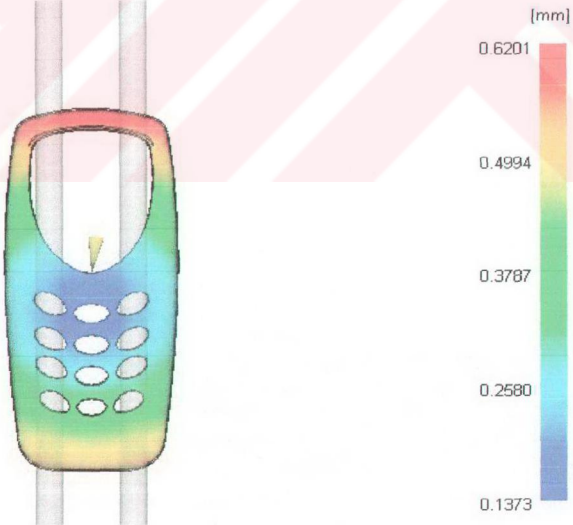
Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

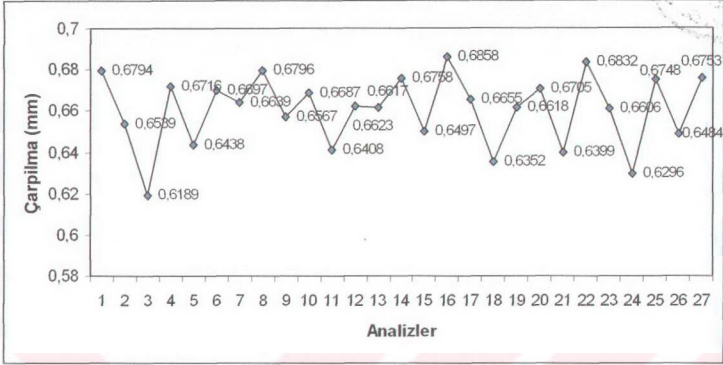


Şekil 7.8 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.9 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

c) 1,1 mm kalınlık



Şekil 7.10 1,1 mm kalınlığında ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS malzeme, 1,1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,6858 mm dir. Bu değere de onaltıncı analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.11’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme Zamanı = 10 sn

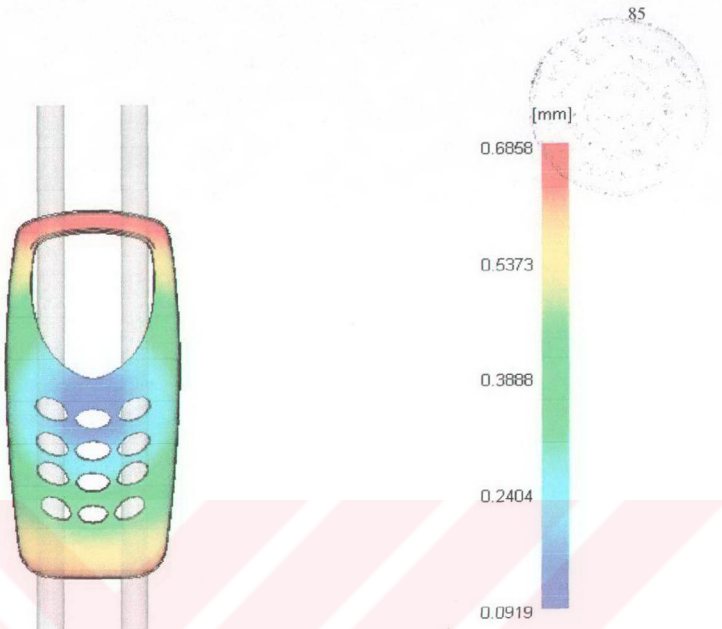
Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,6189 mm dir. Bu değere de üçüncü analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.12’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

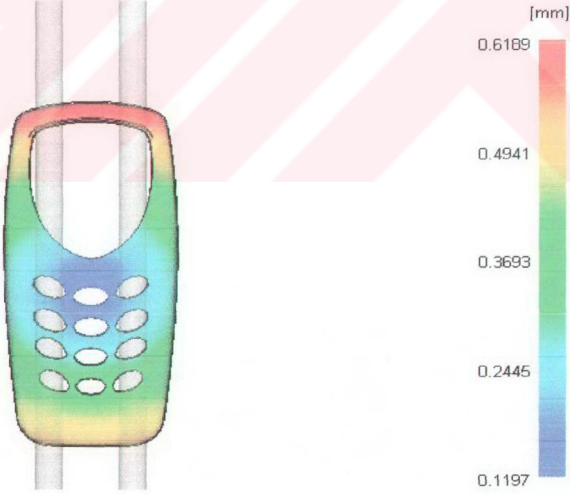
Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn



Şekil 7.11 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.12 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

7.2.1.1 Sonuçlar

ABS malzeme için yapılan analizlerde her üç kalınlık içinde çarpılmanın en küçük olduğu dört durum sırasıyla:

a) 3. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

b) 24. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

c) 18. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

d) 21. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 15 sn

Her üç kalınlık içinde çarpılma değerinin en yüksek olduğu dört durum ise:

a) 16. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

b) 22. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

c) 1. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

d) 8. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 25 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

Bu değerlerden de anlaşıldığı üzere çarpılmanın en düşük olduğu durumlar ütuleme basıncının ve zamanının en yüksek olduğu değerler olan 30 MPa ve 20 saniye değerlerinde gerçekleşiyor. En büyük çarpılma değerlerine bakacak olursak; en yüksek değerler, ütuleme basıncının ve ütuleme zamanının en düşük olduğu değerler olan 20 MPa ve 10 sn de gerçekleşiyor. Bu sonuçlar ışığında çarpılmanın, ütuleme basıncının ve ütuleme zamanının arttıkça azaldığını söyleyebiliriz.

Her bir kalınlığın maksimum ve minimum çarpılma miktarlarını karşılaştıracak olursak:

0.9 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 0,6183 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,6828 mm

1 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 0,6201 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,6838 mm

1,1 mm kalınlık için:

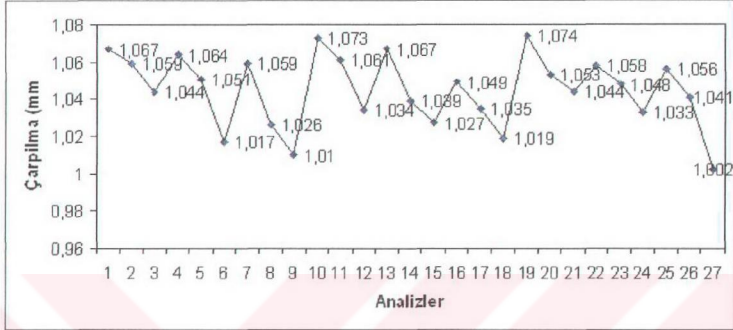
Minimum çarpılma değeri = 0,6189 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,6858 mm

Görüldüğü üzere her bir kalınlık için elde edilen maksimum çarpılma değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. 0,9 mm ve 1,1 mm kalınlık değerleri için minimum çarpılma miktarları arasındaki fark 0,0006 mm dir. Bu değer oldukça küçük bir değerdir. Çarpılmalar arasındaki farkın bu kadar az olmasının nedeni parçanın boyutlarının küçük olmasındandır. Üç kalınlık dahilinde en düşük çarpılma 0.9 mm kalınlığa sahip olan parçada gözlenmektedir. Daha sonra ise 1,1 mm kalınlık ve 1mm kalınlık gelmektedir.

7.2.2 ABS+PC

a) 0,9 mm kalınlık



Şekil 7.13 0.9 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS+PC malzeme, 0,9 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 1,074 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.14'de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

Görülen en düşük çarpılma değeri de 1,002 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu 7.15'de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

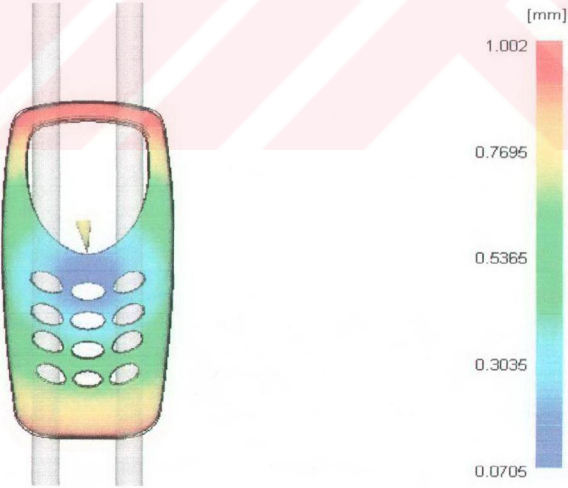
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

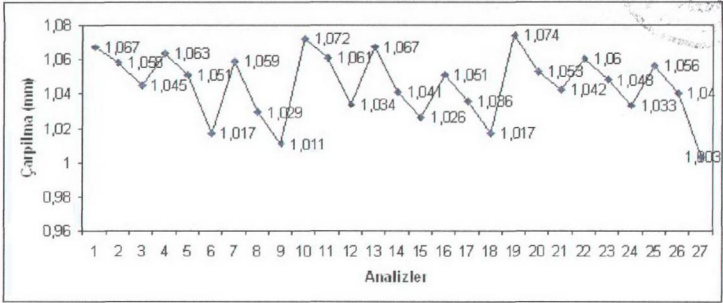


Şekil 7.14 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.15 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

b) 1mm kalınlık



Şekil 7.16 1 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS+PC malzeme, 1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 1,074 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.17’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

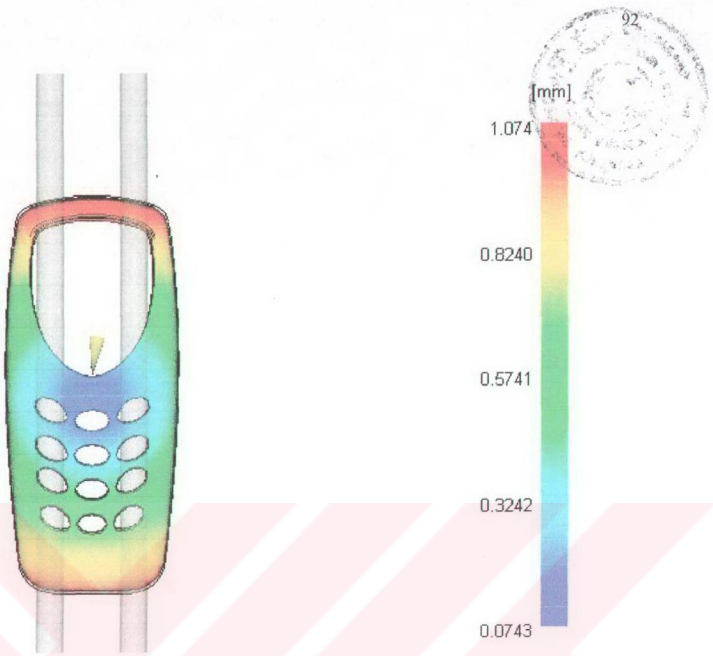
Görülen en düşük çarpılma değeri de 1,003 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.18’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

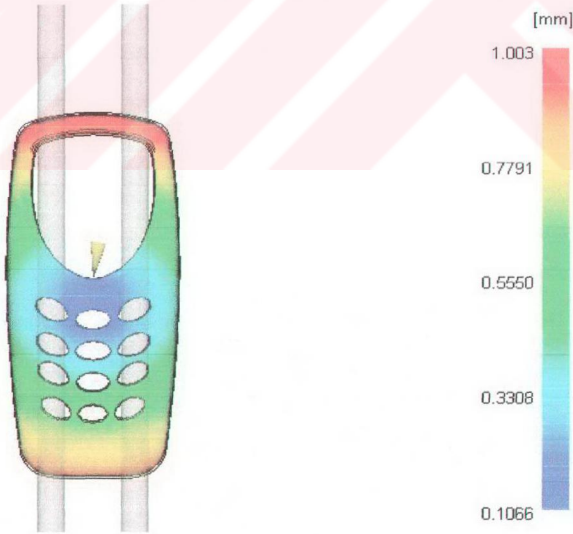
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

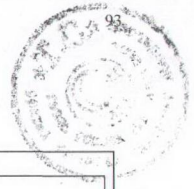
Ütuleme zamanı = 10 sn



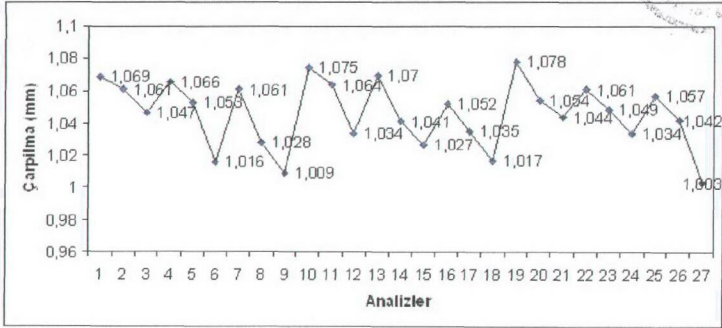
Şekil 7.17 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.18 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri



c) 1,1 mm kalınlık



Şekil 7.19 1,1 mm kalınlığında ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS+PC malzeme, 1,1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 1,078 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.20’de gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütüleme basıncı = 20 MPa

Ütüleme zamanı = 20 sn

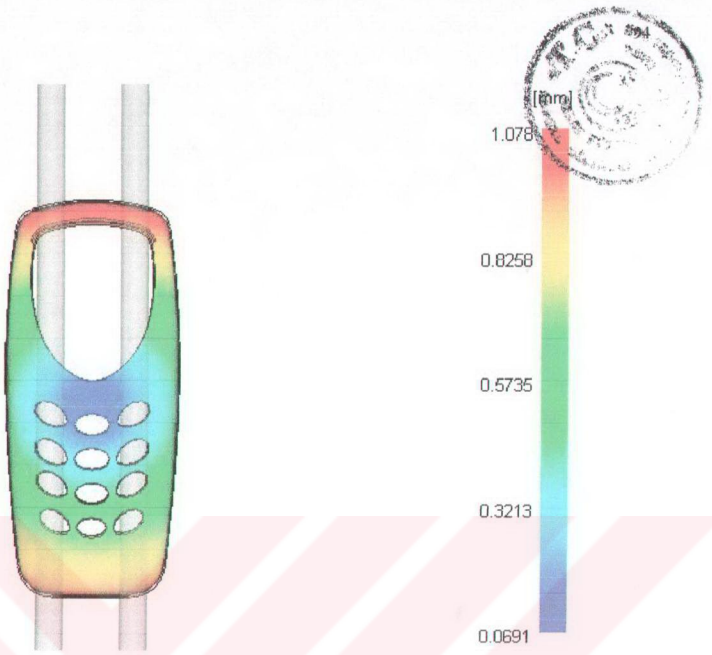
Görülen en düşük çarpılma değeri de 1,003 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Şekil 7.21’de gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

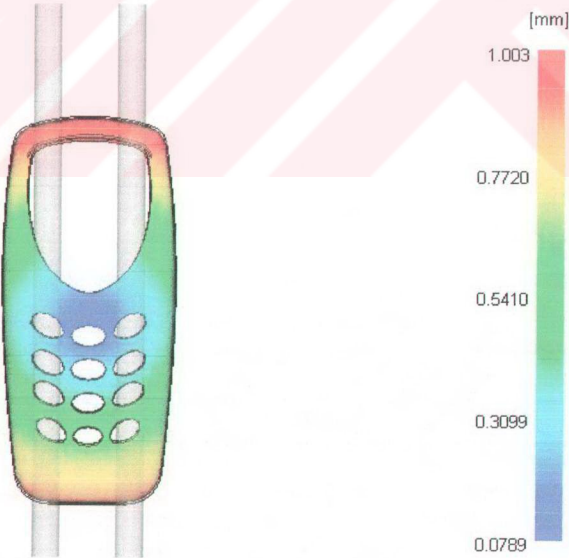
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütüleme zamanı = 10 sn



Şekil 7.20 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.21 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri



7.2.2.1 Sonuçlar

ABS+PC malzeme için yapılan analizlerde her üç kalınlık içinde çarpılmanın en küçük olduğu dört durum sırasıyla:

a) 27. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütüleme zamanı = 10 sn

b) 9. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütüleme zamanı = 15 sn

c) 6. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütüleme zamanı = 10 sn

d) 18. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütüleme zamanı = 20 sn

Çarpılmanın en yüksek olduğu beş durum ise:



a) 19. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

b) 10. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 15 sn

c) 13. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

d) 1. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

e) 4. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 15 sn

Bu değerlerden de anlaşıldığı üzere çarpılmanın en düşük olduğu durumlar ABS malzemede olduğu gibi yine ütöleme basıncının en yüksek olduğu değer olan

30 MPa da gerçekleşiyor. En büyük çarpılma değerlerine bakacak olursak; bu durum, ütüleme basıncının en düşük olduğu değer olan 20 MPa da gerçekleşiyor. Bu nedenle çarpılmanın, ABS+PC malzeme için de, ütüleme basıncı arttıkça azaldığını söyleyebiliriz. Eriyik sıcaklığı parametremize bakacak olursak ise bu değer yüksek olması çarpılma üzerinde daha olumlu bir etki yaptığını görüyoruz. Çarpılmanın en düşük olduğu analiz şartlarına bakarsak bu analizde eriyik sıcaklığının en üst seviyede olduğunu görmekteyiz.

Her bir kalınlığın maksimum ve minimum çarpılma miktarlarını karşılaştıracak olursak:

0,9 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 1,003 mm

Maksimum çarpılma değeri = 1,074 mm

1 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 1,003mm

Maksimum çarpılma değeri = 1,074 mm

1,1 mm kalınlık için:

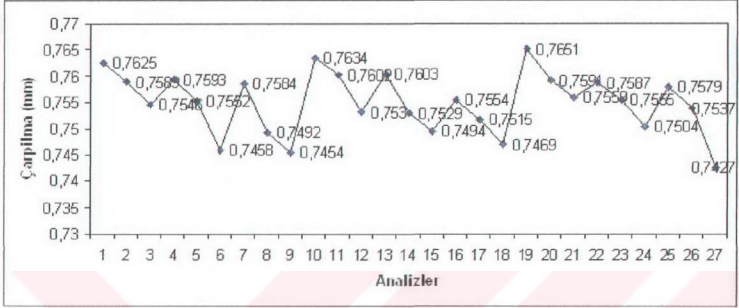
Minimum çarpılma değeri = 1,003 mm

Maksimum çarpılma değeri = 1,078 mm

Yukarıdaki değerlere baktığımızda maksimum çarpılmanın minimum olduğu kalınlık 1mm dir. Daha sonra gelen kalınlıklarsa sırası ile 0,9 mm ve 1.1 mm dir. Fakat bu iki kalınlık arasındaki çarpılma farkı değeri 0,001 gibi çok küçük bir değerdir. Minimum çarpılmaya bakarsak ise üç kalınlığında çarpılma değerinin aynı olduğunu görmekteyiz. Kısaca ABS+PC malzeme ile üretilen parçada kalınlık değişiminin mevcut koşullar için değişmediğini görmekteyiz.

7.2.3 PC

a) 0,9 mm kalınlık



Şekil 7.22 0.9 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere PC malzeme, 0,9 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,7661 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.23'de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütüleme basıncı = 20 MPa

Ütüleme zamanı = 20 sn

Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,7427 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu şekil 7.24'de gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

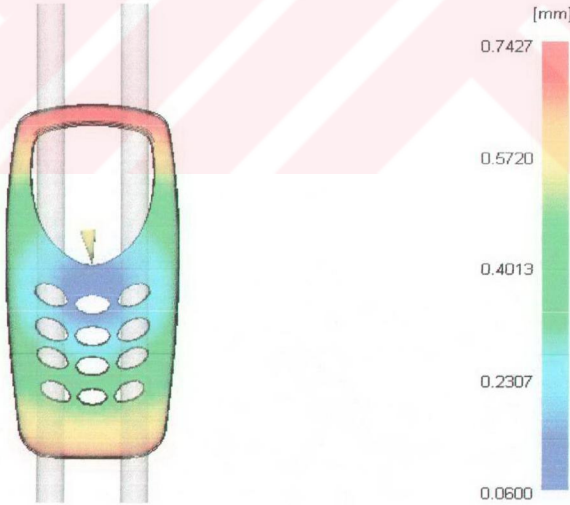
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütüleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

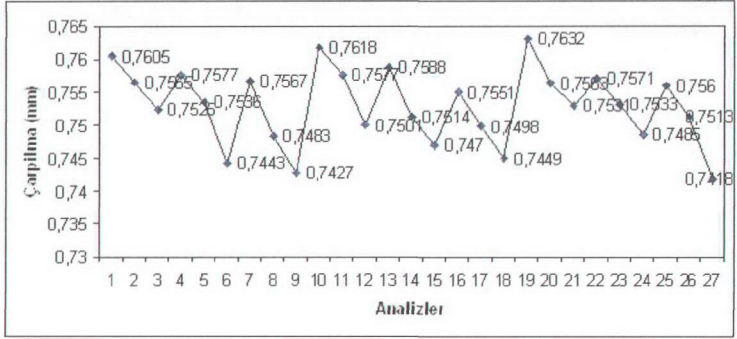


Şekil 7.23 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.24 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

b) 1mm kalınlık



Şekil 7.25 1 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere PC malzeme, 1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,7632 mm dir. Bu değere ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.26'da gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

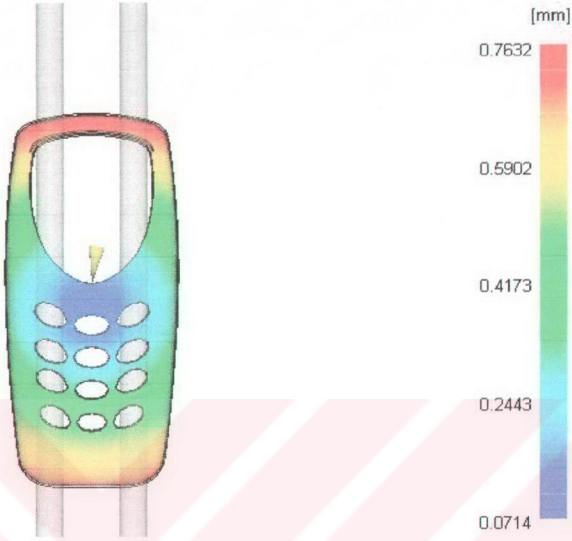
Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,7418 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.27'de gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

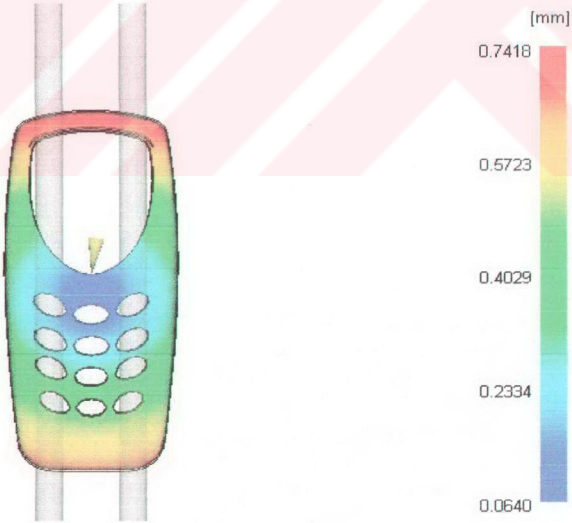
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

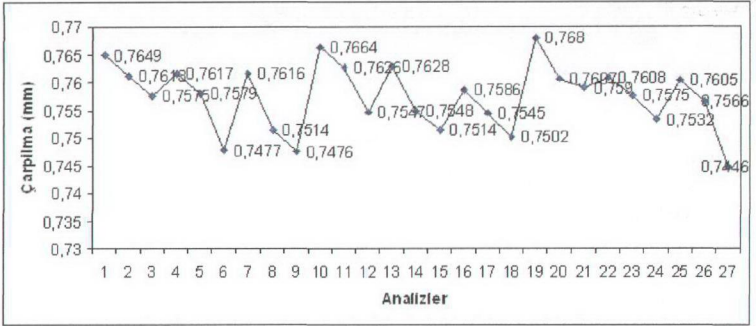


Şekil 7.26 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.27 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

c) 1,1 mm kalınlık



Şekil 7.28 1,1 mm kalınlığında PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere PC malzeme, 1,1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,768 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.29'da gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

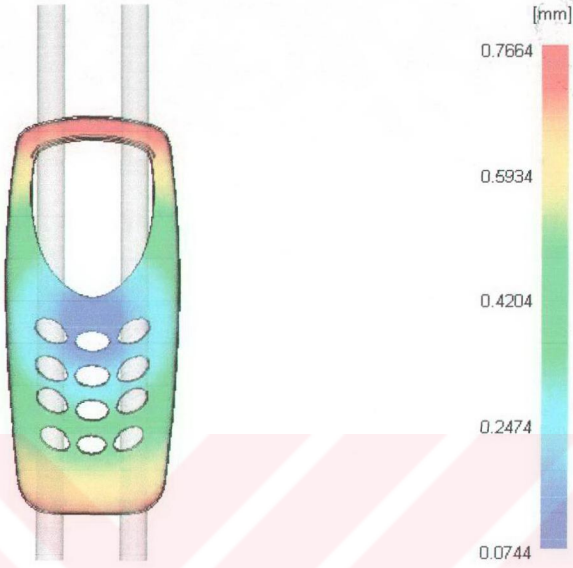
Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,7446 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.30'da gösterilmiştir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

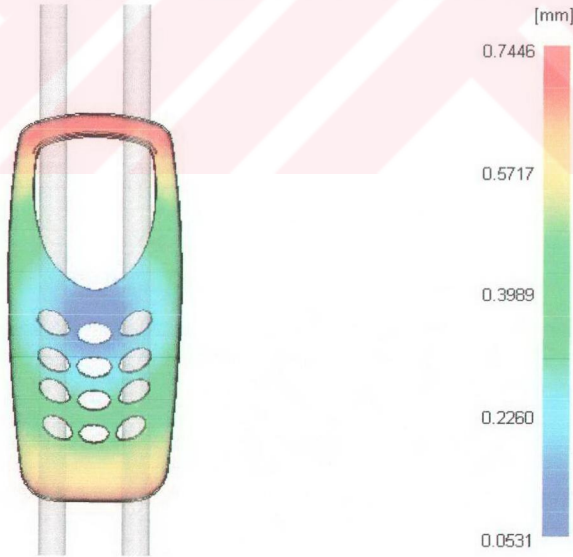
Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn



Şekil 7.29 Toplam Çarpılma Dağılımının En Yüksek Değeri



Şekil 7.30 Toplam Çarpılma Dağılımının En Düşük Değeri

7.2.3.1 Sonuçlar

PC malzeme için yapılan analizlerde her üç kalınlık içinde çarpılmanın en küçük olduğu dört durum sırasıyla:

a) 27. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

b) 9. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 15 sn

c) 6. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

d) 18. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

Çarpılmanın en yüksek olduğu dört durum ise:

a) 19. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

b) 10. Analiz:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

c) 1. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

d) 13. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

Bu değerlerden de anlaşıldığı üzere çarpılmanın en düşük olduğu iki durum ABS ve ABS+PC malzemelerde olduğu gibi yine ütöleme basıncının en yüksek olduğu değer olan 30 MPa da gerçekleşiyor. PC için ütöleme basıncının artmasının çarpılmayı azaltacağı sonucuna varırız. Eriyik sıcaklığını göz önünde bulunduracak olursak; yüksek eriyik sıcaklığı PC malzeme için çarpılma yönünde olumlu etki yarattığını görebiliriz. Ütöleme basıncı ve eriyik sıcaklıkları hakkında vardığımız yargıları destekleyen başka bir durum ise çarpılmanın maksimum olduğu durumlardır. Bu analizlerde ütöleme basıncı ve eriyik sıcaklığı en düşük seviyededir.

Her bir kalınlığın maksimum ve minimum çarpılma miktarlarını karşılaştıracak olursak:

0.9 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 0,7427 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,7651 mm

1 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 0,7418 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,7632 mm

1,1 mm kalınlık için:

Minimum çarpılma değeri = 0,768 mm

Maksimum çarpılma değeri = 0,7446 mm

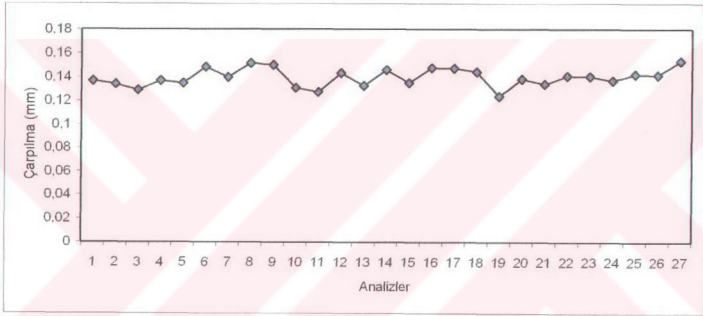
Yukarıdaki değerleri incelediğimizde PC 1mm kalınlık çarpılma açısından en iyi sonucu vermektedir.

Sonuç olarak her üç kalınlık için, üç malzemeye baktığımızda çarpılma problemi için en uygun malzemeler sırasıyla ABS, PC, ABS+PC dir. Sonuçlar ve öneriler bölümünde her bir malzeme ve kalınlık için elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir biçimde yorumlanmıştır.

7.2.4 Karbon Fiber Katkılı Malzemeler

ABS ve ABS+PC malzemelere %15 oranında karbon fiber eklenerek bu malzemelerin çarpılma durumları incelenmiştir. Bu iki tip malzeme içinde sadece 1mm kalınlığa sahip olan parçalarda çarpılma analizleri yapılmış ve aynı oranda karbon fiber içeren malzemenin hangisinin çarpılma açısından daha uygun olduğuna bakılmıştır.

7.2.4.1 ABS



Şekil 7.31 1 mm kalınlığında fiber katkı ABS malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS (%15 karbon fiber katkı) malzeme, 1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,1533 mm dir. Bu değere de yirmiyedinci analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.32’de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,1236 mm dir. Bu değere de ondokuzuncu analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.33'de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

%15 karbon fiber katkılı ABS malzeme için çarpılmanın en düşük olduğu dört durum sırasıyla

a) 19. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

b) 11. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 25 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

d) 3. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 20 sn

e) 10. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

Ütuleme zamanı = 15 sn

Çarpılmanın maksimum olduğu dört durum ise:

a) 27. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

b) 8. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 25 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

c) 9. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 15 sn

d) 6. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

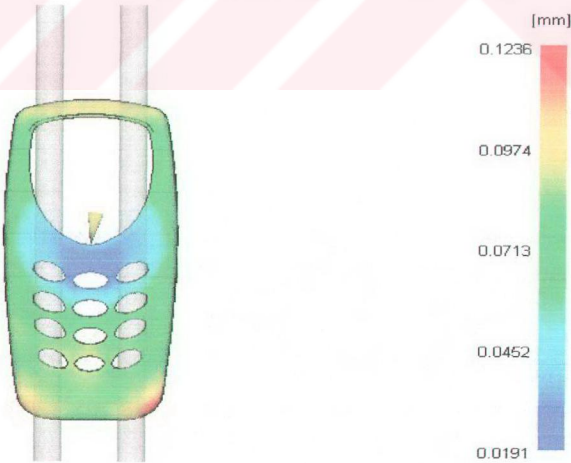
Ütuleme basıncı = 30 MPa

Ütuleme zamanı = 10 sn

Yukarıda elde edilen değerlere baktığımızda ütüleme zamanındaki artışın çarpılmayı azalttığını görmekteyiz. Ayrıca çarpılmanın en düşük olduğu değerlere bakarsak bu değerlerde eriyik sıcaklığı en düşük olduğu durumdadır. Ütüleme basıncı açısından bakacak olursak, çarpılmanın en düşük olduğu üç durumda ütüleme basıncı arttıkça çarpılma artmaktadır.

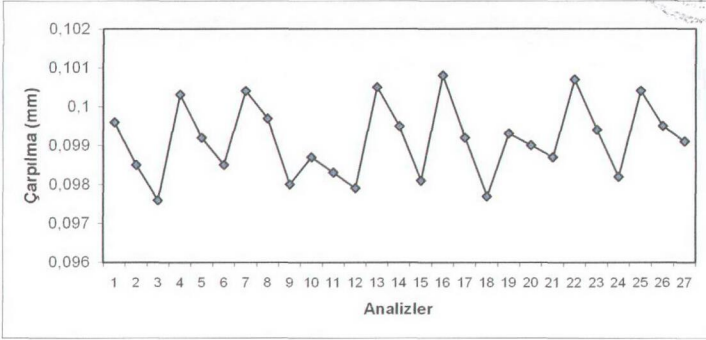


Şekil 7.32 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.33 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

7.2.4.2 ABS+PC



Şekil 7.34 1 mm kalınlığında fiber katkılı ABS+PC malzeme için toplam çarpılma değerleri

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı) malzeme için 1 mm cidar kalınlığı için parçada görülen en yüksek çarpılma değeri 0,1008 mm dir. Bu değere de onaltıncı analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.35 de görülmektedir. Bu analizde kullanılan parametreler:

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütuleme basıncı = 20 MPa

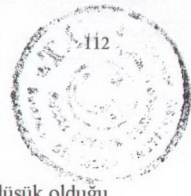
Ütuleme zamanı = 10 sn

Görülen en düşük çarpılma değeri de 0,0976 mm dir. Bu değere de üçüncü analiz durumunda ulaşılmıştır. Analizin sonucu Şekil 7.36'da görülmektedir. Bu analizdeki değerler:

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütuleme basıncı = 30 MPa



Ütöleme zamanı = 20 sn

%15 karbon fiber katkı ABS+PC malzeme için çarpılmanın en düşük olduğu dört durum sırasıyla

a) 3. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

b) 18. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

c) 12. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

d) 9. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütöleme basıncı = 30 MPa

Ütöleme zamanı = 15 sn

Çarpılmanın maksimum olduğu dört durum ise:

a) 16. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

b) 22. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 87 °C

Eriyik sıcaklığı = 274 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 10 sn

c) 13. Analiz

Kalıp sıcaklığı = 73,5 °C

Eriyik sıcaklığı = 287 °C

Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

d) 7. Analiz

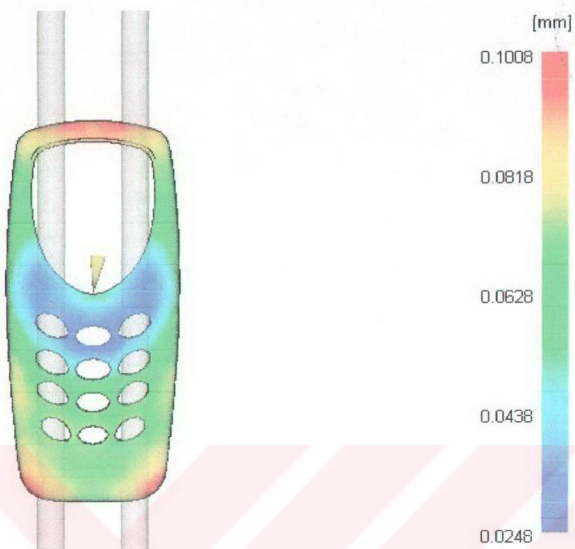
Kalıp sıcaklığı = 60 °C

Eriyik sıcaklığı = 300 °C

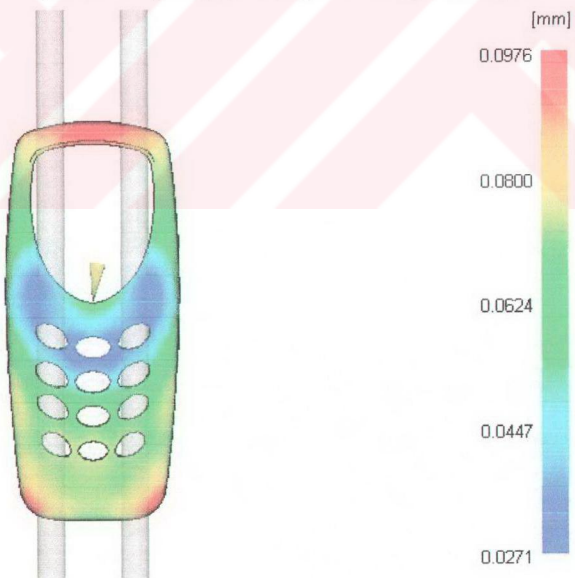
Ütöleme basıncı = 20 MPa

Ütöleme zamanı = 20 sn

Değerleri incelediğimizde ütöleme basıncındaki artışın çarpılmayı azalttığını görmekteyiz. Çarpılmanın en düşük olduğu durumda ütöleme basıncı ve zamanının maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum çarpılma durumunda bu değerler minimum durumdadır.



Şekil 7.35 Toplam çarpılma dağılımının en yüksek değeri



Şekil 7.36 Toplam çarpılma dağılımının en düşük değeri

7.3 Sonuçlar

7.3.1 ABS

Tablo 7.9 ABS malzeme için analiz sonuçları

Analiz No.	0,9 mm	1 mm	1,1 mm
1	0,6778	0,6784	0,6794
2	0,6521	0,6542	0,6539
3	0,6183	0,6201	0,6189
4	0,6690	0,6704	0,6716
5	0,6417	0,6432	0,6438
6	0,666	0,6685	0,6697
7	0,6618	0,6626	0,6639
8	0,6767	0,6780	0,6796
9	0,6534	0,6559	0,6567
10	0,6678	0,6683	0,6687
11	0,6402	0,6401	0,6408
12	0,6595	0,6621	0,6623
13	0,6605	0,6609	0,6617
14	0,6726	0,6743	0,6758
15	0,6458	0,6489	0,6497
16	0,6828	0,6838	0,6858
17	0,6622	0,6642	0,6655
18	0,6309	0,6343	0,6352
19	0,6619	0,6608	0,6618
20	0,668	0,6696	0,6705
21	0,6375	0,6405	0,6399
22	0,6801	0,6813	0,6832
23	0,6571	0,6595	0,6606
24	0,6243	0,6262	0,6296
25	0,6718	0,6733	0,6748
26	0,6461	0,6471	0,6484
27	0,6721	0,6739	0,6753

7.3.2 ABS+PC

Tablo 7.10 ABS+PC malzeme için analiz sonuçları

Analiz No.	0,9 mm	1 mm	1,1 mm
1	1,067	1,067	1,069
2	1,059	1,058	1,061
3	1,044	1,045	1,047
4	1,064	1,063	1,066
5	1,051	1,051	1,053
6	1,017	1,017	1,016
7	1,059	1,059	1,061
8	1,026	1,029	1,028
9	1,01	1,011	1,009
10	1,073	1,072	1,075
11	1,061	1,061	1,064
12	1,034	1,034	1,034
13	1,067	1,067	1,07
14	1,039	1,041	1,041
15	1,027	1,026	1,027
16	1,049	1,051	1,052
17	1,035	1,036	1,035
18	1,019	1,017	1,017
19	1,074	1,074	1,078
20	1,053	1,053	1,054
21	1,044	1,042	1,044
22	1,058	1,06	1,061
23	1,048	1,048	1,049
24	1,033	1,033	1,034
25	1,056	1,056	1,057
26	1,041	1,040	1,042
27	1,003	1,003	1,003

7.3.3 PC

Tablo 7.11 PC malzeme için analiz sonuçları

Analiz No.	0,9 mm	1 mm	1,1 mm
1	0,7625	0,7605	0,7649
2	0,7589	0,7565	0,7613
3	0,7546	0,7525	0,7575
4	0,7593	0,7577	0,7617
5	0,7552	0,7536	0,7579
6	0,7458	0,7443	0,7477
7	0,7584	0,7567	0,7616
8	0,7492	0,7483	0,7514
9	0,7454	0,7427	0,7476
10	0,7634	0,7618	0,7664
11	0,7602	0,7577	0,7626
12	0,753	0,7501	0,7547
13	0,7603	0,7588	0,7628
14	0,7529	0,7514	0,7548
15	0,7494	0,7470	0,7514
16	0,7554	0,7551	0,7586
17	0,7515	0,7498	0,7545
18	0,7469	0,7449	0,7502
19	0,7651	0,7632	0,768
20	0,7591	0,7563	0,7607
21	0,7559	0,7531	0,759
22	0,7587	0,7571	0,7608
23	0,7555	0,7533	0,7575
24	0,7504	0,7485	0,7532
25	0,7579	0,7560	0,7605
26	0,7537	0,7513	0,7566
27	0,7427	0,7418	0,7446

7.3.4 1 mm kalınlığında %15 karbon fiber katkı ABS ve ABS+PC

Tablo 7.12 1 mm kalınlık, ABS ve ABS+PC malzeme için analiz sonuçları

Analiz No.	ABS	ABS+PC
1	0,1366	0,0996
2	0,1338	0,0985
3	0,1288	0,0976
4	0,1366	0,1003
5	0,1347	0,0992
6	0,1481	0,0985
7	0,1397	0,1004
8	0,1515	0,0997
9	0,1501	0,098
10	0,1305	0,0987
11	0,1269	0,0983
12	0,1432	0,0979
13	0,1324	0,1005
14	0,1458	0,0995
15	0,1435	0,0981
16	0,1476	0,1008
17	0,1472	0,0992
18	0,1442	0,0977
19	0,1236	0,0993
20	0,1381	0,0990
21	0,1340	0,0987
22	0,1407	0,1007
23	0,1401	0,0994
24	0,1367	0,0982
25	0,1420	0,1004
26	0,1413	0,0990
27	0,1533	0,0991

7.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Tüm malzeme ve kalınlıklar için elde edilen sonuçların yorumlanması amacıyla istatistiksel yöntemlere başvurulmuştur. Bu yöntemler regresyon analizi ve ANOVA analizidir. Bu analizler MINITAB isimli yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

7.4.1 Regresyon Analizi

İstatistik biliminin en önemli konularından birisini regresyon analizi oluşturmaktadır. Regresyon analizi, araştırma, matematik, finans, ekonomi, tıp gibi bilim dallarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Regresyon analizinin temelinde; gözlenen bir olayın değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılması yatmaktadır. Bu olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya direkt etkileniyor da olabilirler.

Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir.

Regresyon analizi incelenirken, genellikle konusunu oluşturan, etkilendiği olaylara değişkenler adı verilir bu değişkenlerin yer alacağı matematiksel model incelenir. Değişken, belirli bir zaman aralığı göz önüne alınıp, o zaman aralığında bir kütleyi oluşturan belli birimdeki olayları içeren örneklerdir. Sayılabilir veya ölçülebilir nitelikte olmalıdır.

Çarpılma değerini bir değişken olarak alırsak, ona dolaylı olarak veya direkt etkili bir veya birden çok değişken alabiliriz (Örneğin: kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı vs.). Sadece eriyik sıcaklığının etkisi ile ilgileniyorsak, tek değişkenli bir matematiksel model, eriyik sıcaklığı ile birlikte

ütüleme basıncı ile de ilgileniyorsak, iki değişkenli bir matematiksel modelden söz ediyoruzdur.

Öncelikle Regresyon modelinin kullanılması, ilgilenilen olayla ilgili olarak, bir sebep-sonuç ilişkisi bulunması gerekmektedir. Örneğin 1990-1997 yılları arasındaki hisse senedi fiyatlarını incelersek, seçilen zaman aralığında bir matematiksel model kurma gereği vardır ve bu modelde bir sebep, sonuç ilişkisi aranmaktadır. Sebep, hisse senedinin fiyatını yükselten veya düşüren unsurlardır. Faiz oranları, ekonomik nedenler, enflasyon oranları vs. olarak incelenebilir. Sonuç ise hisse senedinin fiyatının değişmesidir.

Sebep-sonuç ilişkisi, regresyon modeli kurulurken, bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak anlatılmaktadır. Yukarıdaki hisse senedi fiyatı sonuç olan bağımlı değişken, faiz oranları, ekonomik nedenler, enflasyon oranları vs. sebep olan bağımsız değişkenlerdir.

Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde yer alan değişkenler bir bağımlı değişken ve bir veya birden çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler kurulacak modelde bir değişkenli olarak ele alınırsa, basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenli olarak alınırsa, çoklu regresyon modeli konusunu oluşturmaktadır.

Basit Doğrusal Regresyon Modeli: $Y = a + bc + e_i$

Çoklu Regresyon Modeli: $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots + e_i$

Y : Bağımlı değişken

$X_1, X_2, X_3, \dots$: Bağımsız değişkenler

a, b, c, d, ... : Katsayılar

e_i : Hata terimi

Bu çalışmada her üç malzeme ve her kalınlık için (yapılan tüm analiz durumları için) regresyon analizi yapılarak bu analizlerden elde edilen sonuçların düzgünlüğü araştırılacaktır. Sonuçların düzgünlüğü regresyon analizlerinden elde

edilecek “R-sqr” değerine göre belirlenecektir. R-sqr değeri %80 den büyükse aranan değere ulaşılmıştır diyebiliriz.

1) ABS

a) 0,9 mm kalınlık

MINITAB’da elde edilen analiz sonucuna göre ABS malzeme ve 0,9 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,704 + 0,00012 A + 0,00415 B - 0,0125 C - 0,0150 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %93,6 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranan sonuca ulaşılmıştır.

b) 1mm kalınlık

MINITAB’da elde edilen analiz sonucuna göre ABS malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,704 + 0,00005 A + 0,00439 B - 0,0116 C - 0,0153 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %94,1 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranan sonuca ulaşılmıştır.

c) 1.1 mm kalınlık

MINITAB’da elde edilen analiz sonucuna ABS malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,704 + 0,00037 A + 0,00494 B - 0,0119 C - 0,0154 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %94,4 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

2) ABS+PC

a) 0,9 mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre ABS+PC malzeme ve 0,9 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 1,09 + 0,000722 A - 0,0117 B - 0,0187 C + 0,00572 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %97,6 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

b) 1mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre ABS+PC malzeme ve 1mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 1,09 + 0,000500 A - 0,0113 B - 0,0189 C + 0,00511 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %97,6 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

c) 1,1 mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre ABS+PC malzeme ve 1,1mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 1,10 + 0,000667 A - 0,0123 B - 0,0199 C + 0,00600 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %97,8 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

3) PC

a) 0,9 mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre PC malzeme ve 0,9 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,770 + 0,000539 A - 0,00398 B - 0,00538 C + 0,00142 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %97,3 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

b) 1 mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre PC malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,768 + 0,000433 A - 0,00362 B - 0,00567 C + 0,00124 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %98,4 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

c) 1,1 mm kalınlık

MINITAB'da elde edilen analiz sonucuna göre PC malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,772 + 0,000517 A - 0,00386 B - 0,00552 C + 0,00179 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %96,5 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

d) ABS (%15 karbon fiber katkılı)

MINITAB'da elde edilen analiz sonuçlarına göre ABS (%15 karbon fiber katkılı) malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,132 - 0,000578 A + 0,00674 B + 0,00292 C - 0,00535 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %98,4 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır.

e) ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı)

MINITAB'da elde edilen analiz sonuçlarına göre ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı) malzeme ve 1 mm kalınlık için çoklu regresyon modeli:

$$\text{Warpage} = 0,101 + 0,000111 A + 0,000372 B - 0,000939 C - 0,000256 D$$

Ve elde edilen R-sqr değeri %84,1 dır. Bu değer %80 den büyük bir değer olduğu için aranılan sonuca ulaşılmıştır

7.4.2 ANOVA Analizi

Yukarıda gerçekleştirilen regresyon analizleriyle Moldflow programından elde ettiğimiz çarpılma değerlerinin düzgünlüğünün kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Şimdi yapılacak olan ANOVA analizi ile Seçilen enjeksiyon parametrelerinin her bir malzeme için ayrı ayrı ne kadar etkili olduğu göreceğiz. Yapılan ANOVA analizleri MINITAB programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde “One-Way” metodu kullanılmıştır. Bu metodda herbir parametrenin etkisi ayrı ayrı olarak araştırılır. Bu analizlerde:



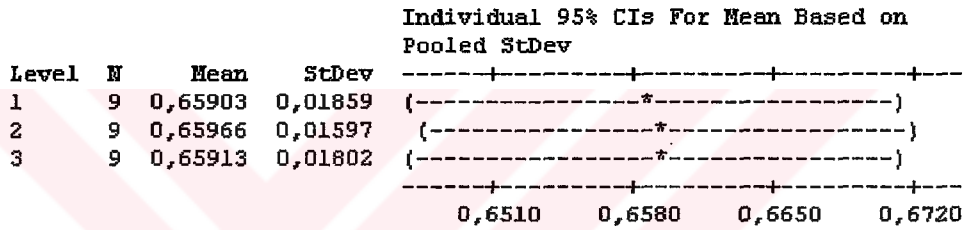
A: Kalıp sıcaklığı
B: Eriyik sıcaklığı
C: Ütuleme Basıncını
D: Ütuleme zamanını
belirtmektedir.

a) ABS

One-way ANOVA: Warpage versus A (Kalıp Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,000002	0,000001	0,001	0,997
Error	24	0,007407	0,000309		
Total	26	0,007409			

S = 0,01757 R-Sq = 0,03% R-Sq(adj) = 0,00%



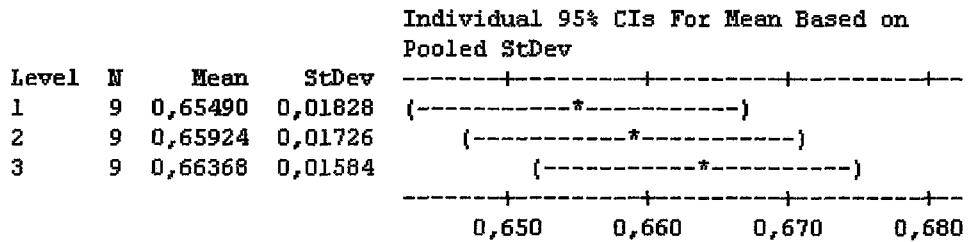
Pooled StDev = 0,01757

Şekil 7.37 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus B (Eriyik Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,000347	0,000173	0,59	0,563
Error	24	0,007062	0,000294		
Total	26	0,007409			

S = 0,01715 R-Sq = 4,68% R-Sq(adj) = 0,00%



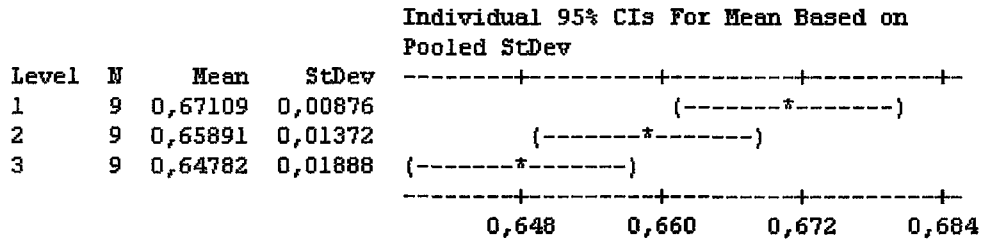
Pooled StDev = 0,01715

Şekil 7.38 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus C (Ütüleme Basıncı)

Source	DF	SS	MS	F	P
C	2	0,002438	0,001219	5,89	0,008
Error	24	0,004971	0,000207		
Total	26	0,007409			

S = 0,01439 R-Sq = 32,91% R-Sq(adj) = 27,31%



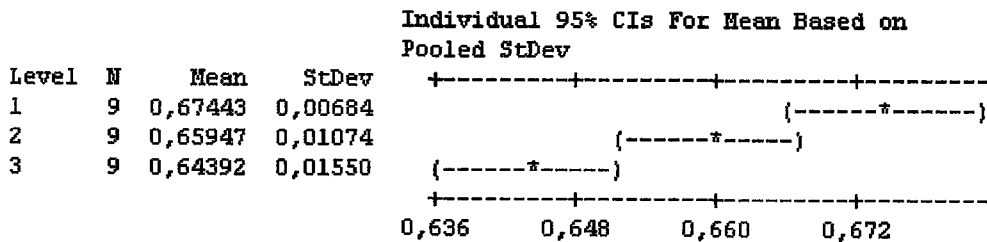
Pooled StDev = 0,01439

Şekil 7.39 Ütüleme basıncı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus D (Ütüleme Zamanı)

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,004190	0,002095	15,62	0,0001
Error	24	0,003219	0,000134		
Total	26	0,007409			

S = 0,01158 R-Sq = 56,55% R-Sq(adj) = 52,93%



Pooled StDev = 0,01158

Şekil 7.40 Ütüleme Zamanı için ANOVA sonuçları

Yukarıdaki sonuçlar ile her bir enjeksiyon parametresinin ABS malzemenin üzerine yüzde kaç etkili olduğu görebiliriz. Sonuçları değerlendirirken her bir analizde görülen tablolardaki “F” ve “P” değerleri bize yol gösterecektir. P değeri sıfır değerine ne kadar çok yaklaşırsa o değere sahip olan parametre çarpılma

üzerinde en fazla etkilidir deriz. Buradan yola çıkarak ABS malzeme için çarpılma üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla: ütüleme zamanı, ütüleme basıncı, eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığıdır. Şimdi bu değerlerin yüzde ne kadar etkili olduğuna bakalım. Yüzdeleri hesaplarken de bizim kullanacağımız değerler F değerleridir. Her bir parametre için bu değerler:

A (Kalıp Sıcaklığı): 0,001

B: (Eriyik Sıcaklığı): 0,59

C: (Ütüleme Basıncı): 5,89

D: (Ütüleme Zamanı): 15,62

Her bir parametrenin yüzdesi, o parametreye ait değer tüm parametre değerlerinin toplamına oranlanmasıyla bulunur. Sonuç olarak:

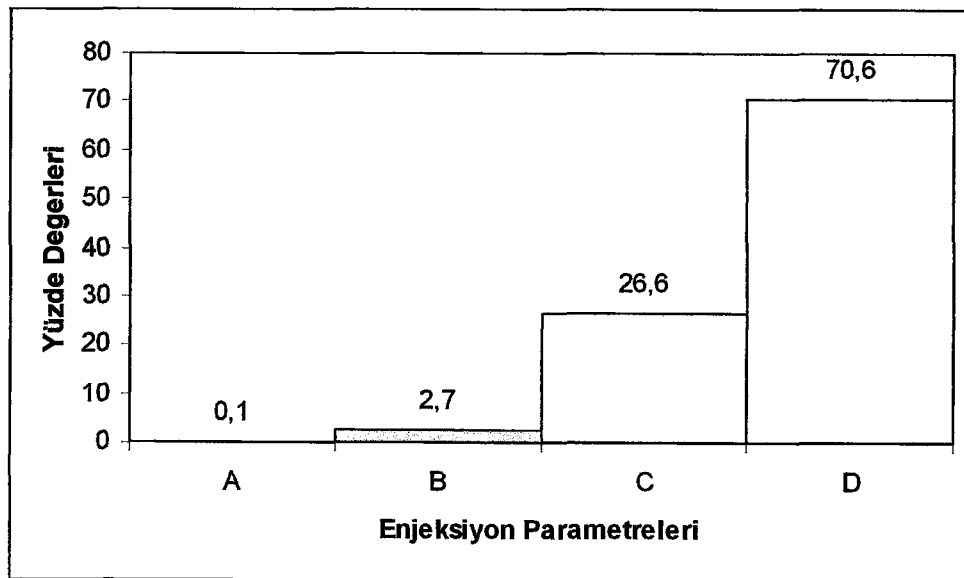
A: (Kalıp Sıcaklığı): %0,1

B: (Eriyik Sıcaklığı): % 2,7

C: (Ütüleme Basıncı): %26,6

D: (Ütüleme Zamanı): %70,6

Değerlerin grafiksel gösterimi:



Şekil 7.41 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı

b) ABS+PC

One-way ANOVA: Warpage versus A (Kalıp Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,000005	0,000002	0,01	0,994
Error	24	0,009470	0,000395		
Total	26	0,009475			

S = 0,01986 R-Sq = 0,05% R-Sq(adj) = 0,00%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----			
1	9	1,0444	0,0206	{-----*-----}			
2	9	1,0450	0,0189	{-----*-----}			
3	9	1,0454	0,0200	{-----*-----}			
				-----+-----+-----+-----			
				1,0320	1,0400	1,0480	1,0560

Pooled StDev = 0,0199

Şekil 7.42 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus B (Eriyik Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,002312	0,001156	3,87	0,035
Error	24	0,007163	0,000298		
Total	26	0,009475			

S = 0,01728 R-Sq = 24,40% R-Sq(adj) = 18,10%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----			
1	9	1,0562	0,0139	{-----*-----}			
2	9	1,0451	0,0173	{-----*-----}			
3	9	1,0336	0,0201	{-----*-----}			
				-----+-----+-----+-----			
				1,032	1,044	1,056	1,068

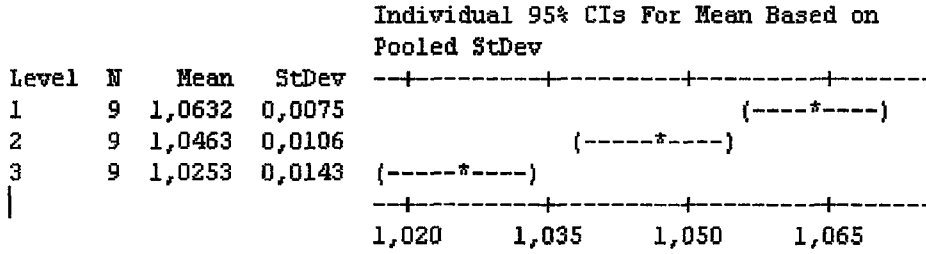
Pooled StDev = 0,0173

Şekil 7.43 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus C (Ütüleme Basıncı)

Source	DF	SS	MS	F	P
C	2	0,006485	0,003243	26,03	0,000
Error	24	0,002990	0,000125		
Total	26	0,009475			

S = 0,01116 R-Sq = 68,45% R-Sq(adj) = 65,82%



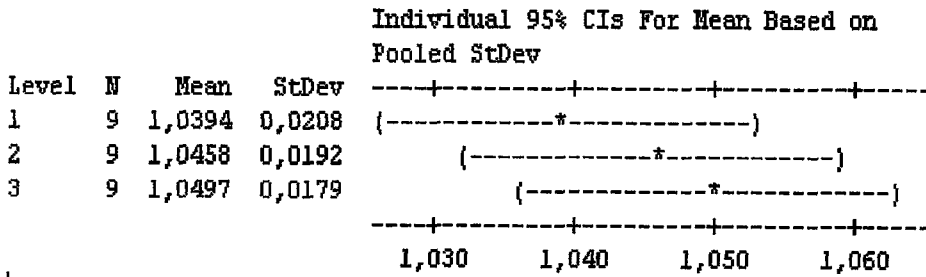
Pooled StDev = 0,0112

Şekil 7.44 Ütüleme basıncı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus D (Ütüleme Zamanı)

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,000479	0,000240	0,64	0,536
Error	24	0,008996	0,000375		
Total	26	0,009475			

S = 0,01936 R-Sq = 5,06% R-Sq(adj) = 0,00%



Pooled StDev = 0,0194

Şekil 7.45 Ütüleme Zamanı için ANOVA sonuçları

Yukarıdaki analiz sonuçları ışığında ABS+PC malzeme için ANOVA analizinden elde edilen F değerleri:

A (Kalıp Sıcaklığı): 0,01

B: (Eriyik Sıcaklığı): 3,87

C: (Ütuleme Basıncı): 26,03

D: (Ütuleme Zamanı): 0,64

Bu değerlere göre parametrelerin çarpılmaya yüzde olarak etkileri:

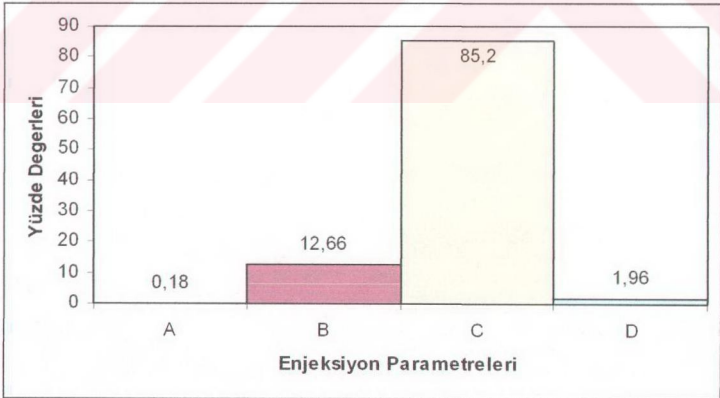
A (Kalıp Sıcaklığı): %0,18

B: (Eriyik Sıcaklığı): %12,66

C: (Ütuleme Basıncı): %85,2

D: (Ütuleme Zamanı): %1,96

Değerlerin grafiksel gösterimi:



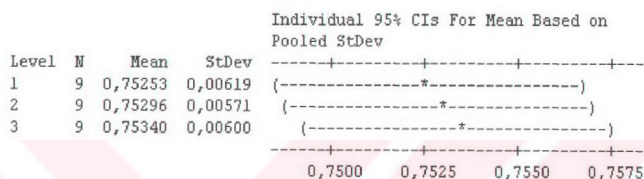
Şekil 7.46 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı

c) PC

One-way ANOVA: Warpage versus A (Kalıp Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,0000034	0,0000017	0,05	0,954
Error	24	0,0008552	0,0000356		
Total	26	0,0008585			

S = 0,005969 R-Sq = 0,39% R-Sq(adj) = 0,00%



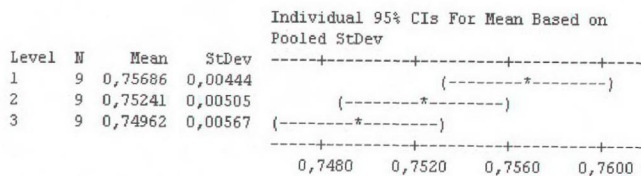
Pooled StDev = 0,00597

Şekil 7.47 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus B (Eriyik Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,0002396	0,0001198	4,64	0,020
Error	24	0,0006190	0,0000258		
Total	26	0,0008585			

S = 0,005078 R-Sq = 27,90% R-Sq(adj) = 21,89%



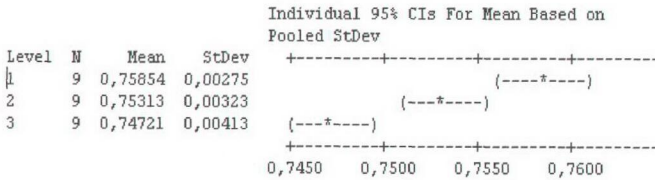
Pooled StDev = 0,00508

Şekil 7.48 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus C (Ütuleme Basıncı)

Source	DF	SS	MS	F	P
C	2	0,0005784	0,0002892	24,77	0,000
Error	24	0,0002802	0,0000117		
Total	26	0,0008585			

S = 0,003417 R-Sq = 67,37% R-Sq(adj) = 64,65%



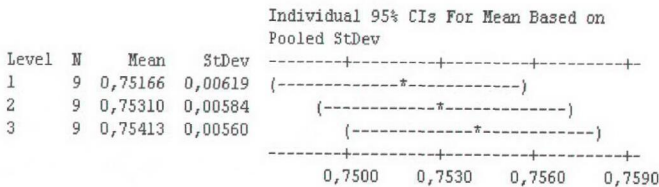
Pooled StDev = 0,00342

Şekil 7.49 Ütuleme basıncı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus D (Ütuleme Zamanı)

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,0000279	0,0000139	0,40	0,673
Error	24	0,0008307	0,0000346		
Total	26	0,0008585			

S = 0,005883 R-Sq = 3,25% R-Sq(adj) = 0,00%



Pooled StDev = 0,00588

Şekil 7.50 Ütuleme zamanı için ANOVA sonuçları

Yukarıdaki analiz sonuçları ışığında PC malzeme için ANOVA analizinden elde edilen F değerleri:

A (Kalıp Sıcaklığı): 0,05

B: (Eriyik Sıcaklığı): 4,64

C: (Ütuleme Basıncı): 24,77

D: (Ütuleme Zamanı): 0,4

Bu değerlere göre parametrelerin çarpılmaya yüzde olarak etkileri:

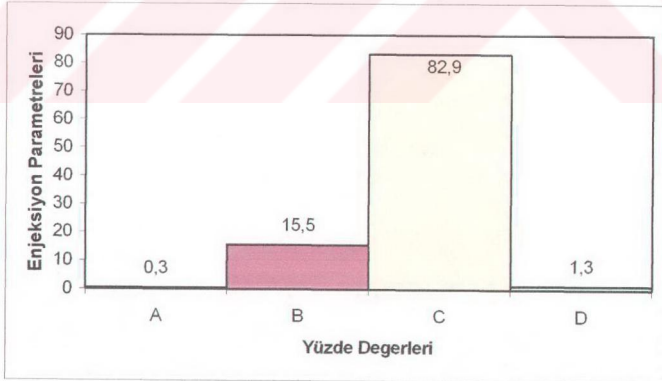
A (Kalıp Sıcaklığı): % 0,3

B: (Eriyik Sıcaklığı): %15,5

C: (Ütuleme Basıncı): %82,9

D: (Ütuleme Zamanı): %1,3

Değerlerin grafiksel gösterimi:



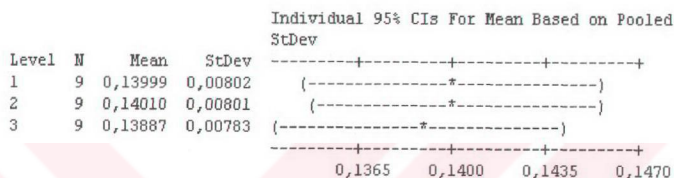
Şekil 7.51 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı

d) ABS (%15 karbon fiber katkılı)

One-way ANOVA: Warpage versus A (Kalıp Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,0000084	0,0000042	0,07	0,936
Error	24	0,0015196	0,0000633		
Total	26	0,0015279			

S = 0,007957 R-Sq = 0,55% R-Sq(adj) = 0,00%



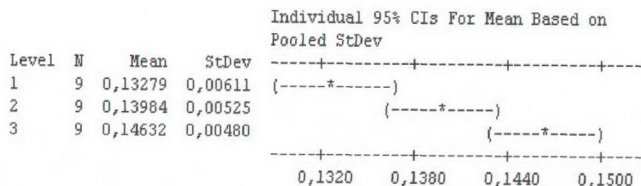
Pooled StDev = 0,00796

Şekil 7.52 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus B (Eriyik Sıcaklığı)

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,0008247	0,0004123	14,07	0,000
Error	24	0,0007033	0,0000293		
Total	26	0,0015279			

S = 0,005413 R-Sq = 53,97% R-Sq(adj) = 50,14%



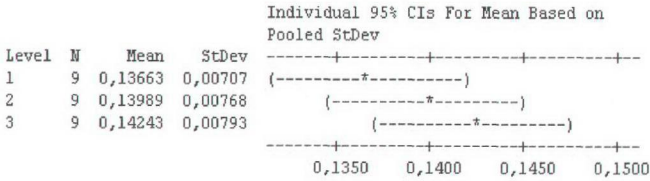
Pooled StDev = 0,00541

Şekil 7.53 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus C (Ütuleme Basıncı)

Source	DF	SS	MS	F	P
C	2	0,0001521	0,0000761	1,33	0,284
Error	24	0,0013758	0,0000573		
Total	26	0,0015279			

S = 0,007571 R-Sq = 9,96% R-Sq(adj) = 2,45%



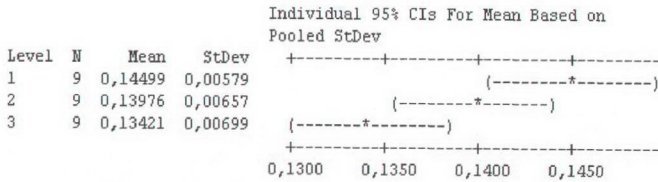
Pooled StDev = 0,00757

Şekil 7.54 Ütuleme basıncı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus D (Ütuleme Zamanı)

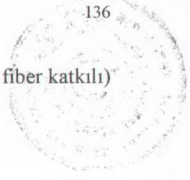
Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,0005229	0,0002614	6,24	0,007
Error	24	0,0010051	0,0000419		
Total	26	0,0015279			

S = 0,006471 R-Sq = 34,22% R-Sq(adj) = 28,74%



Pooled StDev = 0,00647

Şekil 7.55 Ütuleme zamanı için ANOVA sonuçları



Yukarıdaki analiz sonuçları ışığında ABS malzeme (%15 karbon fiber katkı) için ANOVA analizinden elde edilen F değerleri:

A (Kalıp Sıcaklığı): 0,07

B: (Eriyik Sıcaklığı): 14,07

C: (Ütuleme Basıncı): 1,33

D: (Ütuleme Zamanı): 6,24

Bu değerlere göre parametrelerin çarpılmaya yüzde olarak etkileri:

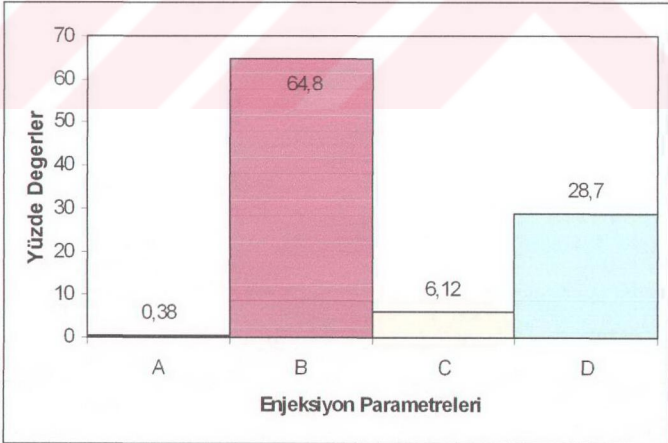
A (Kalıp Sıcaklığı): % 0,38

B: (Eriyik Sıcaklığı): %64,8

C: (Ütuleme Basıncı): %6,12

D: (Ütuleme Zamanı): %28,7

Değerlerin grafiksel gösterimi:



Şekil 7.56 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı

e) ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı)

One-way ANOVA: Warpage versus A

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,0000005	0,0000003	0,29	0,753
Error	24	0,0000230	0,0000010		
Total	26	0,0000235			

S = 0,0009780 R-Sq = 2,34% R-Sq(adj) = 0,00%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
1	9	0,099089	0,000996	{-----*-----}			
2	9	0,098967	0,001121	{-----*-----}			
3	9	0,099311	0,000788	{-----*-----}			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				0,09850 0,09900 0,09950 0,10000			

Pooled StDev = 0,000978

Şekil 7.57 Kalıp sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus B

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,0000034	0,0000017	2,01	0,156
Error	24	0,0000201	0,0000008		
Total	26	0,0000235			

S = 0,0009159 R-Sq = 14,36% R-Sq(adj) = 7,22%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
1	9	0,098622	0,000638	{-----*-----}			
2	9	0,099378	0,000981	{-----*-----}			
3	9	0,099367	0,001071	{-----*-----}			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				0,09840 0,09900 0,09960 0,10020			

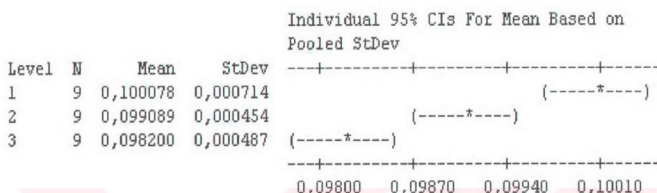
Pooled StDev = 0,000916

Şekil 7.58 Eriyik sıcaklığı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus C

Source	DF	SS	MS	F	P
C	2	0,0000159	0,0000079	25,00	0,000
Error	24	0,0000076	0,0000003		
Total	26	0,0000235			

S = 0,0005636 R-Sq = 67,56% R-Sq(adj) = 64,86%



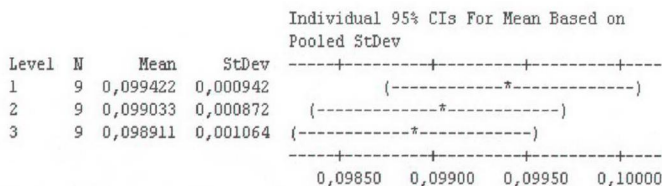
Pooled StDev = 0,000564

Şekil 7.59 Ütuleme basıncı için ANOVA sonuçları

One-way ANOVA: Warpage versus D

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,0000013	0,0000006	0,69	0,510
Error	24	0,0000222	0,0000009		
Total	26	0,0000235			

S = 0,0009623 R-Sq = 5,45% R-Sq(adj) = 0,00%



Pooled StDev = 0,000962

Şekil 7.60 Ütuleme zamanı için ANOVA sonuçları

Yukarıdaki analiz sonuçları ışığında ABS+PC malzeme (%15 karbon fiber katkılı) için ANOVA analizinden elde edilen F değerleri:

A (Kalıp Sıcaklığı): 0,29

B: (Eriyik Sıcaklığı): 2,01

C: (Ütuleme Basıncı): 25

D: (Ütuleme Zamanı): 0,69

Bu değerlere göre parametrelerin çarpılmaya yüzde olarak etkileri:

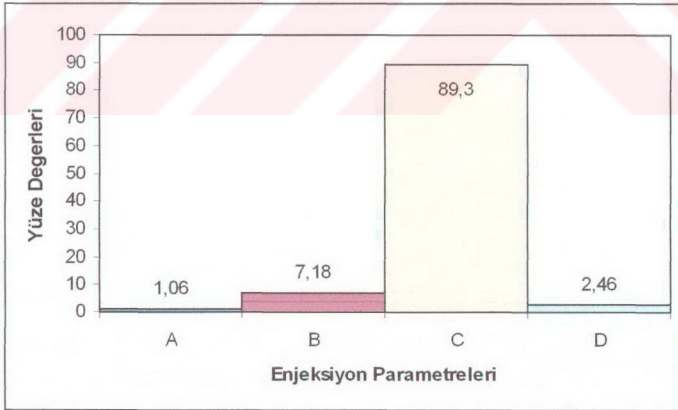
A (Kalıp Sıcaklığı): % 1,06

B: (Eriyik Sıcaklığı): %7,18

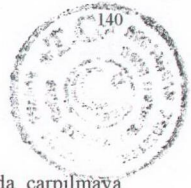
C: (Ütuleme Basıncı): %89,3

D: (Ütuleme Zamanı): %2,46

Değerlerin grafiksel gösterimi:



Şekil 7.61 Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisinin yüzde dağılımı



7.4.3 Sonuçların Karşılaştırılması

ANOVA analizinde, malzemelere göre inceleme yaptığımızda çarpılmaya etki eden enjeksiyon parametrelerinin her malzemede değişik oranlarda etkidiği görülmüştür.

ABS malzemede çarpılmaya etkiyen en önemli iki parametre sırayla ütüleme zamanı ve ütüleme basıncıdır. Daha sonrada sırasıyla eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığıdır. Kalıp sıcaklığının değişiminin diğer parametrelerin değişimiyle karşılaştırıldığında etkisinin olmadığını görmekteyiz.

ABS+PC malzemeye baktığımızda ise bu malzemede çarpılmaya etki eden en önemli iki parametre sırasıyla ütüleme basıncı ve eriyik sıcaklığıdır. ABS malzemeden değişik olarak eriyik sıcaklığının değişimi ABS+PC malzemede çok daha etkilidir. Ütüleme zamanı ve kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı ve eriyik sıcaklığı ile karşılaştırıldığında dikkate alınmayacak değerlerdedir.

PC malzeme de ABS+PC malzemenin özelliklerini göstermektedir. Bu malzemede de çarpılma üzerine etkiyen en önemli parametreler ütüleme basıncı ve eriyik sıcaklığıdır. Diğer iki parametre ABS+PC de olduğu gibi dikkate alınmayacak seviyelerdedir.

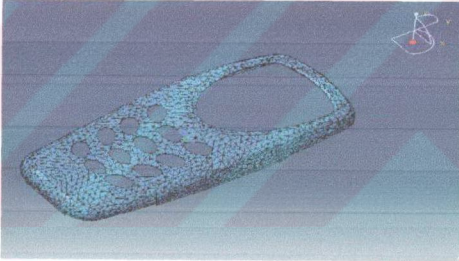
%15 karbon fiber katkılı malzemelere bakacak olursak da; katkılı ABS malzemede yukarıdakilerden farklı olmak üzere en etkili parametre eriyik sıcaklığıdır. İkinci ve üçüncü sırada gelen değerlerse ütüleme zamanı ve basıncıdır. Bu malzeme için ütüleme basıncından çok bu basıncın yeterli sürede uygulanması önemlidir sonucunu çıkarabiliriz.

ABS+PC için ise diğer malzemelerden farklı bir durum söz konusudur. Burada en etkili parametre ütüleme basıncıdır. Diğer üç parametrenin etkisi bu parametreninkine göre oldukça düşüktür ve etkileri yoktur denilebilir.

8. KUVVET ANALİZİ

Çarpılma analizi yapılmış olan 1mm kalınlığındaki cep telefonu kapağının, beş değişik malzeme kullanılarak (ABS, ABS+PC, PC, %15 karbon fiber katkılı ABS ve %15 karbon fiber katkılı ABS+PC), belirli noktalarda ve belirli şartlarda hangi kuvvetlere maruz kaldığında kırılacağını görmek amacıyla bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metoduyla çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde software olarak CATIA V5R12 programının Generative Structural Analysis Modülü kullanılmıştır.

Analizlerde cep telefonu modeli 2mm büyüklüğünde lineer elemanlar ile mesh edilmiştir. (OCTREE tetrahedron mesh, 18577 eleman, 6606 noddan oluşmuştur.) Aşağıdaki şekilde, mesh edilmiş parçanın CATIA ortamındaki görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 8.1 Mesh edilmiş cep telefonu kapağı

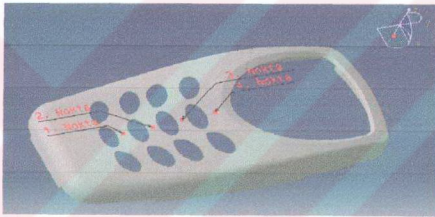
8.1 Analiz Şartları

Analizlerde kullanılan parçanın kalınlığı 1mm dir. beş değişik malzeme için ayrı ayrı kuvvet analizleri yapılmıştır. Kullanılan malzemeler:

a) ABS

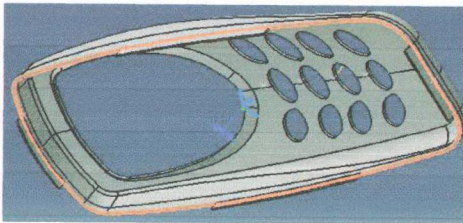
- b) ABS+PC
- c) PC
- d) %15 karbon fiber katkılı ABS
- e) %15 karbon fiber katkılı ABS+PC

Bu beş malzeme için yapılan analizlerde cep telefonu üzerinde 4 nokta belirlenmiştir. Analizler sonucunda, belirlenen bu noktalara ne büyüklükte kuvvetler uygulandığında cep telefonunun üst yüzeyinde kopma olacağı bulunmuştur. Cep telefonu üzerinde belirlenen noktalar:



Şekil 8.2 Analiz Noktaları

Cep telefonu kapağının üst yüzeyinde belirlenen dört noktanın analizlerinde, parça aşağıda görülen alt yüzeyden sabitlenmiştir. Sabitleme yapıldıktan sonra herbir noktada cep telefonunun üst yüzeyine Z eksenini doğrultusunda kaç N'luk kuvvetler uygulandığında bozulacağı araştırılmıştır.



Şekil 8.3 Sabitleme yapılan yüzey



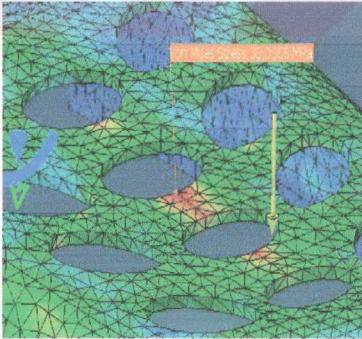
8.2 Dört Nokta İçin Analiz Sonuçları

a) ABS Malzeme

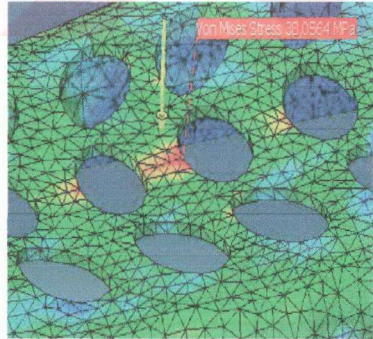
Cycolac EP ABS malzemenin kopma dayanımı 38 MPa dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.1 de de ABS malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.

Tablo 8.1 ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

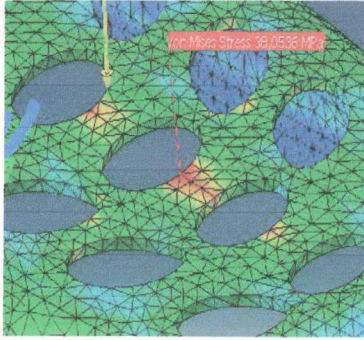
NOKTA	KUVVET (N)
1. Nokta	389,5 N
2. Nokta	436 N
3. Nokta	495 N
4. Nokta	543 N



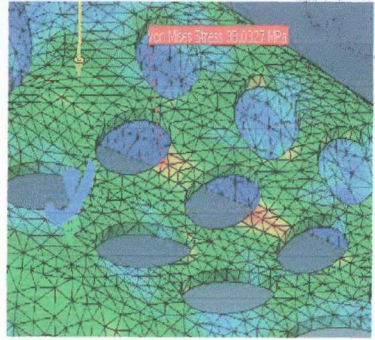
Şekil 8.4 Bir numaralı nokta



Şekil 8.5 İki numaralı nokta



Şekil 8.6 Üç numaralı nokta



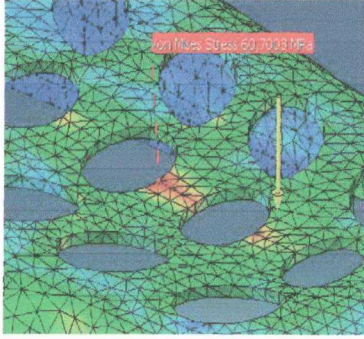
Şekil 8.7 Dört numaralı nokta

b) ABS+PC

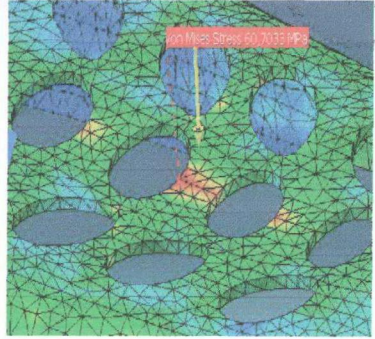
Cycloy C1200 ABS+PC malzemenin kopma dayanımı 60,7 MPa dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.2 de de ABS+PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.

Tablo 8.2 ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

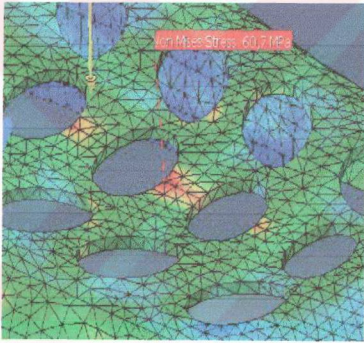
NOKTA	KUVVET (N)
1. Nokta	622,7 N
2. Nokta	696,7 N
3. Nokta	791 N
4. Nokta	883,2 N



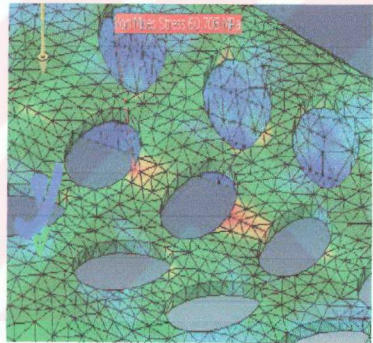
Şekil 8.8 Bir numaralı nokta



Şekil 8.9 İki numaralı nokta



Şekil 8.10 Üç numaralı nokta



Şekil 8.11 Dört numaralı nokta

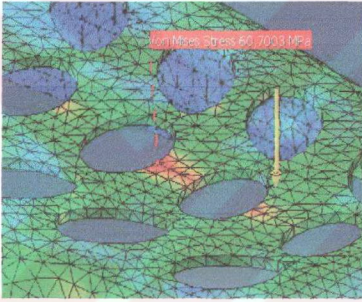
c) PC

Lexan PC malzemenin kopma dayanımı 72,4 MPa'dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma

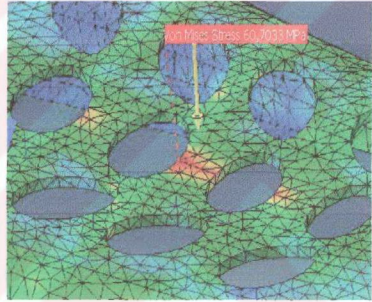
başlayacaktır. Tablo 8.3 de de PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.

Tablo 8.3 PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

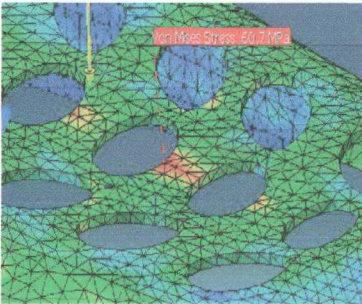
NOKTA	KUVVET (N)
1. Nokta	743,3 N
2. Nokta	831,7 N
3. Nokta	944,3 N
4. Nokta	1062,6 N



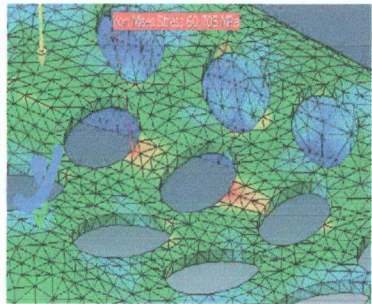
Şekil 8.12 Bir numaralı nokta



Şekil 8.13 İki numaralı nokta



Şekil 8.14 Üç numaralı nokta



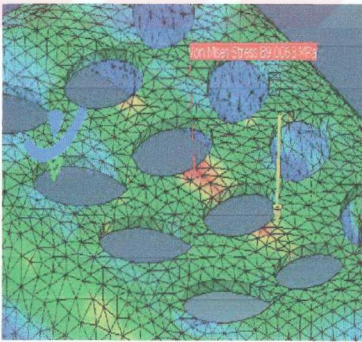
Şekil 8.15 Dört numaralı nokta

d) %15 Karbon fiber katkılı ABS malzeme

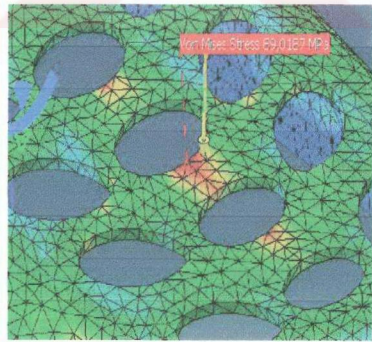
ABS (%15 karbon fiber katkılı) - Electrafil J-1200 malzemenin kopma dayanımı 89 MPa dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.4 de de katkılı ABS malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.

Tablo 8.4 %15 karbon fiber katkılı ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

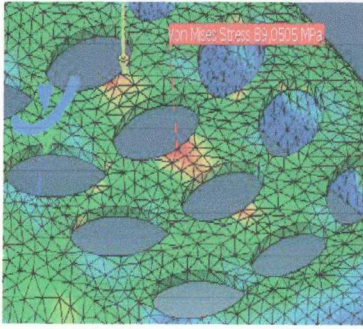
NOKTA	KUVVET (N)
1. Nokta	908 N
2. Nokta	1016 N
3. Nokta	1154 N
4. Nokta	1233 N



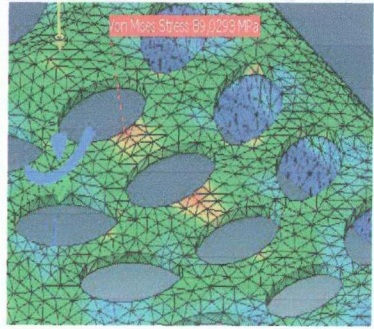
Şekil 8.16 Bir numaralı nokta



Şekil 8.17 İki numaralı nokta



Şekil 8.18 Üç numaralı nokta



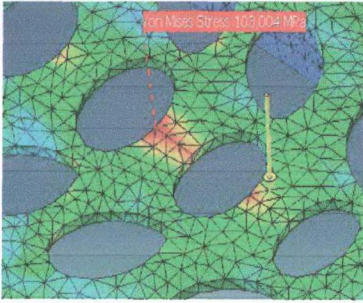
Şekil 8.19 Dört numaralı nokta

e) %15 Karbon fiber katkılı ABS+PC malzeme

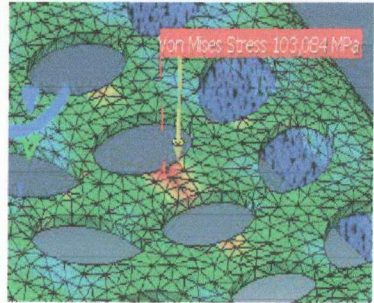
ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı) - Panlite BN-3120N malzemenin kopma dayanımı 103 MPa'dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.5 de de katkılı ABS+PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.

Tablo 8.5 %15 karbon fiber katkılı ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

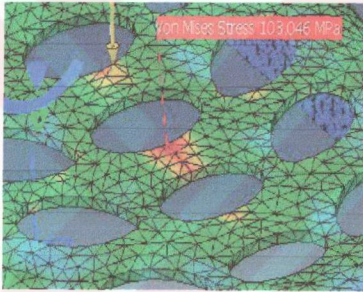
NOKTA	KUVVET (N)
1. Nokta	1058,35 N
2. Nokta	1185 N
3. Nokta	1345 N
4. Nokta	1527 N



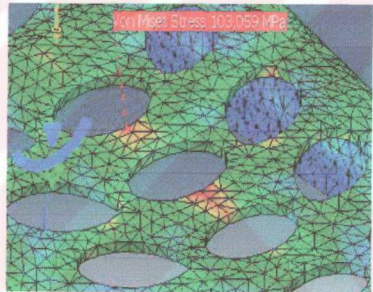
Şekil 8.20 Bir numaralı nokta



Şekil 8.21 İki numaralı nokta



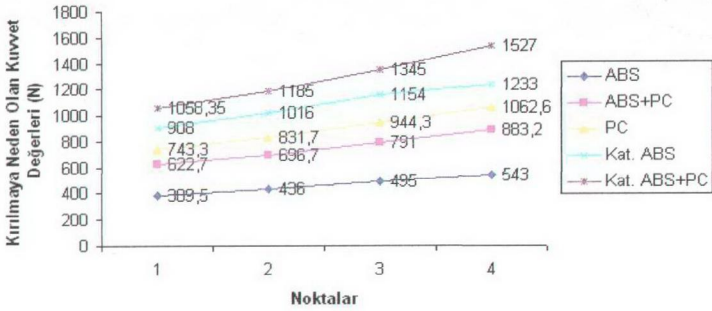
Şekil 8.22 Üç numaralı nokta



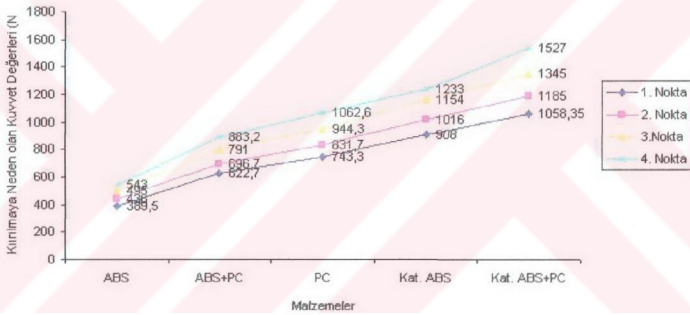
Şekil 8.23 Dört numaralı nokta

8.2.1 Sonuçlar

Yapılan analizler sonucunda beş malzeme için de en yüksek kuvvet dayanımının olduğu nokta, 4 numaralı nokta bulunmuştur. Bunun nedeni 4 numaralı noktanın zorlamaya maruz kaldığında diğer noktalara göre daha fazla esneyebilmesidir. Aşağıda verilen iki grafikte elde edilen sonuçlar görülebilmektedir. Bu sonuçlara göre en dayanıklı malzemelerin sırayla % 15 karbon fiber katkılı ABS+PC, % 15 karbon fiber katkılı ABS, PC, ABS+PC ve ABS olduğu görülmektedir. Telefonun üst yüzeyindeki kritik noktada 2 numaralı noktanın bulunduğu yerdir.



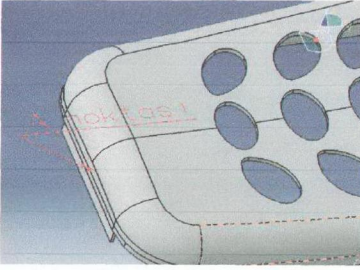
Şekil 8.24 Tüm malzemeler için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri



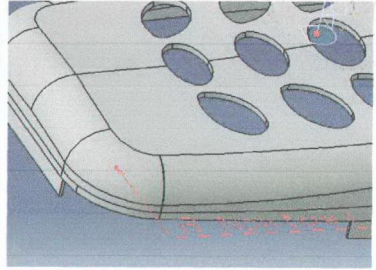
Şekil 8.25 Tüm noktalar için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri

8.3 Diğer Noktalar

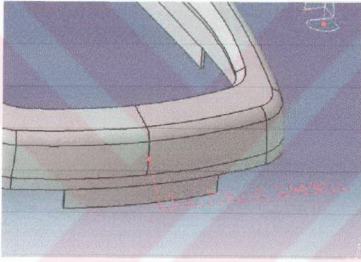
Cep telefonu kapağının üst yüzeyinde bulunan dört noktanın dışında da kapağın üzerinde bulunan çeşitli 4 noktada tüm malzemeler için kuvvet analizleri yapılmıştır. Kuvvet uygulanan noktalar aşağıdaki resimlerde kırmızı ile gösteriştir. Ve de A, B, C, D harfleri ile gösterilmişlerdir.



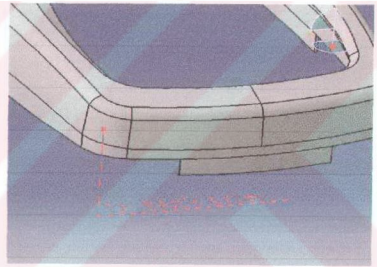
Şekil 8.26 A Noktası



Şekil 8.27 B Noktası



Şekil 8.28 C Noktası



Şekil 8.29 D Noktası

8.3.1 Analiz Şartları

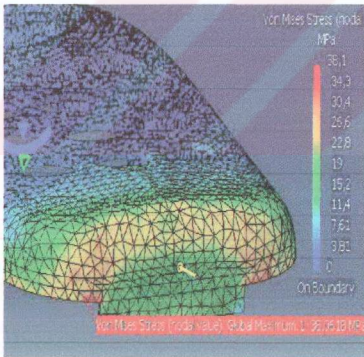
Cep telefonu kapağının üst yüzeyinde bulunan 4 dört noktaya uygulanan kuvvet durumunda, kuvvetler Z eksenı doğrultusundaıdı. Ayrıca cep telefonu kapağı alt yüzeyden sabitlenmişti. Yukarda gösterilen A, B, C ve D noktaları için yapılan analizlerde B ve D noktalarında iki değışik yönde kuvvet uygulanmıştır. Bunlardan birisi y eksenı yönünde diğeri ise kuvvetin uygulandığı noktada noktanın üzerinde bulunduğı yüzeye dik doğrultudadır. Kuvvetin yüzeye dik doğrultuda uygulandığı durumda cep telefonu dört tarafında bulunan kulaklardan sabitlenmiştir. Kuvvetin y eksenı

doğrultusunda olduğu durumda ise sabitleme kuvvetin uygulanmış olduğu bölgedeki kulaklar dışındakilere yapılmıştır.

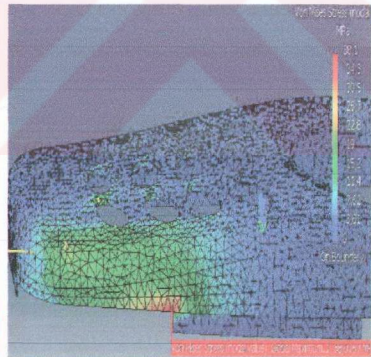
Her beş malzeme için (ABS, ABS+PC, PC, %15 katkılı ABS, %15 katkılı ABS+PC malzeme) belirtilen noktalarda belirtilen şartlarda analizler gerçekleştirilmiştir.

a) ABS

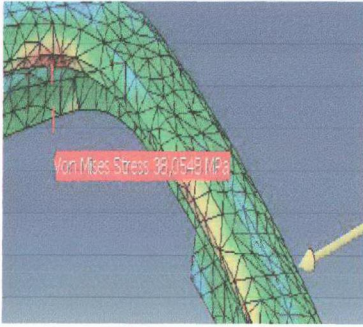
Cycolac EP ABS malzemenin kopma dayanımı 38 MPa'dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.6 da ABS malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.



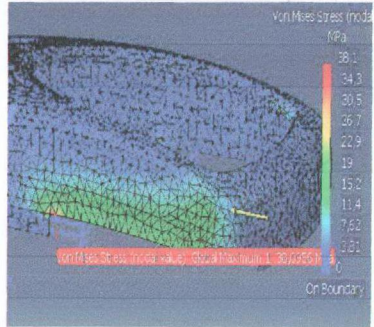
Şekil 8.30 A Noktası



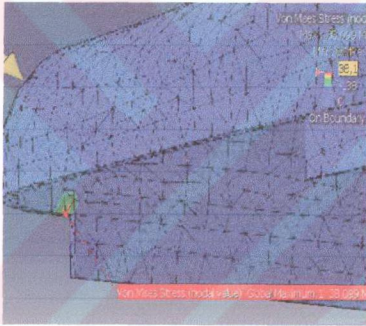
Şekil 8.31 B Noktası



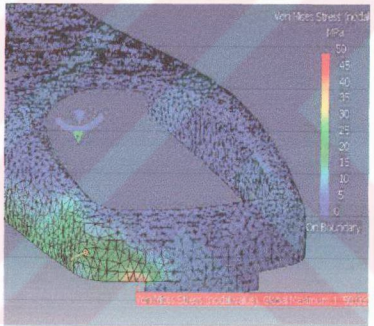
Şekil 8.32 C Noktası



Şekil 8.33 D Noktası



Şekil 8.34 B Noktası (yüzeye dik)



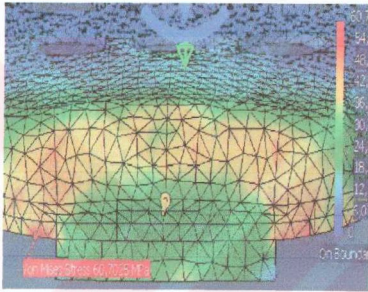
Şekil 8.35 D Noktası (yüzeye dik)

Tablo 8.6 ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

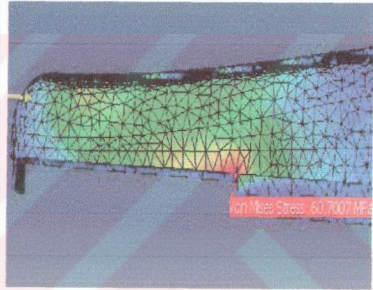
NOKTA	KUVVET (N)
A Noktası	172,4 N
B Noktası	327 N
B Noktası (yüzeye dik)	82,27 N
C Noktası	149,7 N
D Noktası	145 N
D Noktası (yüzeye dik)	186,8 N

b) ABS+PC

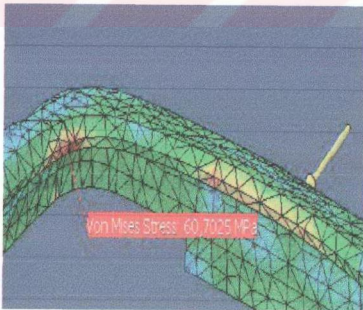
Cycloy C1200 ABS+PC malzemenin kopma dayanımı 60,7 MPa dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.7 de ABS+PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.



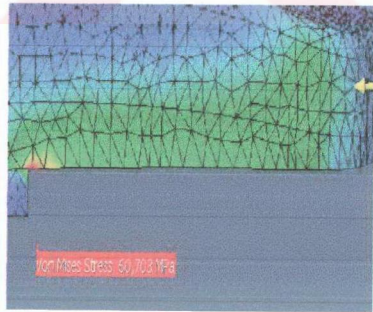
Şekil 8.36 A Noktası



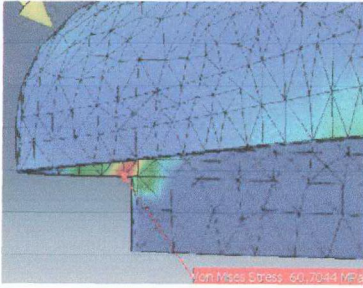
Şekil 8.37 B Noktası



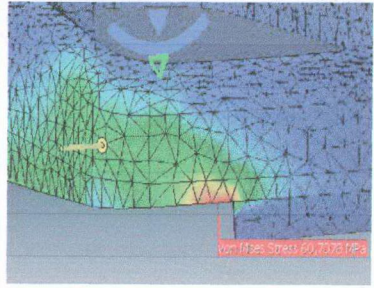
Şekil 8.38 C Noktası



Şekil 8.39 D Noktası



Şekil 8.40 B Noktası (yüzeye dik)



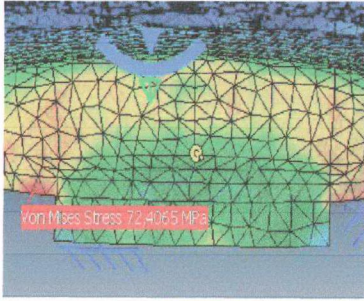
Şekil 8.41 D Noktası (yüzeye dik)

Tablo 8.7 ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

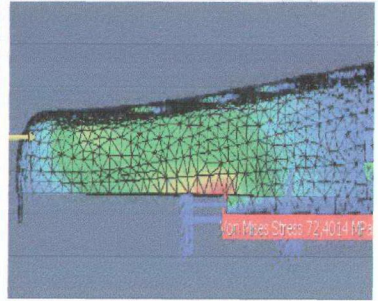
NOKTA	KUVVET (N)
A Noktası	278,8 N
B Noktası	529,6 N
B Noktası (yüzeye dik)	131,93 N
C Noktası	237,7 N
D Noktası	233,2 N
D Noktası (yüzeye dik)	302,13 N

c) PC

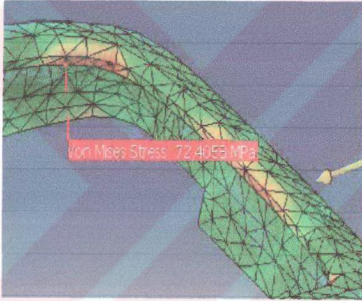
Lexan PC malzemenin kopma dayanımı 72,4 MPa'dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.8 de PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.



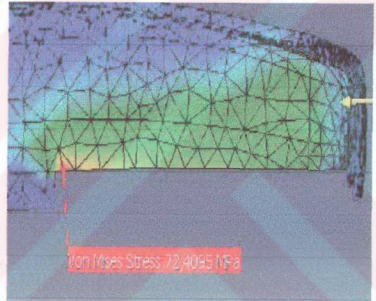
Şekil 8.42 A Noktası



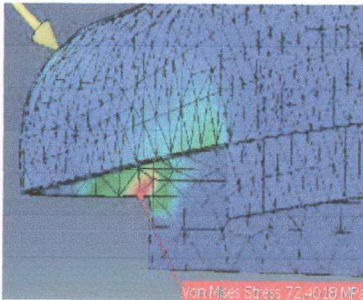
Şekil 8.43 B Noktası



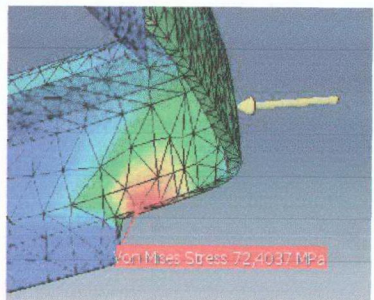
Şekil 8.44 C Noktası



Şekil 8.45 D Noktası



Şekil 8.46 B Noktası (yüzeye dik)



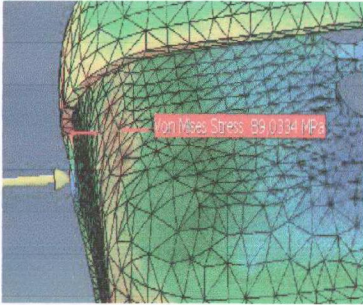
Şekil 8.47 D Noktası (yüzeye dik)

Tablo 8.8 PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

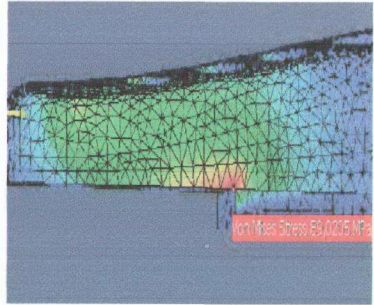
NOKTA	KUVVET (N)
A Noktası	334,8
B Noktası	635,9
B Noktası (yüzeye dik)	158,33
C Noktası	414,8
D Noktası	355,8
D Noktası (yüzeye dik)	451,5

d) %15 karbon fiber katkılı ABS malzeme

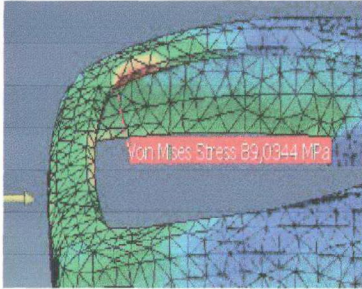
ABS (%15 karbon fiber katkılı) - Electrafil J-1200 malzemenin kopma dayanımı 89 MPa dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.9 da katkılı ABS malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.



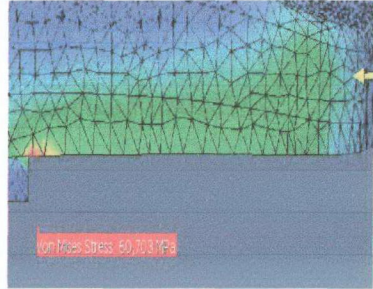
Şekil 8.48 A Noktası



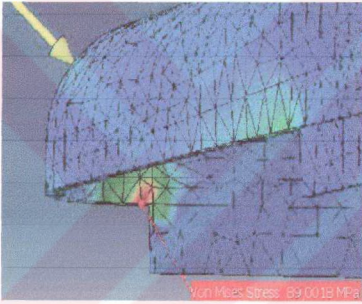
Şekil 8.49 B Noktası



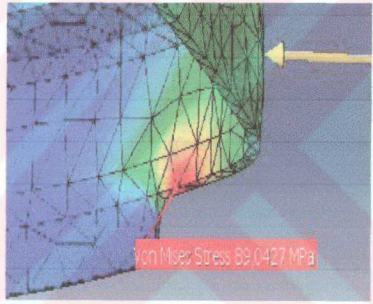
Şekil 8.50 C Noktası



Şekil 8.51 D Noktası



Şekil 8.52 B Noktası (yüzeye dik)



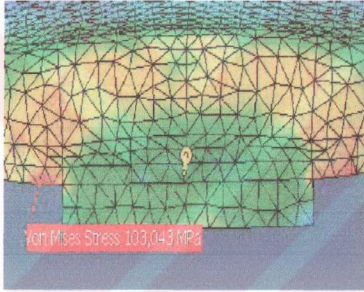
Şekil 8.53 D Noktası (yüzeye dik)

Tablo 8.9 %15 karbon fiber katkılı ABS malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

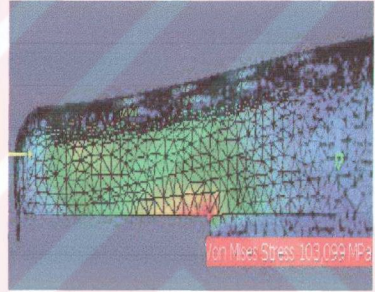
NOKTA	KUVVET (N)
A Noktası	334,8
B Noktası	635,9
B Noktası (yüzeye dik)	158,33
C Noktası	414,8
D Noktası	355,8
D Noktası (yüzeye dik)	451,5

e) %15 karbon fiber katkılı ABS+PC malzeme

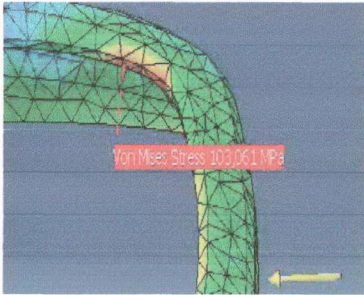
ABS+PC (%15 karbon fiber katkılı) - Panlite BN-3120N malzemenin kopma dayanımı 103 MPa'dır. [34] Analiz sonuçlarından elde edilen Von-Mises gerilmesi (eşdeğer gerilme), kopma dayanımını geçtiği anda parçada bozulma gerçekleşecektir. Aşağıdaki şekillerde dört nokta için CATIA'dan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde kırmızı ile gösterilen yerlerde bozulma başlayacaktır. Tablo 8.10 da katkılı ABS+PC malzeme için her bir noktada ne kadarlık kuvvetlerle kopma gerçekleşeceği görülmektedir.



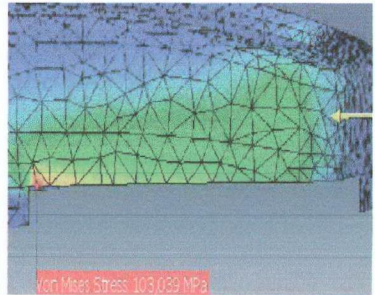
Şekil 8.54 A Noktası



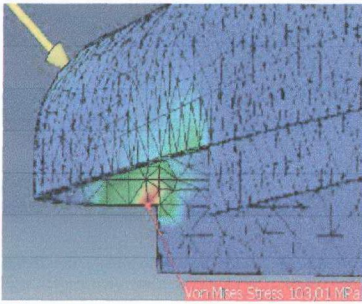
Şekil 8.55 B Noktası



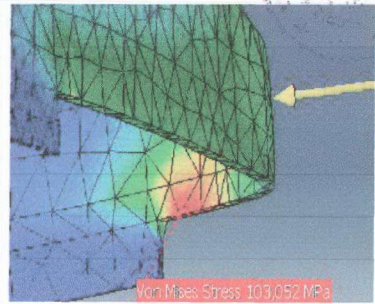
Şekil 8.56 C Noktası



Şekil 8.57 D Noktası



Şekil 8.58 B Noktası (yüzeye dik)



Şekil 8.59 D Noktası (yüzeye dik)

Tablo 8.10 %15 karbon fiber katkılı ABS+PC malzemede kopmaya neden olan kuvvet değerleri

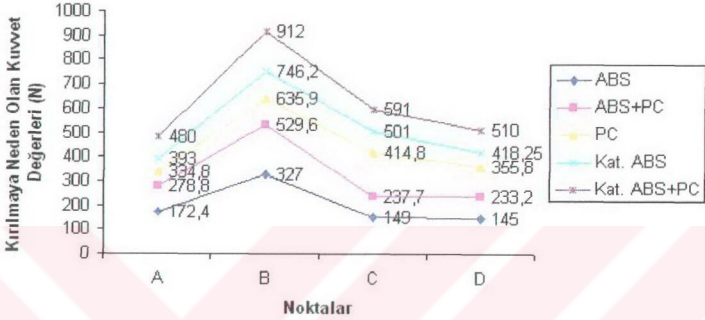
NOKTA	KUVVET (N)
A Noktası	480 N
B Noktası	912 N
B Noktası (yüzeye dik)	226,8 N
C Noktası	591 N
D Noktası	510 N
D Noktası (yüzeye dik)	648,5 N

8.3.2 Sonuçlar

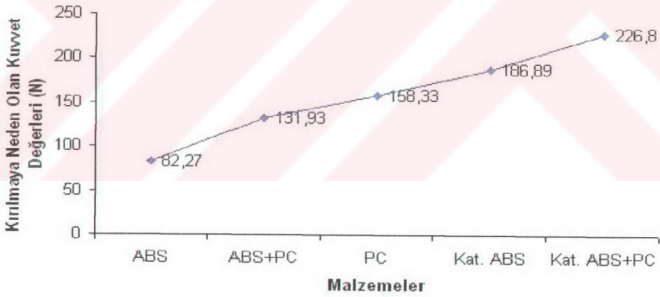
Yukarıda da görüldüğü üzere beş malzeme için belirlenen dört noktada çeşitli analizler yapılmıştır. Bu noktalar A, B, C ve D olarak adlandırılmışlardır. B ve D noktalarında iki değişik yönde kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvetlerden birisi Y eksenini doğrultusunda diğeri ise yüzey üzerindeki noktada, yüzeye dik doğrultudadır. Aşağıda verilen grafikler de her bir malzeme için, belirlenen noktalarda kırılmaya yol açan kuvvetler belirtilmiştir. Şekil 8.60 da A, B, C ve D noktalarında Y eksenini doğrultusunda



olan kuvvetlere yer verilmiştir. B ve D noktalarında yüzeye dik olan kuvvetler için olan durum Şekil 8.61 ve Şekil 8.62 de gösterilmiştir.



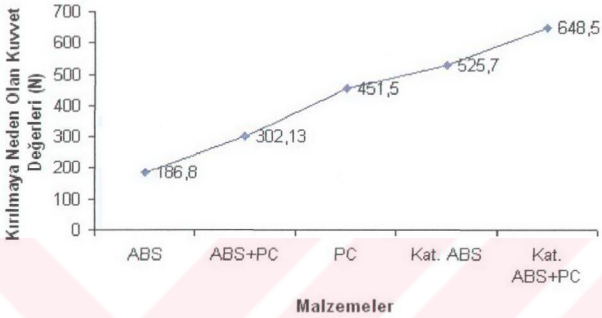
Şekil 8.60 Tüm malzemeler için kırılmaya neden olan kuvvet değerleri



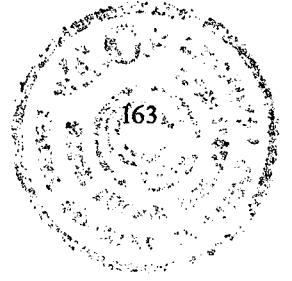
Şekil 8.61 B noktasında malzemelere göre kuvvet dayanımı (kuvvet yüzeye dik)

Şekil 8.52 de tüm malzemeler için A, B, C ve D noktalarında tüm malzemeler için kırılmaya yol açan kuvvet değerleri görülmektedir. Şekil 8.53 de ise kuvvetin B noktasında yüzeye dik doğrultuda uygulanması durumunda tüm malzemeler için kırılmaya yol açan kuvvet değerleri gösterilmiştir. Şekil 8.54'de de D noktasına yüzeye

dik doğrultuda kuvvet uygulanması durumunda kırılmaya yol açan kuvvet değerleri gösterilmiştir.



Şekil 8.62 D noktasında malzemelere göre kuvvet dayanımı (kuvvet yüzeye dik)



9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İmalat işleminden önce, üretilecek olan parçanın istenilen özelliklere sahip olup olmadığını anlamak amacıyla bilgisayar ortamında uygun software'ler yardımıyla çeşitli simülasyonlar yapılabilir. Bu çalışmada yapılan analizlerin amacı, plastik parçalarda oluşan problemlerin en önemlilerinden olan çarpılma üzerinde etkili olan etkenlerin değerlerin değiştirilmesinin çarpılmada ne gibi değişikliklere yol açacağını görmek, en düşük ve en yüksek çarpılma değerlerinin hangi işlem şartlarında gerçekleştirildiğini belirlemektir.

Yapılan analizlerde üç değişik parça kalınlığı, üç plastik malzeme ve iki tane fiber katkılı plastik malzeme kullanılmıştır. Plastik malzemeler ABS, ABS+PC ve PC dir. Kullanılan parça kalınlıkları ise 0,9 mm, 1 mm ve 1,1 mm dir. Katkılı plastik malzemeler ise %15 karbon fiber katkılı ABS ve ABS+PC plastik malzemelerdir.

Daha önceden yayınlanmış olan makalelerde çarpılma üzerine en büyük etkisi olan dört işlem parametresini sırayla faktörlerinin ütüleme basıncı, ütüleme zamanı, kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı olduğu bulunmuştur. Analizler bu faktörlere ait olan değerlerin değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Yine aynı çalışmalarda, soğutma sisteminin çarpılma değerine olan etkisinin yukarıda belirtilen üç faktöre oranla göz ardı edilebilir olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle tüm analizlerde soğutma kanalı çapı 10 mm kanalların parçadan olan uzaklığı ise 25 mm olarak alınmıştır.

ABS malzeme ve 0,9 mm kalınlık için yapılan analizlerde elde edilen en düşük çarpılma değeri 0,6183 mm dir. En büyük çarpılma değeri ise 0,6828 mm dir. 1mm kalınlık için elde edilen en düşük çarpılma değeri 0,6201 mm, en büyüğü ise 0,6838 mm dir. 1,1 mm kalınlıkta ise bu değerler 0,6189 mm ve 0,6858 mm dir Görüldüğü üzere

elde edilen değerler oldukça düşük değerlerdir. Bu değerlerin düşük olmasının sebebi cidar kalınlığı/parçanın en büyük boyutu oranının çok küçük olmamasıdır. Bu oran arttıkça plastik parçalarda görülen çarpılma da artmaktadır.

ABS malzeme için yaptığımız ANOVA analizini incelediğimizde ABS malzeme ile üretilmiş parçada, verilen aralık değerlerinde çarpılma üzerinde en etkili iki parametre ütüleme basıncı (%26,2) ve ütüleme zamanıdır (%70,6). ABS malzeme için en düşük çarpılmanın görüldüğü analiz üç numaralı analizdir. Bu analizde ütüleme basıncı ve zamanına bakacak olursak bu değerlerin maksimum olduğunu görmekteyiz. Daha sonra gelen üç analizde de bu iki değer en üst seviyelerdedir. Üçüncü dereceden etkili olan parametre olan eriyik sıcaklığını (%2,7) incelersek, en düşük çarpılmanın gözlemlendiği üçüncü analizde eriyik sıcaklığı en düşük değerdeyken giderek daha sonraki giderek artan çarpılma değerleriyle birlikte bu değerde artmaktadır. En yüksek çarpılma değerini görüldüğü analiz ise onaltıncı analizdir. Bu analizde tahmin edileceği üzere ütüleme zamanı ve basıncı minimum değerinde eriyik sıcaklığı ise maksimum değerindedir. ABS malzeme açısından çıkaracağımız nihai sonuç; ABS malzemenin çarpılmasında en etkili olan parametreler ütüleme zamanı ve basıncıdır. Verilen aralıkta bunların değerleri arttıkça çarpılma azalır. Daha sonra gelen üçüncü parametre ise eriyik sıcaklığıdır. Bunun da değerinin azalması çarpılma üzerinde istenilen doğrultuda etki yapar. Bu çalışmada ABS malzeme için önerilen parametre değerleri; ütüleme zamanı 20 sn, ütüleme basıncı 30 MPa, eriyik sıcaklığı ise 274 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C dir.

ABS+PC malzeme ve 0,9 mm kalınlık için yapılan analizlerde elde edilen en düşük çarpılma değeri 1,002 mm dir. En büyük çarpılma değeri ise 1,074 mm dir. 1mm kalınlık için elde edilen en düşük çarpılma değeri 1,003 mm, en büyüğü ise 1,074 mm dir. 1,1 mm kalınlıkta ise bu değerler 1,003 mm ve 1,078 mm dir.

ABS+PC malzeme, ABS malzeme olduğu gibi çarpılma üzerindeki en belirgin etki ütüleme basıncının değişimidir (%85,2). Çarpılmanın en düşük olduğu değerler basıncın en yüksek, çarpılmanın en yüksek olduğu değerler ise basıncın en

düşük olduğu durumlarda meydana gelmiştir. İkinci derecede etkili parametre olan eriyik sıcaklığına (%12,66) bakacak olursak ise, eriyik sıcaklığının artması çarpılmayı azaltıcı bir unsur olarak karşımıza çıkar. Ütuleme zamanı (%1,96) ise ABS+PC malzemede ABS malzemede olduğu kadar etkili değildir. Çarpılmanın en düşük olduğu durum yirmi yedinci analizdir. Maksimum olduğu ise ondokuzuncu analizdir. ABS+PC malzeme açısından çıkaracağımız nihai sonuç; ABS+PC malzemenin çarpılmasında en etkili olan parametreler ütuleme basıncı ve eriyik sıcaklığıdır. Verilen aralıkta bunların değerleri arttıkça çarpılma azalır. Daha sonra gelen üçüncü parametre ise ütuleme zamanıdır. Bu çalışmada ABS+PC malzeme için önerilen parametre değerleri; ütuleme basıncı 30 MPa, eriyik sıcaklığı 300 °C, ütuleme zamanı 10 sn, kalıp sıcaklığı 60 °C dir.

PC malzeme ve 0,9 mm kalınlık için yapılan analizlerde elde edilen en düşük çarpılma değeri 0,7427 mm dir. En büyük çarpılma değeri ise 0,7651 mm dir. 1mm kalınlık için elde edilen en düşük çarpılma değeri 0,7418 mm, en büyüğü ise 0,7632 mm dir. 1,1 mm kalınlıkta ise bu değerler 0,7446 mm ve 0,768 mm dir

PC malzemede diğer iki malzemede olduğu gibi ütuleme basıncının yüksek olması çarpılmayı azaltmaktadır. Ayrıca PC malzeme içinde en etkili parametre ütuleme basıncıdır (%82,9). PC malzemede diğer iki malzemeye göre eriyik sıcaklığının çarpılma üzerinde daha fazla etkili olduğu görülmektedir (%15,5). Çarpılmanın en düşük olduğu durum yirmiyedinci analiz, en yüksek olduğu ise ondokuzuncu analizdir. Bu çalışmada PC malzeme için önerilen parametre değerleri; ütuleme basıncı 30 MPa, eriyik sıcaklığı 300 °C, ütuleme zamanı 10 sn, kalıp sıcaklığı 60 °C dir.

%15 karbon fiber plastik malzemelere baktığımızda ise elde edilen çarpılma değerlerinin katkısız malzemelere oranla çok daha düşük olduğu görülmektedir. Katkılı malzemeler için analizler sadece 1mm kalınlık için yapılmıştır. Karbon fiber katkılı ABS malzemeli 1 mm kalınlığa sahip parçada elde edilen minimum çarpılma 0,1236, maksimum çarpılma ise 0,1533 mm dir Karbon fiber katkılı ABS malzemede ABS malzemedan farklı olarak eriyik sıcaklığı en önemli parametredir (%64,8). Daha sonraki

parametre ise ütüleme zamanıdır (%28,7). Bu parametrenin yüzdesi ABS malzemede %70,6 iken katkılı malzemede %28,7 ye düşmüştür. Ütüleme basıncının etkisi ise %26,6 dan %6,12 ye düşmüştür. Bu malzemede çarpılmanın az olmasını istiyorsak eriyik sıcaklığını düşük tutmalı (274 °C), ütüleme zamanı yükseltmeli (20 sn) ve ütüleme basıncını düşürmeliyiz (20 MPa).

Karbon fiber katkılı ABS+PC malzemeye baktığımızda 1 mm kalınlığa sahip parçada minimum çarpılma 0,0976 mm maksimum çarpılma ise 0,1008 mm dir. Bu değerler katkısız ABS+PC malzemeye göre çok küçüktür. Bu malzemede ütüleme basıncının çarpılmaya etkisi oldukça fazladır. Eriyik sıcaklığının etkisi ise katkısız ABS+PC ye göre %5,48 azalmıştır. Bu malzemede çarpılmanın az olması için ütüleme basıncını yüksek tutmalıyız. (30 MPa)

Sonuç olarak çarpılma problemi açısından bakacak olursak çarpılma için en uygun malzemeler sırasıyla ABS, PC ve ABS+PC dir. %15 karbon fiber katkılı malzemelerde ise bu sıra ABS+PC ve ABS şeklindedir.

Ütüleme fazı, kalıp ve eriyik sıcaklıkları ile enjeksiyon aşamaları analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere çarpılma üzerinde etkili olmaktadır. Parçanın hatasız bir biçimde elde edilmesi istiyorsak parçanın tasarım aşaması da dahil olmak üzere enjeksiyon işlemine etki eden unsurlar dikkatli bir biçimde gözden geçirilmelidir. Kalıp imalatına ve enjeksiyon işlemine başlamadan önce bilgisayar ortamında simülasyonlar yapmak zaman, işçilik (kısaca maliyet) gibi değerlerin boşa harcanmasını önleyecektir.

Kuvvet analizlerine bakacak olursak en yüksek kuvvet dayanımına sahip olan malzemeler sırasıyla %15 karbon fiber katkılı ABS+PC, %15 fiber katkılı ABS, PC, ABS+PC ve ABS dir. Cep telefonunun üst yüzeyinde belirlenen dört nokta içinde kuvvet açısından en dayanıklı noktalar sırasıyla 4, 3, 2, 1 dür. Bu sonuçlar tüm malzemeler için aynıdır. Cep telefonu üzerinde belirlenen A, B, C ve D noktalarına bakacak olursak ise kuvvetin Y eksenini doğrultusunda uygulanması durumunda en yüksek kuvvet dayanımına

sahip olan nokta B noktasıdır. Fakat kuvvetin yüzeye dik olarak uygulandığı duruma bakacak olursak da B noktası en güçsüz nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kuvvetlerin telefon kapağının üst yüzeyine uygulanması durumunda da iki numaralı nokta en kritik noktadır. Cep telefonunun üst yüzeyindeki bozulma bu noktada başlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada dört enjeksiyon parametresinin (eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı ve ütüleme zamanı), üç değişik parça kalınlığının ve beş değişik malzemenin ince cidarlı parçalardaki çarpılma değerine etkisi incelenmiştir. İnce cidarlı parçalarda çarpılma problemi üzerine yapılacak ileriki çalışmalarda değişik malzemeler kullanılabilir. Eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı ve ütüleme zamanı parametrelerinin dışında çarpılma üzerine etkili olabilecek diğer parametreler incelenebilir. Herhangi bir parametrenin diğer parametreler üzerindeki etkileri de araştırılabilir. Bu çalışmada kullanılan malzemeler arasında %15 karbon fiber katkılı malzemeler bulunmaktadır. Karbon fiber yerine fiber glass gibi başka takviye edici katkıları kullanarak analizler yapılabilir. Veya takviye edici katkının yüzdesi değiştirilebilir.

Bu çalışmada çarpılmanın yanında kullanılan malzemeler mukavemet açısından da incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan analizler statik analizlerdir. Diğer çalışmalarda malzemelerin mukavemet açısından karşılaştırılması başka yollarla yapılabilir. Bu tip çalışmalara örnek, cep telefonunun hangi yükseklikten düşmesi halinde nereden kırılabileceğinin araştırılması olabilir.

KAYNAKLAR

1. Huang M. C., Tai C. C., The Effective Factors In The Warpage Problem Of An Injection Molded Part With A Thin Shell Feature, *Journal of Materials Processing Technology* 110, pp. 1-9, 1999
2. Shen Y.K., Yeh P. H., Wu Y. S., Numerical Solution For Thin Wall Injection Molding Of Fiber Reinforced Thermoplastics, *Int. Comm. Heat Mass Transfer* Vol. 28, No. 8, pp. 1035-1042, 2001
3. Shen Y. K., Liu, J. J., Chang C. T., Chiu C. Y., Comparison Of The Results For Semisolid And Plastic Injection Molding Process, *Int. Comm. Heat Mass Transfer* Vol. 29, No.1, pp. 97-105, 2002
4. Shen Y. K., Ye T. W., Chen S. I., Yin C. H., Song W. D., Study On Moldflow Analysis Of Flip Chip Package, *Int. Comm. Heat Mass Transfer* Vol. 28, No. 27, pp. 943-952, 2001
5. Seow L. W., Lam Y. C., Optimizing Flow In Plastic Injection Molding, *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp. 333-341, 1996
6. Kim H. S., Son J. S., Im Y. T., Gate location design in injection molding of an automobile junction box with integral hinges, *Journal of Materials Processing Technology* 140, pp. 110-115, 2003
7. Galantucci L. M., Spina R., Evaluation of filling conditions of injection molding by integrating numerical simulations and experimental tests, *Journal of Materials Processing Technology* 141, pp. 266-275, 2003
8. Chen X., Lam Y. C., Li D. Q., Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding, *Journal of Materials Processing Technology* 101, pp. 275-280, 2000
9. Li C. L., A feature based approach to injection mold cooling system design, *Computer Aided Design* 33, pp. 1073-1090, 2000
10. Liao S. J., Chang D. Y., Chen H. J., Tsou L. S., Ho J. R., Yau H. T., Hsieh W. H., Optimal Process Conditions Of Shrinkage And Warpage Of Thin-Wall Parts, *Polymer Engineering And Science* vol. 44, no.5, pp. 917-928, 2004

11. Choi Du-Soon, Yong Taek-Im, Prediction of shrinkage and warpage in considiration of residual stress in integrated simulation of injection molding, Composite Structures 47, pp. 655-665, 1999
12. Britton G. A., Lam Y. C., Deng Y. M, Specification Model: A First Step Toward Automatic Interpretation of Injection Molding CAE Results, Advanced Manufacturing Technology, pp. 833-843, 2002
13. Britton G. A., Lam Y. C., Deng Y. M, A computer aided system for an optimal molding conditions design using a simulation-based approach, Advanced Manufacturing Technology, pp. 576-586, 2003
14. Muccio E, Plastic Part Technology, The Materials Information Society, 2000
15. Savaşçı T., Uyanık N., Akovalı G., Plastikler ve Plastik Teknolojisi, PAGEV Yayınları, 2002
16. Menges G, Mohren P, How To Make Injection Molds, Hanser Publishers, 1983
17. Mörwald K., Insight into the Design of Injection Molds, 1965
18. Amberg J., Design of Injection Molds on a Modular System, Academic Thesis, 1977
19. Szibalski M., Meier E., Development of a Qualititative Method for the Design Process of Injection Molds, Academic Thesis, 1976
20. Pye R. G. E., Injection Mold Design, Hiffe Books Ltd, 1983
21. Schmid A, Principles Sprues, Gates, Course Handbook Injection Molds, 1971
22. Plastics Under Discussion, 1 Injection Molding, 1979
23. Stoeckhert K, Mold Making Handbook, Hanser Publishers, 1983
24. Giragosian S., Continous Mold Venting, Modern Plastics, Vol44 11, pp. 122-124, 1966
25. Özaydın H, Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Çarpılmaya Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı Yüksek Lisan Tezi, 2003
26. Bucaklıgil Ç, plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1999
27. www.honeywell-plastics.com/techninfo/litshop/inject
28. www.acsipe.com



29. Rosata D V, Injection Molding Handbook, 1955
30. Turaçlı H., Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri, Pagev Yayınları, 1955
31. Birinci A, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1997
32. Moldflow Plastics Insight 4.0, 2004
33. CATIA V5R12
34. www.matweb.com
35. <http://analiz.ibtayazilim.com/egitim/regresyon.html>
36. MINITAB v14
37. Kikicho H., Koyama K., Warpage, Anisotropy and Part Thickness, Polymer Engineering and Science vol. 36 no. 10, pp. 1326-1335, 1996
38. Liu S., Modelling and Simulation of Thermally Induced Stress and Warpage in Injection Molded Thermoplastics, Polymer Engineering and Science vol. 36 no. 6, pp. 807-818, 1996
39. Kabanemi K., Vaillancourt H., Wang H., Salloum G., Residual Stresses, Shrinkage, and Warpage of Complex Injection Molded Products: Numerical Simulation and Experimental Validation, Polymer Engineering and Science vol. 38 no. 1, pp. 21-37, 1998
40. Gu Y., Li H., Shen C., Numerical Simulation of Thermally Induced Stress and Warpage in Injection Molded Thermoplastics, Advances in Polymer Technology vol. 20 no.1, pp. 14-21, 2000
41. Akay M., Özden S., Prediction of Process-Induced Warpage in Injection Molded Thermoplastics, Polymer Engineering and Science vol. 36 no. 13, pp. 1839-1846, 1996
42. Bushko W., Stokes V., Solidification of Thermoviscoelastic Melts. Part 3: Effects of Mold Surface Temperature Differences on Warpage and Residual Stresses, Polymer Engineering and Science vol 36. No.13, pp. 322-335, 1996
43. Kikuchi H., Koyama K., The Relation Between Thickness and Warpage in a Disk Injection Molded From Fiber Reinforced PA66, Polymer Engineering and Science vol. 36 no. 10, pp. 1317-1325, 1996



44. Kikuchi H., Koyama K., Generalized Warpage Parameter, Polymer Engineering and Science vol. 36 no. 10 pp. 1309-1316, 1996
45. Hatiboğlu Z., Temel İstatistik, Yeni İktisat ve İşletme Yönetimi Dizisi No:15, Beta Basım YayınDağıtım Aş, İstanbul, 1994





ÖZGEÇMİŞ

07.03.1979'da Kayseri'de doğdu. 1991'de Küçükaly Merkez İlkokulu'ndan 1997'de İSTEK Uluğbey Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü üçüncü olarak bitirdi. 2002 yılında yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programına kayıt oldu.

