

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA
KALIP İÇİ VE ERİYİK SICAKLIKLARININ
MEKANİK VE BOYUTSAL ÖZELLİKLERE
ETKİSİ

Vedat Evren DURSUN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA
KALIP İÇİ VE ERİYİK SICAKLIKLARININ
MEKANİK VE BOYUTSAL ÖZELLİKLERE
ETKİSİ**

**Vedat Evren DURSUN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK**

**GEBZE
2010**



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY FORMU**

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) : Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE : Doç.Dr. Faruk Yılmaz

ÜYE : Yrd. Doç.Dr. İlyas Kandemir

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen/...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans / Doktora öğrencisi'ın çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve/...../..... sayılı kararıyla Anabilim Dalında Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA KALIP İÇİ VE ERİYİK SICAKLIKLARININ MEKANİK VE BOYUTSAL ÖZELLİKLERE ETKİSİ.

YAZAR ADI: VEDAT EVREN DURSUN

Plastik enjeksiyon kalıpçılığında kavite (ürün çukuru) içerisindeki ürünün enjeksiyon giriş noktası ile parçanın en uç noktası arasındaki sıcaklık farkının fazla olması ürünü mekanik ve boyutsal olarak olumsuz yönde etkileyebilir. Sıcaklık farkının azaltılması ile bu olumsuzluklar asgariye indirilebilir.

Bu çalışmada kavite içi sıcaklığına en fazla etki edebilecek iki değişken olarak kalıp ve hammadde sıcaklıkları üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada PP, ABS ve PC olmak üzere üç farklı hammadde kullanılmıştır. Her deneme için üç farklı kalıp ve hammadde sıcaklığı üzerinde çalışılmıştır.

Enjeksiyon sonrası üretilen parçalar üzerinde izod darbe dayanımı, üç nokta eğme mekanik testleri yapılmıştır. Bu mekanik testler ve ölçümler için parçalar standartlara uygun olarak üretilmiştir. Parçalardaki boyutsal değişiklikleri gözlemek için de CMM (Coordinate Measuring Machines) ölçümleri yapılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde PP malzeme için Moldflow MPI programı ile kalıp içi ve hammadde sıcaklık değişimlerinin parça üzerinde etki edebileceği parametreler üzerine analizler yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar şekil, grafik ve tablolarla ifade edilmiştir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: EFFECT ON THE MECHANICAL AND DIMENSIONAL PROPERTIES OF MOULD CAVITY AND MELT TEMPERATURES IN PLASTIC INJECTION MOULDING.

AUTHOR: VEDAT EVREN DURSUN

In plastic injection molding if the temperature difference between injection gate point and the farthest point of the part is considerable, it may negatively affect the mechanical and dimensional properties of the product. To reduce the temperature difference, the negativities may be minimized.

Main purpose of this study is to investigate the effects of variations of cavity and melt temperatures on mechanical, dimensional and quality properties of the plastic product and to define the optimum working conditions. In this study three different raw materials were used as PP, ABS and PC. Three different mold and raw material temperatures have been studied on for each trial.

After injection process the mechanical tests (Izod impact strength, three-point bending) were applied on produced parts. For this mechanical tests and measurements, samples were produced according to standards. To investigate of the dimensional properties of the produced part CMM measurements were applied. After experimental studies the obtained data were recorded.

In the last part of study the variations of cavity and material temperatures which may affect on the parameters of the parts were analyzed by using MPI. The obtained results were shown with figures, graphics and tables.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, yaptığım çalışmalarda beni her zaman sonuna kadar destekleyen ve yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e; enjeksiyon çalışmalarının, İzod darbe testlerinin ve CMM ölçümlerinin tamamlaması konusunda emeği geçen Galsan Plastik çalışanlarına; üç nokta eğme teslerini yapmamı sağlayan GYTE Malzeme Mühendisliği Bölümü çalışanlarına; tüm eğitim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim beni var eden sevgili aileme ve bir şekilde doğrudan ya da dolaylı olarak farkında olarak ya da farkında olmayarak bu çalışmaya katkı yapan herkese çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİK MALZEMELER	4
2.1 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.1 Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma	6
2.1.2 Yapı Esasına Göre Sınıflandırma	6
2.1.3 İşleme Esasına Göre Sınıflandırma	7
2.1.4 Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma	8
2.1.5 Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma	8
2.2 Plastik Ürün Üretimi ve Plastiklerin Tanıtılması	14
2.3 Plastiklerin Kullanıldığı Alanlar	17
2.4 Bu çalışmada kullanılan plastikler (PP, ABS, PC) ve genel özellikleri	19
2.4.1 Polipropilen(PP) Plastikler	19
2.4.2 Akrilonitril Bütadien Stirenin Plastikler (ABS)	21
2.4.3 Polikarbonat Plastikler (PC)	25
3. LİTERATÜR TARAMASI	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	52
4.1 Plastik ürünün imalatı	53
4.2 Numunelerin hazırlanması	74
4.2.1 Izod darbe deneyi	74
4.2.2 Üç nokta eğme deneyi	75
4.2.3 CMM (Coordinate Measuring Machines) Ölçümleri	76

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	79
5.1. Izod darbe deneyi sonuçları	79
5.1.1. PP ürünler için Izod darbe deneyi sonuçları	79
5.1.2. PC ürünler için Izod darbe deneyi sonuçları	81
5.1.3. ABS ürünler için Izod darbe deneyi sonuçları	83
5.2. Üç nokta eğme deneyi sonuçları	87
5.2.1 PP ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları	82
5.2.2 PC ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları	91
5.2.3 ABS ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları	94
5.3. CMM ölçüm sonuçları	97
5.3.1 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçları	97
5.3.2 PC ürünler için CMM ölçüm sonuçları	101
5.3.3 ABS ürünler için CMM ölçüm sonuçları	102
6. MOLDFLOW ÇALIŞMASI	104
6.1 Çalışma aşamaları	105
6.1.1 Soğutma kanallarının tasarımı ve belirlenmesi	105
6.1.2 Mesh (Ağ yapısı) oluşturma	106
6.1.3 Giriş (Gate) yerlerinin belirlenmesi	107
6.1.4 Malzeme seçimi	108
6.1.5 Proses ayarları	108
6.1.6 Analiz işlemi ve sonuçların alınması	109
6.2 Moldflow analiz sonuçları	110
6.2.1 Sıcaklık değişimlerinin enjeksiyon zamanı üzerindeki etkileri	110
6.2.2 Sıcaklık değişimlerinin hava hapsi (Air traps) üzerindeki etkileri	112
6.2.3 Sıcaklık değişimlerinin ortalama hız (average velocity) üzerindeki etkileri	114
6.2.4 Sıcaklık değişimlerinin birleşme izi (weldline) üzerindeki etkileri	119
6.2.5 Sıcaklık değişimlerinin basınç (pressure) üzerindeki etkileri	122
6.2.6 Ürünün sıcaklık değişimlerinin incelenmesi	127
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	131
7.1 Sonuçlar	131
7.2 Öneriler	135

- EK - 1 Çalışmada Kullanılan PP Hammadde Özellikleri
- EK - 2 Çalışmada Kullanılan PC Hammadde Özellikleri
- EK - 3 Çalışmada Kullanılan ABS Hammadde Özellikleri
- EK - 4 Çalışmada Kullanılan Enjeksiyon Makinesi Özellikleri
- EK - 5 Çalışmada Kullanılan Termokupl Özellikleri
- EK - 6 Çalışmada Kullanılan Termokupl Direnç Tablosu

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril bütadien stirenin
CMM	Coordinate Measuring Machines
E	Elastisite modülü
G	Eğilme modülü
PBT	Polibutilentereftalat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
TCR	Termal kontak direnci
Tps	Polimer yüzey sıcaklığı
Tms	Kalıp yüzey sıcaklığı
Tg	Plastiklerin camsı noktaya geçiş sıcaklığı
T _i	İndirgenme başlangıç sıcaklığı
T _f	Plastiklerin akma sıcaklığı
T _m	Ergime sıcaklığı
UV	Ultraviyole
W _c	Kristalizasyonun değişimi
ε	Yüzde uzama miktarı
σ	Gerilme
ϕ	Isı Akış Yoğunluğu

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması	5
2.2 Polimerin içindeki kristal ve amorf yapılar görülmektedir	9
2.3 Amorf termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişikliği	11
2.4 Yarı kristalin termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişikliği	12
2.5 Yarı kristalin termoplastiklerin sıcaklığa bağlı olarak iç yapı değişikliği	12
2.6 Plastiklerin iç yapısının genel özelliklerine sınıflandırılması	13
2.8 Enjeksiyonlu dökme	15
2.9 Ekstrüzyon üflemleri dökme sistemi	15
2.10 Sıkıştırarak kalıba dökme	16
2.11 Vakum termo Şekil verme	16
2.12 Plastikleri teşhis etme metodu	18
2.13 Polipropilenin fiziksel ve kimyasal özellikleri	20
3.1 Sensorlerin kalıp içerisindeki yerleşimi	32
3.2 Basınç ve sıcaklık bağlantılarının yerleşimi	33
3.3 GOM sonuçları	33
3.4 Kavite basınç ve zaman grafiği	34
3.5 Kalıp sıcaklık grafiği	36
3.6 Ekstrüzyon çevrimi ve kalıp sıcaklığı ile kristalizasyonun değişimi	38
3.7 Kalıp sıcaklığı ve ekstrüzyon çevrimleri ile ergime sıcaklığı (T_m) değişimi	38
3.8 Kalıp sıcaklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak PP'nin mekanik özelliklerinin değişimi	39
3.9 Enjeksiyonda yeniden işlemenin polikarbonatın fiziksel özelliklerine etkisi	40
3.10 Çentikli ABS'in darbe dayanımının 90 ve 120 °C'de yaşlanmasının bir fonksiyonu olarak gösterimi	41
3.11 90 °C' de yaşlandırılmış ABS'in elastisite modülü	42
3.12 Beyaz dairelerle gösterilen bölgelerde kızılötesi prob, basınç algılayıcı ve iki termokuplun yerleşimi	43
3.13: 220 °C enjeksiyon sıcaklığı 25 °C kalıp sıcaklığı ve 2,5 MPa hidrolik basıncı ile zamanın bir fonksiyonu olarak tipik kavite içi basıncı	44

3.14 Kalıp içindeki sıcaklık izleri ve yüzeydeki polimer akışı	
(1): Polimer yüzeyindeki sıcaklık (2) : Kalıp içinde arayüzden 2 mm yüzeyindeki sıcaklık (2) : Kalıp içinde arayüzden 2 mm uzaklıktaki sıcaklık (3): Kalıp içinde arayüzden 1 mm uzaklıktaki sıcaklık (4): Ters yöntemle hesaplanan kavite yüzey sıcaklığı	44
3.15 Soğuma sırasında ölçülen iki noktanın zamanla olan ilişkisi	45
3.16 5 farklı amorf termoplastiğin termal özellikleri: Modifiye Polipropilen oksit (M-PPO), Polikarbonat (PC), Polietermit (PEI), Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ve PC/ABS karışımı	47
3.17 Farklı kaplama türlerinde kalıp sıcaklığının temas sıcaklığına bağlı olarak değişimi (T _m :240 °C)	48
3.18 Farklı kaplama türlerinde kalıp sıcaklığının temas sıcaklığına bağlı olarak değişimi (T _m :250 °C)	48
3.19 Genel amaçlı bazı plastiklerin özellikleri	49
3.20 ABS plastiklerinin bazı örneksel özellikleri [Smith, 2006]	49
3.21 %40 ABS katkılı PBT malzemeler ile saf PBT'nin sıcaklık değişimleriyle izod darbe sonuçları değişimi	50
3.22 PBT / ABS karışımlarının 3 farklı ocak sıcaklığında izod darbeye bağlı sıcaklık değişimleri	50
3.23 Çentikli izod darbe testlerinden elde edilen sonuçlar	51
3.24 Farklı kalıp sıcaklıkları için ergime sıcaklığı, ergime entalpisi ve kristalizasyon değişimleri	51
4.1 Parça boyutları	53

4.2 Giriş bölgesi boyutları	54
4.3 Plastik enjeksiyon makinesi.	54
4.4 Kalıp Şartlandırıcısı.	54
4.5 Termokuplların kalıp içi yerleşimi.	55
4.6 Çalışmada kullanılan termokupl.	55
4.7 Sıcak yolluk ünitesi.	56
4.8 Termokuplların yerleşimi ve numaralandırılması.	58
4.9 Termokupllara en yakın bölgelerdeki plastik ürün sıcaklık değişimleri.	73
4.10 CEAST 6545 model test cihazı.	74
4.11 ISO 180'e göre İzod darbe deneyi numunesi	75
4.12 CEAST çentik açma cihazı.	75
4.13 Üç nokta eğme cihazı.	76
4.14 Üç nokta eğilme deneyi numunesi [ISO 180 : 2000].	76
4.15 Zeiss marka CMM makinesi.	77
4.16 CMM ölçüm düzeneği.	77
4.17 CMM ölçüm noktaları.	78
5.1 PP için izod darbe testi sonuçları grafiksel dağılımı.	80
5.2 PC izod darbe testi sonuçlarının grafiksel dağılımı	82
5.3 ABS izod darbe testi sonuçlarının grafiksel dağılımı	84
5.4 Çarpma mukavemetinin kristallik derecesine bağlı değişimi.	86
5.5 PP ürünler için maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi	88
5.6 PP ürünler için eğilme modülü sonuçlarının grafiksel gösterimi	89
5.7 Parçanın kristallik derecesiyle değişen elastikiyet modülü	90
5.8 Elastikiyet modülünün sferulit yapısına bağlı değişimi	91
5.9 PC ürünler için maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi	92

5.10 PC ürünler için eğilme modülü sonuçlarının grafiksel gösterimi	93
5.11 ABS ürünlerin maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi	95
5.12 ABS ürünlerin eğilme modülü sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi	96
5.13 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçlarının grafiksel değişimi	98
5.14 1.çalışmada dolum sonunda ölçüm noktalarının sıcaklık dağılımı	99
5.15 9.çalışmada dolum sonunda ölçüm noktalarının sıcaklık dağılımı	99
5.16 Parçada en son dolan bölgeler	100
5.17 Parçanın en uç bölgesindeki sıcaklık değişimleri	101
5.18 PC malzemeler için ölçüm sonuçlarının grafiksel dağılımı	102
5.19 ABS ürünlerin ölçüm sonuçlarının grafiksel dağılımı	103
6.1 Solidworks programında parçaların tasarımı	104
6.2 Soğutma kanalları	105
6.3 Fusion ve Midplane mesh özellikleri karşılaştırılması	106
6.4 Mesh özellikleri	107
6.5 Giriş (Gate) bölgeleri	107
6.6 Malzeme seçimi	108
6.7 7.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) enjeksiyon zamanı değişimi	110
6.8 8.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 220°C) enjeksiyon zamanı değişimi	111
6.9 9.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) enjeksiyon zamanı değişimi	111
6.10 1.çalışmada (Kalıp 25°C - Eriyik 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler	112
6.11 4.çalışmada (Kalıp 45°C - Hammadde 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler	112
6.12 7.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler	113
6.13 Analiz sonuçları için alınan noktalar	114
6.14 1.çalışmada (Kalıp 25°C – Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri	115
6.15 4.çalışmada (Kalıp 45°C - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri	115
6.16 7.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri	116

6.17 8.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri	116
6.18 9.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) ortalama hız değerleri	117
6.19 Ortalama hız değerleri grafiksel dağılımı	118
6.20 1.çalışmada (Kalıp 25°C - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri	119
6.21 4.çalışmada (Kalıp 45°C - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri	120
6.22 7.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri	120
6.23 8.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 220°C) birleşme izi bölgeleri	121
6.24 9.çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) birleşme izi bölgeleri	121
6.25 1.çalışmadaki (Kalıp 25°C - Eriyik 180°C) basınç değerleri	122
6.26 4.çalışmadaki (Kalıp 45°C - Eriyik 180°C) basınç değerleri	123
6.27 7.çalışmadaki (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) basınç değerleri	123
6.28 8.çalışmadaki (Kalıp 65°C - Eriyik 220°C) basınç değerleri	124
6.29 9. çalışmadaki (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) basınç değerleri	124
6.30 Basınç sonuçlarının grafiksel dağılımı	126
6.31 1. çalışmadaki (Kalıp 25 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri	127
6.32 4. çalışmadaki (Kalıp 45 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri	128
6.33 7. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri	128
6.34 8. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 220°C) ürün sıcaklık değerleri	129
6.35 9. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 260°C) ürün sıcaklık değerleri	129
6.36 Ürün sıcaklık sonuçlarının grafiksel dağılımı	130

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Örnek Polimerler ve oluştukları merler.	5
4.1 PP için enjeksiyon parametreleri	56
4.2 PC için enjeksiyon parametreleri	57
4.3 ABS için enjeksiyon parametreleri	57
4.4 PP 1. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	58
4.5 PP 2. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	59
4.6 PP 3. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	59
4.7 PP 4. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	59
4.8 PP 5. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	60
4.9 PP 6. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	60
4.10 PP 7. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	60
4.11 PP 8. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	61
4.12 PP 6. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	61
4.13 PP hammadde için termokupllardan alınan ortalama sıcaklık değerleri	62
4.14 PC 1. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	64
4.15 PC 2. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	64
4.16 PC 3. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	65

4.17 PC 4. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	65
4.18 PC 5. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	66
4.19 PC 6. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	66
4.20 PC 7. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	67
4.21 PC 8. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	67
4.22 PC 9. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	67
4.23 PC ürün için thermocouple'lerden alınan ortalama sıcaklık değerleri	68
4.24 ABS 3. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	69
4.25 ABS 4. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	70
4.26 ABS 5. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	70
4.27 ABS 6. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	70
4.28 ABS 7. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	71
4.29 ABS 8. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	71
4.30 ABS 9. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri	71
4.31 ABS ürünler için termokupllardan alınan ortalama sıcaklık değerleri	72
5.1 PP için yapılan çalışma çizelgesi	79
5.2 PP için izod darbe testi sonuçları	80
5.3 PC ürünler için çalışma şartları	81

5.4 PC izod darbe testi sonuçları	82
5.5 ABS ürünler için çalışma şartları	83
5.6 ABS ürünler için izod darbe testi sonuçları	84
5.7 PP ürünler için çalışma şartları	87
5.8 PP ürünler için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları	88
5.9 PC ürünler için çalışma şartları	91
5.10 PC ürünler için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları	92
5.11 ABS ürünler için çalışma şartları	94
5.12 ABS için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları	95
5.13 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçları	98
5.14 PC için CMM ölçüm sonuçları	101
5.15 ABS ürünler için CMM ölçüm sonuçları	103
6.1 Moldflow proses şartları	109
6.2 Ortalama hız sonuçları	118
6.3 Basınç sonuçları	125
6.4 Ürün sıcaklık sonuçları.	130

1. GİRİŞ

Günümüzde plastik parçalar ağırlıklı olarak otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde kullanılmaktadır. Mevcut kalite standartları ve müşterilerin beklentileri üretilen plastik parçaların görsel, boyutsal ve mekanik özellikleri açısından kusursuz olmasını beklemektedir. Bu sebeple plastik parça üretiminde her zamankinden daha hassas toleranslar içerisinde çalışma ihtiyacı doğmuştur. Parça üretiminde optimum şartların, proseslerin belirlenmesi ve sabitlenmesi ihtiyacı plastik enjeksiyon kalıpcılığında da yeni yöntemler ve bilimsel araştırmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır.

“Metal, ağaç, cam ve seramik gibi yüzyıllarca kullanılan ve halen de kullanılmakta olan malzemelere alternatif olarak ortaya çıkan plastikler, artık küreselleşme kavramını tartışmaya başlayan tüm toplumlar için önemi gittikçe artan bir malzeme sınıfı olmuştur. 1800’lü yılların sonlarına doğru ilk örnekleri ve işleme teknikleriyle ortaya çıkan bu malzeme türü, bir yüzyıldan biraz fazla zaman diliminde hem kalite hem de çeşitlilik açısından diğer malzeme cinsleriyle kıyaslanmayacak derecede hızlı bir gelişim göstermiş, saf olarak veya içine katkı maddeleri eklenerek neredeyse tüm diğer malzeme cinslerinden daha çok tercih edilir olmuştur” [Akyüz, 2001].

Günümüzde kalıp endüstrisi her zamankinden daha fazla ürün kalitesi talep etmektedir. Fonksiyonel özelliklerin yanında parça kalitesi de önemlidir. Nihai ürünlerin yüksek kalite beklentisi ile kalıp içi sıcaklık ve basınç parametrelerinin kontrol edilmesi de plastik enjeksiyon prosesinde önemli hale gelmiştir [Kurt et al., 2009].

Kalıp üretimi önemli bir destekleyici endüstridir. İlgili tüketici ürünlerinin %70’inden daha fazlasını teşkil eder. Kısa zamanlı tasarım ve üretim talebi, bütün kalite özellikleri ve olabildiğince hızlı tasarım değişiklikleri bu endüstrideki dar boğazların açılmasını sağlamıştır [Kurt et al., 2009].

Buna ilave olarak enjeksiyon kalıpcılığı termoplastik parçalar için kısa çevrim zamanları, mükemmel yüzeyli ürünler ve karmaşık şekilli ürünler için kolay kalıplama gibi bir çok avantajlar sağlayan en popüler kalıplama prosesidir [Kurt et al., 2009].

Enjeksiyon kalıpcılığı yöntemi şöyle tanımlanabilir. Öncelikle kullanılacak malzeme erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Eriyik hammadde yüksek basınç ile kalıp içerisine enjekte edilir. Parça dolmak üzereyken kalıp içine tutma için sabit bir basınç uygulanır. Kalıp gözünün kalan hacmini tamamlamak için tutma basıncı soğuma süresince parçadaki çarpılmayı önlemek için devam eder. Kavitenin içi stabil hale geldikten sonra parça kalıptan çıkartılır. Kalıplanan final üründen beklenen kalite özellikleri, ölçüsel kararlılık, görünüş ve mekanik özellikler gibi yüksek oranda proses değişikliklerine bağlı terimler olarak adlandırılabilir. Parçadaki çöküntü, çarpılma, akış izi, çöküntü gerilmeleri gibi bir çok hata üretim prosesinden kaynaklanır. Bu hatalar ürünün doğruluk ve kalitesine zarar vericidir. Bu sebeple kalıpcılıkta etki faktörlerini efektif kontrol etmek çok önemlidir [Kurt et al., 2009].

Bu çalışma giriş bölümünden itibaren toplam yedi bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde, plastik malzemelerin genel özellikleri sınıflandırılmaları ve özellikle bu çalışma için kullanılan PP, ABS ve PC ürünlerin özellikleri anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, çalışma ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Çeşitli yayınlar, tezler ve kaynak kitaplar araştırılmış ve konu ile ilgili olabilecek bölümlere çalışmada yer verilmiştir.

Dördüncü bölüm deneysel çalışmaların yapıldığı bölümdür. Bu bölüm enjeksiyon ve deneysel çalışmaların hazırlıklarından nihai ürünün elde edilmesi, test ve ölçümlerinin yapımına kadar geçen tüm süreçlerin anlatıldığı bölümdür. Üretim ve test sonuçları, hazırlık evresi, üretimler sonucu elde edilen veriler şekil, tablo ve grafiklerle bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde yapılan tüm deneysel çalışmanın sonuçları anlatılmaktadır. Deneysel sonuçlar tablo ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde ise, üretilen parçaların Moldflow MPI programı ile analizleri yapılarak üretimler sonucu elde edilen verilerin bilgisayar ortamında alınan sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yedinci ve son bölüm tüm çalışmanın sonuçlar ve öneriler bölümüdür. Bu bölümde yapılan her çalışmanın sonuçları bütün olarak değerlendirmeye alınmış ve yeni çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. PLASTİK MALZEMELER

2.1 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Mühendislikte kullanılan malzemeleri;

- Metal malzemeler,
- Organik malzemeler,
- Seramik malzemeler,
- Kompozit malzemeler olarak sınıflandırabiliriz.

Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir [Akkurt, 1991]. Polimer malzemeler kendi aralarında;

- Doğal,
- Yapay (sentetik)

olarak sınıflandırılır.

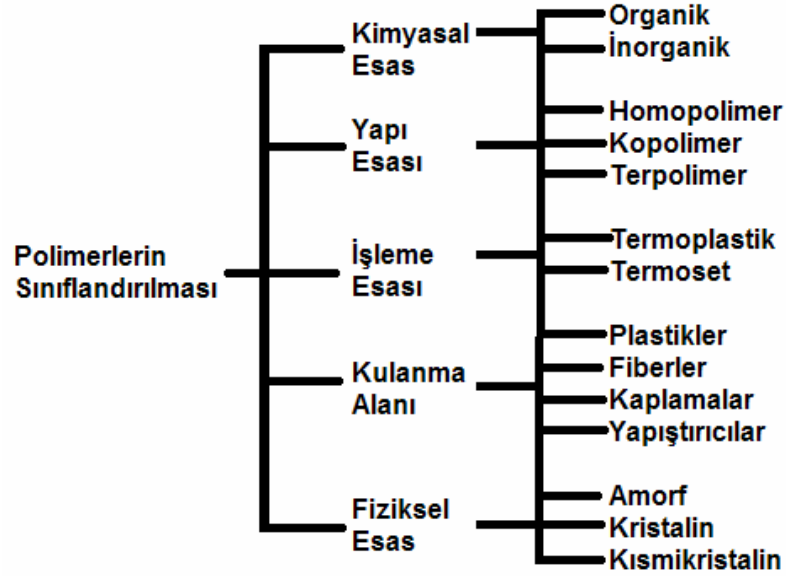
Endüstriyel uygulamalarda kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Yapay polimerler genellikle çok sayıda tekrarlanan monomerlerden (kısaca mer) oluşmaktadır. Bu şekilde elde edilen polimerler grubu, Tablo 2.1’de gösterildiği gibi tekrarlanan birimin kimyasal adının önüne ‘poli’sözcüğü konularak elde edilir [Akkurt, 1991].

Tablo 2.1 Örnek polimerler ve oluştukları merler [Akkurt, 1991].

Tekrarlanana birim	Birimin Kimyasal Adı	Polimer Adı
$\begin{array}{c} \text{-O-C-} \\ \\ \text{O} \end{array}$	Ester	Poliester
$\begin{array}{c} \text{-C-NH-} \\ \\ \text{O} \end{array}$	Amid	Poliamid
$\begin{array}{c} \text{-C-C-} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Viniklorür	Poliviniklorür
$\begin{array}{c} \text{F F} \\ \\ \text{-C-C-} \\ \\ \text{F F} \end{array}$	Tetrafluoretilen	PoliTetrafluoretilen

Doğal polimerler de yapay polimerler gibi tekrarlanan ünitelerden oluşur. Doğal polimerlere örnek olarak selüloz, nişasta ve doğal kauçuk verilir.

Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması Şekil 2.1’de gösterilmektedir [Akkurt, 1991].



Şekil 2.1 Polimerlerin sınıflandırılması [Akkurt, 1991].

2.1.1 Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma

Polimerler kimyasal bileşenlerine göre;

- Organik,
- İnorganik olarak sınıflandırılır.

Organik polimerlerin ana zincirinde başta karbon olmak üzere, oksijen, azot atomları bulunur. İnorganik polimerlerde ise ana zincir üzerinde karbon yerine silisyum, germanyum, bor, fosfor bulunur.

İnorganik polimerlerde ana zincir üzerinde bulunan elemanların bağ enerjisi organik polimerlerde bulunanlardan daha yüksektir. Bu nedenle organik polimerler daha yaygın kullanılmalarına rağmen inorganik polimerler daha yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahiptir [Akkurt, 1991].

2.1.2 Yapı Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler yapılarına göre;

- Homopolimer,
- Kopolimer,
- Terpolimer sınıflandırılır.

Homopolimerler tek bir monomerin tekrarlanması ile oluşurlar. Kopolimer ise iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Terpolimerler ise üç farklı cins monomerden oluşur.

2.1.3 İşleme Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler işleme esasına göre;

- Termoplastikler (termoplastlar)
 - Termoset plastikler (duroplastlar)
- olmak üzere 2 ana gruba ayrılırlar.

Termoplastikler ısı ile şekillendirilebilen yapay bir malzemedir. Lineer zincir biçiminde makro moleküllerden oluşur. Bunlar kuvvetli atom bağları ile birbirine bağlıdırlar. Fakat çizgisel moleküller arasında zayıf Van Der Waals bağları vardır. Artan sıcaklıkla moleküller arası bağ daha da zayıflar ve zincir moleküllerinin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştırır. Termoplastikler artan sıcaklık ile elastik durumdan, plastik hamur haline hatta sıvı hale geçerler ve soğutulduklarında yeniden katı hale geçerler. Buharlaşıma ile bileşim değişmedikçe, bu çevrim istenildiği kadar tekrarlanabilir [Kaluç, 1996].

Termoplastiğin hamur halinde bulunma sıcaklıklarının alt sınırında ekstrüzyon, haddeleme, basma vb. işlemler; üst sınırında kaynak; sıvılaştırma sıcaklığının üstünde de enjeksiyon döküm yapılır [Kaluç, 1996].

Termoset plastiklerin makro molekülleri, hacimsel kafes sistemindedir. Makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşmuş üç boyutlu ağ yapısına sahiptir. Ağ yapısı tekrar ısıtılarak yumuşatılamaz [Akkurt, 1991]. Sıcaklık çok artırılırsa özelliklerini kaybeder ve giderek kömürleşirler. Termoset malzemeler talaş kaldırılarak, basınçlı kalıplama vb. yöntemlerle şekillendirilir.

Termoset plastiklerin mekanik özellikleri iyileştirmek için genelde %40 ile %60 arasında katkı maddesi katılır ve henüz sertleşmemiş kütle belli bir sıcaklıkta ve basınçta preslenir.

Termeset plastiklerin mühendislik alanlarında uygulamalarının tercih sebepleri;

- Yüksek ısıl kararlılık,
 - Yüksek boyutsal kararlılık,
 - Yük altında sürünme ve şekil değiştirmeye karşı direnç,
 - Hafiflik,
 - Yüksel elektrik ve yalıtım özelliği
- olarak belirtilebilir [Akkurt, 1991].

2.1.4 Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma

Kullanım alanına göre polimerler;

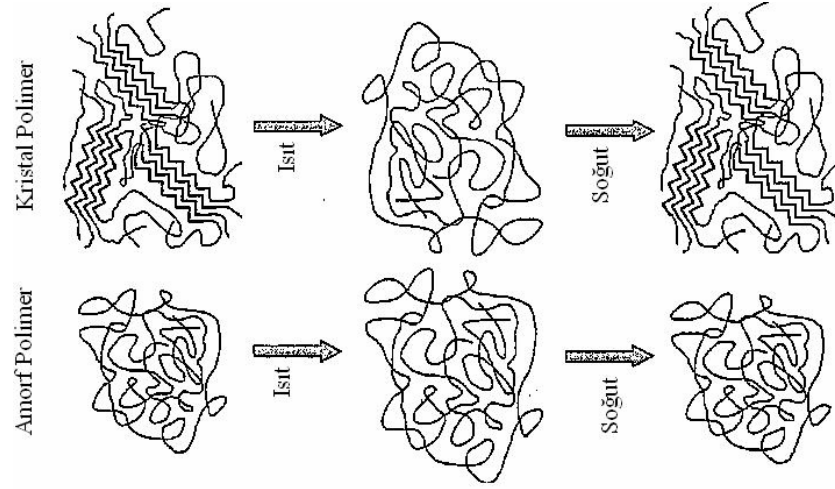
- Plastikler,
 - Fiberler,
 - Kaplamalar,
 - Yapıştırıcılar
- olmak üzere bölümlendirilir. Buna ilave olarak plastikler
- Saf plastikler,
 - Kuvvetlendirilmiş (dolgu malzemeli)
- olmak üzere 2 ana gruba ayrılır.

2.1.5 Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma

Fiziksel esasa göre;

- Kristal yapılar,
- Kristal olmayan yapılar, (amorfl yapılar, camsı yapılar)
- Yarı kristalin yapılar olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Kristal bir yapıda merler belirli bir düzeye göre dizilirler. Kristal olmayan yapılarda genel olarak bir düzen söz konusu değildir. Kristalleşme ile polimer malzemede daha yüksek dayanım ve mekanik özellikler elde edilir. Yarı kristal yapılarda polimerlerdeki kristallik toplam hacmin %5 ile 95'i arasındadır. Plastiklerde tam kristalleşme mümkün değildir. Genel olarak kristalleşme derecesi arttıkça dayanım artar. Bunun için yüksek dayanım gereken yerlerde polimerlerin kristallik derecesinin yüksek olması istenir. Şekil 2.2'de amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları gösterilmektedir [Malloy, 1994].



Şekil 2.2 Amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları [Malloy,1994].

Molekül yapılarına göre plastikler,

1. Termosetler
2. Termoplastikler
3. Elastomerler

şeklinde gruplandırılır.

Termoplastikler lineer veya çatallı zincir şeklindeki moleküllerden oluşurlar; fakat zincirler arası çapraz bağ yoktur.

Termosetler zincirleri arasında çok ve sık çapraz bağları olan moleküllere sahiptirler. bu bağlar molekül ağıнын hareketlerini önlerler.

Buna karşılık Elastomerlerdeki geniş aralıklı az sayıdaki çapraz bağlardan oluşan ağ, moleküle hareket olanağı sağlar. Malzemenin elastik olmasının sebebi budur.

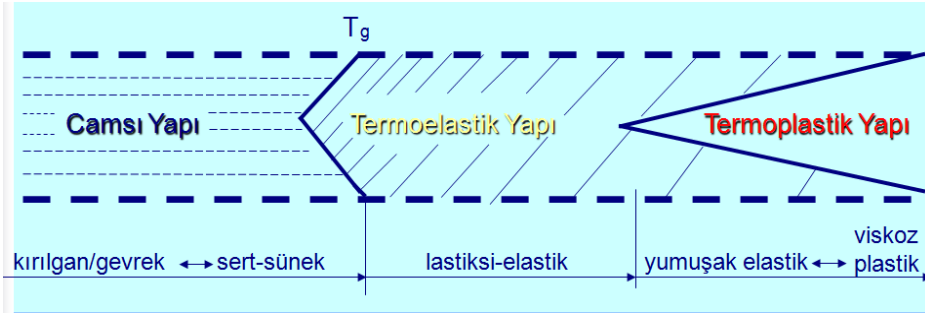
Daha önce termosetlerin zincirleri arasında çok ve sık çapraz bağları olan moleküllere sahip olduğunu belirtmiştik. Bu bağlar molekül ağının hareketlerini önlerler. Aynı yapı bir arada bulunan moleküllerin de hareketini tamamen önler. malzemenin ısıtılmasında iç içe geçmiş bu moleküllere hareketlilik sağlayamaz. belli bir sıcaklığın üzerinde ısınan malzemede atomlar arasındaki bağlar çözüleye başlar. H atomlarının ayrışması ile geriye C atomları kalır. Yani malzemenin belli bölgelerinden başlayarak kömürleşmeler görülür. İşte bu sebepten dolayı termoset malzemeler ısıtılarak, yumuşatılıp tekrar kullanılamazlar.

Termoplastikler ise, ısıtılınca, yumuşayıp tekrar kullanılmaları mümkün olduğundan, bu adı almışlardır.

Termoplastiklerin molekülleri, düz çatalı veya dallı budaklı olabilir. Ancak sonuçta bir ip gibi gösterilebilir. Bu moleküller, cismi oluşturmak üzere bir araya geldiklerinde yumağa benzer bir yapı meydana getirirler. Bu yapı termoplastik malzemelerin oda sıcaklığında bile sünek, yani esnek olmalarını sağlar. Bu yumak düzensiz, karışık görünümde ise bu iç yapıya amorf denir.

Eğer moleküller belli bölgelerde düzenli olarak dizilmişlerse, buna yarı kristalin yapı denir. Yarı kristalin termoplastikler ısıtılınca önce yarı kristalin yapı bozularak, malzeme amorf hale gelir. Bu sırada önce parçanın mukavemetinde azalma ve yumuşama görülmez. Çünkü alınan enerji kristal yapını bozularak, amorf yapının oluşmasına harcanır. Bu noktadan sonra ısıtılan yarı kristalin plastikler de amorf plastikler gibi yumuşamaya devam ederler. Atomların artan titreşimi moleküllerin birbirlerinden uzaklaşmalarını sağlar. Biri birinden uzaklaşan molekül, daha kolay hareket edebildiklerinden, şekillendirilmeleri için daha az kuvvet gerekir. Yani malzeme artık işlenebilecek kadar yumuşamıştır. Isıtmaya devam edersek atom bağları kopmaya başlar. Önce zincirler kırılır boyları kısalır. Daha sonra H ayrışması ile yanıklar oluşur. Malzeme artık kalıcı hasar görmüştür ve kullanılması sakıncalıdır, denilebilir.

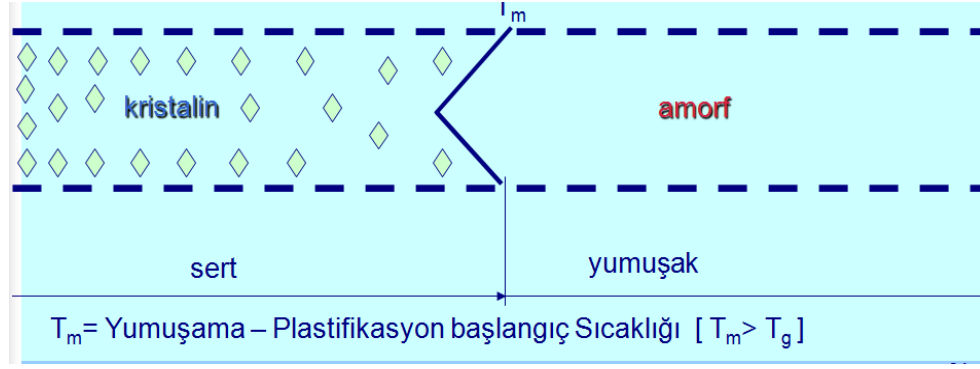
Soğutulan malzemede ters yönde aynı yapılar oluşur. Şekil 2.3’de amorf termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişikliği gösterilmiştir [Tanrıkulu, 2005].



Şekil 2.3 Amorf termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişikliği [Tanrıkulu, 2005].

Amorf termoplastikler T_g camgeçiş noktasının altındaki sıcaklıklarda sert ve kırılgandırlar. sıcaklık arttıkça malzeme sert kalır, fakat gevrek yapıdan elastik sünek yapıya geçer. Sıcaklığın T_g 'nin üzerinde artmaya devam etmesi halinde malzeme önce lastik benzeri elastik, daha sonra yumuşak elastik hal alır. daha çok ısınan malzeme plastik kalıcı şekillendirilebilen yumuşak, akıcı olmayan viskoz bir hamur haline gelir. Plastiklerin işlendiği bu sıcaklığa plastifikasyon sıcaklığı denir.

Yarı kristalin plastikler normal çevre sıcaklıklarında henüz camgeçiş noktasına kadar soğumamış olduklarından, kullanım sıcaklıklarında kırılgan, yani gevrek bir yapı göstermezler. Aksine sünek bir yapıdadırlar. Isıtıldıkaları zaman kazanılan enerji önce kristal yapının bozularak amorf hale dönüşmesine harcanır. Bundan sonra malzeme yumuşayarak Plastifikasyon sıcaklığına ulaşır. Plastiklerin iç yapısı yalnız onların sıcaklığa karşı dayanımlarını etkilemez; bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri de bundan etkilenir. Özellikle malzemenin ışık geçirgenliği iç yapısının amorf ya da yarı kristalin olması ile yakından ilgilidir. Şekil 2.4 ve 2.5'de yarı kristalin termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişiklikleri görülebilir. Şekil 2.6'da plastiklerin iç yapısının genel özelliklerine göre ve 2.7'de plastiklerin iç yapısının malzeme grubuna göre sınıflandırılması görülebilir [Tanrıkulu, 2005].



Şekil 2.4 Yarı kristalin termoplastiklerin sıcaklığa göre yapı değişikliği [Tanrıkulu, 2005].



Şekil 2.5 Yarı kristalin termoplastiklerin sıcaklığa bağlı olarak iç yapı değişikliği [Tanrıkulu, 2005].

Özellik / Etki	Amorf	Yarı Kristalin
Kritik Uzama	% 0.4 - 0.8	% 1.5 - 2.0
Çentik Etkisi	çok	az
İçgerilim	çok	az
İçgerilim-Korozyon Çatlağı	çok	az
İnsert	hayır	evet
Sürekli Eğilme Dayanımı	kötü	iyi
Kimyasal Dayanımı	kötü	iyi
Sürtünme Katsayısı	yüksek	düşük
Aşınma	çok	az
Yapıştırılma	iyi	kötü
Boyama	iyi	kötü
Baskı/Dekorasyon	iyi	kötü
Tınaklı Bağlantılar	kötü	iyi
Şeffaflık	evet	hayır
Viskozite	yüksek	düşük
Gerekli Enjeksiyon basıncı	yüksek	düşük
Tutma Basıncı	gerekmez	gerekir
Dar Kanalda Yürüme Yolu	kısa	uzun
Çekme Oranı	% 0.3 - 0.8	%1.0 - 3.0
Çöküntü	çok az	çok
Peşlik	az	çok

Şekil 2.6 Plastiklerin iç yapısının genel özelliklerine sınıflandırılması [Tanrıkulu, 2005].

Malzeme Grubu	Amorf	Yarı Kristalin
Genel Maksat Plastikleri	PVC	PE
	PS	PP
	ABS, SAN, ASA	
Teknik Plastikler	PA 6-3-T	PA
	PMMA	POM
	PC	PBT, PET
	PPO, PPE	PPS
Teknolojik (High-Tech) Plastikler	PSU, PES	PTFE, FEP
		PEEK, PEK
	PEI	PAI
Alaşımlar (Blends)	PC/ABS	PC/PBT
	PPE/SB	PPO/PA
		PA/ABS

Şekil 2.7 Plastiklerin iç yapısının malzeme grubuna göre sınıflandırılması [Tanrıkulu, 2005].

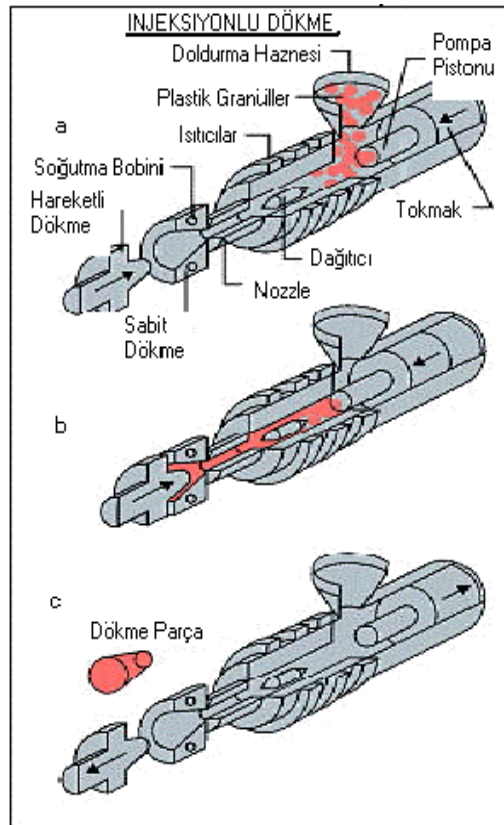
2.2. Plastik Ürün Üretimi ve plastiklerin tanıtılması

Plastiklerin kaynağı, ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastiğin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Dünyada üretilen toplam petrolün sadece %4'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır [Öztürk, 2005].

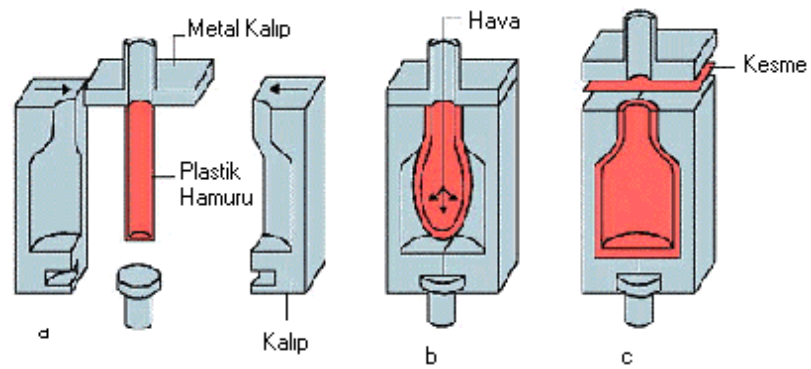
Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerle oluşturduğu monomerler diye adlandırılan en küçük ve basit molekülü gruplardaki çift bağın koparılarak polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen insan yapımı maddelerdir. Polimerler, belli bir sıcaklık ve basınç altında ve belli katalizörler kullanılarak bir reaktörde monomerleri reaksiyona sokularak elde edilir. Bu işlemler sonucu elde edilen polimerler reçine, granül ve toz halindedir [Öztürk, 2005].

Polimerlerin plastik ürünlerine dönüşümü üç kademede gerçekleşir. İlk olarak Reçine granülleri, tozları yumuşatmak için ısıtılır. daha sonra yumuşatılmış madde belli kalıplara dökülür, ürün soğutulur ve şekillenmiş plastik ürün elde edilir.

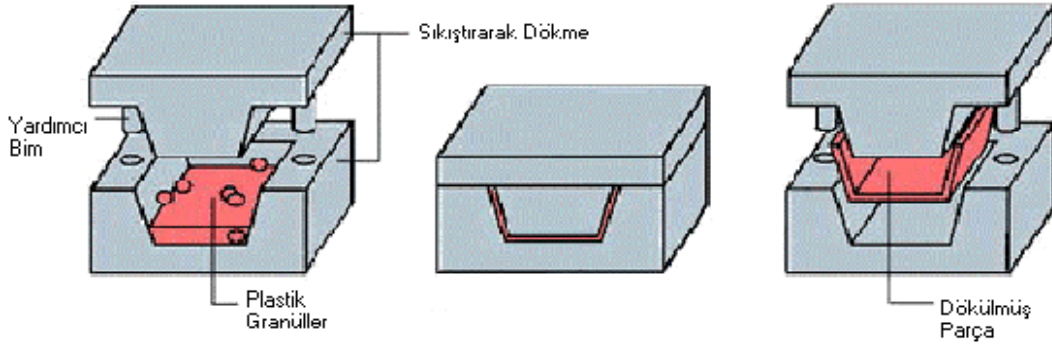
Plastik ürünlerinin üretildiği birkaç metot vardır. Bunlar, enjeksiyonla dökme (kalıba dökme) (Şekil 2.8), (oyuncaklar, başlıklar ve su tesisatı), ekstrüzyonlu kalıba dökme (plastik levhalar, borular ve tüpler), üfleli kalıba dökme (şişeler ve variller) (Şekil 2.9), sıkıştırılmalı dökme (Şekil 2.10) ve vakum termo şekil verme (Şekil 2.11)'dir [Öztürk, 2005].



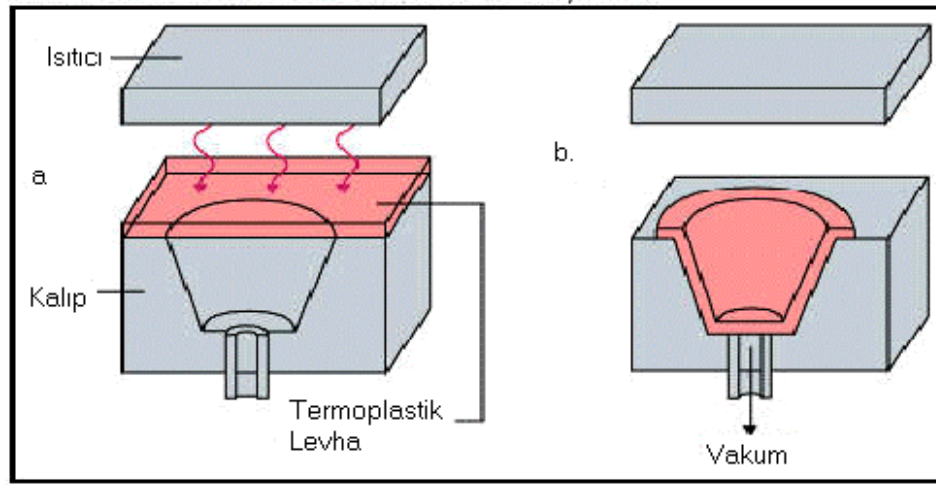
Şekil 2.8 Enjeksiyonlu dökme [Öztürk, 2005].



Şekil 2.9 Ekstrüzyon üflemlı dökme sistemi [Öztürk, 2005].



Şekil 2.10 Sıkıştırarak kalıba dökme [Öztürk, 2005].



Şekil 2.11 Vakum termo Şekil verme [Öztürk, 2005].

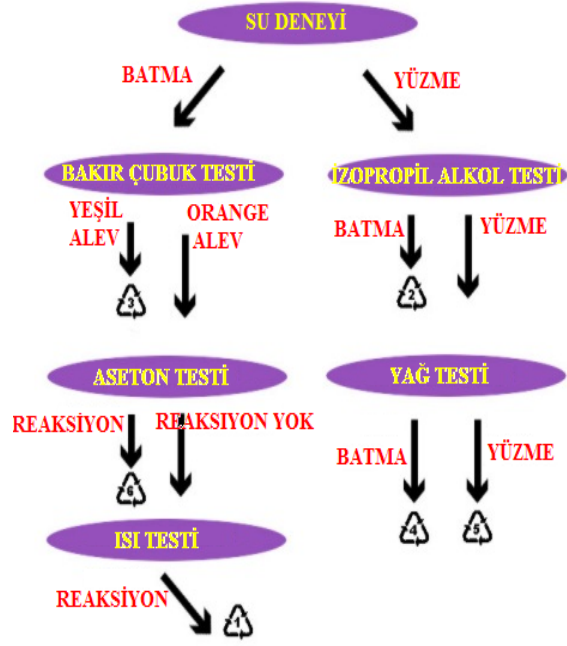
Bugün takriben 40 farklı polimer kullanılmaktadır. Her bir polimer farklı kimyasal kompozisyona sahiptir. Plastikler düşük yoğunluklu, kuvvetli, istenen şekilde şekillendirme özelliğine sahip ve düşük maliyetinden dolayı daha fazla alanda kullanılmaya başlanılmıştır. Kullanım kapasitesi sürekli olarak artmaktadır. Bugün plastikler otomotiv ve endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere tıbbi ilaçların dağıtımında, yapay aşı ve diğer sağlık uygulamalarında, bakterilerin bertarafında ve diğer sağlık uygulamalarında, halı üretiminde ve suların tuzluluğunun giderilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır [Öztürk, 2005].

Plastikleri ayırt etmek için, plastik teşhis etme kodu kullanılır. Genelde kullanılan 7 tür plastik teşhis etme kodu vardır (Şekil 2.12). Bunlar, polietilen tereftalat (PET veya PETE veya PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), genişletilmiş (veya köpükleştirilmiş) polistiren (EPS) ve diğerleridir [Öztürk, 2005].

2.3. Plastiklerin Kullanıldığı Alanlar

Plastikler günlük hayatımızda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Plastikler global enerji ihtiyaçlarını minimize etmeye yardımcı olur ve yenilenmeyen kaynakların ömrünü uzatır. Bir cam şişenin ağırlığı 300 gram iken aynı boyuttaki plastik şişenin ağırlığı 50 gramdır. Hangi sahada ne tür plastiğin kullanıldığını bilerek bunları geri kazanıp tekrar kullanılabilir hale dönüştürmek mümkündür. Plastikler şişe, kavanoz, leğen, kova, saksı, elbise, halı, çorap, her türlü boru, pencere malzemesi, paketlenme, oyuncak ve mobilya gibi değişik ürünlerin / malzemelerin elde edilmesinde kullanılır.

Piyasada kullanılan tüm plastikler kolay teşhis edilip, kolay ayrıştırılmaları için kimliklerine göre kodlanmalıdır. Kodlamalar plastik malzemelerin kolay teşhis edileceği ve görüleceği yerlere yapılmalıdır. Plastikleri teşhis etme metodu Şekil 2.12'de verilmiştir. Kodlanmayan plastiklerin satışları önlenmelidir. Piyasada en çok kullanılan plastikler, PET veya PETE, HDPE, PVC, LDPE, Polipropilen (PP), Polistiren (PS), poli üretan (PU) ve diğerleridir.

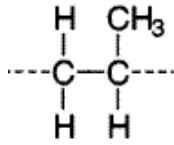


Şekil 2.12 Plastikleri teşhis etme metodu [Öztürk, 2005].

2.4 Bu çalışmada kullanılan plastikler (PP, ABS, PC) ve genel özellikleri

2.4.1. Polipropilen (PP) Plastikler

Polipropilenin formülü;



PP'leri teşhis etme kodu 5 dir. Yoğunluğu 0.90 – 0.92 gr/ml. arasında değişir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 135 °C'dir. Yarı saydam, suda yüzebilen fakat köpük olmayan bir plastiktir [Öztürk, 2005].

Polipropilen, propilen monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilen, YYPE'ye benzemekle beraber birçok koşullara daha dirençli, ağaç, metal, gibi malzemeler yerine kullanılabilen, lif haline de getirilebilen ucuz ve kaliteli bir mühendislik plastiğidir.

1957 yıllarında kütle halinde üretimine başlanılan polipropilen polietilene göre biraz daha pahalıdır. parlak yüzeyli ve kolay işlenebilen tipleri üretilmiştir.

Yurdumuzda PETKİM kuruluşu tarafından da 60000 ton/yıl kapasite ile üretilen polipropilen, Türk Standartları Enstitüsünce "TS 1404" numarasıyla standardize edilmiştir. Bu standartta yalnız bir sınıf polipropilen konu edilmiş olup Şekil 2.13'de belirtilmiştir [Yaşar, 1992].

Özellik	Birim	Değer	Deney
Özgül ağırlık	-	0,902-0,906	1310
Özgül hacim	$10^3 \text{cm}^3/\text{kg}$	1,10-1,11	1310
Kırılma indisi	η_D	1,49	785
Çekme dayanımı	kgf/cm^2	302-386	1398
Uzama	%	200,0-700,0	1398
Çekme esneklik modülü	10^3kgf/cm^2	11,25-15,80	1398
Basınç dayanımı	kgf/cm^2	386-560	1096
Esneklik akma dayanımı	kgf/cm^2	420-560	985
Darbe dayanımı, 23°C, (izod)	$10^{-2} \text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$	2,72-10,9	1006
Sertlik	Rockwell R	85-110	1326
Eğilme esneklik modülü	10^3kgf/cm^2	12,65-14,05	985
Basınç modülü	10^3kgf/cm^2	10,5-21,0	1096
Isı iletkenliği	$10^{-4} \text{Kcal/s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{C}/\text{cm}$	2,8	388
Isı genleşmesi (boyca)	$10^{-5}/\text{C}$	5,8-10,2	1065
Isıya dayanıklılık	°C	120-160	-
Eğilme sıcaklığı			
(18,56 kgf/cm^2 gerilme)	°C	52-60	1400
(4,64 kgf/cm^2 gerilme)	°C	93-110	1402
Hacimsel direnç	$\text{ohm}\cdot\text{cm}$	$>10^{16}$	1403
Dielektrik dayanımı			
(kisa zaman)	volt/mm	19700-26000	1397
Dielektrik dayanımı (kademeli)	volt/mm	17700-25600	1397
Dielektrik sabitesi(60 devir)	Hertz	2,2-2,6	1224
Dielektrik sabitesi($10^3, 10^6$ devir)	Hertz	2,2-2,6	1224
Kayıp faktörü (60 devir)	Hertz	$<0,0005$	1224
Kayıp faktörü (10^3 devir)	Hertz	0,0005-0,0018	1224
Kayıp faktörü (10^6 devir)	Hertz	0,0005-0,0018	1224
Sı absorpsiyonu (24 saat)	%	0,01	702-356
Yanma hızı (Alevlenebilirlik)	-	yavaş (2,5 cm/dak.)	1066-1325
Zayıf asitlerin etkisi		Yok	710
Kuvvetli asitlerin etkisi		Yükseltgenlerle yavaş etkiler.	710
Zayıf alkalilerin etkisi		Yok	710
Kuvvetli alkalilerin etkisi		Çok dirençli	710
Organik çözücülerin etkisi		80°C'nin altında dirençli	710

Şekil 2.13 Polipropilenin fiziksel ve kimyasal özellikleri [Yaşar, 1992].

Polipropilen bir gaz olan propilen monomerinin PE tesislerle benzer atelyelerde polimerize edilmesiyle elde edilir. Uygulanan yöntem katılma polimerizasyonudur. Polipropilenin üretimi için gerekli olan propilen gazı alkilat benzininin rafinasyonundan sağlanır. “NATTA - ZIEGLER” heterojen katalizörü kullanılarak özel sıcaklık ve basınç koşullarında polimerizasyon tamamlanır. Verim çok yüksektir. Bu yöntemle elde edilen PP’in bünyesinde %3 - %10 kadar amorf (atactic), yumuşak polimer vardır, geri kalan kısmı oluşturan kristal kısım (isostatic) 167°C’de erir [Yaşar, 1992].

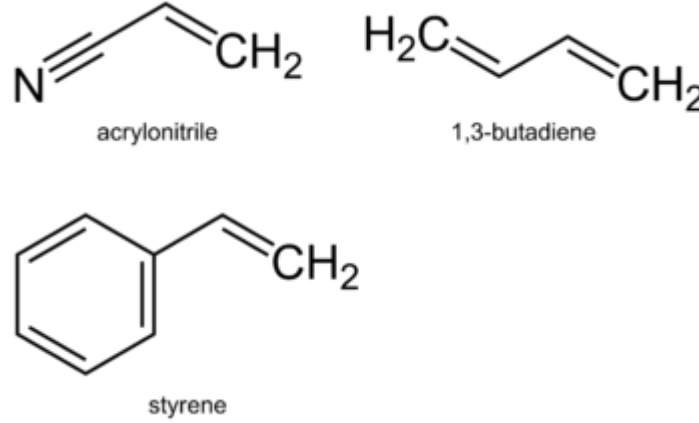
Kimyasal maddelere, ısıya ve aşırı yorulmaya dayanıklı bir maddedir. Orta sertliğe ve parlaklığa sahip plastiklerdir. Margarin tüpleri, ketçap şişeleri, çubuk, başlıklar, cips ve bisküvi için poşetler, mikrodalga yiyecek tepsileri, ilaç şişeleri, yoğurt kapları, sandalyeler, bavullar, halı yapma, halat ve bazı kaplar ile kapaklar polipropilen plastiklerden yapılmaktadır. Paketlemede kullanılan plastiklerin en düşük yoğunluklu olanıdır. PP yavaş yanar, yanan bir yakıt gibi kokar. PP sıcak toluende çözünür [Öztürk, 2005].

2.4.2 Akrilonitril Bütadien Stirenin plastikler (ABS)

Akrilonitril bütadien stiren veya kısaltılmış ismi ile ABS, kimyasal formülü $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$ ortak kalıp yolu ile üretilen ürünlerde çok yaygın olarak kullanılan hafif ve sert bir polimerdir. Borular, otomotiv parçaları, koruyucu kasklar ve oyuncaklar (örneğin: Lego) kullanım alanlarında birkaçıdır.

Bu malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları 15% - 35% arası akrilonitril, 5% - 30% arası butadien ve 40% - 60% arası stiren olarak değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak, Poli (stiren ve akrilonitrilin) kısa zincirleri ile polibütadienin uzun zincirlerinin çapraz bağlanmasıdır. Komşu zincirlerden nitril grupları, kutupsal olarak diğer zincirleri çekip bağlayarak, saf polistirenden daha dayanıklı olan, ABS oluşturular. Stiren plastiğe parlaklık ve iyi yüzey verir. Bütadien, kauçuk özelliklerini, düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlar. ABS, -25 °C ve 60 °C arasında kullanılabilir.

1 kg ABS üretimi için, hammadde olarak 2 kg petrol ve enerjiye ihtiyaç vardır. Dünyadaki en büyük ABS hammadde üreticisi Tayvan'dır. Şekil 2.14'de ABS polimerin içindeki monomerler görülebilir [Wikipedia Özgür Ansiklopedi].



Şekil 2.14 ABS polimerin içindeki monomerler [Wikipedia Özgür Ansiklopedi].

ABS plastikleri 15'ten fazla tipi oluşturan, darbe dayanımı çok yüksek, katı, işlenmesi kolay, metal ve tahtaya alternatif, askeri ve sivil amaçlarla fazla miktarda kullanılan bir plastik türüdür. Yapı itibarıyla termoplast sınıfın bir kopolimeridir. Kopolimeri oluşturan üç monomer akrilonitril, bütadien ve stirendir. Akrilonitril kimyasal direnç, ısı dayanımı ve açık hava koşullarına karşı direnç verir. Düşük sıcaklıkta sağlamlığı ve darbe dayanımı bütadien tarafından, rijitliği, yüzey parlaklığı ve ısı ile biçimlendirilmesi de stiren ile sağlanır [Yaşar, 1992].

ABS plastiğin temel üretim maddesi SAN kopolimeridir. Seri üretim yöntemi, özel tesisinde emülsiyon veya süspansiyon tepkimesidir. Yöntemin aslı SAN'ye kauçuk partiküller dağıtmak, daha sonra da bu karışımı tabletler haline getirmekten ibarettir.

ABS polimer bileşimi, ayrıca kabul ettiği birçok dolgu maddelerinin tür ve miktarına bağlı olarak değişik özellikler kazanır. PVC ve halojenli bileşikler polimerin yanma direncini, cam lifi çekme dayanımını artırır, boyut kararlılığı verir. Dördüncü monomer olarak kullanılan metil metakrilat, optik berraklık verir ki, ışık geçirime oranı % 80' lere kadar ulaşır.

ABS basit ekstrüzyon plastiğinde çekme dayanımı $175\text{-}560 \text{ kgf/cm}^2$ (17, 15-54,8 N/mm²), cam elyaf dolgusunda 773 kgf/cm^2 (75,7 N/mm²), karbon elyafı dolguluda 1125 kgf/cm^2 (110,3 N/mm²), ABS/PC alaşımında 635 kgf/cm^2 (62,2

N/mm²) olup görüldüğü gibi büyük dağılım gösterir. Sertlik, darbe dayanımı ve uzama değerleri de bu değişime paralel olarak artar veya azalır.

Açık hava koşullarında uzun süre kalan ABS plastiği mekanik özellikleri azalacak şekilde etkilenir. Pigmentize etmek, parlak yüzey sağlama veya özel bir koruyucu filmle kaplama polimerin çevre koşullarına karşı direncini artırır.

Kimyasal özellikleri SAN'ninki gibidir. Asit ve bazlara karşı direnci genellikle iyidir. Ancak halojenli ve aromatik hidrokarbonlar, keton ve esterler polimeri çözme yönünde etkiler.

Özgül ağırlık dolgusuz polimer için 1.02 - 1.06' dır.

Elektriksel yalıtımı çok iyidir, ikincil yalıtımlarda kullanılır.

Yükseltilmiş sıcaklıklarda dirençli olup yavaş yanma oranına sahiptir. Yük altında eğilme sıcaklığı 114°C dir. ABS polimer termoplast plastikler için müşterek olan bütün süreçlere uygundur. Hafif nem çekici olduğundan kullanım öncesi 2 saat kadar 80-90 °C'de kurutulur. Kalıplar yüksek kromlu ve parlatılmış olmalıdır. Kırpıntı veya araiş miktarı temiz malzemeye göre en çok %20 oranında katılmalıdır.

Talaşlı işlemeye uygun olan ABS polimer, sıcak ve soğuk markalama, elektrolitik kaplama (özel tipleri geliştirilmiştir), vakum metalize ve boyama gibi işlemleride kabul eder.

ABS polimer değişik tipleriyle sanayinin her kolunda kullanılmaktadır. Güç yanabilir tiplerinden televizyon ve güç donanımı kabinleri, anahtar (switch) kutuları, elektrolitik kaplamaya uygun olanlardan çeşitli farlar, aynalar ve dekoratif eşya, saydam tiplerden soğutucu tepsileri, tıbbi emme pompaları ve oyuncak, darbe dayanımlı tiplerinden güç kutuları, telefon gövdeleri, büro – iş makineleri gövde parçaları, boru ve boru bağlantıları, depo ve soğutucu iç astarları, çanta ve bavul (sert görünümde), askeri amaçlı tüfek dipcikleri ve daha bir çok parça üretimleri yapılmaktadır. Darbe dayanımlı cam elyafı tipleri boyut kararlılığı istenilen hassas ölçülü askeri amaçlı (antitank, plastik mayın gibi) ürünlerin yapımında, köpük tipi de bina inşaat malzemesi, eğitim malzemesi gibi alanlarda kullanılmaktadır [Yaşar, 1992].

ABS malzemelerin genel özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmektedir [Akkurt, 1991].

- ABS reçineleri genellikle opak veya yarı saydam olabildikleri gibi çeşitli renklerde olabilir.
- Düşük sıcaklıklarda bile sert, rijit ve tok bir malzemedir.
- İyi çekme ve darbe mukavemetine sahiptir.
- Yüksek deformasyon hızlarında gösterdiği akmadan dolayı darbe kırılması gevrek olmadan çok sünektir.
- Abrazyon mukavemeti yüksektir.
- Boyut kararlılığı iyidir.
- Yüksek gerilmelerde plastik akma gösterirler, elastik sınırın ötesinde kırılmadan bükülebilirler.
- Uzun süre güneş ışınları etkisi altında kaldığında rengi değişir, darbe mukavemeti ve süneklilik azalır.
- Sıcak ortamda iyi kararlılık gösterir.
- ABS reçineleri ester ve ketonlarda çözünürler, bazı klorlanmış hidrokarbonlarda ve aldehidlerde yumuşar veya şişerler.
- Özelliklerini iyileştirmek için başka bileşenlerle harmanlana bilinir.
- Cam elyafı ile kuvvetlendirile bilinir.

ABS

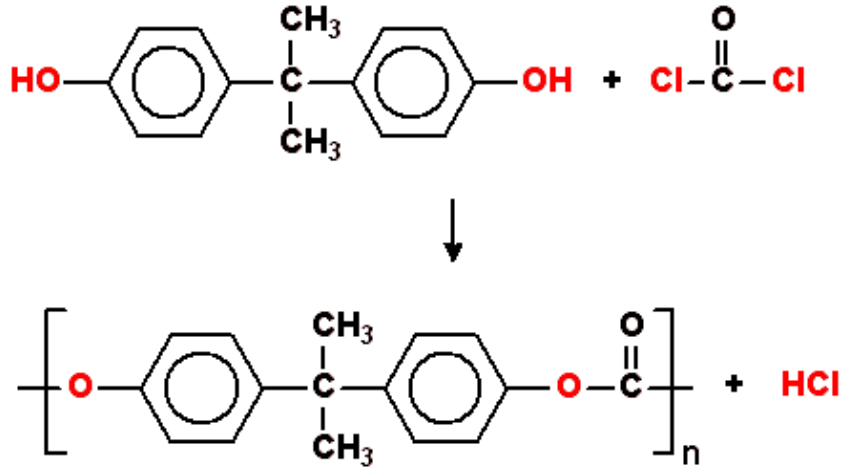
- Standart.
- a. Çok yüksek darbe mukavemetli. b. Yüksek darbe mukavemetli.
- c. Orta darbe mukavemetli.
- Özel amaçlı
- a. Yüksek ısıya dayanıklı. b. Aleve dayanıklı.
- c. Berrak.
- d. Genişleyebilen.

olarak 2 ana grup altında sınıflandırabiliriz. ABS'in enjeksiyon, üfleme, köpük kalıplama için uygun çeşitleri vardır.

2.4.3 Polikarbonat Plastikler (PC)

Polikarbonatlar, termoplastiklerin özel bir grubudur. İşlenmesi, kalıplanması, ısı olarak şekillendirilmesi kolaydır. Bu tip plastikler modern imalat sektöründe çok geniş kullanım alanı olan plastiklerdir. Polikarbonatlar olarak isimlendirilmişlerdir, çünkü uzun moleküler zincirleri içinde karbonat grupları (-O-CO-O-) tarafından bağlanmış fonksiyonel gruplara sahiptirler.

En yaygın polikarbonat plastik tipi, Bisphenol A grupları ile bağlanmış karbonat gruplarının oluşturduğu polimer zincirlere sahip olanıdır. Bu tip polikarbonat çok dayanıklı bir malzemedir, kurşun geçirmez cam yapımında kullanılır. Polikarbonatların karakteristikleri polimetil metakrilat'a (PMMA ; akrilik) oldukça benzer, fakat polikarbonat daha güçlü ve daha pahalıdır. Ayrıca bu polimer oldukça şeffaf ve ışığı geçiren bir yapıdadır. Bir çok cam türünden daha iyi ışık geçirgenlik karakteristiğine sahiptir. CR-39 özel bir polikarbonat malzeme olup iyi optik ve mekanik özelliklere sahiptir ve sıklıkla gözlük camı yapımında kullanılır.



Polikarbonatın Bisphenol A ve fosgen (karbonil klorür)'den sentezlenmesi

Özellikleri;

Yoğunluk, 1.20 g/cm³

Kullanım sıcaklık aralığı, -100 °C'den +135 °C'ye

Erime sıcaklığı, 270/380 °C civarı

Kırılma indeksi, 1.585 ± 0.001

Işık geçirgenlik indeksi, 90% ± 1%

UV ışınlarına karşı dayanım, zayıf fakat üzerine UV koruyucu kaplama yapılarak dayanımı artırılmaktadır.

Kullanım Alanları;

Polikarbonat, endüstri ve laboratuvarlarda olduğu kadar ev eşyalarında da yaygın kullanılır. Bankalar ve bazı binalarda kırılmayan veya ışığı yansıtan pencereler gibi yerlerde koruma amaçlı parçaların yapımında kullanılır.

Polikarbonatdan yapılan diğer ürünler arasında gözlük ve güneş gözlüğü camları, CD (kompakt disk), otomobil far camları sayılabilir.

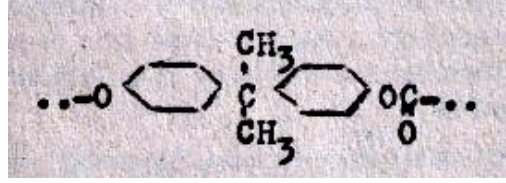
Ayrıca tek veya çift yüzeyi UV koruyucu madde kaplı polikarbonat levhalar tek cidarlı (solid) ve iki veya daha fazla cidarlı (multiwall) gözenekli levhalar halinde muhtelif renk, kalınlık, özellik ve ebatlarda imal edilerek yapı sektöründe her türlü açıklıkların kapatılmasında kullanılabilen (ışıklık, tonoz, tüp geçit, kubbe vb.) esnek bir kaplama malzemesidir. İyi ısı izolasyonu ve mukavemeti nedeniyle seralarda cam ve naylona alternatif olarak kullanılmaktadır [Wikipedia Özgür Ansiklopedi].

Polikarbonat mekanik, elektriksel özellikleri yüksek, saydam, kimyasal özellikleri vasat değerde, kullanım alanları çeşitli çok değerli bir termoplast ürünüdür. Dolgulu alaşım ve kopolimer türlerinde özellikler daha da iyileştirilmiştir (özellikle silikon kopolimerleri) [Yaşar, 1992].

Polimeri bileşiminde tekrarlanan –OCOO– heterozincir grupları karakterize eder. Polikarbonat bir bakıma karbonik asitin poliesteridir. Başka bir anlatımla da karbonat gruplarıyla bağlı dihidrik veya polihidrik fenollerdir. Polimer iki yolla elde edilir.

1. Fosgen ve bisfenol A (4.4' dihidroksidifenil-2.2' propan) nın tepkimesi ile,
2. Bisfenol A difenil karbonun ester değişim tepkimesi.

her iki halde de:



formülüne uyan PC oluşur.

Sentez edilen PC, cam elyaflı, değişik dolgu maddeli, dolgusuz homopolimer, köpüklük, harmanlı ve kopolimer türler halinde piyasaya verilir. Film ve levha halindede yarı mamül olarak bulunabilir.

Kristalli yapıda, yoğunluğu 1.2 g/cm^3 olan bir termoplastiktir. Birçok özellikler bakımından poliamid ve poliasetale benzer. Saydam, açık hava ve ışıktan etkilenmeyen bir malzemedir. Su absorpsiyonu son derece azdır.

Mekanik özellikleri çok iyidir. Sert bir plastik olan polimerin çekme dayanımı 668 kgf/cm^2 (65.464 N/mm^2) olarak yüksek sayılır. Darbe ve yorulma dayanımları da iyidir. Çok iyi bir boyut kararlılığına sahiptir.

140° C 'ye varan sıcaklıkta kullanım alanına sahip olan PC, yakıldığında yanmasını kendi başına devam ettirmeden söner.

Dielektrik direnci yüksektir.

Kimyasal bakımdan PC, asitlere dirençli ise de alkaliler tarafından etkilenir. Petrol kaynaklı yakıt ve yağlara direnci sınırlıdır.

PC, termoplastiklere has bütün işleme süreçlerine uygun olarak biçimlendirilebilir.

Hafif dayanıklı ve saydam oluşu nedeniyle sinyal lambaları dahil otomotiv sanayiinde, sokak ve trafik lamba armatürleri, güneş kollektörü camları, elektronik ve telekommünikasyon parçaları, büro ve iş makineleri gövdeleri yapımında, zehirsiz olduğu için de gıda ambalajlarında, sağlık donanımı, inşaat ve dekorasyonda fazla miktarda kullanılmaktadır [Yaşar, 1992].

Amorf yapıda olduğu için takviye edilmemiş PC şeffaftır. Işık geçirgenliği camdan daha iyidir. Parlak bir yüzeye sahiptir ve istenilen her renge boyanabilir. -150°C ' den 135°C ' ye kadar darbelere dayanabilen bir yapısı ve çok üstün mekanik elektriksel özellikleri vardır. Bu özellikleri nemden etkilenmez. PC yanıcı değildir. Alev çekilince söner [Tanrıkulu, 2005].

3. LİTERATÜR TARAMASI

Kalıp içi sıcaklık değişimlerinin plastik parçalar üzerindeki mekanik etkisi ile ilgili yapılan literatür araştırması sonucunda aşağıdaki kaynaklardan faydalanılmıştır.

- Plastik enjeksiyon kalıpcılığında kavite basıncı ve kalıp sıcaklığının nihai ürünlerin kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi [Kurt et al., 2009].
- Çoklu ekstrüzyonlarda propilenin indirgenmesi konusunda ısısal analiz, varyans analizi ve mekanik özellikler [Costa et al., 2007].
- Yeniden işlem ve hızlandırılmış yaşlanmanın polikarbonatın termal ve mekanik özelliklerine etkisi [Perez et al., 2009].
- Akrilonitril Bütadien Stirenin termal yaşlandırılması [Tiganis et al., 2002].
- Termal olarak yaşlandırılan polietilen ve polipropilen karışımlarının termomekanik karakteristikleri [Mourad, 2009].
- Enjeksiyon kalıpcılığında polimer ve kalıp arasındaki termal kontak direncinin analizi [Bendeda et al., 2004].
- Eriyik polimerlerin sıcaklık profillerinin gerçek zaman ölçümleri için düzlemsel termokuplların üretimi [Debey et al., 1997].
- Kalıp yüzey sıcaklık farklarının çarpılma ve artık gerilme üzerine etkileri [Bushko and Stokes, 1996].
- Enjeksiyon kalıplama ile elde edilmiş parçalarda kavite yüzey kaplamanın kalıp sıcaklığı değişimi ve kalite özellikleri üzerine etkileri [Chen et al., 2009]
- ABS malzeme ile PBT (polybutilentereftalat) nin darbe değişimleri [Hage et al., 1997]
- Enjeksiyonla üretilen PC (Polikarbonat) ve PE (Polietilen) karışımlarının farklı sıcaklıklardaki çatlak darbe dayanımı ve anizotropik mikroyapı ile ilişkisi [Li et al., 1997].

Plastik parçanın mekanik özelliklerini esasen kullanılan polimerin özellikleri belirlemesine rağmen, enjeksiyon parametrelerinin de nihai ürün mukavemeti üzerinde etkisi vardır. Bundan dolayı soğuma süresi, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, gibi enjeksiyon parametreleri plastik ürünün çekme dayanımı, eğilme dayanımı, sünekliği gibi mekanik özelliklerini etkiler [Özbay, 2008].

Son on yılda, malzeme endüstrisinde polimerler büyük ölçüde kullanılmıştır ve bu polimerlerin mühendislik uygulamalarında kullanım alanları dünya çapında büyümektedir. Polimerlerin çok yönlülüğü onların tüm uygulama alanlarında kullanışlı olmalarını ve imalatçıların çok küçük yapıyı uyarlama yeteneğine sahip olmalarını ve proses şartlarını kontrol edebilme özelliklerini beraberinde getirir [Mourad, 2009].

Kurt ve arkadaşları plastik enjeksiyon kalıpcılığında kavite basıncı ve kalıp sıcaklığının nihai ürünlerin kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi konulu deneysel bir araştırma yapmışlardır. Kurt ve arkadaşlarına göre günümüzde kalıp endüstrisi her zamankinden daha fazla ürün kalitesi talep etmektedir. Fonksiyonel yeterliliklerle birlikte kalıplanan parçanın kalitesinin de önemini vurgulamışlardır. Bunun yanında kalıplanacak parça tolerans ve genel boyutları korumakta büyük tutarlılık göstermelidir. Nihai ürünlerdeki yüksek kalite beklentisinin sürmesi ve kalıp içi sıcaklık ve basınç parametrelerinin kontrolü plastik enjeksiyon prosesinde daha önemli hale gelmiştir [Kurt et al., 2009].

Yine Kurt ve arkadaşları kalıp yapımının önemli bir destekleyici endüstri olduğunu çünkü ilgili tüketici ürünlerinin %70'inden daha fazlasını teşkil ettiğini açıklamışlardır. Kısa zamanlı tasarım ve üretim talebi, iyi ölçülendirme ve bütün kalitesel özellikler, olabildiğince hızlı tasarım değişiklikleri kalıp endüstrisindeki dar boğazların açılmasını sağlamıştır. Enjeksiyon kalıpcılığı karmaşık olmasına rağmen bir çok çeşit termoplastik ürünün dar toleranslar ve karmaşık şekillerle üretim etkinliğinin yükselmesi anlamına gelir. Buna ek olarak enjeksiyon kalıpcılığı termoplastik parçalar için kısa çevrim zamanları, mükemmel yüzeyli ürünler ve karmaşık şekiller için kolay kalıplama gibi bir çok avantajlar sağlayan en popüler kalıplama prosesidir [Kurt et al., 2009].

Kurt ve arkadaşları yayınladıkları makalede enjeksiyon kalıpcılığını şu şekilde tanımlamışlardır. "Öncelikle hammadde erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Erimiş polimer yüksek basınç vasıtasıyla kaviteye bir yolluk sistemi ve giriş ile enjekte edilir. Dolma işlemi hemen hemen tamamlanırken kaviteye ütüleme aşaması için sabit bir basınç uygulanır. Ütüleme basıncı kavitenin kalan hacmini tamamlamak ve soğuma aşaması sırasındaki çarpılmayı dengelemek için kullanılır. Kavitenin içi stabil hale geldikten sonra parça kalıptan çıkartılır. Kalıplanan final ürünün kalitesi ölçüsel kararlılık, görünüş ve mekanik özellikler gibi yüksek oranda proses değişikliklerine bağlı terimlerle karakterize edilebilir. Parçadaki çöküntü, çarpılma, akış izi, hatalar, çöküntü gerilmeleri gibi bir çok hata üretim prosesinden kaynaklanır. Bu hatalar ürünün doğruluk ve kalitesine zarar vericidir. Bu sebeple kalıpcılık prosedürü esnasında etki faktörlerini efektif kontrol etmek kritik önem taşır" [Kurt et al., 2009].

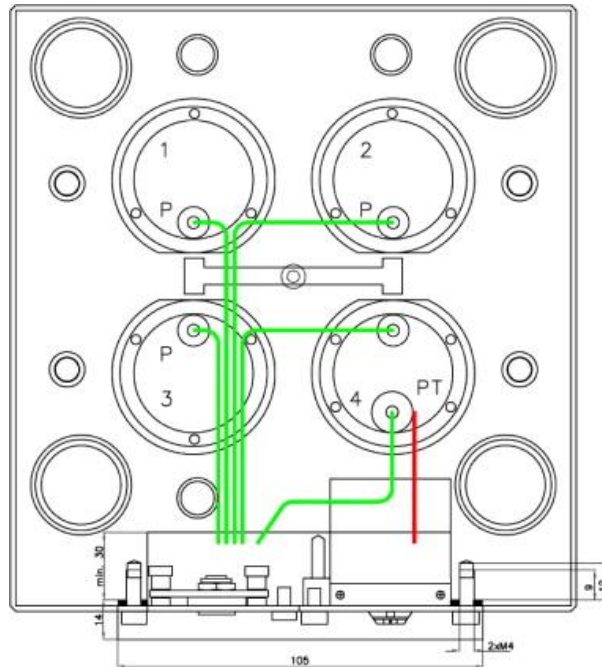
Kurt ve arkadaşları yaptıkları literatür taramasında kavite basıncı ve sıcaklığın plastik ürünlerin çarpılma ve çökme üzerindeki etkilerinin daha önce araştırmacılar tarafından incelendiğini söylemişlerdir. Ancak final parça kalitesi sadece çarpılma ve çökmeyle sınırlı değildir. Ölçüsel doğruluğu yakalamak için parçanın ölçüm sonuçları çevresel ölçüm değerlerini içermek zorundadır. Böylece ölçümlerin sonuçları ve kalıplama parametreleri arasındaki ilişki daha derin anlaşılabilir [Kurt et al., 2009].

Öte yandan bugüne kadar yapılan bir çok çalışma sadece bilgisayar simülasyon sonuçlarına dayanılarak yapılmıştır. Genel anlamda sunulan çalışmanın bu sonuçları kabul edilebilir ancak bazı koşullarda simülasyon ile deneysel sonuçlar arasında farklar olabilir. Bununla beraber deneysel çalışmanın maliyeti yüksektir ancak bu doğrultuda daha doğru sonuçlar almak için gereklidir. Bunun gibi deneysel çalışmalarda bu doğrultuda elde edilen parçaların kalitesi üzerinde değişik parametrelerin etkisi tamamiyle anlaşılabilir ve hassas ölçüm aletleri kullanmak zorunluluktur. Böylece deneysel araştırmalardan güvenilir sonuçlar elde edilebilir [Kurt et al., 2009].

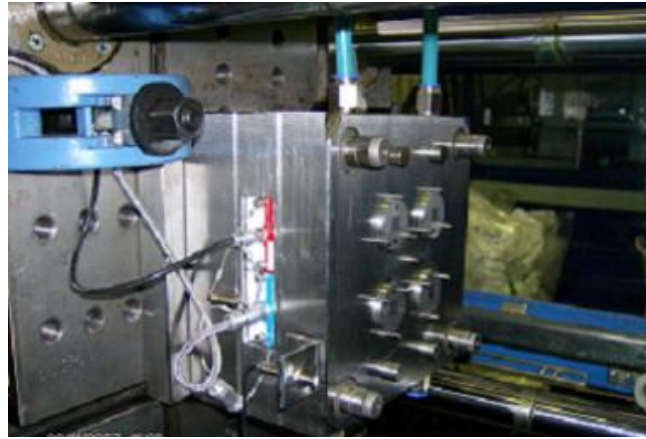
Kurt ve arkadaşları bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama prosesini, proses parametrelerinin final parçaların kalitesi üzerindeki etkisini dikkate alınarak geniş ölçüde incelemişlerdir. Kavite basınç ve kalıp sıcaklık değerleri, enjeksiyon makinesinin ölçüm aletlerine tercihen kalıbın içine yerleştirilen sensörlerinden alınmıştır.[Kurt et al., 2009].

“Plastik enjeksiyon kalıpcılığının yüksek kalite talebi olarak plastik enjeksiyon kalıp makineleri için enjeksiyon basınç ve sıcaklık kontrolü her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Proses esnasında sıcaklık ve basınç tespitinde sensörler bu parametreleri kontrol etmek için duyarlıdır. Bu amaçla enjeksiyon makinesine bir geri dönüşüm kontrolü sağlamak için kullanılabilirler. Bununla deneysel çalışmanın maliyeti basınç kontrolünde artabilir. Bu araştırma bilimsel çalışmaların doğruluğunu geliştirmek için kabul edilebilir. Bu tür çalışmalarda bir önemli bakış açısı olarak proses kontrol uygulamasında bu tip sensörlerin yerleştirilmesi fevkalede uygundur. En güvenilir ölçümler düzgün yerleşmiş sensörler vasıtasıyla yapılabilir” [Kurt et al., 2009].

Sensörlerin yerleşimi Şekil 4 ve 5’de şematik ve fotografik olarak görülebilir.

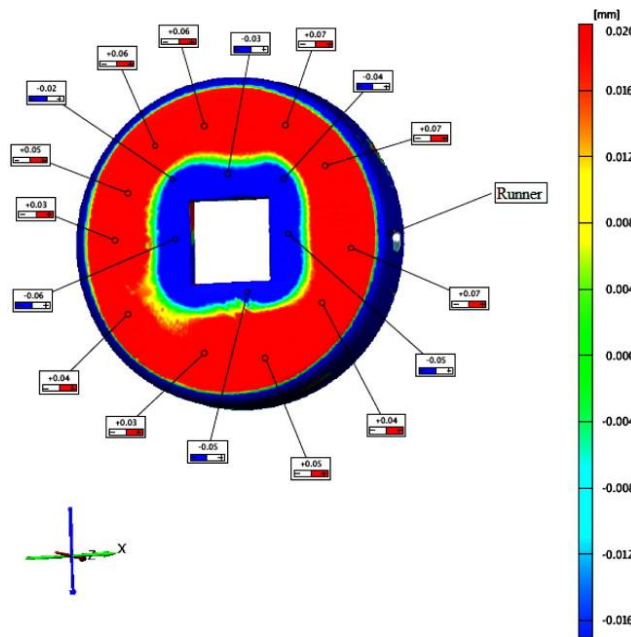


Şekil 3.1 Sensörlerin kalıp içerisindeki yerleşimi [Kurt et al., 2009].



Şekil 3.2 Basınç ve sıcaklık bağlantılarının yerleşimi [Kurt ve ark., 2009].

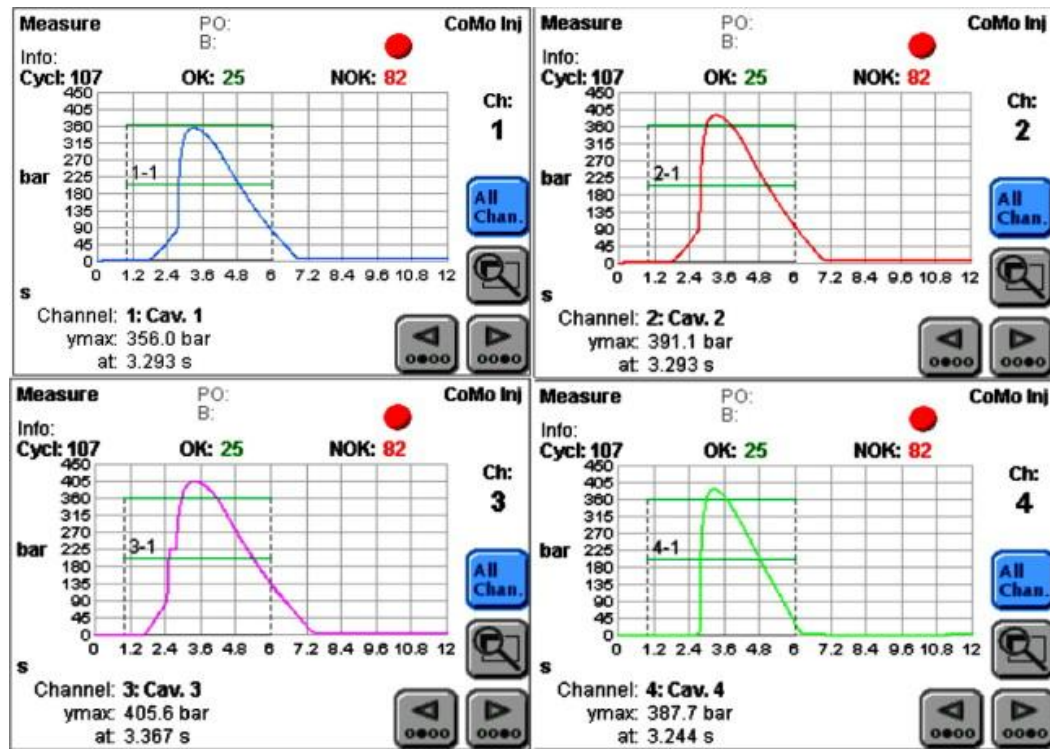
Kurt ve arkadaşları sapmaların tespiti için ATOS sistemini kullanmışlardır. Otomatikleştirilmiş ATOS sistemi (3 boyutlu - optik tarayıcı) özel bir kontrol fikstürüne ya da parça üzerinde referans işaretleyicisine ihtiyaç duyulmadan üretilen parçayı taramıştır. Tarama işleminden sonra ATOS sistemi otomatik olarak final mesh yapısını gerçekleştirmiştir. Ek olarak CAD data ATOS sistemine import edilmiştir. Son olarak taranan data CAD datanın içine GOM yazılımı kullanılarak her iki datanın sapmalarını hesaplamak ve görüntülemek için kayıtlı edilmiştir [Kurt et al., 2009].



Şekil 3.3 GOM sonuçları [Kurt et al., 2009].

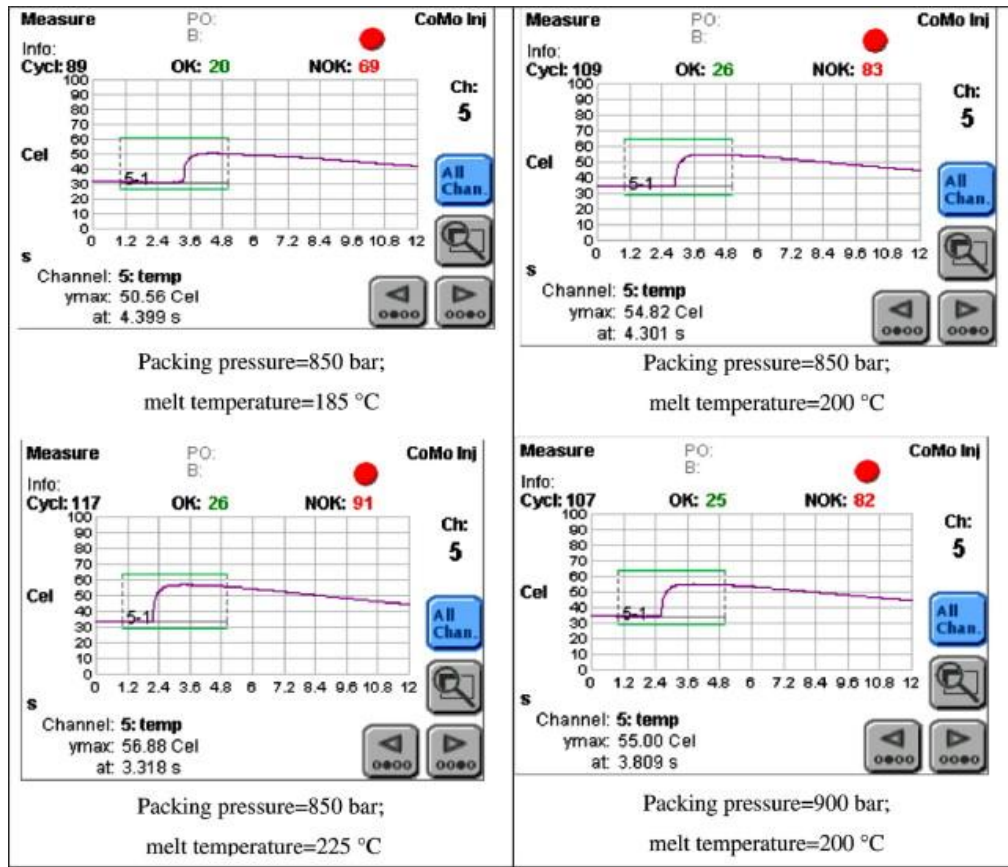
Deneysel çalışma sonrasında Kurt ve arkadaşları aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir.

“Enjeksiyon prosesinde kavite basıncı, yüksek parça kalitesini yakalamak, tüm ölçülerde ve toleranslarda istikrarı sürdürmek için iyi bir gösterge ifadesidir. Enjeksiyon doldurma esnasında kavite basıncının yönü diğer kalıplama değişkenlerine bağlıdır. Eriyik sıcaklığı 185 °C’den 200 °C’ye yükseldiğinde kavite basıncı da ayrıca yükselmiştir.” Kurt ve arkadaşları deneysel çalışmalarının sonuçlarının Dubai ve arkadaşlarının çalışmalarının sonuçlarını desteklediğini bildirmişlerdir. Dubai ve arkadaşlarının araştırmasına göre eriyik sıcaklığı kalıp içindeki bir hız akışını ve kavite basıncını etkiler” [Kurt et al., 2009].



Şekil 3.4 Kavite basınç ve zaman grafiği (tutma basıncı 900 bar; eriyik sıcaklığı 200 °C) [Kurt et al., 2009].

“Liu ve Mamat gibi bazı araştırmacılara göre ürünün final kalitesini belirleyen en kritik parametrelerden biri kalıp sıcaklığıdır. Liu şunu bulmuştur ki, kalıp sıcaklığı yükseldikçe parçanın final kalitesi bozulabilir. Ancak Mamat farklı bir sonuca ulaşmıştır. Final parçaların kalitesi üzerine kalıp sıcaklığının güncel etkisini belirlemek amacıyla özellikle tekrarlanan aralıklarla alınan parçalarda kapsamlı ölçümler gereklidir. Farklı başlangıç değişkenleriyle kalıp sıcaklık ölçümlerin sonuçları Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bu sonuçlar iki önemli başlangıç parametresi, (tutma basıncı ve eriyik sıcaklığı) ve kalıp sıcaklığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 3.5 ‘den açıkça görülebilirki tutma basıncının kalıp sıcaklığı üzerine etkisi eriyik sıcaklığından daha düşüktür. Kurt ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmadan alınan bilgiler göstermektedir ki, eriyik sıcaklığı 185 °C’den 225 °C’ye yükseldiğinde kalıp sıcaklığı 50.56 °C’den 56.88 °C’ye yüklenmiştir. 200 °C’de tutma basıncı 850 bar’dan 900 bar’a yükseldiğinde kalıp sıcaklığı göz ardı edilebilir bir değerde sadece 0.18°C yükselmiştir. Bu sebeple kalıp üzerindeki bu etki ihmal edilebilir. Kalıp sıcaklığının yükselmesinde dominant faktör açıkça eriyik sıcaklığıdır. Bu çalışmadan çıkan bir diğer kaydadeğer sonuç kalıp sıcaklığının düşüşü ve yükselişi başlangıç şartlarının ne olursa olsun bir örneğini takip eder. Kalıp sıcaklığının bu kurallı davranışı plastik enjeksiyon prosesini tahmin ve kontrol etmek için kullanılan yazılımın güvenilirliğini geliştirmeye yardım edebilir” [Kurt et al., 2009].



Şekil 3.5 Kalıp sıcaklık grafiği.

Kurt ve arkadaşlarının bulduğu deneysel çalışmalara göre parçanın final ölçüsel kalitesi, y ve x yönlerindeki çekme ve dairesellik özellikleri, kalıplama prosesinin doldurma aşamasında kavite basıncı ve kalıp sıcaklığından etkilenmiştir [Kurt et al., 2009].

Grafikler göstermiştir ki, parçadaki x ve y yönündeki çarpılmalar farklı büyüklüklerde kavite basıncı ve kalıp sıcaklığı tarafından etkilenmiştir. Bu iki kontrol parametresi parçanın x ve y yönlerindeki çarpılması üzerinde güçlü etkiye sahiptir. Özellikle yüksek kavite basıncı ve kalıp sıcaklığı ile x ve y yönlerinde daha küçük çarpılma elde edilmiştir [Kurt et al., 2009].

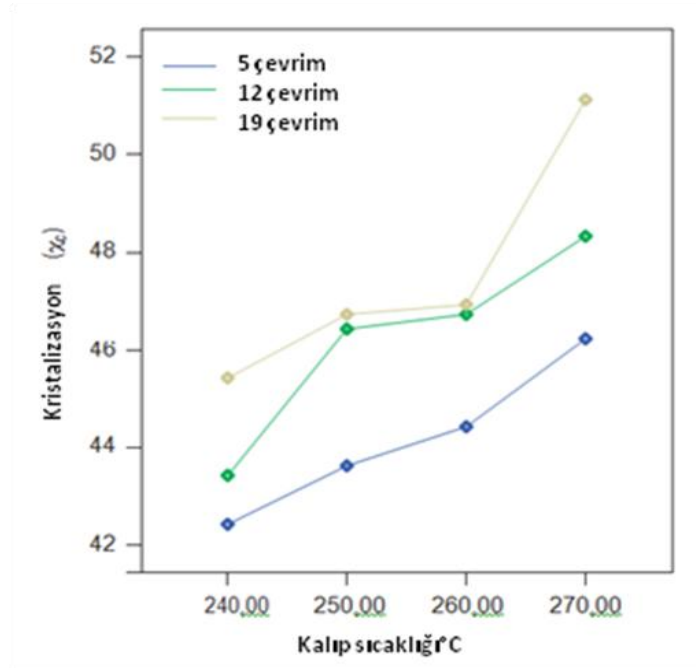
Kurt ve arkadaşları bu deneysel çalışma sonucunda şu sonuçlara varmışlardır.

- Piezoelektrik basınç sensörü dönüştürücüsü ve basınç - sıcaklık dönüştürücüsü kullanılarak çok gözlü bir kalıptan sürekli bir şekilde data ve ölçüm toplama işi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- Kalıp sıcaklığının düşüşü ve yükselişi ne olursa olsun başlangıç şartlarının bir örneğini takip eder.
- Kavite basıncı ve kalıp sıcaklığı parçanın y ve x yönünde çarpılmasını ve dairesellik özelliğini güçlü bir şekilde etkilemiştir [Kurt et al., 2009].

Costa ve arkadaşları çoklu ekstrüzyonlarda propilenin indirgenmesi konusunda ısısal analiz, varyans analizi ve mekanik özellikler üzerine yayınladıkları makalede; kalıp sıcaklığı ve / veya enjeksiyon çevrimlerinin sayısı arttığı zaman termal, termo-oksidatif ya da mekanik düşüş meydana geleceğini bildirmişlerdir. Bu sebeple eğer çapraz zincirler ve zincir bağ bölümlerinde yüksek konsantrasyon varsa PP'nin makromoleküler yapısından dolayı kristalizasyonun kısıtlanacağını; bu düşüşün makromoleküllerin gergin ve birbirine dolanmış bölümlerinin serbest kalmasına izin vereceğini ve bundan başka yeni oluşan bu serbest makromoleküllerin bölümleri yeniden düzenlenip başka kristalizasyon geliştireceğini açıklamışlardır (W_c (kristalizasyon değişimi) yükselir) [Costa et al., 2007].

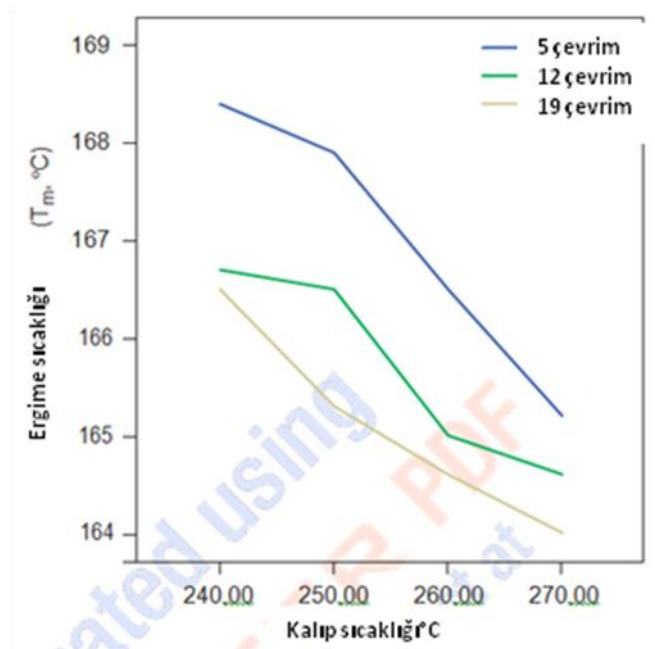
Aksi takdirde gözlemlendiği gibi kırılma özellikleri kesin olarak proses şartlarından etkilenir. Kırılma stresi, kırılma gerilmesi ve kırılma enerjisi yeniden işleme büyük düşüş gösterir. Örneğin kırılma enerjisi 5 çevrimde ve 240 °C' de 26.6j iken 270 °C ve 19 çevrim sonunda sadece 0.88j' dür [Costa et al., 2007].

Ekstrüzyon çevrim sayısının ve kalıp sıcaklığının PP üzerindeki etkileri ve termal özellikleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den gözlenebileceği gibi kalıp sıcaklığı ve ekstrüzyon çevrim sayısının artışıyla birlikte kristallik derecesi artmaktadır. Kullanılan şartlar için, 270 °C ve 19 çevrim uygulandığında W_c yükselmesi (kristalizasyon değişimi) sıralamada daha göze çarpmıştır. (240 °C ve 5 çevrimde % 42.4 bulunmasına karşın 19 çevrim sonunda yaklaşık olarak %51.1 kristallik bulunmuştur (%20.5 dolayında yükseliş) [Costa et al., 2007].



Şekil 3.6 Ekstrüzyon çevrimi ve kalıp sıcaklığı ile kristalizasyonun değişimi [Costa et al., 2007].

Şekil 3.7’ de görüldüğü gibi çevrim sayısı ve kalıp sıcaklığının artışı ile ergime sıcaklığında düşüş gözlenmiştir.



Şekil 3.7 Kalıp sıcaklığı ve ekstrüzyon çevrimleri ile ergime sıcaklığı (T_m) değişimi [Costa et al., 2007].

Şekil 3.8’de PP’nin kalıp sıcaklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak mekanik özelliklerinin değişimi verilmiştir. Şekil 3.8’den de gözleneceği gibi çevrim sayısına bağlı olarak kalıp sıcaklığı artışıyla parçanın tüm mekanik özelliklerinde düşüş gözlenmektedir.

Kalıp sıcaklığı (°C)	Çevrim sayısı	Darbe dayanımı (J/M)	Akma gerilmesi (Mpa)	E Modülü (Mpa)	Kırılma gerilmesi (Mpa)	Kırılma enerjisi (J)	Kırılma gerilmesi (%)
240	5	4.670.2	21.370.6	507.6717.9	27.472.1	26.671.6	795.8737.9
240	12	5.070.8	21.070.5	495.9717.8	22.770.6	25.271.1	659.0736.5
240	19	5.170.6	20.370.6	476.3723.0	22.672.5	23.173.0	527.1736.2
250	5	4.770.4	21.571.1	499.779.9	28.073.0	25.670.8	730.4720.3
250	12	4.670.5	20.870.8	490.5710.8	23.771.2	23.371.2	631.5741.6
250	19	4.470.5	20.170.8	468.0714.3	22.871.4	20.370.8	531.6735.4
260	5	4.470.3	20.570.3	475.9716.1	27.970.8	25.770.4	743.1737.7
260	12	4.670.3	20.170.8	452.6716.2	21.670.9	24.271.3	664.1731.8
260	19	4.170.4	19.470.6	433.3710.9	18.670.5	1.070.1	23.172.3
270	5	4.270.3	19.870.9	456.7722.4	26.572.2	24.272.0	739.1734.6
270	12	4.370.2	19.970.4	438.6718.6	19.671.2	20.071.4	560.1745.6
270	19	4.270.6	19.070.6	423.079.9	17.371.2	0.970.1	28.472.4

Şekil 3.8 Kalıp sıcaklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak PP’nin mekanik özelliklerinin değişimi [Costa et al., 2007].

Perez ve arkadaşları yeniden işlem ve hızlandırılmış yaşlanmanın polikarbonatın termal ve mekanik özelliklerine etkisi üzerinde çalışmalar yapmış ve polikarbonatın mekanik özellikleri ilgili deneysel sonuçlara ulaşmışlardır [Perez et al., 2009].

Perez ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada sadece PC numuneleri ile enjeksiyonda yeniden işlem uygulamışlardır. Şekil 3.9 elastisite modülü ile birlikte kopma gerilmesi ve darbe dayanımı değerlerini göstermektedir. Elastisite modülü pratik olarak enjeksiyon yeniden işleminden etkilenmemiştir. Bununla beraber kopma dayanımı da ilk beş çevrimden sonra yeniden enjeksiyon işleminden etkilenmemiş, altıncı çevrimden sonra küçük bir düşüş göstermiş ve sekizinci çevrimden (sekizinci çevrimde kopma gerilmesi orijinal malzeme değerinden 40% daha düşüktür) sonra çarpıcı bir düşüş göstermiştir. Bu sonuçlar Aguirre Flores ve Sanchez Valdes (1999)’ in elde ettikleri ile uygundur. Bununla birlikte kopma dayanımının kırılmasında PC numuneleri ilk üç çevrimde tekrarlanan yeniden işleminden çok güçlü etkilenmemişlerdir. Ancak dördüncü ve beşinci çevrimde kopma dayanımında büyük bir düşüş elde edilmiştir. Bu gösteriyor ki, kopma dayanımı yeniden işlem esnasında oluşan PC indirgenmesi tarafından açıkça etkilenmiştir. Özellikle

üçüncü çevrim sonrasında ya da daha uzun direnç anlarında bu etki görülmüştür [Perez et al., 2009].

Yeniden İşleme	T _g (K)	T _i (K)	Elastisite Modülü (N mm ⁻²)	Çekme Dayanımı (N mm ⁻²)	Darbe Dayanımı (kJ m ⁻²)	Akış İndeksi (cm ³ (10 min ⁻¹))
0	415	775	—	—	—	22.8 ± 1.3
1	414	772	2614 ± 75	61.7 ± 0.5	13.5 ± 0.8	22.5 ± 1.4
2	413	766	2523 ± 23	60.2 ± 0.2	10.0 ± 1.6	29.5 ± 2.2
3	412	748	2538 ± 48	59.6 ± 0.4	4.5 ± 1.2	40.7 ± 4.1
4	411	737	2536 ± 28	60.6 ± 0.3	2.1 ± 1.4	43.3 ± 6.2
5	408	729	2706 ± 68	62.6 ± 0.4	—	54.1 ± 5.8
6	407	727	2613 ± 42	61.9 ± 0.3	—	58.0 ± 6.7
7	406	727	2671 ± 82	52.9 ± 8.9	—	66.5 ± 7.6
8	405	725	2552 ± 29	38.3 ± 2.3	—	79.2 ± 8.4
9	405	724	2481 ± 50	43.7 ± 3.6	—	82.2 ± 8.9
10	405	720	2477 ± 102	39.1 ± 5.3	—	100 ± 14.8

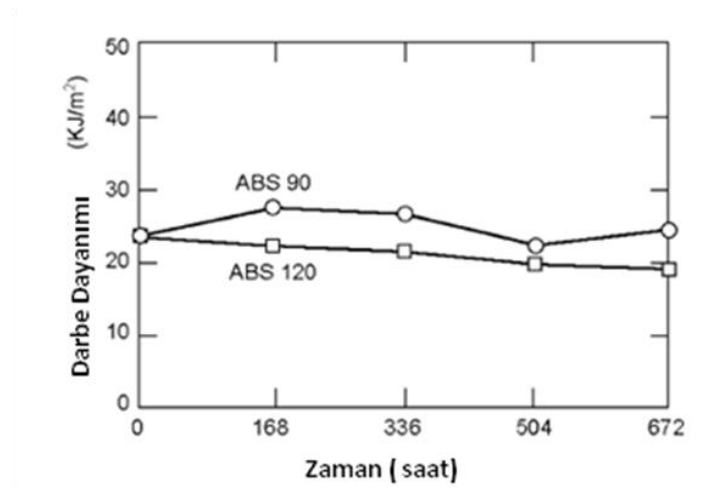
Şekil 3.9 Enjeksiyonda yeniden işlemenin polikarbonatın fiziksel özelliklerine etkisi [Perez et al., 2009].

Perez ve arkadaşları darbe dayanımının belirlenmesinde sadece ilk dört enjeksiyon çevrimini ölçebilmişlerdir. Çünkü beşinci yeniden işlem çevriminden sonra polikarbonatın darbe dayanımının ölçüm aletinin tespit limitinden aşağıda olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, PC yeniden işlem esnasında indirgemeye (degradation) maruz kalmıştır [Perez ve ark., 2009].

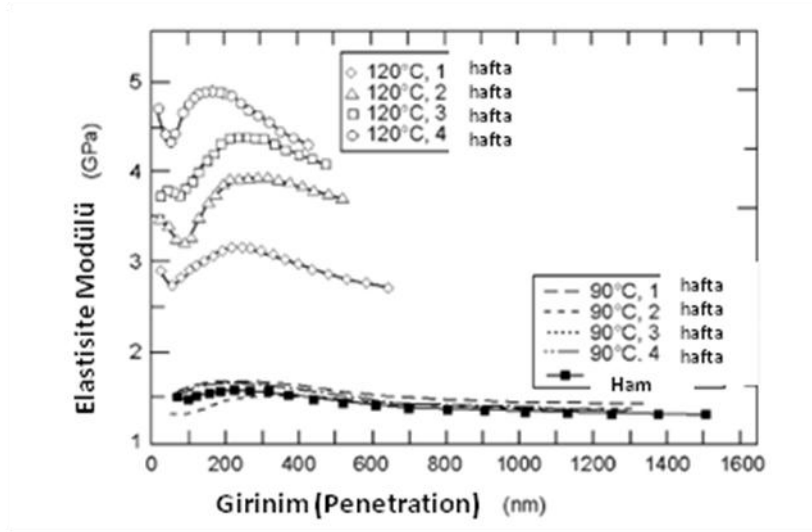
Tiganis ve arkadaşları ABS karışımlarının termal indirgenmesi konusunda araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada Tiganis ve arkadaşları hesaplanan sıcaklıklarda (80°C) yaşlanma ile ABS'in hızlandırılmış termal indirgemesini incelemişlerdir. Darbe dayanımının önemli ölçüde düşüşü 120°C'de ve kritik bir yaşlanma anında gösterilmiştir ve bu düşüş yaşlanma esnasında kuvvetli olarak yüzey özelliklerine bağlıdır [Tiganis et al., 2002].

Şekil 3.10 Tiganis ve arkadaşlarının darbe dayanımı için yaşlanma zamanıyla çentik açılmış ve 90 ve 120 °C'ye kadar yaşlandırılmış ABS test parçaları için elde ettikleri değişkenleri göstermektedir. Görülebileceği gibi darbe dayanımı 90°C yaşlanma zamanında etkin olarak bağımsızdır sadece 120 °C de küçük bir kayıp elde edilmiştir [Tiganis et al., 2002].

Yüzeyde yaşlanmanın etkileri ABS malzemenin mekanik özelliklerine etkileri bir mikrosertlik test aleti kullanılarak incelenmiştir. Şekil 3.11 90°C'de yaşlandırılmış ABS'in girinime (penetration) bağlı olarak elastisite modülündeki değişim gösterilmektedir. 1500 Mpa'da üretilen bu ABS'de büyük oranda bir değişiklik görülmemiş, 120 °C'de yaşlandırılan ABS'in elastisite modülü %300 artışla 4500MPa olmuştur [Tiganis et al., 2002].



Şekil 3.10 Çentikli ABS'in darbe dayanımının 90 ve 120 °C'de yaşlanmasının bir fonksiyonu olarak gösterimi [Tiganis et al., 2002].



Şekil 3.11 90 °C’ de yaşlandırılmış ABS’in elastisite modülü [Tiganis et al., 2002].

Bendeda ve arkadaşları enjeksiyon kalıpcılığında polimer ve kalıp arasındaki termal kontak direncinin analizi üzerine çalışmışlardır. Makalenin amacı enjeksiyon çevrimi ve çevrimin kalıplama şartları altındaki değişimi sırasında polimer ve kalıp arasındaki termal kontağı araştırmak olmuştur. Deneyler 400T Husky enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. Parça boyutları 330 × 200 × 180 mm ve kalınlık 2.3 mm’dir [Bendeda et al., 2004].

Bendeda ve arkadaşları TCR (Termal Kontak Direnci) hesabını aşağıdaki şekilde yapmışlardır [Bendeda et al., 2004].

$$TCR = (T_{ps} - T_{ms}) / \phi, \text{ burada;}$$

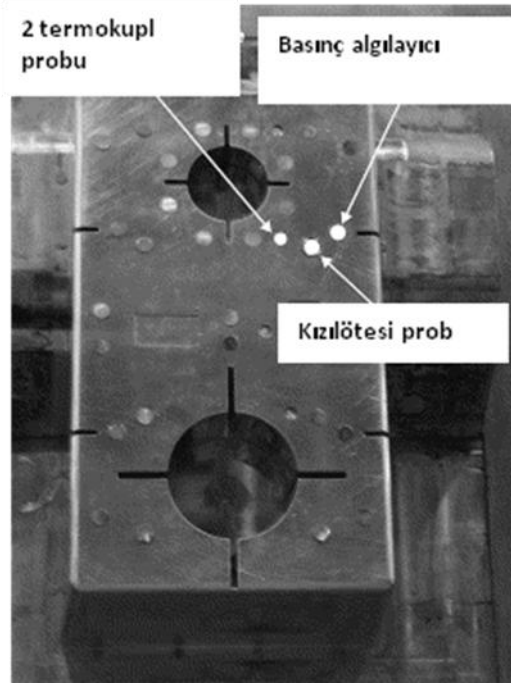
TCR : Termal Kontak Direnci

T_{ps} : Polimer yüzey sıcaklığı

T_{ms} : Kalıp Yüzey Sıcaklığı

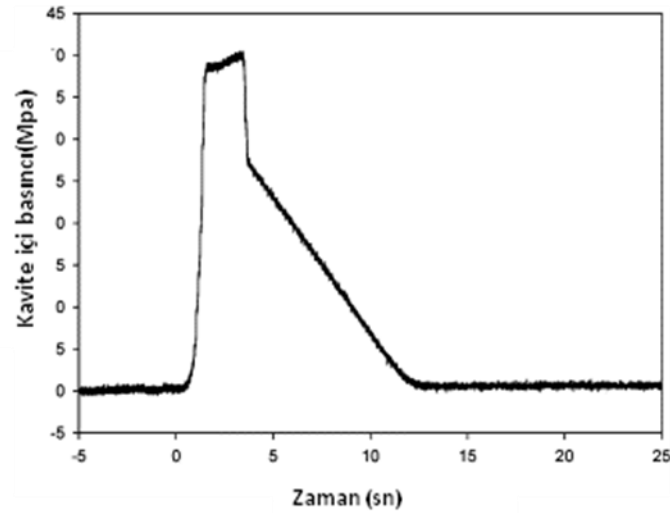
ϕ : Isı Akış Yoğunluğu

“TCR ‘ı belirlemek için kalıp yüzey sıcaklığı ve ısı akış yoğunluğu olarak adlandırılan, diğer fiziki parametreler endirek olarak, biri diğerinin aynısı olacak şekilde özel olarak Delaunay tarafından geliştirilen iki termokupl probu kullanımıyla elde edilmiştir. iki termokupl probu sıcaklık bilgilerini kalıp içinde yüzeye çok yakın bir hat boyunca yerleştirildikleri iki farklı bölgeden sağlamışlardır. Bu sayede arayüzde kesişen kalıp yüzey sıcaklığı ve ısı akış yoğunluğu hesabını belirlemek için kalıp sıcaklıkları ters algoritma içersine sokulmuştur. Şekil 3.12’de kızılötesi prob, basınç algılayıcı ve iki termokuplun yerleşimi görülebilir. Kızılötesi yüksek sıcaklık ölçer ve iki termokupl uçlarından sağlanan bilgi ile değişik proseslerdeki TCR değişimini hesaplamak mümkündür” [Bendeda et al., 2004].

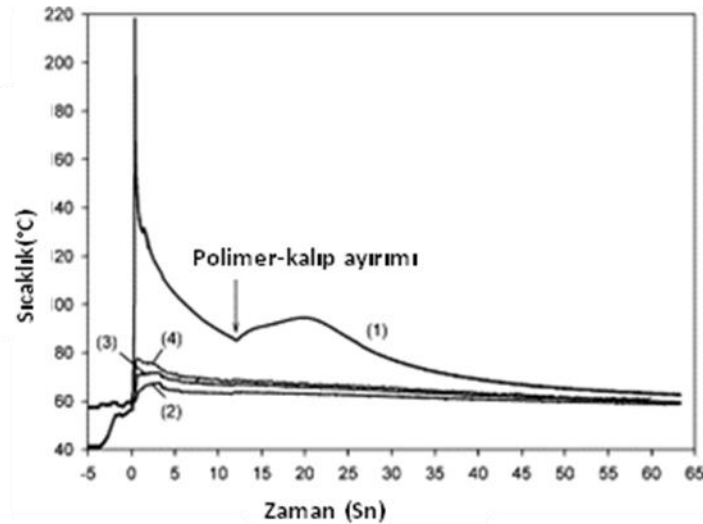


Şekil 3.12 Beyaz dairelerle gösterilen bölgelerde kızılötesi prob, basınç algılayıcı ve iki termokuplun yerleşimi [Bendeda et al., 2004].

Tutma basıncı, kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığının farklı kombinasyonları için 8 seri deney yapılmıştır. Plastikleştirme şartları 220 - 275°C'ye set edilmiş, kalıp sıcaklığı 25 ve 50 °C'ye ayarlanmış ve bu esnada hidrolik basıncı da tutma anında 2.5 ya da 16 MPa olarak ayarlanmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir [Bendeda et al., 2004]. Deneyler sonunda Bendeda ve arkadaşları Şekil 3.13 ve 3.14'deki sonuçları elde etmişlerdir.



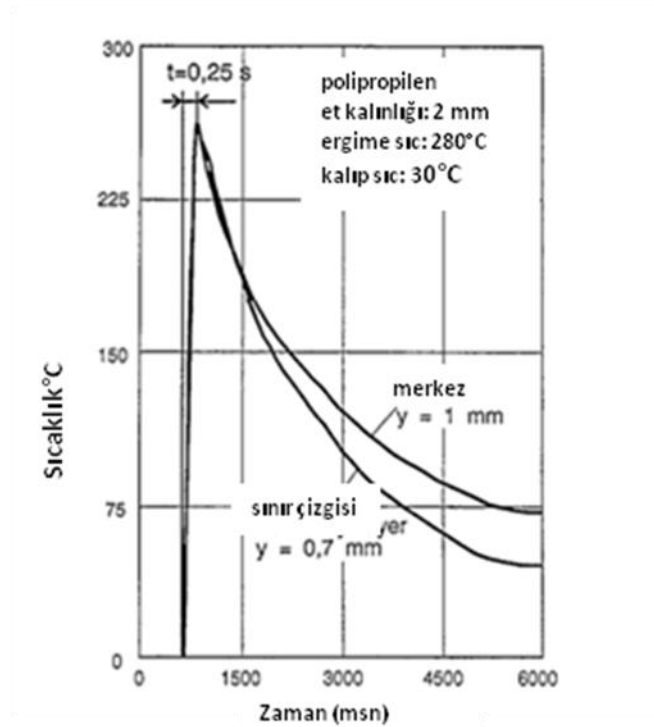
Şekil 3.13: 220 °C enjeksiyon sıcaklığı 25 °C kalıp sıcaklığı ve 2,5 MPa hidrolik basıncı ile zamanın bir fonksiyonu olarak tipik kavite içi basıncı [Bendeda et al., 2004].



Şekil 3.14 Kalıp içindeki sıcaklık izleri ve yüzeydeki polimer akışı (1): Polimer yüzeyindeki sıcaklık (2) : Kalıp içinde arayüzden 2 mm uzaklıktaki sıcaklık (3): Kalıp içinde arayüzden 1 mm uzaklıktaki sıcaklık (4): "inverse method" yöntemiyle hesaplanan kalıp yüzey sıcaklığı [Bendeda et al., 2004].

Debey ve arkadaşları eriyik polimerlerin sıcaklık profillerinin gerçek zaman ölçümleri için düzlemsel termokuplların üretimi üzerine 1997 yılında yayınladıkları makalede ince film termokuplları kullanmışlardır. İnce film termokupllar kalıp içi eriyik polimerlerin sıcaklık dağılımlarını ölçmek için geliştirilmiştir.

Şekil 3.15’de Debey ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu elde ettikleri grafik görülebilir. Bu grafikte soğuma sırasında ölçülen iki noktanın zamanla olan ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.15 Soğuma sırasında ölçülen iki noktanın zamanla olan ilişkisi [Debey et al., 1997].

Et kalınlığının 2 mm eriyik sıcaklığının 280 °C, ve kalıp sıcaklığının 30 °C, olduğu durumda parçanın merkez noktasındaki sıcaklık ve sınır çizgisinden 0.7 mm uzaklıktaki bölgelerden alınan ölçümlere göre merkez noktanın daha geç soğuduğu gözlenmiştir. Kalıp içinde sadece 3 sn’lik bir zamanda 100°C’den fazla bir sıcaklık kaybının gözlenmesi dikkate değerdir. Bu durum homojen bir sıcaklık dağılımı ve soğutma sisteminin enjeksiyon kalıpcılığında ne kadar önemli olduğu göstermektedir [Debey et al., 1997].

Debey ve arkadaşları enjeksiyon evresinde plastik eriyiğin sensöre ulaşmasından sonra sıcaklığın hızlıca yükseldiğini tespit etmişlerdir. 0.25 saniye sonra maximum hıza ulaşılmıştır. Kavite tamamen dolduktan sonra plastik soğuk kalıp içerisinde yavaş yavaş soğumaya başlar. Enjeksiyon fazının sonunda sınır çizgisindeki sıcaklığın merkezle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görüldüğünü bildirmişlerdir. Buna da enjeksiyon esnasında kayma gerilmesinin neden olacağı sonucuna varmışlardır [Debey et al., 1997].

Akyüz ‘Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş’ adlı kitabında polimer malzemelerin makro moleküllerinin sıralanışının çoğu zaman düzensiz olduğunu ancak bazen de bazı bölgelerde düzenli olabileceğini açıklamıştır. Bu şekilde bazı bölgelerinde düzenli olarak sıralanmış makro moleküllerden oluşan plastiklere ‘Yarı Kristal’ plastikler denir. Genel olarak çok çeşitli polimer üretiminde belli oranlarda düzenli sıralanmış makromoleküllerin oluşturduğu bölgeler mevcuttur. Bu bölgeler belli kristallik derecesine sahiptirler. Akyüz enjeksiyon işleminde parçanın soğuması esnasında da yarı kristal yapıların oluşacağını açıklamıştır. Termal şartlar ve akış etkilerinin kristal yapının oluşumu açısından önemini vurgulmuştur [Akyüz, 2001].

“Kristallik derecesi parçanın bir çok özelliğini ortaya koyar. Mesela kristallik derecesiyle parça ağırlığı arasında direk bir bağlantı vardır. ‘Sünme mukavemeti, elastikiyet modülü ve çarpma mukavemeti’, parçanın kristallik derecesini arttıran diğer faktörlerdir. Kristallik derecesi, kristalleşmeye eğimli yapıda oluşan kristalleşmiş malzemenin tüm malzemeye oranı olarak tanımlanabilir” [Akyüz, 2001].

“Kristallik derecesini esas etkileyen faktör soğuma oranıdır. Yüksek soğuma oranlarında kristallik derecesi düşer. Hızlı soğumadan dolayı moleküller kendileri düzeltmeye yetecek kadar zaman bulamazlar. Tam tersi yavaş soğuma makro moleküllerin daha düzenli bir yapı oluşturmalarına yani daha büyük kristal bölgeler ortaya çıkmasına neden olur” [Akyüz, 2001].

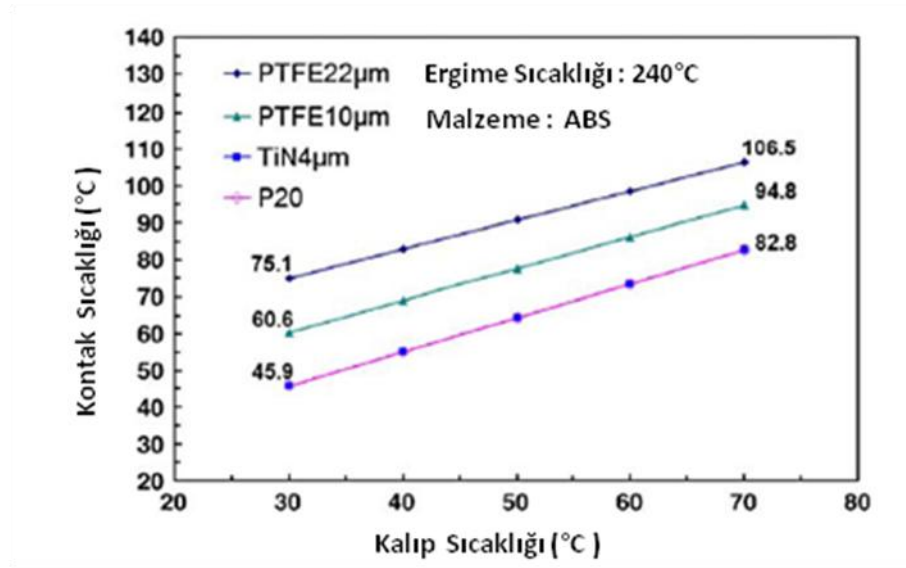
Bushko and Stokes kalıp yüzey sıcaklık farklarının çarpılma ve artık gerilme üzerindeki etkileri konulu bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada 5 farklı amorf hammadde için tipik eriyik ve kalıp sıcaklıklarını Şekil 3.16’da göstermişlerdir.

5 Farklı amorf termoplastiğin termal özellikleri: Modifiye polipropilen oksit (M-PP0), Polikarbonat (PC), Polieterimit (PEI), Acrylonitrile-Butadiene-Stryne (ABS) ve PC/ABS karışımı.

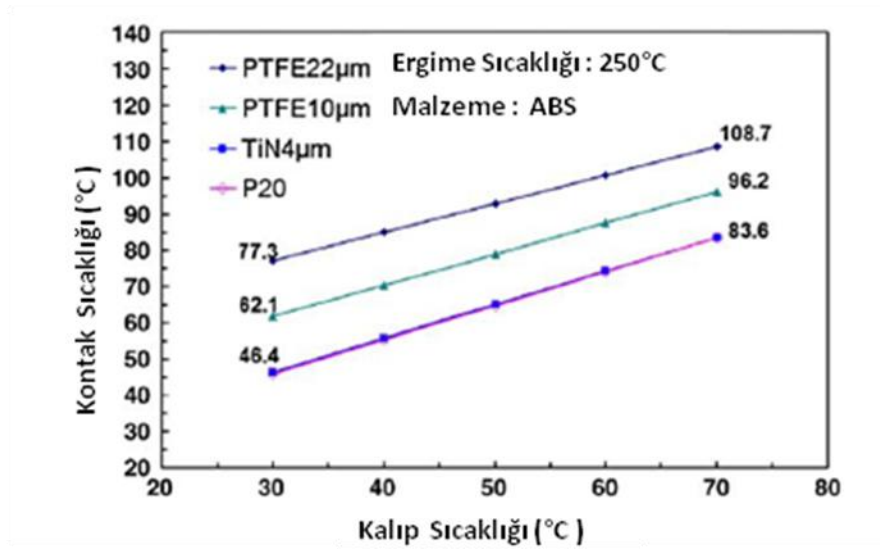
Özellik	Birimler	M-PP0	PC	PE	ABS	PC/ABS
Isıl iletkenlik	$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ (at 20°C)	0.17	0.172	0.169	0.166	0.2
	$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ (at 150°C)	0.1	0.099	0.093	0.109	0.103
Isıl genişleme katsayısı	$10^{-5} \times ^\circ\text{C}^{-1}$ (at 20°C)	11.38	6.9	4.71	11.02	8.16
Camsı nokta geçiş sıcaklığı	$^\circ\text{C}$	110	150	215	110	115
Eriyik sıcaklığı	$^\circ\text{C}$	230-280	290-315	335-425	218-260	245-285
Kalıp sıcaklığı	$^\circ\text{C}$	65-82	70-95	65-175	45-70	45-80

Şekil 3.16 5 farklı amorf termoplastiğin termal özellikleri: Modifiye Polipropilen oksit (M-PP0), Polikarbonat (PC), Polietermit (PEI), Acrylonitrile-Butadiene-Stryne (ABS) ve PC/ABS karışımı [Bushko and Stokes, 1996].

Shia - Chung Chen ve arkadaşları enjeksiyon kalıplama ile elde edilmiş parçalarda kavite yüzey kaplamanın kalıp sıcaklığı değişimi ve kalite özellikleri üzerine etkileri konusunda yayınladıkları makalede farklı kaplamalar ile kalıp içi sıcaklık değişimlerini gözlemişlerdir. Aşağıda Şekil 3.17 ve 3.18’de kalıp sıcaklığının çeşitli kaplama türleriyle temas sıcaklığına bağlı değişimi verilmiştir. “P20” yani kalıbın kaplamasız olduğu değerler bu çalışma için değerlendirilebilir. [Chen et al., 2009].



Şekil 3.17 Farklı kaplama türlerinde kalıp sıcaklığının temas sıcaklığına bağlı olarak değişimi ($T_m: 240^\circ\text{C}$) [Chen et al., 2009]



Şekil 3.18 Farklı kaplama türlerinde kalıp sıcaklığının temas sıcaklığına bağlı olarak değişimi ($T_m: 250^\circ\text{C}$) [Chen et al., 2009].

Smith “Malzeme bilimi ve mühendisliği” adlı kitabında genel amaçlı bazı plastiklerin özelliklerini Şekil 3.19’da vermiştir. Ayrıca ABS plastiklerinin bazı örneksel özellikleri de Şekil 3.20’de görülebilir.

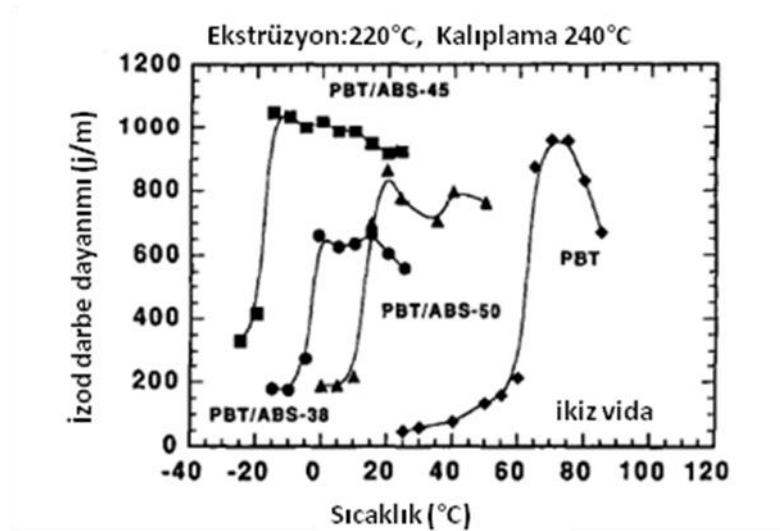
Malzeme	Yoğunluk, g/cm ³	Çekme dayanımı, MPa	Darbe dayanımı, Izod, J/m	Elektriksel yalıtkanlık dayanımı V/mm	En yüksek (yüksüz) kullanım sıcaklığı °C
Polietilen:					
Düşük yoğunluk	0.92-0.93	6.2-17.2		18912	82-100
Yüksek yoğunluk	0.95-0.96	20-37.2	21.35-747.3	18912	80-100
Bükülmez, klorlanmış PVC	1.49-1.58	51.7-62.1	53.38-298.9		110
Genel maksatlı polipropilen	0.90-0.91	33-38	21.35-117.4	25610	107-150
Stiren akrilonitril (SAN)	1.08	69-82.8	21.35-26.69	69935	60-104
Genel maksatlı (ABS)	1.05-1.07	40.7	320.28	15169	71-93
Genel maksatlı Acrilik	1.11-1.19	75.9	122.77	17730-19700	54-110
Selülozik, asetat	1.2-1.3	20.7-55.2	133.45-213.52	9850-23640	60-104
Plitetrafloretilen	2.1-2.3	6.9-27.6	64.05-362.98	21670	228

Şekil 3.19 Genel amaçlı bazı plastiklerin özellikleri [Smith, 2006]

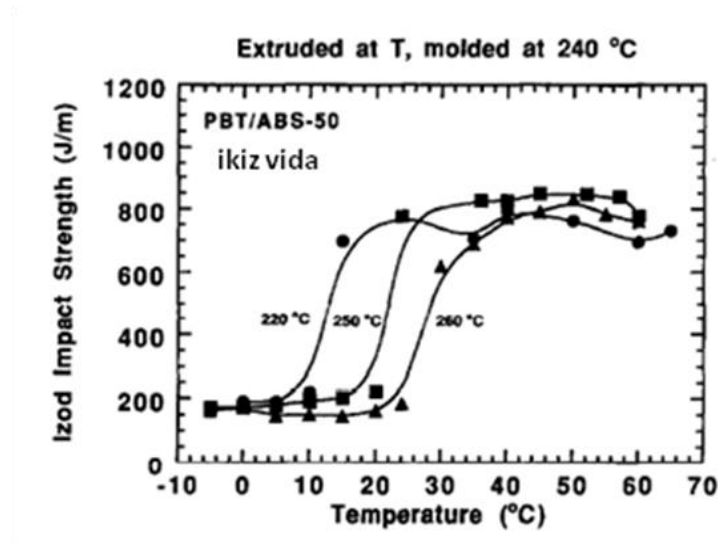
	Yüksek darbe	Orta darbe	Düşük darbe
Darbe dayanımı (izod) J/m	375-640	215-375	105-320
Çekme dayanımı MPa	33-41	41-48	41-52
Uzama, %	15-70	10-50	5-30

Şekil 3.20 ABS plastiklerinin bazı örneksel özellikleri [Smith, 2006].

Hage ve arkadaşları ABS malzeme ile PBT (Polybutilentereftalat)’nin darbe değişimleri konulu çalışmalarında çeşitli yüzdelerle ABS malzemeyi PBT ile karıştırarak izod darbe testleri yapmışlardır. Şekil 3.22’de % 40 ABS katkılı PBT malzemeler ile saf PBT’nin sıcaklık değişimleriyle izod darbe sonuçları değişimi görülebilir. Çalışmada ocak sıcaklığı 220°C ve kalıp sıcaklığı 240°C olarak alınmıştır. Şekil 3.23’de yine PBT / ABS karışımlarının 3 farklı ocak sıcaklığında izod darbeye bağlı sıcaklık değişimleri görülebilir [Hage et al., 1997].



Şekil 3.21 %40 ABS katkılı PBT malzemeler ile saf PBT'nin sıcaklık değişimleriyle izod darbe sonuçları değişimi [Hage et al., 1997].



Şekil 3.22 PBT / ABS karışımlarının 3 farklı ocak sıcaklığında izod darbeye bağlı sıcaklık değişimleri [Hage et al., 1997].

Şekil 3.22'de görüldüğü gibi Hage ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ocak sıcaklığı dolayısıyla eriyik sıcaklığı artışı ile izod darbe dayanımında artış gözlenmiştir.

Li ve arkadaşları enjeksiyonla üretilen PC (Polikarbonat) ve PE (Polietilen) karışımlarının farklı sıcaklıklardaki çatlak darbe dayanımı ve anizotropik mikroyapı ile ilişkisi üzerine yaptıkları çalışmada 190, 230 ve 275° C eriyik sıcaklığı ile çalışmışlardır. Şekil 3.23’de Li ve arkadaşlarının çentikli izod darbe testlerinden elde ettikleri sonuçlar görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi PE kristalizasyonu eriyik sıcaklığı ile artış göstermektedir. Bunun nedeni enjeksiyon esnasında farklı soğuma oranları olabilir. Genel olarak düşük eriyik sıcaklıkları, hızlı soğuma ve düşük kristalizasyon sürekliliği demektir.

Şekilde açıkça gözlenmektedir ki, eriyik sıcaklıkları arttıkça darbe dayanımları da artmaktadır [Li et al., 2005].

Eriyik Sıcaklığı (°C)	Çentikli darbe dayanımı (kJ/m ²)	
	Giriş yönü	Giriş olmayan yön
190	8.8±0.3	7.3±0.2
230	15.8±0.5	11.7±0.4
275	20.9±0.3	18.2±0.2 ^a

^a Kırılmayan parçalar

Şekil 3.23 Çentikli izod darbe testlerinden elde edilen sonuçlar [Li et al., 2005].

Şekil 3.24’de çalışmada kullanılan farklı kalıp sıcaklıkları için ergime sıcaklığı, ergime entalpisi ve kristalizasyon değişimleri verilmiştir. Eriyik sıcaklığının artışına bağlı olarak kristalizasyonun artışı açıkça gözlenmektedir.

	Eriyik Sıcaklığı (°C)		
	190	230	275
Ergime Sıcaklığı (°C)	130.8	132.3	132.1
Ergime entalpisi (J/g)	136.0	144.2	150.0
Kristalizasyon (%)	56.0	59.3	61.7

Şekil 3.24 Farklı kalıp sıcaklıkları için ergime sıcaklığı, ergime entalpisi ve kristalizasyon değişimleri [Li et al., 2005].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmanın temel amacı farklı hammaddeler kullanarak kalıp içi ve eriyik sıcaklık değişimlerinin mekanik özelliklere etkisinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada 3 farklı hammadde kullanılmıştır;

PP (Polipropilen) olarak Dow C705,

ABS (Akrilonitril bütadien stirenin) olarak LUSTRAN M201AS,

PC (Polikarbonat) olarak SABIC Xenoy CL100 hammaddeleri kullanılmıştır.

Bu 3 farklı hammadenin herbirinin kalıp içi sıcaklık değişimleri termokupllar ile kontrol edilmiştir. Kalıp içi sıcaklık farklarının gözlenmesi için her hammadde için minimum 20 °C’lik değişimler sağlanmaya çalışılmıştır. Kalıp içi sıcaklık değişimleri soğutma suyu ve kalıp şartlandırıcı kullanılarak sağlanmıştır. Kalıp içi sıcaklık değişimleri;

PP için ortalama: 25-45- 65 °C,

PC için ortalama: 30 - 50 -70 °C

ABS için ortalama: 30 - 50 - 70 °C olarak alınmıştır.

Deneme başlangıcında ve sonunda kalıp içi sıcaklık değerleri değişeceğinden kalıp içi sıcaklık değişimlerinin her termokupl için deneme başı ve sonunda okunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Sonuçlar her hammadde için kendi içinde değerlendirmeye alınmıştır. Eriyik sıcaklıkları optimum çalışma şartları gözönünde bulundurularak;

PP için: 180 – 220 - 260 °C,

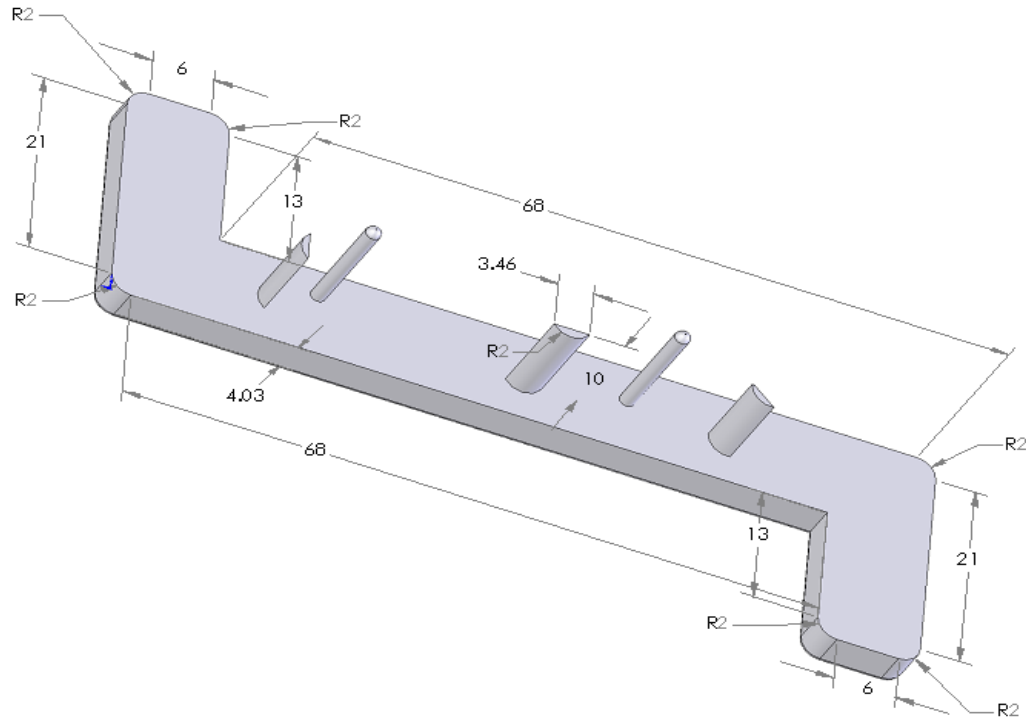
PC için: 220 - 250 - 280 °C,

ABS için: 220 – 250 - 280 °C olarak enjeksiyon makinesinde set edilmiştir. ABS hammaddeyi 220 °C eriyik sıcaklığı ve 30 °C kalıp sıcaklığıyla yürütmek mümkün olmadığından bu denemeler yapılamamıştır.

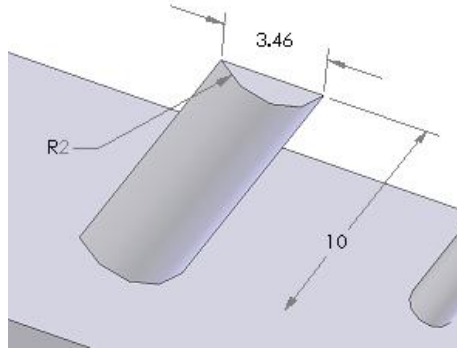
4.1 Plastik ürünün imalatı

Plastik parçanın tasarımı izod ve üç nokta eğme mekanik testleri standartlarına uygun olacak şekilde 80x10x4 mm ölçülerinde tasarlanmıştır. Parçanın uçlarından uzayan bölümleri kalıba yeniden şekil verilerek oluşturulmuştur. Buradaki amaç kalıp sıcaklık değişimlerinin farklılıklarını daha iyi gözlemlemektir. Nitekim termokupllardan biri sıcaklık kontrolü için bu bölgelere yerleştirilmiştir. Şekil 4.1’de parçanın boyutları ve Şekil 4.2 ‘de giriş bölümünün boyutları verilmiştir.

Parçalar 50 Ton’luk (50 MEt III) plastik enjeksiyon makinesinde basılmıştır. Şekil 4.3’de enjeksiyon makinesi görülebilir. Plastik ürün için hazır bulunan kalıp izod ve üçnokta eğme deneyleri standartları için iki gözlü olarak işlenmiştir. Kalıp içi istenilen sıcaklık değişimleri Şekil 4.4’deki Frigel marka kalıp şartlandırıcısı ile sağlanmıştır. Plastik parçanın enjeksiyon esnasında ve enjeksiyon sonrasında sıcaklık değişimlerinin tespiti için kavite içerisinde belirli bölgelere termokupllar yerleştirilmiştir. Şekil 4.5’de termokupllar görülebilir.



Şekil 4.1 Parça boyutları.



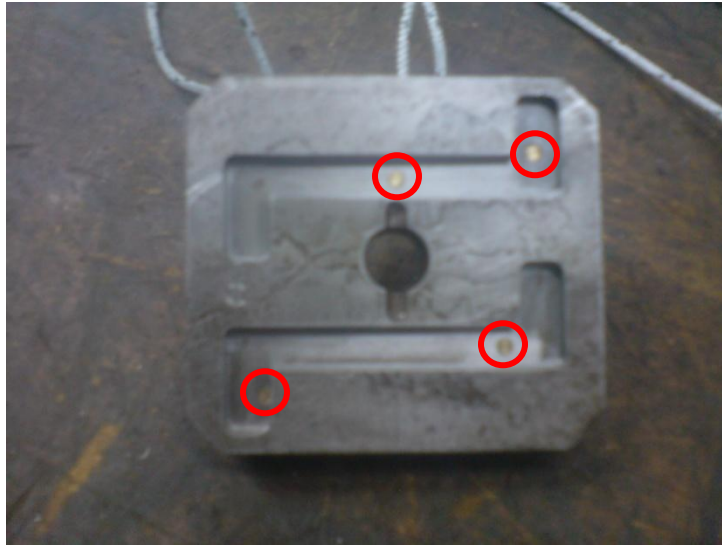
Şekil 4.2 Giriş bölgesi boyutları.



Şekil 4.3 Plastik enjeksiyon makinesi.

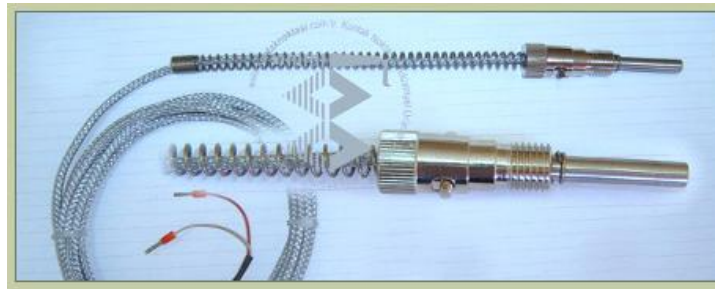


Şekil 4.4 Kalıp Şartlandırıcısı.



Şekil 4.5 Termokuplların kalıp içi yerleşimi.

Kavite içerisindeki farklı bölgelerin sıcaklık değişimlerini kontrol etmek için termokupllar iki gözde (kavite) de farklı bölgelere yerleştirilmiştir. Çalışmada 4 adet aynı özellikte, Pt100 Bayonet tip Ø 4mm, termokupl kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan termokupl Şekil 4.6’da görülebilir. Termokuplların teknik özellikleri ve direnç tabloları eklerde görülebilir. Enjeksiyon esnasında termokupllar Şekil 4.7’deki Kontel marka sıcak yolluk unitesi ile kontrol edilmiştir. Termokupllardan alınan veriler her çevrim için kayıt altına alınmış ve test numunesi olarak ayrılmıştır. Her koşul için 20 baskı yapılmış ve yaklaşık olarak ilk, orta ve sonuncu parçalar deney numunesi olarak ayrılmıştır.



Şekil 4.6 Çalışmada kullanılan termokupl.



Şekil 4.7 Sıcak yolluk ünitesi.

Enjeksiyondan alınan parçaların sıcaklık değerleri ve sıra numaraları kayıt altına alındıktan sonra mekanik testler için soğumaya bırakılmıştır. Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3’de her malzeme için enjeksiyon parametreleri görülebilir.

Tablo 4.1 PP için enjeksiyon parametreleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	ORTALAMA TERMOKUPL DEĞERLERİ (°C)	ORTALAMA OCAK SICAKLIĞI (°C)	SOĞUMA ZAMANI(sn)	ENJEKSİYON HIZI (mm/sn)	ENJEKSİYON BASINCI(MPa)	TUTMA BASINCI (MPa)	TUTMA ZAMANI(sn)
PP 1.ÇALIŞMA	25	180	20	90-45	44	20	3
PP 2.ÇALIŞMA	25	220	20	90-45	44	20	3
PP 3.ÇALIŞMA	25	260	20	90-45	44	20	3
PP 4.ÇALIŞMA	45	180	20	90-45	44	20	3
PP 5.ÇALIŞMA	45	220	20	90-45	44	20	3
PP 6.ÇALIŞMA	45	260	20	90-45	44	20	3
PP 7.ÇALIŞMA	65	180	20	90-45	44	20	3
PP 8.ÇALIŞMA	65	220	20	90-45	44	20	3
PP 9.ÇALIŞMA	65	260	20	90-45	44	20	3

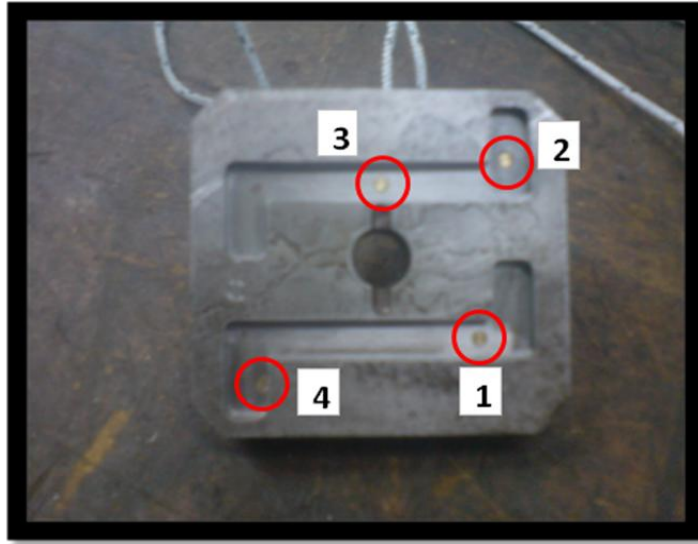
Tablo 4.2 PC için enjeksiyon parametreleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	ORTALAMA TERMOKUPL DEĞERLERİ (°C)	ORTALAMA OCAK SICAKLIĞI (°C)	SOĞUMA ZAMANI(sn)	ENJEKSİYON HIZI (mm/sn)	ENJEKSİYON BASINCI(MPa)	TUTMA BASINCI (MPa)	TUTMA ZAMANI(sn)
PC 1.ÇALIŞMA	30	220	20	135-105	75	20	3
PC 2.ÇALIŞMA	30	250	20	135-105	75	20	3
PC 3.ÇALIŞMA	30	280	20	135-105	75	20	3
PC 4.ÇALIŞMA	50	220	20	135-105	75	20	3
PC 5.ÇALIŞMA	50	250	20	135-105	75	20	3
PC 6.ÇALIŞMA	50	280	20	135-105	75	20	3
PC 7.ÇALIŞMA	70	220	20	135-105	75	20	3
PC 8.ÇALIŞMA	70	250	20	135-105	75	20	3
PC 9.ÇALIŞMA	70	280	20	135-105	75	20	3

Tablo 4.3 ABS için enjeksiyon parametreleri

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	ORTALAMA TERMOKUPL DEĞERLERİ (°C)	ORTALAMA OCAK SICAKLIĞI (°C)	SOĞUMA ZAMANI(sn)	ENJEKSİYON HIZI (mm/sn)	ENJEKSİYON BASINCI(MPa)	TUTMA BASINCI (MPa)	TUTMA ZAMANI(sn)
ABS 3.ÇALIŞMA	30	280	20	105-75	60	20	3
ABS 4.ÇALIŞMA	50	220	20	105-75	60	20	3
ABS 5.ÇALIŞMA	50	250	20	105-75	60	20	3
ABS 6.ÇALIŞMA	50	280	20	105-75	60	20	3
ABS 7.ÇALIŞMA	70	220	20	105-75	60	20	3
ABS 8.ÇALIŞMA	70	250	20	105-75	60	20	3
ABS 9.ÇALIŞMA	70	280	20	105-75	60	20	3

Yukarıdaki tablolarda da gözlenebileceği gibi 3 farklı hammadde için 25 farklı çalışma yapılmıştır. Her çalışma için ilerleyen çevrimlerde oluşacak değişimleri de gözlemek için en az 20 adet baskı yapılmıştır. Bu çalışma esnasında her çevrim için 4 farklı termokupl değeri ve tüm proses boyunca 5, 10, 15 ve 20. çevrimlerdeki termokupl sıcaklık değerleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen sonuçların ortalama değerleri ve sıcaklıkların değişimi Moldflow programı ile de kontrol edilmiş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.8’de termokuplların yerleşimi ve numaralandırılması görülebilir.



Şekil 4.8 Termokuplların yerleşimi ve numaralandırılması.

Tablo 4.4 - 4.12’de PP üretimi esnasında her termokupl için 4 farklı çevrimden alınan sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4 PP 1. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 1.ÇALIŞMA 5. BASKI	21	20	24	19
PP 1.ÇALIŞMA 10. BASKI	22	21	25	20
PP 1.ÇALIŞMA 15. BASKI	24	22	27	22
PP 1.ÇALIŞMA 20. BASKI	25	24	27	23

Tablo 4.5 PP 2. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 2.ÇALIŞMA 5. BASKI	22	20	25	20
PP 2.ÇALIŞMA 10. BASKI	23	22	26	21
PP 2.ÇALIŞMA 15. BASKI	24	23	27	22
PP 2.ÇALIŞMA 20. BASKI	24	24	27	23

Tablo 4.6 PP 3. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 3.ÇALIŞMA 5. BASKI	23	21	25	20
PP 3.ÇALIŞMA 10. BASKI	23	22	26	21
PP 3.ÇALIŞMA 15. BASKI	24	23	27	22
PP 3.ÇALIŞMA 20. BASKI	24	24	27	23

Tablo 4.7 PP 4. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 4.ÇALIŞMA 5. BASKI	38	36	40	35
PP 4.ÇALIŞMA 10. BASKI	39	36	42	35
PP 4.ÇALIŞMA 15. BASKI	39	37	43	36
PP 4.ÇALIŞMA 20. BASKI	40	37	44	37

Tablo 4.8 PP 5. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 5.ÇALIŞMA 5. BASKI	39	38	44	38
PP 5.ÇALIŞMA 10. BASKI	40	39	45	39
PP 5.ÇALIŞMA 15. BASKI	41	40	46	39
PP 5.ÇALIŞMA 20. BASKI	42	41	47	39

Tablo 4.9 PP 6. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 6.ÇALIŞMA 5. BASKI	41	39	45	38
PP 6.ÇALIŞMA 10. BASKI	42	40	45	39
PP 6.ÇALIŞMA 15.BASKI	43	42	46	40
PP 6.ÇALIŞMA 20. BASKI	45	44	47	43

Tablo 4.10 PP 7. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 7.ÇALIŞMA 5. BASKI	58	57	64	52
PP 7.ÇALIŞMA 10. BASKI	59	58	65	54
PP 7.ÇALIŞMA 15. BASKI	60	59	67	55
PP 7.ÇALIŞMA 20. BASKI	60	60	67	55

Tablo 4.11 PP 8. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 8.ÇALIŞMA 5. BASKI	61	59	65	58
PP 8.ÇALIŞMA 10. BASKI	61	59	65	59
PP 8.ÇALIŞMA 15. BASKI	62	60	66	60
PP 8.ÇALIŞMA 20. BASKI	63	61	67	60

Tablo 4.12 PP 9. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 9.ÇALIŞMA 5. BASKI	62	60	67	58
PP 9.ÇALIŞMA 10. BASKI	62	61	69	59
PP 9.ÇALIŞMA 15. BASKI	63	62	69	60
PP 9.ÇALIŞMA 20. BASKI	64	63	70	61

Yukarıdaki tablolarda PP ürün için çalışılan 9 farklı durumun aritmetik ortalamalarını gösteren değerler Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13 PP hammadde için termokupllardan alınan ortalama sıcaklık değeri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PP 1.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	23	21.75	25.75	21
PP 2.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	23.25	22.25	26.25	21.5
PP 3.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	23.5	22.5	26.25	21.5
PP 4.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	39	36.5	42.25	35.75
PP 5.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	40.5	39.5	45.5	38.75
PP 6.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	42.75	41.25	45.75	40
PP 7.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	59.25	58.5	65.75	54
PP 8.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	61.75	59.75	65.75	59.25
PP 9.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	62.75	61.5	68.75	59.5

Tüm koşullar için sıcaklık yüzdeleri hesaplanırken 0 °C referans alınmıştır. Tablo 4.4 – 4.13’de PP ürünler için kavite içi sıcaklık ölçümlerinden elde edilen değerleri vermektedir. Günümüzde plastik enjeksiyon sanayinde yapılan üretimlerde genellikle kalıp içi sıcaklık değişimleri göz ardı edilmektedir. Ancak yukarıdaki sonuçlardan da anlaşılacağı gibi termokupllar arası mesafesi maximum 70 mm olan bu parçalardan alınan sıcaklık verileri kalıp içinde yaşanan sıcaklık kayıplarının boyutlarını göz önüne sermektedir. Sonuçlar incelendiğinde kalıp içi sıcaklığın 25 °C olduğu 1, 2 ve 3. çalışmalarda maximum 5 °C’ lik bir değişiklik gözlenmiştir (3. ve 4. termokupl arasında). Bu fark girişe en yakın ve en uzak termokupllar arası farktır. 25 °C sabit sıcaklık istenen bu prosesde gözlenen 5 °C’lik yani yaklaşık %18’lik bir fark (3. çalışma, 3. termokupl: 27 °C, 4. termokupl: 22 °C) plastik enjeksiyon prosesi için çok büyük bir kayıptır. Kalıp sıcaklığının 45 °C olması istenildiği 4, 5 ve 6. durumlarda aynı proses içerisinde termokupllardan (3. ve 4. termokupl) alınan ölçümlerde maximum 8 °C’ lik (3. termokupl: 47 °C, 4. termokupl: 39 °C) bir değişim gözlenmiştir. Bu da % 17’ lik bir değişime denk gelmektedir. Kalıp sıcaklığının 65 °C’ ye set edildiği 7, 8 ve 9. çalışmalarda aynı şekilde sıcaklık kayıplarıyla karşılaşmıştır. 7. çalışmada 3. termokupl 64 °C iken 4. termokupl 52 °C olarak gözlenmiştir. Bu proseste de 12 °C’ lik bir değişim ve % 18’ lük bir fark görülmektedir.

Proses sonunda elde edilen sıcaklıkların aritmetik ortalamaları da benzer sonuçlar vermiştir. PP1. çalışmada 3. ve 4. termokupllar arasında 4.75 °C’ lik bir fark, 5. çalışmada 6.75 °C’ lik ve 7. çalışmada da 11.75 °C’ lik farklar gözlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yaklaşık her proseste görülebilir ki, kalıp içi sıcaklık değişimleri büyük farklılık göstermektedir.

Çok düşük toleranslarla çalışılan otomotiv ve beyaz eşya gibi sektörlerde bu durumun ortadan kalkması ürün kalitesini önemle ölçüde artıracaktır. Soğuma süresi bir plastik enjeksiyon çevriminde en fazla zamanın harcandığı bölümdür. Bu da enjeksiyon sonrası çok yüksek sıcaklıklardaki parçayı mümkün olan en kısa zamanda homojen bir şekilde soğutmak içindir. Ancak kalıp içi sıcaklıklarının bu derece değişken olması nihai ürünün görsel ve boyutsal kalite özelliklerine kesinlikle olumsuz etki edecektir.

PP parça üretimi için uygulanan proses şartları ve tutulan kayıtlar aynı şekilde PC ve ABS hammadde için de uygulanmıştır. Tablo 4.14 – 4.22 ‘de sırasıyla PC ve sonrasında Tablo 4.24 – 4.30’da ABS ürünlerde her termokupl için 4 farklı çevrimden alınan sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.14 PC 1. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 1.ÇALIŞMA 5. BASKI	32	31	34	26
PC 1.ÇALIŞMA 10. BASKI	33	32	36	27
PC 1.ÇALIŞMA 15. BASKI	34	33	36	29
PC 1.ÇALIŞMA 20. BASKI	35	34	37	30

Tablo 4.15 PC 2. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 2.ÇALIŞMA 5. BASKI	30	31	34	26
PC 2.ÇALIŞMA 10. BASKI	31	32	35	27
PC 2.ÇALIŞMA 5. BASKI	32	33	36	28
PC 2.ÇALIŞMA 5. BASKI	33	33	37	29

Tablo 4.16 PC 3. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 3.ÇALIŞMA	31	32	36	29
PC 3.ÇALIŞMA	32	33	37	31
PC 3.ÇALIŞMA	33	34	37	32
PC 3.ÇALIŞMA	34	35	38	33

Tablo 4.17 PC 4. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 4.ÇALIŞMA	52	51	55	48
PC 4.ÇALIŞMA	53	51	56	49
PC 4.ÇALIŞMA	54	52	57	50
PC 4.ÇALIŞMA	55	53	58	51

Tablo 4.18 PC 5. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 5.ÇALIŞMA	52	52	58	49
PC 5.ÇALIŞMA	53	52	59	50
PC 5.ÇALIŞMA	55	53	59	51
PC 5.ÇALIŞMA	55	54	60	52

Tablo 4.19 PC 6. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 6.ÇALIŞMA	53	52	58	49
PC 6.ÇALIŞMA	53	53	59	50
PC 6.ÇALIŞMA	54	53	60	51
PC 6.ÇALIŞMA	54	54	61	52

Tablo 4.20 PC 7. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 7.ÇALIŞMA	67	65	71	65
PC 7.ÇALIŞMA	68	66	73	66
PC 7.ÇALIŞMA	69	67	74	67
PC 7.ÇALIŞMA	70	68	75	67

Tablo 4.21 PC 8. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 8.ÇALIŞMA	67	66	71	66
PC 8.ÇALIŞMA	68	67	72	67
PC 8.ÇALIŞMA	68	68	74	68
PC 8.ÇALIŞMA	69	68	75	69

Tablo 4.22 PC 9. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 9.ÇALIŞMA	67	65	72	64
PC 9.ÇALIŞMA	68	66	74	65
PC 9.ÇALIŞMA	68	66	75	66
PC 9.ÇALIŞMA	69	67	75	67

Tablo 4.23 PC ürün için termokupllardan alınan ortalama sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
PC 1.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	33.5	32.5	35.75	28
PC 2.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	31.5	32.25	35.5	27.5
PC 3.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	32.5	33.5	37	31.25
PC 4.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	53.5	51.75	56.5	49.5
PC 5.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	53.75	52.75	59	50.5
PC 6.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	53.5	53	59.5	50.5
PC 7.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	68.5	66.5	73.25	66.25
PC 8.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	68	67.25	73	67.5
PC 9.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	68	66	74	65.5

Tablo 4.14 - 4.22' deki sonuçlar incelendiğinde PC ürünlerin sıcaklık değişimleri kalıp içi sıcaklığının 30 °C olduğu durumda en fazla değişik 1.çalışmada 7 °C (3. termokupl 1: 36 °C, 4. termokupl: 27 °C) ve %25' lük bir değişim olarak gerçekleşmiştir. 50 °C kalıp sıcaklığı grubunda en yüksek sıcaklık farkı 5. ve 6. çalışmalarda %15 ile 9 °C (3. termokupl: 59 °C, 4. termokupl: 50 °C) olarak gerçekleşmiştir. Son olarak kalıp 70 °C iken 9. çalışmada yine 9 °C' lik (3. termokupl: 75 °C, 4. termokupl: 66 °C) yaklaşık %12'lik bir değişim gözlenmiştir. Her üç sonuca bakıldığında da kalıp sıcaklığı yükseldikçe yüzdesel değişim düşmektedir. Buradan PC ürünler için yüksek kalıp sıcaklığı ile çalışmanın nihai ürün kalitesini yükselteceği sonucu çıkarılabilir.

Tablo 4.23'de proseslerin aritmetik ortalamaları incelendiğinde de 30 °C kalıp sıcaklığı için 2. proseste 8 °C'lik bir değişim gözlenmiştir. 50 °C kalıp sıcaklıklarında 6. çalışmada 9 °C'lik değişim ve 70 °C kalıp sıcaklığında da yine 8.5 °C'lik değişim olduğu gözlenmektedir.

ABS ürünler için de her çalışma için hazırlanan tablolar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.24 ABS 3. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 3.ÇALIŞMA	30	29	33	28
ABS 3.ÇALIŞMA	31	29	34	29
ABS 3.ÇALIŞMA	32	31	35	30
ABS 3.ÇALIŞMA	33	32	36	31

Tablo 4.25 ABS 4. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 4.ÇALIŞMA	45	43	49	41
ABS 4.ÇALIŞMA	46	44	50	41
ABS 4.ÇALIŞMA	47	45	51	42
ABS 4.ÇALIŞMA	48	45	52	43

Tablo 4.26 ABS 5. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 5.ÇALIŞMA	45	43	48	42
ABS 5.ÇALIŞMA	46	44	49	43
ABS 5.ÇALIŞMA	47	45	50	43
ABS 5.ÇALIŞMA	47	46	52	44

Tablo 4.27 ABS 6. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 6.ÇALIŞMA	46	44	49	43
ABS 6.ÇALIŞMA	46	45	50	44
ABS 6.ÇALIŞMA	47	45	50	45
ABS 6.ÇALIŞMA	48	46	51	46

Tablo 4.28 ABS 7. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 7.ÇALIŞMA	64	63	72	61
ABS 7.ÇALIŞMA	65	64	73	62
ABS 7.ÇALIŞMA	66	64	73	62
ABS 7.ÇALIŞMA	67	65	74	63

Tablo 4.29 ABS 8. durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 8.ÇALIŞMA	65	64	73	62
ABS 8.ÇALIŞMA	66	65	74	63
ABS 8.ÇALIŞMA	67	65	75	64
ABS 8.ÇALIŞMA	68	66	75	65

Tablo 4.30 ABS 9. Durum için termokupllardan ölçülen ve 4 farklı proses için elde edilen sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 9.ÇALIŞMA	65	64	73	62
ABS 9.ÇALIŞMA	66	64	74	63
ABS 9.ÇALIŞMA	66	65	75	64
ABS 9.ÇALIŞMA	67	66	76	65

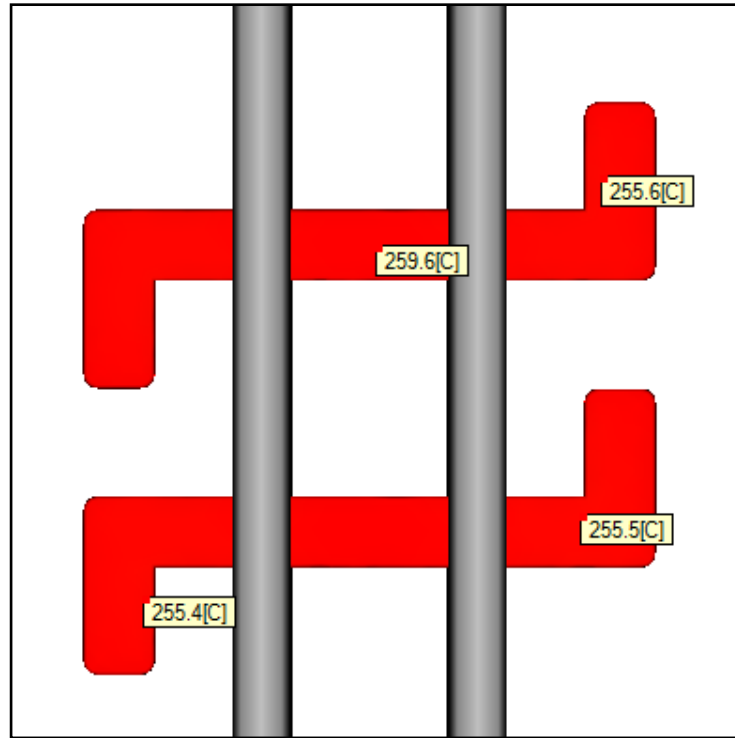
Tablo 4.31 ABS ürünler için termokupllardan alınan ortalama sıcaklık değerleri.

ENJEKSİYON ÇALIŞMASI	TERMOKUPL 1 (°C)	TERMOKUPL 2 (°C)	TERMOKUPL 3 (°C)	TERMOKUPL 4 (°C)
ABS 3.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	31.5	30.25	34.5	29.5
ABS 4.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	46.5	44.25	50.5	41.75
ABS 5.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	46.25	44.5	49.75	43
ABS 6.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	46.75	45	50	44.5
ABS 7.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	65.5	64	73	62
ABS 8.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	66.5	65	74.25	63.5
ABS 9.ÇALIŞMA TERMOKUPLLAR ARİTMETİK ORT. (°C)	66	64.75	74.5	63.5

Tablo 4.24 - 4.30 görüldüğü gibi ABS ürünlerin sıcaklık değişimleri incelendiğinde 30 °C kalıp sıcaklığında en yüksek değişiklik 3. çalışmada 5 °C (3. termokupl: 36 °C, 4. termokupl: 31 °C) ile yaşanmıştır. Buradaki fark % 14'lük bir değişim demektir. 50 °C kalıp sıcaklıklarında 4. proseste en yüksek sıcaklık farkı 9 °C ile elde edilmiştir. 3. termokuplun 50 °C, 4. termokuplun 41 °C ölçüldüğü bu prosesteki yüzdesel fark % 18'dir. 70 °C kalıp sıcaklıklarında ise 7, 8 ve 9. proseslerde aynı farklılıkta 11 °C (7. çalışmada 3. termokupl: 72°C, 4. termokupl: 61 °C, 8. çalışmada 3. termokupl: 73°C, 4. termokupl: 62 ve 9. çalışmada 3. termokupl: 76°C, 4. termokupl: 65 °C) ile en yüksek değerler elde edilmiştir. Buradaki yüzdesel değişimler sırasıyla 7. çalışmada %15, 8.

çalışmada %15 ve 9. çalışmada %14 olarak gerçekleşmiştir. ABS ürünlerde de PC ürünlerde olduğu gibi kalıp sıcaklığı yükseldikçe sıcak değişim yüzdelерinin azaldığı gözlenmiştir. Ürün kalitesi ve prosesin sürekliliği için yüksek kalıp sıcaklıklarda çalışmak ABS ürünler için de uygundur.

Tablolardan da görüleceği gibi termokupllardan alınan sonuçlarda girişe en yakın yerde bulunan 3. termokupldan alınan değerler en yüksektir. Şekil 4.9'da Moldflow programı ile elde edilen kalıp içi plastik ürün sıcaklık değerleri de gözlenebilir. Örnek olarak PP 2. çalışmada yani kalıbın yaklaşık 25 °C ve eriyiğın 260 °C olduğu durumda parça üzerinden alınan sıcaklıklara bakıldığında termokupllardan alınan sonuçlara paralel olarak 3. termokuplun bulunduğu bölge en yüksek sıcaklık değerine sahiptir. Bunu sırasıyla 1, 2 ve 4. termokupllar takip etmektedir.



Şekil 4.9 Termokupllara en yakın bölgelerdeki plastik ürün sıcaklık değişimleri.

Yukarıda detaylı olarak üretim şekilleri ve koşulları açıklanarak üretilen parçalar için aşağıda belirtilen testler ve ölçümler yapılmıştır. Mekanik özellikler için;

- Izod darbe deneyi
- 3 nokta eğme deneyi
- Boyutsal değişimlerin gözlenmesi için;
- CMM ölçümleri yapılmıştır.

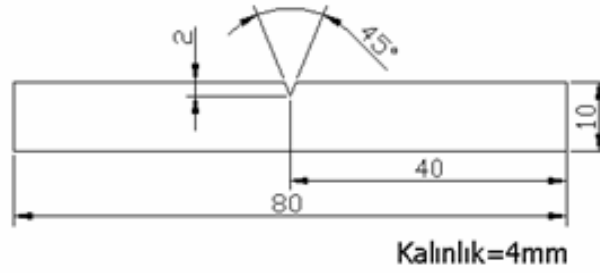
4.2 Numunelerin hazırlanması

4.2.1 Izod darbe deneyi

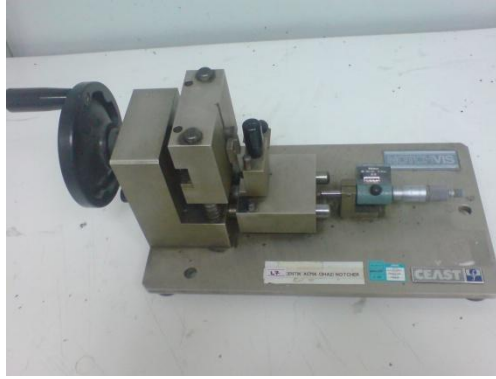
Izod darbe deneyi Galsan Plastik firmasında Şekil 4.10'da gösterilen CEAST 6545 model test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi klima kontrollü bir ortamda yapılmıştır. Ortam sıcaklığı $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'dir. Çekiç 10 J olarak ISO 180 standartlarına uygun seçilmiştir. Numune boyutları Şekil 4.11'de aşağıda verildiği gibidir. Parçalar enjeksiyondan çentik açılmamış olarak basılmıştır. Daha sonra deney hazırlığı esnasında Şekil 4.12'de gösterilen çentik açma makinesinde standartlara hazır hale getirilmiştir. Her deney için 5 ölçüm yapılmış, aşırı sapma gösteren sonuçlar çıkarılmış ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.10 CEAST 6545 model test cihazı.



Şekil 4.11 ISO 180'e göre İzod darbe deneyi numunesi [ISO 180 : 2000].



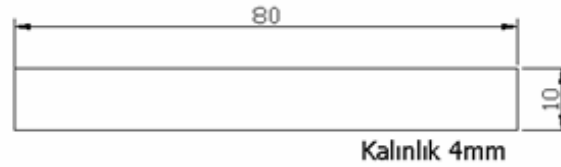
Şekil 4.12 CEAST çentik açma cihazı.

4.2.2 Üç nokta eğme deneyi

Üç nokta eğme deneyi GYTE Malzeme Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Test cihazı olarak INSTRON 5560 kullanılmıştır. Şekil 4.13'de üç nokta eğme cihazı görülebilir. Standatlara uygun olarak hareketli çenenin ilerleme hızı 2 mm/dk (TE 985 EN ISO 178) olarak belirlenmiştir. Üç nokta eğme deneyi de klima kontrollü ortamda, ortam sıcaklığı $21 \pm 3^\circ\text{C}$ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu standara göre hazırlanan numunelerin boyutsal özellikleri Şekil 4.14'de görülebilir.



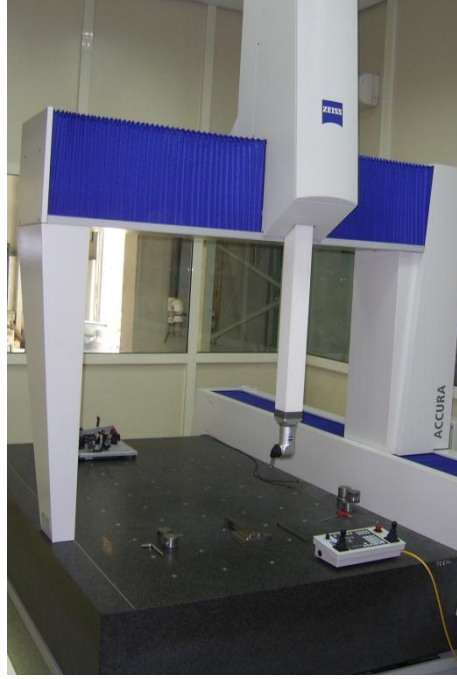
Şekil 4.13 Üç nokta eğme cihazı.



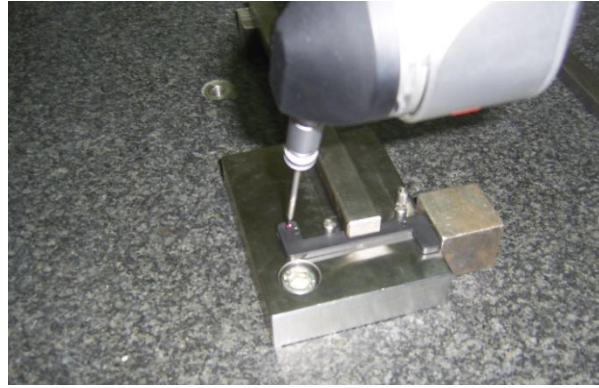
Şekil 4.14 Üç nokta eğilme deneyi numunesi [ISO 180 : 2000].

4.2.3 CMM (Coordinate Measuring Machines) Ölçümleri

Sıcaklık farklarının parça üzerindeki boyutsal değişimlerini gözlemlemek için Şekil 4.15’de gösterilen Zeiss marka CMM makinesi kullanılarak 3 boyutlu ölçümler yapılmıştır. Ortam sıcaklığı $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ’dir. CMM ölçümleri için alınan parçalar Şekil 4.16’daki gibi bir düzenek hazırlanarak sabitlenmiştir. Ölçümler için önceden bir referans noktası belirlenmiş ve bu noktaya göre tüm ölçümler yapılmıştır. Parça üzerinde boyutsal değişimlerin gözlenebileceği noktalar işaretlenerek CMM makinesinin probu bu noktalara dokundurularak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler tüm parçalar için değil sadece kalıp içi ve eriyik sıcaklık farkları en fazla olan parçalar üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.17’de ölçüm noktaları görülebilir.

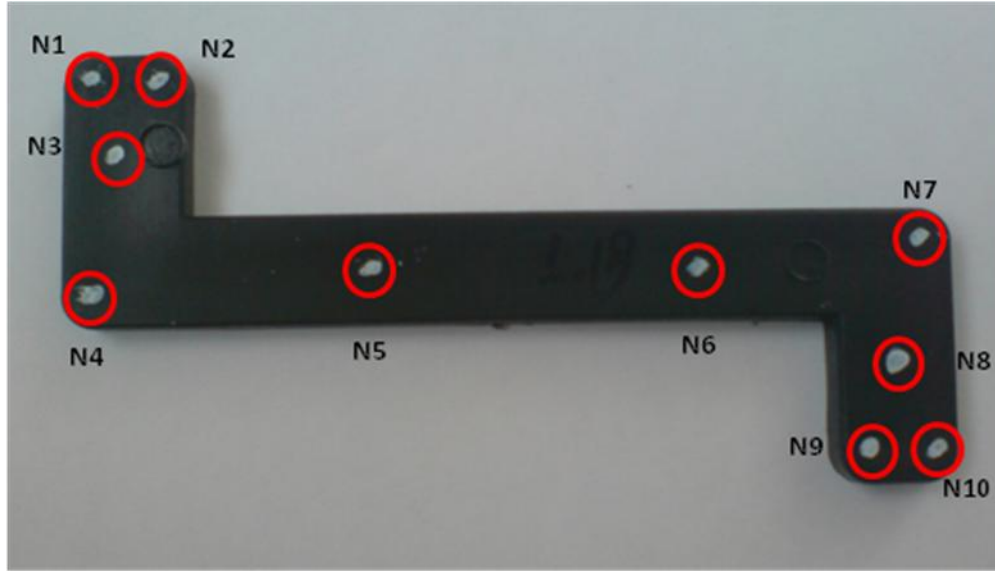


Şekil 4.15 Zeiss marka CMM makinesi.



Şekil 4.16 CMM ölçüm düzeneği.

CMM ölçüm noktaları sıcaklık değişimleri sonrası yapılan deneylerde çarpılmanın en fazla olabileceği düşünülen noktalar üzerinden yapılmıştır. Şekil 4.17’de 1’den 10’a kadar devam eden (N1-N2...N10) CMM ölçüm noktaları verilmiştir. Her parça için aynı sıralama ile ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.17 CMM ölçüm noktaları.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

5.1. İzod darbe deneyi sonuçları

İzod darbe deneyi, enjeksiyondan alınan parçaların çekmelerini tamamlamaları için parçalar 2 gün bekletildikten sonra yapılmıştır. Hesaplama;

$$\frac{\text{test cihazından okunan değer (j)}}{\text{et kalınlığı} \times \text{genislik}(2\text{mm çentik mesafesi çıkarılır)}} \times 1000 = \text{kJ/m}^2$$

şeklinde yapılmıştır.

5.1.1. PP ürünler için İzod darbe deneyi sonuçları

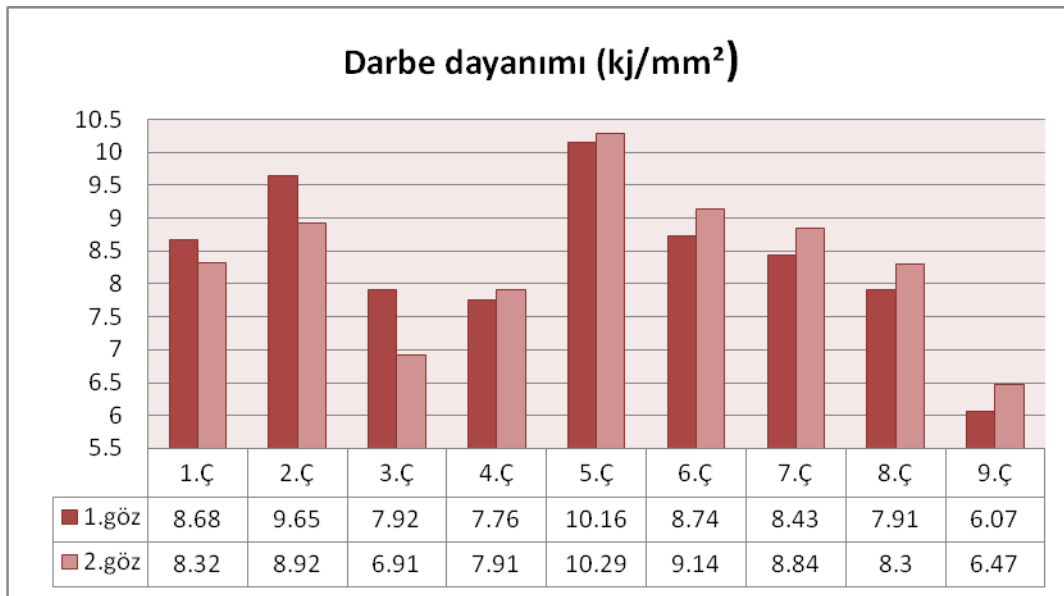
PP için Tablo 5.1’de yapılan çalışmalar ve Tablo 5.2’de de izod darbe testinden alınan sonuçlar verilmiştir. Şekil 5.1’de izod darbe testi sonuçlarına göre oluşturulmuş grafik görülebilir.

Tablo 5.1 PP için yapılan çalışma çizelgesi.

PP		
Çalışmalar	KALIP SIC. (°C)	ERİYİK SIC. (°C)
1.Ç	25	180
2.Ç	25	220
3.Ç	25	260
4.Ç	45	180
5.Ç	45	220
6.Ç	45	260
7.Ç	65	180
8.Ç	65	220
9.Ç	65	260

Tablo 5.2 PP için izod darbe testi sonuçları.

PP İzod darbe (kj/m ²)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz
1.Ç	8.68	8.32
2.Ç	9.65	8.92
3.Ç	7.92	6.91
4.Ç	7.76	7.91
5.Ç	10.16	10.29
6.Ç	8.74	9.14
7.Ç	8.43	8.84
8.Ç	7.91	8.30
9.Ç	6.07	6.47



Şekil 5.1 PP için izod darbe testi sonuçları grafiksel dağılımı.

PP hammadde için izod darbe dayanımı sonuçlarına göre darbeye en dayanıklı durum eriyik sıcaklığının 220 °C ve kalıbın 45 °C olduğu 5. çalışmada gözlenmiştir. Eriyik sıcaklığının 260 °C ve kalıbın 65 °C olduğu durumda ürün darbe dayanımına en düşük direnci göstermiştir. Eriyik ve kalıp sıcaklığı değişimleri sonrasında en yüksek ve en düşük iki durum arasında % 41 oranında bir değişim gözlenmiştir.

Hammadde üreticisinin Ek 1’de verilen ürün bilgi sayfasında darbe dayanımı 7 kJ/m² olarak verilmiştir. Enjeksiyonda üretilen parçalara yapılan testlerde 6.07 ile 10.29 kJ/m² arasında değerler elde edilmiştir. Bu değişimin nedeni kalıp ve eriyik sıcaklıkları arasındaki farklardır.

5.1.2. PC ürünler için İzod darbe deneyi sonuçları

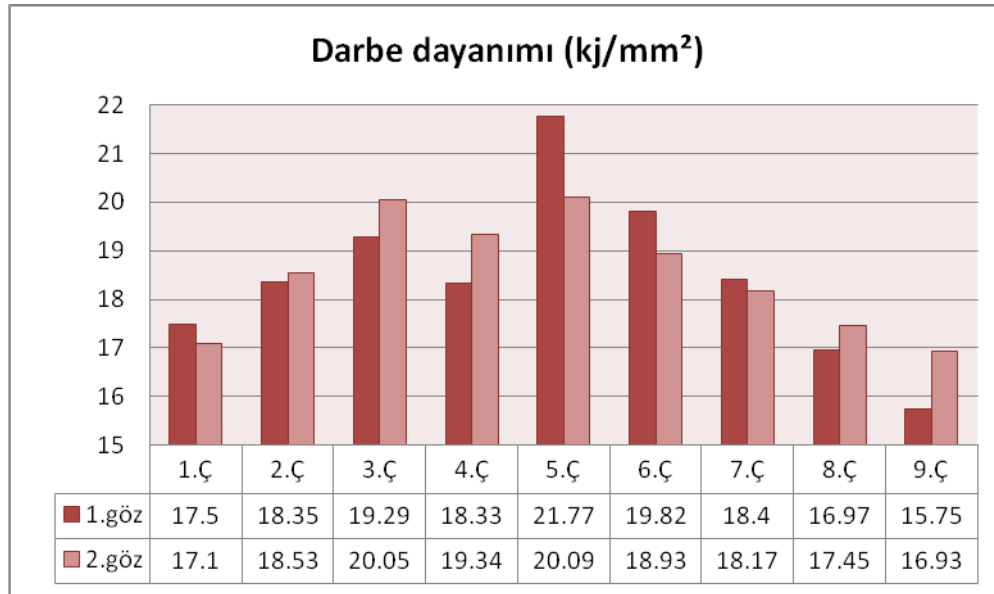
PC ürünler için de PP için yapılan izod darbe testleri aynı şekilde uygulanmıştır. Çalışma şartları Tablo 5.3’de gösterilmiştir. PC ürünler için alınan izod darbe testi sonuçları Tablo 5.4’de görülebilir. Şekil 5.2’de PC için izod darbe testi sonuçlarının grafiksel dağılımı verilmiştir.

Tablo 5.3 PC ürünler için çalışma şartları.

PC		
Çalışmalar	KALIP SIC. (°C)	ERİYİK SIC. (°C)
1.Ç	30	220
2.Ç	30	250
3.Ç	30	280
4.Ç	50	220
5.Ç	50	250
6.Ç	50	280
7.Ç	70	220
8.Ç	70	250
9.Ç	70	280

Tablo 5.4 PC izod darbe testi sonuçları.

PC İzod darbe (kj/m ²)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz
1.Ç	17.50	17.10
2.Ç	18.35	18.53
3.Ç	19.29	20.05
4.Ç	18.33	19.34
5.Ç	21.77	20.09
6.Ç	19.82	18.93
7.Ç	18.40	18.17
8.Ç	16.97	17.45
9.Ç	15.75	16.93



Şekil 5.2 PC izod darbe testi sonuçlarının grafiksel dağılımı.

Elde edilen sonuçlara göre PC ürünlerde de en yüksek izod darbe dayanımı ocak sıcaklığının 250 °C ve kalıbın 50 °C olduğu 5. çalışmada gözlenmiştir. En düşük değer yine ocak sıcaklığının 280 °C ve kalıbın 65 °C olduğu 9. çalışmada gözlenmiştir. Bu iki durum arasında da yüzde değişim olarak % 27' lik bir sonuç gözlenmektedir.

Hammadde üreticisinin ürün bilgi kağıdına göre testleri yapılan PC hammaddenin çentikli izod darbe dayanımı 21 kJ/m² olarak verilmiştir. Deneylerde sıcaklık değişimleriyle en düşük 15.75 ve en yüksek 21.77 kJ/m² değerleri alınmıştır. PC ürün optimum çalışma sıcaklıkları göz önüne alındığında ürün bilgi kağıdı ile yaklaşık olarak benzer darbe sonuçları elde edilmiştir.

5.1.3. ABS ürünler için Izod darbe deneyi sonuçları

Izod darbe testi son olarak ABS ürünler için uygulanmıştır. Ancak ABS ürünler için belirlenen enjeksiyon şartlarında 1. ve 2. durumda parça alınamadığından testler diğer kalan yedi durum için yapılabilmektedir. Tablo 5.5’de ABS ürünler için çalışma şartları gösterilmiştir.

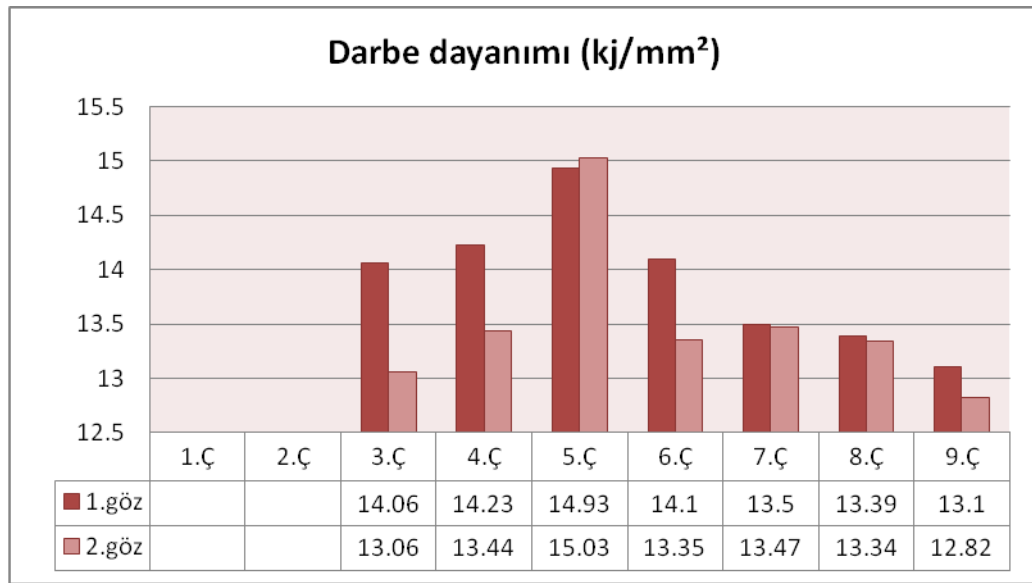
Tablo 5.5 ABS ürünler için çalışma şartları.

ABS		
Çalışmalar	KALIP SIC. (°C)	ERİYİK SIC. (°C)
3.Ç	30	280
4.Ç	50	220
5.Ç	50	250
6.Ç	50	280
7.Ç	70	220
8.Ç	70	250
9.Ç	70	280

ABS ürünler için alınan izod darbe sonuçları Tablo 5.6’da görülebilir. Izod darbe sonuçlarının ABS ürünler için grafiksel anlatımı Şekil 5.3’ de verilmiştir.

Tablo 5.6 ABS ürünler için izod darbe testi sonuçları.

ABS İzod darbe (kJ/m ²)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz
3.Ç	14.06	13.06
4.Ç	14.23	13.44
5.Ç	14.93	15.03
6.Ç	14.10	13.35
7.Ç	13.50	13.47
8.Ç	13.39	13.34
9.Ç	13.10	12.82



Şekil 5.3 ABS izod darbe testi sonuçlarının grafiksel dağılımı.

ABS ürünlerde de en yüksek izod darbe dayanımı ocak sıcaklığının 250 °C ve kalıbın 50 °C olduğu 5. çalışmada gözlenmiştir. En düşük değer yine ocak sıcaklığının 280 °C ve kalıbın 65 °C olduğu 9. çalışmada gözlenmiştir. Bu iki durum arasında da yüzde değişim olarak % 17'lik bir sonuç gözlenmektedir.

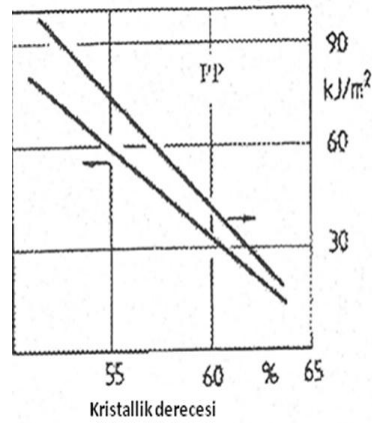
Hammadde üreticisinden alınan ürün bilgi kağıdına göre çalışmada kullanılan ABS hammaddenin darbe dayanımı 16.5 kJ/m^2 olarak verilmiştir. Alınan sonuçlara göre en düşük 12.82 kJ/m^2 ve en yüksek 15.03 kJ/m^2 alınmıştır.

Çentik darbe dayanımı kristalleşme derecesi ile ilgilidir. Esnek olmayan yapılar yüksek kristalleşme oranlarıyla ortaya çıkar ve bu yapıların yüksek darbe dayanımları yoktur. Kristalin yapıların şekli de çentik darbe dayanımını etkilemektedir. Örnek olarak kristal yapılar yavaş soğuyarak büyümeye devam ederse, geniş kristalin yapılar oluşur. Bunlar da düşük çentik darbe dayanımına neden olmaktadır [Telli, 2009].

Costa ve arkadaşları yaptıkları araştırmada kalıp sıcaklığı ve/veya enjeksiyon çevrimlerinin sayısının artmasıyla termal, termo-oksidatif ya da mekanik düşüş meydana geldiği sonuçlarını elde etmişlerdir. Bu nedenle eğer çapraz zincirler ve zincir bağ bölümlerinde yüksek konsantrasyon varsa PP'nin makromoleküler yapısından dolayı kristalizasyonun kısıtlanacağını ve bu düşüşün makromoleküllerin gergin ve birbirine dolanmış bölümlerinin serbest kalmasına izin vereceğini ve yeni oluşan serbest makromoleküllerin yeniden düzenlenip başka kristalizasyon geliştireceğini bildirmişlerdir [Costa et al., 2007].

Akyüz yarı kristal polimerlerin sferulitik bir üst yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. Sferulit, malzemenin kristal ve amorf bölgelerden oluşan tanecik gibi yapılarına denmektedir. Akyüz sferulitlerin malzeme soğurken oluştuğunu ve malzeme soğumaya başlarken eriyiğin bir çok bölgesinde kristalizasyon yani sferulit oluşumunun başladığını açıklamıştır. Daha sonra soğumaya devam edildikçe, sferulitler birbirlerine çarpma kadar büyürler. Böyle sferulit paketçiklerinden oluşan polimerlere 'üst yapıya sahiptirler' denir. Bu üst yapı (özellikle sferulitlerin çapı) parçanın mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler [Akyüz, 2001].

Akyüz ayrıca kristallik derecesi arttıkça PP malzemenin kırılmalığının da artacağını ve bu sebeple parçanın çarpma mukavemeti artan kristallik derecesine bağlı olarak azalacağını Şekil 5.4 'de açıklamıştır [Akyüz, 2001].



Şekil 5.4 Çarpma mukavemetinin kristallik derecesine bağlı değişimi [Akyüz, 2001].

Sonuçlar ve konu ile ilgili yayınlar göstermiştir ki yüksek kalıp ve hammadde sıcaklıkları PP ürünün soğumasını geciktirecektir ve ürünün iç yapısında kristal bölgenin büyüyerek geniş kristalin yapılan oluşturması sonucunda izod darbe testlerinde düşük darbe dayanımı gözlenecektir. Benzer şekilde düşük kalıp içi ve hammadde sıcaklıkları da eriyiğin yüksek sıcaklığa ulaşamamasından dolayı kristalin yapısının bozulmamasına ve yine yüksek kristalizasyon nedeniyle düşük darbe dayanımı oluşmasına neden olmaktadır. Costa ve arkadaşları PP malzeme ile yaptıkları çalışmalarda kalıp veya enjeksiyon çevrimlerinin sayısının artmasıyla mekanik özelliklerde düşüş gözlemlemişlerdir.

Perez ve arkadaşları PC malzeme için bu çalışmada olduğu gibi sıcaklığın azalmasıyla darbe dayanımında düşüş gözlemlemişlerdir. PC ürünler için yapılan bir diğer çalışmada Li ve arkadaşları ise hammadde ve eriyik sıcaklığı arttıkça darbe dayanımında artış gözlemlemişlerdir.

ABS ürünler için Tiganis ve arkadaşları sıcaklık artışı ile düşük darbe dayanımı elde etmişlerdir. Hage ve arkadaşları da ABS/PBT karışımlarıyla yaptıkları çalışmalarda eriyik sıcaklığının artışıyla izod darbe dayanımının önce arttığını daha sonra yavaş yavaş azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da ABS ürünler için önce 5. çalışmaya kadar izod darbe dayanımı artış göstermiş daha sonra 9. çalışmaya doğru azalmaya başlamıştır.

5.2. Üç nokta eğme deneyi sonuçları

Üç nokta eğme deneyi GYTE Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Basma hızı standartlara uygun olarak 2 mm/dk uygulanmıştır. Test cihazı olarak INSTRON 5560 kullanılmıştır. Üç nokta eğme deneyi her çalışma şartı için üç kez uygulanmıştır. Yüksek derecede sapma gösteren sonuçlar atılmış ve kalan sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

5.2.1 PP ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları

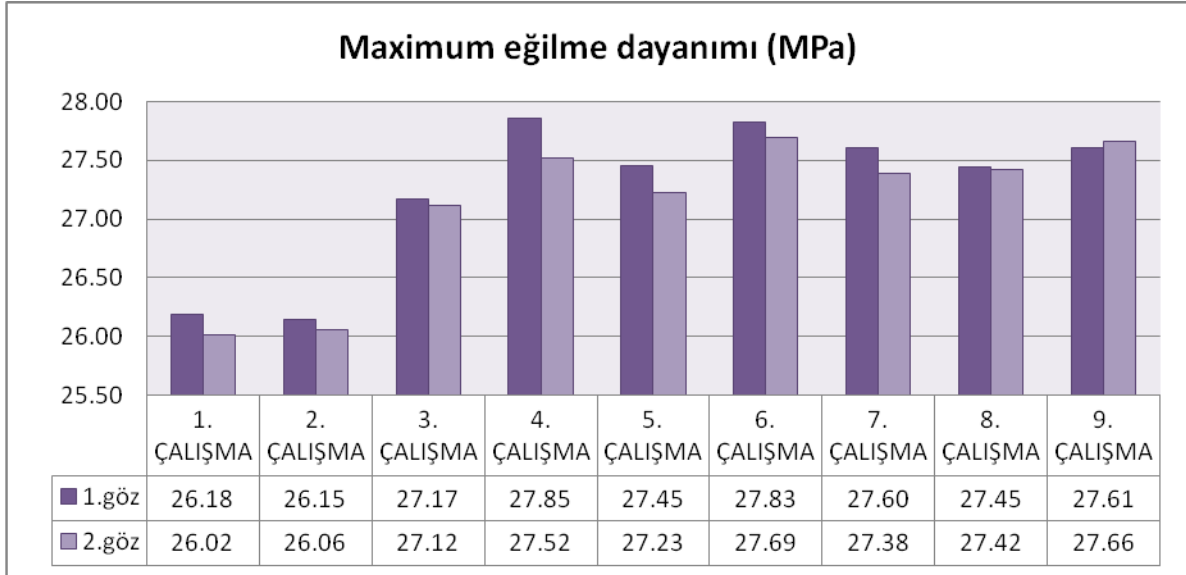
PP malzeme için çalışma şartları Tablo 5.7’de verilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülünü içeren değerler Tablo 5.8’de verilmiştir. Maximum eğilme dayanımı sonuçları PP ürünler için grafiksel olarak Şekil 5.5’de incelenebilir. PP ürünler için eğilme modülü sonuçları grafiksel olarak Şekil 5.6’da incelenebilir.

Tablo 5.7 PP ürünler için çalışma şartları.

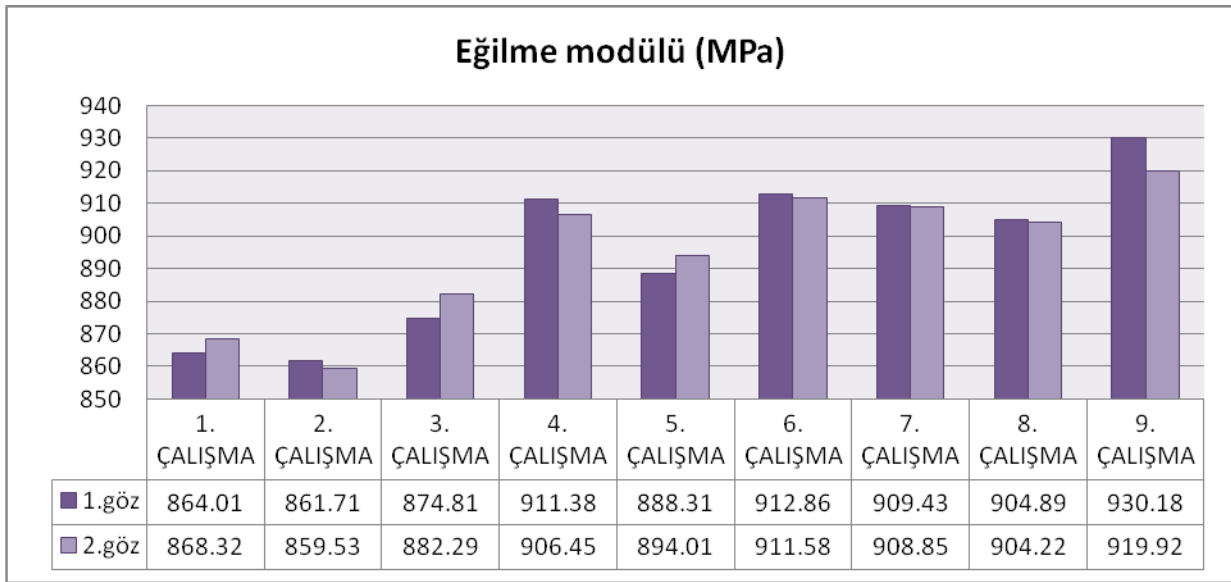
Çalışmalar	PP	
	KALIP SIC. (°C)	ERİYİK SIC. (°C)
1.Ç	25	180
2.Ç	25	220
3.Ç	25	260
4.Ç	45	180
5.Ç	45	220
6.Ç	45	260
7.Ç	65	180
8.Ç	65	220
9.Ç	65	260

Tablo 5.8 PP ürünler için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları.

PP			PP		
Maximum Eğilme Dayanımı (Mpa)			Eğilme Modülü (Mpa)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz	Çalışmalar	1.göz	2.göz
1.ÇALIŞMA	26.18	26.02	1.ÇALIŞMA	864.01	868.32
2.ÇALIŞMA	26.14	26.06	2.ÇALIŞMA	861.71	859.53
3.ÇALIŞMA	27.17	27.12	3.ÇALIŞMA	874.81	882.29
4.ÇALIŞMA	27.85	27.52	4.ÇALIŞMA	911.38	906.45
5.ÇALIŞMA	27.45	27.23	5.ÇALIŞMA	888.31	894.01
6.ÇALIŞMA	27.83	27.69	6.ÇALIŞMA	912.86	911.58
7.ÇALIŞMA	27.60	27.38	7.ÇALIŞMA	909.42	908.85
8.ÇALIŞMA	27.45	27.42	8.ÇALIŞMA	904.89	904.22
9.ÇALIŞMA	27.61	27.66	9.ÇALIŞMA	930.18	919.92



Şekil 5.5 PP ürünler için maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi.



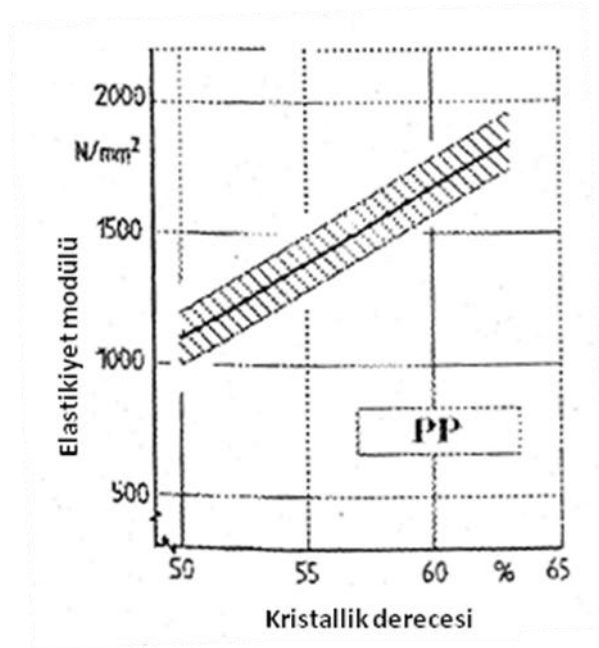
Şekil 5.6 PP ürünler için eğilme modülü sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Üç nokta eğme sonuçları PP ürünler için incelendiğinde maximum eğilme dayanımı 4. çalışma şartında yani ocak sıcaklığının 180 °C ve kalıp sıcaklığının 45 °C olduğu durumda en yüksek derecede gözlenmiştir. Bunu takiben 6. çalışmada yani ocak sıcaklığının 260 °C ve kalıp sıcaklığının 45 °C olduğu durumda en yüksek sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre PP ürünler için 4. ve 6. durum yani 45 °C kalıp içi sıcaklığı maximum eğilme dayanımı için en uygun sonucu vermiştir. 1. durum ve 2. durumda maximum eğilme dayanımı en düşük sonuçları vermiştir. Elde edilen sonuçlar da göstermektedir ki PP ürünler için eğilme dayanımı açısından düşük kalıp sıcaklıkları uygun değildir. En yüksek sonuç alınan 4. durumla en düşük sonuç alınan 1. durum arasında % 6' lık bir fark oluşmuştur.

Aynı şekilde eğilme modülü sonuçları da incelendiğinde 9. durum yani 65 °C kalıp içi sıcaklığı eğilme modülü için en uygun sonucu vermiştir. en düşük sonuç ise 2. durumda gözlenmiştir. En düşük ve en yüksek sonuçlar arasında toplamda % 7' lik bir değişim gözlenmiştir.

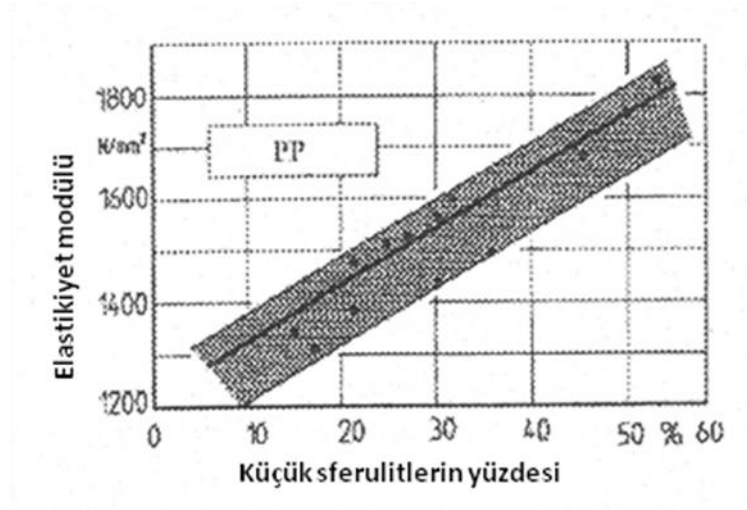
Akyüz PP üründe elastikiyet modülünün lineer olarak kristallik derecesine bağlı olduğunu açıklamıştır. Şekil 5.7’de kristallik derecesinin elastikiyet modülüne bağlı değişimi görülebilir [Akyüz, 2001].

Ancak bu durumun tersine Costa ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sıcaklık artışı ile elastisite modülünde azalma tespit etmişlerdir.



Şekil 5.7 Parçanın kristallik derecesiyle değişen elastikiyet modülü [Akyüz, 2001].

Akyüz ayrıca PP üründe sferulit büyüklüğünün de parçanın mekanik özelliklerini etkileyeceğini açıklamıştır. Nitekim küçük sferulitlerin oranı arttıkça elastikiyet modülü yükselir (Şekil 5.8) [Akyüz, 2001].



Şekil 5.8 Elastikiyet modülünün sferulit yapısına bağlı değişimi [Akyüz, 2001].

5.2.2. PC ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları

PC ürünler için çalışma şartları Tablo 5.9’da verilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülünü içeren değerler Tablo 5.10’da verilmiştir.

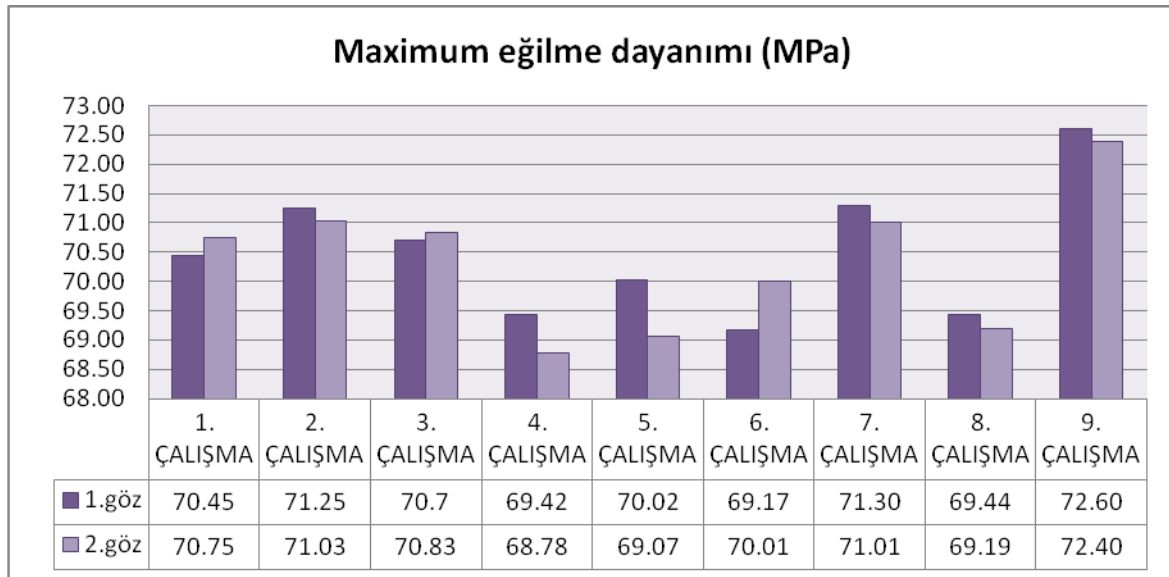
Tablo 5.9 PC ürünler için çalışma şartları.

Çalışmalar	PC	
	KALIP SIC. (°C)	OCAK SIC. (°C)
1.Ç	30	220
2.Ç	30	250
3.Ç	30	280
4.Ç	50	220
5.Ç	50	250
6.Ç	50	280
7.Ç	70	220
8.Ç	70	250
9.Ç	70	280

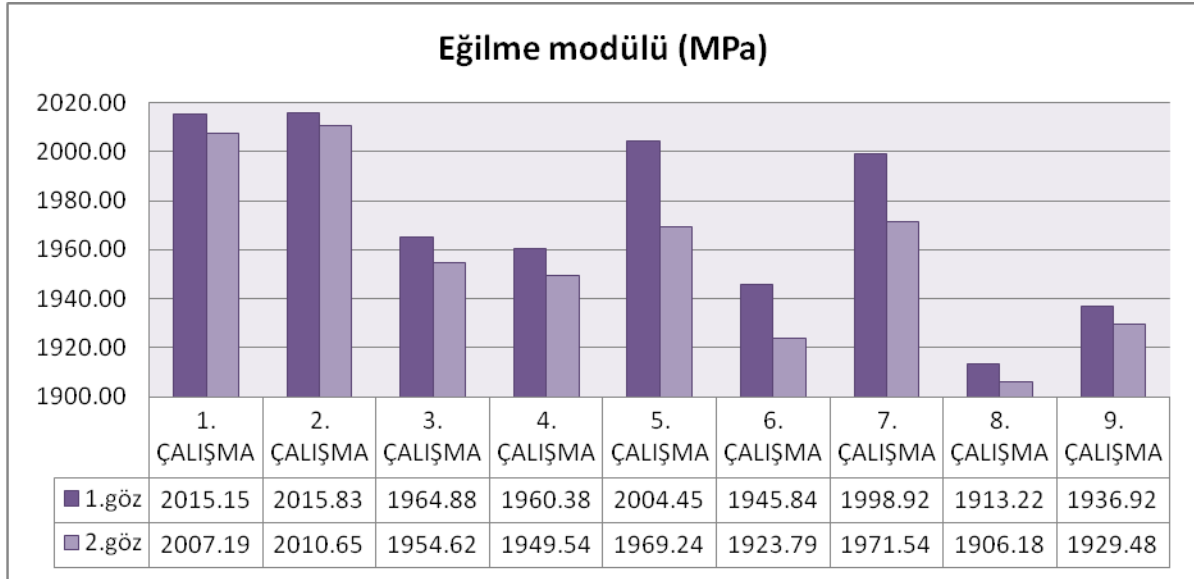
Tablo 5.10 PC ürünler için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları.

PC			PC		
Maximum Eğilme Dayanımı (Mpa)			Eğilme Modülü (Mpa)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz	Çalışmalar	1.göz	2.göz
1. ÇALIŞMA	70.45	70.75	1. ÇALIŞMA	2015.15	2007.19
2. ÇALIŞMA	71.25	71.03	2. ÇALIŞMA	2015.83	2010.65
3. ÇALIŞMA	70.70	70.83	3. ÇALIŞMA	1964.88	1954.62
4. ÇALIŞMA	69.42	68.78	4. ÇALIŞMA	1960.38	1949.54
5. ÇALIŞMA	70.02	69.07	5. ÇALIŞMA	2004.45	1969.24
6. ÇALIŞMA	69.17	70.01	6. ÇALIŞMA	1945.84	1923.79
7. ÇALIŞMA	71.30	71.01	7. ÇALIŞMA	1998.92	1971.54
8. ÇALIŞMA	69.44	69.19	8. ÇALIŞMA	1913.22	1906.18
9. ÇALIŞMA	72.60	72.40	9. ÇALIŞMA	1936.92	1929.48

PC ürünler için deneyler sonrası alınan maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri Şekil 5.9 ve 5.10'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.9 PC ürünler için maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.10 PC ürünler için eğilme modülü sonuçlarının grafiksel gösterimi.

PC ürünler için üç nokta eğme sonuçlarına göre maximum eğilme dayanımı 9. çalışmada yani ocak sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının en yüksek olduğu 70°C ve 280 °C olduğu zamanda elde edilmiştir. Eğilme modülü 1 ve 2. çalışmalarda birbirine en yüksek değerlerde elde edilmiştir. Ocak ve kalıp sıcaklıklarının düşük olduğu bu durumlarda eğilme modülü en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kalıp sıcaklığı 30 - 50°C ve ocak sıcaklığının 220°C olduğu çalışmalarda eğilme modülü en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

En düşük değerler maximum eğilme dayanımı için 4. çalışmada, yani ocak sıcaklığının 220 °C ve kalıp sıcaklığının 50 °C olduğu durumda gözlenmiştir. Bunu takip eden en küçük değerler 5 ve 6. çalışmalarda alınmıştır.

Eğilme modülünde ise en düşük değer 8. durumda yani ocak sıcaklığının 250 °C ve kalıp sıcaklığının 70 °C olduğu durumda elde edilmiştir. Sıcaklık değişimleri PC ürünlerde de hem maximum eğilme dayanımını hem de eğilme modülünü ABS ürünlere göre daha az etkilemiştir. Maximum eğilme dayanımını incelendiğinde elde edilen en düşük değerle en yüksek değer arasında % 5'lik bir değişim gözlenmiştir. Eğilme modülünde ise yine elde edilen en düşük değerle en yüksek değer arasında % 9,4'lük bir değişim gözlenmiştir.

Perez ve arkadaşları PC üzerine yaptıkları deneysel çalışmada sıcaklığın düşüşüyle elastise modülünde kararlı bir sonuç elde etmemişlerdir. Sıcaklık azaldıkça 2. çalışmada düşük 3. çalışmada yüksek 4. çalışmada düşük ve 5. çalışmada yüksek sonuç elde etmişlerdir. Li ve arkadaşları ise sıcaklık artışı ile yüksek kristalizasyon oranı gözlemişlerdir.

5.2.3. ABS ürünler için üç nokta eğme deneyi sonuçları

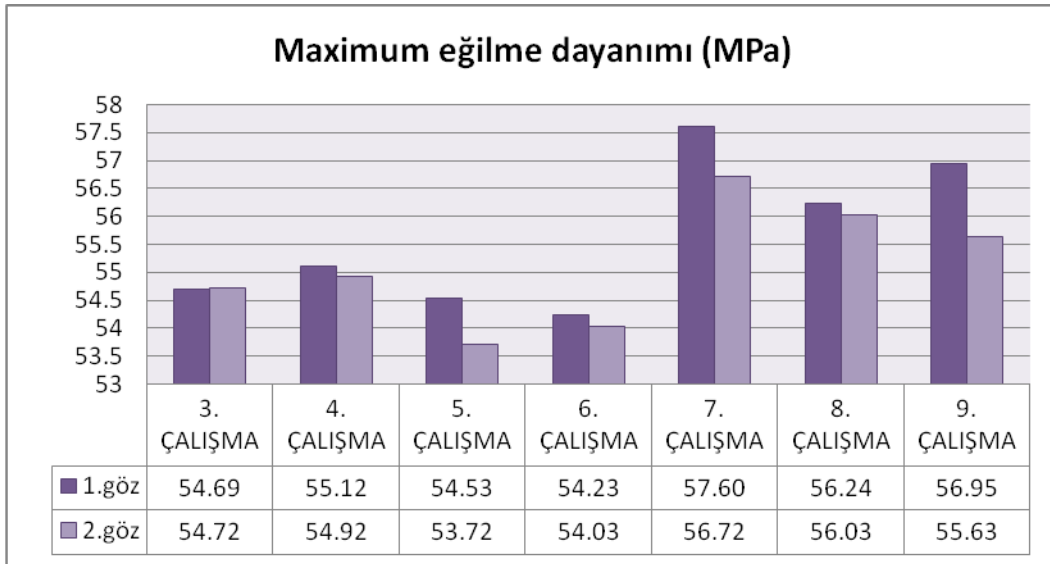
Daha önce de belirtildiği gibi 1 ve 2. enjeksiyon şartlarında uygun parça üretilemediğinden ABS ürünler için kalan yedi çalışma üzerinde testler uygulanmıştır. ABS ürünler için çalışma şartları Tablo 5.11’de verilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülünü içeren değerler Tablo 5.12’de verilmiştir. ABS ürün için maximum eğilme dayanımı sonuçları grafiksel olarak Şekil 5.11’ de görülebilir. ABS ürün için eğilme modülü sonuçları grafiksel olarak Şekil 5.12’da incelenebilir.

Tablo 5.11 ABS ürünler için çalışma şartları.

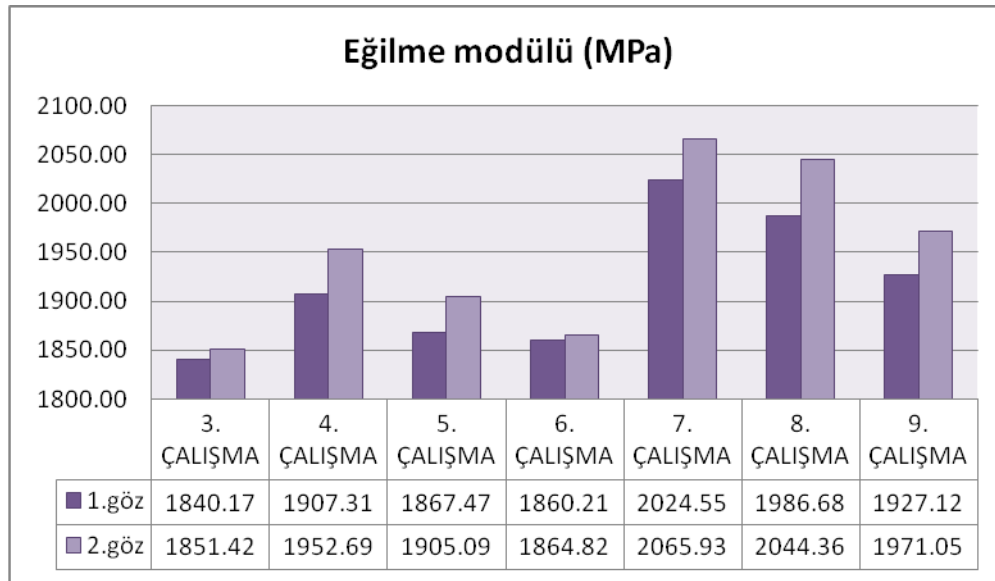
Çalışmalar	ABS	
	KALIP SIC. (°C)	OCAK SIC. (°C)
3.Ç	30	280
4.Ç	50	220
5.Ç	50	250
6.Ç	50	280
7.Ç	70	220
8.Ç	70	250
9.Ç	70	280

Tablo 5.12 ABS için maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları.

ABS			ABS		
Maximum Eğilme Dayanımı (Mpa)			Eğilme Modülü (Mpa)		
Çalışmalar	1.göz	2.göz	Çalışmalar	1.göz	2.göz
3. ÇALIŞMA	54.69	54.72	3. ÇALIŞMA	1840.17	1851.42
4. ÇALIŞMA	55.12	54.92	4. ÇALIŞMA	1907.31	1952.69
5. ÇALIŞMA	54.53	53.72	5. ÇALIŞMA	1867.47	1905.09
6. ÇALIŞMA	54.23	54.03	6. ÇALIŞMA	1860.21	1864.82
7. ÇALIŞMA	57.60	56.72	7. ÇALIŞMA	2024.55	2065.93
8. ÇALIŞMA	56.24	56.03	8. ÇALIŞMA	1986.68	2044.36
9. ÇALIŞMA	56.95	55.63	9. ÇALIŞMA	1927.12	1971.05



Şekil 5.11 ABS ürünlerin maximum eğilme dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 5.12 ABS ürünlerin eğilme modülü sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi.

ABS ürünler için üç nokta eğme sonuçları incelendiğinde maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü 7. çalışmada yani ocak sıcaklığının 220 °C ve kalıp sıcaklığının 70 °C olduğu durumda en yüksek olarak gözlenmiştir. En düşük değerler maximum eğilme dayanımı için 5. çalışmada, yani ocak sıcaklığının 250 °C ve kalıp sıcaklığının 50 °C olduğu durumda gözlenmiştir. 9. durumda yani ocak sıcaklığının 280 °C ve kalıp sıcaklığının 70 °C olduğu durumda maximum eğilme dayanımı için en yüksek bir altındaki değer elde edilmiştir. Eğilme modülünde ise en düşük değer 1. durumda yani ocak sıcaklığının 280 °C ve kalıp sıcaklığının 30 °C olduğu durumda elde edilmiştir. Sıcaklık değişimleri ABS ürünlerde de hem maximum eğilme dayanımını hem de eğilme modülünü PP ürünlere göre daha fazla etkilemiştir. Maximum eğilme dayanımı incelendiğinde elde edilen en düşük değerle en yüksek değer arasında % 6'lık bir değişim gözlenmiştir. Eğilme modülünde ise yine elde edilen en düşük değerle en yüksek değer arasında % 12'lik bir değişim gözlenmiştir.

Tiganis ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada sıcaklık artışı ile yüksek elastisite modülü değerleri elde etmişlerdir. Bu çalışmada da 65°C kalıp sıcaklıklarının uygulandığı 7, 8 ve 9. çalışmalarda en yüksek eğilme modülü ve eğilme dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak ABS ürünler için yüksek kalıp sıcaklıkları maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü için elverişlidir denilebilir.

5.3. CMM ölçüm sonuçları

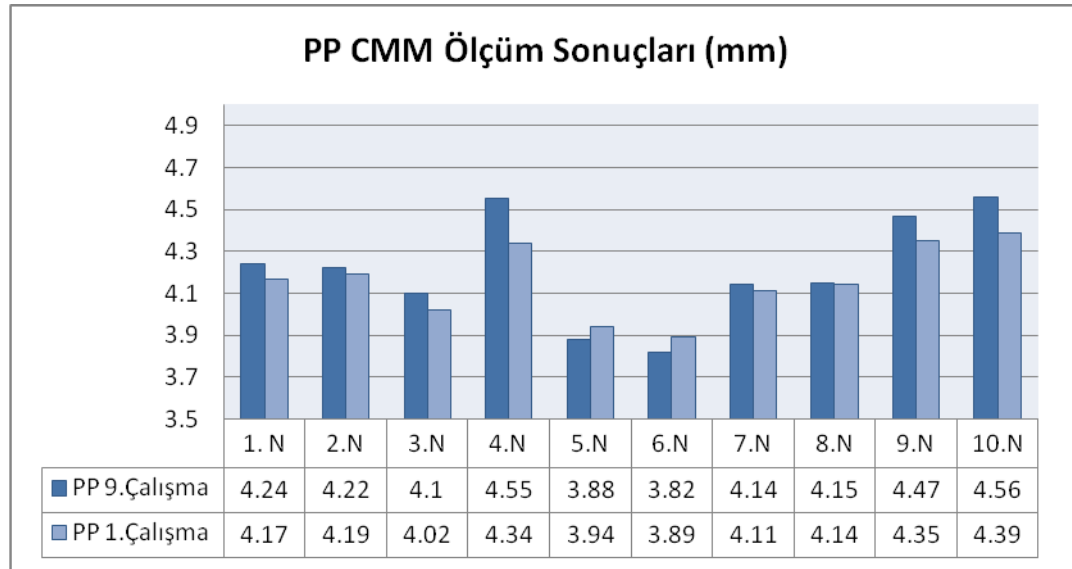
Üç farklı ürün için ayrı ayrı yapılan CMM ölçümleri aşağıda Tablolar halinde verilmiştir. Daha önce de açıklandığı gibi parçanın yüzeyinden 10 farklı bölgeden noktalar alınarak Z- ekseninde çarpılma sonucu oluşan sapmalar kontrol edilmiştir. Parçaların çarpılması doğrudan kalıp ve eriyik sıcaklığı ile ilişkili olduğundan CMM ölçümleri sıcaklık değişimleri ile parçada oluşacak geometrik değişikliklerin tespit edilmesine yardımcı olacaktır. Ölçümler için her üründen mümkün olduğunca yüksek sıcaklık farklarında üretilmiş parçalar seçilmiştir. Örneğin PP için 1. çalışma (Ocak 180 - Kalıp 25 °C) ile 9. çalışmada (Ocak 260 - Kalıp 65 °C) üretilen parçalar alınarak ölçümler yapılmıştır.

5.3.1 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçları

Tablo 5.13’de PP ürünler için CMM ölçüm sonuçları görülebilir. Sıcaklık değişimlerinin maximum etkisinin tespiti için kalıbın ve eriyiğin en sıcak olduğu 9. çalışma ve en soğuk şartlarda çalışılan 1. çalışmadan alınan parçaların ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.13’de PP ürünler için CMM ölçüm sonuçlarının grafiksel değişimi verilmiştir.

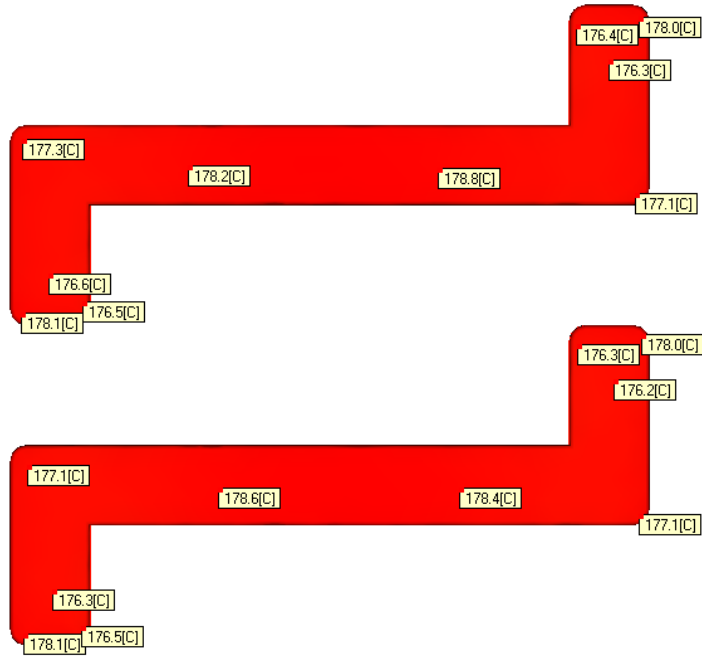
Tablo 5.13 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçları.

PP CMM	ÖLÇÜM NOKTALARI									
ÇALIŞMALAR	1. N	2.N	3.N	4.N	5.N	6.N	7.N	8.N	9.N	10.N
Çarpılma(mm) PP 9.çalışma	4.24	4.22	4.1	4.55	3.88	3.82	4.14	4.15	4.47	4.56
Çarpılma(mm) PP 1.çalışma	4.17	4.19	4.02	4.34	3.94	3.89	4.11	4.14	4.35	4.39

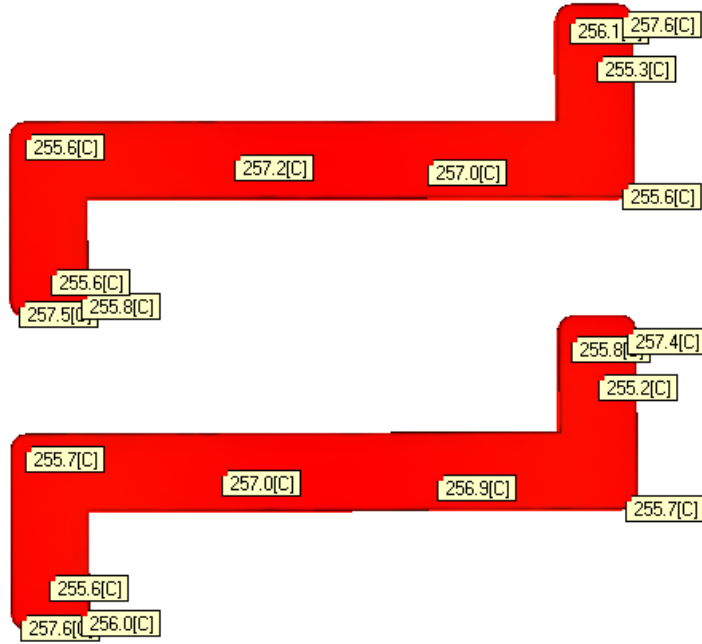


Şekil 5.13 PP ürünler için CMM ölçüm sonuçlarının grafiksel değişimi.

PP ürünlerden alınan sonuçlara göre 1. çalışma ile 9. çalışma arasında ciddi boyutsal farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Parçalardaki en yüksek sıcaklık değişimi parçaların en uç ve en son dolan 1, 2, 9 ve 10. noktalarında gözlenmiştir. Bu noktalar parça kalıptan alındıktan sonra en yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduklarından en geç soğuyacaklardır. Bu sebeple kalıptan çıkarılırken ve soğuma esnasında en fazla çarpılmaya maruz kalan noktalar olmuşlardır. Sıcaklık değişimlerine göre 1. çalışmada 4.39 mm ölçülen 10. Nokta, 9. çalışma sonucunda 4.56 mm olarak ölçülmüştür. Buradan sıcaklık değişimlerinin parçanın geometrik yapısında ilk duruma göre yaklaşık % 4'lük bir değişime neden olduğu gözlenebilir. Moldflow MPI çalışması ile yapılan simülasyonda bu bölgelerin sıcaklık değişimleri Şekil 5.14 ve 5.15'de gösterilmiştir.

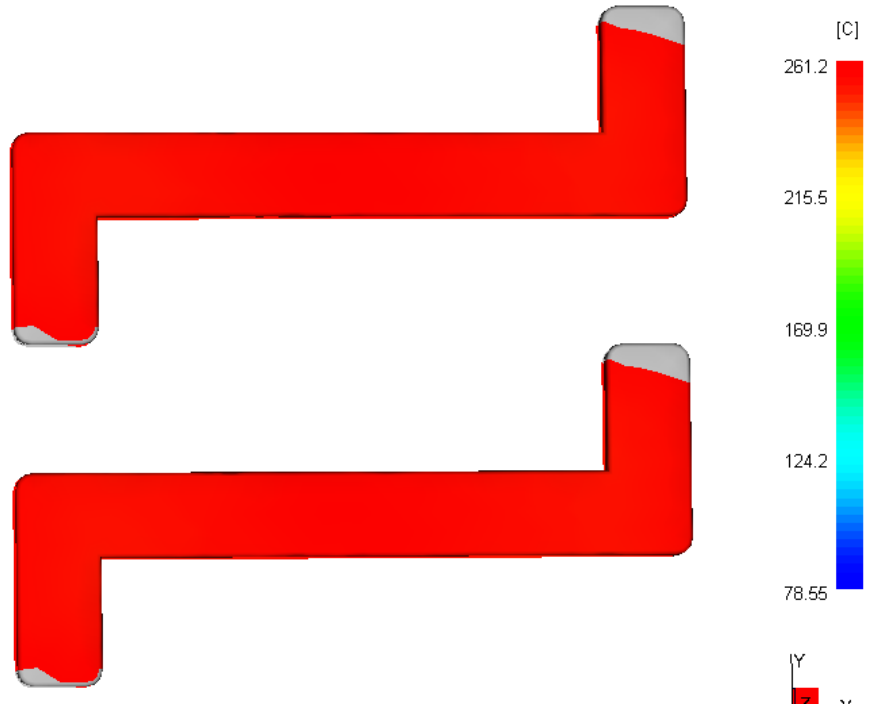


Şekil 5.14 1. çalışmada dolum sonunda ölçüm noktalarının sıcaklık dağılımı.

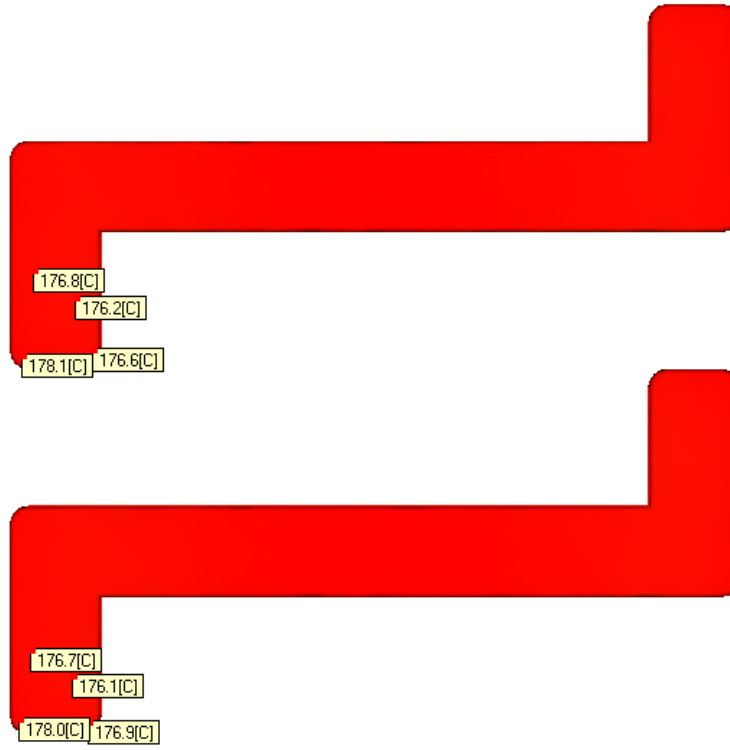


Şekil 5.15 9. çalışmada dolum sonunda ölçüm noktalarının sıcaklık dağılımı.

Şekil 5.14 ve 5.15’ deki Moldflow MPI programı ile elde edilen şekillerden de görülebileceği üzere parçanın CMM ölçümleri sonrası en fazla çarpılmaya uğrayan bölgeleri 9. ve 10. noktalardır. Bu noktalar en kenar ve en geç soğuyan bölgelerdir. En uç noktalardaki sıcaklığın aniden 1-2 °C kadar yükselmesinin sebebi bu noktalarda hava hapsi gözlenmesidir. 7. Bölümde Moldflow analizlerinde bu bölgelerde gaz sıkışması sonucu oluşan hava hapsleri görülebilir. Şekil 5.16’de en son dolan bölgeler gösterilmiştir. Bu bölgeledeki yüksek sıcaklık artışının hava hapsinden dolayı gerçekleştiği Şekil 5.17’de daha net izlenebilir. Şekilden de görüleceği gibi parçanın en uç bölgesinde aniden yaklaşık 1.5 °C kadar değişiklik oluşmuştur. Ancak yaklaşık 10 mm geriden alınan ölçümlerde henüz hava gerçekleşmemiş olduğundan sıcaklık farkları birinci duruma göre daha düşük (yaklaşık 0.5 °C) olarak gözlenmiştir.



Şekil 5.16 Parçada en son dolan bölgeler.



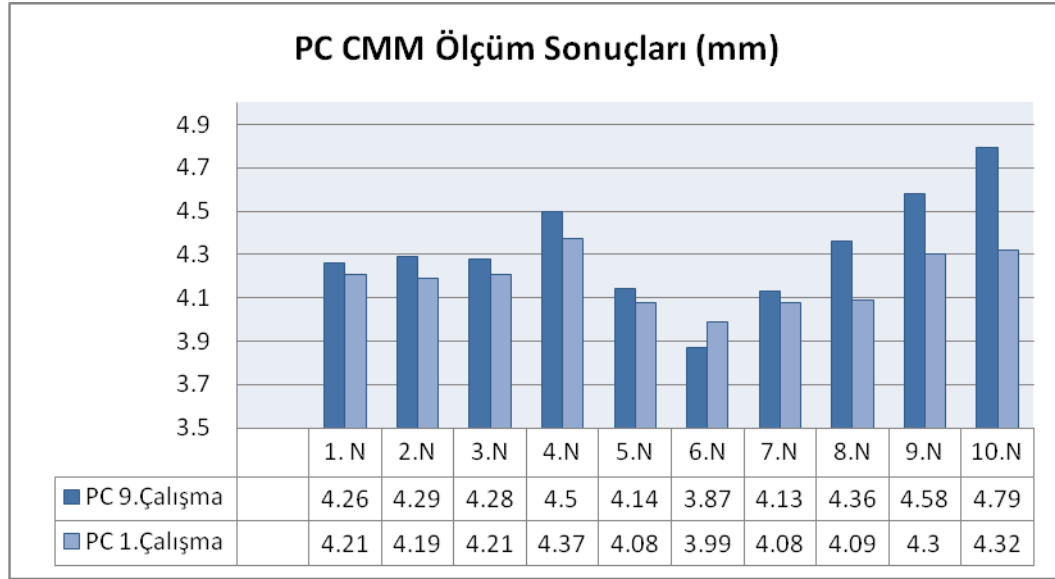
Şekil 5.17 Parçanın en uç bölgesindeki sıcaklık değişimleri.

5.3.2 PC ürünler için CMM ölçüm sonuçları

PC ürünler için de PP ürünler için uygulanan ölçüm yöntemi aynı şekilde uygulanmıştır. Parça seçiminde yine PP ürünlerde olduğu gibi en sıcak ve en soğuk çalışma şartları göz önüne alınmıştır. Tablo 5.14’de PC için alınan CMM ölçüm sonuçları verilmiştir. PC ürünler için ölçüm sonuçlarının grafiksel dağılımı Şekil 5.13’de görülebilir.

Tablo 5.14 PC için CMM ölçüm sonuçları.

PC CMM	ÖLÇÜM NOKTALARI									
ÇALIŞMALAR	1. N	2.N	3.N	4.N	5.N	6.N	7.N	8.N	9.N	10.N
Çarpılma(mm) PC 9. çalışma	4.26	4.29	4.28	4.5	4.14	3.87	4.13	4.36	4.58	4.79
Çarpılma(mm) PC 1. çalışma	4.21	4.19	4.21	4.37	4.08	3.99	4.08	4.09	4.3	4.32



Şekil 5.18 PC malzemeler için ölçüm sonuçlarının grafiksel dağılımı.

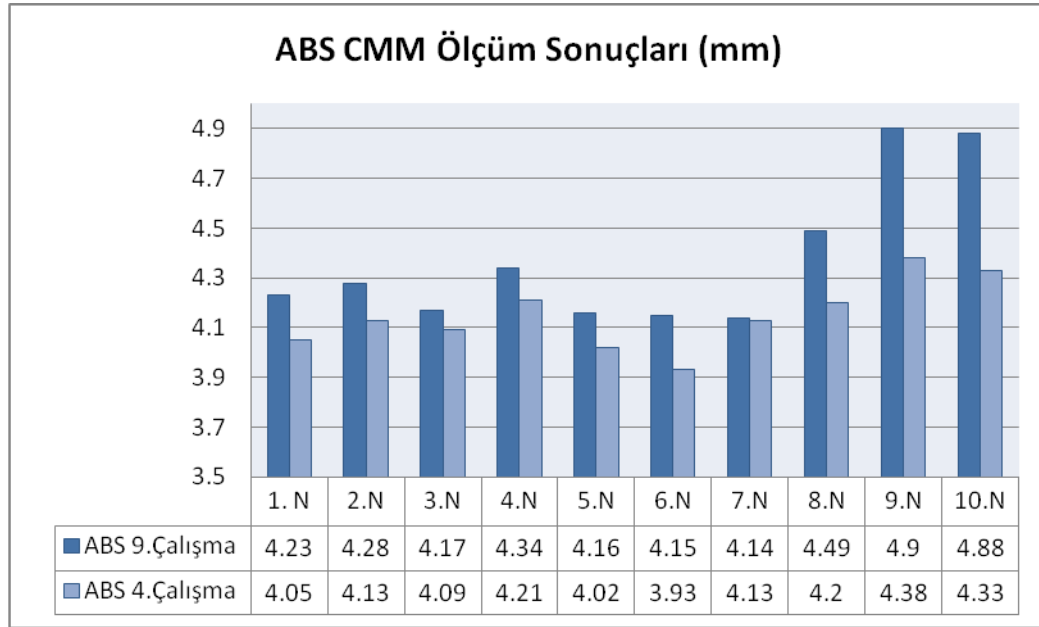
PC ürünlerde alınan sonuçlar göstermiştir ki, sıcaklık değişimleri parça geometrisinde etkin rol oynamaktadır. Yine parçanın en geç soğuyan bölgeleri 9. ve 10. noktada sıcaklığın etkileri bariz bir şekilde gözlenebilir. 1. çalışmada 4.32 mm olarak ölçülen 10. nokta, 9. çalışmada 4.79 mm olarak ölçülmüştür. Burada da %10'luk bir değişim gözlenmektedir.

5.3.3 ABS ürünler için CMM ölçüm sonuçları

ABS ürünler için ölçülen sonuçlar Tablo 5.15' de görülebilir. ABS ürünlerde de PP ve PC ürünlerde yapıldığı gibi en yüksek ve en düşük sıcaklık şartlarında üretilen parçaların ölçülmesi uygun görülmüştür. Bu sebeple ABS 4. çalışma ve ABS 9. çalışma parçaları ölçüm için kullanılmıştır. Şekil 5.14' de ABS ürünlerin ölçüm sonuçları grafiksel olarak görülebilir.

Tablo 5.15 ABS ürünler için CMM ölçüm sonuçları.

ABS CMM	ÖLÇÜM NOKTALARI									
ÇALIŞMALAR	1. N	2.N	3.N	4.N	5.N	6.N	7.N	8.N	9.N	10.N
Çarpılma(mm) ABS 9.çalışma	4.23	4.28	4.17	4.34	4.16	4.15	4.14	4.49	4.9	4.88
Çarpılma(mm) ABS 4.çalışma	4.05	4.13	4.09	4.21	4.02	3.93	4.13	4.2	4.38	4.33



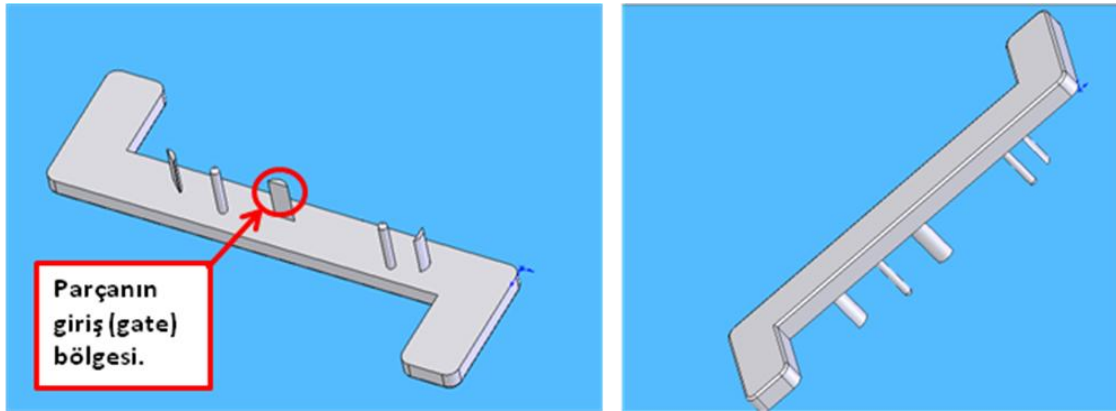
Şekil 5.19 ABS ürünlerin ölçüm sonuçlarının grafiksel dağılımı.

Sonuçlar incelendiğinde ABS ürünlerde de PP ve PC ürünlerde olduğu gibi sıcaklık değişimleriyle parçanın boyutsal özelliklerinin ciddi oranda değiştiği gözlenmiştir. Hatta PC ve PP parçalara kıyasla en fazla değişim ABS parçalarda görülmüştür. Yine 10. nokta 4. çalışmada 4.33 mm olarak ölçülürken 9. çalışmada 4.88 mm olarak ölçülmüştür. Bu da % 12’lik bir değişim demektir.

6. MOLDFLOW ÇALIŞMASI

Çalışmanın son bölümünde kalıp içi sıcaklık değişimlerinin Moldflow MPI 6.1 programı ile de enjeksiyon zamanı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, hava hapsi, birleşme çizgisi ve ürün sıcaklığı parametreleri üzerine analizler yapılmıştır. Çalışma yalnızca PP hammadde için yapılmıştır. Moldflow'da enjeksiyon parametreleri set edilirken eriyik sıcaklıkları, kalıp sıcaklıkları, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı ve tutma zamanı üretilen parçalarda olduğu gibi aynen korunmuştur.

Parçalar yine enjeksiyonda üretilen parçalarla aynı ölçülerde olacak şekilde iki gözlü olarak Solidworks programında modellenmiştir. Yolluk yerleri ve enjeksiyon giriş bölgeleri plastik parçada olduğu gibi tasarlanmıştır. Şekil 6.1'de katı model parçaların resimleri görülebilir. Şekil 6.1'de üç adet yolluk yeri görülmektedir. Ancak enjeksiyon esnasında ve Moldflow çalışmasında sadece orta bölgeden tek giriş kullanılarak enjeksiyon yapılmıştır. Diğer giriş bölgeleri parçanın kalıptan kolay alınması ve düşmemesi için tutucu görevi üstlenmişlerdir.



Şekil 6.1 Solidworks programında parçaların tasarımı.

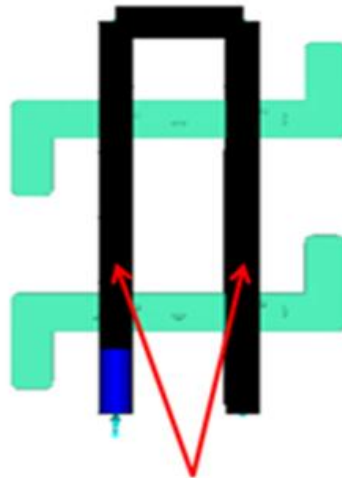
6.1 Çalışma aşamaları

Çalışma Moldflow programında sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

- Soğutma kanallarının tasarımı ve belirlenmesi
- Mesh (ağ yapısı) oluşturma
- Giriş (Gate) bölgelerinin belirlenmesi
- Malzeme seçimi
- Proses ayarları
- Analiz işlemi ve sonuçların alınması

6.1.1 Soğutma kanallarının tasarımı ve belirlenmesi

Parça katı halde analiz için Moldflow programına import edildikten sonra soğutma kanalları tasarımı yapılmıştır. Kalıp tasarımına bağlı kalınarak aynı boyutlarda soğutma kanalları tasarlanmıştır. Şekil 6.2’de tasarlanan soğutma kanalları görülebilir. Soğutma kanalları 9 mm çapında işlenmiştir. kanal kavite mesafesi 25 mm dir. Kanallar arasında 40mm mesafe mevcuttur ve soğutma sıvısı olarak su kullanılmıştır.



Soğutma kanalları

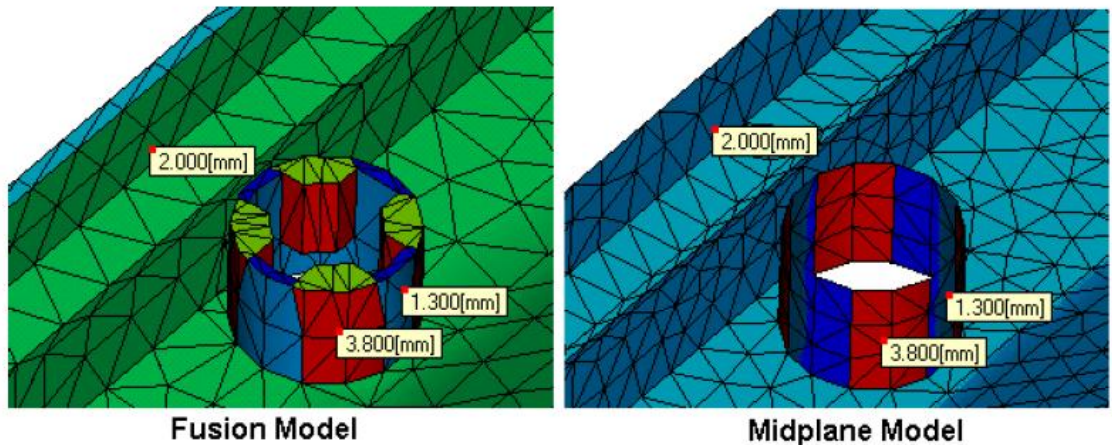
Şekil 6.2 Soğutma kanalları.

6.1.2 Mesh (Ağ yapısı) oluşturma

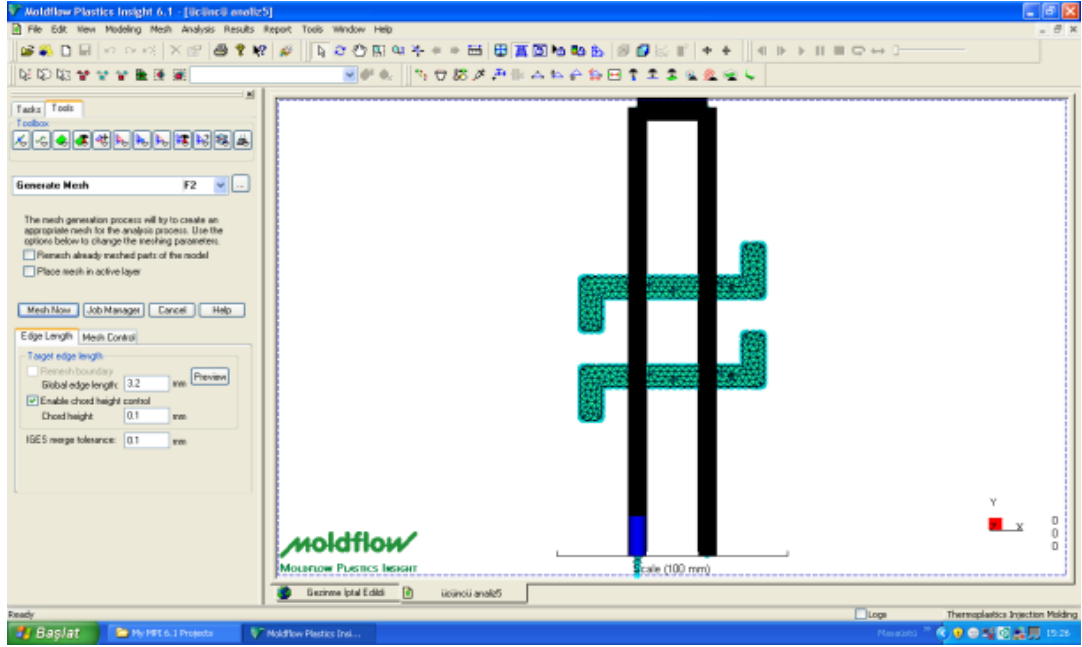
Analiz programı olarak Moldflow MPI 6.1 kullanılmıştır. Tasarlanan parçalarının analizinin yapılabilmesi için sonlu elemanlar yönetimi gereği mesh oluşturmak gerekmektedir. Parça et kalınlığı ve boyutsal özellikleri göz önünde bulundurularak; aşağıdaki özellikte mesh oluşturulmuştur. Mesh Fusion model seçilmiştir. Çünkü Fusion Model, Midplane Modele göre daha çok gereksinime ihtiyaç duyulan ve daha detaylı sonuç alınan modeldir. Şekil 6.3’de Fusion ve Midplane mesh modelleri karşılaştırılması görülebilir. midplane mesh basit geleneksel termoplastik ve termosetlerin analizlerinin yapıldığı ince kabuk şekilli parçalar için uygulanır. Fusion mesh ise Moldflow’un “dual domain” teknolojisi tabanlı misplane mesh ile elde edilen ince duvar yapılı parçaların katı model analizleri (double-skin) için kullanılır. Fusion model parça üzerinde 3 nodlu ve üçgen şekilli yapıda bulunur. Elemanlar arası uzaklığı parçanın kalınlığı belirler. Bu sinerji içindeki akış çözücüler tarafından otomatik olarak belirlenir [Moldflow 3D Manual].

- Mesh tipi olarak Fusion Model,
- Toplamda 2182 ağ (node),
- Kenar uzunluğu (Global edge lenght): 3.2 mm,
- Kiriş yüksekliği (Chord height): 0.1 mm
- IGES birleşme toleransı (IGES merge tolerance): 0.1mm,

olacak şekilde mesh özellikleri belirlenmiştir. Şekil 6.4’de parçaya uygulanan mesh gözlenebilir.



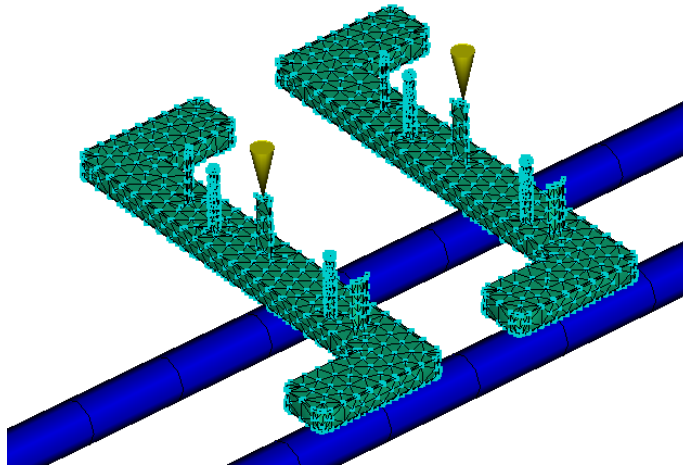
Şekil 6.3’de Fusion ve Midplane mesh modelleri karşılaştırılması.



Şekil 6.4 Mesh özellikleri.

6.1.3 Giriş (Gate) yerlerinin belirlenmesi

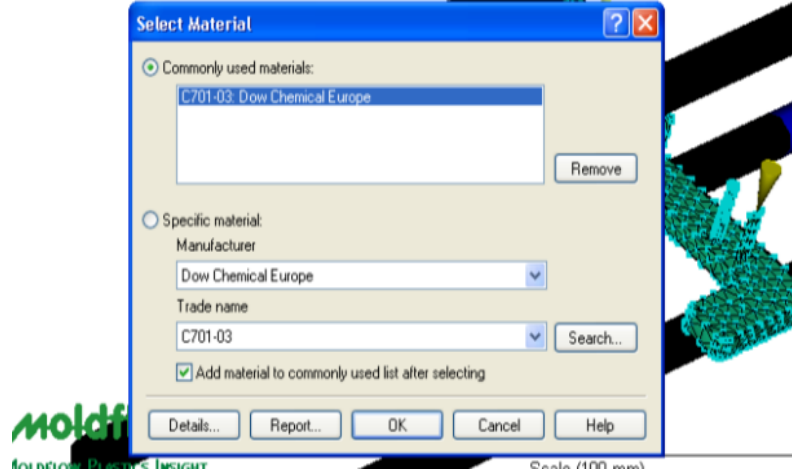
Mesh oluşturulduktan sonra parçaya kalıptan malzeme akışının yapılacağı giriş (gate) yerleri belirlenir. Şekil 6.5’de parça üzerinde oluşturulan giriş bölgeleri belirtilmiştir.



Şekil 6.5 Giriş bölgeleri.

6.1.4 Malzeme seçimi

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi enjeksiyon için Dow firmasının C705 kodlu PP ürünü kullanılmıştır.



Şekil 6.6 Malzeme seçimi.

6.1.5 Proses ayarları

Proses ayarları yukarıda da belirtildiği gibi denemelerde alınan değerler aynı şekilde korunarak Moldflow analizleri içinde kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 6.1’de çalışmalarda kullanılan ilgili enjeksiyon parametreleri görülebilir.

Tablo 6.1 Moldflow proses şartları.

Moldflow Proses Şartları	KALIP İÇİ SICAKLIĞI (°C)	OCAK SICAKLIĞI (°C)	SOĞUMA ZAMANI (sn)	ENJEKSİYON BASINCI (MPa)	TUTMA BASINCI (MPa)	TUTMA ZAMANI (sn)
PP 1.ÇALIŞMA	25	180	20	44	20	3
PP 2.ÇALIŞMA	25	220	20	44	20	3
PP 3.ÇALIŞMA	25	260	20	44	20	3
PP 4.ÇALIŞMA	45	180	20	44	20	3
PP 5.ÇALIŞMA	45	220	20	44	20	3
PP 6.ÇALIŞMA	45	260	20	44	20	3
PP 7.ÇALIŞMA	65	180	20	44	20	3
PP 8.ÇALIŞMA	65	220	20	44	20	3
PP 9.ÇALIŞMA	65	260	20	44	20	3

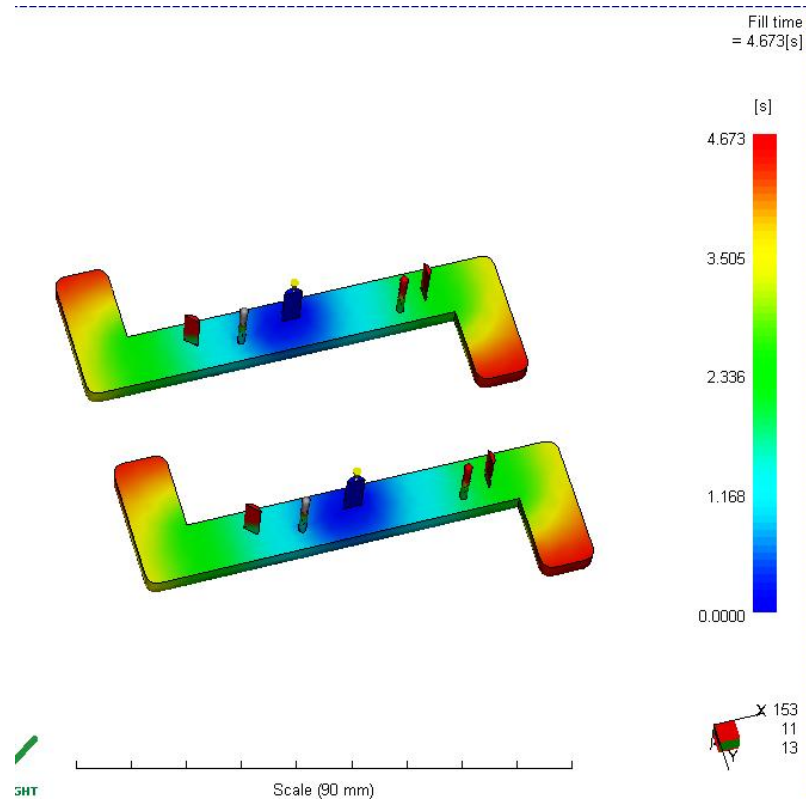
6.1.6 Analiz işlemi ve sonuçların alınması

Moldflow Insight programı ile 20'den fazla analiz sonucu elde edilebilir. Bu çalışmada sıcaklığın ürün üzerindeki kalite özelliklerine etki edebileceği parametrelerin analiz sonuçları incelenmiştir. Analizler farklı kalıp ve malzeme sıcaklıkları göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu bölümde kalıp sıcaklığı değişimlerinin enjeksiyon zamanı (filling time), hava hapsi (air traps), birleşme çizgisi (weldline), basınç (pressure) ve ortalama hız (average velocity) sonuçları üzerine etkileri incelenmiştir.

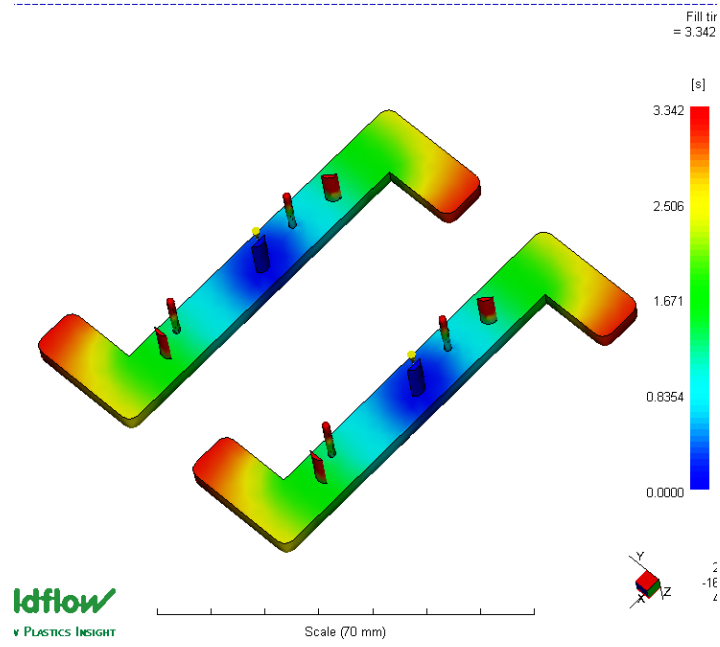
6.2 Moldflow analiz sonuçları

6.2.1 Sıcaklık değişimlerinin enjeksiyon zamanı üzerindeki etkileri

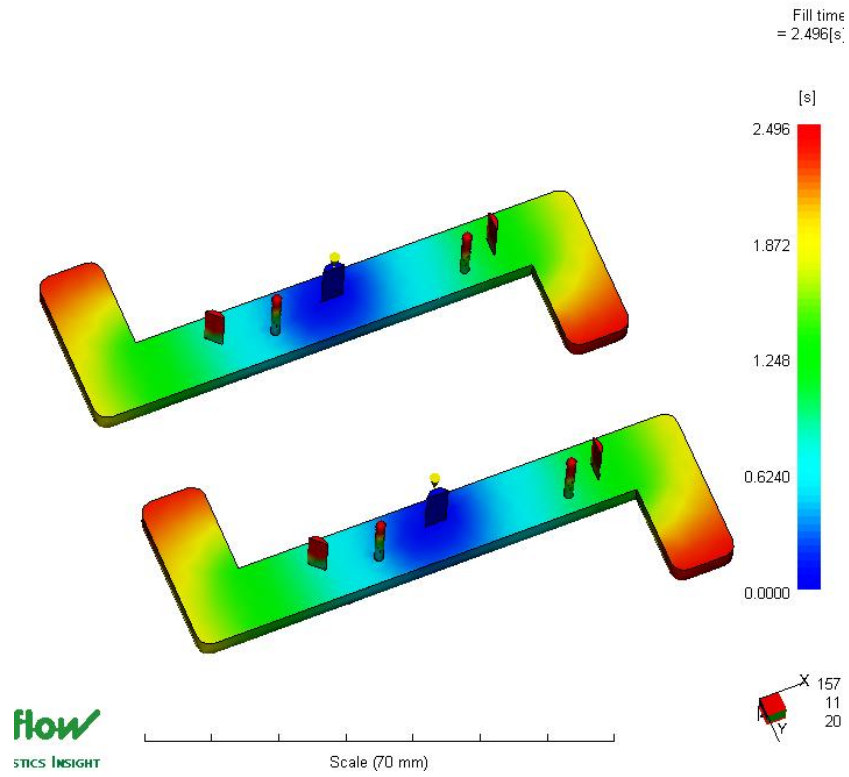
Moldflow programında yapılan analizlerde 7, 8 ve 9. çalışmalar incelendiğinde yani kalıp sıcaklığının 65 °C’de sabit ve eriyik sıcaklığının 180 - 220 ve 260 °C’ye yükseltildiği bu çalışmalarda eriyik sıcaklığının artışıyla doldurma zamanının azaldığı gözlenmiştir. Kalıp sıcaklığının 65°C ve eriyik sıcaklığının 180 °C olduğu durumda enjeksiyon zamanı 4.67 sn olarak, kalıp sıcaklığının 65°C ve eriyik sıcaklığının 220 °C olduğu durumda enjeksiyon zamanı 3.34 sn olarak ve kalıp sıcaklığının 65°C ve eriyik sıcaklığının 260 °C olduğu durumda enjeksiyon zamanı 2.49 sn olarak gerçekleşmiştir. Şekil 6.7 - 6.9’da eriyik sıcaklık değişimlerine bağlı olarak enjeksiyon zamanları görülebilir.



Şekil 6.7 7. çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) enjeksiyon zamanı değişimi.



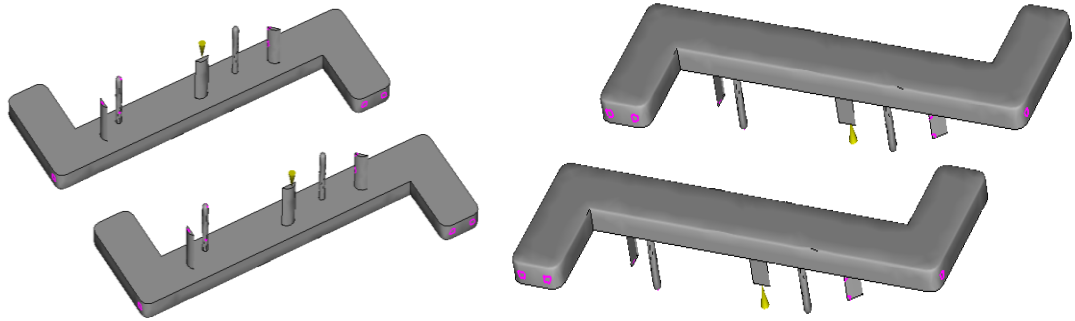
Şekil 6.8 8. çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 220°C) enjeksiyon zamanı değişimi.



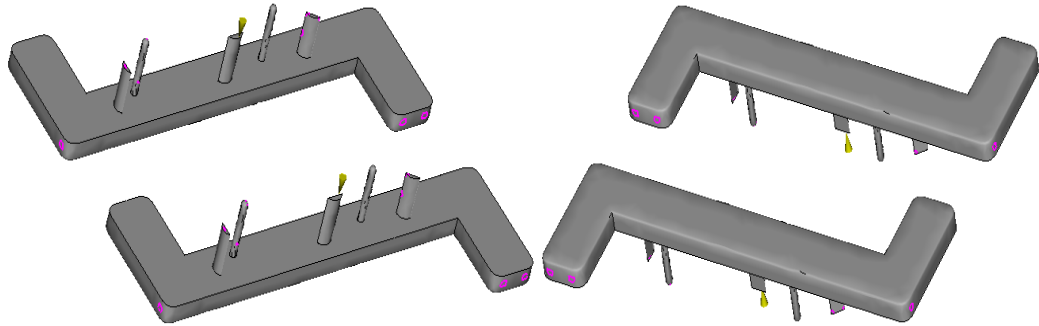
Şekil 6.9 9. çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) enjeksiyon zamanı değişimi.

6.2.2 Sıcaklık değişimlerinin hava hapsi (Air traps) üzerindeki etkileri

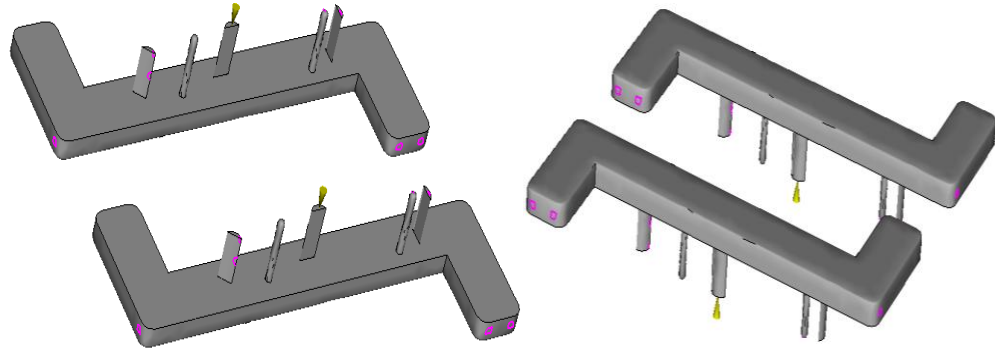
Hava hapsi analizleri hem kalıp sıcaklıklarının değişimi hem de eriyik sıcaklıklarının değişimi ile gözlenmiştir. Yapılan Moldflow analizlerinde önce eriyik sıcaklıkları sabitlenerek kalıp sıcaklıkları değiştirilmiş daha sonra da kalıp sıcaklığı sabit tutularak eriyik sıcaklıkları değişimiyle sonuçlar gözlenmiştir. İlk olarak üç farklı malzeme sıcaklığı ile yapılan analizlerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.10 - 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.10 1.çalışmada (Kalıp 25°C - Eriyik 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler.



Şekil 6.11 4.çalışmada (Kalıp 45°C - Eriyik 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler.



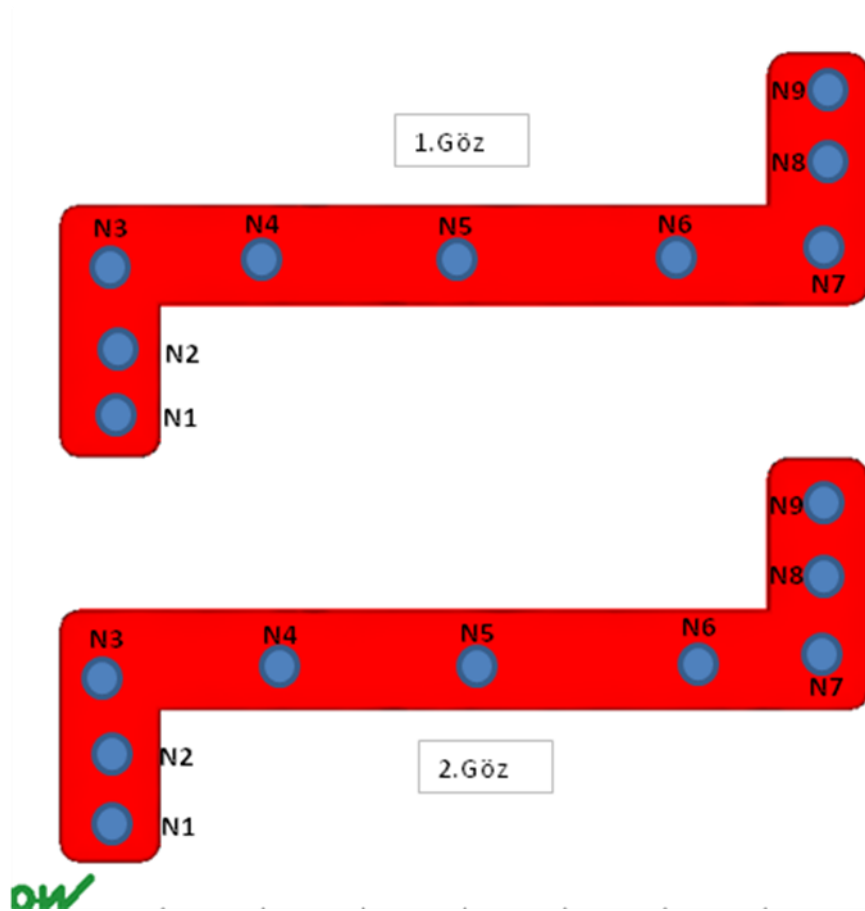
Şekil 6.12 7. çalışmada (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) hava hapsi gözlenen bölgeler.

Sonuçlar incelendiğinde kalıp içi sıcaklık değişimlerinin bu parça için hava hapsine etkisi hemen hemen yoktur.

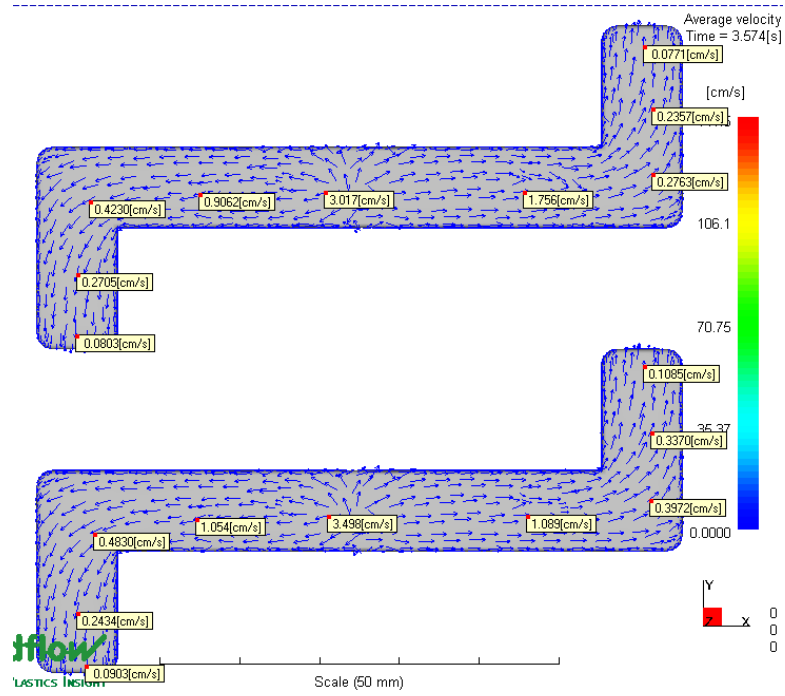
Malzeme sıcaklıklarının değişiminde de aynı sonuçlar elde edilmiştir. Hava hapsi daha çok parçanın geometrik özellikleri, giriş sayısı ve giriş yeri ile de ilgilidir. Bu çalışmada sadece merkezden bir noktadan giriş yapılmıştır ve hava hapsi sadece parçanın en son dolan en kenar bölgelerinde gözlenmiştir. Dolayısıyla sıcaklık değişimleriyle çok belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

6.2.3 Sıcaklık değişimlerinin ortalama hız (average velocity) üzerindeki etkileri

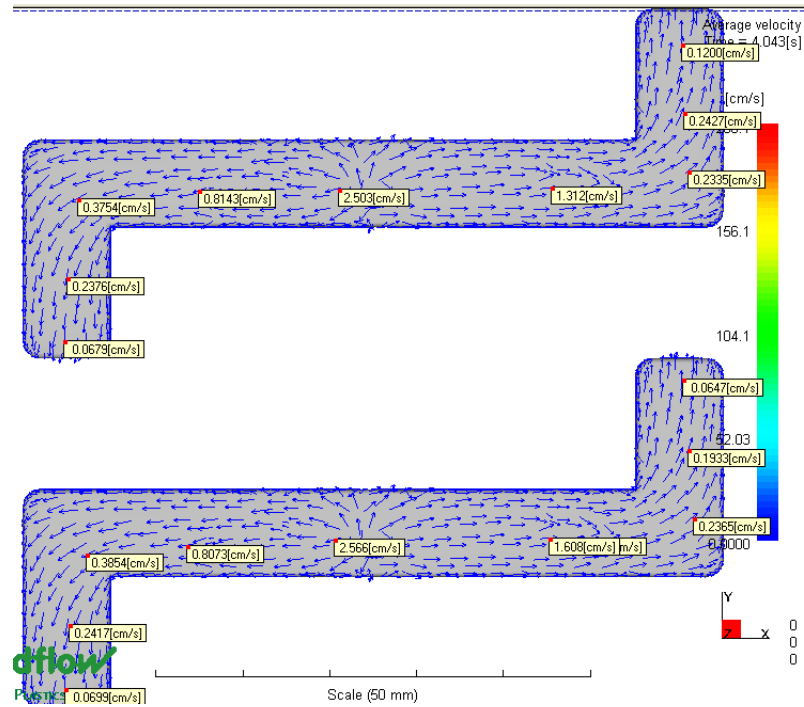
Ortalama hız değeri analizleri yine eriyik ve kalıp sıcaklıkları göz önüne alınarak iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Ortalama hız, basınç ve ürün sıcaklık analizleri parça üzerinden Şekil 6.13’de gösterilen noktalardan alınan değerler ile yapılmıştır. Her durum için yaklaşık olarak aynı bölgelerden noktalar alınmaya çalışılarak mümkün olduğunca geçerli sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Her iki gözden alınan sonuçların ortalamaları alınarak ilgili tablolar ve grafiklerle açıklama yoluna gidilmiştir. Şekil 6.14 - 6.18’de yukarıda bahsedilen noktalardan alınan sonuçlar gözlenebilir.



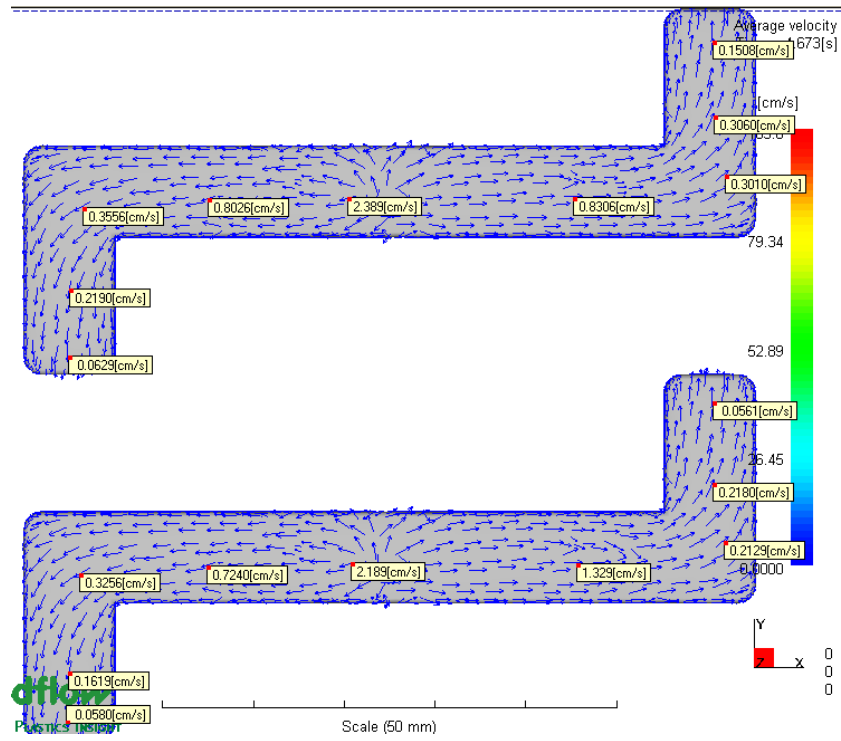
Şekil 6.13 Analiz sonuçları için alınan noktalar.



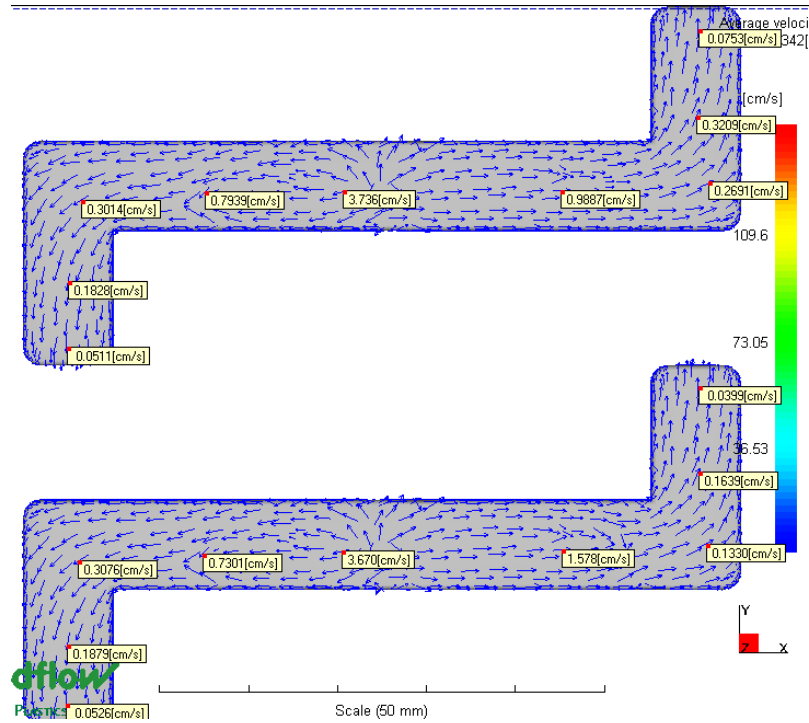
Şekil 6.14 1. çalışmada (Kalıp 25 – Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri.



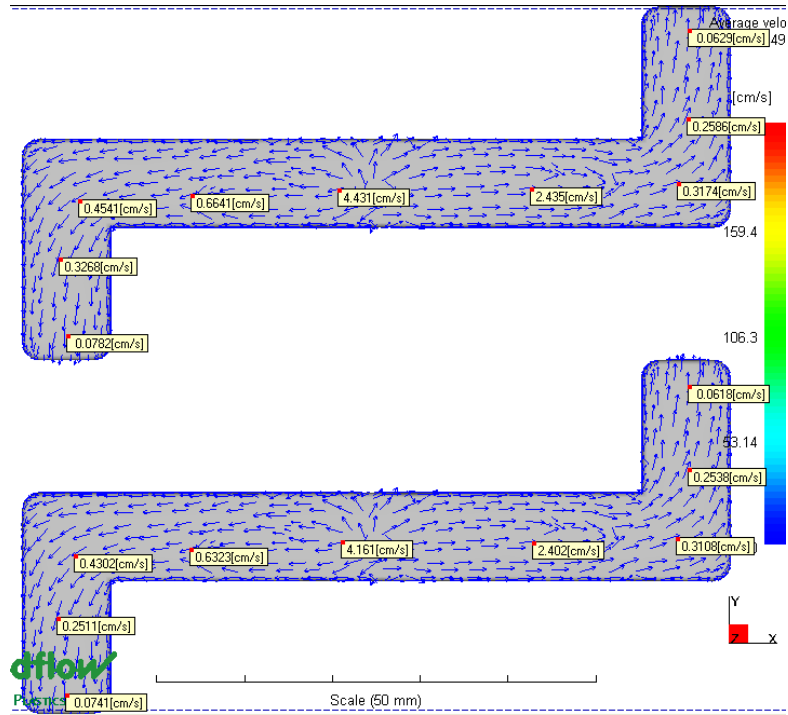
Şekil 6.15 4. çalışmada (Kalıp 45 - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri.



Şekil 6.16 7. çalışmada (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri.



Şekil 6.17 8. çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 180°C) ortalama hız değerleri

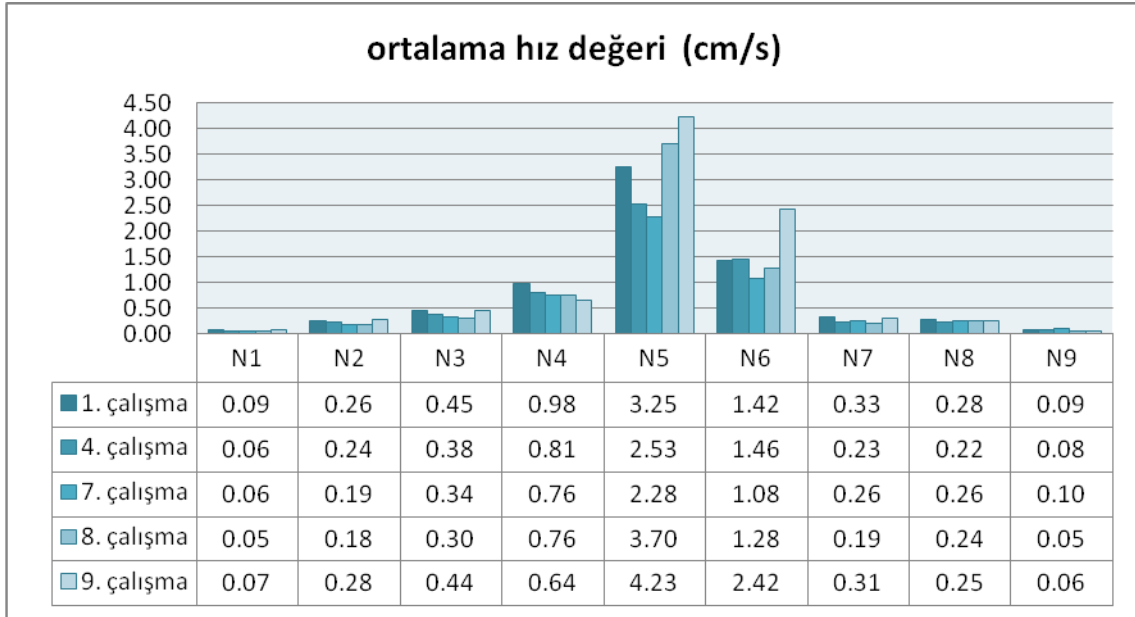


Şekil 6.18 9. çalışmada (Kalıp 65°C - Eriyik 260°C) ortalama hız değerleri.

Sonuçlara göre kalıp sıcaklıklarındaki değişim parçanın akış hızında çok belirgin bir değişime neden olmamıştır. Ancak eriyik sıcaklıklarındaki değişim ortalama hız değerlerini etkilemiştir. Eriyik sıcaklığının artışıyla ortalama hız değerleri de artış göstermiştir. Şekil 6.16'da 7. çalışmada parçanın giriş bölgesindeki hızlar yaklaşık 2.3 cm/sn iken 8 ve 9. çalışmalarda yaklaşık 3.7 - 4.4 cm/sn olarak ölçülmüştür. Akış hızı analiz sonuçları, her iki gözden okunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 6.2'de gösterilmiştir. Sonuçların grafiksel dağılımı Şekil 6.19'da verilmiştir.

Tablo 6.2 Farklı eriyik sıcaklıkları için ortalama hız sonuçları.

ORTALAMA HIZ SONUÇLARI (cm/s)									
	Noktalar								
Çalışmalar	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
1. çalışma	0.09	0.26	0.45	0.98	3.25	1.42	0.33	0.28	0.09
4. çalışma	0.06	0.24	0.38	0.81	2.53	1.46	0.23	0.22	0.08
7. çalışma	0.06	0.19	0.34	0.76	2.28	1.08	0.26	0.26	0.10
8. çalışma	0.05	0.18	0.30	0.76	3.70	1.28	0.19	0.24	0.05
9. çalışma	0.07	0.28	0.44	0.64	4.23	2.42	0.31	0.25	0.06



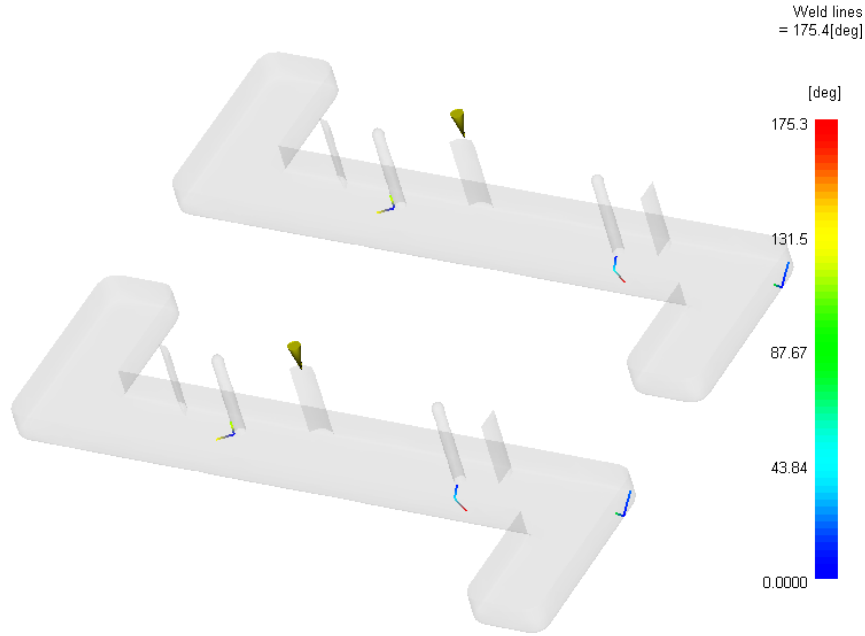
Şekil 6.19 Farklı eriyik sıcaklıkları için ortalama hız değerleri grafiksel dağılımı.

6.2.4 Sıcaklık değişimlerinin birleşme izi (weldline) üzerindeki etkileri

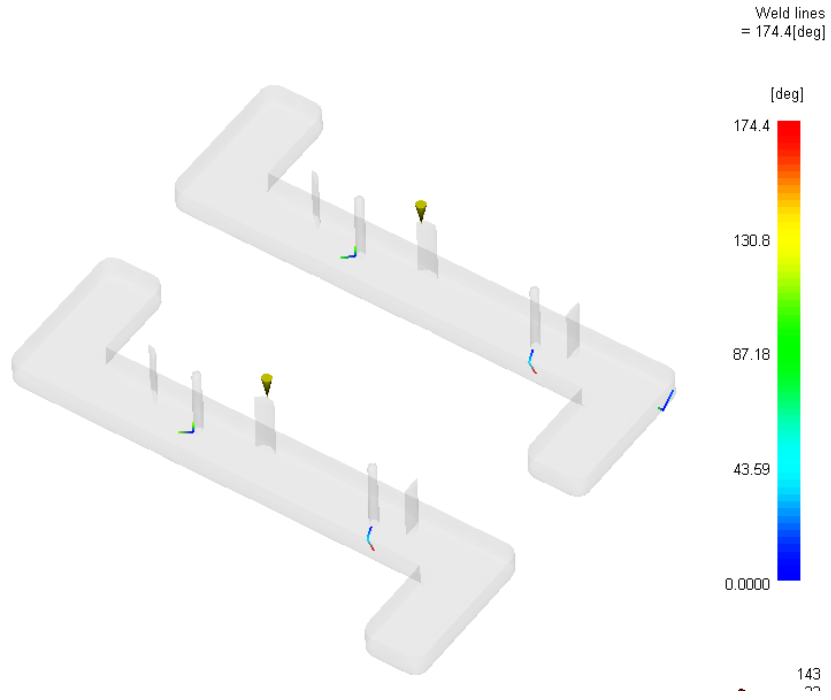
Malzemenin dolumu esnasında iki veya daha fazla yerde, akan malzemenin birleşmesi sonucu birleşme izi oluşur [Özçelik, 2007].

Moldflow programı ile üretim esnasında oluşabilecek birleşme çizgileri önceden tespit edilebilir. Çalışmanın bu bölümde ürün üzerinde oluşabilecek birleşme izi çizgileri üzerine kalıp içi sıcaklık değişimlerinin etkileri araştırılmıştır.

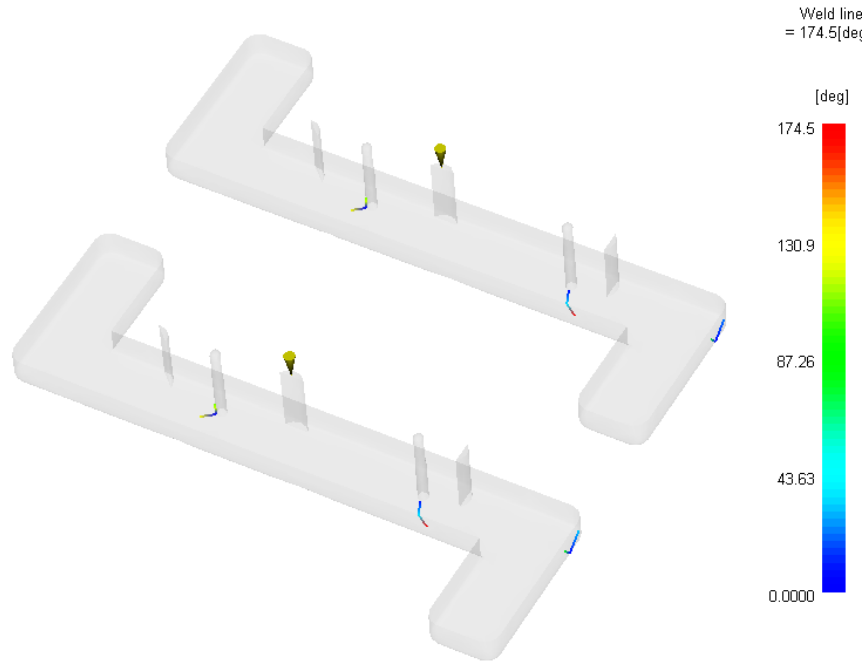
Şekiller 6.20 - 6.24' de sonuçlar görülebilir.



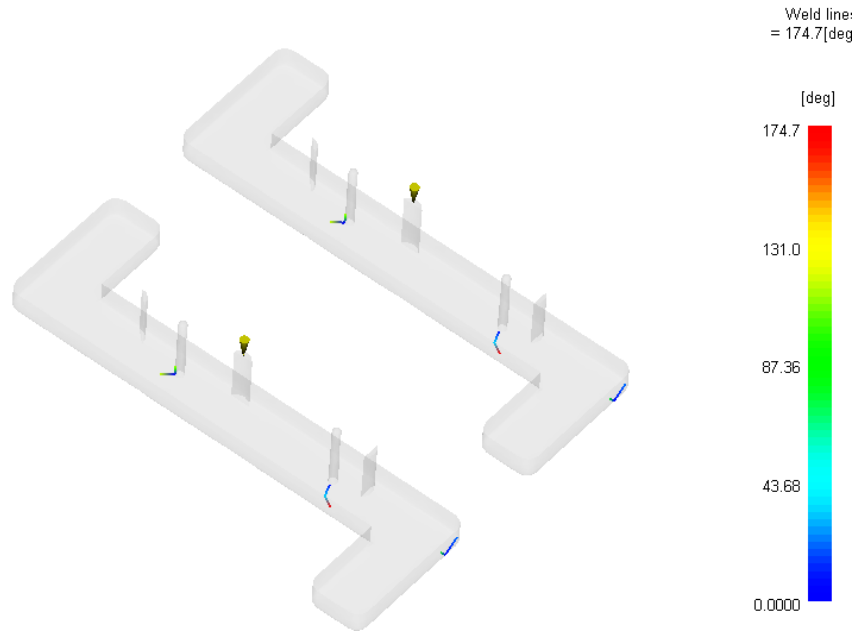
Şekil 6.20 1. çalışmada (Kalıp 25 - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri.



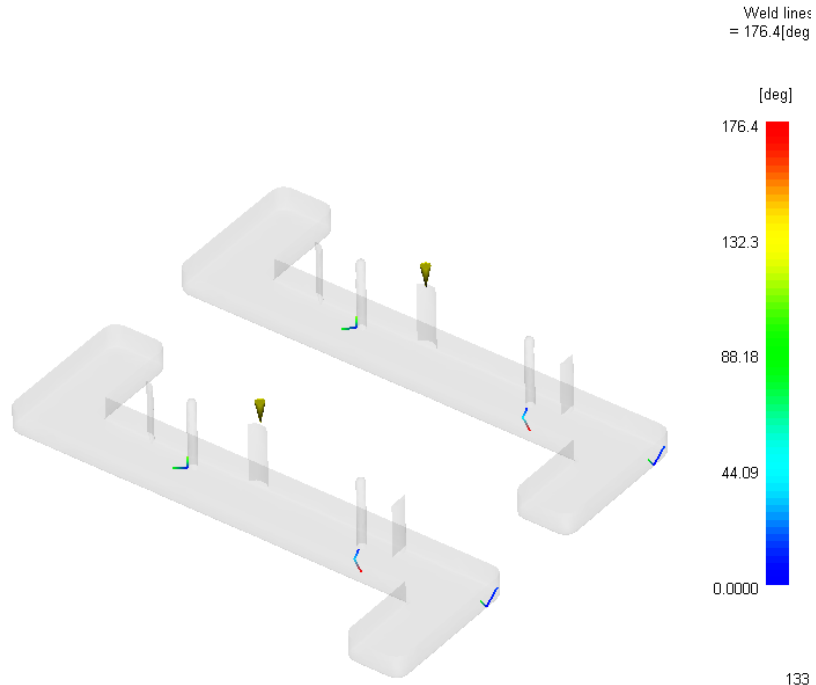
Şekil 6.21 4. çalışmada (Kalıp 45 - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri.



Şekil 6.22 7.çalışmada (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) birleşme izi bölgeleri.



Şekil 6.23 8. çalışmada (Kalıp 65 - Eriyik 220°C) birleşme izi bölgeleri.

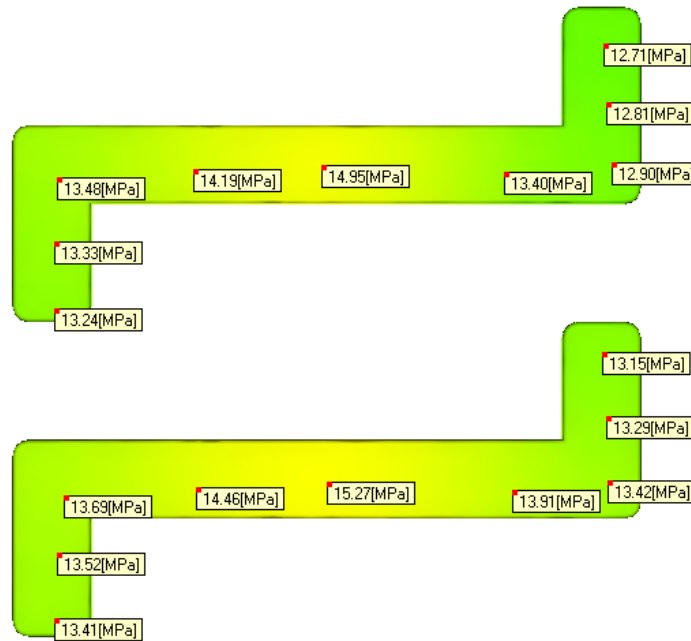


Şekil 6.24 9. çalışmada (Kalıp 65 - Eriyik 260°C) birleşme izi bölgeleri.

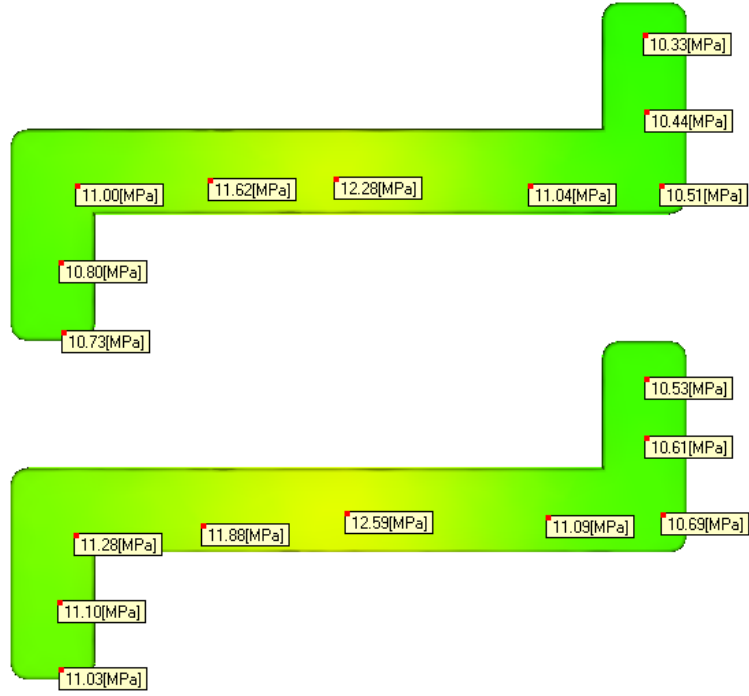
Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alınarak birleşme izinin bu parça için hem kalıp içi sıcaklık değişimleri ile hem de eriyik sıcaklık değişimleriyle değişmediği gözlenmiştir. Birden fazla giriş ya da parçanın geometrik yapısına göre birleşme izi daha fazla ortaya çıkar. Bu parçalarda bu durumlar söz konusu olmadığından birleşme izi farklı bölgelerde gözlenmemiştir. Tahmin edildiği gibi birleşme izi akış doğrultusunda, feder diplerinde ve parçanın en kenar bölgelerinde gözlenmiştir.

6.2.5 Sıcaklık değişimlerinin basınç (pressure) üzerindeki etkileri

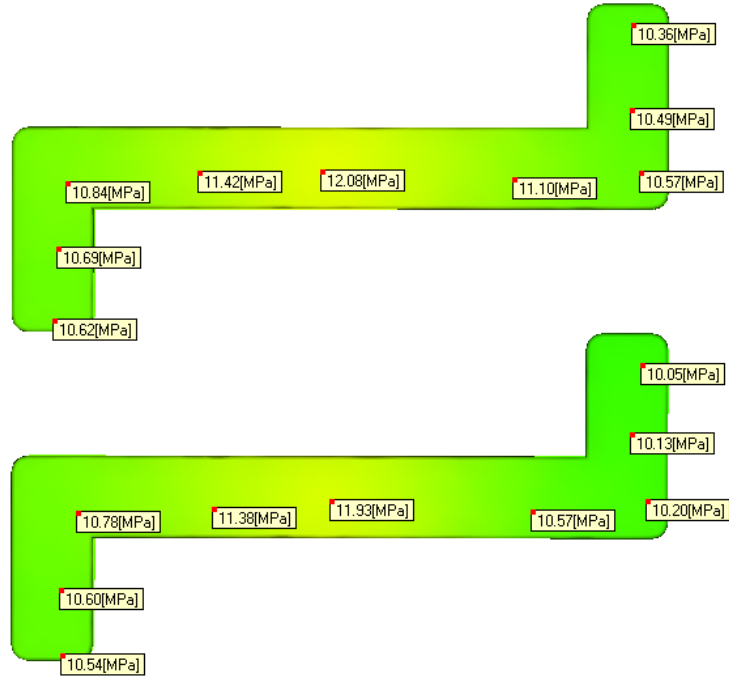
Sıcaklık değişimlerinin basınç üzerindeki etkileri de Moldflow programında araştırılırken yine kalıp sıcaklıkları ve eriyik sıcaklıkları göz önünde bulundurulmuştur. Alınan sonuçlar Şekil 6.25 - 6.29'da görülebilir.



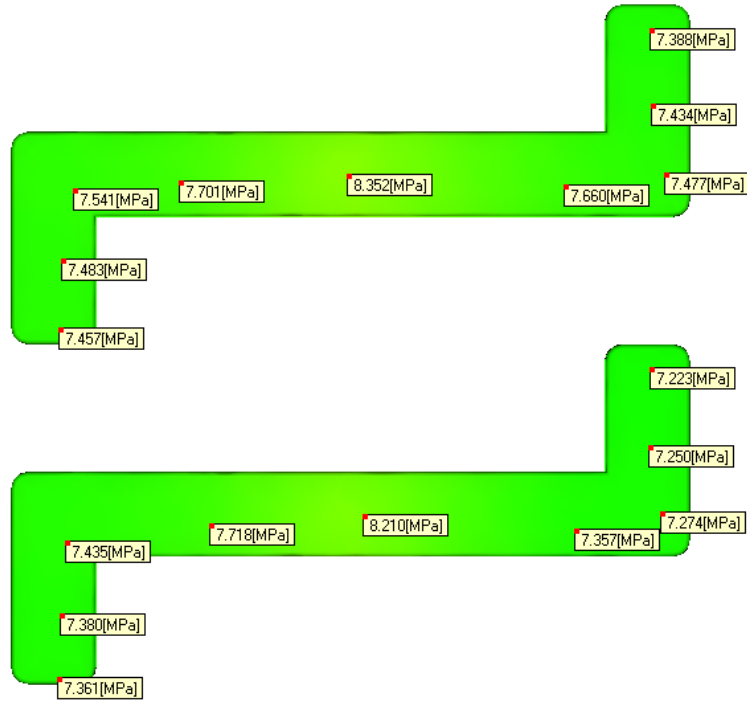
Şekil 6.25 1. çalışmadaki (Kalıp 25 - Eriyik 180°C) basınç değerleri.



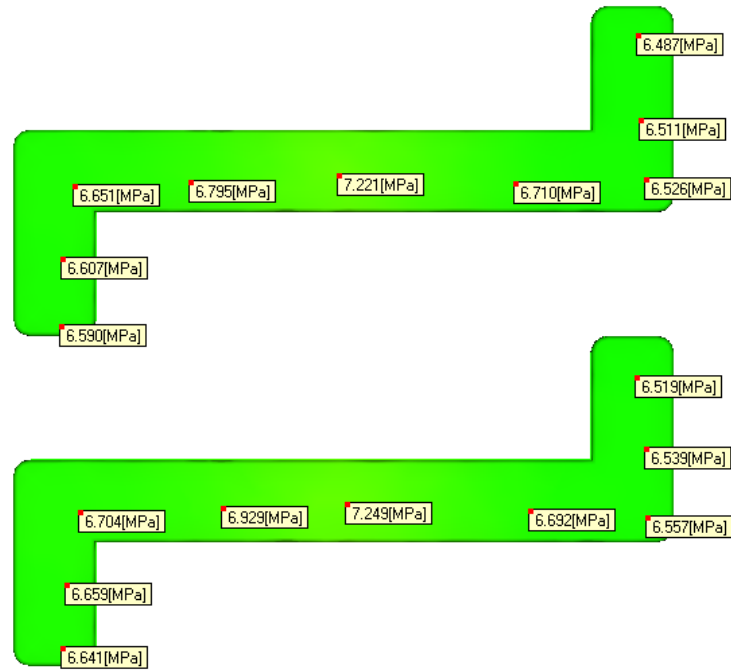
Şekil 6.26 4. çalışmadaki (Kalıp 45 - Eriyik 180°C) basınç değerleri.



Şekil 6.27 7. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) basınç değerleri.



Şekil 6.28 8. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 220°C) basınç değerleri.

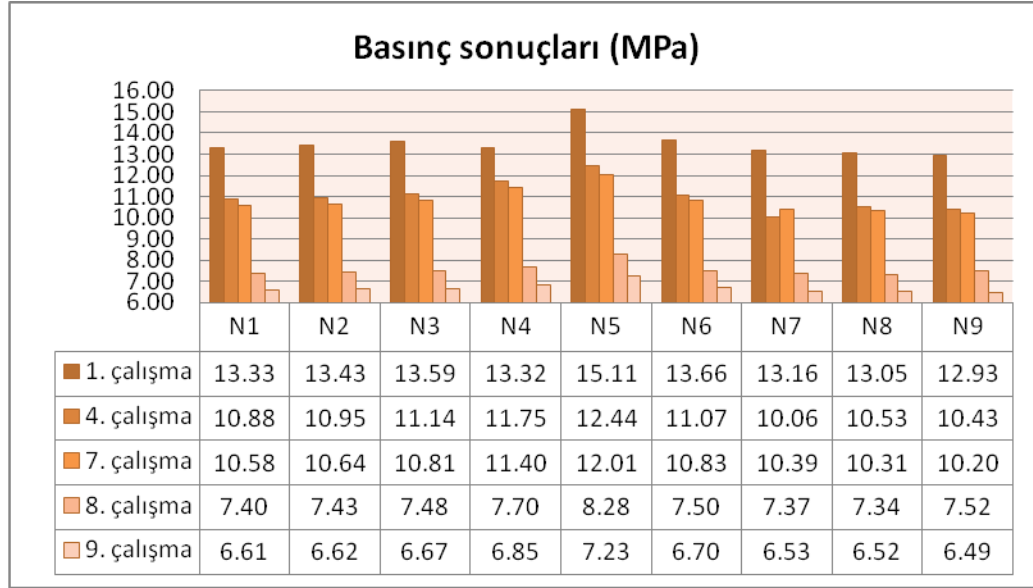


Şekil 6.29 9. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 260°C) basınç değerleri.

Basınç sonuçları incelendiğinde kalıp içi sıcaklık değişimlerinin enjeksiyon basıncına etkisi olduğu gözlenmektedir. 1. çalışmada kalıp 25°C - eriyik 180°C iken kalıp içine uygulanan enjeksiyon basıncı parçanın giriş bölgesinde yaklaşık 14.95 - 15.27 MPa olarak okunurken 4. çalışmada yani kalıp 45°C - eriyik 180°C iken 12.28 – 12.59 MPa ve 7. çalışmada yani kalıp 65°C - eriyik 180°C iken 12.08 - 11.93 MPa değerlerinde elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre kalıp sıcaklığının artışı enjeksiyon basıncının azalmasına neden olmaktadır. 7, 8 ve 9. çalışmalardaki basınç değerleri de incelendiğinde eriyik sıcaklığının artması da yine kalıp sıcaklığı gibi enjeksiyon basıncının azalmasına neden olmaktadır. Tablo 6.3’de basınç sonuçları görülebilir. Şekil 6.29’da da basınç sonuçlarının grafiksel dağılımı verilmiştir. Sonuç olarak hem eriyik sıcaklığının hem de kalıp sıcaklığının enjeksiyon basıncını düşürmüştür.

Tablo 6.3 Basınç sonuçları.

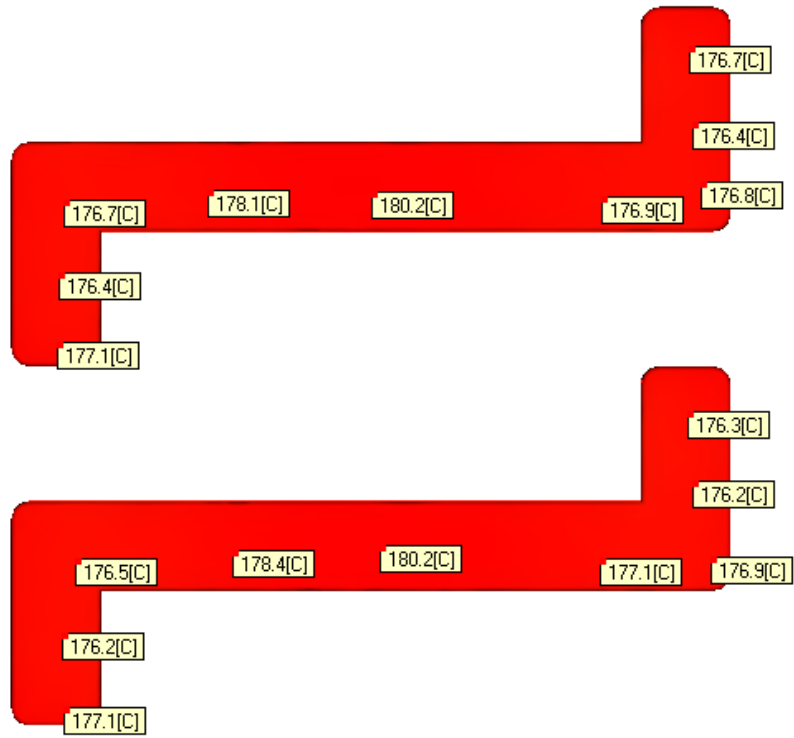
BASINÇ SONUÇLARI (MPa)									
	Noktalar								
Çalışmalar	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
1. çalışma	13.33	13.43	13.59	13.32	15.11	13.66	13.16	13.05	12.93
4. çalışma	10.88	10.95	11.14	11.75	12.44	11.07	10.06	10.53	10.43
7. çalışma	10.58	10.64	10.81	11.40	12.01	10.83	10.39	10.31	10.20
8. çalışma	7.40	7.43	7.48	7.70	8.28	7.50	7.37	7.34	7.52
9. çalışma	6.61	6.62	6.67	6.85	7.23	6.70	6.53	6.52	6.49



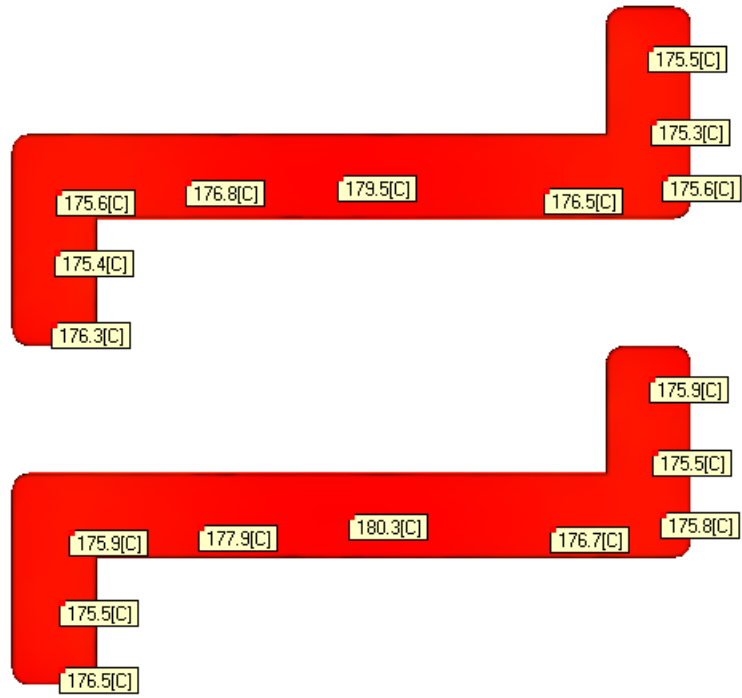
Şekil 6.30 Basınç sonuçlarının grafiksel dağılımı.

6.2.6 Ürünün Sıcaklık değişimlerinin incelenmesi

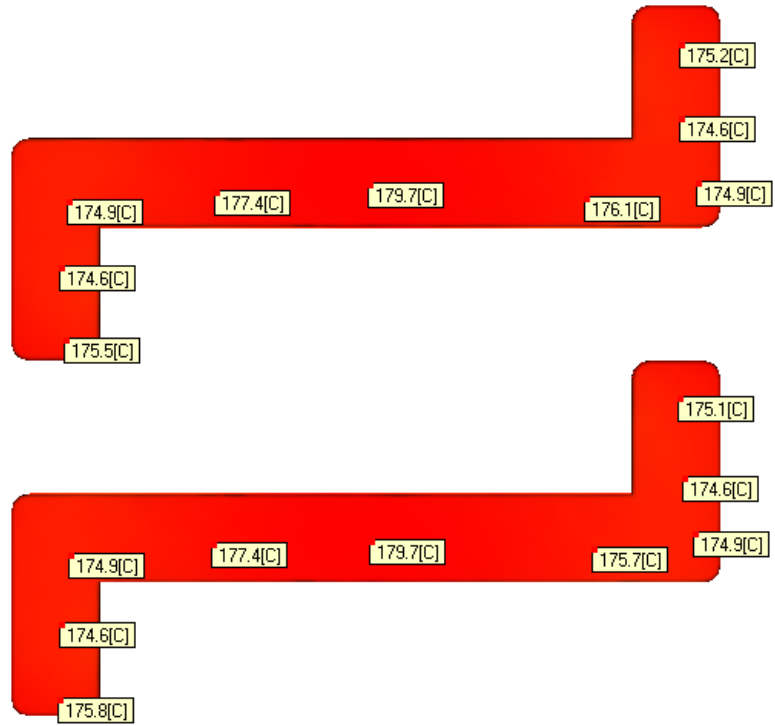
Moldflow programı ile farklı eriyik ve kalıp içi sıcaklık değişimlerinin plastik ürün üzerinde bölgesel olarak oluşturduğu sıcaklık değişiklikleri de gözlenmiştir. Bunun için yine daha önce ki çalışmalarda olduğu gibi kalıp içi sıcaklık değişimlerinin etkileri için 1, 4 ve 7. çalışmalar, eriyik sıcaklığının etkileri için 7, 8 ve 9. çalışmaların sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 6.31 - 6.35’de bu çalışma koşullarında alınan sonuçlar gözlenebilir.



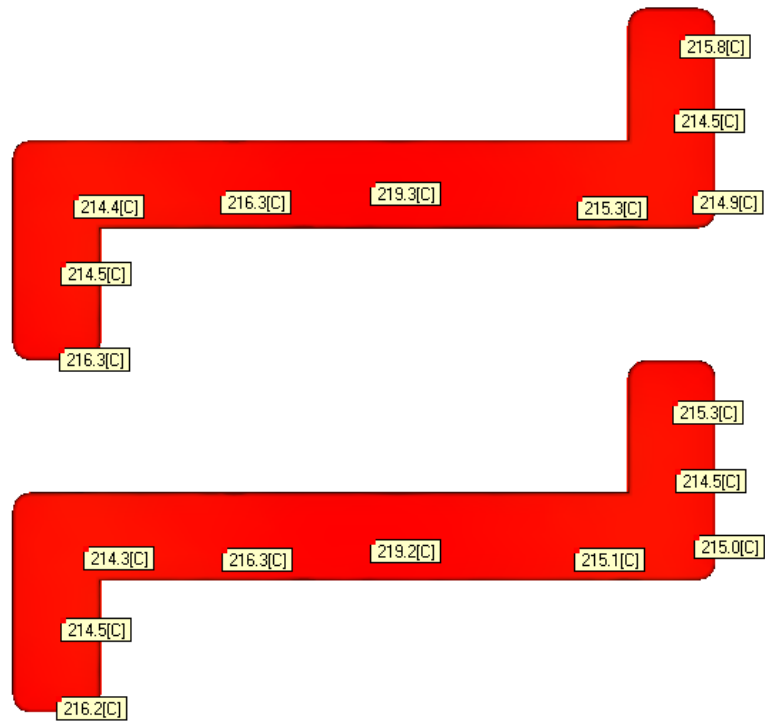
Şekil 6.31 1. çalışmadaki (Kalıp 25 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri.



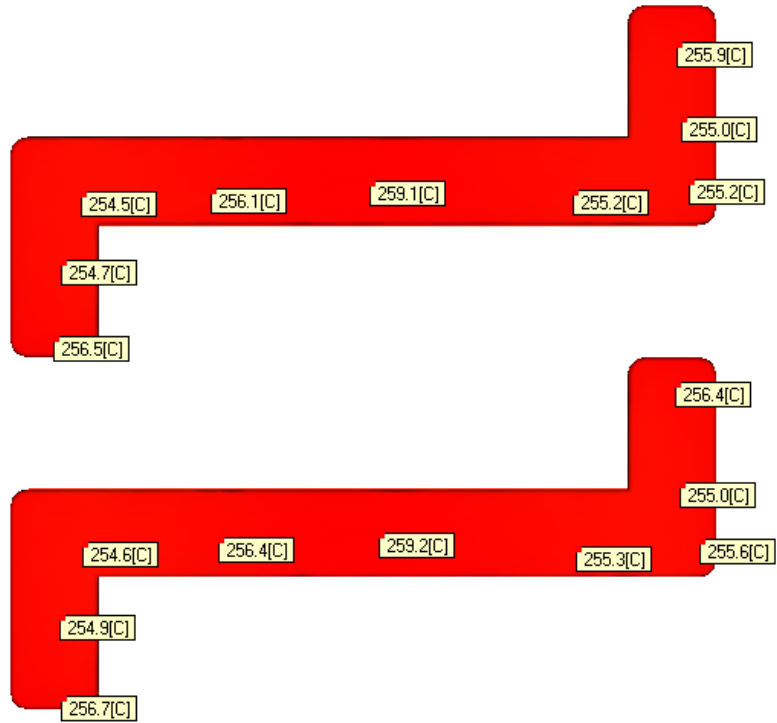
Şekil 6.32 4. çalışmadaki (Kalıp 45 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri.



Şekil 6.33 7. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 180°C) ürün sıcaklık değerleri.



Şekil 6.34 8. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 220°C) ürün sıcaklık değerleri.

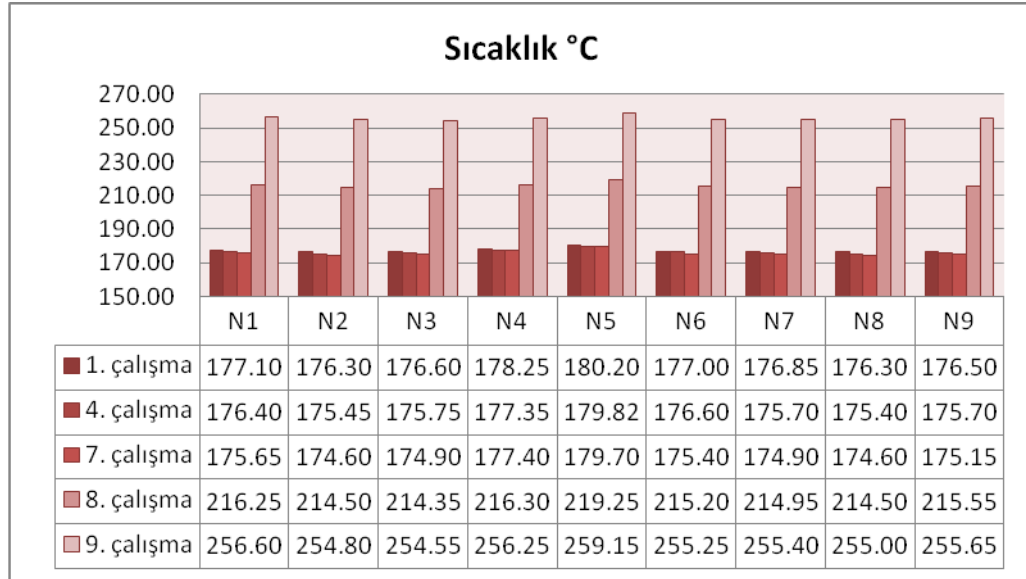


Şekil 6.35 9. çalışmadaki (Kalıp 65 - Eriyik 260°C) ürün sıcaklık değerleri.

Tablo 6.4’de beş farklı durum için ürün sıcaklık sonuçları verilmiştir. Şekil 6.36’da ürün sıcaklık sonuçlarının grafiksel dağılımı görülebilir.

Tablo 6.4 Ürün sıcaklık sonuçları.

ÜRÜN SICAKLIK SONUÇLARI (°C)									
	Noktalar								
Çalışmalar	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
1. çalışma	177.10	176.30	176.60	178.25	180.20	177.00	176.85	176.30	176.50
4. çalışma	176.40	175.45	175.75	177.35	179.82	176.60	175.70	175.40	175.70
7. çalışma	175.65	174.60	174.90	177.40	179.70	175.40	174.90	174.60	175.15
8. çalışma	216.25	214.50	214.35	216.30	219.25	215.20	214.95	214.50	215.55
9. çalışma	256.60	254.80	254.55	256.25	259.15	255.25	255.40	255.00	255.65



Şekil 3.36 Ürün sıcaklık sonuçlarının grafiksel dağılımı.

Sonuçlara bakıldığında, ön görüldüğü gibi yolluk yerine yakın noktalar en yüksek sıcaklık değerlerinde görülmüştür. Ancak anormal görünen parçanın uç noktalarındaki küçük de olsa sıcaklık artışlarıdır. Bunun da nedeni daha önce de değinildiği gibi bu bölgelerde hava hapsi yaşanmasıdır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında plastik enjeksiyon yöntemi ile parça üretilmiştir. Kalıp içerisine yerleştirilen termokupllarla kalıp içi sıcaklık kontrolü yapılarak parçalar üretilmiştir. Üretilen parçaların izod darbe ve üç nokta eğme mekanik testleri yapılmıştır. Daha sonra boyutsal değişimleri gözlemlemek için CMM ölçümleri yapılmıştır. Son olarak Moldflow yazılımı ile sıcaklık değişimlerinin parça üzerine etkilerini önceden tespit etmek için PP malzeme için analizler yapılmıştır.

Öncelikle üç farklı hammadde (PP, PC ve ABS) için 25 deney çalışması yapılmıştır. Her deney şartı için ilerleyen çevrimlerde oluşacak değişimleri de gözlemek için en az 20 adet baskı yapılmıştır. Bu çalışma esnasında her çevrim için 4 farklı termokupl değeri ve tüm proses boyunca 5, 10, 15 ve 20. çevrimlerdeki termokupl sıcaklık değerleri kayıt altına alınmıştır.

Günümüzde plastik enjeksiyon sanayiinde genellikle kalıp içi sıcaklık değişimleri bölgesel olarak dikkate alınmaz. Ancak bu çalışmada çok küçük boyutlara sahip parçalarda bile bölgesel ısı kayıpların ve sıcaklık değişimlerinin büyüklüğü ortaya çıkmıştır.

PP ürünlerde aynı proses içerisinde %25’lik kavite içi sıcaklık farklarına ulaşılmıştır. Özellikle çok hassas toleranslarla çalışılan beyaz eşya ve otomotiv sektörlerinde sıcaklığın nihai ürünün boyutsal ve görsel kalite özelliklerine, proses yeterliliklerine ve ürünün mekanik özelliklerine etkisi düşünüldüğünde bu durum çok büyük kayıplara yol açacaktır. Kalıp içi sıcaklığının 45 ve 65 °C olduğu durumlarda da sırasıyla % 20 ve % 23’lük değişimler gözlenmiştir. Bu sonuçlar da çok ciddi oranlarda değişimlerdir. Kalıp içi sıcaklığının yükselmesi ve azalması ile bölgesel sıcaklık farklarının ortadan

kalkmadığı görülmektedir. Tüm sonuçlar incelendiğinde yaklaşık her proseste görülebilir ki, kalıp içi sıcaklık değişimleri büyük farklılık göstermektedir.

Çok düşük toleranslarla çalışılan otomotiv ve beyaz eşya gibi sektörlerde bu durumun ortadan kalkması ürün kalitesini önemli ölçüde artıracaktır. Soğuma süresi bir plastik enjeksiyon çevriminde en fazla zamanın harcandığı bölümdür. Bu da enjeksiyon sonrası çok yüksek sıcaklıklardaki parçayı mümkün olan en kısa zamanda homojen bir şekilde soğutmak içindir. Ancak kalıp içi sıcaklıklarının bu derece değişken olması nihai ürünün görsel ve boyutsal kalite özelliklerine kesinlikle olumsuz etki edecektir.

PC ürünlerin sıcaklık değişimlerinde de 30, 50 ve 70 °C olmak üzere üç farklı kalıp sıcaklıklarında sırasıyla %25 - %15- %12'lik bir değişim gözlenmiştir. Her üç sonuca da bakıldığında kalıp sıcaklığı yükseldikçe yüzdesel değişim düşmektedir. Buradan PC ürünler için yüksek kalıp sıcaklığı ile çalışmanın kalıp içi sıcaklık değişimlerinin daha düşük değerlerde bulunması nedeniyle nihai ürün kalitesini yükselteceği sonucu çıkarılabilir.

ABS ürünlerin sıcaklık değişimleri incelendiğinde yine 30, 50 ve 70 °C kalıp sıcaklıklarında yüzdesel değişimler sırasıyla %1 - %18 - %14 olarak gerçekleşmiştir. ABS ürünlerde 50 °C ve üzeri kalıp sıcaklıklardan sonra sıcaklık değişim yüzdelерinin azaldığı gözlenmiştir. Ürün kalitesi ve prosesin sürekliliği için yüksek kalıp sıcaklıklarda çalışmak ABS hammadde için de uygundur.

Izod darbe dayanımı sonuçları incelendiğinde PP hammadde için darbeye en dayanıklı durum ocak sıcaklığının 220 °C ve kalıbın 45 °C olduğu 5. çalışmada gözlenmiştir. Ocak sıcaklığının 220 °C ve kalıbın 65 °C olduğu durumda ürün darbe dayanımına en düşük direci göstermiştir. Sonuç olarak darbe dayanımında PP ürün için uygun hammadde çalışma sıcaklığı 220 °C, kalıp sıcaklığı da 45 °C' dir denilebilir. Kalıp sıcaklığını 65 °C olarak uygulamak PP için uygun bir çalışma şartı değildir. Kristallik derecesini esas etkileyen faktör soğuma oranıdır. Yüksek soğuma hızlarında kristallik derecesi düşer. Hızlı soğumadan dolayı moleküller kendileri düzeltmeye yetecek kadar zaman bulamazlar. Tam tersi yavaş soğuma makro moleküllerin daha düzenli bir yapı

oluşturmasına yani daha büyük kristal bölgeler ortaya çıkmasına neden olur. Elastikiyet modülü lineer olarak kristallik derecesine bağlıdır. Ama krsitallik derecesi arttıkça malzemenin kırılganlığı da artar. Bu sebeple parçanın çarpma mukavemeti artan kristallik derecesine bağlı olarak azalır [Akyüz, 2001].

PC ve ABS ürünlerde en yüksek izod darbe dayanımı ocak sıcaklığının 250 °C ve kalıbın 50 °C olduğu 5. çalışmada gözlenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, düşük kalıp içi sıcaklıkları ABS ve PC plastik ürünlerin mukavemet özelliklerini azaltmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alınarak izod darbe dayanımında ABS ve PC ürünler için bu eriyik ve kalıp sıcaklıkları seçilebilir.

Üç nokta eğme sonuçları PP ürün için incelendiğinde daha önce de sayısal sonuçlarla açıklandığı gibi maximum eğilme dayanımı için çok düşük ya da yüksek kalıp sıcaklıkları uygun değildir. 45° C kalıp içi sıcaklıklar ile 4. ve 6. çalışma en iyi sonuçları vermiştir. Aynı şekilde eğilme modülü sonuçları da incelendiğinde 9. durum yani 65 °C kalıp içi sıcaklığı eğilme modülü için en uygun sonucu vermiştir. Bu durumda PP ürünler için yaklaşık 45°C kalıp sıcaklığı eğilme modülü ve maksimum eğilme dayanımları açısından en uygun sıcaklık denilebilir.

PC ürünlerde ise maximum eğilme dayanımı yüksek kalıp ve eriyik sıcaklıklarıyla, ancak eğilme modülünde bunun tam tersi olarak düşük kalıp ve eriyik sıcaklıklarıyla elde edilmiştir. PC ürün için üç nokta eğme sonuçlarına göre maximum eğilme dayanımı 9. çalışmada yani eriyik sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının en yüksek olduğu 70°C ve 280°C olduğu zamanda elde edilmiştir. Eğilme modülü ise ocak ve kalıp sıcaklıklarının düşük olduğu 1. ve 2. çalışmalarda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kalıp sıcaklığı 30 - 50°C ve eriyik sıcaklığının 220°C olduğu çalışmalarda eğilme modülü en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

ABS ürün için üç nokta eğme sonuçları incelendiğinde maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü 7. çalışmada yani eriyik sıcaklığının 220 °C ve kalıp sıcaklığının 70 °C olduğu durumda en yüksek olarak gözlenmiştir. Sıcaklık değişimleri ABS ürünlerde de hem maximum eğilme dayanımını hem de eğilme modülünü PP hammaddeye göre daha fazla etkilemiştir. Sonuç olarak ABS ürün için yüksek kalıp sıcaklıkları maximum eğilme dayanımı ve eğilme modülü için elverişlidir.

CMM ölçümleri sonuçlarına göre kalıp içi sıcaklık değişimlerinin parçanın boyutsal ve kalite özelliklerine etkisi kesin olarak gözlenmiştir. PP, PC ve ABS ürünlerin CMM ölçümlerinde sırasıyla % 4, % 10 ve % 12’lik değişimler gözlenmiştir. Özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde çok dar toleranslarla çalışılmaktadır. Sıcaklık değişimleri sonucu 0.5 mm’den fazla sapma gözlenmiştir. Çoğu ürünlerde 0.1mm toleranslarla çalışılan bu sektörler için elde edilen sonuçlar ihtiyacı karşılayıcı yönde değildir.

Son olarak Moldflow çalışmasıyla kalıp içi ve eriyik sıcaklık değişimlerinin enjeksiyon zamanı, ortalama enjeksiyon hızı, birleşme izi, hava hapsi ve enjeksiyon basıncı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Enjeksiyon hızı eriyik sıcaklığı artışı ile artma göstermiştir. Denemeler esnasında da yüksek eriyik sıcaklıklarında enjeksiyon zamanının düştüğü gözlenmiştir. Hava hapsi analizlerinde parçanın giriş ve tasarımı dolayısıyla çok belirgin değişiklikler gözlenmemiştir. Enjeksiyon hızı da sıcaklık değişimleri ile değişkenlik gösteren bir parametre olmuştur. Kalıp sıcaklıklarının artışı ile enjeksiyon hızında da iki kata kadar bir değişim gözlenmiştir. Birleşme izi analiz sonuçlarına göre kalıp içi ve eriyik sıcaklık değişimleri bu izler üzerinde bir değişikliğe yol açmamıştır. Bu durum da yine ağırlıklı olarak tek girişli yapı ve geometrik özelliklerden kaynaklıdır. Kalıp içi sıcaklık değişimleri enjeksiyon basıncı üzerinde kaydadeğer değişikliklere neden olmuştur. Kalıp sıcaklığı artarken enjeksiyon basıncı azalmıştır. Eriyik sıcaklığının artması da yine kalıp sıcaklığı gibi enjeksiyon basıncının azalmasına neden olmuştur. Hem eriyik sıcaklığının hem de kalıp sıcaklığının artışı enjeksiyon basıncının azalmasına neden olmuştur.

7.2 Öneriler

Yapılan çalışmalar sonucu sıcaklık değişimlerinin nihai ürünün boyutsal ve görsel kalite özelliklerine, proses yeterliliklerine ve ürünün mekanik özelliklerine etkisi düşünüldüğünde elde edilen sonuçlar çok büyük bir zararlara yol açabilecek niteliktedir. Bu nedenle kalıp sıcaklık değişimleri farklarını gidermek için alternatif yöntemler üzerinde çalışma yapılabilir. Kalıp içi sıcaklık kontrolü çeşitli yöntemlerle yaygınlaştırılabilir. Bu önceleri yüksek maliyetli bir çalışma olarak gözüксе de uzun vadeli kullanılan enjeksiyon kalıpları için faydalı olabilir.

Yıl içerisinde 100.000'den fazla baskı yapan, geometrik yapısı ve kalıp tasarımı bu parçaya benzer bir ürün için sıcaklık değişimlerinin parça üzerindeki bu olumsuz etkilerini yok etmek için sıcaklık mümkün olduğunca her bölgede sabitlenmelidir. Bunun için kalıp içi termokupl kullanımı yaygınlaştırılabilir.

Kalıp içi sıcaklığının yükselmesi ve azalması ile bölgesel sıcaklık farklarının ortadan kalkmadığı görülmektedir. Bu durum kalıp içi ısı transferi ve ısı kayıpları üzerine geniş bir araştırma alanı olduğu göstermektedir. Ayrıca ürün yüzey kalitesi yine büyük oranda sıcaklıkla değişmektedir. Ürün yüzey kalitesinin iyileştirilmesi, termokupl kontrollü kalıp içi ve eriyik sıcaklık değişimleri çalışmaları için geniş bir araştırma alanı sunmaktadır.

EK-1 ÇALIŞMADA KULLANILAN PP HAMMADDE ÖZELLİKLERİ

PP – Dow C 705

Technical Information



DOW C705-44NA HP Polypropylene Resin

Natural Polypropylene Impact Copolymer

DOW C705-44NA HP Polypropylene Resin is a high performance impact copolymer developed for thin wall injection moulding. DOW C705-44NA HP Polypropylene Resin is a high melt flow rate impact copolymer featuring improved mechanical properties balance combining superior stiffness, good impact resistance and excellent antistatic properties.

Applications for DOW C705-44NA HP Polypropylene Resin:

- Thin wall containers for food, e.g. margarine tubs, yoghurt pots
- Flower pots
- Cool boxes
- Caps and closures
- Housewares

Properties	Units	Test Method	Value
Physical ⁽¹⁾			
Melt Flow Rate (230 °C, 2.16 kg)	g/10min	ISO 1133	44
Density	g/cm ³	ISO 1183	0.9
Mechanical ^(1,2)			
Flexural Modulus	MPa	ISO 178	1450
Tensile Strength at Yield	MPa	ISO 527-2	28
Tensile Elongation at Yield	%	ISO 527-2	7
Thermal ^(1,2)			
HDT B (0.45 MPa)	°C	ISO 75/B	100
Vicat Softening Point A (10 N)	°C	ISO 306/A	152
Impact ^(1,2)			
CHARPY (notched) Impact Strength (23 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	7.0
CHARPY (notched) Impact Strength (0 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	5.0
CHARPY (notched) Impact Strength (-20 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	4.0

⁽¹⁾ Typical values; not to be construed as specification limits.

⁽²⁾ Injection moulded specimens.

EK-2 ÇALIŞMADA KULLANILAN PC HAMMADDE ÖZELLİKLERİ

SABIC
Innovative
Plastics™

سابك
sabic

Xenoy® Resin CL100

Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	UNIT	STANDARD
IMPACT			
Izod Impact, notched 80*10*4 -30°C	21	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80*10*4 sp=62mm	50	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80*10*4 sp=62mm	35	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80*10*4 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80*10*4 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
THERMAL			
Vicat Softening Temp, Rate B/50	150	°C	ASTM D 1525
HDT, 1.82 MPa, 3.2mm, unannealed	95	°C	ASTM D 648
CTE, -40°C to 40°C, flow	7.3E-05	1/°C	ASTM E 831
CTE, -40°C to 40°C, xflow	7.7E-05	1/°C	ASTM E 831
CTE, 23°C to 80°C, flow	9.E-05	1/°C	ISO 11359-2
CTE, 23°C to 80°C, xflow	9.E-05	1/°C	ISO 11359-2
Vicat Softening Temp, Rate B/120	125	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	127	°C	ISO 306
HDT/Ae, 1.8 MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	90	°C	ISO 75/Ae
PHYSICAL			
Specific Gravity	1.22	-	ASTM D 792
Mold Shrinkage, flow, 3.2 mm	0.7 - 1	%	GE Method
Melt Flow Rate, 250°C/5.0 kgf	14	g/10 min	ASTM D 1238
Density	1.22	g/cm ³	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/sat)	0.5	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.15	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 250°C/5.0 kg	13	cm ³ /10 min	ISO 1133

Xenoy® Resin CL100

Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

PROCESSING PARAMETERS	TYPICAL VALUE	UNIT
Injection Molding		
Drying Temperature	90 - 100	°C
Drying Time	2 - 4	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	255 - 270	°C
Nozzle Temperature	250 - 265	°C
Front - Zone 3 Temperature	250 - 270	°C
Middle - Zone 2 Temperature	240 - 265	°C
Rear - Zone 1 Temperature	230 - 250	°C
Hopper Temperature	40 - 60	°C
Mold Temperature	60 - 80	°C

EK-3 ÇALIŞMADA KULLANILAN ABS HAMMADDE ÖZELLİKLERİ



Inspection certificate (EN 10204-3.1)

LANXESS Deutschland GmbH
Kaiser Wilhelm Allee
51369 Leverkusen

Arcelik A.S.
Aysel Atar
34950 ISTANBUL-TUZLA
TÜRKİ

2005-09-22

Page 1

Product name		Product number	
LUSTRAN ABS M201AS 011439		02524418	
Customer purchase order data			
Ship-to party 2469385 Arcelik A.S.		Order quantity 20000 KG	Your purchase order number cmi1080_05/4 pos.8
Order data			
Order no. 3020101147	Delivery no. 3006176935 / 10	Quantity delivered 20525 KG	
Batch data			
Batch no. 12CL5J015L	Quantity delivered 7500 KG		
Inspections 2005-09-12 040000602943		Results	Units
ISO 180/1A			
aIN (23 Cel)		16,5	kJ/m²
ISO 2039-1			
Ball Indentation Hardness H 30		101	N/mm²
DIN EN ISO 1133			
MVR (220°C/10,0 kg)		20,7	cm³/10 min
DIN 6174 color difference CIELAB			
Delta L		0,00	
DIN 6174 color difference CIELAB			
Delta a		-0,24	
DIN 6174 color difference CIELAB			
Delta b		-0,11	
DIN 6174 color difference CIELAB			
Delta E		0,26	

Responsible contact in the event of any enquiries:
Antonio Prunera Casellas

Tel.: +34 977358298
Fax: +34 977358232
Mail: antonio.pruneracasellas@lanxess.com

The data presented above relate to characteristics. They do not represent any assurance or warranty. This information does not release the customer from the obligation to carry out incoming inspections of goods, either as agreed or as required under the regulations.

This information has been issued by computer and is valid without signature.

Authorized inspection representative: Dr. Ewald Kühl

EK-4 ÇALIŞMADA KULLANILAN ENJEKSİYON MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ

Mitsubishi 50 MEt III									
Injection	Model	Units	50 MEt III						
	Injection system	-							In line screw
	Injection stroke	mm	64	72	72	96		112	
	Screw diameter	mm	16	18	20	20	24	28	32
	Standard	Theoretical injection capacity	cm ³	13	18	23	23	43	69
		Injection unit							1.5H
		Injection rate	cm ³ /s				94	136	185
		Max. injection speed	mm/s					300	
	High-speed	Max. injection pressure	MPa				274.5	235.4	182.3
		Max. injection holding pressure	MPa				274.5	196.0	147.0
		Injection unit			0.7H				2.5H
		Injection rate	cm ³ /s	60	76	94		136	185
	Superhigh speed	Max. injection speed	mm/s		300			300	
		Max. injection pressure	MPa	254.9	254.9	235.2		274.5	235.2
		Max. injection holding pressure	MPa	254.9	254.9	235.2		274.5	176.4
		Injection unit			0.7U				2.5U
		Injection rate	cm ³ /s	101	127	157		226	308
		Max. injection speed	mm/s		500			500	
		Max. injection pressure	MPa	254.9	254.9	235.2		274.5	235.2
		Max. injection holding pressure	MPa	254.9	254.9	235.2		274.5	176.4
Clamping	Recovery rate (PS)		kg / h	11.1	14.4	17.6		13.9	25.0
	Screw revolution speed		min ⁻¹		500			350	
	Nozzle pressing force		kN		9.8			19.6	
	Clamping system		-						Double toggle
	Clamping force		kN					490	
	Clamping stroke		mm					270	
	Min. mold height		mm					150	
	Max. mold height		mm					380	
	Tie bar clearance (H×V)		mm					360x325	
	Die plate size (H×V)		mm					500x460	
	Ejector force		kN					19.2	

Ejector stroke

mm

70

EK-5 ÇALIŞMADA KULLANILAN TERMOKUPLUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Rezistans Termometre - Pt100 Bayonet Tip Pt-100 RTD Sensör	
Ürün Tanımı	<u>Bu Tip (RTD) Pt100' den Faydalanan Sektörler :</u> Gıda, İlaç Üretim, Kimya, Plastik Kalıp <u>Bu Tip (RTD) Pt100' ün Kullanıldığı Prosesler :</u> Kalıp Sıcaklığı, Ambalaj Makinaları, Laboratuvar Uygulamaları Etüv Fırınları, Sabit Yüzey Sıcaklığı ölçümü
Teknik Özellikleri	Ölçüm Aralığı : -10 ...+280 °C Ölçüm Sensörü : Pt100 Tek Elemanlı, 2 Telli Kablo Boyu : 3 Mt. Dalma Boyu : 30 mm Koruyucu Kılıf Çapı : Ø6 mm Kablo İzolasyonu : Teflo + Silikon + Metal Örgü Termoçift Koruyucu Kılıftan İzoleli Montaj Bağlantısı : R1/4" Klipsli, kitlenebilir yaylı montaj. Koruyucu Kılıf : ss304 Paslanmaz Çelik ** Kablo çıkışı sıcak ve nemli ortam koşullarına dayanıklı dolgu malzemesi ile yapışıktır. Kablo çıkışı koruyucu kılıfa altı köşe preslenerek sabitlenmiştir. Kablo yayla desteklenerek esnek kullanımlar için mukavemeti artırılmış ve kullanım ömrü uzatılmıştır.
Ürün Modeli	SC-SSRTD-100-070

EK-6 ÇALIŞMADA KULLANILAN TERMOKUPLUN DİRENÇ TABLOSU

	Pt 100 RTD 0.....850°C						Direnç Tablosu				
	+0°C	+1°C	+2°C	+3°C	+4°C	+5°C	+6°C	+7°C	+8°C	+9°C	+10°C
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	146.07
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	149.83
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	153.58
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	157.33
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	161.05
160	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	164.77
170	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	168.48
180	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	172.17
190	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	175.86
200	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	179.53
210	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	183.19
220	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	186.84
230	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	190.47
240	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74	194.10
250	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	197.71
260	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	201.31
270	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	204.90
280	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	208.48
290	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	212.05
300	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	215.61
310	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	219.15
320	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	222.68
330	222.68	223.04	223.39	223.74	224.09	224.45	224.80	225.15	225.50	225.85	226.21
340	226.21	226.56	226.91	227.26	227.61	227.96	228.31	228.66	229.02	229.37	229.72
350	229.72	230.07	230.42	230.77	231.12	231.47	231.82	232.17	232.52	232.87	233.21
360	233.21	233.56	233.91	234.26	234.61	234.96	235.31	235.66	236.00	236.35	236.70
370	236.70	237.05	237.40	237.74	238.09	238.44	238.79	239.13	239.48	239.83	240.18
380	240.18	240.52	240.87	241.22	241.56	241.91	242.26	242.60	242.95	243.29	243.64
390	243.64	243.99	244.33	244.68	245.02	245.37	245.71	246.06	246.40	246.75	247.09
400	247.09	247.44	247.78	248.13	248.47	248.81	249.16	249.50	249.85	250.19	250.53
410	250.53	250.88	251.22	251.56	251.91	252.25	252.59	252.93	253.28	253.62	253.96
420	253.96	254.30	254.65	254.99	255.33	255.67	256.01	256.35	256.70	257.04	257.38
430	257.38	257.72	258.06	258.40	258.74	259.08	259.42	259.76	260.10	260.44	260.78
440	260.78	261.12	261.46	261.80	262.14	262.48	262.82	263.16	263.50	263.84	264.18
450	264.18	264.52	264.86	265.20	265.53	265.87	266.21	266.55	266.89	267.22	267.56
460	267.56	267.90	268.24	268.57	268.91	269.25	269.59	269.92	270.26	270.60	270.93

KAYNAKLAR

1. Akkurt., S., 1991, “Plastik Malzeme Bilgisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
2. Akyüz., Ö.F., 2001, “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, PAGYAY Yayıncılık, İstanbul.
3. Altan, M., 2007, “Plastik enjeksiyonda geri dönüşümlü malzeme katkısı ile işlem parametrelerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
4. Bendada, A., Derdouri, A., Lamontagne, M., Simard, Y., 2004, “Analysis of thermal contact resistance between polymer and mold in injection molding” Applied Thermal Engineering 24 (2004) 2029–2040
5. Bushko C., Stokes V.K., 1996, “ Effects of mold surface temperature Differences on Warpage and Residual Stresses” POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, MID-FEBRUARY 1996. Vol. 36, NO. 3
6. Costa, M.H., Ramosa, D.V., Oliveira, G.M., 2007, ”Degradation polypropylene (PP) during multiple extrusions: Thermal analysis, mechanical properties and analysis of variance” Polymer Testing 26 (2007) 676–684
7. Çapan, L., 2003, “Metallere plastik Şekil verme”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
8. Debey, R., Bluhm, D., Habets, N., Kurz, H., 1997, “Fabrication of a planar thermocouples for real – time measurements of temperature profiles in polymer melts” Sensors and Actuators A 58 (1997) 179-184
9. Hage, E., Hale, W., Keskkula, H., Pault, D.R., 1997,” Impact modification of poly(butylene terephthalate) by ABS materials” 3248 POLYMER Volume 38 Number 13 1997.
10. Kaluç E., 1996, “Plastik teknolojisi ders notları”, Kocaeli.
11. Kurt, M., Kamber, O.S., Kaynak, Y., Atakök, G., Girit O., 2009, “Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products” Materials and Design 30 (2009) 3217–3224

12. Li, Z.M., Qian, Z.Q., Yang, M.B., Yang, W., Xie, B.X., Huang, R., 2005
“Anisotropic microstructure-impact fracture behavior relationship of polycarbonate/polyethylene blends injection-molded at different temperatures”
Polymer 46 (2005) 10466–10477.
13. Malloy, A, 1994 “Plastic part design for injection molding”, Hanser, New York.
14. Moldflow Coopertaion, 2004, “Moldflow 3D Manual”.
15. Özbay, A., 2008, “Alternatif kalıp malzemelerinin değişik parametrelerden elde edilmiş nihai ürünün mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması”, GYTE, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
16. Özçelik, B., 2007, “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığı Tasarımı GYTE Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları”, Kocaeli.
17. Öztürk, M., 2005, “Daha İyi Bir Çevre İçin Plastiklerin Geri Kazanılması”, Çevre Bakanlığı, Ankara.
18. Pérez, J.M., Vilas, J.L., Laza, J.M., Arnáiz, S., Mijangos, F., Bilbao, E., M. Rodríguez, M., León, L.M., 2010, “Effect of reprocessing and accelerated ageing on thermal and mechanical polycarbonate properties” Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 727–733.
19. Shia, C.C., Yi C., Yeon, P.C., Yen, C.C., Chia, Y. T., 2009 “ Effect of cavity surface coating on mold temperature variation and the quality of injection molded parts” International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009) 1030–1035.
20. Smith, F.W., 2006 “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği” University of Central Florida, Florida.
21. Tanrikulu, R., 2005, “Plastik ve Enjeksiyonu Notları”, Kocaeli.
22. Telli, S., 2009, “PP malzemelerin geri dönüşümünde elde edilen ürünlerin mekanik özelliklerinin araştırılması”, GYTE, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
23. Tiganis, B.E., Burn, L.S., Davis, P., Hill, A.J., 2002, “Thermal degradation of acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) blends “ Polymer Degradation and Stability 76 (2002) 425–434.
24. Wikipedia Özgür Ansiklopedi, “Polikarbonat” 03.04.2010, Erişim tarihi: 05.05.2010,

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Polikarbonat>

25. Yaşar, H., 1992, “Plastikler Dünyası” TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

18 Nisan 1982 yılında Kocaeli / Gebze’ de doğdu. İlköğretimini sırasıyla Atatürk İlkokulu ve Gebze Ortaokulu’nda tamamladı. 1996 - 2000 yılları arasında STFA Anadolu Teknik Lisesi, Makine Bölümü’nde eğitim gördü. 2002 yılında girdiği Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Eğitimi Anabilimdalı’ndan 2006 yılında mezun oldu. Aynı yılın sonunda başladığı askerlik görevini 2007 Mayıs ayında tamamladı. 2007 Eylül ayında kabul edildiği Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği yüksek lisans programı 2008 yılı itibarı ile Makine Mühendisliği olarak değiştirildi. 2007 Ekim ayından 2009 Eylül ayına kadar Galsan Plastik A.Ş.’ de İşletme Proje Sorumlusu olarak çalıştı. 2009 yılı Eylül ayında Erasmus Değişim programı ile 6,5 ay Ruhr Universität Bochum, Computational Engineering Bölümü’nde Master tezi üzerine öğrenim gördü. 2010 Temmuz ayı itibarıyla Sekiso Otomotiv A.Ş.’de Proje ve Proses Mühendisliği, Departman Lideri olarak çalışma hayatına devam etmektedir.