

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN  
ÜRETİLEN İNCE CİDARLI PLASTİK PARÇALARIN ÜRETİM  
ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nedime ÖZDEMİR**

**Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2018**



**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN  
ÜRETİLEN İNCE CİDARLI PLASTİK PARÇALARIN ÜRETİM  
ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU**



**Nedime ÖZDEMİR**

**(155101004)**

**Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

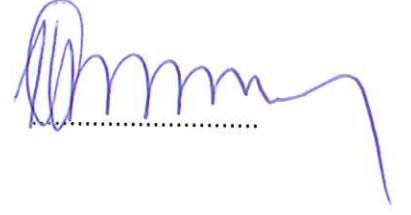
**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ**

**HAZİRAN 2018**




YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 155101004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Nedime ÖZDEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN ÜRETİLEN İNCE CİDARLI PLASTİK PARÇALARIN ÜRETİM ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ**  
Yalova Üniversitesi



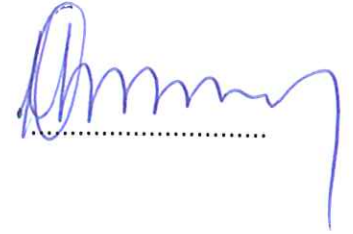
**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**  
Yalova Üniversitesi



**Doç. Dr. Halil DEMİRER**  
Marmara Üniversitesi



**Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ**  
Yalova Üniversitesi



**Teslim Tarihi :** 18 Mayıs 2018  
**Savunma Tarihi :** 26 Haziran 2018





*Aileme, Arkadaşlarıma*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez hazırlama dönemi boyunca ilminden faydalandığım, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam, sayın Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ'e, Üniversite hayatım boyunca engin bilgilerinden yararlandığım beni mesleğime hazırlayan tüm Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi hocalarıma, ve her türlü soruma her zaman yanıt alabildiğim güleryüzlü Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına, Bu günlere gelmemde desteğini hiç esirgemeyen her hatamda ya da sevincimde koşulsuz yanımda olan aileme, Tez dönemi boyunca hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen başta Fompak Ar&Ge Tasarım ekibi olmak üzere tüm Fompak ailesine sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2018

Nedime ÖZDEMİR  
(Polimer Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET .....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Polimerik Malzemeler .....	1
1.1.1 Polimerik Malzemelerin Tarihi Ve Gelişimi.....	1
1.1.2 Polimerlerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Organik Ve İnorganik Katkı Maddeleri .....	5
1.1.2.1 Organik Katkılar.....	5
1.1.2.1.1 Antioksidanlar .....	5
1.1.2.1.2 İç Kaydırıcılar .....	5
1.1.2.1.3 Ayırıcı Ajanlar .....	6
1.1.2.1.4 Plastikleştiriciler .....	6
1.1.2.1.5 Darbe Direnci Artırıcılar .....	7
1.1.2.1.6 Elektrostatik Kontrol Ajanları .....	7
1.1.2.1.7 Boyalar ve Organik Pigmentler .....	7
1.1.2.2 İnorganik Katkılar .....	8
1.1.3 Polimerlerin Viskozitesi Ve Viskoelastitesi .....	9
<b>2. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Plastik Enjeksiyon Kalıbı ve Yapı Elemanları.....	15
2.1.1 Yolluk Burcu.....	15
2.1.2 Yolluk ve Yolluk Girişleri .....	17
2.1.3 Çıkarıcı Set.....	17
2.1.4 Temel Klavuz Elemanları .....	18
2.1.5 Çıkarıcı Pimler Ve Çıkarma İçin Özel Bileşenler.....	20
2.1.6 Çıkarıcı Set Klavuzları ve Geri Döndürme Elemanları .....	22
2.2 Enjeksiyon Sistemi Ve Yolluk Kesitleri .....	22
2.2.1 Sıcaklık.....	24
2.2.1.1 Eriyik Sıcaklığı .....	24
2.2.1.2 Kalıp Sıcaklığı.....	26
2.2.1.2 Basınç .....	28
2.2.1.2.1 Enjeksiyon Basıncı.....	29
2.2.1.2.2 Tutma Basıncı .....	30
2.2.1.2.3 Kilitleme Basıncı.....	30
2.2.1.3 Time .....	31
2.2.1.4 Distance.....	31
2.3 Yolluk Girişi Ve Tasarımı.....	34
2.3.1 Giriş Şekilleri .....	37

2.3.2	Enjeksiyon Kalıplarının Soğutulması.....	39
2.3.3	Enjeksiyon Kalıplama İle Üretilen Parça Hataları .....	44
<b>3.</b>	<b>BILGISAYAR DESTEKLI PLASTIK ENJEKSİYON SIMULASYONU</b>	<b>57</b>
3.1	Kalıp akış (Moldflow) Analizleri .....	57
3.1.1	Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	60
3.2	Proses Parametrelerinin Belirlenmesi .....	67
3.2.1	Malzemenin Viskozite Eğirisi .....	67
3.2.2	Kalıp Gözlerinde Ağırlık Dengesi.....	69
3.2.3	Basınç Düşüşünün Gözlenmesi .....	71
3.2.4	Proses Penceresi Çalışılması .....	72
3.2.5	Yolluğun Katılaşması .....	72
3.2.6	Optimum Soğutma Zamanının Belirlenmesi.....	74
3.3	Deney Tasarımı (DOE) .....	74
3.4	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	85
3.4.1	Dolum Ve Ütuleme Analizi Sonuçları .....	85
3.4.1.1	Dolum Zamanı (Fill Time) Sonucu .....	86
3.4.1.2	Hız/Basınç Anındaki Basınç (Pressure at V/P Switchover).....	86
3.4.1.3	Ütuleme Basıncı Dağılımı (Packing Pressure ).....	87
3.4.1.4	Akış Önü Sıcaklığı (Temperature at Flow Front) .....	88
3.4.1.5	Katılaşma Gösteren Bölgeler (Frozen Layer Fraction) .....	89
3.4.1.6	Enjeksiyon Noktasındaki Basınç & Kilitleme Kuvveti.....	90
3.4.1.7	Çöküntü İzleri (Sink Marks Estimate) .....	90
3.4.1.8	Birleşim İzi & Gaz oluşumu (Weld line & Air Traps).....	91
3.4.2	Soğutma Analizi Sonuçları.....	92
3.4.2.1	Soğutucu Devre Sıcaklığı (Circuit Coolant Temperature).....	93
3.4.2.2	Sıcaklık, Parça (Temperature, Part) .....	93
3.4.3	Çarpılma Analizi Sonuçları .....	94
<b>4.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	<b>99</b>
4.1	Spiral Test Kalıbı İle Akış Mesafesi Tayini .....	99
4.2	Yapılan Deneysel Çalışmalar .....	108
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>111</b>
5.1	Elde Edilen Enjeksiyon Verileri.....	111
5.2	Korelasyon Grafiği .....	111
5.3	Elde Edilen Kalıp Akış (Moldflow) Simülasyon Verileri.....	112
5.3.1	Akış Önü Sıcaklığı .....	112
5.3.2	Basınç Dağılımı ve Akış Mesafesi Sonuçları.....	116
5.3.3	Dolum Süresi.....	118
5.3.4	Akış Önü Hızı.....	120
5.4	Sonuçlardan Elde Edilen Tablolar ve Grafikler .....	123
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>133</b>
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>135</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>141</b>

## KISALTMALAR

<b>PBT</b>	: Poli Bütülen Terafitalat
<b>GF</b>	: Cam elyaf
<b>HDPE)</b>	: Yüksek yoğunluklu polietilen
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>RHCM</b>	: Hızlı ısıtma soğutma ile kalıplama
<b>DOE</b>	: Deney tasarımı
<b>CAD</b>	: Bilgisayar destekli tasarım
<b>CAE</b>	: Bilgisayar destekli mühendislik
<b>MFA</b>	: Kalıp akış (Moldflow) analizi
<b>OEM</b>	: Orjinal ürün üreticisi
<b>V/P</b>	: Hız/Basınç
<b>XT</b>	: Parasolid
<b>STP</b>	: Step
<b>S/N</b>	: Sinyal /Gürültü oranı
<b>PA/ABS</b>	:Poliamid/Akrilonitril Bütadien Stiren
<b>PET</b>	: Polietilen terafitalat
<b>PEEK</b>	: Polieter eter keton
$\eta_2$	: Viskos akış
$\eta_3$	: Dashpot akış
<b>E<sub>3</sub></b>	: Elastik deformasyon
<b>Tg</b>	: Camsı geçiş sıcaklığı
<b><math>\epsilon</math></b>	: Uzama



## ÇİZELGE LİSTESİ

## Sayfa

Çizelge 1.1: Polimerlerin tarihçesi ve kullanımı .....	2
Çizelge 1.2: Bazı PVC plastikleştiricilerin kimyasal yapısı[1] .....	6
Çizelge 2.1: Yuvarlak çıkarıcı pimler, düz itici pimler, çıkarıcı kovanlar, çıkarılan parça[8] .....	20
Çizelge 2.2: Çeşitli plastikler için tavsiye edilen eriyik sıcaklıkları[12].....	25
Çizelge 2.3: Çeşitli malzemeler için önerilen kalıp sıcaklıkları[12] .....	27
Çizelge 2.4: Eriyik indeksi değerinin plastik özelliklerine etkisi .....	29
Çizelge 2.5: Parametre değişikliğinin olabilecek etkileri .....	33
Çizelge 2.6: Malzemeye göre tavsiye edilen yolluk giriş kesitleri[13] .....	36
Çizelge 2.7: Çıkış sıcaklığına erişme zamanı karşılaştırılması[19].....	44
Çizelge 2.8: Enjeksiyon kalıplama proses çevrimi[23] .....	44
Çizelge 2.9: Proses parametrelerini optimize etmek için yapılmış olan çalışmalar[31] .....	47
Çizelge 3.1: Enjeksiyon makinesi parametreleri .....	68
Çizelge 3.2: Kalıp gözleri ağırlık dağılımı .....	69
Çizelge 3.3: Kalıp gözü ağırlık dağılımı.....	70
Çizelge 3.4: Tutma basıncı zamanına karşın baskı ağırlığı .....	73
Çizelge 3.5: 2 seviye, 3 faktör ve bir tepki ile deney tasarımı.....	75
Çizelge 3.6: Faktörlerin seviye tanımlanması .....	76
Çizelge 3.7: Etki değerlerine göre değer seviyelerinin belirlenmesi .....	77
Çizelge 4.1: Malzeme Çekme özellikleri.....	106
Çizelge 4.2: Kullanılan enjeksiyon makinesi özellikleri .....	108
Çizelge 4.3: Enjeksiyon ayarları tablosu .....	109
Çizelge 4.4: Spiral datanın ölçülerini içermektedir .....	110
Çizelge 5.1: Farklı basınçlarda akış mesafesinin gösterilmesi .....	124





## ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Kötü karıştırılmış polimer kompaund örneği .....	5
Şekil 1.2: İdeal elastik tepki.....	10
Şekil 1.3: Teorik viskoz davranış .....	11
Şekil 1.4: Kauçuğumsu elastikiyet .....	12
Şekil 1.5: Maxwell Eleman.....	12
Şekil 1.6: Voigth Eleman.....	12
Şekil 1.7: 4 parametrelili model.....	13
Şekil 2.1: Basit kalıp yapı elemanları[3] .....	15
Şekil 2.2: Yolluk ve giriş gösterimi [5] .....	16
Şekil 2.3: Yolluk burcunun Fonksiyonu[4] .....	16
Şekil 2.4: Kalıp gösterimi .....	17
Şekil 2.5: Çıkarıcı sistem bileşenleri[7].....	18
Şekil 2.6: Klavuz pimlerinin gösterimi.....	19
Şekil 2.7: Konik kilitleme elemanları .....	19
Şekil 2.8: Düz yan kilitler .....	20
Şekil 2.9: Yolluk burcu çekiciler .....	21
Şekil 2.10: Eğilebilir çıkarıcı ve sıyırıcı plaka .....	21
Şekil 2.11: Enjeksiyon kalıplama makinesi[9] .....	22
Şekil 2.12: Enjeksiyon kalıplama makinesi vida tipi gösterimi [10].....	23
Şekil 2.13: Parametreler.....	23
Şekil 2.14: Isıtma silindiri .....	24
Şekil 2.15: Vida hareket halinde iken kovan bölgeleri [12] .....	26
Şekil 2.16: Kalıp sıcaklığının kontrol edilmesi .....	27
Şekil 2.17: Eriyik akış indeksi [11] .....	29
Şekil 2.18: Hidrolik sistem elemanları [1].....	30
Şekil 2.19: Enjeksiyon kalıplama parametre değişkenliklerinin moleküler oryantasyona etkisi 1) kalıp sıcaklığı 2) kalınlık 3)enjeksiyon basıncı 4) ütüleme zamanı 5) yolluk sıcaklığı [12] .....	31
Şekil 2.20: Et kalınlığına karşın soğutma zamanı .....	31
Şekil 2.21: Kalıp kapama mesafesi.....	32
Şekil 2.22: Enjeksiyon tutma mesafesi.....	32
Şekil 2.23: Yastıklama mesafesi.....	33
Şekil 2.24: Kalıplanmış parçanın çıkarılma mesafesi.....	33
Şekil 2.25: Yolluk girişinin kalın bölgeden ince bölgeye verilmesi.....	35
Şekil 2.26: Yolluk tasarımı örnekler[14] .....	36
Şekil 2.27: Başlıca soğuk yolluk giriş tipleri.....	37
Şekil 2.28: Sondan girişli ince dikdörtgenel kalıp boşluğunda çok yüksek aspect oranıyla yüksek enjeksiyon hızında dolumun şematik gösterimi[12].....	38
Şekil 2.29: Disk tipi kalıp boşluğunda merkez girişli enjeksiyon kalıplamada yüksek enjeksiyon hızlarında dolum şeklinin şematik gösterimi [12] .....	39
Şekil 2.30: Enjeksiyon kalıplama için şematik diagram[15].....	40
Şekil 2.31: Konformal soğutma kanalı tipleri[19].....	41

Şekil 2.32: Geliştirilecek kalıp ve ürünü[19].....	41
Şekil 2.33: Zigzag ve spiral soğutma kanalı karşılaştırılması[19].....	42
Şekil 2.34: Mevcut soğutma kanalları ve kalıplanan parça üzerindeki sıcaklık dağılımları[19].....	42
Şekil 2.35: Bölgesel spiral soğutma kanalları[19].....	43
Şekil 2.36: a) Konvansiyonel b)Konformal soğutma ile parça üzerinde sıcaklık dağılımı[19].....	43
Şekil 2.37: Bitmiş ürün a) Konvansiyonel b) Konformal soğutma[19].....	44
Şekil 2.38: Plastik enjeksiyon kalıp modeli.....	45
Şekil 2.39: Kalınlık geçişleri[29].....	46
Şekil 2.40: Tasarım karşılaştırması. © Elsevier. Reproduced by permission of Elsevier. Permission to reuse must be obtained from the rightsholder.[30] .....	47
Şekil 2.41: Akış yolunda farklı kalıp sıcaklıklarında hacimsel çekme değişimleri görülmektedir .....	52
Şekil 2.42: Farklı soğutma zamanlarında akış yolu boyunca görülen hacimsel çekme değerleri.....	52
Şekil 2.43: Dolum simülasyonu 0.8P (sol), 0.55P (sağ).....	53
Şekil 2.44: Akış yolu boyunca farklı basınçlarda hacimsel çekme .....	54
Şekil 2.45: Akış yolu boyunca farklı ütüleme zamanlarında hacimsel çekme .....	54
Şekil 2.46: Birleşim izleri gösterimi[59] .....	56
Şekil 3.1: Best gate location analizi sonucu .....	58
Şekil 3.2: Tek ve çift giriş gösterilmesi[61] .....	59
Şekil 3.3: Kalıp akış (Moldflow)programı arayüzü.....	60
Şekil 3.4: 2D ve 3D mesh modeline göre yapılabilecek analizler .....	61
Şekil 3.5: Analiz modeline göre model hazırlama aşamaları .....	61
Şekil 3.6: Modellerin import edildikten sonra ve mesh atıldıktan sonraki halleri bulunmaktadır.....	62
Şekil 3.7: Mesh kalitesi kontrolü .....	63
Şekil 3.8: Malzeme veritabanı .....	64
Şekil 3.9: Best gate location analiz sonucu.....	65
Şekil 3.10: Molding window sonucu .....	65
Şekil 3.11: Proses ayarlarının yapılması.....	66
Şekil 3.12: Viskozite gösterimi.....	67
Şekil 3.13: Efektif viskozite grafiksel gösterimi[65].....	69
Şekil 3.14: Kalıp gözü dengesi grafiği.....	70
Şekil 3.15: Kalıp gözü dengesi grafiği.....	71
Şekil 3.16: Basınç düşüşü grafiği ve iyileştirme[65].....	71
Şekil 3.17: Kozmetik proses penceresi .....	72
Şekil 3.18: Tutma basıncı zamanına karşın baskı ağırlığı grafiği.....	74
Şekil 3.19: Enjeksiyon kalıplama prosesinde girdi, proses ve çıktı akışı .....	75
Şekil 3.20: Etkilerin Pareto eğrisinde gösterilmesi.....	77
Şekil 3.21: Değer seviyelerinin gösterilmesi .....	78
Şekil 3.22: Kalıp akış (Moldflow) deney tasarımı ekranı.....	80
Şekil 3.23: Kalite kriterleri üzerinde parametrelerin etki yüzdeleri .....	81
Şekil 3.24: Beklenen kalite kriterleri için optimum proses şartları .....	82
Şekil 3.25: Optimizasyon çalışması yapılmış parça .....	83
Şekil 3.26: Sonuçların görsel incelemeleri .....	84
Şekil 3.27: Dolum ve ütüleme analizi sonuçları .....	85
Şekil 3.28: Fill time sonucu .....	86
Şekil 3.29: V/P anındaki basınç değeri görülmektedir. ....	87

Şekil 3.30: Parça üzerinde görülen basınç dağılımları .....	87
Şekil 3.31: Basınç dağılımlarının etkisini göreceğimiz çarpılma değerleri.....	88
Şekil 3.32: Akış önü sıcaklık sonucu.....	89
Şekil 3.33: Katılaşımlı bölgeler oranı sonucu gösterimi .....	89
Şekil 3.34: Enjeksiyon noktasındaki basınç ve kilitleme kuvveti sonucu .....	90
Şekil 3.35: Çökme derinliği sonucu .....	91
Şekil 3.36: Birleşim izleri ve gaz bölgeleri .....	91
Şekil 3.37: Soğutma analizi sonuçları .....	92
Şekil 3.38: Soğutucu akışkan sıcaklığı .....	93
Şekil 3.39: B yüzeyindeki sıcaklık kontrolü.....	94
Şekil 3.40: A yüzeyindeki sıcaklık kontrolü .....	94
Şekil 3.41: Çarpılma analizi sonuçları.....	95
Şekil 3.42: X yönündeki çarpılma .....	96
Şekil 3.43: Y yönündeki çarpılma .....	96
Şekil 3.44: Z eksenindeki çarpılma .....	97
Şekil 4.1: Enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş termoplastik spiral[67] .....	99
Şekil 4.2: 3D Kalıp gösterimi .....	100
Şekil 4.3: Kalıp gösterimi .....	101
Şekil 4.4: Spiral kalıbın 50 mm mesafede bölündüğünün gösterimi.....	102
Şekil 4.5: 50 mm aralıklarla bölünmüş parçanın gösterimi.....	102
Şekil 4.6: Sprue giriş ölçüleri .....	103
Şekil 4.7: Malzeme tanıtımı ve önerilen proses şartları .....	104
Şekil 4.8: Malzemenin PVT grafiği.....	105
Şekil 4.9: Malzemenin mekanik özellikleri .....	105
Şekil 4.10: Makine bilgisi.....	108
Şekil 4.11: Enjeksiyon ayarları.....	109
Şekil 4.12: Baskı anındaki parça alınması.....	110
Şekil 5.1: Baskıdan alınan parçalar .....	111
Şekil 5.2: Basınca bağlı olarak akış mesafesinin değişim korelasyon eğrisi.....	112
Şekil 5.3: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 20 MPa.....	113
Şekil 5.4: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 60 MPa.....	114
Şekil 5.5: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 120 MPa.....	115
Şekil 5.6: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 180 Mpa .....	115
Şekil 5.7: Basınç ve akış mesafesi @ 20 MPa.....	116
Şekil 5.8: Basınç ve akış mesafesi @ 60 MPa.....	116
Şekil 5.9: Basınç ve akış mesafesi @ 120 MPa.....	117
Şekil 5.10: Basınç ve akış mesafesi @180 Mpa.....	117
Şekil 5.11: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 20 Mpa .....	118
Şekil 5.12: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 60 Mpa .....	119
Şekil 5.13: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 120 Mpa .....	119
Şekil 5.14: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 180 Mpa .....	120
Şekil 5.15: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 20 Mpa .....	121
Şekil 5.16: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 60 Mpa .....	121
Şekil 5.17: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 120 Mpa .....	122
Şekil 5.18: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 180 MPa.....	122
Şekil 5.19: Basınç değerlerine karşın akış mesafesinin incelenmesi.....	123
Şekil 5.20: Teorik ve deneysel çalışmada akış mesafesinin ölçülmesi .....	124
Şekil 5.21: Farklı basınçlardaki teorik ve deneysel çalışmadaki parça ağırlığı.....	125
Şekil 5.22: Basınca bağlı olarak dolum zamanları .....	126
Şekil 5.23: Basınca karşın kilitleme kuvveti .....	126

<b>Şekil 5.24:</b> 0,5 mm kalınlık için 20 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	127
<b>Şekil 5.25:</b> 0,5 mm kalınlık için 120 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	127
<b>Şekil 5.26:</b> 1,5 mm kalınlık için 20 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	128
<b>Şekil 5.27:</b> 1,5 mm kalınlık için 120 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	128
<b>Şekil 5.28:</b> 2,7 mm kalınlık için 180 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	129
<b>Şekil 5.29:</b> 3 mm kalınlık için 140 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı.....	129
<b>Şekil 5.30:</b> Farklı basınç ve cidar kalınlığına bağlı olarak dolun zamanları ve toplam % hacimleri .....	130
<b>Şekil 5.31:</b> Tüm sonuçlardan elde edilen tablo ve değerleri.....	131



**ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ  
İÇİN ÜRETİLEN İNCE CİDARLI PLASTİK PARÇALARIN ÜRETİM  
ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU**

**ÖZET**

Plastik endüstrisi her geçen gün büyümektedir. Endüstriyel uygulamalarda yüksek mukavemetli, kompleks geometrili, ince cidarlı ve hafif malzemelerin kullanımı artmaktadır. Karbon emisyonu ve çevre kirliliğini en aza indirmek için otomotiv endüstrisi hedefleri arasında araçların hafiflemesi önemlidir. Bu yüzden otomotiv endüstrisinde birçok metal parçanın yerini plastik ve fiber takviyeli malzemeler almaktadır. Plastik parçanın kullanımında parça hafiflerken mukavemeti kaybetmemesi beklenmektedir. Bu yüzden mühendislik plastikleri, yüksek performanslı plastikler ve fiber takviyeli kompozitler geliştirilmektedir. Ayrıca otomotiv endüstrisinde ince cidarlı parçaların üretimi ve kullanımı artmaktadır. Bu bağlamda, ince cidarlı parçaların üretiminde karşılaşılan problemlerin irdelenmesi ve optimum değerlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. İnce cidarlı parçalarda akış derinliğinin düşük olması sebebiyle malzemenin daha fazla sürtünmeye maruz kalmasıyla akış zorlanacaktır. Bunun sonucunda dolum için daha yüksek basınç ve makine kapasitesitesi gereksinimi ortaya çıkacak ve ince cidarlı parçaların üretimi zorlaşacaktır. Basıncın yeterli seviyede olması tam olarak dolumun gerçekleştiğinden emin olunması amacıyla çapaklı parça üretimi yapılmak zorunda kalınmaktadır. Buna ek olarak parçada akış mesafesinin artması , üretimi zorlaştırmaktadır.



**OPTIMIZATION OF PRODUCTION CONDITIONS OF THIN-WALLED  
PLASTIC PARTS PRODUCED FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY BY  
INJECTION MOLDING METHOD**

**SUMMARY**

Plastics industry is one among the fast growing industries in recent few decades. Use of high strength, complex geometry, more thin-wall and less weight parts is gradually increased in industry application. Lightening is one of main goals of automotive industry for carbon emission and health of environment. In the automotive industry, many metal parts are replaced by plastics or fiber-reinforced composites. It is tried to provide the same strength while lightening is increased with the use of plastic parts. For this reason, many engineering plastics, high performance plastics and fiber reinforced composites are improved. In addition to all of these, thin-walled production and uses of these parts are increased gradually in automotive industry. In this regard, it is aimed to examine the production processes for thin-walled parts, to make improvements and to obtain optimum results. Some problems are encountered in the production of thin walled parts. These problems arise from the exposure of the material to excessive friction because of the reduced flow depth as the flow will be more difficult. Thus, more pressure will be needed along with a larger machine for filling the mold cavity. Parts will be produced with flash in order to make sure that they are completely filled. Furthermore, greater the flow length in the part (the way the material must flow), production of the it becomes more difficult.





# 1. GİRİŞ

## 1.1 Polimerik Malzemeler

### 1.1.1 Polimerik Malzemelerin Tarihi Ve Gelişimi

Plastik endüstrisi selüloz nitratin sentezlenmesi ile birlikte 1868 yılında tanınmaya başlanmıştır. Herşey bilardo toplarının yapıldığı fildişinin kıtlığı ile başlamıştır. Üreticiler, bu toplar için başka üretim metodları arayışına başlamışlar ve yarışmalara sponsor olmuşlardır. John Wwsley Hyatt pamuktan elde ettiği proksin ile kafurlu nitrik asidi karıştırmış, ve selüloidi elde etmiştir. Literatüre göre, Alexander Parkes, elektrik endüstrisi için daha iyi yalıtım malzemesi arayışına girmiş ve 1862 yılında kafurun selüloz nitrat için etkili bir plastikleştirici olduğunu keşfetmiştir. Hyatt, selüloidi keşfetmesinden sonra 1869 yılında ilk patenti almıştır.

Selüloz nitrat, doğal polimer olan selülozdan elde edilmiştir. Dr. Leo Hendrick Baekeland fenol formaldehiti geliştirdiğinde, ilk tamamen sentetik plastik 41 yıl sonra 1909 yılında gelmişti. Bu türden çeşitli malzemelerin kaynağı olarak demir ve tencere kolları, taşıma diskleri, ve elektrik fişleri sayılabilir. Diğer polimerler, selüloz asetat (diş fırçaları, taraklar, çatal bıçaklar, gözlük çerçeveleri), üre-formaldehit (düğmeler, elektrikli aksesuarlar), polivinil klorür (döşeme, tel ve kablo izolasyonu, duş perdeleri) ve naylon (diş fırçası kılları, çoraplar, cerrahi dikişler) 1920'lerde sıralanmaktadır.

Çizelge 1.1 bazı plastiklerin keşfedilme yıllarını ve bazı uygulamalarını göstermektedir 1920'lere kadar oldukça düşük olan plastiğin gelişim hızının 1930 ve 1940'larda önemli ölçüde ivme kazandığı söylenebilir. Sentetik polimerlerin ilk gelişimi ampirik faaliyetlerin sonucudur. Asıl odak noktası kimyasal kompozisyon yapısı olmuştur. Fakat, 20. yy'ın ilk yarısı süresince, kapsamlı organik ve fiziksel gelişimler polimerlerin yapısal konseptinin, uzun zincirlerin ya da kovalent bağlı molküllerin ağ yapısını anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu bağlamda, Alman kimyager Herman Staudinger polioksimetilen kauçuk ve Amerikan kimyager W.T. Carothers naylon üzerindeki çalışmaları ile öne çıkmışlardır. Staudinger önce polimerlerin dev moleküllerden oluştuğu teorisini önerdi; ve onları tanımlamak için makromolekül kelimesini icat etti. Carothers, naylon ve temelini keşfetti. Ve naylon hakkındaki temel

araştırması polimerlerin yapısını aydınlatmaya önemli ölçüde katkıda bulundu. Onun polimerler için yaptığı sınıflandırma olan kondenzasyon ve katılma polimerleri olarak günümüzde de devam etmektedir.

**Çizelge 1.1:** Polimerlerin tarihçesi ve kullanımı

Tarih	Malzeme	Kullanım Alanı
1868	Selüloz Nitrat	Gözlük Çerçevesi
1909	Fenol Formaldehit	Telefon Ahizesi, Düğme , Buton
1919	Kasein	Şiş, Tıg
1926	Alkidler	Elektriksel Yalıtımları
1927	Polivinil Klorid	Yağmurluk, Zemin Döşemeleri
1929	Üre- Formaldehit	Aydınlatma Aksesuarı, Elektrik Düğmeleri
1935	Etil Selüloz	Işıklandırma
1936	Poliakrilonitril	Fırça Arkası,
1936	Poli Vinil Asetat	Yapıştırıcılar
1938	Selüloz Asetat Bütirat	Sulama Borusu
1938	Polistiren	Oyuncaklar, Mutfak Eşyaları
1938	Naylon (Poliamid)	Dişliler, Fiberler, Filmler
1938	Poli Vinil Asetal	Güvenli Cam Katmanlar
1939	Poliviniliden Klorid	Oto Koltuk Kaplamaları, Filmler, Kağıt, Kaplamalar
1939	Melamin-Formaldehit	Züccaciye
1942	Çapraz Bağlı Polyester	Bot Kaplamaları
1942	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Sıkıştırılabilir Botlar
1943	Floropolimerler	Endüstriyel Contalar,
1945	Selüloz Propiyonat	Otomatik Kalem Ve Tükenmez Kalemler
1947	Epoksiler	Araç Ve Masterlar
1948	Akrilonitril Bütadien Stiren Kopolimer	Bagaj, Radyo, Televizyon Kabinleri
1949	Allilic	Elektrik Bağlantıları
1954	Poliüretan	Köpük Malzemeler
1956	Asetal Reçine	Otomotiv Parçaları

1957	Polipropilen	Halı Fiberleri, Koruyucu Kask
1957	Polikarbonat	Cihaz Parçaları
1959	Klorlu Polieter	Valf Ve Mekanizmalar
1964	İyonomer Reçineler	Cilt Kaplama, Kalıplama
1964	Polifenilen Oksit	Batarya Parçaları, Yüksek Sıcaklık Kalıplama
1964	Poliimid	Yatak, Burç , Yüksek Sıcaklık Film Ve Kablo Kaplamaları
1965	Polibüten	Filmler
1965	Polisülfon	Elektronik Parçalar
1970	Termoplastik Polyester	Elektronik Parçalar
1971	Hidroksi Akrilat	Kontak Lensler
1973	Polibütlen	Boru
1974	Aromatik Poliamidler	Yüksek Dayanımlı Kord Bezi
1975	Nitril Koruyucu Reçineler	Konteynır

Polimerlerin doğasını daha iyi anladıktan sonra, 1925-1950 yılları arasında ticari başarı elde eden polimerik ürün sayısında olağanüstü bir artış oldu. 1930'larda akrilik reçineler (tabelalar ve camlar); Polistiren (oyuncaklar, ambalaj ve ev eşyaları endüstrileri); ve melamin reçineleri (yemek takımları, mutfak tezgahı, boyalar) tanıtılmıştır.

II. Dünya Savaşı sırasında savunma çabalarına yardımcı olacak materyal arayışı yeni plastik araştırmaları için derin bir ivme kazanmıştır. Polietilen, şu anda en önemli plastik maddelerden biri olup, radar kablosu gibi uygulamaları için daha kaliteli yalıtım malzemesi olarak savaş zamanı ihtiyacı nedeniyle geliştirilmiştir. Termoset polyester reçineleri (şimdi tekne yapımı için kullanılır) askeri kullanım için geliştirilmiştir. Terpolimer akrilonitril-butadien-stiren (ABS), (telefon ahizeleri, bagajlar, emniyet kaskları vb.) kökenini, büyük çaplı sentetik kauçuk üretiminde savaş zamanı programından kaynaklanan araştırma çalışmalarına borçludur.

İkinci Dünya Savaşı'ndan (1950'li yıllar) sonra plastiklerin büyümesinde ve yenilerinin gelişmesinde büyük adımlar atıldı.

Nobel ödüllü, Almanya'nın profesörlerinden Karl Ziegler ve İtalya'nın Giulio Natta tarafından stereo özel katalizörlerin gelişimi, polimer kimyagerlerinin polimerlerin

moleküler yapısını "sipariş" edebilmelerine yol açmıştır. Bu sayede özel amaçlı polimerler üretilmeye başlanmıştır.

1950'li yıllarda ayrıca asetal ve polikarbonat olmak üzere iki ailenin geliştirildiği görülmüştür. Naylon, fenoksi, poliimid, poli (fenilen oksit) ve polisülfon ile birlikte, mühendislik termoplastığı olarak bilinen plastikler grubuna dahildirler. Yüksek darbe mukavemeti, termal ve boyutsal stabiliteye sahip olup, bu özellikler sayesinde metal gibi daha konvansiyonel malzemelerle doğrudan rekabete girmektedirler.

1960'lar ve 1970'ler yeni plastiklerin kullanımına tanık olmuşlardır. Termoplastik poliestерler (dış otomotiv parçaları, şişeler); Yüksek bariyer nitril reçineler; ve polifenilen sülfid, polieter sülfon, vb. gibi materyalleri içeren yüksek sıcaklık plastikleri olarak adlandırılmaktadırlar. Yüksek sıcaklık plastikleri başlangıçta havacılık ve uçak endüstrisinin taleplerini karşılamak üzere geliştirilmişken, bugün yüksek sıcaklıklarda sürekli olarak çalışma olanağı gerektiren ticari alanlara yöneltilmişlerdir.

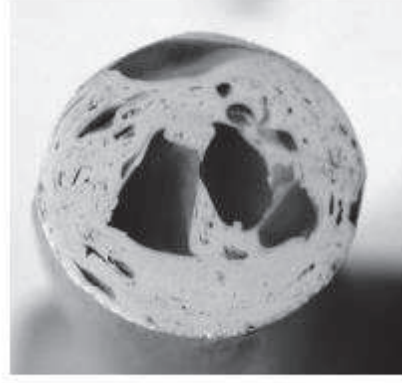
Son yıllarda, polimer yapısı-özellik ilişkisi daha iyi anlaşılmakta olup, yeni polimerizasyon tekniklerine girilmiş, yeni ve düşük maliyetli monomerlerin geçerliliği, özel olarak hazırlanmış polimer kavramı gerçek haline gelmiştir. Günümüzde son üründe arzulanan hemen her kalitede farklı elementlerde polimerler üretmek mümkündür. Polimerik malzemeler katı plastikler, lifleri elastomerler ya da köpük formunda üretilebilirler. Sert ya da yumuşak olup, film, kaplama ve yapıştırıcı olarak kullanılabilirler. Gözenekli ya da gözeneksiz olabilirler. Polimer uygulamaları büyüleyici olup, yapılabilecekler sınırsızdır. Örneğin, ablasyon, gökbilimcilerin ve astrofizikçiler tarafından atmosfere giren meteorların erozyonunu ve parçalanmasını tanımlamak için kullanılan kelimedir. Bu anlamda, uzun mesafeli füzeler ve atmosfere yeniden giren uzay araçları, insan yapımı meteorlar olarak kabul edilebilir. Plastik malzemeler genellikle termal olarak kararsız olmakla birlikte, bazı organik polimerlerin ablasyonu son derece yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Sonuç olarak, seçilen plastikler, hava sürtünmesinden kaynaklanan şiddetli ısınmadan geri dönüş araçlarını ve ablasyon plastikleri olarak bilinen konsepte dayanılarak roket motor parçalarını sıcak egzoz gazlarından korumak için kullanılmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda polimerler büyümeye devam edecektir. Bütün endikasyonlardan gelen büyüme, sadece yeni polimerlerin gelişmesinden değil, aynı zamanda mevcut polimerlerin kimyasal ve fiziksel modifikasyonundan gelmektedir. Ayrıca, geliştirilmiş imalat teknikleri, düşük maliyetli ürünlerle sonuçlanacaktır. Günümüzde

çevresel sorunlardan kaynaklanan geri dönüşümdeki zorluklar, şimdiye kadar atık olarak düşünülen malzemelerin birçoğunu üretmek için plastiklerin alayım haline getirilmesi ve harmanlanması ile ilgili gelişmelere yol açmıştır. [1]

## **1.1.2 Polimerlerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Organik Ve İnorganik Katkı Maddeleri**

### **1.1.2.1 Organik Katkılar**



**Şekil 1.1:** Kötü karıştırılmış polimer kompaund örneği

#### **1.1.2.1.1 Antioksidanlar**

Termoplastikler istenilen özellikleri geliştirmek için organik katkı maddeleri içermektedirler. Neredeyse tüm durumlarda, bileşimin diğer bileşenlerle harmanlanmasına, toprak haline getirilmesine veya ara form haline getirilmesine ve son şekillendirme işlemiyle ilişkili termal streslerden kurtulmaya izin vermek için bir antioksidan eklenmelidir. Bazı durumlarda polimer, reçinesinin hazırlanması sırasında bir antioksidan ile harmanlanır. Bu antioksidan tipinin işlemeye yönelik olarak termal kararlılık kazandırması amaçlanmıştır. Dıştan antioksidanlar, termal işleme sırasında bir kararlılık marjı eklerken, ürünün raf ömrünü artırmak ve / veya yüksek sıcaklık kararlılığını geliştirmek için ilave edilebilir.

#### **1.1.2.1.2 İç Kaydırıcılar**

Kaydırıcılar eklendikleri polimerin işlenmesi süresince kayma hızını azaltır, özellikle inorganik malzeme eklendiğinde. Eğer kayma seviyesi çok yüksekse, termal bozunma ve polimerin zincir kopmalarıan sebep olmaktadır. Genellikle kullanılan yağlandırıcılar yağlı alkol (C14-C18), yağlı asit esterleri (C14-C18), dikarboksilik asit

esterleri (C14-C18), yağlı asit amidleri (C14-C18), ve esterler (C14-C18) şeklinde sıralanabilmektedir.

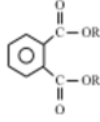
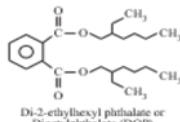
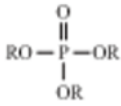
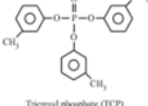
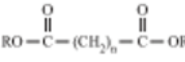
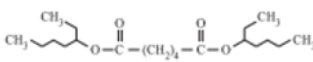
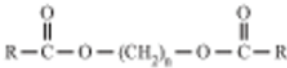
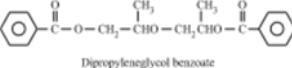
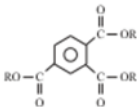
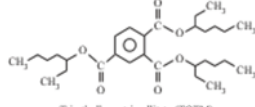
### 1.1.2.1.3 Ayırıcı Ajanlar

Enjeksiyon kalıplama uygulamaları için genellikle kompaundlarla karıştırılmaktadırlar. Bu katkının kullanılmadığı durumlarda , kalıplanan parça kalıp yüzeyine yapışabilmektedir. Kalıp yüzeyi her çevrim arasında işlenmeli ya da kalıplar geçici kalıp ayırma işlemleri ile birlikte kaplanabilir. İç kalıp ayırıcı ajanları hidrokarbonlar, alkoller, karboksilik asitler, halojenli bileşikler, ketonlar, karboksilik asit esterleri, amidler, metal tuzları ve silikon bileşenlerini içermektedir.

### 1.1.2.1.4 Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler termoplastikler kompaundlara esneklik sağlamak, prosesi kolaylaştırmak için eklenmektedir. Snerjik etkisi elde edilebilmektedir. Örneğin; karıştırma süresince kaymayı azaltmak ve darbe direncini geliştirmektedir. Plastifiyan bileşikleri tipik olarak ftalatlar, adipatlar, esterler ve yağ asidi esterleri (oleatlar, palmitatlar, stearatlar)

Çizelge 1.2: Bazı PVC plastikleştiricilerin kimyasal yapısı[1]

Plastikleştirici Tipi	Kimyasal Yapısı	Örnek
Fitalat esterleri (dialkilfitalat)		 Di-2-ethylhexyl phthalate or Dioctylphthalate (DOP)
Fosfat esterleri (trialkil-fosfat)		 Triphenyl phosphate (TCP)
Alifatik Diester		 Di-2-ethylhexyl adipate (DOA)
Glikol Türevleri		 Diphenylglycol benzoate
Trialkil trimetilat		 Triethylhexyl trimellitate (TOTM)

#### **1.1.2.1.5 Darbe Direnci Artırıcılar**

Darbe direncini artırmak için kırılman termoplastiklere eklenmektedirler. Bazı durumlarda, inorganik materyallerin ilavesi, plastikleri sert ve kırılğan hale getirir, böylece bir darbe modifikatörünün eklenmesini gerektirir. Darbe direnci, artan esneklik ve / veya elastomerik özelliklere sahip polimerlerin ilavesiyle geliştirilebilir. Akrilikler ve butadien, yaygın olarak kullanılan darbe direnci artırıcı malzemelerdir. Stiren, akrilonitril ve / veya polibutadien (dolayısıyla ABS [akrilonitril bütadien-stiren] ile aş polimerizasyonu yoluyla yaygın şekilde darbe modifiye edilir veya bir etilen propilen dien elastomerine aşılabilir. Polipropilen, etilen-propilen monomerini birleştirmek için çeşitli karıştırma yöntemleri ile darbeye karşı dayanıklı hale getirilebilir.

#### **1.1.2.1.6 Elektrostatik Kontrol Ajanları**

Termoplastik uygulamalar için gereklidir. Bu işlev için bir dizi bileşik mevcuttur ve bunlar iki genel kategoriye ayrılabilir; Dökme ve yüzey modifiye ediciler. Dökme katkıları örneğin karbon karası, basitçe uygulanmakla birlikte yeterli konsantrasyonla eklendiğinde, yarı iletken matris sağlamaktadır. Böylece lokalize şarj birikimini kontrol etmektedirler. Bazı polimerlerde bu amaçla metal tuzları da kullanılabilir. Katyonik bileşikler toplu iletken özellikler kazandırabilir ve bunlar, kuaterner Amonyum, sülfonyum tuzları veya imidazolin bileşikleri olarak sıralanabilir. Anyonik bileşikler de kullanılır ve bunlara alkilsülfonatlar örnek verilebilir. İyonlu olmayan bileşikler, ara yüzey aktifliği yoluyla yük dağılımını kontrol etmek için de kullanılabilir. Bu kategorideki bileşikler arasında, örneğin, etoksillenmiş yağlı aminler, etanolamidler ve polietilen glikol esterleri bulunmaktadır. Bazı organik bileşikler, yüzey yükünü kontrol etmek için de kullanışlıdır. Bunlar, ana polimerde sınırlı çözünürlüğe sahip olarak işlev görürler. Bu tip bileşikler, nominal olarak düşük konsantrasyonun yüzeyde lokal olarak arttığı polimer yüzeyine göç eder ve böylece iletken bir yüzey köprüsü sağlar.

#### **1.1.2.1.7 Boyalar ve Organik Pigmentler**

Boyalar ve kimyasal bileşikler plastik kompaundlara rengini verirler. Bunlar polimer içinde çözünürler ve homojen bir yapı oluştururlar. Boyalar genellikle azo ya da antrakinin bileşikleridir.

Pigmentler termoplastik kompaund içinde dağılan çok küçük partikül boyutuna sahip renk veren malzemelerdir . organik pigmentler genellikle azo ya da siyanin yapılarıdır. Birçok organik pigment termoplastik işleme prosesinde iyi termal kararlılık sağlamaktadır. Polimer içinde çözünebilmelerine bağlı olarak , bunlar aynı zamanda çekirdekleştirici maddeler olarak da görev yaparlar, ancak bir kısmı erimiş durumda işlendiğinde erime sıcaklığının üstünde olacağı için genellikle daha az etkilidir.[1]

### **1.1.2.2 İnorganik Katkılar**

#### **1.1.2.2.1 Dolgular Ve Takviyelendiriciler**

Termoplastikler genellikle belirli bir uygulama için doğal olarak uygun fiziksel özelliklere sahiptirler. Böyle bir durumda, inorganik materyallerin eklenmesine pek ihtiyaç yoktur. İnorganik katkı maddeleri, termoplastiklerin .fiziksel direncini deformasyon direncini artırmak için kullanılmaktadır. Polimer içinde sabitleme noktaları ağı oluşturarak işlev görürler ve buralarda polimer zincirinin mekanik stres altında kaymasını engellemektedirler. İnorganik katkı maddeleri doğal minerallerden, sentetik minerallere kadar uzanmakta olup, yönlü fiziksel özelliklere sahip özel malzemelerdir. Yüksek kaliteli plastikler için genellikle kullanılmakta olan killer, kaolin ve doğal silikatlar kalsiyum silikatlar ve diğerlerini içermektedir. Sentetik ve yüksek saflıktaki katkı maddeleri titanyum dioksit, kalsiyum karbonat, silika ve diğerlerini içermektedir.

İnorganik katkı maddeleri yarı kristalin polimerlerdeki kristalin fazın başlangıç sıcaklığını, uzamansını ve boyutlarını kontrol etmek için de kullanışlıdır. İnorganik katkı maddesi, polimer kristalitlerinin heterojen çekirdeklenme alanı olarak işlev görür. Polimer, çok yakın aralıklı yerlerde çekirdeklenme başlatarak, küçük, düzgün dağılmış kristalin ağı ile katılaşır. Bir polimerin kristal ve amorf fazlarının karşılaştırılan mukavemetini, esnekliğini ve sürünme direncini dengeleyerek, mühendislik uygulamaları için bir denge elde edilebilir. Heterojen çekirdeklenme, yavaş yeniden kristalleşme oranı ile polimerlerin yapısını kontrol etmek için de yararlıdır. Enjeksiyon kalıplama esnasında, örneğin kalıplanmış parça soğuduktan sonra, soğutulmuş kalıba ısı aktarımı, parçanın dış yüzeyindeki polimerin önce çekirdeklenmesine, bunu takiben katkı maddesinin çekirdeğine neden olur. Kalıp arayüzünde heterojen çekirdeklenme oluşur, ancak numunenin çekirdeğinde homojen çekirdeklenme oluşabilir. Bu, polimerin ısı kapasitesinin termal iletkenliğe oranının kötü olması nedeniyle yavaş



ilerleyebilmektedir. İnce inorganik partiküllerin bir matrisinin eklenmesi, proses süresini hızlandırır ve polimerin yığın özelliklerini geliştirir. Titanyum dioksit ve silis bu kategorideki tipik katkı maddeleridir. Titanyum dioksit birçok durumda çok verimli bir beyazlatıcı olduğu için çift amaçlıdır. Çekirdekleştirme ajanları, daha yüksek bir erime noktasına sahip dağınık polimerler biçimine de sahip olabilirler.

#### **1.1.2.2 Pigmentler**

Pigmentler, renk vermek için termoplastik bir bileşiğe harmanlanmış olan çok küçük parçacık boyutlu malzemelerdir. Bunlar organik veya inorganik olabilir. İnorganik pigmentler genellikle metalik bileşikler halinde bulunurlar. Demir, krom, molibden, kadmiyum, nikel, antimon ve titanyum oksitler geniş renk yelpazesi sunar. Oksijen stokiyometrisindeki değişiklikler, bu metal oksitlerin çoğunun rengi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Karbon siyahı da çok etkili bir renklendiricidir. İnorganik pigmentler bir polimerde çok kararludur ve genellikle yüksek renk tutma özelliğine sahiptir. Bunlar, genellikle, heterojen çekirdekleştiriciler olarak termal işleme sırasında polimerlerin yeniden kristalleştirme performansı üzerinde sinerjik bir etkiye sahiptir.<sup>[2]</sup>

#### **1.1.3 Polimerlerin Viskositesi Ve Viskoelastitesi**

Geleneksel mühendislik uygulamalarında katılar elastik, sıvılar ise viskoz olarak sınıflandırılmaktadır. Polimerlerin ise viskoelastik davranış gösterdiği belirtilmektedir. Metal ve seramik gibi geleneksel malzemelerle katı polimerlerin mekanik özellikleri karşılaştırıldığında zamanla hassasiyet göstermektedirler. Bu konuda birçok örnek gösterilebilir.

- a.** Polimerlerin gerilim-gerinim özellikleri fazlasıyla zamana bağlıdır. Geleneksel malzemeler gerilim-gerinim davranışında zamandan bağımsızdır.
- b.** Sabit yük altında polimerik malzemenin deformasyonu zamanla artmaktadır. (sünme davranışı).
- c.** Bir polimer sabit bir deformasyona maruz kaldığında, bu deformasyonu azaltmak için gereken gerilim zamanla artar (gerilme gevşemesi)
- d.** Bir sinüzoidal gerilime maruz bırakılan bir polimerden kaynaklanan uzama, bir faz-içi bileşen ve bir faz-dışı bileşen içeriyor. Gerilim ve gerinim arasındaki faz açısı iç sürtünmeden ölçülen ısıya dönüştürülebilir mekanik gerinme enerjisidir.

Polimerlerin viskoelastik özelliklerine ilişkin tartışmalar katı polimerlerin doğrusal viskoelastik davranışı ile sınırlanmaktadır. Toplam gerilimin gerinime oranı olarak tanımlanmakta olup, zamandan bağımsız olarak tanımlanmaktadır. Tg'ye yakın ya da üzerindeki sıcaklıklarda küçük gerinim altında homojen, izotropik, amorf numuneler içeren sadece sınırlı koşullar altında lineer viskoelastik davranış uygun bulunmaktadır. Bunlarla beraber, lineer viskoelastisite davranış polimerik malzemelerin servis performans kullanımını öngörülmesine karşın, birçok uygulama için kullanılabilir referans noktası sağlamaktadır.

### 1.1.3.1 Basit Reolojik Tepkiler

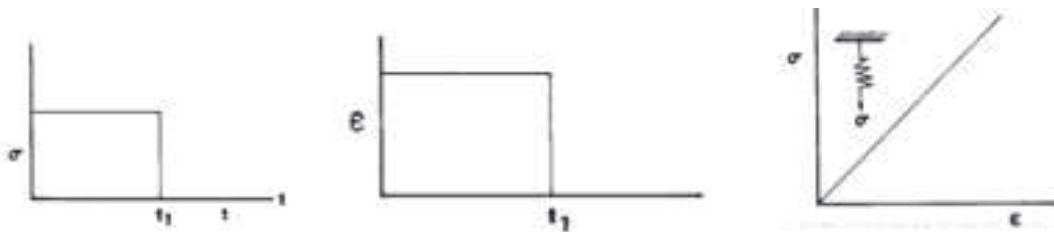
#### 1.1.3.1.1 İdeal Elastik Tepki

İdeal elastik tepki zaman etkisi olmayan ve iç etkilerin önemsenmediği bir tepki ortaya koymaktadır. Malzeme uygulanan strese karşılık ani cevap vermektedir. Gerilim kaldırıldığında numune tamamen orjinal boyutlarına geri dönmektedir. Eklemek gerekirse, uyarılmış gerinim  $\epsilon$ , genellikle uygulanan gerilime oranlamaları ve hızdan bağımsızdır. (Hookean davranışı)

İdeal elastik tepki yayın gerilim – gerinme davranışına benzetilmektedir. Yay sabit modülüne sahip olup, gerinim hızından ya da test hızından bağımsızdır. Gerilim sadece gerinimin fonksiyonudur.

$$\sigma = E\epsilon \quad (\text{Denklem 1.1})$$

$\sigma$ ; Uygulanan gerilim,  $\epsilon$ ; gerinim,  $E$ ; young modülü



Şekil 1.2: İdeal elastik tepki

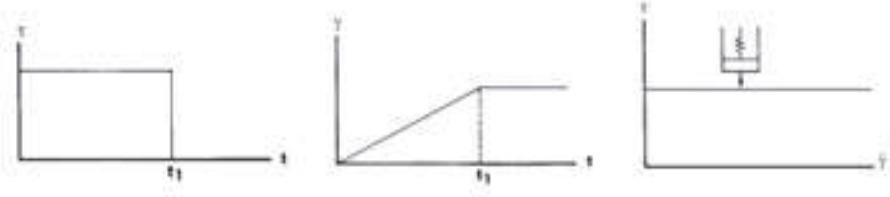
#### 1.1.3.1.2 Viskos Akış

Sıvıların elastik karakteri bulunmamaktadır. Bunlar gerinimi destekleyememektedirler. Katıların elastikiyetine karşın, sıvıların baskın karakteri

onların viskoz olmasıdır. Newton yasasına göre, sıvıların kayma gerilimine gösterdiği tepki viskoz akış olarak tanımlanmaktadır.

$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (\text{Denklem 1.2})$$

$\eta$ ; viskozite,  $d\gamma/dt$ ; gerinim hızı olup, stressin lineer fonksiyonu şeklinde tepki oluşur ve gerilim ortadan kaldırıldığında kalıcı deformasyon meydana gelir. Teorik viskoz akış piston(dashpot) davranışı ile açıklanmaktadır. Bir piston (dashpot) modülüne sahip olmayıp, fakat hareketin direnci testin hızına orantılıdır (gerinim hızı). Fakat ideal elastik davranış ya da teorik viskoz akış gösteren gerçek malzemeler bulunmamaktadır. Bazı malzemeler, örneğin ; çelik, Hooke yasasına geniş gerilim – gerinim aralığında uymaktadır.fakat iç etkisi ihmal edilerek tepki veren malzeme bulunmamaktadır. Aynı şekilde, su gibi bazı akışkanlar newtonian tepki vermektedirler. Kauçuk elastisite ve viskoelastisite lineer elastik davranıştan sapmalar göstermektedirler.



Şekil 1.3: Teorik viskoz davranış

#### 1.1.3.1.3 Kauçuğumsu Elastikiyet

Kauçuğumsu malzemelerin mekanik strese karşı tepkisi ideal elastik davranıştan önemsiz derecede sapma göstermektedir. Yani non-Hookean elastik davranış olarak tanımlanmaktadır. Şöyle ki, kauçuklar elastik olmalarına rağmen, elastikiyetleri gerinim ve gerilim orantılı değildir.

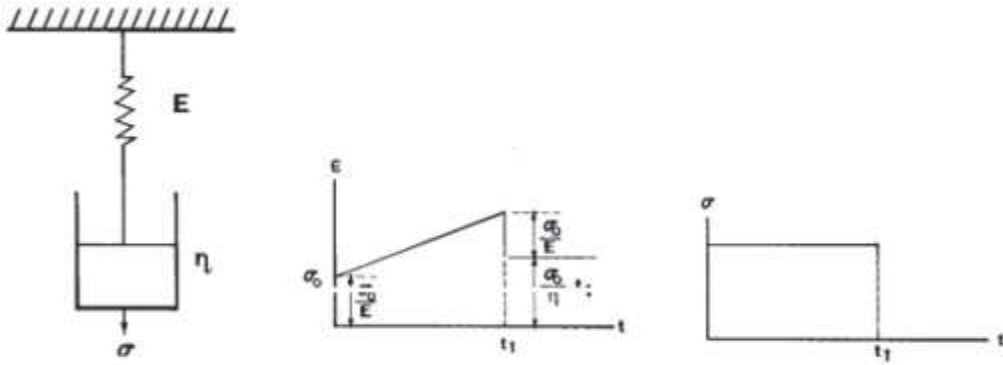
#### 1.1.3.1.4 Viskoelastikiyet

Polimerler viskoelastik malzemeler olup, elastik ve viskoz davranışın birleşimini göstermektedirler. Deneysel zaman ölçeğine bağlı olarak genellikle Hookean elastik katı ve teorik viskoz akışın ikisini de ifade etmektedir. Bazı polimerik akışkanlarda hızlı kayma elastik tepkiye sebep olurken, uzun süre gerilim uygulanması bazı akış ve kalıcı deformasyona sebep olabilmektedir. Diğer bir örnek ise, viskoelastik tepki sünme ve gerilim gevşemesine neden olmaktadır.



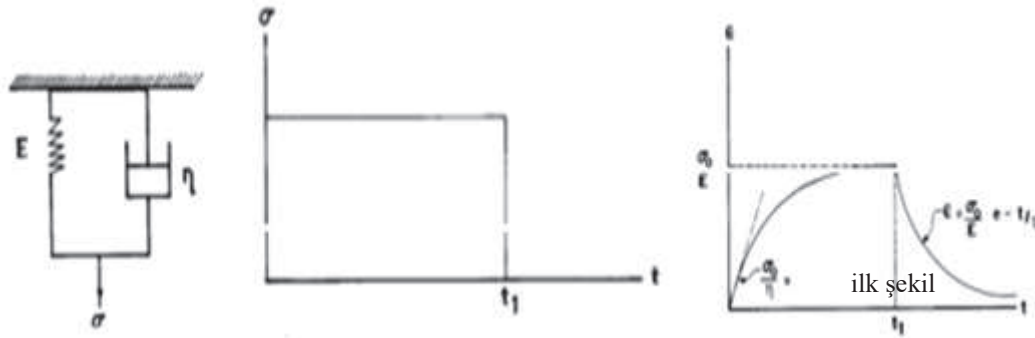
**Şekil 1.4:** Kauçuğumsu elastikiyet

Maxwel eleman, viskoelastik tepki modeli olarak mekanik elemandır. Fakat ne yayın ne de pistonun (dashpot) tek başına viskoelastik davranışı tanımladığı söylenemez. İki elemanın bazı kombinasyonları daha uygundur.



**Şekil 1.5:** Maxwell Eleman

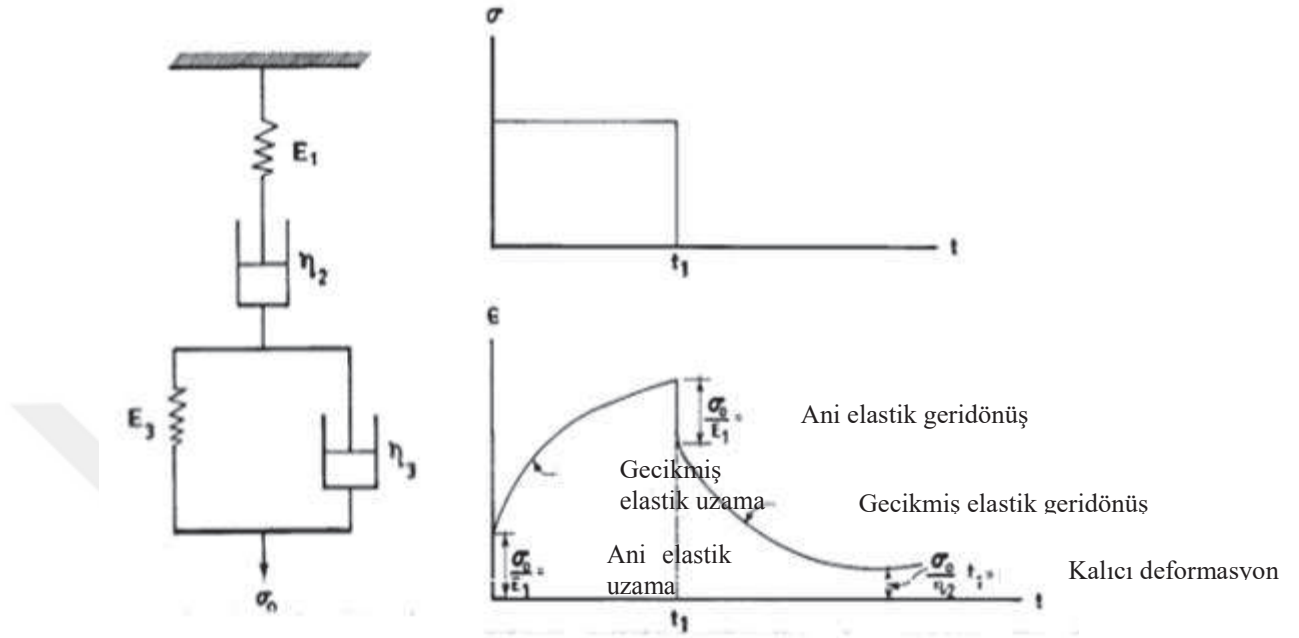
Voigth Eleman, yay ve piston (dashpot) genellikle paralel bağlanır ve gerininin her eleman için aynı olduğu anlamına gelir. Toplam gerilim ise yay ve piston (dashpot) üzerine gelen gerilimlerin toplamını ifade etmektedir.



**Şekil 1.6:** Voigth Eleman

Gerçek polimer malzemelerin davranışlarını basit maxwell ve voigt modelleri açıklayamamaktadır. Bu yüzden gerçek malzeme davranışları için, daha uygun iki modelin farklı kombinasyonları bulunmaktadır. Dört parametrelili model maxwell ve voigt modelin birleşimidir. Sünme altında, toplam gerilim yayın modulusundeki ani elastik deformasyonuna bağlı olmaktadır. Pistonun (dashpot) viskozitesine bağlı

olarak viskos akış  $\eta_2$  geri dönüştürülebilir değildir. Yayın modulusundaki voight elemandaki elastik deformasyon  $E_3$ , piston (dashpot) viskozitesi  $\eta_3$  olarak tanımlanmaktadır.[1]

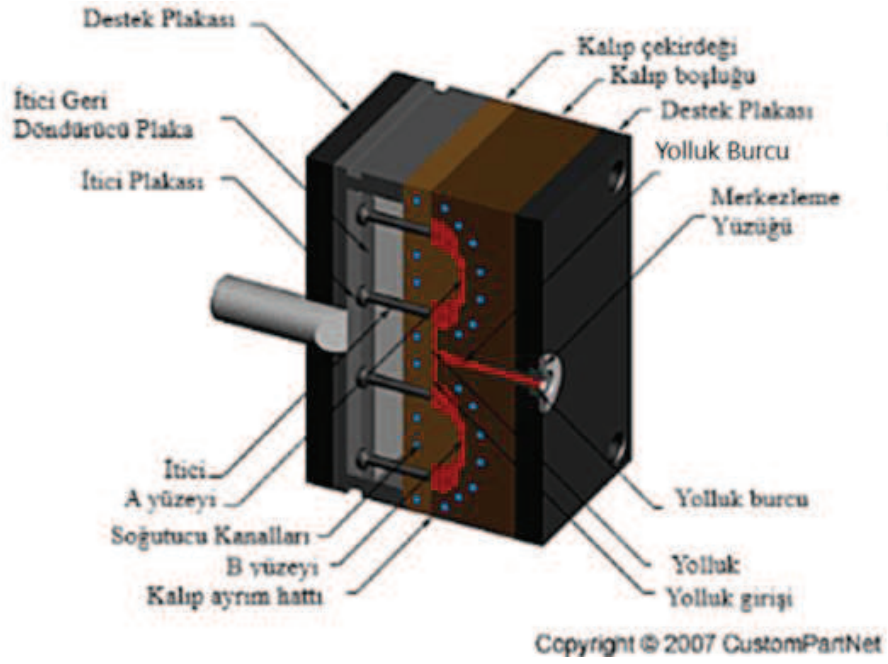


Şekil 1.7: 4 parametrelili model



## 2. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

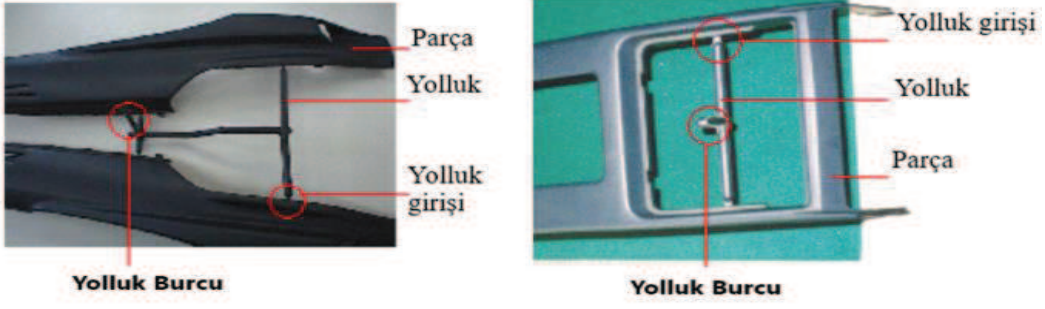
### 2.1 Plastik Enjeksiyon Kalıbı ve Yapı Elemanları



Şekil 2.1: Basit kalıp yapı elemanları[3]

#### 2.1.1 Yolluk Burcu

Yolluk burcu enjeksiyon kalıbında malzemenin giriş yaptığı bölgede konumlanmış olup, bu bölgede malzemenin kalıp boşluğuna doğru yolculuğu başlamaktadır. Yolluk burcu enjeksiyon makinesi ile enjeksiyon kalıbı arasında ara yüzey oluşturmaktadır. Sert kalıp çeliğinden yapılır ve yapışmayı minimize etmek için yüksek oranda parlatılır. Özellikle, yolluk burcunun ölçüsü kalıplanacak malzemenin viskozitesi ile ilişkilidir.



Şekil 2.2: Yolluk ve giriş gösterimi [5]



Şekil 2.3: Yolluk burcunun Fonksiyonu[4]

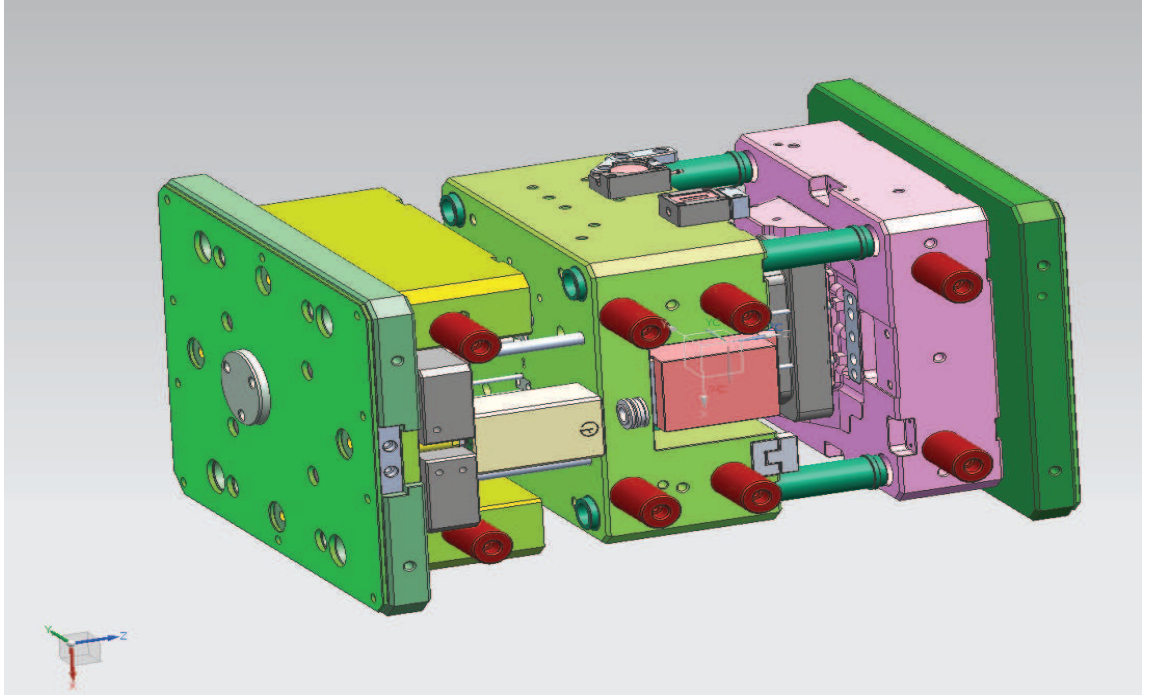


### 2.1.2 Yolluk ve Yolluk Girişleri

Kalıplanan plastik enjeksiyon kalıplama makinesinden alındıktan sonra malzeme yolluk burcundan kalıp boşluğuna doğru akış sağlanmaktadır. Ve kalıp boşluğuna gidene kadar ki aşamada yolluklar ve girişler kullanılmaktadır.

Girişler yolluk sisteminin sonuna konumlandırılmaktadır. Ve tasarımı yapılırken eriyik plastiğin kalıp boşluğuna kolayca doldurması için optimum hız ve hacimde doldurması gerekmektedir. Giriş kesiti enjeksiyon kalıplama prosesini etkileyen büyük fonksiyonlardan bir tanesidir.[6]

Standard kalıp iki kilitleme plakası, iki boşluk plakası ve opsiyonel geri plaka, kalıp kanalı ve çıkarıcı sistemlerden oluşmaktadır. Kalıp boşluğunun çoğu kalıbın sabit tarafında bulunurken, çekirdeğin büyük kısmı hareketli tarafına yerleştirilir.



Şekil 2.4: Kalıp gösterimi

### 2.1.3 Çıkarıcı Set

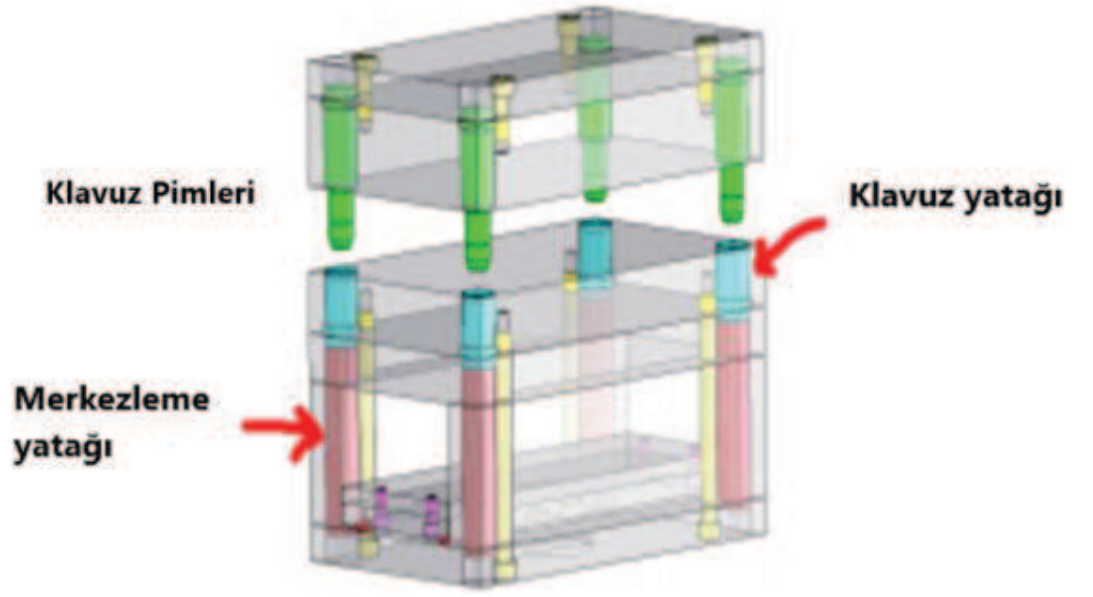
Çıkarıcı sistem iki plaka içermektedir. Çıkarıcı geri döndürücü plaka ve çıkarıcı plaka olarak adlandırılmaktadırlar. Genellikle, çıkarıcı sistem ile kilitleme plakası arasında tampon plakaları bulunur. Kalıp kanalı çıkarıcının mümkün olan en uzun mesafesinin tanımıdır.



Şekil 2.5: Çıkarıcı sistem bileşenleri[7]

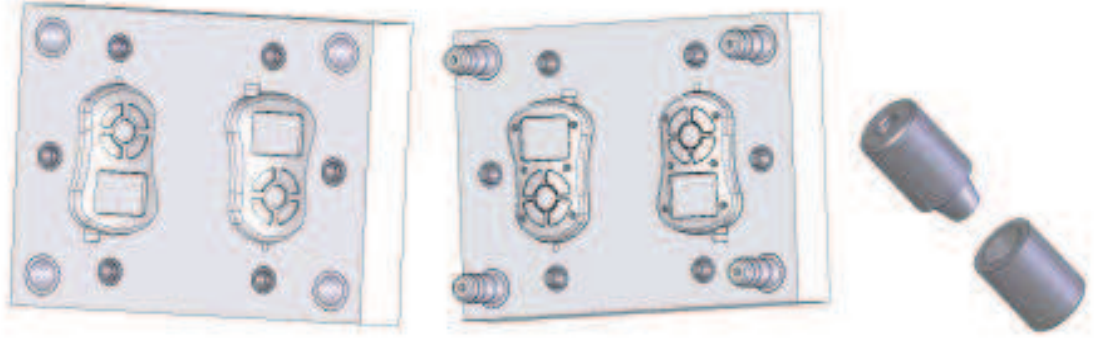
#### 2.1.4 Temel Klavuz Elemanları

Hareketli ve sabit kalıp yarımları farklı yönlendirici elemanlarla birbirine doğru yönlendirilir. Standart kalıp takımının bir parçası olan temel klavuz elemanları, klavuzluk kolları, yönlendirici kollar ve merkezleme kollarıdır. Boşluk yarılarını daha doğru bir şekilde tespit etmek gerekiyorsa, kalıp boşluk kilitleri ile donatılmıştır: Düz yan kilitler veya konik kilitler



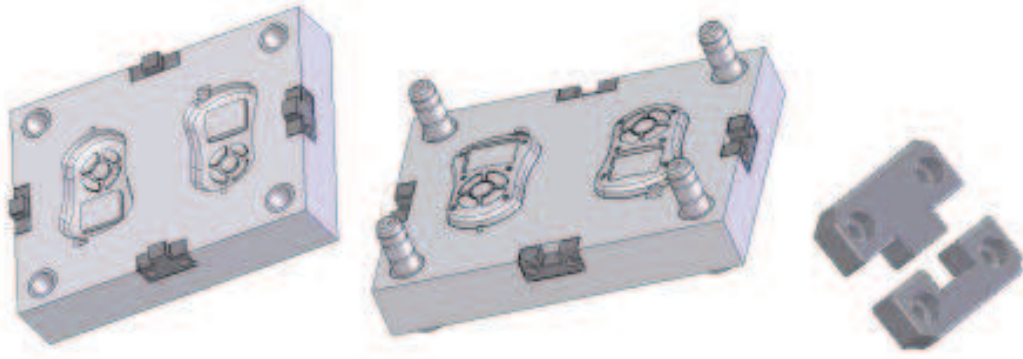
**Şekil 2.6:** Klavuz pimlerinin gösterimi

Doğru kalıp boşluğu yarılarının konumlandırılması için konik kilitleme elemanları kullanılmaktadır . Bu parçalar boşluk plakasının arka tarafından vidalarla sabitlenir.



**Şekil 2.7:** Konik kilitleme elemanları

Düz yan kilitler kolay bakım sağlamaktadır. Bu parçalar kalıp sökülmeden değiştirilebilir.



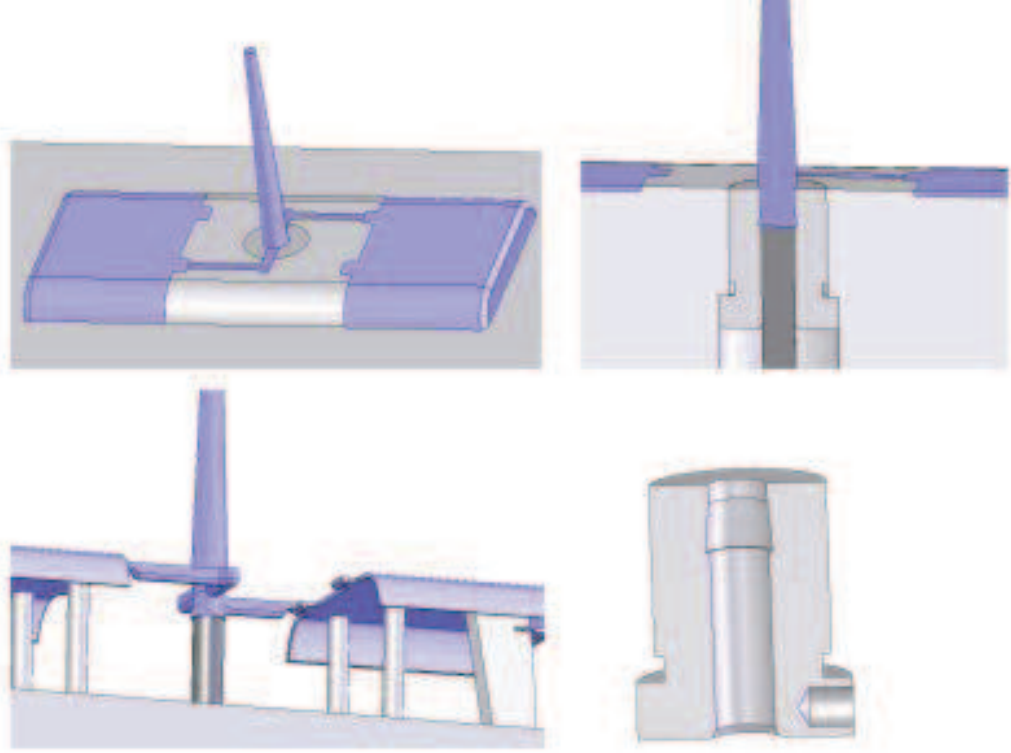
**Şekil 2.8:** Düz yan kilitler

### 2.1.5 Çıkarıcı Pimler Ve Çıkarma İçin Özel Bileşenler

Kalıp boşaltma sistemindeki temel parçalar çıkarıcılar ve yolluk burcu çekicilerdir. Farklı çıkarıcı türleri vardır. Ana tip yuvarlak çıkarıcı pimleri, düz itici pimler ve çıkarıcı kovanıdır. Yolluk burcu çekicileri yolluk burcu üzerine yapışan ve yolluk burcundan dışarı doğru çeken özel olarak şekillendirilmiş veya özel olarak yerleştirilmiş çıkarıcılardır.

**Çizelge 2.1:** Yuvarlak çıkarıcı pimler, düz itici pimler, çıkarıcı kovanlar, çıkarılan parça[8]



**Şekil 2.9:** Yolluk burcu çekiciler

Eğdirici çıkarıcılar ve sıyırıcı plakalar gibi bazı özel çıkarıcı çeşitleri bulunmaktadır. Eğilebilir çıkarıcı çitçitçılar ve küçük yuvalar gibi küçük arka plan detaylarının kalıplanması için uygundur. Sıyırıcı plakalar, yüksek fincan şeklindeki parçaların çıkarılmasında oldukça uygun kullanıma sahiptir. Sıyırma plakası bir çıkarma mekanizması olup, parça çok yüksekse pratiktir. Ejektör plakası aslında standart bir parça olmayıp, genel olarak ortak bir yapıya sahiptir.



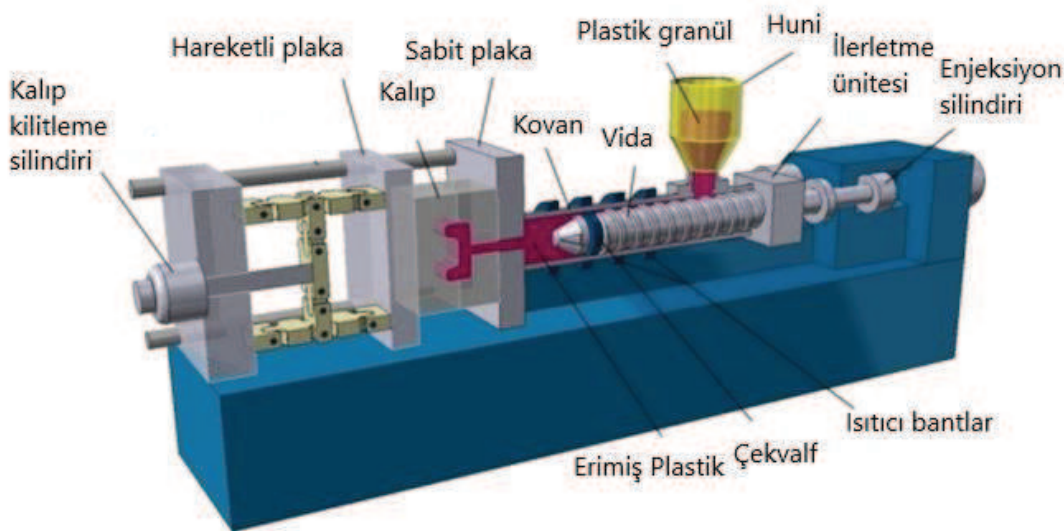
**Şekil 2.10:** Eğilebilir çıkarıcı ve sıyırıcı plaka

### 2.1.6 Çıkarıcı Set Klavuzları ve Geri Döndürme Elemanları

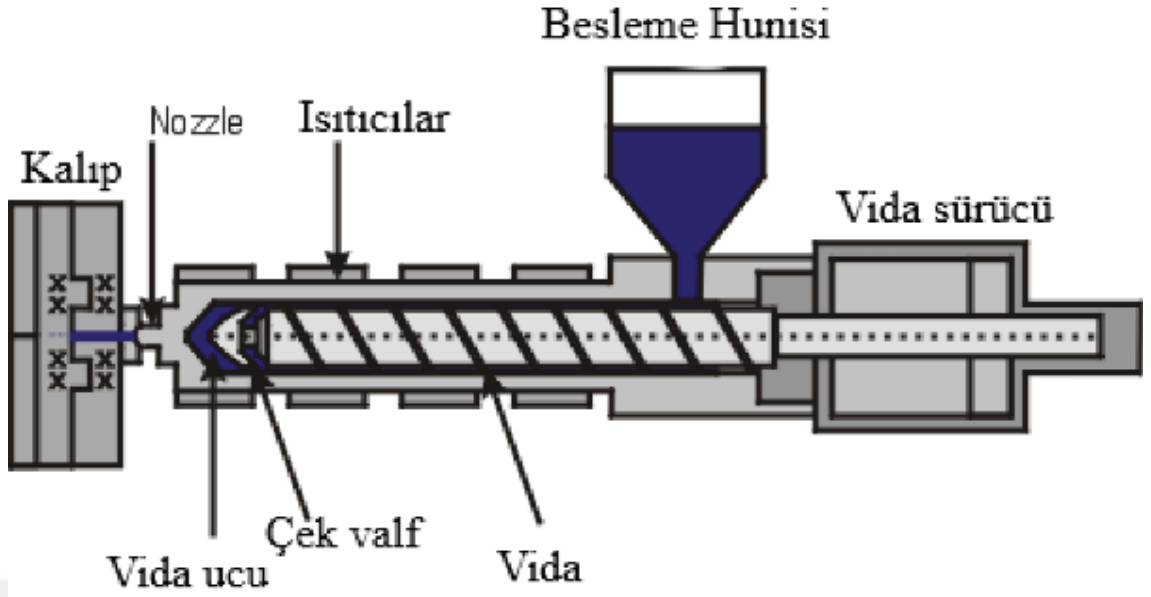
Ejeksiyon pimlerinin mukavemeti ve sertliği ile karşılaştırıldığında, ejektör seti nispeten yüksek bir yük oluşturur. En küçük dengesizlik bile bükülecektir ve en kötü durumda pimleri kıracaktır.

### 2.2 Enjeksiyon Sistemi Ve Yolluk Kesitleri

Enjeksiyon kalıplama plastik malzemenin kapalı kalıba doldurulması için yeterince erimesine kadar ısıtılması, ardından kalıbın şeklini almak üzere soğutularak malzemenin katılaşması esasına dayanmaktadır. Enjeksiyon şeklinde silindir ve nozzle ile kalıp içine ısıtılmış olan plastik enjekte edilir. Malzeme tekrar sertleşir, parça kalıptan alınır. Çevrim bu şekilde devam eder. Aslında proses çevrim süresince en ekonomik şekilde kaliteli parça üretilmesi için 100'den fazla parametre ile kontrol edilmektedir.

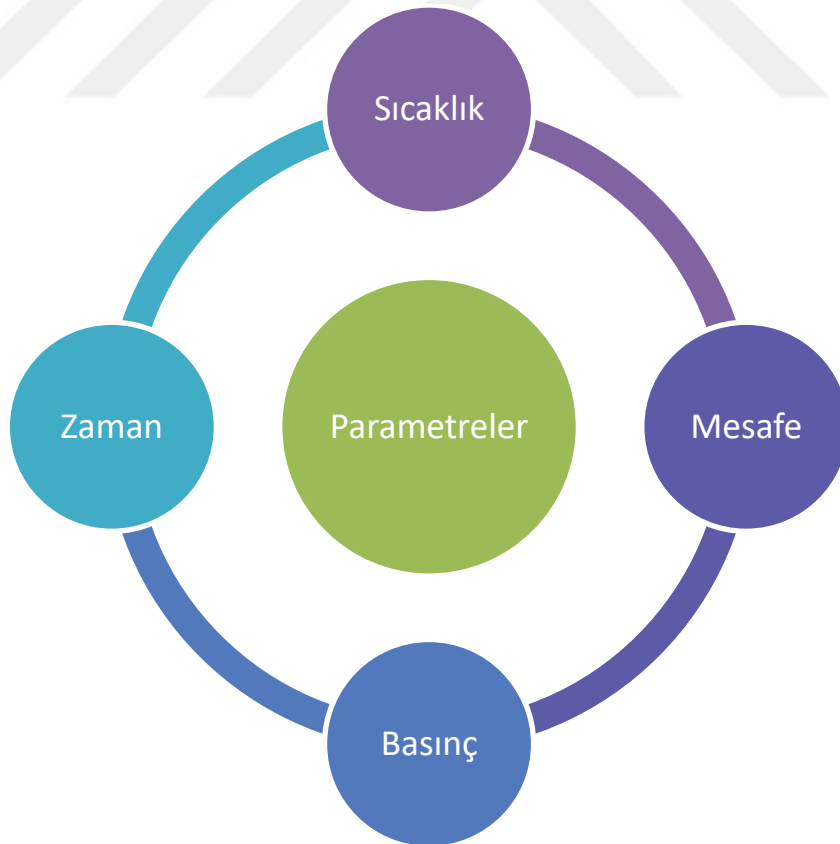


Şekil 2.11: Enjeksiyon kalıplama makinesi[9]



Şekil 2.12: Enjeksiyon kalıplama makinesi vıda tipi gösterimi [10]

Enjeksiyon kalıplama prosesi parametreleri 4 ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; sıcaklık, basınç, zaman ve mesafe.



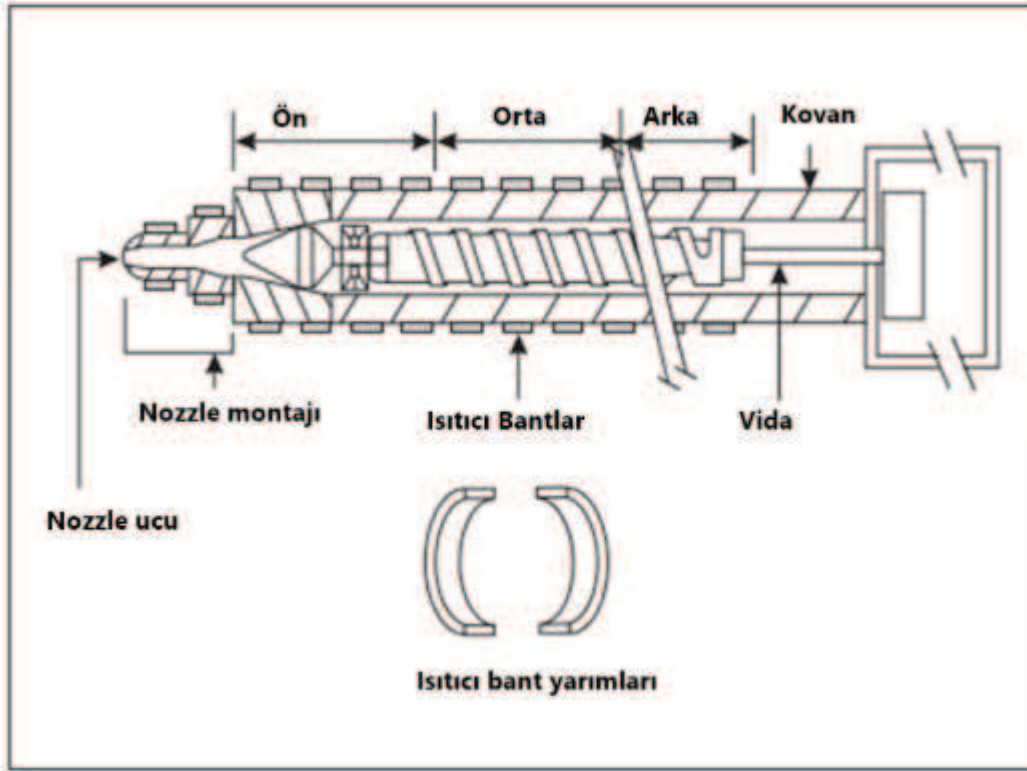
Şekil 2.13: Parametreler

## 2.2.1.1 Sıcaklık

### 2.2.1.1.1 Eriyik Sıcaklığı

Eriyik sıcaklığı malzeme kalıba enjekte edilmeden önce işlenmesi gereken sıcaklığı ifade etmektedir. Plastik sıcaklığının düşmesi ya da yükselmesi çevrim süresine, gerekli olan basınca, kalıp sıcaklığına ve diğer parametrelerinin değişkenliğine bağlıdır. Plastik erimesi için uygulanan sıcaklık ile birlikte plastiğin iç molekülleri hareketlenir. Biraz daha fazla ısıtılması ile birlikte moleküller daha hızlı hareket ederler. Fakat, çok yüksek sıcaklık uygulanırsa, malzeme degrade olmaya başlar, ve zincirler kırılır, malzeme yanabilir. Çizelge 2.2’de malzemeler için önerilen işleme sıcaklıkları gösterilmektedir.

Enjeksiyon kalıplama makinesinin kovanının ısıtılması için etrafında sarı elektrikli ısıtıcı bantlar bulunmaktadır. Şekil 2.14’te ısıtma silindiri için ön, orta ve arka olmak üzere 3 adet sıcaklık bölgesi bulunmaktadır. Herbir bölge sıcaklık kontrolü için termokupla bağlıdır. Eğer daha fazla sıcaklık gerekirse, sinyal gönderilir, sıcaklık bölgesinde ısıtıcı bölgenin enerjisi artırılarak desteklenir. Sıcaklık ayrıca ısıtılan kovan içindeki besleme vidasının dönmesi ve baskı kuvveti uygulamasıyla oluşmaktadır.



Şekil 2.14: Isıtma silindiri

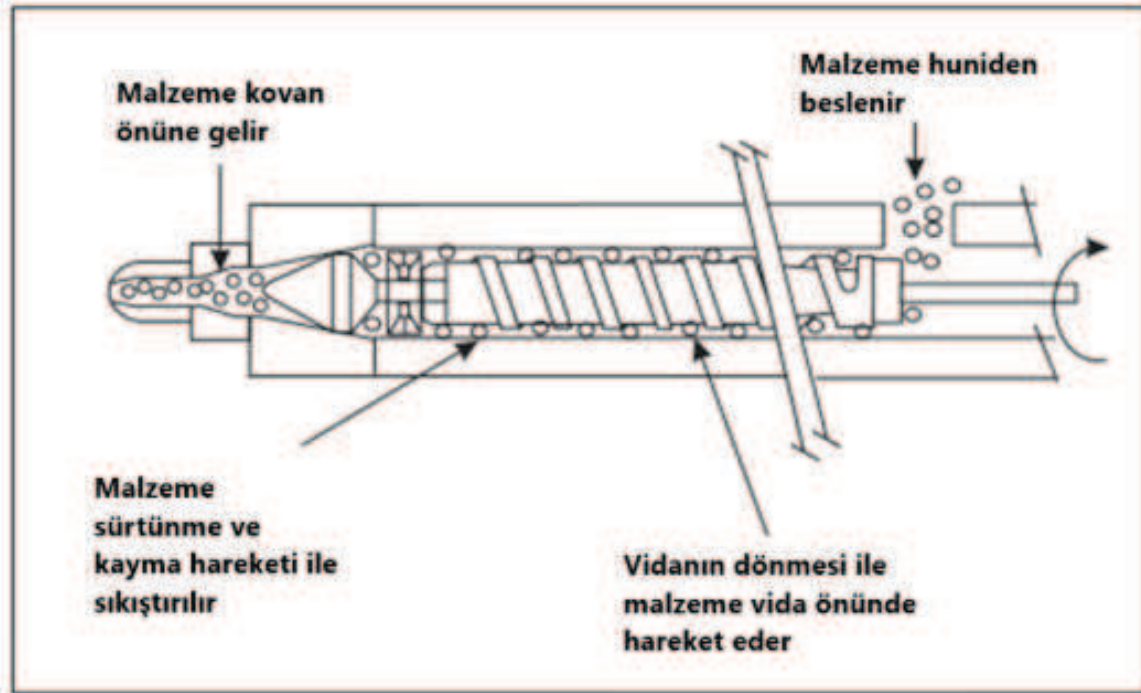


**Çizelge 2.2:** Çeşitli plastikler için tavsiye edilen eriyik sıcaklıkları[12]

<b>Malzeme</b>	<b>Sıcaklık, (°C)</b>
Asetal (kopolimer)	204
Asetal (homopolimer)	218
Akrilik	218
Akrilik (modifiye edilmiş)	260
ABS ( orta darbe dirençli)	204
ABS (yüksek darbe dirençli ve/veya alev geciktirici)	216
Selüloz asetat	196
Selüloz asetat bütirat	177
Selüloz asetat propiyonat	177
Etilen vinil asetat	177
Likit kristal polimer	260
Naylon (6)	260
Naylon (6/6)	274
Poliallomer	252
Poliamid-imid	343
Poliakrilat	371
Polibütilen	246
Polikarbonat	288
Polieter eter keton (PEEK)	382
Polieter imid	371
Polietilen (düküş yoğunluklu)	163
Polietilen (yüksek yoğunluklu)	204
Polimetil penten	135
Polifenilen oksit	196
Polifenilen sülfid	302
Polipropilen	177
Polistiren	177
Polistiren (orta darbe dirençli)	193
Polistiren (yüksek darbe dirençli)	199

Polisülfon	371
PVC (rijit)	177
PVC (esnek)	163
Stiren akrilonitril (SAN)	204
Stiren bütadien	182
Politetrafloroetilen	316
Termoplastik polyester (PBT)	218
Termoplastik polyester (PET)	232
Üretan elastomer	218

Isıtılan kovan içindeki vida huniden gelen malzeme ile karşılaşır. Dönme hareketi ile malzeme sıkıştırılır, sürtünme kuvveti ve ısı meydana gelir. Sürtünmenin miktarı çeşitli elemanlarla kontrol edilmektedir. Örneğin; vidanın dönme hızı ve vidanın uzunluğu.

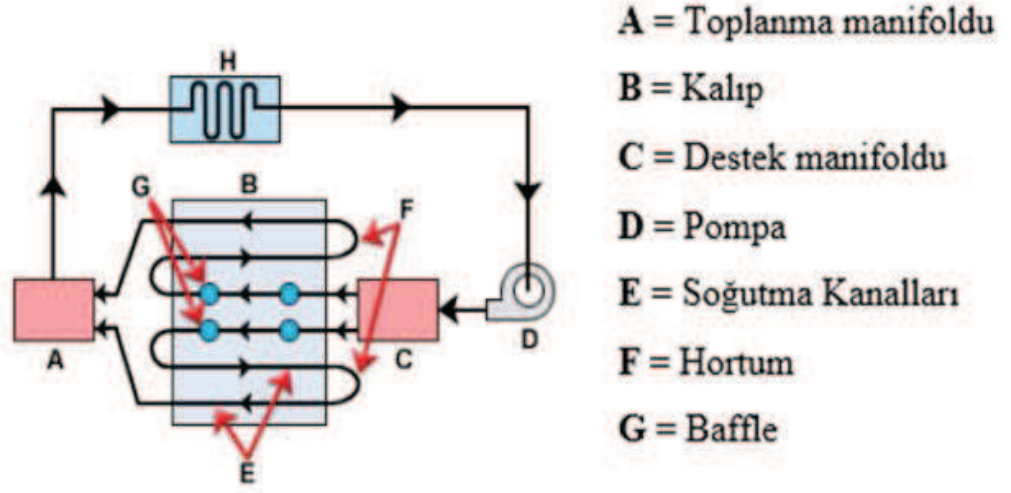


Şekil 2.15: Vida hareket halinde iken kovan bölgeleri [12]

#### 2.2.1.1.2 Kalıp Sıcaklığı

Bir diğer önemli sıcaklık ise kalıp sıcaklığıdır. Plastik katılaşması için soğutulurken, enjekte edilen plastik şekillendirilmesi için kalıp kullanılmaktadır. Katılaşma sonrasında, plastik ürün kalıptan alınarak, yeni çevrim başlar.

Plastiğin soğutulma hızı plastik malzemenin dayanım özellikleri açısından önemli bir faktördür. Özellikle kristalin malzemeler. Çünkü plastik kalıba enjekte edilmeden önce ısıtılır ve moleküller birbirinden ayrılarak serbest hakede hareket ederler. Malzeme soğutulduğunda birbirine bağlanarak maksimum dayanımı elde etmeleri beklenir. Eğer çok hızlı soğutulursa, malzeme düzenlenme için yeterli zamanı bulamayacak olup, fiziksel dayanımı optimumdan daha az olacaktır. Bu yüzden plastiğin soğutma hızı yeterince düzenlenip, beklenen dayanımı sağlaması için yeterli olmalıdır. Fakat çevrim süresini artırmaması için yeterince hızlı olmalıdır. Çizelge 2.3'te çeşitli malzemeler için önerilen kalıp sıcaklıkları gösterilmektedir. Kalıp sıcaklığı kalıpta tasarlanan su kanalları ile kontrol edilmektedir.



Şekil 2.16: Kalıp sıcaklığının kontrol edilmesi

Çizelge 2.3: Çeşitli malzemeler için önerilen kalıp sıcaklıkları[12]

Malzeme	Sıcaklık, (°C)
Asetal (kopolimer)	93
Asetal (homopolimer)	99
Akrilik	82
Akrilik (modifiye edilmiş)	93
ABS (orta darbe dirençli)	82
ABS (yüksek darbe dirençli ve/veya alev geciktirici)	85
Selüloz asetat	66
Selüloz asetat bütirat	49

Selüloz asetat propiyonat	49
Likit kristal polimer	107
Naylon (6)	93
Naylon (6/6)	79
Poliallomer	93
Poliamit-imit	204
Poliakrilat	135
Polibütülen	93
Polikarbonat	104
Polieter eter keton (PEEK)	193
Polieter imit	107
Polietilen (düküş yoğunluklu)	27
Polietilen (yüksek yoğunluklu)	43
Polimetil penten	38
Polifenilen oksit	60
Polifenilen sülfid	121
Polipropilen	49
Polistiren	60
Polistiren (orta darbe dirençli)	71
Polistiren (yüksek darbe dirençli)	82
Polisülfon	121
PVC (rijit)	60
PVC (esnek)	27
Stiren akrilonitril (SAN)	38
Stiren bütadien	38
Politetrafloroetilen	82
Termoplastik polyester (PBT)	82
Termoplastik polyester (PET)	99

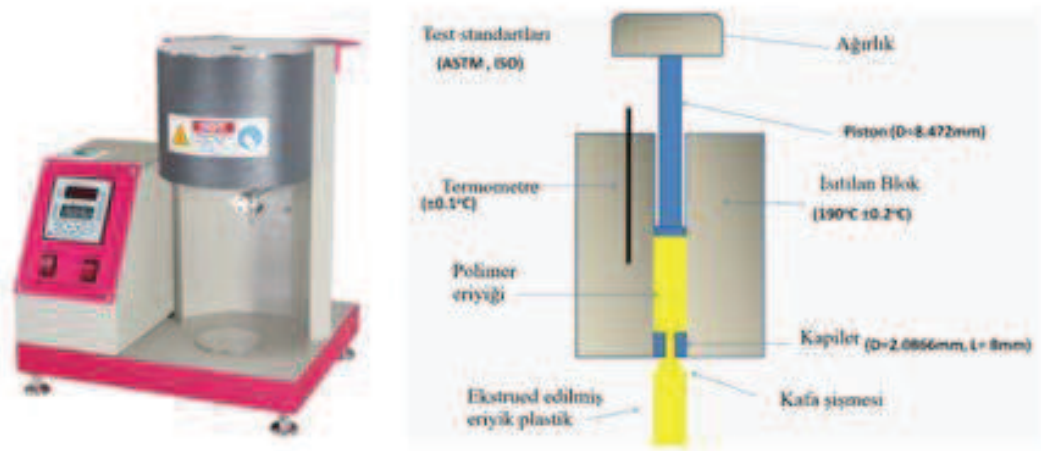
### 2.2.1.2 Basınç

Basınç enjeksiyon kalıplama prosesi için gerekli bir parametre olup, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı ve kilitleme basıncı olarak ifade edilmektedir. Kalıplama

makinesinde prosesler için basınç hidrolik yağ sistemi ve kontrol valfleri, regülatörler ve yönsel valf serileri ile sağlanmaktadır.

### 2.2.1.2.1 Enjeksiyon Basıncı

Kalıp boşluğunun doldurulması (yaklaşık %95) için gerekli olan birincil basınç olarak tanımlanmaktadır. Eriyik indeks testi plastik malzemenin kalınlığını (viskozitesini) tanımlamak için referans bir testtir. Eriyik indeksi 5 civarında gösteren malzeme çok viskoz özellik göstermekte olup, yüksek kalıplama basıncı gerektirmektedir. Diğer bir deyişle eriyik indeksi 20 olan bir malzeme kolay kalıplanır ve düşük basınç gerektirir.



Şekil 2.17: Eriyik akış indeksi [11]

Çizelge 2.4: Eriyik indeksi değerinin plastik özelliklerine etkisi

**Eriyik akış indeksi değeri azalırsa,**

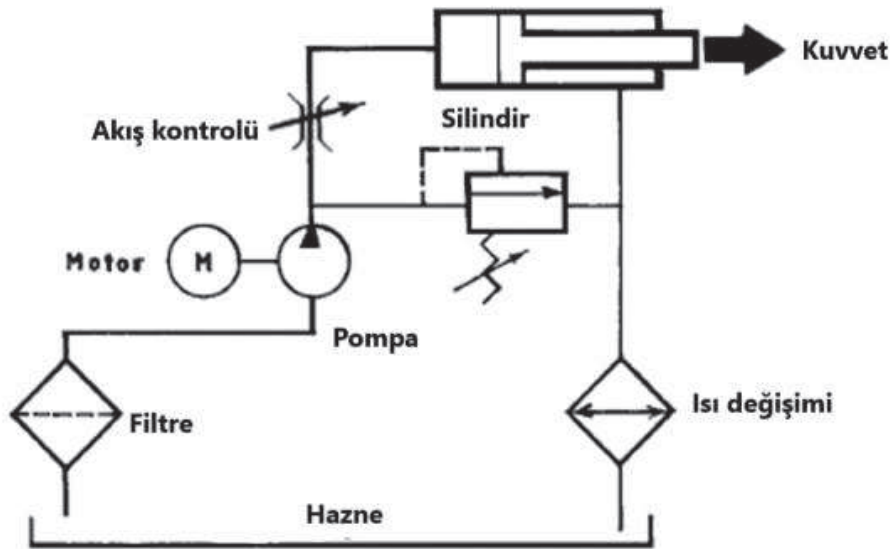
Rijitlik	Artar
Çekme Dayanımı	Artar
Akma Dayanımı	Artar
Sertlik	Artar
Sünme Direnci	Artar
Tokluk	Artar
Yumuşama Sıcaklığı	Artar
Gerilme Çatlama direnci	Artar
Kimyasak Direnç	Artar
Moleküler Ağırlık	Artar
Geçirgenlik	Azalıp

### 2.2.1.2.2 Tutma Basıncı

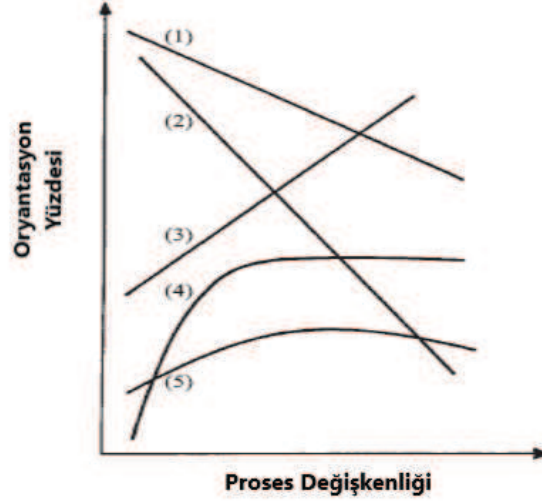
Birincil enjeksiyon basıncının sonunda uygulanır ve dolumun son kalıp boşluğunun %5'ini doldurmada uygulanmaktadır. Plastik katılaştırken, kalıp boşluğunda soğuyan plastiğe karşı basınç ile tutulur, bu basınca tutma basıncı denir. Parçaya uniform basınç uygulaması ile çekme kontrol edilmektedir. Tutma basıncı olarak genellikle enjeksiyon basıncının %50'si uygulanmaktadır.

### 2.2.1.2.3 Kilitleme Basıncı

Kilitleme basıncı enjeksiyon basıncına karşı kalıbı kapalı tutmak için uygulanan basınç olarak tanımlanmaktadır. Makinenin kilitleme birimi mekanik ve hidrolik olarak aktive olur, ve basınç kalıba karşı plastik parçanın şekillendirmesi için uygulanmaktadır. Kilitleme basıncının değeri en az enjeksiyon biriminin uyguladığı basınca eşit olmalıdır. Eğer kilitleme basıncı çok düşük ise, enjeksiyon süresince kalıp açılır ve çapağa sebep olur. Eğer kilitleme basıncı çok yüksek ise, kalıp hızlı bir şekilde kapanabilir.



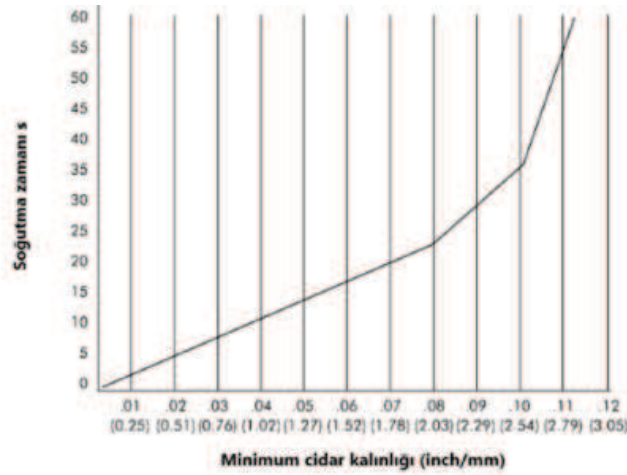
Şekil 2.18: Hidrolik sistem elemanları [1]



**Şekil 2.19:** Enjeksiyon kalıplama parametre değişkenliklerinin moleküler oryantasyona etkisi 1) kalıp sıcaklığı 2) kalınlık 3) enjeksiyon basıncı 4) ütüleme zamanı 5) yolluk sıcaklığı [12]

### 2.2.1.3 Time

Enjeksiyon zamanı; ne kadar malzemenin enjekte edileceğine, malzemenin viskozitesine ve makinenin kovan kapasitesine bağlı olarak enjeksiyon için gerekli olan zaman olarak tanımlanmaktadır. Toplam enjeksiyon zamanı ilk enjeksiyon ve tutma enjeksiyonu olarak ikiye ayrılmaktadır.

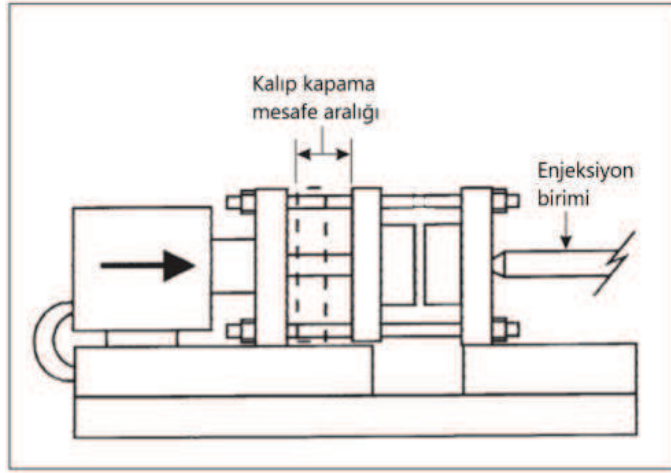


**Şekil 2.20:** Et kalınlığına karşın soğutma zamanı

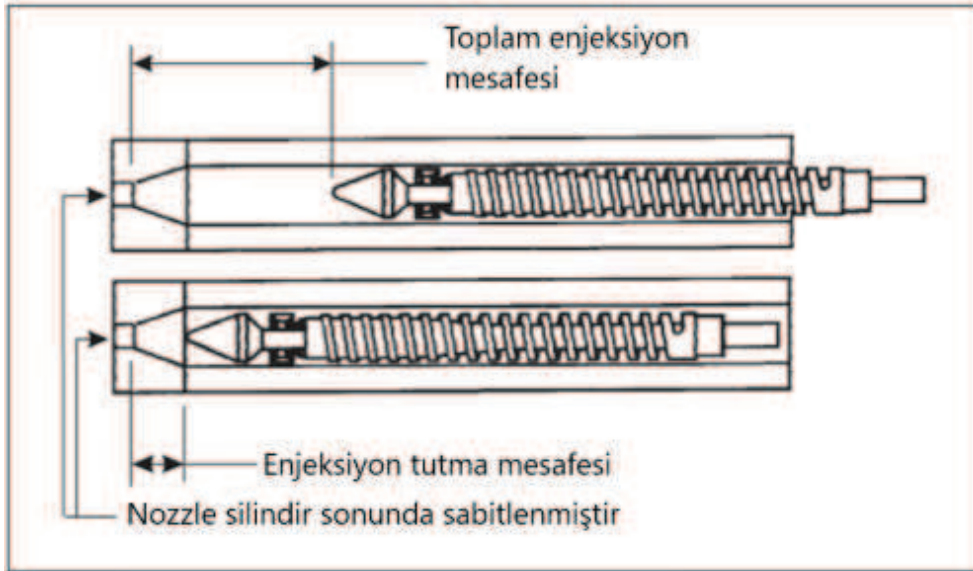
### 2.2.1.4 Distance

Son parametre mesafedir. Parametre öncelikleri listesinde en son madde olmasına rağmen mesafelerin kontrolü makul bir maliyetle yüksek kalitede ürünler üretmek açısından kritik öneme sahiptir. Bunun nedeni, aşırı mesafenin fazla zaman geçirmesi ve daha önce de belirtildiği gibi zamanın para olması gerçeğidir. Mesafe mesafe ile

çok yakından ilişkili olduğu için mesafeyi içeren çeşitli işlevler temelde zamanla ilgili olanlarla aynıdır.

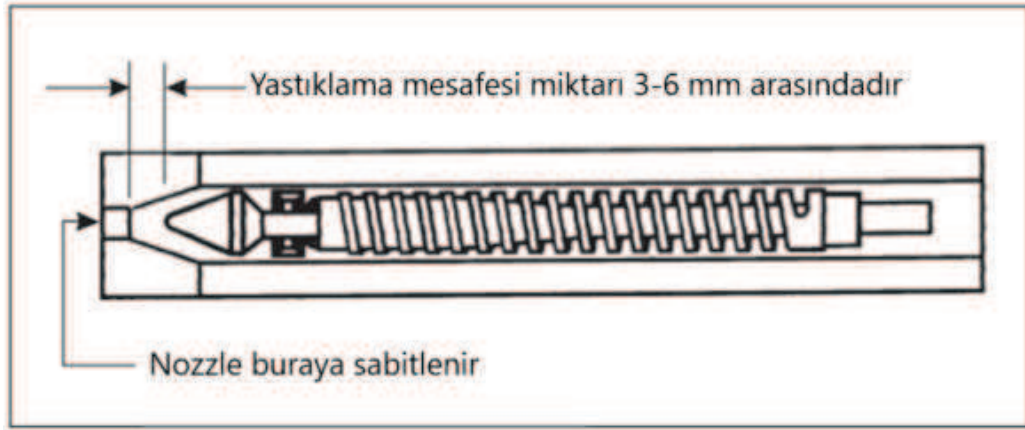


Şekil 2.21: Kalıp kapama mesafesi

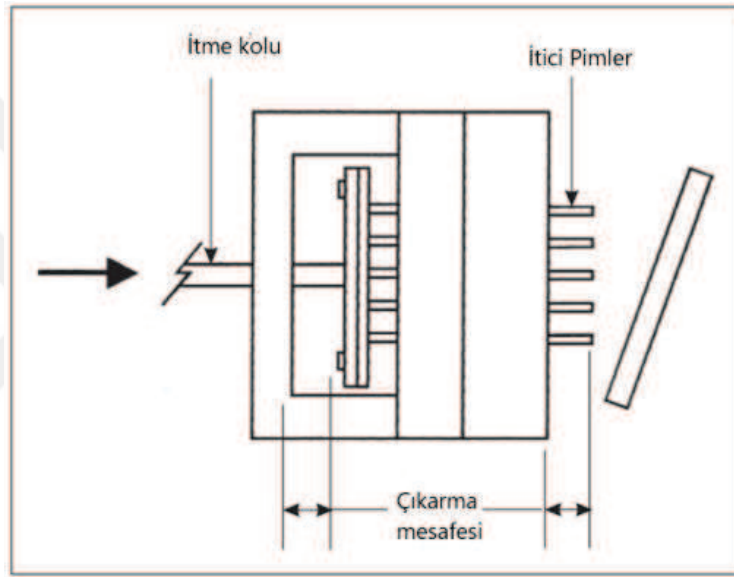


Şekil 2.22: Enjeksiyon tutma mesafesi





Şekil 2.23: Yastıklama mesafesi



Şekil 2.24: Kalıplanmış parçanın çıkarılma mesafesi

Kalıplama prosesinde etkin parametrelerin artırılması ya da azaltılmasının parça üzerinde olabilecek etkileri çizelge 2.5'teki resimdeki gibidir.

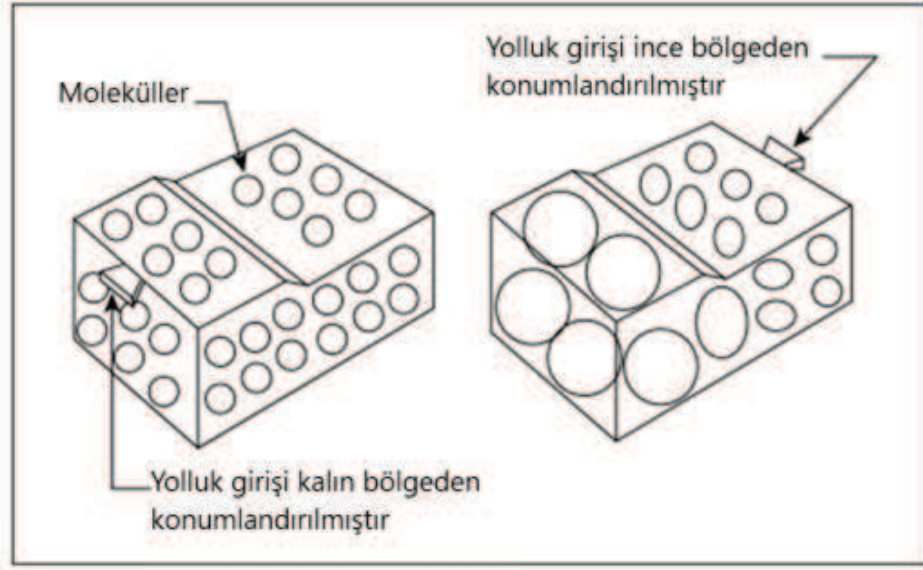
Çizelge 2.5: Parametre değişikliğinin olabilecek etkileri

Parametreler	Etkisi
Enjeksiyon basıncı (+)	Daha az çekme , daha yüksek parlaklık, daha az çekme , kalıptan çıkarmak daha zor
Enjeksiyon basıncı (-)	Daha fazla çekme, daha az parlaklık, daha fazla çarpılma, kalıptan çıkarmak daha kolay

Gerilim basınç (+)	Daha yüksek yoğunluk, daha yüksek degradasyon, daha az boşluk
Gerilim basınç (-)	Daha düşük yoğunluk, daha az degradasyon, daha fazla boşluk
Eriyik sıcaklığı (+)	Daha hızlı akış, daha fazla degradasyon, daha fazla kırılma, çapak
Eriyik sıcaklığı (-)	Daha düşük hız akış, daha az degradasyon, daha az kırılma, daha az çapak
Kalın sıcaklığı (+)	Daha uzun çevrim, daha yüksek parlaklık, daha az çarpılma, daha az çekme
Kalın sıcaklığı (-)	Daha hızlı çevrim, daha düşük parlaklık, yüksek çarpılma, daha yüksek çekme

### 2.3 Yolluk Girişi Ve Tasarımı

Çoğu parça, parça boyunca uniform bir cidar kalınlığına sahip olacak şekilde tasarlanmamıştır. Bu nedenle yolluk girişi için ideal nokta önce en kalın bölgedir. Daha sonra, malzeme kalından inceye doğru akabilir. Soğumaya başlar ve katılaşmaya başlarken, kalından ince bölgeye gittiğinde dolum şansı daha yüksektir. Eğer bu tersine döndüyse, malzeme ince bölümlerden geçerken katılaşmaya başlayacak ve kalın bölümlerin doldurulması için yeterli malzeme bulunmayacaktır. Buna ek olarak, bölüm Şekil 2.25'te gösterildiği gibi kalın cidar kalınlığından ince cidar kalınlığına doğru doldururken çok daha güçlüdür. Kalın ile ince girişli kısımda dolaşan bilye şeklindeki moleküller sabit olarak sıkıştırılır ve parça boyunca sıkıca bağlanır. Bununla birlikte, ince ile kalın girişli kısımda, moleküller genişir ve iyi bağlanmaz ve malzemenin "paketlenmesine" izin verilmez. Bu, çok daha zayıf bir parçaya neden olur. İlk yapılması gereken, kapının parçanın en kalın alanında bulunmasıdır.



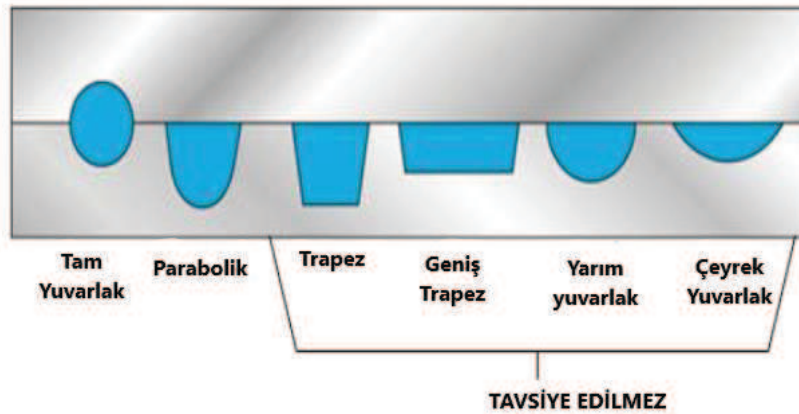
**Şekil 2.25:** Yolluk girişinin kalın bölgeden ince bölgeye verilmesi

Sonra, kullanılan yolluk girişinin boyutlarını belirlemeliyiz. Bunu yapmak için, şekillendirmekte olduğumuz malzemeyi anlamakla başlamaktayız. Kolay akan malzemeler ince kesitli girişlerden akabilir ve viskozitesi yüksek malzemelerin doğru akış için daha kalın kesitli girişler gerektirir. Bu akışkanlık özel plastik malzemenin erime endeksi (MI) değeri ile belirlenir ve bu değer D1238 ASTM test yöntemine göre ölçülür. Her plastik kendi MI değerine sahip olacak ve bunlar malzeme tedarikçisinden elde edilen verilerdir. En yaygın MI değeri 12-14 arasındadır, ancak MI değerleri genel aralığı 0 ile yaklaşık 50 arasında bir yerde bulunur. Sayı düştükçe, malzeme sertleşir. Yani, MI dördü bir materyal, MI değeri 14 olana kıyasla çok daha büyük kesitli bir yolluk girişinin açılmasını gerektirecektir. MI değeri bilinip anlaşıldıktan sonra, giriş tasarlanabilir. Erimiş plastiklerin akacağı bir açıklıktır. Bir girişin gerçek boyutlandırılması, hangi girişin tasarımının kullanıldığına bağlıdır.

Kalıp boşluğu merkezi olarak yerleştirilmiş sprue burcuna ne kadar yakın olursa, yolluk girişi açılımı o kadar küçük olabilir. Girişin kalınlığı, genel çevrim süresini belirleyen faktörlerden biri olduğu için bu önemlidir. Giriş daha kalınlaştıkça, çevrim süresi artar. Buna ek olarak, her giriş kendisiyle ilişkili bir yolluğa sahip olması gerekir. Bu, ana yolluğun bir parçası olabilir veya ana yolluğu besleyen ikincil bir yolluk olabilir. Bir kalıpta giriş sayısı ne kadar çok yolluk varsa o kadar fazla yolluk bulunmamalı ve boşluğun boşaltılması için sprue'dan uzaklaşılmalıdır. Bu, bir parçanın mümkün olduğu kadar tek bir giriş kullanılarak doldurulması gerektiği fikrini güçlendirir. Bununla birlikte, tecrübeler, eğer birincil geçitin eğrilmesine veya düzgün şekilde doldurulmamasına neden olan bir parçaya neden olması durumunda, bazı

bölüm tasarımlarının bir giriş ilave edilmesini garanti edebileceğini göstermiştir. Genel bir kural olarak, herhangi bir yönde her 203 ile 254 mm akış için bir giriş mevcut olmalıdır. Bununla birlikte, makaslama hassasiyeti, özgül ısı oranları ve MI'daki farklılıklardan dolayı, günümüzde bulunan birçok sonlu analiz programından birini kullanarak giriş koşullarını analiz etmek daha iyidir. Bunlar mevcut değilse (veya çok pahalı olduğu düşünülürse), tecrübe ve sağduyu hakim olmalıdır. Bu, tek bir girişle başlayarak ve gerektiğinde girişler ekleyerek deneme yanılma girişimleri ile sonuçlanabilir. Tek bir giriş en çok tercih edilir. Malzeme ve temel parça tasarım özelliğine bağlı olarak, herhangi bir parçanın tek bir girişle kalıplanabileceği akla uygundur.

Tam yuvarlak yolluk ve trapez en iyi olarak kabul edilen tasarımlardır. Yarım ve çeyrek yuvarlak yolluklar daha az tercih edilmektedirler, akış alanının küçük olması ve hızlı soğuması yolluk girişinin erken donmasına sebep olur. Yolluk bölümünün merkezi ana besleme olup, kesiti dairesel olmalıdır. Şekil 2.26'da kalıp yarımının gösterildiği şekilde olup, tam yuvarlak yolluk tipinin tek problemi iki kalıp yarımına da işlenmesi gerektiğidir. Bunun dışında malzeme ve parça cidar kalınlığı yolluk giriş kesitini etkilemektedir.<sup>[13]</sup>



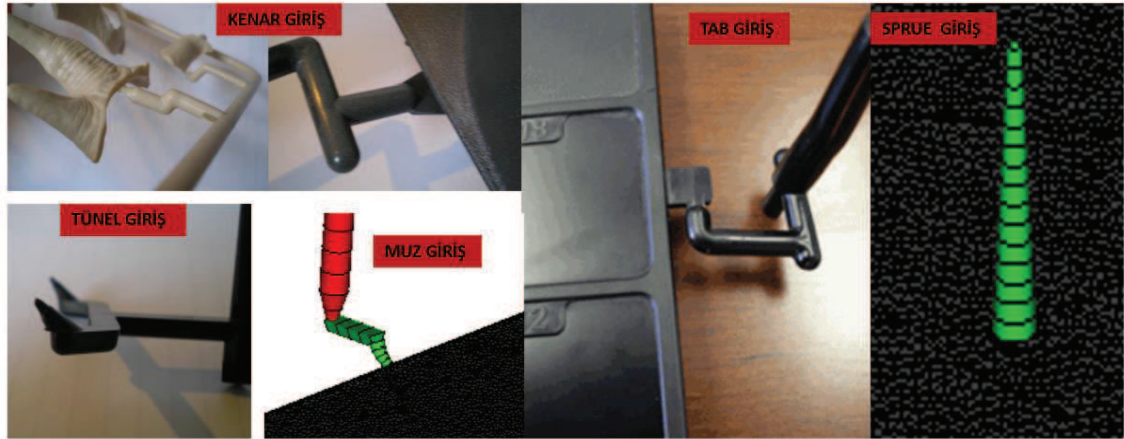
Şekil 2.26: Yolluk tasarımına örnekler[14]

Çizelge 2.6: Malzemeye göre tavsiye edilen yolluk giriş kesitleri[13]

Malzeme	Diameter
ABS, SAN	0,187
Asetal	0,125
Akrilik	0,312
Darbeli Akrilik	0,312
Selüloz asetat	0,187

Selüloz asetat bütirat	0,187
Selüloz asetat propiyonat	0,187
İyonomer	0,090
Naylon	0,062
Poliallomerler	0,187
Polikarbonat	0,187
Polietilen	0,062
Polipropilen	0,187
Polifenilen oksit	0,250
Polisülfon	0,250
Polistiren	0,125
Polivinilidin florür	0,250
Polivinil klorür (plastikleştirilmiş)	0,125

### 2.3.1 Giriş Şekilleri

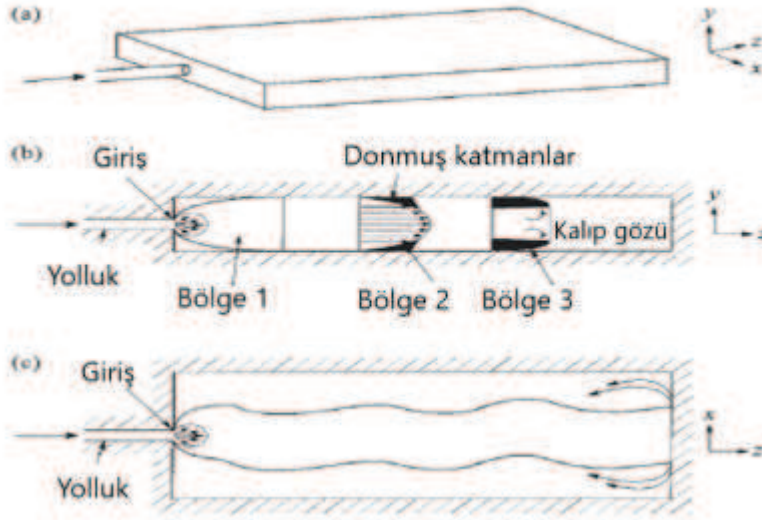


**Şekil 2.27:** Başlıca soğuk yolluk giriş tipleri

1. Genellikle standard giriş tercih edilir. Bu giriş şekli trim fikstürü ve el nipleri ile kolayca değiştirilebilir
2. Tam cidar kalınlıklı tam kenar giriş iyi ütüleme fazı için kalın cidarlı parçalarda kullanılmaktadır.
3. Nispeten geniş fakat ince bir kenarlı olan fan giriş, malzeme akışını yayar. Dolayısıyla akış çizgilerini en aza indirir. Parçalarının ince düz bölümleri vardır
4. Karmaşık parçalarda kullanılan flaş veya film giriş, düzgün dolum ve paralel akış yönüne sahiptir. Parçadaki yolluk beslemesindeki basınç farkını telafi etmek için,

merkezdeki daha ince bölümden kenarlardaki daha büyük kalınlığa doğru incebilir. Takviyeli parçalardaki çarpılmayı kontrol etmek için kullanılır.

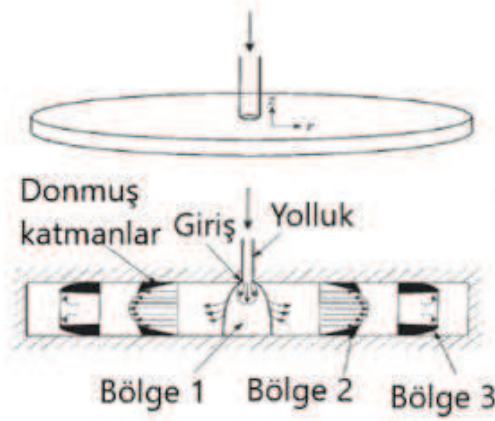
5. Kenar giriş bir pin-point giriş olup, kenar ince duvarlı parçalarda kullanılmaktadır.



**Şekil 2.28:** Sondan girişli ince dikdörtgenel kalıp boşluğunda çok yüksek aspect oranıyla yüksek enjeksiyon hızında dolunun şematik gösterimi[12]

6. Tab –giriş kalın cidarlı parçaların iyi ütülenip kaliteli parça üretimi için kullanılmaktadır.
7. Pin point submarine giriş ayırma çizgisinin altında otomatik değiştirmeye sahip olup, genellikle 0.020 inch çapa sahiptir. Genellikle küçük parçaların üretiminde kullanılmaktadır. İğne girişin çapı ortalama et kalınlığının %50-70'i arasında olup, minimum 0.05 inch ve maksimum 0.1 inch olmalıdır. Girişler 0.050 inch'ten daha küçük olması halinde malzemede kayma gerilimine sebep olabilir. Ayrıca parça tam olarak dolup, ütüleme fazına girmeden önce katılaşabilir. Girişler 0.10 inch'ten daha büyük iken, çevrim süresini uzatır, girişin kesilmesi zorlaşır, daha yüksek stres alanı oluşur ve parçada büyük görsel giriş izi meydana gelir.
8. Submarine flare ya da keski giriş daha önce bahsedilen giriş tipine benzemektedir. Keski ağzı daha uzun ve daha büyük parçalarda kullanılmaktadır. Kalıp açıldığında, giriş kayar ve yolluk ve sprue kalıptan çıkarılır. Çekirdek geri çekildikten sonra parça kalıp çekirdeğinden ayrılmaktadır.
9. Halka giriş dairesel parçalar için çok gözlü kalıpların dıştan doldurmak için uygundur. Kaynak izini engeller ve eş merkezli iyi parça vermektedir.
10. İç halka ya da disk giriş kullanımı dairesel tek gözlü kalıpların doldurulması ya da 3 plakalı kalıplar için uygundur. İyi eş merkezlilik sağlamaktadır.

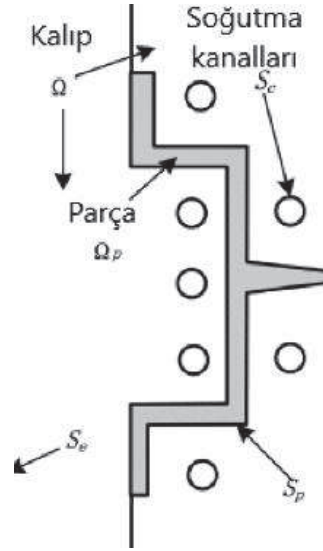
11. Sprue giriş tek gözlü kalıplar için kullanılmaktadır. İyi ütüleme basıncı, mükemmel eş merkezlik hızlı dolun ve büyük yarı düz parçalarda kullanılmaktadır.
12. Spider giriş birçok enjeksiyon bölgesi ile kullanılmaktadır. Girişler arasında kaynak izi oluşmakta olup, eş merkezliliği kötüdür.
13. Ortadan giriş, iğne giriş olup, iyi bir dolun sağlar fakat kötü ütüleme basıncı sağlar. Bu tip girişler üç plakalı kalıplarla kullanılmaktadır.



**Şekil 2.29:** Disk tipi kalıp boşluğunda merkez girişli enjeksiyon kalıplamada yüksek enjeksiyon hızlarında dolun şeklinin şematik gösterimi <sup>[12]</sup>

### 2.3.2 Enjeksiyon Kalıplarının Soğutulması

Enjeksiyon kalıplama prosesi dört aşamadan oluşmaktadır. Bular; dolun , ütüleme, soğutma ve kalıp açılma evresi. Enjeskiyon kalıplama ile üretimlerde soğutma aşaması çok önemlidir çünkü kalıplama kalitesi ve üretilebilirliğe en büyük etkiyi sağlamaktadır. Uygun soğutma kanalı tasarımı soğutma süresini azaltmalı, üretilebilirliği artırmalı, parça üzerinde oluşabilecek çökme derinliğini , çekme farklılıklarını, termal artık gerilimleri ve çarpılma değerlerini azaltmalıdır.

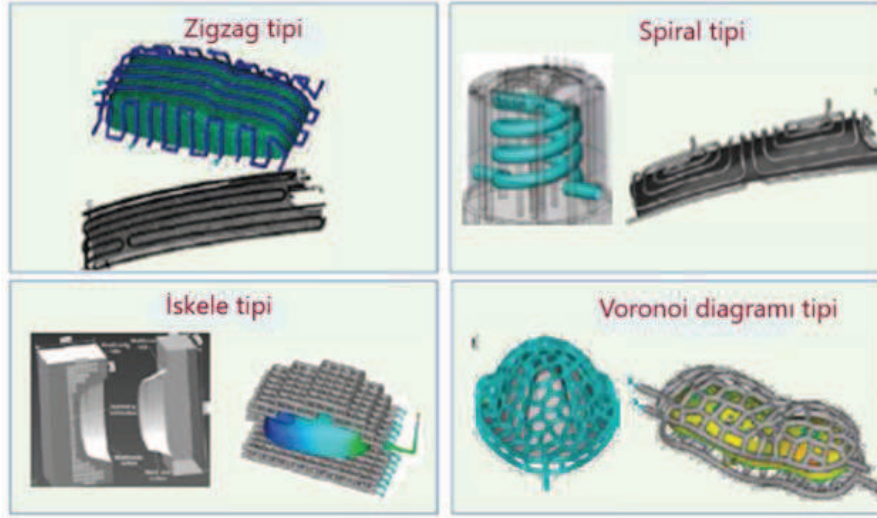


**Şekil 2.30:** Enjeksiyon kalıplama için şematik diagram[15]

Konformal soğutma uzun yıllardan beri kullanılmakta ve kalıp yüzeyine yakın tasarlanmaktadır.[16]

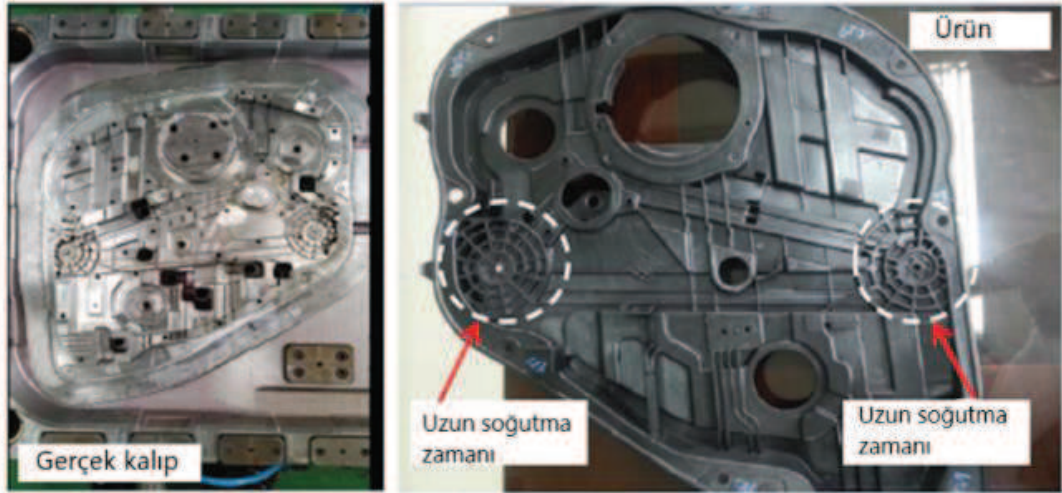
Konformal soğutma kanalları plastik kalıp tasarımcıları tarafından tasarlanmaya başlanmıştır. Ferria and Mateus plastik enjeksiyon kalıplama için konformal soğutma kanalı üzerinde çalışmıştır.[17] Wang ve arkadaşları, yeni bir yaklaşımla spiral soğutma kanallarının konformal soğutma için geliştirmişler ve soğutucu akış hızının neredeyse azalmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca bu soğutma kanalları uniform kalıp soğutmasını sağlamıştır.[18] Literatürde, dört tip konformal soğutma kanalı bulunmaktadır.[18-19] Spiral konformal soğutma, Zig-zag konformal soğutma kanalı[19], iskele tipi konformal soğutma kanalı[20], Voroni diagram tipi. Herbir tip kalıplanan parçanın geometrisine ve kalıp tasarımcısının hassasiyetine göre tercih edilmektedir.





Şekil 2.31: Konformal soğutma kanalı tipleri<sup>[19]</sup>

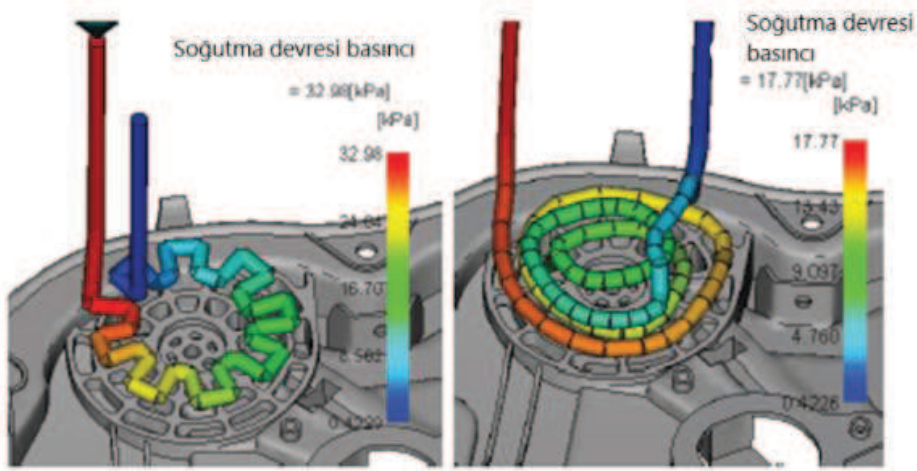
Konformal soğutma kanalları, çevrim süresini, çekme farklılıklarına ve çarpılma sorunlarına karşı en iyi çözümü sunmaktadır.[21] Hong –Seok ve arkadaşları, kompleks otomobil kapı modülü için enjeksiyon kalıbı yapmışlar. Kalıplanan parçanın fonksiyonelliğine bağlı olarak, parçanın cidar kalınlığı değişiklik göstermektedir. Bu yüzden gerekli olan soğutma zamanı bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Parçadaki deformasyon beklenenden yüksek olacaktır. Bu yüzden konformal soğutma kanalı uygulaması ile parça kalitesi ve üretilebilirliğinin geliştirilmesini hedeflemişlerdir.[19]



Şekil 2.32: Geliştirilecek kalıp ve ürünü[19]

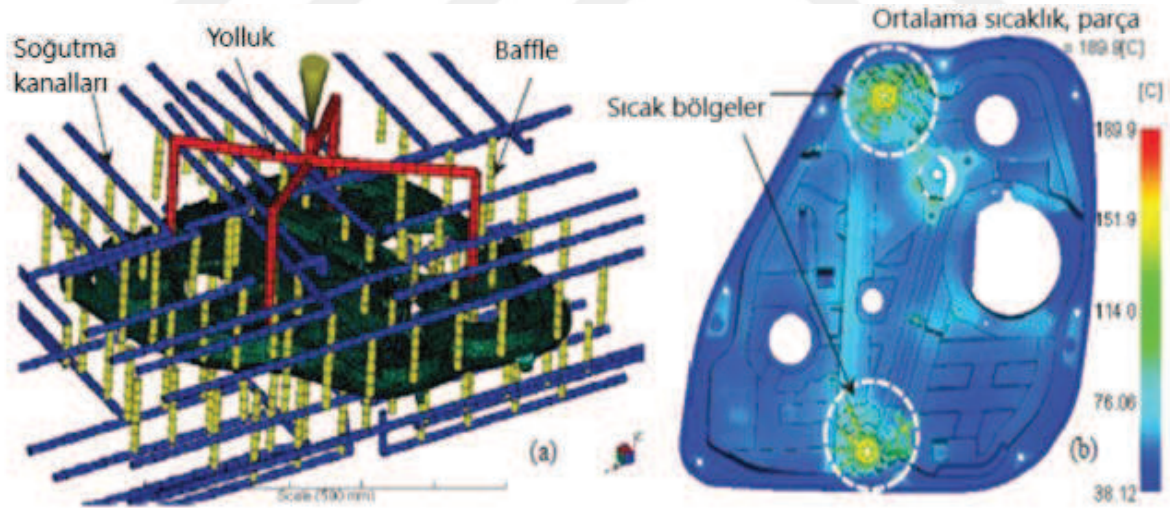
Zigzag soğutma kanalları çok fazla gereksiz dönüşlere sahiptir. Bu durum soğutucu hızını düşürmekte ve soğutma verimini düşürmektedir. Spiral soğutma kanalı ise

düşük soğutma kanalı basın.ç düşüşüne sahiptir. Bu yüzden spiral soğutma kanalı daha iyidir.

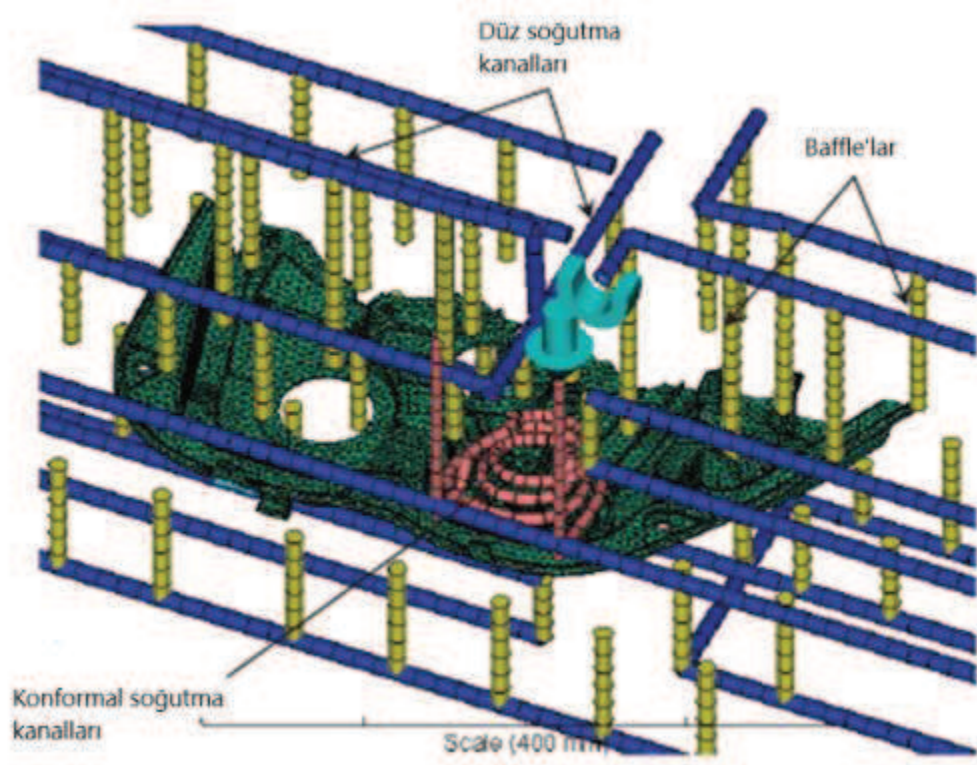


Şekil 2.33: Zigzag ve spiral soğutma kanalı karşılaştırılması[19]

Mevcut soğutma kanalları baffle ve soğutma kanalları ile kompleks şekilde tasarlanmış ve yapılan CAE analizi sonucuna göre parça üzerinde sıcaklık dağılımı incelendiğinde iki sıcak bölgenin olduğu görülmektedir. Bu yüzden local olarak spiral konformal soğutma tasarlanmıştır.

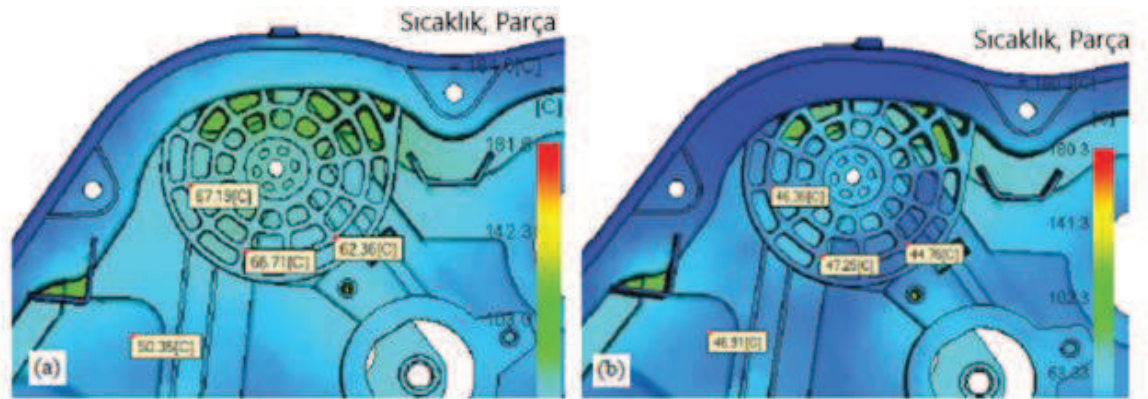


Şekil 2.34: Mevcut soğutma kanalları ve kalıplanan parça üzerindeki sıcaklık dağılımları[19]



Şekil 2.35: Bölgesel spiral soğutma kanalları[19]

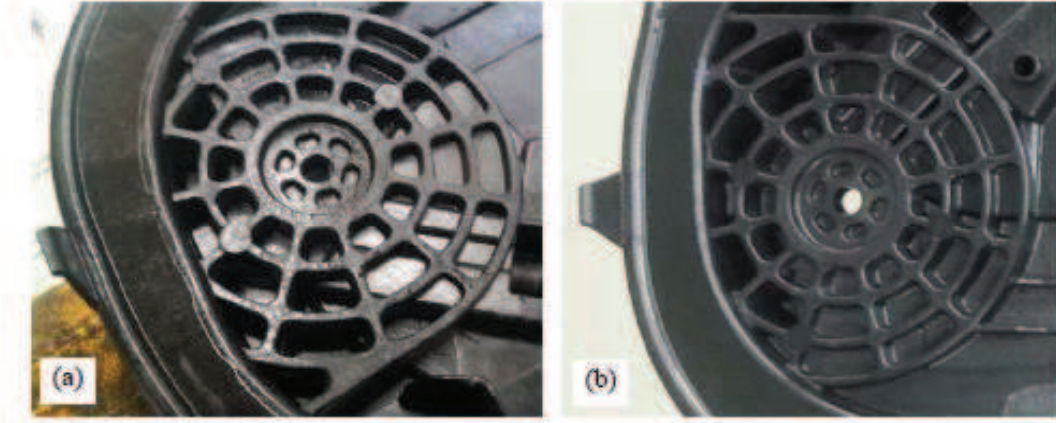
Konvansiyonel soğutma kanalları ve konformal soğutma kanalı incelendiğinde konformal soğutma aile daha etkin sonuç alındığı görülmekte olup, bunun yanında soğutma süresi de kısalmıştır.



Şekil 2.36: a) Konvansiyonel b)Konformal soğutma ile parça üzerinde sıcaklık dağılımı[19]

**Çizelge 2.7:** Çıkış sıcaklığına erişme zamanı karşılaştırılması[19]

Nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Düz Kanallar	21.3	20.4	36.5	28.8	21.3	35.4	30.8	31.5	58.4	75.3	71.4	22	26.2	23.1	19.6	19	41.8	21.4
Konformal Kanallar	15.7	17.5	23.2	23.8	20.3	21.3	21.6	20.4	25.1	43.8	57.0	17.0	21.1	16.7	15.7	14.5	17.5	24.4
Sonuçların karşılaştırılması	Düz soğutma kanalları ile çıkış sıcaklığına ulaşma zamanı =33.57s						Konformal soğutma ile çıkış sıcaklığına ulaşma zamanı=23.14s						Soğutma zamanındaki azalma yüzdesi = 31%					



**Şekil 2.37:** Bitmiş ürün a) Konvansiyonel b) Konformal soğutma[19]

Tüm kalıp üreticileri kalıptan ısıyı uzaklaştırma teknolojilerinin faydalarından haberdar olmalarına rağmen birçoğu hala konvansiyonel soğutucular kullanmaktadır. Çünkü konformal soğutma kanalları konvansiyonellerin üretimine göre oldukça komplekstir. Fakat metal olmayan insertler LOM,SLA ve 3D yazıcı ile üretilebilir.[16]

### 2.3.3 Enjeksiyon Kalıplama İle Üretilen Parça Hataları

Enjeksiyon kalıplama ile üretimlerde malzeme, ürün tasarımı, kalıp, proses, makine ve operatör kaynaklı birçok hata görülmektedir. Bunlar; çapak oluşumu, çökme derinliği, çarpılma, birleşim izi, gaz, eksik dolum, akış izi, çatlama ya da kırılma, parçanın kalıpta kalması, nem izi, yanık izler vb. Kalıplanmış olan parçanın kalitesi boyutsal stabilite, görünüm ve mekanik özellikleri olarak karakterize edilmekte olup, ağırlıklı olarak proses değişkenliklerine bağlıdır.[22]

**Çizelge 2.8:** Enjeksiyon kalıplama proses çevrimi[23]

Adım	Çevrim aksiyonu	Vida aksiyonu	Vida dönmesi	Eriyik Kayması
1	Enjeksiyon	Enjeksiyon	Hayır	Evet

2	Tutma	Tutma basıncı	Hayır	Hayır
3	Artık soğutma	Plastikleştirme +dozajlama	Evet	Evet
4	Kalıp açılma	Duruş	Hayır	Hayır
5	Parçanın çıkartılması	Duruş	Hayır	Hayır
6	Kalıp kapama	Duruş	Hayır	Hayır

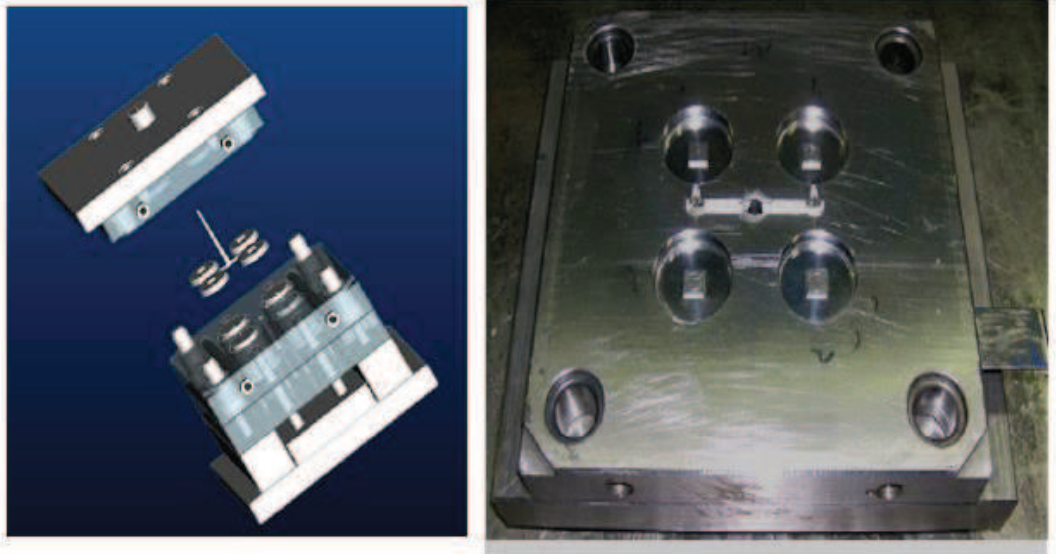
Postawa ve arkadaşları, proses koşullarının farkı ile kalıplanmış parçadaki ağırlık ve çekme değişimlerini araştırmışlardır.[24]

Jansen ve arkadaşları, çekmeyi ölçmek için yedi tip plastik üzerinde kalıplama koşullarının etkisini incelemişler ve en önemli parametre ütüleme basıncı ve eriyik sıcaklığı olarak kaydetmişlerdir.[25]

Kazmer ve arkadaşları; çok gözlü kalıplarda dolun ve ütüleme aşamalarında basınç kontrolünü araştırmış olup, bu çalışma göstermiştir ki, yüksek kalitede parça üretimi için göz basıncı kritik bir faktördür.[26]

Bushko ve arkadaşları, proses koşulları etkisini iki paralel plaka arasındaki termo-viskoelastik eriyiğin artık stresi , çekme ve çarpılma üzerinde incelemiştir.[27]

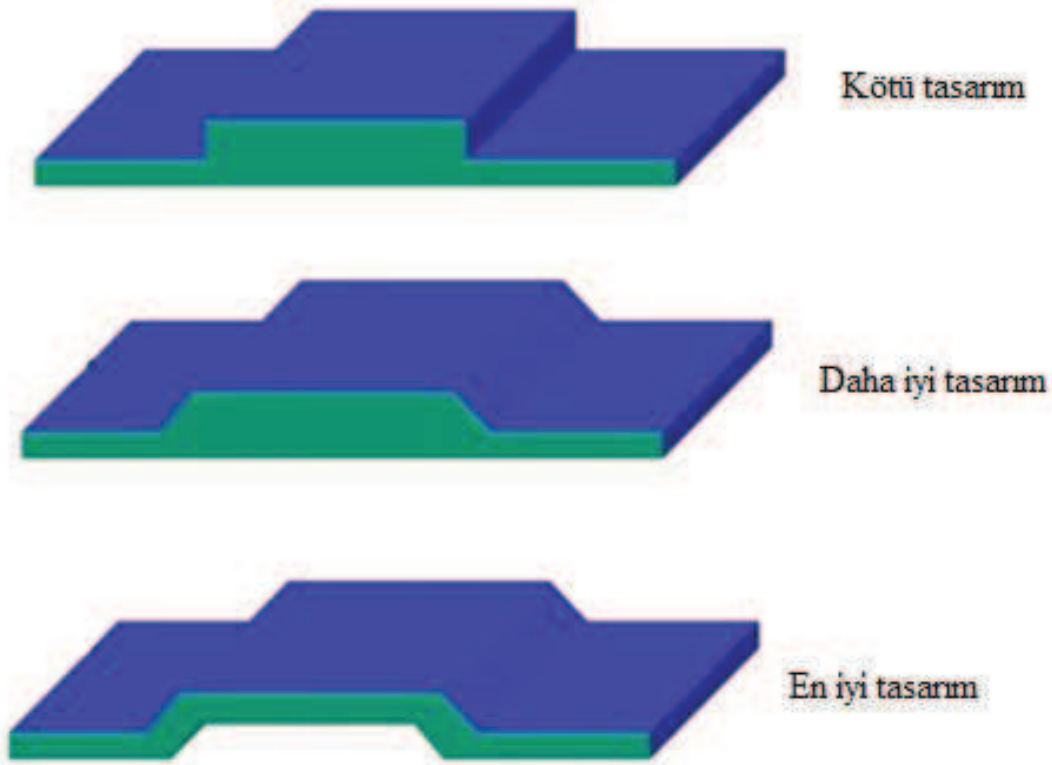
Plastik enjeksiyon kalıplamada final parçanın kalitesine proses parametresinin etkisini kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Göziçi basıncı ve kalıp sıcaklığı kalıba yerleştirilen sensörler ile alınmıştır.



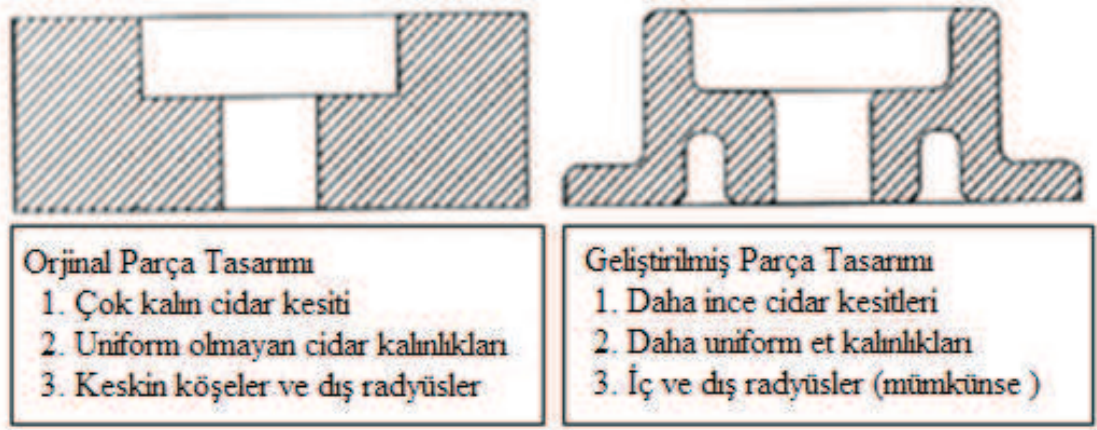
Şekil 2.38: Plastik enjeksiyon kalıp modeli

Çarpılma boyutsal kararlılığı en çok etkileyen etmendir. Azaltmanın yolu ise kalıp tasarımının yeniden yapılması ve kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı ve ütüleme basıncı gibi proses parametrelerini optimum seviyeye getirmektir. Bikas ve arkadaşları optimum giriş kalınlığının çarpılma değerleri üzerinde etkili olduğunu savunmuşlardır.[28]

Çarpılma bir de etkin soğutma yapılamadığı zamanlarda ortaya çıkmaktadır. Parçada kalınlık farkının olduğu zamanlarda ısının uzaklaştırılması uniform olmayacak ve parça kalıptan çıktığında soğumaya devam edecektir. Bu durumda termal olarak artık gerilmelerden ve ısının uzaklaştırılması ile birlikte parçada çekme farklılıkları oluşacak ve bu durumda parçada çarpılma meydana gelecektir. Bu yüzden kalınlık geçişlerine dikkat edilmelidir.



Şekil 2.39: Kalınlık geçişleri[29]



**Şekil 2.40:** Tasarım karşılaştırması. © Elsevier. Reproduced by permission of Elsevier. Permission to reuse must be obtained from the rightsholder.[30]

Eğer soğutma zamanı çok kısa olursa, boyutsal küçülme artacaktır. Diğer bir deyişle, soğutma süresi çok uzun tutulursa, kalıplama çevrimi artacak ve bu sebeple üretilebilirlik azalacaktır. Ayrıca kalıplama maliyetini artıracaktır. Kısa soğutma zamanı kalıp çevriminin kısaltılması için önemli bir faktördür.[23]

Ayrıca eksik enjeksiyon plastik eriyiğin kalıp boşluğunu tam olarak doldurmaması sebebiyle ortaya çıkan ciddi bir plastik enjeksiyon hatasıdır. Daha küçük enjeksiyon daha düşük kalıp sıcaklığı bu probleme yok açmaktadır. Eksik enjeksiyonu önlemenin en basit yolu, yüksek enjeksiyon basıncı ve yüksek kalıp sıcaklığı kullanmaktır. Diğer yol ise, yüksek eriyik sıcaklığı kullanmak olacaktır. Maalesef, proses parametreleri arasındaki bu ilişki oldukça kompleks olup, eksik enjeksiyon sorununu çözmek için net bir yol sağlayamamaktadır. Diğer bir yolu ise, tasarım ile sorunun çözülmesi önerilmektedir.[31]

**Çizelge 2.9:** Proses parametrelerini optimize etmek için yapılmış olan çalışmalar[31]

Referans	Yazıcılar	Yıl	Amaç fonksiyonu	Tasarım Değişikliği	Tasarım değişikliği sayısı
28	Bikas et al.	2002	Dolum zamanı farkı	Giriş boyutu	3
32	Shi et al.	2003	Maksimum kayma gerilimi	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Enjeksiyon zamanı	4

				Enjeksiyon basıncı	
33	Kurtaran et al.	2005	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Soğutma zamanı	5
34	Özçelik ve Erzurumlu	2006	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Soğutma zamanı	5
35	Changyu et al.	2007	Hacimsel çekme değişimleri	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Ütüleme basıncı Enjeksiyon süresi	5
36	Yin et al.	2011	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Soğutma zamanı Ütüleme basıncı	5
37	Yin et al.	2011	Çarpılma ve kilitleme kuvveti	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Ütüleme basıncı Enjeksiyon süresi	5
38	Kutomun ve Erzurumlu	2006	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme süresi Soğutma zamanı Ütüleme basıncı	5
39	Chiang ve Cheng	2007	Çekme ve çarpılma	Kalıp sıcaklığı Ütüleme zamanı ütüleme basıncı soğutma zamanı	4



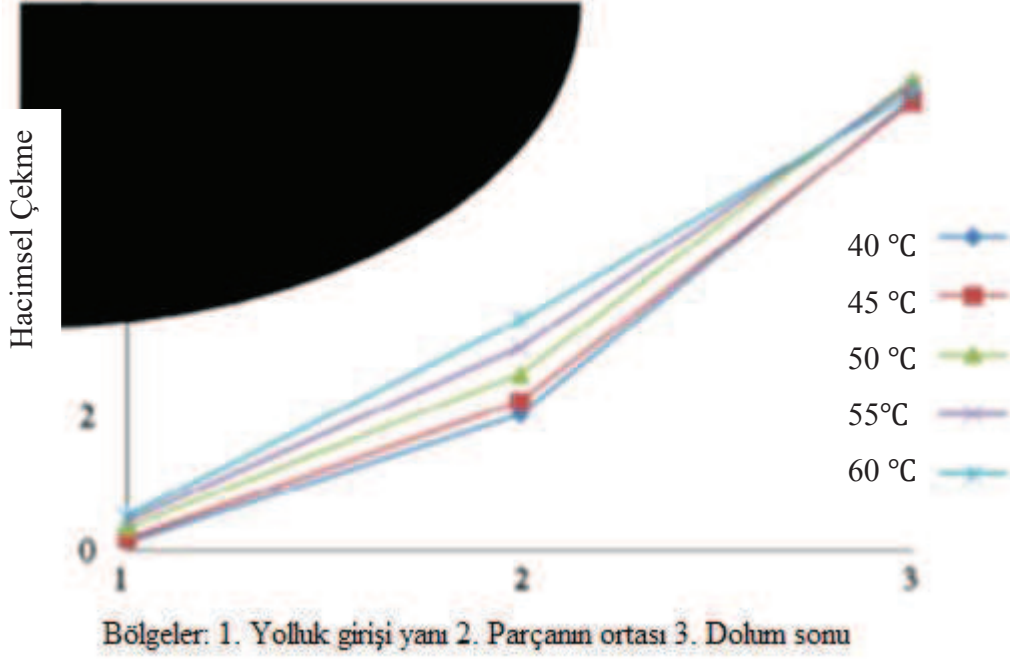
40	Muthivaman ve partlasarafly	2009	Çökme derinliği	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı Feder / duvar kalınlığı	4
41	Gao ve Wang	2008	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı	4
42	Gao ve Wang	2009	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Enjeksiyon süresi Ütüleme profili	5
43	Li et al	2010	Çekme	Ütüleme profili	4
44	Shi et al	2010	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı Ütüleme zamanı Enjeksiyon zamanı Soğutma zamanı	6
45	Deng et al	2010	Çarpılma	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı Enjeksiyon zamanı	4
46	Zhou ve tueng	2007	Maksimum hacimsel çekme	Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı Ütüleme zamanı Enjeksiyon zamanı Soğutma zamanı V/P switchover	7
47	Xin at al.	2001	Çarpılma	Eriyik sıcaklığı	6

				Ütüleme basıncı Ütüleme zamanı Enjeksiyon zamanı Enjeksiyon basıncı Soğutma zamanı	
48	Erzurumlu ve Özçelik	2006	Çarpılma ve çökme indeks	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Ütüleme basıncı Feder kesit alanı Feder yerleşim açısı	5
49	Oktem et al.	2007	Çarpılma ve çekme	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Enjeksiyon zamanı Malzeme akış hızı Enjeksiyon hızı	5
50	Oktem	2012	Çekme	Kalıp sıcaklığı Eriyik sıcaklığı Enjeksiyon zamanı Enjeksiyon basıncı Soğutma zamanı	5

Endüstrideki yeni trend ince cidar kalınlıklı, hafif ve çevreye duyarlı parça üretiminin yapılmaktadır. Bunun yanında genel kazanımlar, malzeme maliyetinin azaltılması, üretim adetlerinin artmasıdır. Bunun için yapılan çalışmalarda parça kalınlıklarının azaltılması çalışmaları ve cam elyafli malzeme kullanmak yerine lignin selüloz içeren fiberli malzeme kullanılarak malzeme maliyetinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Azaman ve arkadaşları, ince cidarlı ve ligno selülozik bir polimer ile kompozit kalıplaması üzerinde çalışarak parça üzerinde daha düşük artık stres ve çarpılma değerleri elde etmişlerdir.[51] Jacques'e göre kalıplanmış parçanın çarpılması dengeli soğutulmayan parçanın asimetric stres dağılımı etkisiyle olmaktadır.[52] Bu yüzden en ince parçalar çarpılmaya karşı çok hassastır. Cheng ve arkadaşlarına göre ise,

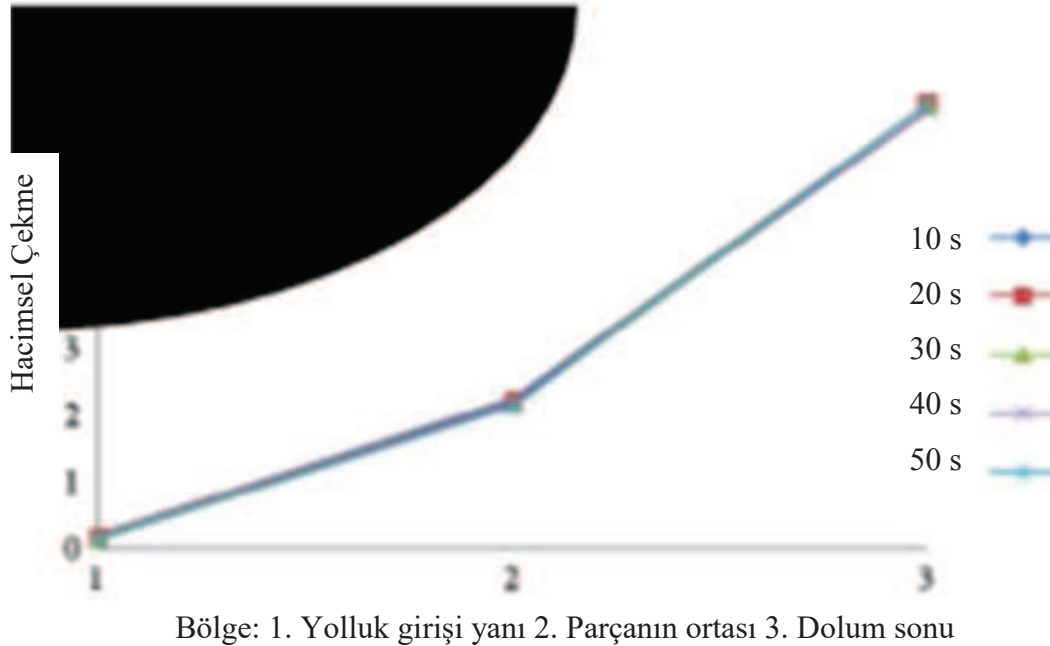
ince cidarlı parçalarda çarpılmanın azaltılması parça tasarımı, soğutma sistemi, kalıplama parametrelerine bağlıdır. İnce cidarlı parçaların tasarımında kalıp gözlerinde kalıp sıcaklığı uniform tutulmalı ve çekirdek sabit soğutma hızı ile soğutulmalıdır. Kalıp sıcaklığı ince cidarlı parçalarda çarpılma üzerinde en büyük etkili parametre olarak görülmektedir.

Hacimsel çekme yolluk girişine yakın olduğu bölgede dolum sonuna göre daha düşük olmaktadır. Kalıp sıcaklığı ve ütüleme basıncı parametrelerinin soğuma zamanına göre daha önemli olduğu görülmüştür. İnce cidarlı parçalarda ütüleme zamanı dahaz az etki göstermiştir. Şekil 2.41’de farklı kalıp sıcaklıklarında akış yolu boyunca üç farklı bölgede hacimsel çekme dağılımları gösterilmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki optimum kalıp sıcaklığı 40-45 °C olarak belirlenmiştir.[53] Fiber oryantasyonu parça yüzeyi boyunca kalınlık yönünde çekmenin deformasyonundan etkilenmiştir. Bu yüzden lignoselülozik dolgulu malzeme ince cidarlı parçalar için daha düşük moleküler oryantasyon göstermiştir. Shoemaker’a göre, daha yüksek kalıp sıcaklığı daha uniform çekme ve daha düşük oryantasyon seviyesi sağlamaktadır. Fakat similasyon çalışmalarında lignoselülozik dolgulu ince cidarlı polimer kompozitlerde kalıp sıcaklığının artması ile akış yolundaki hacimsel çekme artmıştır. Jansen ve arkadaşlarına göre, yarı kristalin malzemeler örneğin; %30 cam elyafı Polibütülfitalat (PBT+%30GF) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için kalıp sıcaklığı çok yüksek etki göstermemektedir. Fakat onların bulgularında da akış yolu boyunca hacimsel çekme benzer sonuçlar göstermiştir.[25]



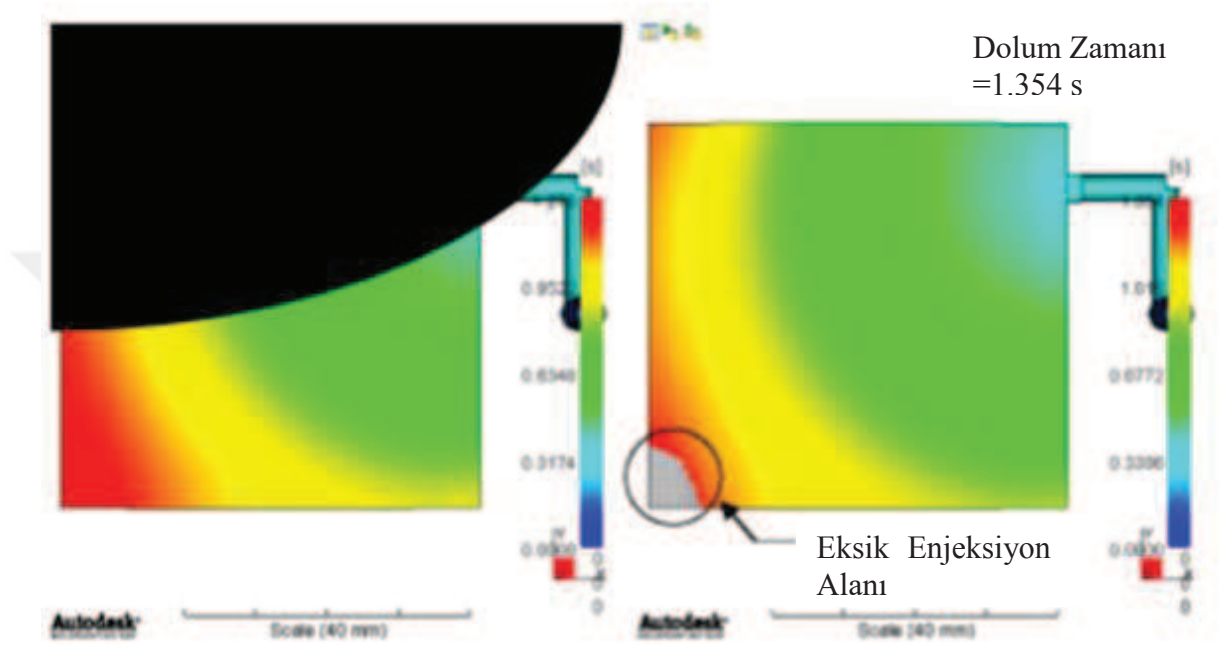
**Şekil 2.41:** Akış yolunda farklı kalıp sıcaklıklarında hacimsel çekme değişimleri görülmektedir

Oktem ve arkadaşları, kalıplanmış ince cidarlı parçalarda soğutma zamanının çekme deformasyonu üzerindeki etkisini incelemişler.[49] Şekil 2.42’de parça üzerinde akış yolu boyunca soğutma zamanı etkisiyle çekme farkı neredeyse sabit çıkmıştır. Fakat, simulasyon sonuçlarına göre, 30 ve 50 s’lik soğutma zamanlarında parça yüzeyinin ortasında daha düşük hacimsel çekme görülmüştür.



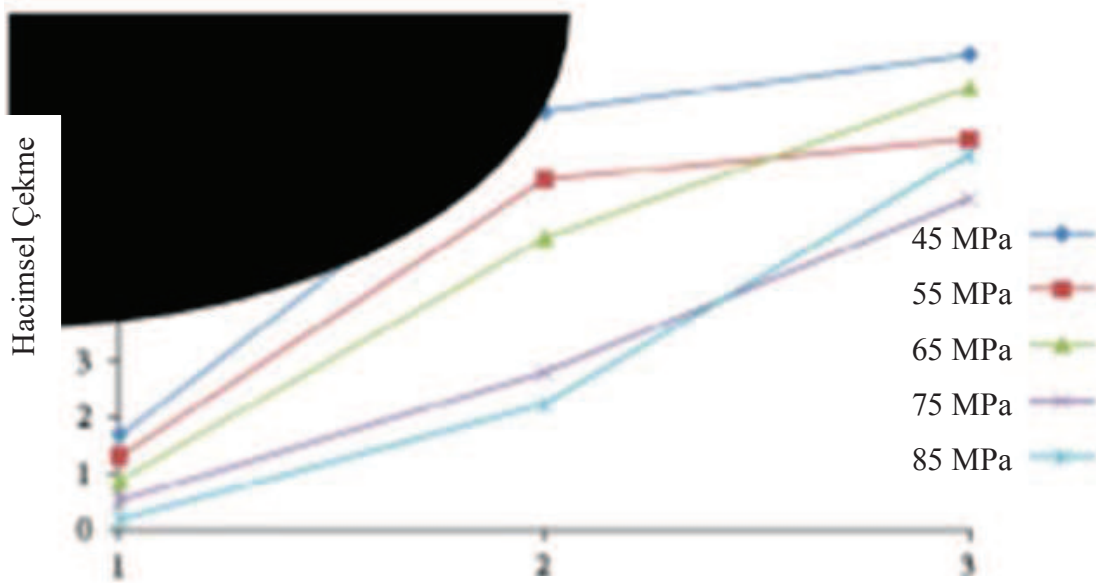
**Şekil 2.42:** Farklı soğutma zamanlarında akış yolu boyunca görülen hacimsel çekme değerleri

Yolluk girişinin olduğu bölgelerde daha kolay ütüleme yapılabilmektedir. Yolluk girişi katılaşıncaya kadar sabit bir şekilde basınç verilebilirse, yüksek ütüleme basıncı hacimsel çekmeleri azaltmaktadır. Özellikle ince cidarlı parçalarda malzemenin akış hızının yüksek olması gerektiği için yüksek basınçlarda dolun ve yolluk bölgesinin katılaşmasından önce etkin ütüleme yapılabilmesi için yüksek ütüleme basıncı kullanılmalıdır.



**Şekil 2.43:** Dolun simülasyonu 0.8P (sol), 0.55P (sağ)

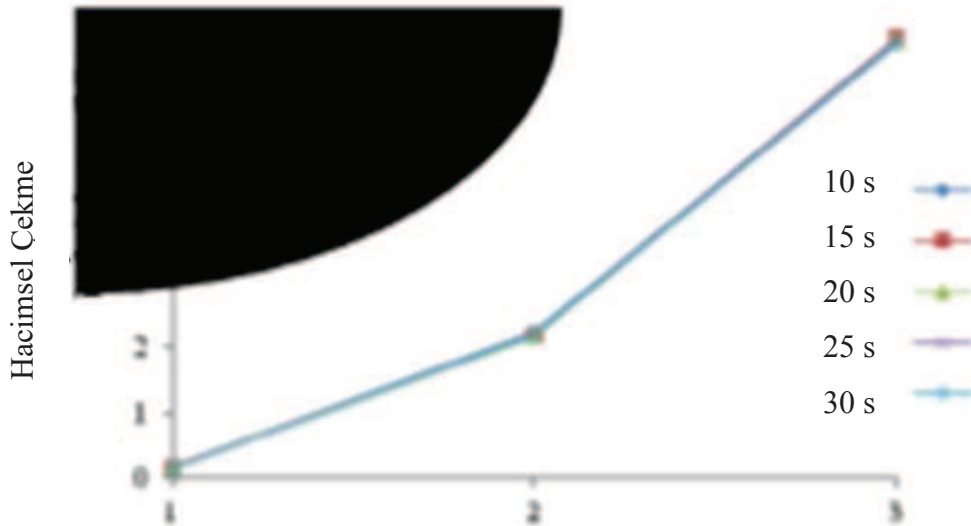
Busho ve arkadaşlarına göre, ütüleme basıncının çekme üzerinde etkisi yüksektir. Daha yüksek ütüleme basıncı daha az çekme göstermektedir. [27]



Bölge: 1. Yolluk girişi yanı 2. Parçanın ortası 3. Dolum sonu

Şekil 2.44: Akış yolu boyunca farklı basınçlarda hacimsel çekme

Oktem ve arkadaşlarına göre, enjeksiyon kalıplama prosesinde ütleme zamanı ince cidarlı parçalarda en önemli etkiye sahiptir. Fakat, Chiang, ütleme zamanı ince parçalarda daha az etkiye sahiptir. Ayrıca bu çalışma %50 wood +PP malzeme kullanılmış olan ince cidarlı parçalarda artan ütleme zamanıyla hacimsel çekme değeri değişmemektedir.[49]



Bölge: 1. Yolluk girişi yanı 2. Parçanın ortası 3. Dolum sonu

Şekil 2.45: Akış yolu boyunca farklı ütleme zamanlarında hacimsel çekme

Huang ve Tai, ama, amorf malzeme kullanılan ince cidarlı parçalarda çarpılmayı azaltmak için ideal kalıp sıcaklığı aralığı 85-95 °C olmasını önermiştir.[54] Amorf

polimerler yarı kristalin polimerlerden daha farklı davranmaktadır. Bu sebeple, PP+%50 talaş içerikli ince cidarlı parçalarda 40-45 °C kalıp sıcaklığı gereklidir. Bu aralık kristalizasyon zamanı için yeterlidir ve sonuç olarak çarpılma ve lignoselülozik polimer kompozitin degradasyonunu minimize etmek için daha düşük stres ve yeterli gevşeme ile birlikte daha yavaş kristalizasyona sebep olmaktadır. Çünkü yüksek kalıp sıcaklığı çekirdek ve kalıp gözü arasında sıcaklık farkına sebep olacak bu durum daha uzun soğutma zamanı gerektirecek ve kalıplanmış parçada uniform olmayan çekmelere sebep olacaktır. Azaman ve arkadaşlarına göre, analizler göstermiştir ki, kalıp sıcaklığı ve ütüleme basıncı çarpılma ve çekme üzerinde büyük etkiye sahipken, soğutma ve ütüleme zamanı etkisiz kalmıştır.[53]

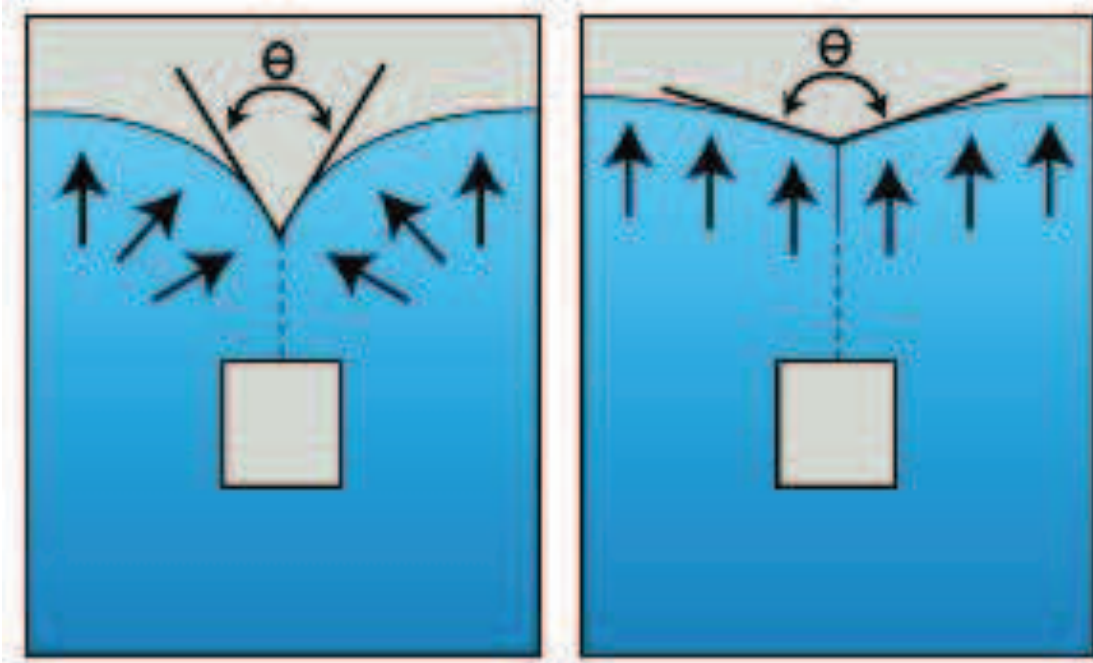
Hızlı ısıtma çevrimli kalıplama (RHCM) prosesi son yıllarda konvansiyonel enjeksiyon kalıplamayla görülmekte olan yüzey hatalarını kalıp çevrimini artırmadan azaltmak için gelişmektedir. Konvansiyonel enjeksiyon kalıplama prosesinde daha kısa soğutma zamanı daha düşük kalıp sıcaklığı anlamına gelmektedir. Bu durum polimer eriyiğinin akışkanlığını düşürecek ve ürün kalitesini etkileyecektir. Bu durumda parçada akış izleri, gümüş izleri, jetting izleri, birleşim izleri ve düşük parlaklık sağlayacaktır. Bu problemleri aşmak için hızlı ısıtma ve soğutma ile konvansiyonel enjeksiyon kalıplama prosesi geliştirilmiştir. Bu teknolojiyle kalıp yüzeyi eriyik dolmadan önce hızlı bir şekilde yüksek derecelere ısıtılmakta, malzeme akışkanlığının yükselmesi ile konvansiyonel enjeksiyon kalıplama ile oluşan hatalar elimine edilmektedir. Dolum ve ütülemeden sonra ise, hızlı bir şekilde parçanın katılaşması için soğutulmaktadır. İkinci bir proses olmadan kaliteli parça üretilmektedir.[55]

Çökme derinliği ile ilgili olarak Erzurumlu ve arkadaşları, çökme derinliklerini minimize etmek için farklı plastikler ve Taguchi ile DOE çalışması yapmışlar. Sonuçlara göre, feder tasarımı ve proses parametrelerinin plastik parça üzerinde önemli etkisi olduğunu saptamışlardır.[48] Benzer method kullanan, Shen ve arkadaşları proses değişikliklerinin ve kalıp geometrisinin etkisini araştırmışlar ve çökme derinliği üzerinde parça kalınlığının ve bunu takip eden ütüleme basıncı, eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının büyük etkisi olduğunu görmüşlerdir.[56] Tursi ve arkadaşları ile Iyer ve arkadaşları kalıp malzemesinin termal iletkenliğinin çökme derinliği üzerinde önemli etkisi olduğunu bulmuşlardır.[57] Tüm bu referanslar göstermektedir ki, çökme derinliği ağırlıklı parça ve kalıp tasarımından kaynaklı ortaya çıkmakta olup, tasarım aşamasında çözülebilmesi muhtemeldir. Yani parça

kalınlığı uniform tutulmalı ya da feder kalınlıkları parça kalınlığının 0.5-0.7 katından yüksek olmamalıdır.

Kalıplanmış parça üzerinde çökme derinliği ve çarpılma hızlı ısıtma ve soğutma kalıplama ile analiz edilmiştir. Bu durum yeni vida yapısı ve gas detekliütülee prosesi ile desteklenmiş ve çökme derinliği azaltılmıştır. Anova ile çarpılma değerlerini azaltmak için optimize edilmiştir.[58]

Parçalarda birden fazla yolluk girişi olduğunda ve tasarlanmış boss ve deliklerin etrafında birleşim izleri görülmektedir. Birleşim izlerinin görünümü azaltmak adına hızlı ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılması ve amorf malzeme kullanılması etkili olabilmektedir. Sıcak olarak dolan kalıpta hızlı soğutma ile amorf halde kalan malzeme ile birleşim izi görünmeden boyama gibi ikinci prosesin önüne geçmektedir. Ya da çok girişli kalıplarda sıralı enjeksiyon sistemi kullanılması ile birleşim izleri yok edilmektedir. Sıra ile açılan nozzle'lar ile birleşim izleri yok edilmektedir. Bunun yanında mekanik olarak ya da görsel olarak birleşim izlerinin görünümünü azaltmak adına sıcak birleşim yapması önerilmektedir. Ayrıca birleşim izleri şekil 2.46'da gösterildiği gibi birleşim açısına bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır. 135°'den daha yüksek açılarda oluşacak birleşim izleri daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 2.46: Birleşim izleri gösterimi[59]



### **3. BILGISAYAR DESTEKLI PLASTIK ENJEKSİYON SIMULASYONU**

Bilgisayar destekli tasarım programları tasarım aşamasında birçok problemin farkedilmesinde ve çözümünde çok önemli hale gelmiştir. Ve bu konuda mekanik (statik ve dinamik ) ve akış analizlerini tasarım aşamasında yönetmek için bir çok sonlu elemanlar analizi programları ve akış analizleri bulunmaktadır. Bu pogramlardan bazıları; Ansys, Kalıp akış (moldflow), marc , moldex 3D, nastran vb. olmak üzere aynı zamanda Cad programlarının da simülasyon modülleri bulunmaktadır. Doğru senaryo kurulması ile bu analiz programları analiz ve proses hakkında %90'lara varan doğruluk sağlamaktadır. Bu çalışmada Kalıp akış (Moldflow) programı kullanılarak çalışmanın tamamlanması sağlanacaktır.

#### **3.1 Kalıp akış (Moldflow) Analizleri**

Özellikle otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerde OEM'ler kalıp akış (moldflow) analizlerine önem vermekte olup, mutlaka kalıp yapım aşamalarında ve tasarım aşamalarında yolluk yerinin tespiti, doğru proses tespiti ve parça kalıptan çıktığında karşılaşılabilecek durum ile ilgili önlem alınması amacıyla kalıp akış (moldflow) analizleri istemekte ve aksiyon alınmaktadır.

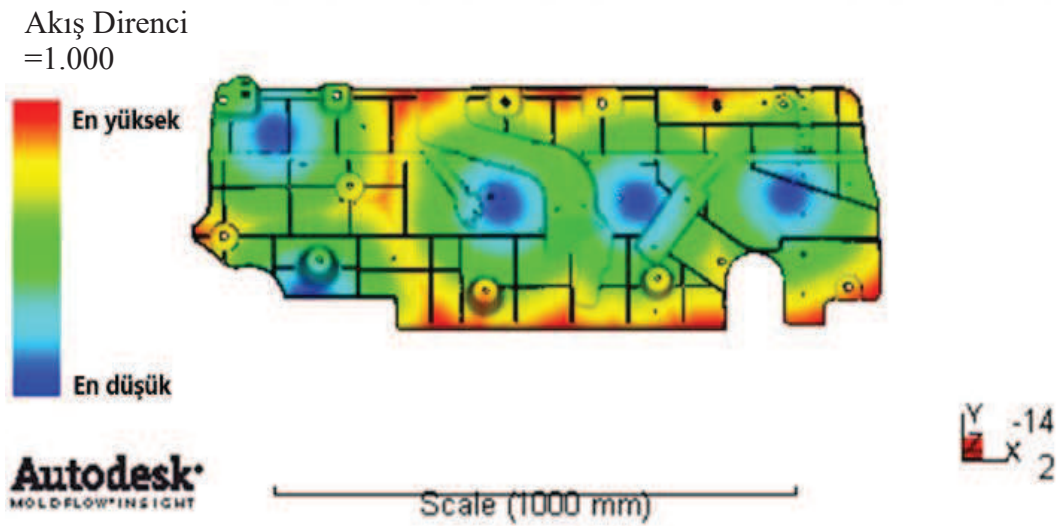
Kalıp akış (Moldflow) Analiz (MFA) yazılımı plastik akışı simüle eden, kalıp tasarımını artıran ve iyi kalitede ürün üretimine olanak sağlayan bir simülasyon analiz programıdır. Kalıp çelikleri kesilmeden önce simülasyonun yapılması olacaktır hakkında öngörü edinmemimizi, sonuçları optimize etmemizi ve para kazancı sağlamamızı sağlar .

Enjeksiyon kalıplama endüstrisi bilgisayar destekli mühendislik (CAE) olarak tanımlanmakta olup, alternatif tasarımlar, malzemeler ve mühendislik Know-How elde etmek için iterasyon yapılmakta ve daha hızlı sonuç alınmakta, üretilebilirlik incelemesi, ürün kalitesi, zaman ve maliyet açısından yetenek kazandırdığını ifade etmektedirler.

CAE analizleri parça, kalıp tasarımlarında ve kalıplama proseslerinde kullanılmaktadır. CAE olmadan, polimer eriyik akışı, weld line, gaz oluşma bölgesi,

gerekli enjeksiyon basıncı ve killitleme kuvveti, fiber oryantasyonu, çevrim süresi, son parçanın şekli, deformasyonu ve kalıplanan parçanın mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için geçmiş deneyimlere, önsezilere, prototiplere, ya da kalıp deneyimlerine güvenilmektedir.

Zhao ve arkadaşları, kalıp akış (moldflow) yazılımında otomotiv parçası üzerinde yolluk girişi noktası ve giriş sayısı hakkında en iyi enjeksiyon prosesi elde etmek amacıyla bir çalışma yapmışlar. Yolluk pozisyonunun tasarımı için bazı öncelikler bulunmaktadır. bunlar; yolluğun kalın bölgeden açılması, akış mesafesini düşürmesi ve birleşim izlerinin dayanımı düşürmeyecek şekilde oluşmasının sağlanmasıdır.<sup>[60]</sup> Plastik parçanın kalitesini moleküler yönelim etkilemektedir. Yolluk giriş noktasının konumu oldukça önemli olup, kalıp gözündeki eriyik akışını etkileyerek çarpılma ve birleşim izi ile ilişkilidir. Tasarımcılar hızlı ve doğru bir şekilde kalıp akış (moldflow)yazılımı ile en iyi yolluknoktasının kararını verebilmektedirler. Böylece kalıp tasarımının verimi artmakta olup, parça kalitesi artmakta ve maliyet azalmaktadır. Şekil 3.1'e bakılırsa, 5 adet giriş noktası istenmiş ve en uygun noktalar mavi ile gösterilen bölgelerdir. Kalıp açısından uygunluğu tartışılarak diğer analizlere geçilmelidir.<sup>[61]</sup>

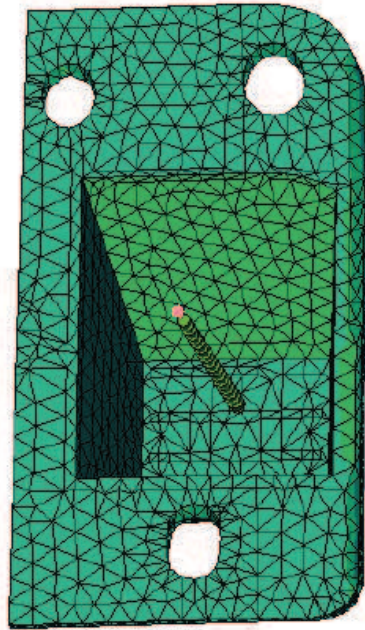


Şekil 3.1: Best gate location analizi sonucu

Yoluk sayısının optimize edilmesi için, genelde mümkün ise , birleşim izini elimine edebilmek için tek yolluk ile parçanın doldurulması istenir fakat bu durumda kalıp gözünü doldurabilmek için daha yüksek enjeksiyon basıncı gerekir. Ve artık stres artabilir. Birden fazla yolluk ile enjeksiyon basıncı düşmekte ama birleşim izi meydana gelecektir. Ayrıca giriş sayısı dolun zamanı, birleşim izi ve gaz kanalları ve hacimsel çekme ile ilişkilidir. Bu yüzden Zhao ve arkadaşları giriş sayısını karşılaştırmalar ile tanımlamışlardır.[61]

Lotti ve arkadaşları, kalıp akış (moldflow) simülasyonu kullanarak, parametrelerin polipropilen plakalarının çekmesine etkisini araştırmışlardır. Ve parçaların çekmesine en büyük etkinin tutma basıncı ve kalıp sıcaklığı olduğu kanısına varmışlardır.[62]

Chen ve arkadaşları, kalıp akış (moldflow) yazılımını ve taguchi yöntemini kullanarak gaz destekli enjeksiyon kalıplama prosesini polyester ürünün üretimini optimum tasarım koşullarını keşfetmek için simule etmişler ve daha az çarpılma için gaz basıncı ve ve daha uzun üytleme zamanı gerekliliğini tespit etmişlerdir.[63] Patcharaphun ve arkadaşları, kalıp akış (moldflow) simülasyonu ile itme çekme iş yapan bir parçada birleşim izi bölgesinde fiber oryantasyonu dağılımını çalışmışlardır. Yönelim tensör bileşenlerinin öngörülen değerlerinin, ilgili deneysel ölçümlerle makul ölçüde iyi olduğu bulunmuştur.[64]



Tek yolluk girişi

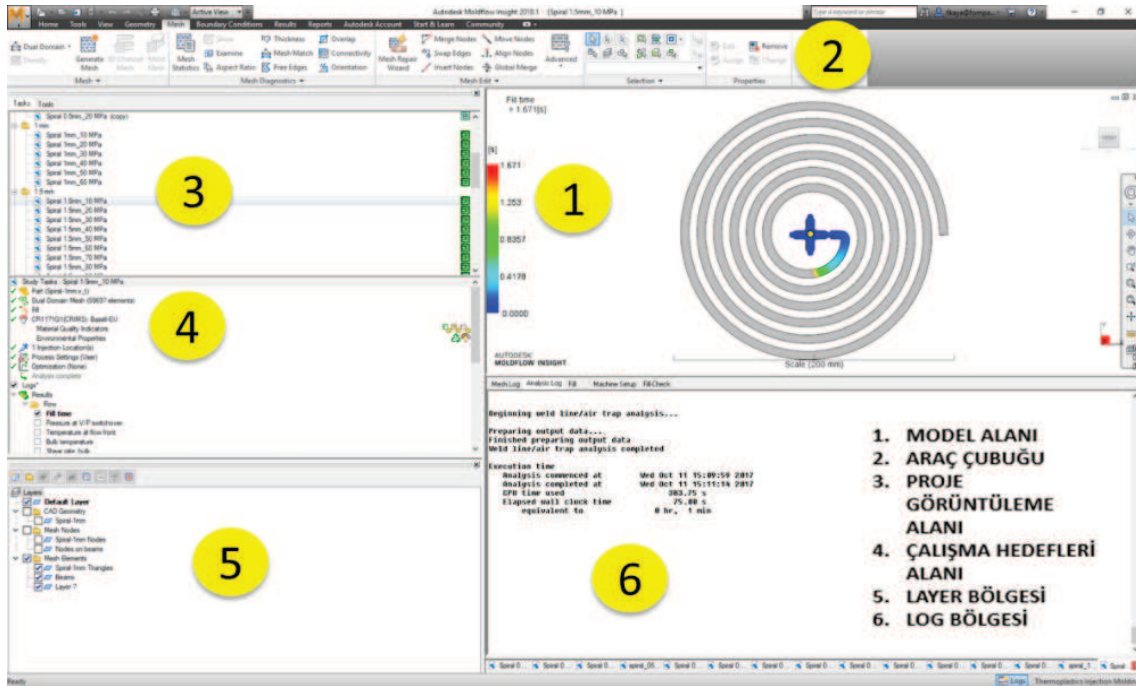


Çift yolluk girişi

Şekil 3.2: Tek ve çift giriş gösterilmesi[61]

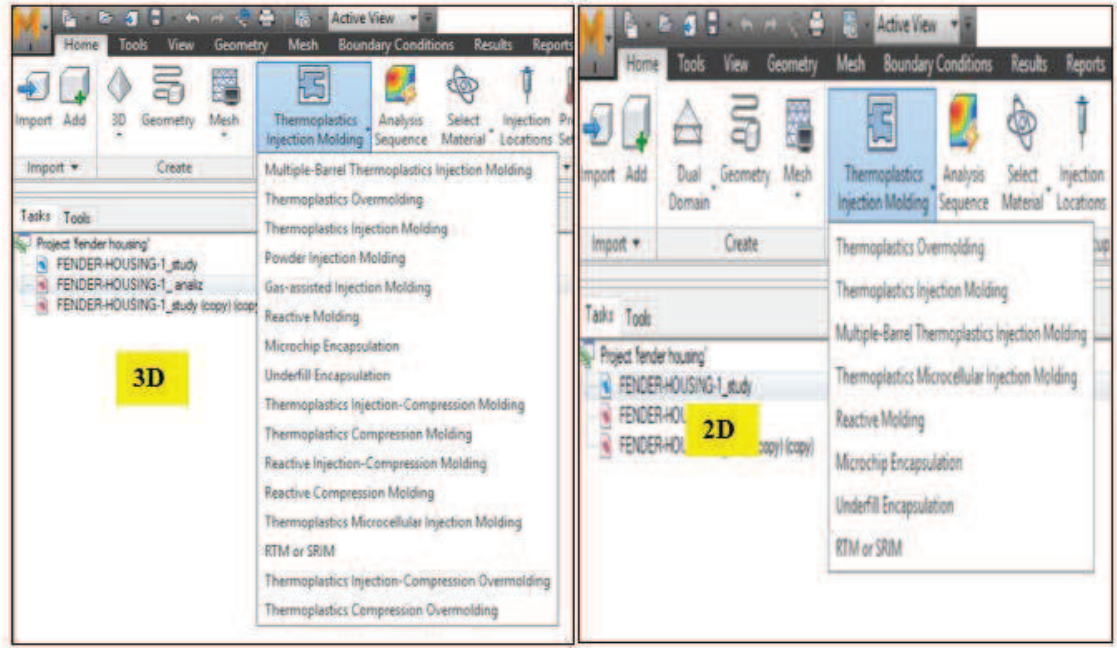
### 3.1.1 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Kalıp akış (Moldflow) programı arayüzü şekil 3.3'te gösterilmektedir. Sonlu elemanlar modeli için 3. Bölgede proje oluşturulur. Ardından modeller import edilir ve 1. Bölgede modeller görüntülenir. 5. Bölgede layer'larda model cad datası, mesh elemanları ve mesh düğümleri ayrı ayrı görüntülenmektedir. 2. Bölge olan araç çubuğunda analiz için gerekli konular, sonuç görüntüleme elemanları bulunmaktadır. 4. Bölgede analiz işlem sırası ve analiz sonrası sonuçlar sıralanmaktadır.



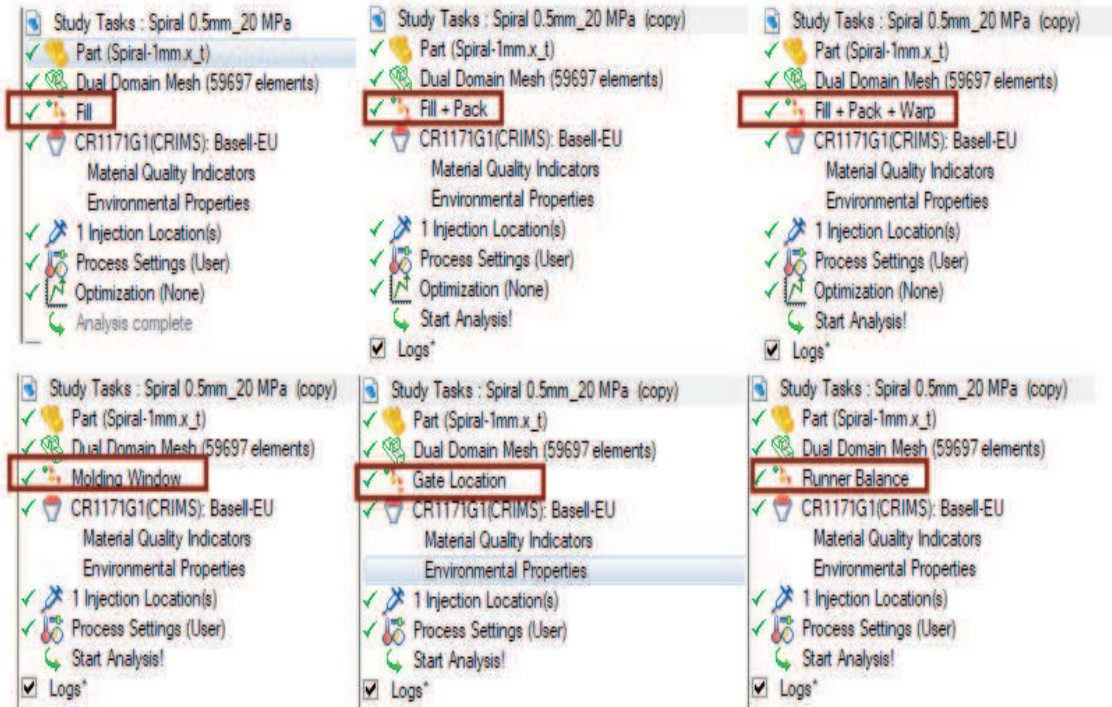
Şekil 3.3: Kalıp akış (Moldflow) programı arayüzü

Kalıp akış (Moldflow) programı tam olarak enjeksiyon kalıplama prosesini simule etmektedir. Bu yüzden parça ve kalıp tasarımındaki hataları kalıp çelikleri kesilmeden önce farketmememize olanak sağlamaktadır. Programın yetenekleri oldukça yüksektir. Öncelikle sonlu elemanlar modelinde 2D ya da 3D mesh atılmasına göre analiz tipleri seçilmektedir. Şekil 3.4'te yapılabilecek analiz tipleri görülmektedir.



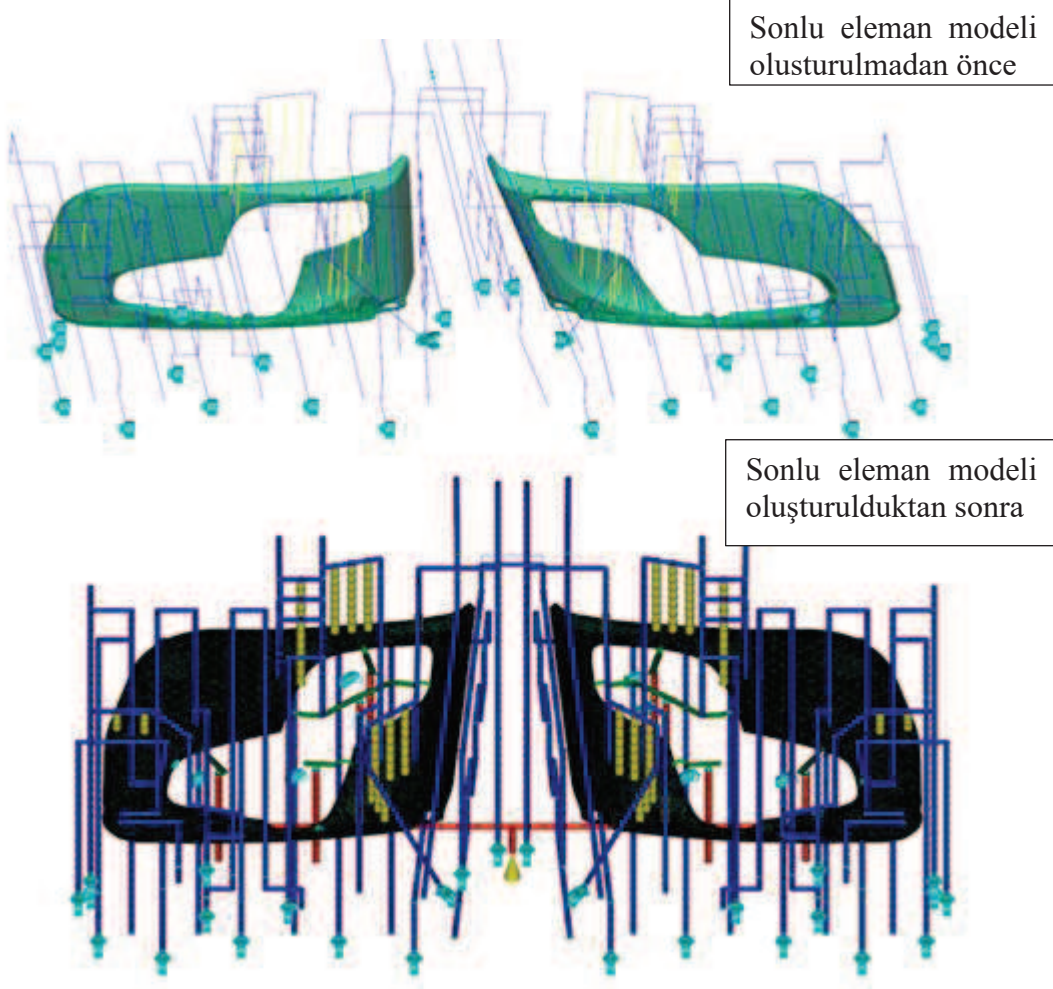
Şekil 3.4: 2D ve 3D mesh modeline göre yapılabilecek analizler

Ağırlıklı olarak termoplastik enjeksiyon kalıplama kullanılmaktadır. Termoplastik enjeksiyon kalıplama içinde yapmak istenilen analizin altında analiz modeli seçilmektedir. Proses penceresi analizi, en iyi yolluk yeri, dolum, dolum ve ütüleme , dolum, ütüleme ve çarpılma, soğutma, dolum, ütüleme ve çarpılma olarak sıralanabilir.



Şekil 3.5: Analiz modeline göre model hazırlama aşamaları

Model datası (stp, xt, stl ), soğutma kanalları ve yolluklar (iges, katı model (xt, stp) kalıp datasından export edilerek programa import edilebilir. Ardından mesh atılmaktadır. Ya da yolluk ve soğutma kanalları beam elemanlar ile kalıp akış (moldflow) içinde oluşturulabilir (Şekil 3.7). Mesh kalitesi kontrolü yapılır.

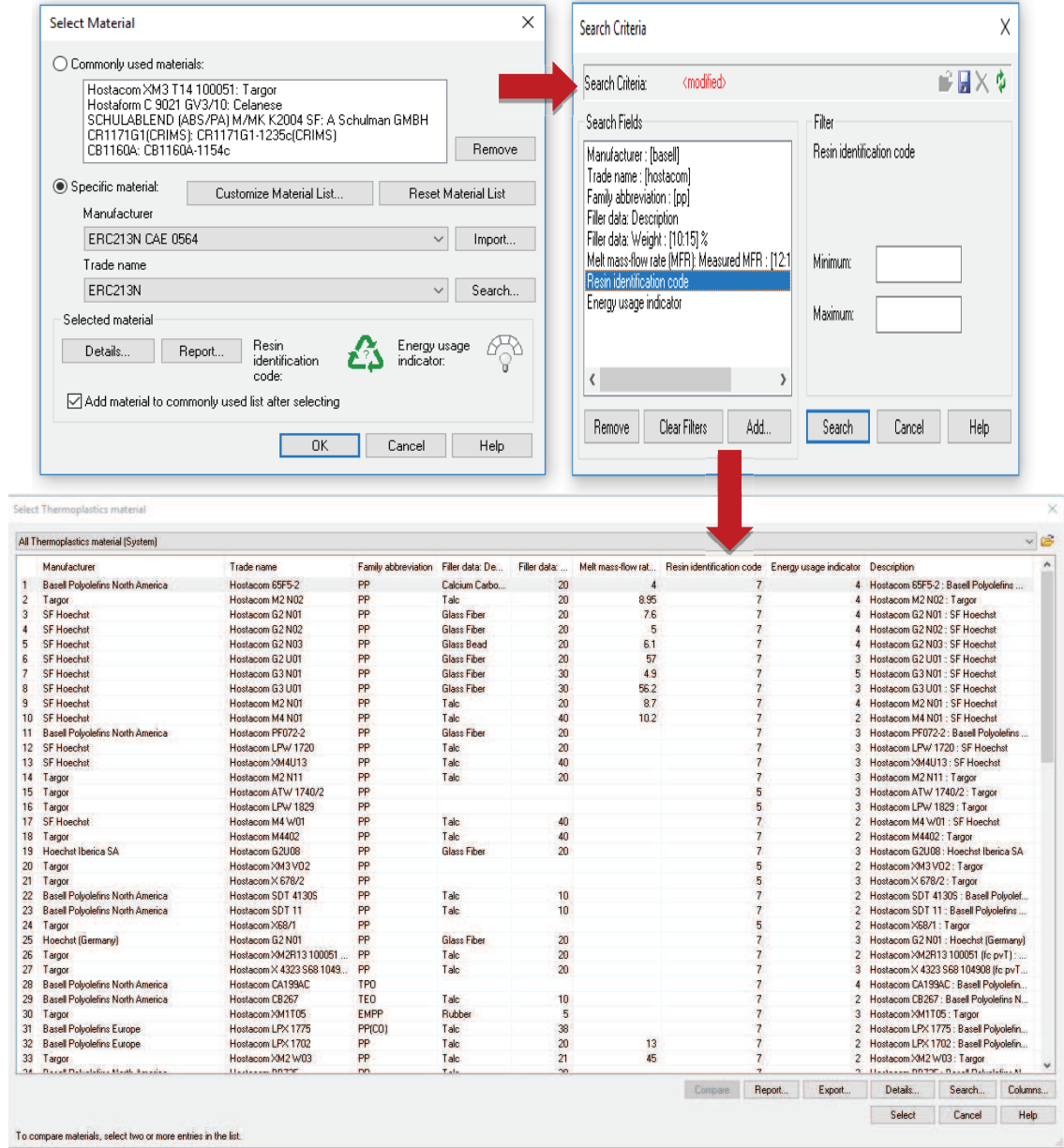


**Şekil 3.6:** Modellerin import edildikten sonra ve mesh atıldıktan sonraki halleri bulunmaktadır.

Triangles			
Entity counts:			
Triangles		23746	
Connected nodes		11857	
Connectivity regions		1	
Invisible triangles			0
Area:			
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:		2613.05	cm <sup>2</sup>
Volume by element types:			
Triangle:		294.249	cm <sup>3</sup>
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
19.93	2.68	1.16	<b>OLMASI GEREKEN</b>
Edge details:			
Free edges		0	Mesh kalitesi, değer<20
Manifold edges		35619	Mesh kalitesi, değer=0
Non-manifold edges		0	
Orientation details:			
Elements not oriented		0	Mesh kalitesi, değer=0
Intersection details:			
Element intersections		0	Mesh kalitesi, değer=0
Fully overlapping elements		0	
Match percentage:			
Match percentage		90.2%	Mesh kalitesi, değer>85%
Reciprocal percentage		89.2%	

**Şekil 3.7:** Mesh kalitesi kontrolü

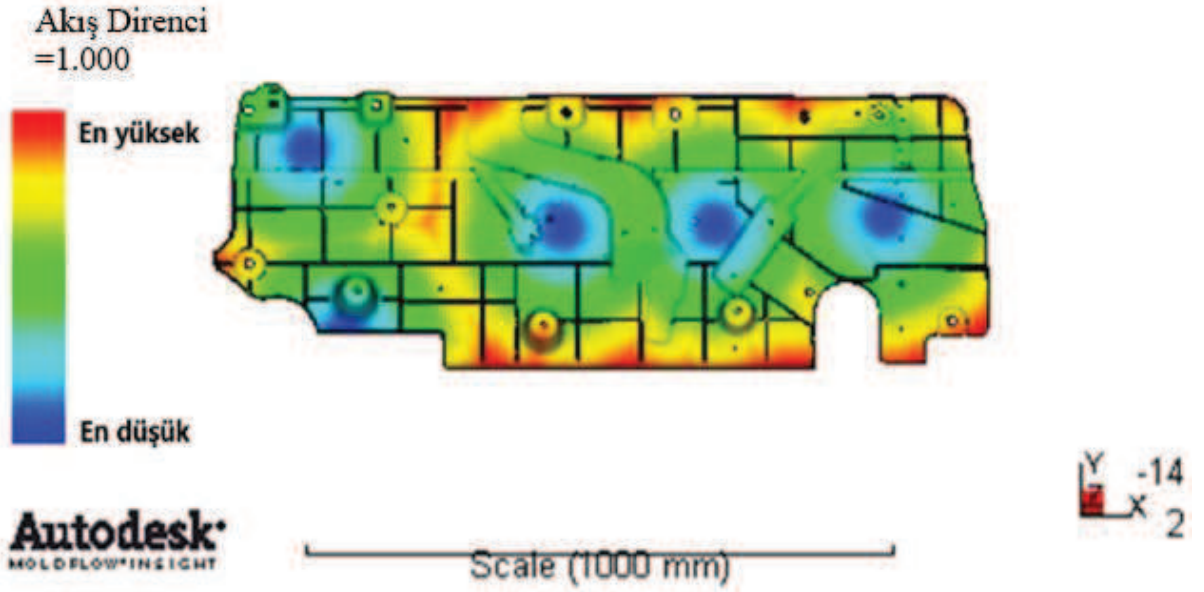
Mesh kalitesinin yetersiz olması halinde mesh diagnostik bölümünden hatalar bulunarak mesh edit araç çubuğundan hatalar düzeltilmektedir. Match percentage değer %85 yakalanamaz ise mesh boyutu küçültebilir. Fakat bu durumda eleman sayısı artarak mesh süresi uzamaktadır . ya da 3D mesh atılmalıdır. Aksi halde %85 altında bir değer alınması halinde kalitesiz mesh'den dolayı analiz sonucunun doğruluğu düşmektedir (Şekil 3.7). Malzeme database'inden malzeme seçilir fakat database' de malzeme olmaması halinde malzemenin udb datası temin edilerek analize devam edilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Malzeme veritabanı

Analiz şeklinin seçilmesi senaryonun ne olduğuna bağlıdır. Kalıpta yolluk yerleri belli değil ve daha kalıbın enbaşında isek, böyle bir durumda best gate location analizi ile başlanmalıdır. Parçanın kaç giriş ile doldurulacağı bilgisini programa tanımlayarak analiz çalıştırılır. Ve program akış mesafesine göre en uygun yolluk giriş yerlerini tanımlamaktadır. Şekil 3.9’da 5 yolluk girişi istenmiş olup, program akışa direncin en düşük olarak gösterildiği mavi bölgelerden giriş yapılmasını önermiştir. Bu parçada yolluklar direkt olarak parça üzerine patlayacaktır. Görselliği yüksek olan parçalarda bu durum kabul edilmeyecektir. Fakat bu parça görsel bir parça olmadığı için yolluk giriş yerleri büyük ölçüde uygundur.



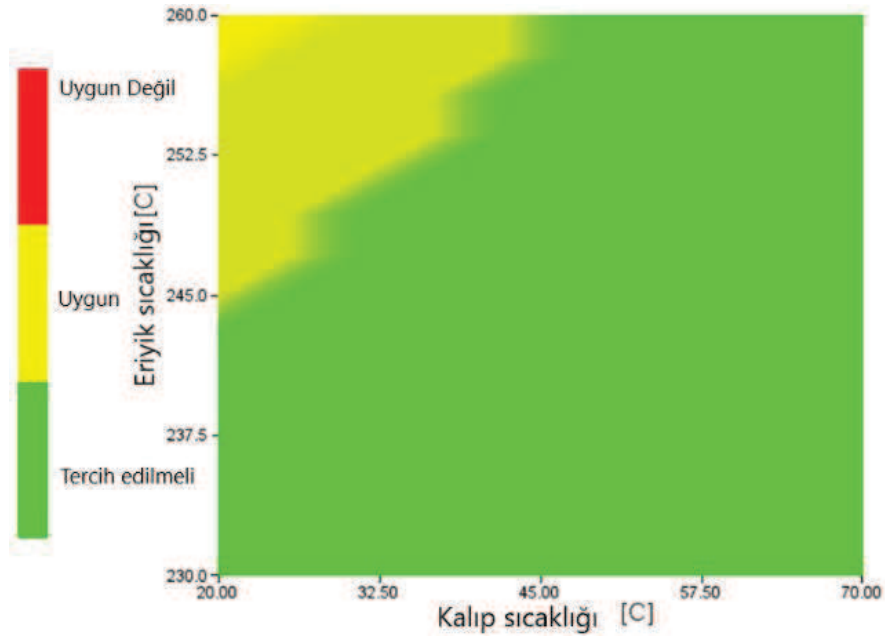


Şekil 3.9: Best gate location analiz sonucu

İkinci aşamada uygun proses ayarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda molding window analizi çalıştırılabilir. Bu analizde kalıp sıcaklığı, akış mesafesi ve eriyik sıcaklığına göre akış önündeki sıcaklığının en az sapmaya uğrayacağı ve kayma hızının en düşük olacağı şekilde fill time önerisinde bulunmaktadır. Şekil 3.10'daki sonuca göre kullanılmak üzere kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı kesişimi yeşil bölgede kalması en iyi durumdur.

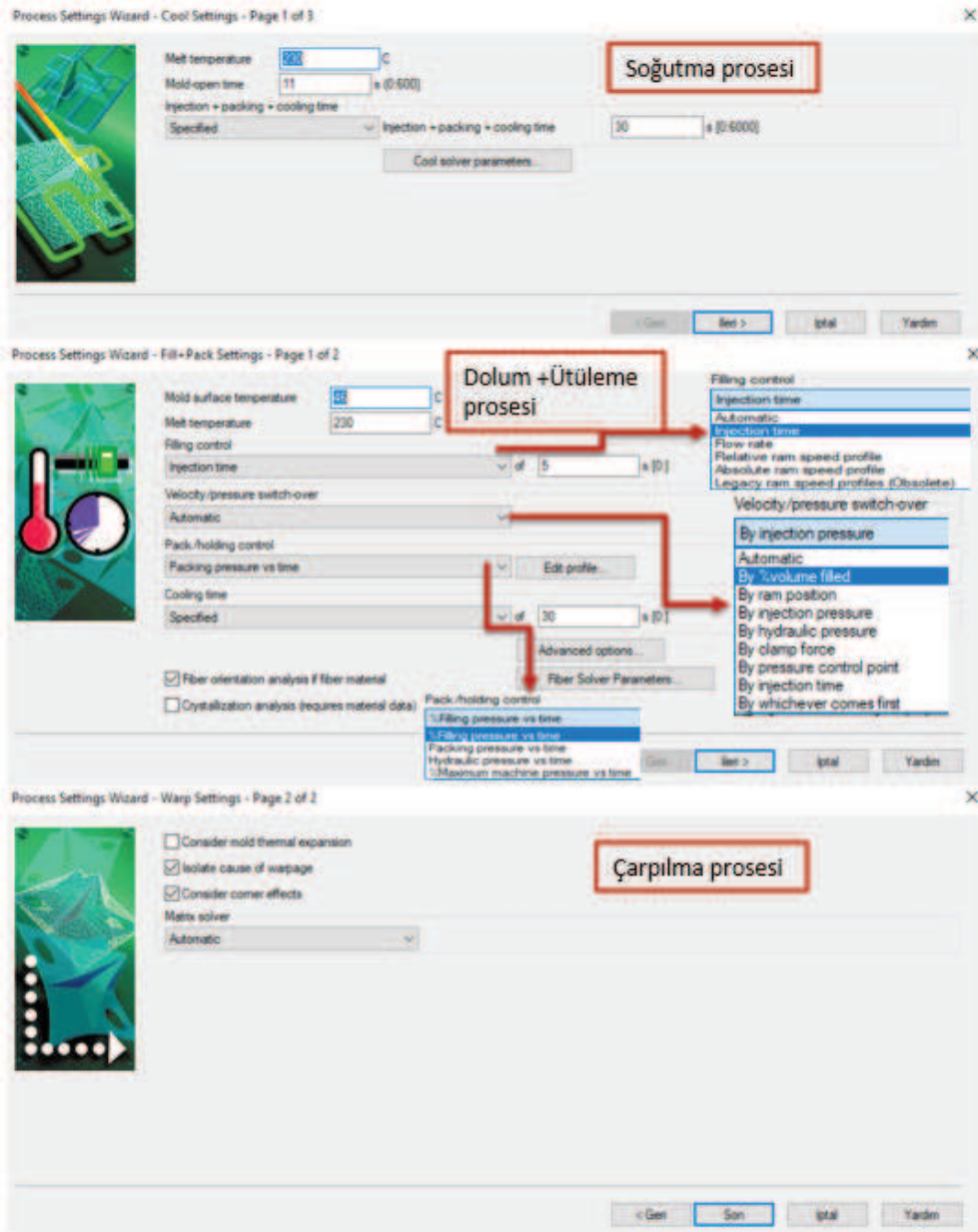
Kalıplama Penceresi

Enjeksiyon zamanı: 1.746 s



Şekil 3.10: Molding window sonucu

Kalıplama penceresinin de belirlenmesinin ardından enjeksiyon kalıplama prosesinin simülasyonu olan cool+fill+pack+warp analizine geçilmektedir. Seçilen soğutmalı ya da analiz analiz tipine göre proses parametrelerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada soğutma prosesinde kalıp açılma süresi, enjeksiyon, ütüleme ve soğutma süreleri toplamı, ve soğutma çözücü ayarları programa tanımlanmaktadır. Dolum aşamasında eriyik sıcaklığı, kalıp yüzey sıcaklığı, dolum kontrolünün yapılma şekli, V/P'ye geçiş aşamasının kontrolü ve ütüleme basıncı kontrolü yapılmaktadır. Son olarak çarpılma prosesinde ise çarpılma çözücü ayarları programa tanımlanmaktadır. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11: Proses ayarlarının yapılması

### 3.2 Proses Parametrelerinin Belirlenmesi

Bilimsel şekilde enjeksiyo kalıplama yapılması malzeme ve zaman sarfiyatı açısından önemlidir. Bunun için yapılacak simülasyonlar ve optimizasyo çalışmaları yapılmaktadır. Fakat bilimsel kalıplama için adımlar ve kontrol edilmesi gereken parametreler ve durumlar mevcuttur.

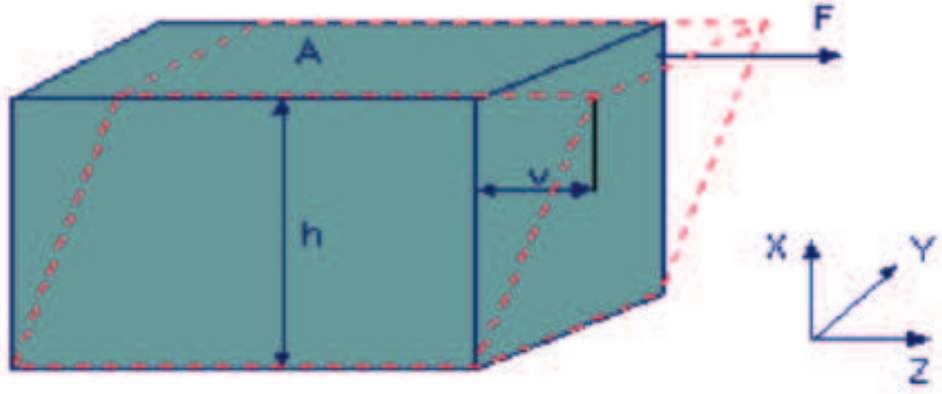
#### 3.2.1 Malzemenin Viskozite Eğirisi

Viskozite malzemenin akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{viskozite} = \frac{\text{kayma gerilimi}}{\text{kayma hızı}}$$

(Denklem 3.1)

$$\text{kayma gerilimi (Pa)} = \frac{\text{kuvvet (F)}}{\text{alan (A)}} \quad \text{kayma hızı (1/s)} = \frac{\text{hız (v)}}{\text{yükseklik (h)}}$$



**Şekil 3.12:** Viskozite gösterimi

Enjeksiyon hızına karar vermek için viskozite önemlidir. Bunun için efektif viskozite değeri hesaplanır ki nominalitenin yakalandığı enjeksiyon hızında çalışılmalıdır.

**Çizelge 3.1:** Enjeksiyon makinesi parametreleri

Enjeksiyon hızı (mm/s)	Enjeksiyon zamanı (s)	Makine hidrolik basıncı	Vida katlama oranı (Ri)	Plastik basıncı (Pa)	Kayma hızı (1/s)	Efektif viskozite (Pa*s)
100	0,49	173	11	1900	2,04	931
90	0,52	168	11	1850	1,92	962
“	0,58	164	11	1801	1,72	1045
70	0,61	150	11	1650	1,64	1007
60	0,68	139	11	1530	1,47	1040
50	0,82	X 129	X 11	= 1420	1,22	1164
40	1,1	118	11	1300	0,91	1430
30	1,4	110	11	1215	0,71	1701
20	2,050	109	11	1200	0,49	2460
10	4	86	11	948	0,25	3792

Elde edilen efektif viskozite değerleri grafiğe aktarıldığında, lineer olarak görülen bölgede çalışılması önerilir. Çünkü newtonian bölgede enjeksiyon hızı viskoziteye etki etmediği bölgede çalışılması gerekmektedir.

Bu yüzden Şekil 3.13’de görüldüğü gibi newtonian akışım ve lineerliğin yakalandığı bölge olan 60 mm/s hızla ve sonrası uygun görülmektedir. Makine hidrolik basıncı ve plastik basıncı arasındaki fark vida katlama oranı çarpanıdır. bölge olan 60 mm/s hızla ve sonrası uygun Kalıp gözlerinde dolum dengesi görülmektedir. Makine hidrolik basıncı ve plastik basıncı arasındaki fark vida katlama oranı çarpanıdır.

$$\text{Plastik basıncı} = \text{Makine hidrolik basıncı} \times \text{Vida katlama oranı}$$

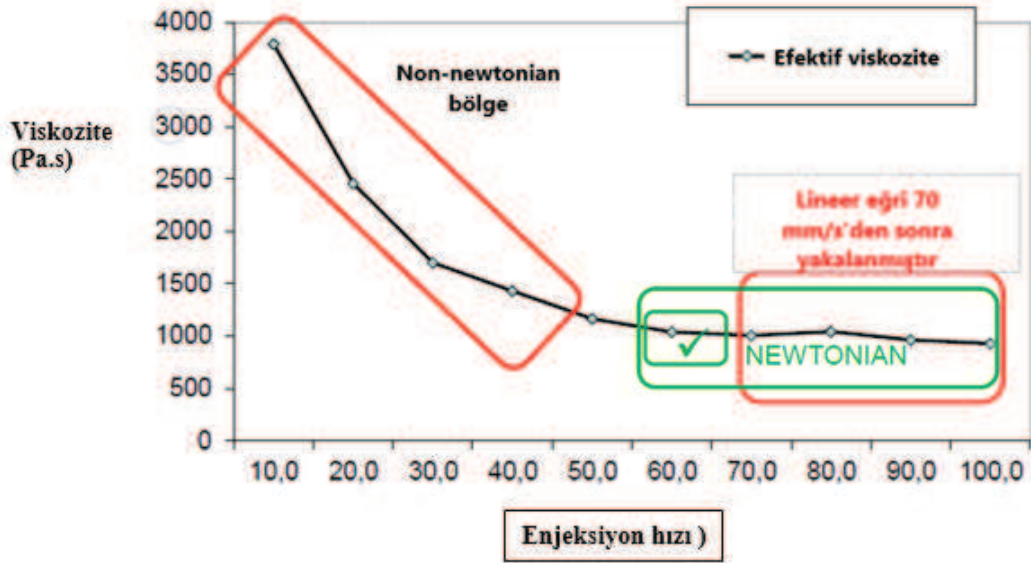
(Denklem 3.2)

Kalıp akış (Moldflow) sonucuna göre efektif viskozite değeri için ise, kalıp akış (moldflow)’da elde edilen basınçlar plastik basıncı olup, direk olarak

$$\text{Efektif viskozite} = \text{Plastik basıncı} \times \text{Enjeksiyon zamanı}$$

(Denklem 3.3)

Şeklinde hesaplanır. Şekil 3.13’deki gibi grafiğe dökülerek uygun enjeksiyon hızının bulunduğu newtonian akışım olduğu alan bulunur. Elde edilen optimum enjeksiyon hızında çalışılmalıdır.



Şekil 3.13: Efektif viskozite grafiksel gösterimi[65]

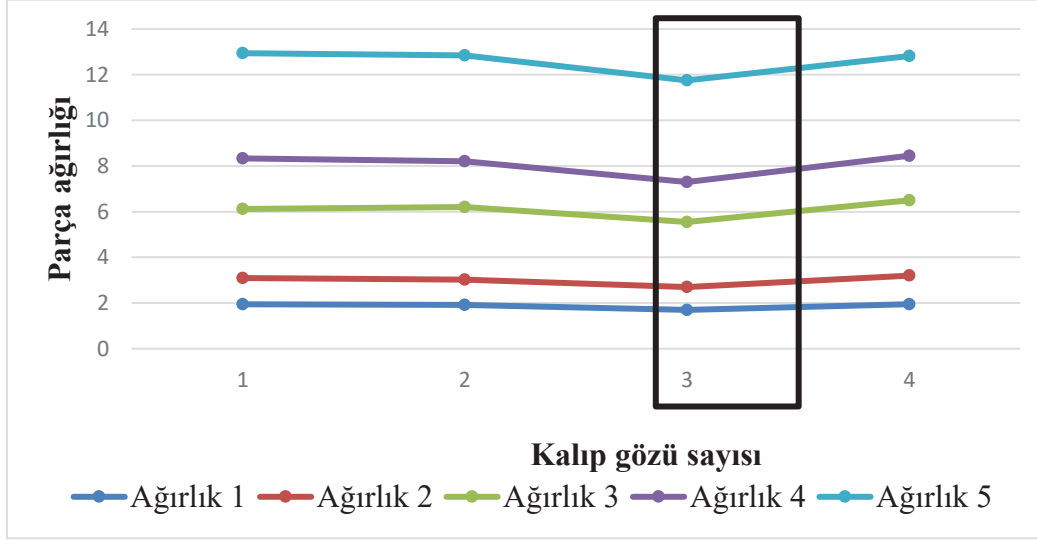
### 3.2.2 Kalıp Gözlerinde Ağırlık Dengesi

Kalıp gözlerinde dolum esnasındaki denge önemli olup, kontrol edilmeli ve dengesizlik durumu olduğunda durum dikkate alınarak çözüm aranmalıdır.

Çizelge 3.2: Kalıp gözleri ağırlık dağılımı

Dolum oranı	10 %	Dolum oranı	25 %	Dolum oranı	50 %	Dolum oranı	75%	Dolum oranı	Dolum sonu
Kalıp Gözü	Ağırlık	Kalıp Gözü	Ağırlık	Kalıp Gözü	Ağırlık	Kalıp Gözü	Ağırlık	Kalıp Gözü	Ağırlık
1	1,94	1	3,10		6,12		8,34		12,94
2	1,92	2	3,02		6,20		8,21		12,85
3	1,70	3	2,7		5,55		7,30		11,75
4	1,95	4	3,20		6,50		8,45		12,82
<b>Max</b>	1,95	<b>Max</b>	3,2	<b>Max</b>	6,5	<b>Max</b>	8,45	<b>Max</b>	12,94
<b>Min</b>	1,7	<b>Min</b>	2,7	<b>Min</b>	5,55	<b>Min</b>	7,3	<b>Min</b>	11,75
<b>Ortalama</b>	1,8775	<b>Ortalama</b>	3,005	<b>Ortalama</b>	6,0925	<b>Ortalama</b>	8,075	<b>Ortalama</b>	12,59
<b>Sonuç</b>	13,32%	<b>Sonuç</b>	16,64%	<b>Sonuç</b>	15,59%	<b>Sonuç</b>	14,24%	<b>Sonuç</b>	9,45%

Çizelge 3.2'deki sonuç değerleri;  $Sonuç = \frac{max-min}{ortalama}$  şeklinde hesaplanmakta olup, kabul edilebilir maksimum sonuç %6'yı geçmemelidir.



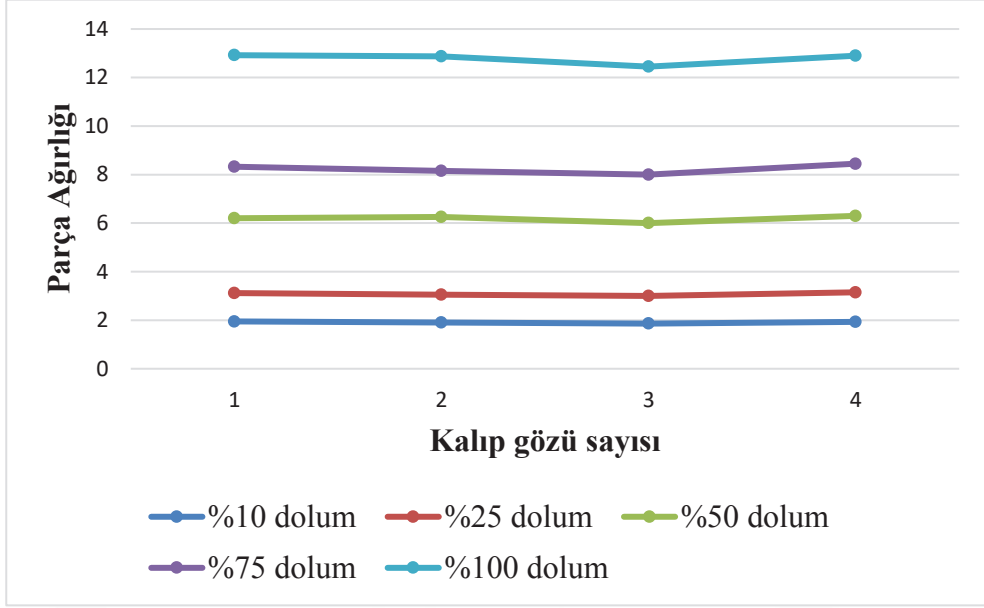
**Şekil 3.14:** Kalıp gözü dengesi grafiği

Çizelge 3.2'deki değer değerlendirilmek suretiyle gözler arasındaki değişkenlikler araştırılmalıdır. Şekil 3.14'deki grafikte görüldüğü gibi 3. Kalıp gözünde ağırlıkta değişim görülmekte olup, bu gözdeki değişikliğe sebep olan durum araştırılmalıdır. Bu değişiklikler; akış kanallarındaki değişiklikler, gaz kanalı değişkenliği, soğutma değişkenliği ve reolojik akış değişkenliği olabilir.

**Çizelge 3.3:** Kalıp gözü ağırlık dağılımı

Dolum oranı	10 %	Dolum oranı	25 %	Dolum oranı	50 %	Dolum oranı	75%	Dolum oranı	Dolum sonu
Kalıp Gözü	Ağırlık 1	Kalıp Gözü	Ağırlık 2	Kalıp Gözü	Ağırlık 3	Kalıp Gözü	Ağırlık 4	Kalıp Gözü	Ağırlık 5
1	1,95	1	3,12	1	6,2	1	8,32	1	12,92
2	1,90	2	3,05	2	6,25	2	8,15	2	12,87
3	1,86	3	3,00	3	6,00	3	8,00	3	12,45
4	1,93	4	3,15	4	6,30	4	8,45	4	12,90
<b>Max</b>	1,95	<b>Max</b>	3,15	<b>Max</b>	6,3	<b>Max</b>	8,45	<b>Max</b>	12,92
<b>Min</b>	1,86	<b>Min</b>	3	<b>Min</b>	6	<b>Min</b>	8	<b>Min</b>	12,45
<b>Ortalama</b>	1,91	<b>Ortalama</b>	3,08	<b>Ortalama</b>	6,1875	<b>Ortalama</b>	8,23	<b>Ortalama</b>	12,785
<b>Sonuç</b>	4,71%	<b>Sonuç</b>	4,87%	<b>Sonuç</b>	4,85%	<b>Sonuç</b>	5,47%	<b>Sonuç</b>	3,68%

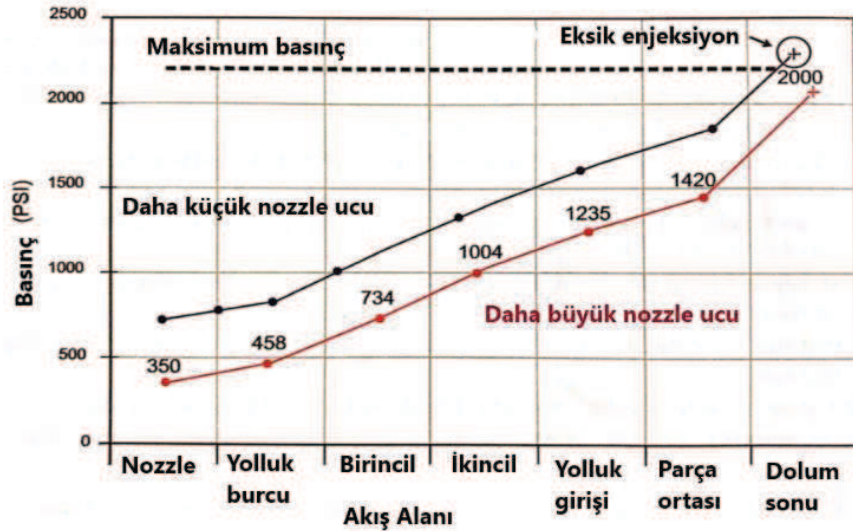
Çizelge 3.3'te yolluk giriş boyutu ve gaz kanalları boyutu dengeye ulaştırıldıktan sonra yapılan ölçümler ele alınmıştır. Hesaplamalar yapıldığında %3,68 civarında farklılık olmakta durum iyileştirilmiştir. Şekil 3.15'te gösterilen grafite yapılan iyileştirme sonrası kalıp gözleri arasındaki ağırlık dengesinin sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.15: Kalıp gözü dengesi grafiği

### 3.2.3 Basınç Düşüşünün Gözlenmesi

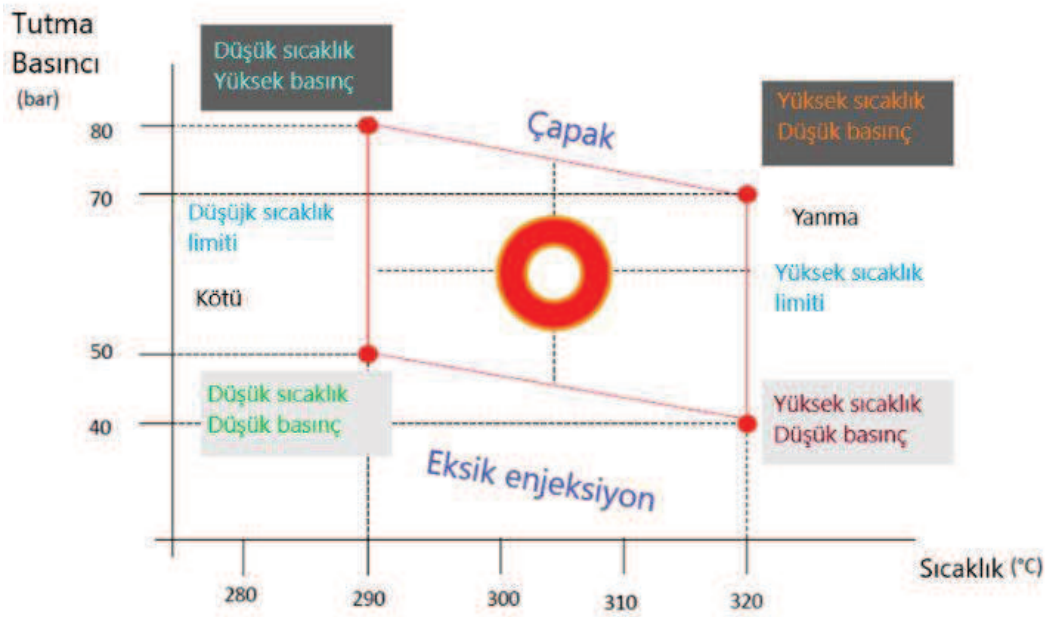
Kalıplarda enjeksiyon kalıplama esnasında makine nozzle ucundaki basınç ile dolum sonunda parça üzerindeki basınç değişmekte ve aradaki fark basınç düşüşü olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3.16'da nozzle'dan başlayarak parçadaki son dolum noktasına kadar gerekli olan hidrolik basınç okunmuş fakat daha küçük nozzle çapında makinenin max. basıncının aşılması dolayısıyla eksik enjeksiyonla parça üretilmesi muhtemeldir. İkinci durumda nozzle delik çapı artırılmış ve gerekli olan makine hidrolik basınç azalmış olup, ilk etapta eksik enjeksiyon riski azalmıştır. Bunun yanında kayma hızı azalmış ve akış kolaylaşmıştır.



Şekil 3.16: Basınç düşüşü grafiği ve iyileştirme[65]

### 3.2.4 Proses Penceresi Çalışılması

Şekil 3.17’de proses (kalıplama) penceresi görülmektedir. Tutma basıncı ve sıcaklığa göre belirlenen kalıplama penceresi dışında kalan alanlarda kaliteli parça alınması zordur. Düşük sıcaklık ve düşük tutma basıncı parça kalitesi kötüdür. Çünkü ne sıcaklık ne de tutma basıncı parça kalitesi için yeterlidir. Sıcaklığın düşük olması erken katılaşma, eksik enjeksiyon, soğuk birleşme gibi riskleri beraberinde getirmektedir. Düşük tutma basıncının olması ile parçada eksik enjeksiyon riski oluşurken, yüksek tutma basıncı ile ise, kalıpta çapak riski ile karşılaşmaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgede ise malzeme yanabilir ve bozunma gerçekleşir.



Şekil 3.17: Kozmetik proses penceresi

### 3.2.5 Yolluğun Katılaşması

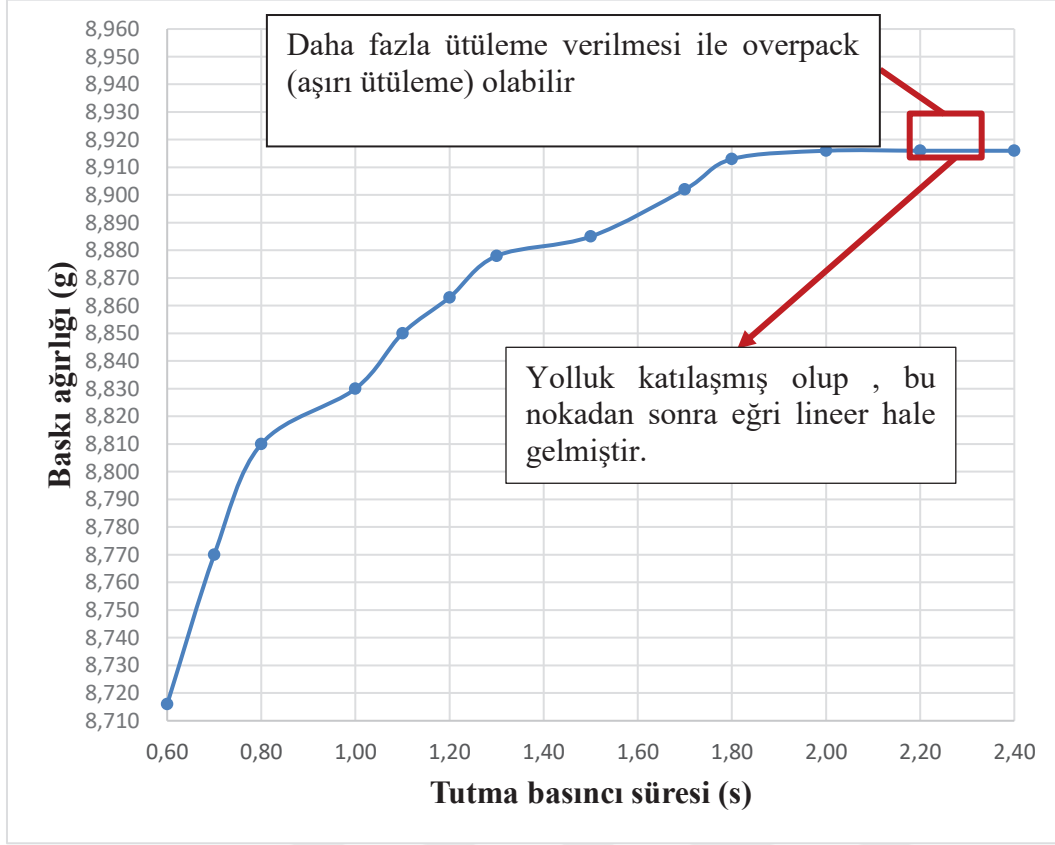
Ütüleme fazında enjeksiyonun %97-98,99 ‘unun yapılması ile geriye kalan %3-2 ve 1’lik kısmı ütüleme ile doldurulur. Bu aşamada soğuk yolluklu kalıplarda ve parçada soğuk yolluk kullanılması ile kalıplarda baskı ağırlığının sabitlenmesi, yolluk girişinin katılaşmasını göstermektedir. Sıcak yolluklu direk parça üzerinden giriş yapılan kalıplarda nozzle etrafının katılaşması ile baskı ağırlığı sabitlenir ve ütüleme ile artık malzeme enjekte edilemez.



**Çizelge 3.4:** Tutma basıncı zamanına karşın baskı ağırlığı

<b>Tutma zamanı (s)</b>	<b>Baskı ağırlığı (gram)</b>
0.6	8.716
0.7	8.770
0.8	8.810
1.0	8.830
1.1	8.850
1.2	8.863
1.3	8.878
1.5	8.885
1.7	8.902
1.8	8.913
2.0	8.916
2.2	8.916
2.4	8.916

Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi 2 s'den sonra baskı ağırlığı sabitlenmiş olup, 2 s'den sonra ütüleme yapılması parça kalitesinde ve baskı ağırlığında bir değişiklik yapmayacaktır. Bu nedenle Çizelgeye göre güvenlik faktörünün de eklenmesiyle 2.2 s ütüleme için yeterli olacaktır. Daha fazla ütüleme verilmesi overpack[aşırı ütüleme] sorununa yol açabilir. Bu durumda parça üzerindeki artık gerilmeyi atamayacağı için parça çekme değerinde negatif etki göstererek, küçülme yerine kalıptan çıktıktan sonra büyüyebilir.



Şekil 3.18: Tutma basıncı zamanına karşın baskı ağırlığı grafiği

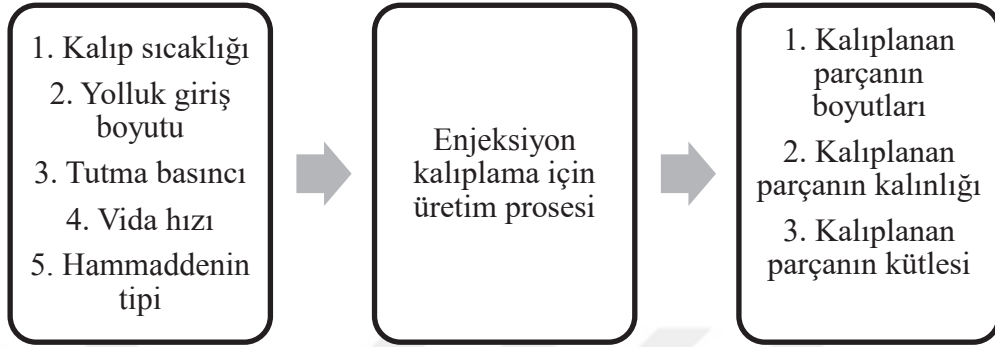
### 3.2.6 Optimum Soğutma Zamanının Belirlenmesi

Bu durum için deney yapılır. Farklı soğutma zamanlarında parça boyutları ölçülür. Çünkü parça kalıptan çıktıktan sonra oda sıcaklığına gelene kadar küçülmeye devam edecektir. Bu yüzden kalıptan çıktıktan sonra minimum küçülme olsun ve çarpılmaya maruz kalması için mümkün olduğunca kalıptan soğuk ve katılarak çıkması gerekmektedir. Bu sebeple optimum soğutma süresi belirlenmelidir. Yapılacak deneylerde farklı soğutma sürelerinde alınacak boyutsal ölçümler ile toleransın içinde kaldığı soğutma zamanı seçilmelidir. Alınan deneysel sonuçları deney tasarımı ile deney sayısını azaltarak ve bilimsel bir çalışma yaparak deneme sayısını ve süresini düşürerek, sarfiyatı azaltmak mümkündür.

### 3.3 Deney Tasarımı (DOE)

Deney tasarımı, özellikle yeni ürünlerin tasarımı aşamasında veya mevcut ürünlerin geliştirilmesi esnasında deneysel çalışmaları yürütmektir. Deneyler sonucunda kesin bir yargıya varabilmek için tüm faktörlerin denenmesi gerekmektedir. Fakat tüm değişkenlerin sabit tutularak tek bir değişken üzerinden deneyleri tekrarlamak hem

pahalı hem de zaman ve emek sarfiyatına yol açmaktadır. Bu noktada istatistiki çalışmalar geliştirilerek deney tasarımı yapılarak bu dezavantajlarının önüne geçilmektedir. Deney tasarımı ile değişkenlerinin etkileri görülmekte ve en etkin proses ayarının yapılmasını sağlamaktadır .



**Şekil 3.19:** Enjeksiyon kalıplama prosesinde girdi, proses ve çıktı akışı  
Reelde deney tasarımı yapılırken kalite kriterleri için belirlenecek olan faktörler ve bu faktörler için belirlenen değer seviyeleri ile deney tasarımı yapılarak en etkin sonuç istatistiksel yöntemler (Taguchi, Anova, Faktoriyel vb.) ile bulunmaktadır.

**Çizelge 3.5:** 2 seviye, 3 faktör ve bir tepki ile deney tasarımı

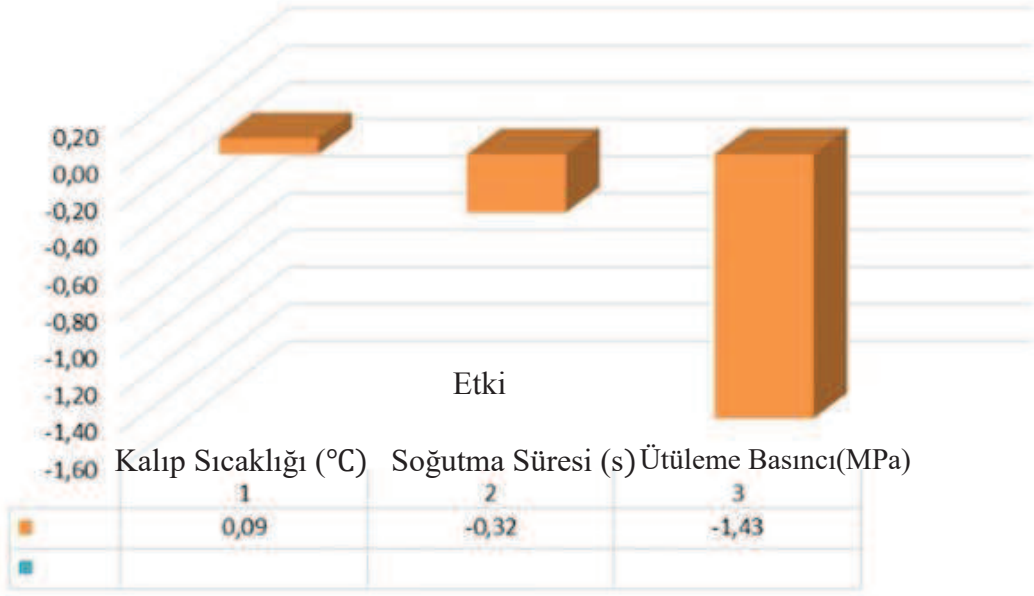
Deney Sayısı	Deney Faktörleri			Ölçümler (kalite kriterleri)
	Kalıp sıcaklığı °C	Soğutma Zamanı (s)	Tutma Basıncı (bar)	Uzunluk (mm)
1	40	30	30	102.568
2	40	30	55	105.23
3	40	20	30	102.869
4	40	20	55	103.425
5	20	30	30	104.563
6	20	30	55	102.789
7	20	20	30	100.53
8	20	20	55	106.569

Çizelge 3.5’te belirtilen kalite kriterleri ve değer seviyeleri sonucunda uzunluk ölçümü alınmıştır. Faktörler için 2 seviye belirlenmiştir. Yüksek değer için 2, düşük değer için tanımlaması yapılır (Çizelge 3.6).

**Çizelge 3.6:** Faktörlerin seviye tanımlanması

Deney Sayısı	Deney Faktörleri			Ölçümler (kalite kriterleri)
	Kalıp sıcaklığı °C	Soğutma Zamanı (s)	Tutma Basıncı (bar)	Uzunluk (mm)
1	2	2	1	102.568
2	2	2	2	105.23
3	2	1	1	102.869
4	2	1	2	103.425
5	1	2	1	104.563
6	1	2	2	102.789
7	1	1	1	100.53
8	1	1	2	106.569

Faktörlerin seviyeleri baz alınarak ölçüm sonuçlarından ortalama, standart sapma ve S/N(sinyal /gürültü oranı) hesaplanır. Ardından birbirini üzerindeki etkileri hesaplanarak Pareto eğrisinde gösterilerek en büyük etkiyi hangi parametrenin gösterdiği bulunarak proste bu parametre üzerinde çalışması zaman ve emek sarfiyatını önleyecektir. Bunun ardından Taguchi yöntemi ile çalışırken smaller is better ya da larger is better değerlendirilmesi yapıldıktan sonra değerler seçilebilir.



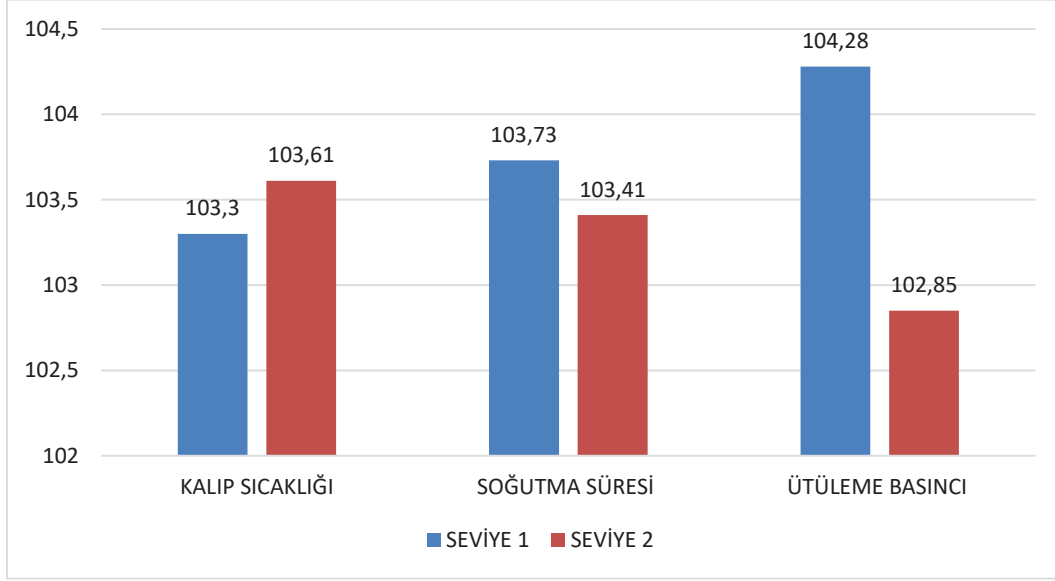
**Şekil 3.20:** Etkilerin Pareto eğrisinde gösterilmesi

Pareto eğrisine göre hangi seviyenin alınacağı belirlenmektedir. Uzunluk parametresi için kalıptan küçülerek çıkması tahmin edilmektedir. Düşüncesi ile larger is better kavramı ile pozitif etkiler seviye 2, negatif etkiler ise seviye bir olarak tanımlanarak seviye çizelgesi oluşturulmaktadır.

**Çizelge 3.7:** Etki değerlerine göre değer seviyelerinin belirlenmesi

Kalıp sıcaklığı	Seviye 2
Soğutma süresi	Seviye 1
Ütüleme basıncı	Seviye 1

Belirlen seviyelere göre değer çizelgesinden ilgili değer seçilerek , uygun proses belirlenmektedir.



**Şekil 3.21:** Değer seviyelerinin gösterilmesi

Kalıp akış (Moldflow)'da deney tasarımı yapılabilmektedir. DOE aşamasında öncelikle hangi çözücünün kullanılacağı seçilmektedir. (Şekil 3.22)

1. Tek değişken; bu deney ile tek bir değişkenin seçilen kalite kriterleri üzerindeki etkisi incelenmektedir.
2. Değişkenlerin etkisi (taguchi); bu deney ile parça kalitesi üzerindeki birçok değişkenin etkisi incelenmektedir.
3. Değişkenlerin yanıtları (Face Centered Cubic); bu deney ile değişkenler ile parça kalitesini tanımlayan kriterlerin arasındaki doğrusal olmayan etkileşimleri incelemek için kullanılan kompozit bir tasarımıdır.
4. Değişken etkilerinden sonra yanıtlar; bu analiz ile değişkenlerin kalite kriterleri üzerindeki önemini sıralamak için taguchi analizini tarama yöntemi olarak kullanmaktadır. Bunun sonucunda değişkenlerin kalite kriteri üzerindeki etki yüzdesini verirken aynı zamanda optimum proses şartlarını da sunmaktadır.

✓ Experiment ✕ Variables(0) ✓ Quality Criteria(6) ✓ Options

One variable

Calculate the effect of a single variable on part quality criteria. Generate 2D response plots for each quality criterion. Use when there is only one variable to change.

Variable Influences (Taguchi)

Calculate which variables have the greatest influence on part quality criteria. Generate a list in the DOE log of the percent impact of each variable on quality. Use to rank the influence of each variable on part quality.

Variable Responses (Face Centered Cubic)

Calculate how sensitive each quality criterion is to input variables. Generate 2D/3D response surface plot for each quality criterion. Use to determine the sensitivity of each variable, and optimize their values.

Variable Influences then Responses ( Number of sub-variables  )

Use this method to determine which variables have the most influence on part quality, and then use the variable response method to determine the sensitivity of these variables to part quality.

Runs : 0

Back

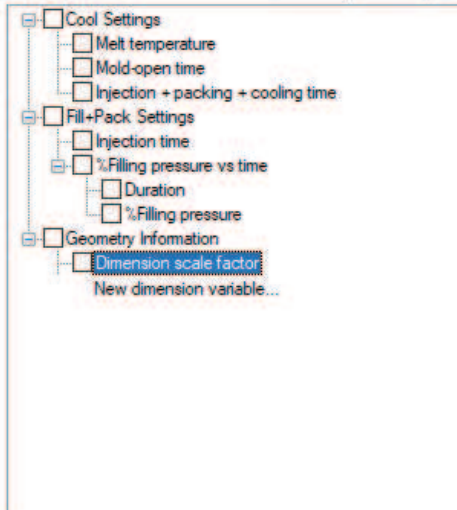
Next

Finish

Cancel

Help

✓ Experiment ✕ Variables(0) ✓ Quality Criteria(24) ✓ Options



Dimension scale factor

Layers

Range by percentage  [%]

Runs : 0

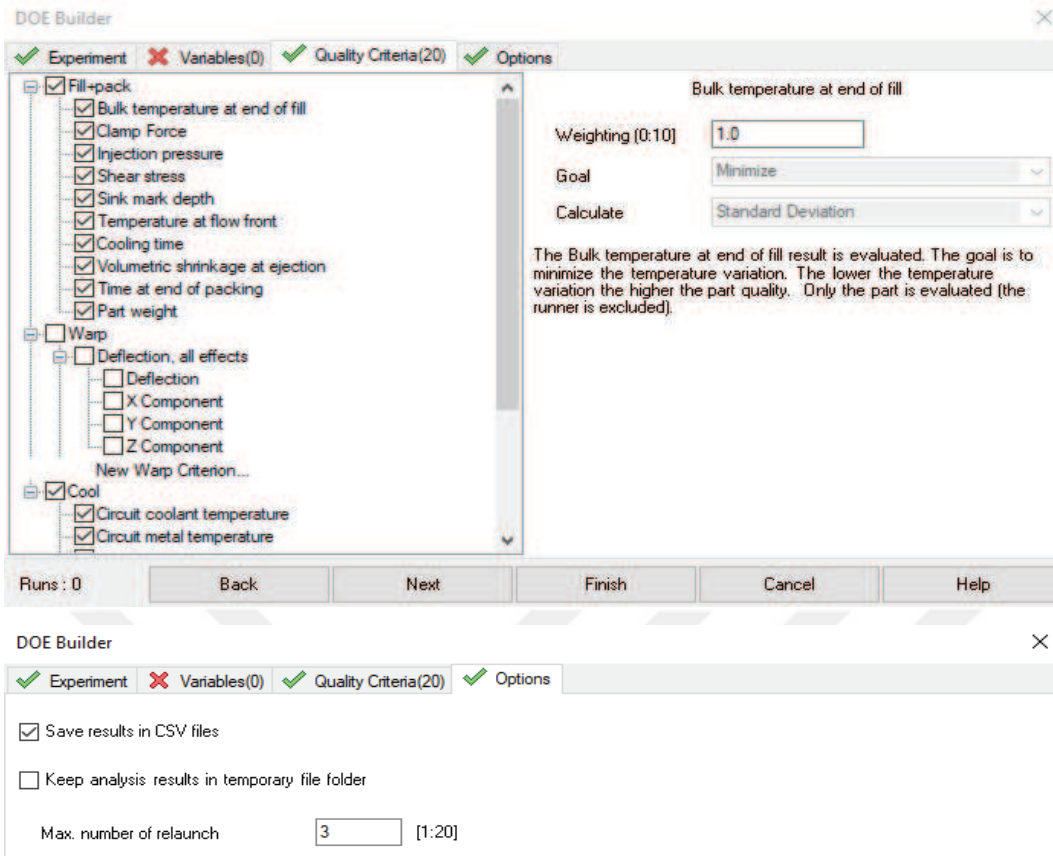
Back

Next

Finish

Cancel

Help



**Şekil 3.22:** Kalıp akış (Moldflow) deney tasarımı ekranı

Sonuçlar log kısmından takip edilebilmektedir. Ayrıca sonuçlar kısmında kalite kriterleri üzerinde değişkenler değiştirilerek etkisi gözlenebilmektedir. Yapılan bu optimizasyon çalışması ile birçok problemin önüne geçilmekte, doğru proses bulunmaktadır. Ayrıca tasarım doğrulaması da yapılabilmektedir.



Influences on quality #6, Maximum part temperature	
Calculate	= Standard deviation
3.91%	Filling control [Injection time]
17.11%	Melt temperature
3.70%	Duration
1.37%	Mold-open time
70.10%	Injection + packing + cooling time [Specified]
3.73%	Packing pressure
Influences on quality #7, Mold temperature	
Calculate	= Standard deviation
5.44%	Filling control [Injection time]
28.35%	Melt temperature
4.35%	Duration
4.46%	Mold-open time
50.00%	Injection + packing + cooling time [Specified]
7.31%	Packing pressure
Influences on quality #20, Total part weight	
Calculate	= Single value
9.86%	Filling control [Injection time]
26.95%	Melt temperature
3.27%	Duration
3.70%	Mold-open time
8.80%	Injection + packing + cooling time [Specified]
47.43%	Packing pressure
Influences on quality #15, Sink mark depth	
Calculate	= Maximum
12.82%	Filling control [Injection time]
10.59%	Melt temperature
8.36%	Duration
1.48%	Mold-open time
7.49%	Injection + packing + cooling time [Specified]
59.27%	Packing pressure
Influences on quality #16, Temperature at flow front	
Calculate	= Standard deviation
28.48%	Filling control [Injection time]
56.39%	Melt temperature
1.69%	Duration
11.71%	Mold-open time
1.51%	Injection + packing + cooling time [Specified]
0.23%	Packing pressure
Influences on quality #12, Clamp Force	
Calculate	= Single value
6.98%	Filling control [Injection time]
35.28%	Melt temperature
22.48%	Duration
0.45%	Mold-open time
0.17%	Injection + packing + cooling time [Specified]
34.64%	Packing pressure
Influences on quality #13, Injection pressure	
Calculate	= Single value
1.01%	Filling control [Injection time]
76.37%	Melt temperature
7.05%	Duration
2.25%	Mold-open time
6.12%	Injection + packing + cooling time [Specified]
7.21%	Packing pressure

Şekil 3.23: Kalite kriterleri üzerinde parametrelerin etki yüzdeleri

Optimum on quality #15, Sink mark depth  
 Calculate = Maximum  
 Range = [ 0.131126 : 0.138442 ] mm  
 Minimum value = 0.131126 mm  
 with 270 C as Melt temperature  
 with 24 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with -1 as Packing pressure

Optimum on quality #20, Total part weight  
 Calculate = Single value  
 Range = [ 16.7198 : 16.8522 ] g  
 Minimum value = 16.7198 g  
 with 230 C as Melt temperature  
 with 24 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with -0.2 as Packing pressure

Optimum on quality #12, Clamp Force  
 Calculate = Single value  
 Range = [ 8.24882 : 12.8449 ] tonne  
 Minimum value = 8.24882 tonne  
 with 230 C as Melt temperature  
 with 24 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with 0 as Packing pressure

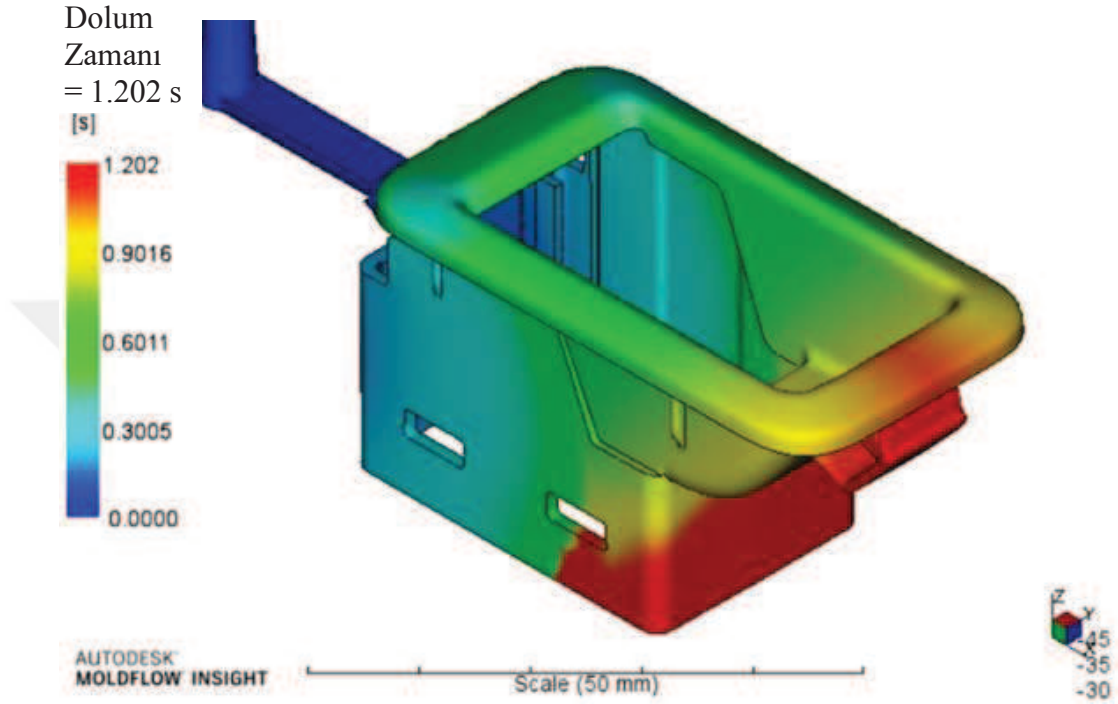
Optimum on quality #24, Deflection, all effects:X Component  
 Calculate = Standard deviation  
 Range = [ 0.332908 : 0.400801 ] mm  
 Minimum value = 0.332908 mm  
 with 270 C as Melt temperature  
 with 36 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with -1 as Packing pressure

Optimum on quality #25, Deflection, all effects:Y Component  
 Calculate = Standard deviation  
 Range = [ 0.239578 : 0.272867 ] mm  
 Minimum value = 0.239578 mm  
 with 270 C as Melt temperature  
 with 36 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with 0.2 as Packing pressure

Optimum on quality #26, Deflection, all effects:Z Component  
 Calculate = Standard deviation  
 Range = [ 0.16185 : 0.207035 ] mm  
 Minimum value = 0.16185 mm  
 with 270 C as Melt temperature  
 with 36 s as Injection + packing + cooling time [Specified]  
 with 0.2 as Packing pressure

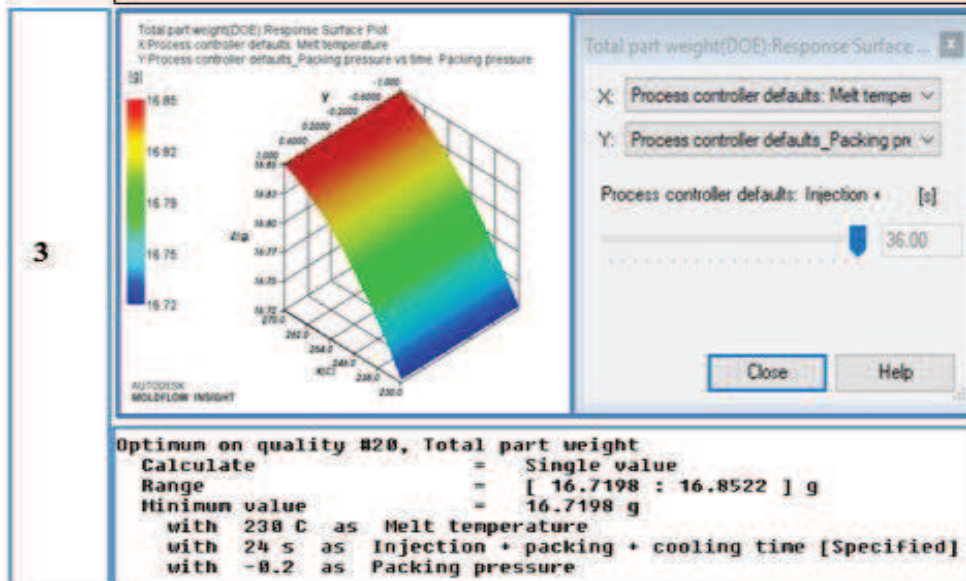
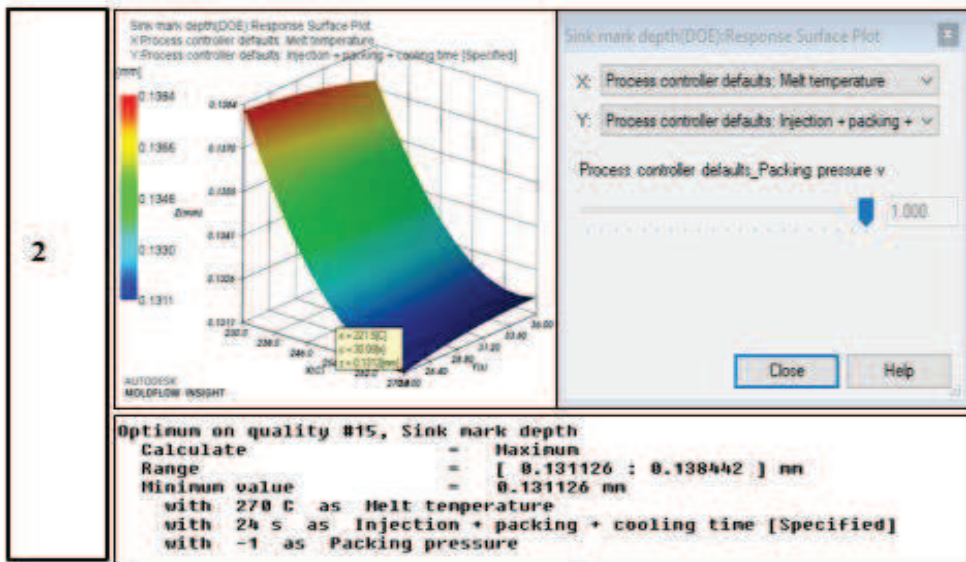
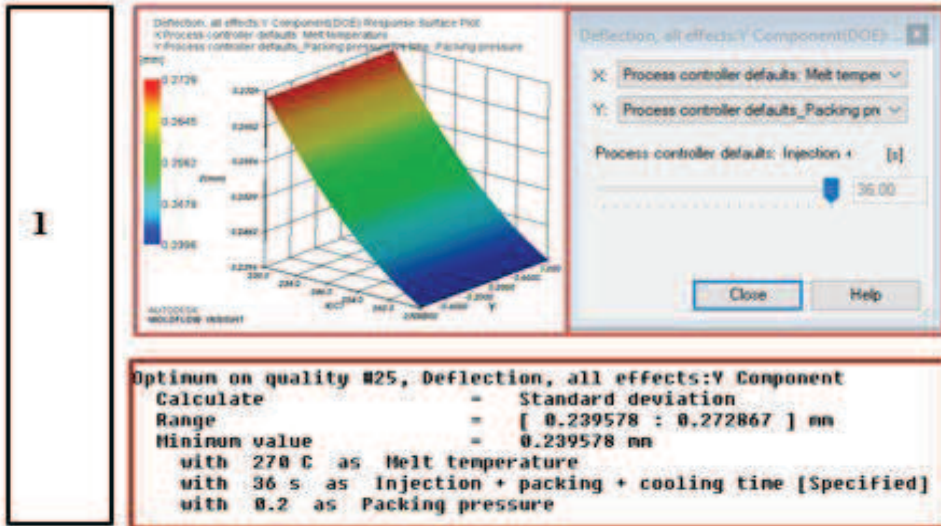
Şekil 3.24: Beklenen kalite kriterleri için optimum proses şartları

Şekil 3.25’de görülen parçada yapılan optimizasyon çalışması ile parçadaki problemler çözümlenmiştir. Bu sayede her bir değişkenin tek tek değiştirilerek alacağım sonuçlar yerinde daha hızlı yanıt alınmaktadır. Beklediğim kalite kriterleri için belirlenmiş değişken seviyeleri arasında yapılan analizde optimum proses şartları şekil 3.26’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.25:** Optimizasyon çalışması yapılmış parça

Aynı zamanda sonuçlar üzerinde değişkenlerin etkisi görsel olarak da incelenebilmektedir. (Şekil 3.26)



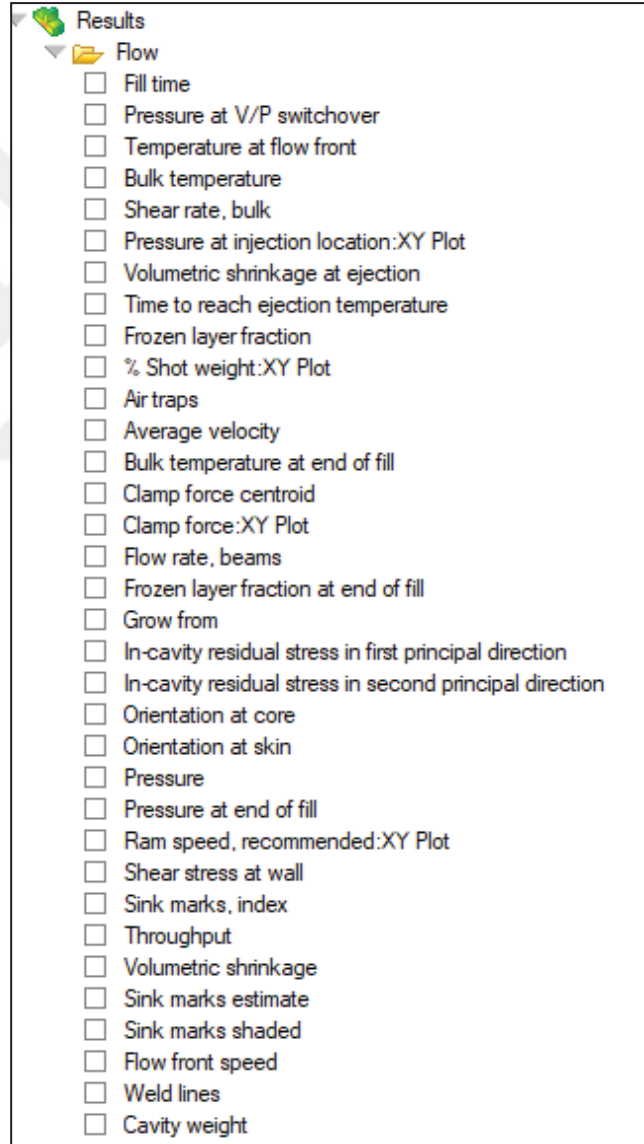
Şekil 3.26: Sonuçların görsel incelemeleri

### 3.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kalıp akış (Moldflow) analizi ile birçok analiz sonucu elde edilmekte olup, tasarım ve proses açısından birçok hata ve olumsuzluk için öngörü oluşturulmasını maliyet ve iş gücü kazanımı sağlanmaktadır. Soğutma , dolum ve çarpılma analizleri ile tasarım, kalıp ve proses yeterliliği açısından birçok sonuç elde edilmektedir.

#### 3.4.1 Dolum Ve Ütuleme Analizi Sonuçları

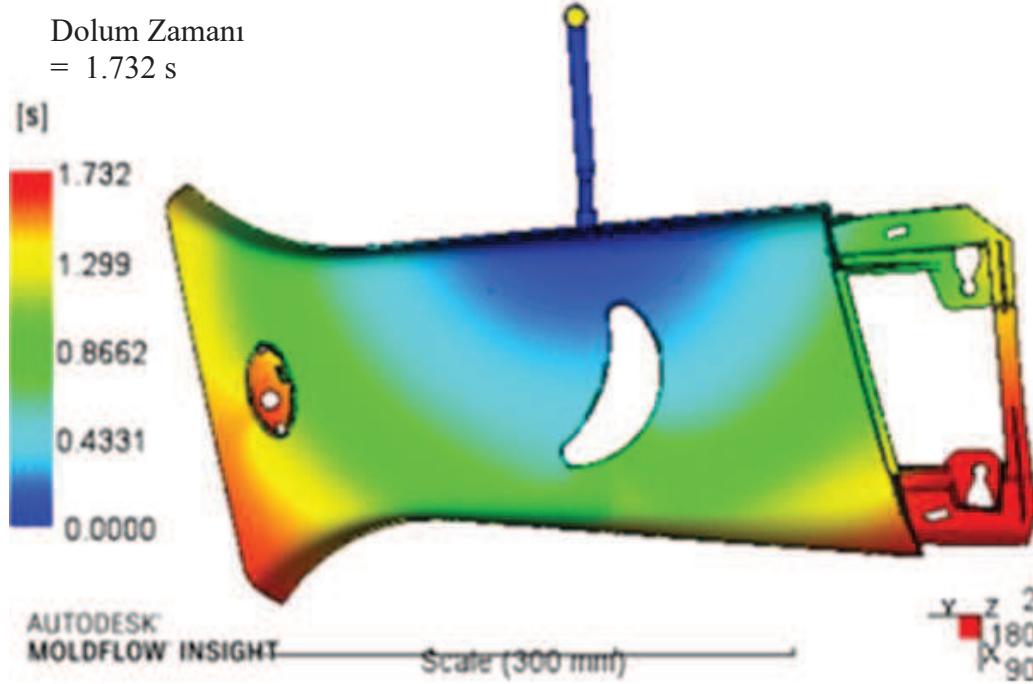
Belirlenen proses şartları ile yapılan analizde dolum şekli, ütuleme , kilitleme kuvveti, çökme değerleri, akış sıcaklığı gibi etken sonuçlar görülebilmektedir.



Şekil 3.27: Dolum ve ütuleme analizi sonuçları

### 3.4.1.1 Dolum Zamanı (Fill Time) Sonucu

Dolum kontrolünün yapılması ile çıkan sonuç olan dolum zamanı ile dolum profili incelenir. Bu sonuç ile parçada eksik baskı olup olmadığı kontrol edilebildiği gibi dolumun parça üzerinde dengeli olup olmadığı, bazı alanlarda birikme olması ya da akışta duraklama olup olmaması kontrol edilmektedir.



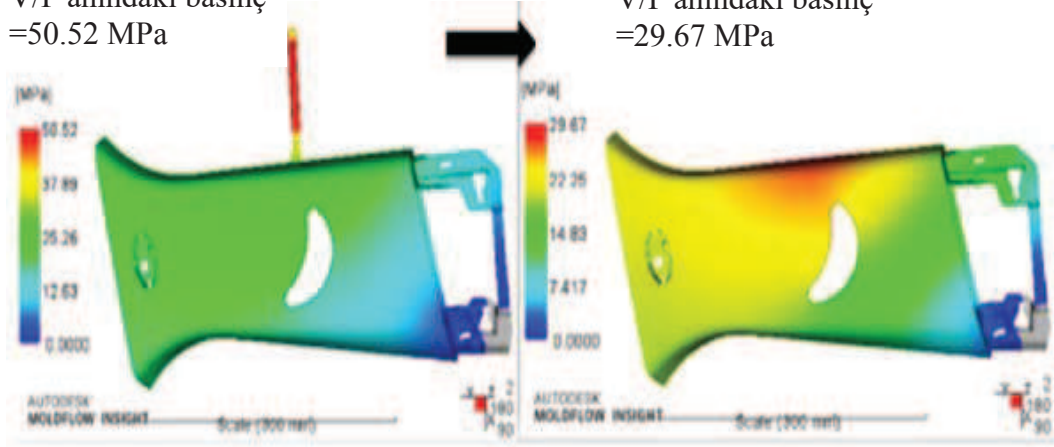
Şekil 3.28: Fill time sonucu

Sonuca göre, dolum dengeli bir şekilde gerçekleşmiş ve parçada eksik baskı görülmektedir.

### 3.4.1.2 Hız/Basınç Anındaki Basınç (Pressure at V/P Switchover)

Bu sonuç ile dolum prosesinden ütüleme fazına geçme aşaması V/P anı olarak tanımlanmaktadır. Bu noktada proses ütüleme fazına geçmekte olup, bu aşama dolumun %97-99'u aşamasında olabilir. Şekil 3.29'da görüldüğü gibi gri olarak görülen alan ütüleme fazında doldurulacaktır. En yüksek basınç nozzle ucunda olduğu görülmektedir. Çünkü akış mesafesi arttıkça malzemeyi iletme için gerekli basınç miktarı artacaktır. Ayrıca yolluğun kaldırılması ile basınç düşmektedir. Çünkü direkt olarak basınç değerleri okunmaya başlamıştır. Bu durum %40 civarında basınç kaybına sebep olmaktadır. Ve bu durum yolluğun verimsizliğini göstermektedir. Yolluk tasarımının değiştirilmesi gerekmektedir.

V/P anındaki basınç  
=50.52 MPa



V/P anındaki basınç  
=29.67 MPa

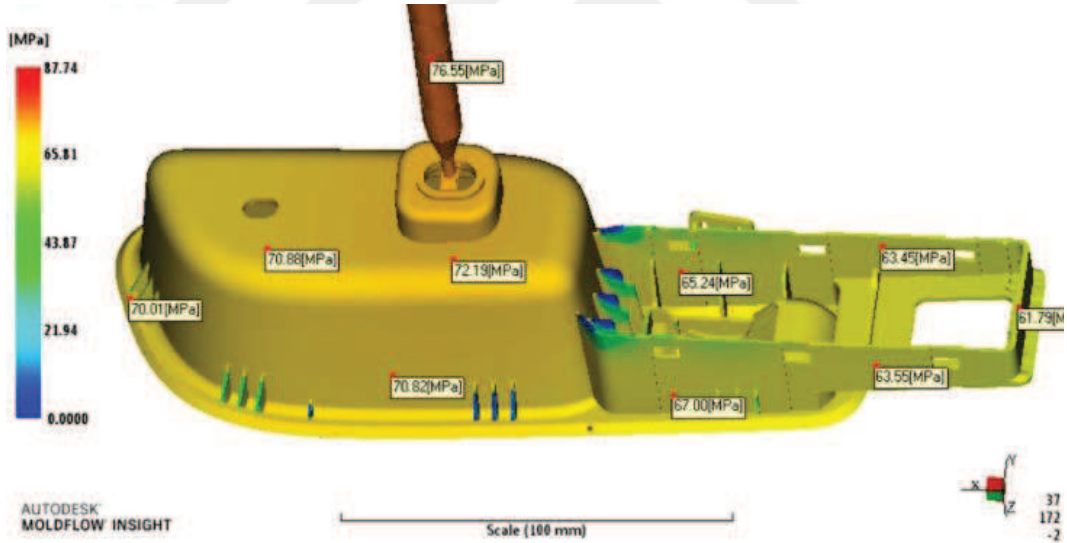
Şekil 3.29: V/P anındaki basınç değeri görülmektedir.

### 3.4.1.3 Ütülleme Basıncı Dağılımı (Packing Pressure )

Ütülleme basıncı dağılımı incelenirse, yolluktan uzaklaştıkça basınç değeri düşmektedir. Mavi bölgeler ince cidarlı olduğu için basıncın 0'a indiği görülmekte

Basınç şmiştir.

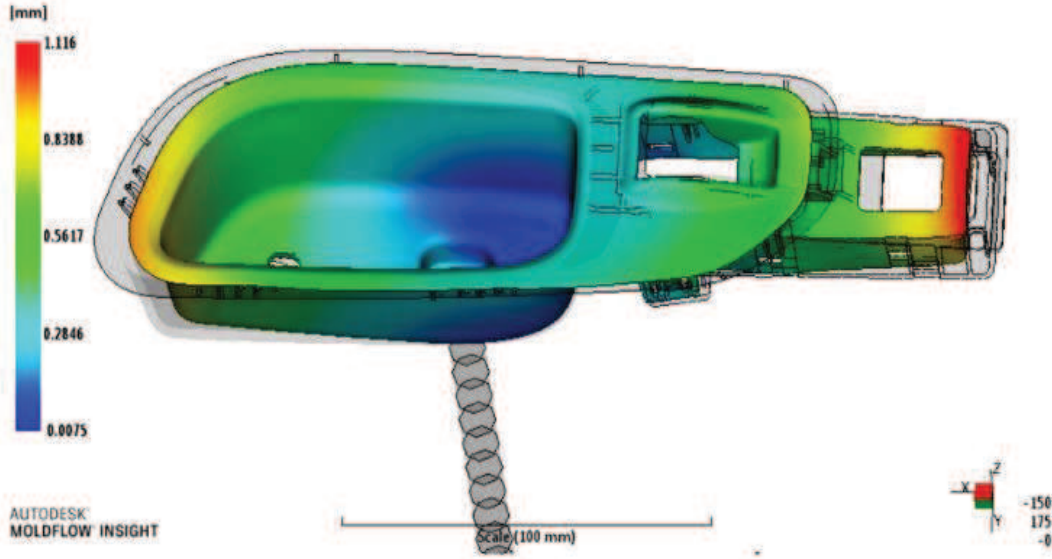
Zaman=1.564 s



Şekil 3.30: Parça üzerinde görülen basınç dağılımları

Ütülleme basınç etkisini en az gördüğümüz bölgede çarpılma değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu yüzden ütülleme basıncının verilmesi ise sıcak yolluğun etrafı katılaşana kadar yani parça ağırlık sabit kalana kadar devam etmelidir. Aksi halde parçada çekme kaynaklı deformasyonlar meydana gelecektir.

Yerdeğiştirme Tüm etkiler: Yerdeğiştirme  
Büyütme Faktörü: 10



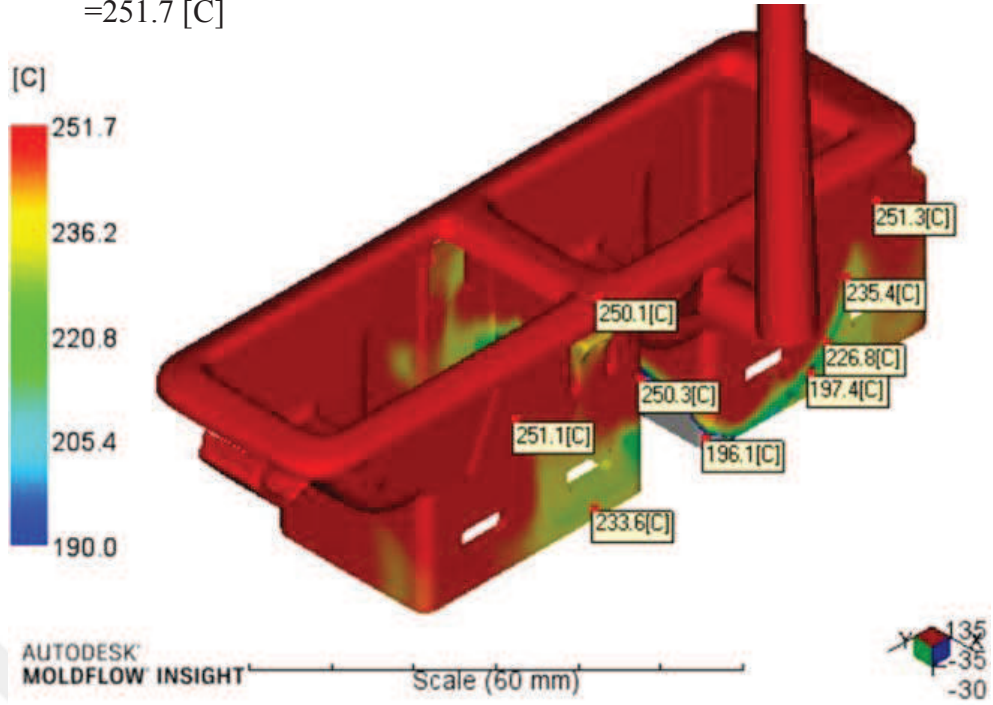
Şekil 3.31: Basınç dağılımlarının etkisini göreceğimiz çarpılma değerleri

#### 3.4.1.4 Akış Önü Sıcaklığı (Temperature at Flow Front)

Akış önü sıcaklık olarak tanımlanmakta olup yolluktan uzaklaştıkça sıcaklığın düşmesi beklenmektedir. Akış hızına bağlı olarak düşüş ya da yükselme göstermektedir. Akış önü sıcaklık değerinin çok fazla düşmesi demek malzemenin katılaşarak akış önünün katılaşarak eksik baskıya sebep olmasına yol açmaktadır. Bu durumda akışın hızlandırılması bölgesel et kalınlıklarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Akış önü sıcaklığının çok fazla yükselmesi ise kayma hızının çok yüksek olduğunu göstermekle birlikte sürtünmelerle birlikte sıcaklık yükselmektedir. Bu durumda akış hızı düşürülerek parça daha yavaş basılmalıdır. Feder kalınlıkları daha ince olacağı için federlerde düşük sıcaklık görülmesi muhtemeldir. Eksik enjeksiyon olup olmadığı kontrol edilmelidir. Şekil 3.32’de cidar kalınlığı farkı bulunmaktadır. Ve tabi ki akış kolay olan yolu tercih edecek ve kalıncıdarlı bölgeleri dolduracaktır. İnce cidarlı bölgelerde akış sıcaklığı hem yolluktan uzaklaştığı hem de akışın yavaşlaması sebebiyle düşmektedir. Ve baskıda eksik enjeksiyon meydana gelmiştir.



Akış Önü Sıcaklık  
=251.7 [C]

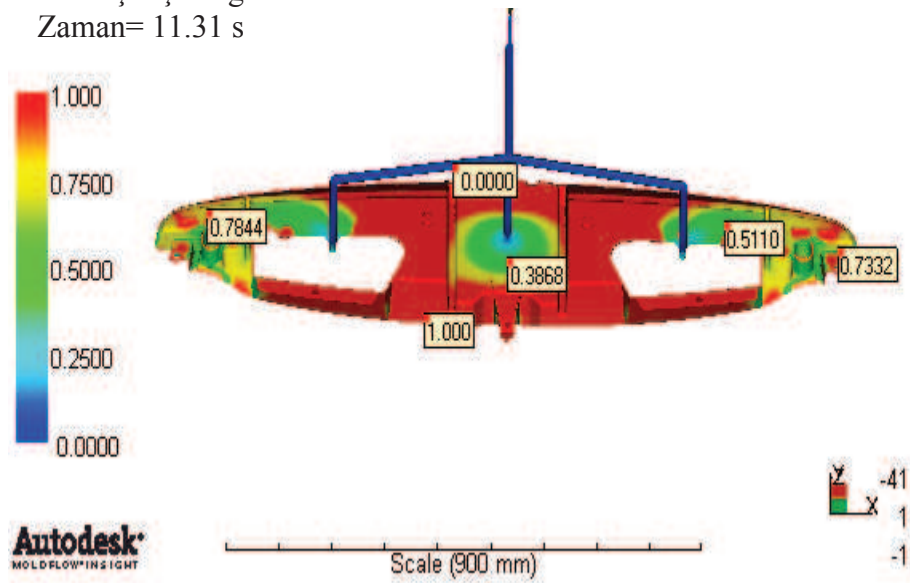


Şekil 3.32: Akış önü sıcaklık sonucu

#### 3.4.1.5 Katılaşma Gösteren Bölgeler (Frozen Layer Fraction)

Bu analiz sonucunda bölgesel olarak katılaşma anı görülmekte olup, ütleme süresinin baskıda yeterli olup olmadığı, ya da ütlemenin ne zaman kesilmesi kararı verilmektedir. Ütleme süresinin yeterliliği için % Shot weight sonucu da incelenmelidir.

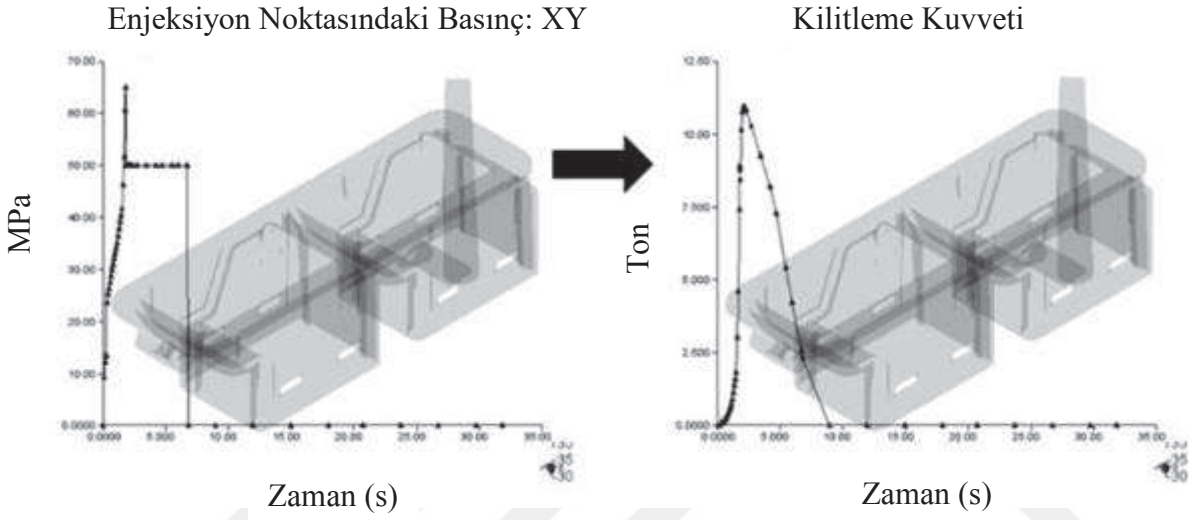
Katılaşmış Bölgeler Oranı  
Zaman= 11.31 s



Şekil 3.33: Katılaşmış bölgeler oranı sonucu gösterimi

### 3.4.1.6 Enjeksiyon Noktasındaki Basınç & Kilitleme Kuvveti

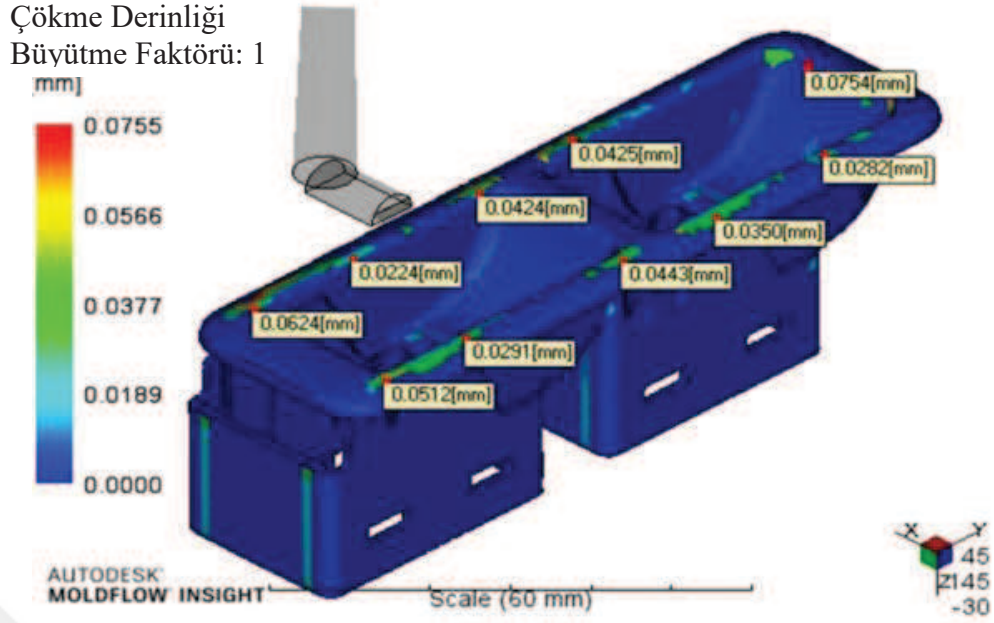
Enjeksiyon noktasındaki basıncın zamana karşı gösterimi bulunmaktadır. Basınç profili ile kilitleme kuvveti profilinin benzer olması önerilmektedir. Tonaj profilinde eğri 0'a inmelidir. Aksi halde ütleme basıncının yüksek olduğu kanısına varılır ve parçanın da kalıptan çıktığında üzerindeki gerilimi atmak için küçülme yerine büyümesi muhtemeldir. Ayrıca kilitleme kuvveti sonucu kullanılırken %15 -20 güvenlik faktörü eklenerek kullanılmalıdır.



Şekil 3.34: Enjeksiyon noktasındaki basınç ve kilitleme kuvveti sonucu

### 3.4.1.7 Çöküntü İzleri (Sink Marks Estimate)

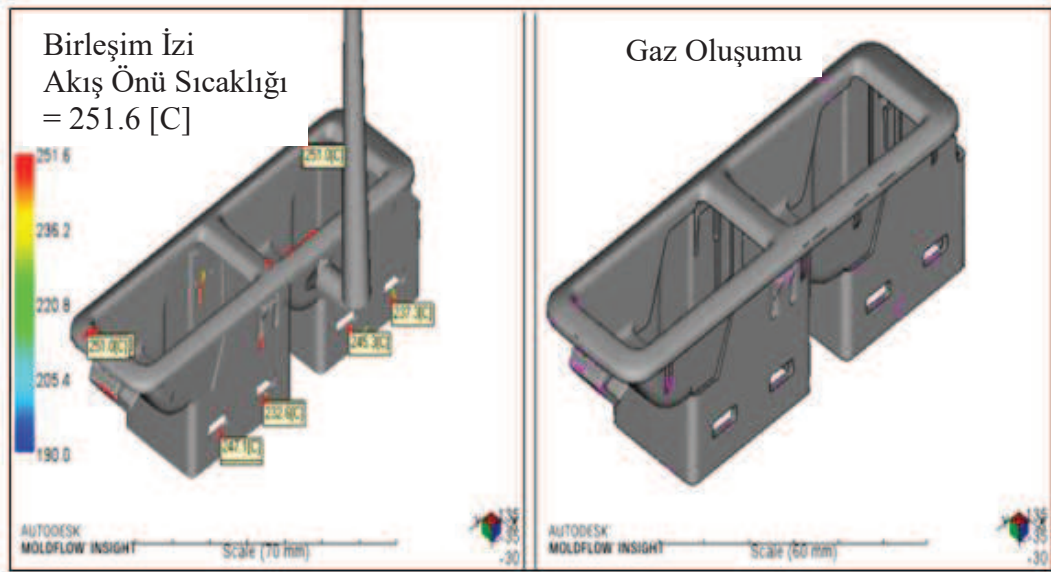
Çökme derinliği olarak tabımlanmaktadır. Parçada muhtemel olabilecek çökme derinliklerini, kozmetik hataları göstermektedir. Bu durumda ütleme profili kontrol edilmelidir. Çökme görülen bölgeye ütleme etkin mi kontrol edilmelidir. Soğutma profili kontrol edilerek dengesiz soğuyan bölgeler olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bir diğer sebep ise kalınlığın uniform olmadığı bölgelerde hacimsel çekme farkından kaynaklı olarak çökme görülebilir. Tasarım değişikliği gerekebilir. Bu yüzden feder kalınlıklarının et kalınlığının 1/3 'ü olması önerilmektedir.



Şekil 3.35: Çökme derinliği sonucu

#### 3.4.1.8 Birleşim İzi & Gaz oluşumu (Weld line & Air Traps)

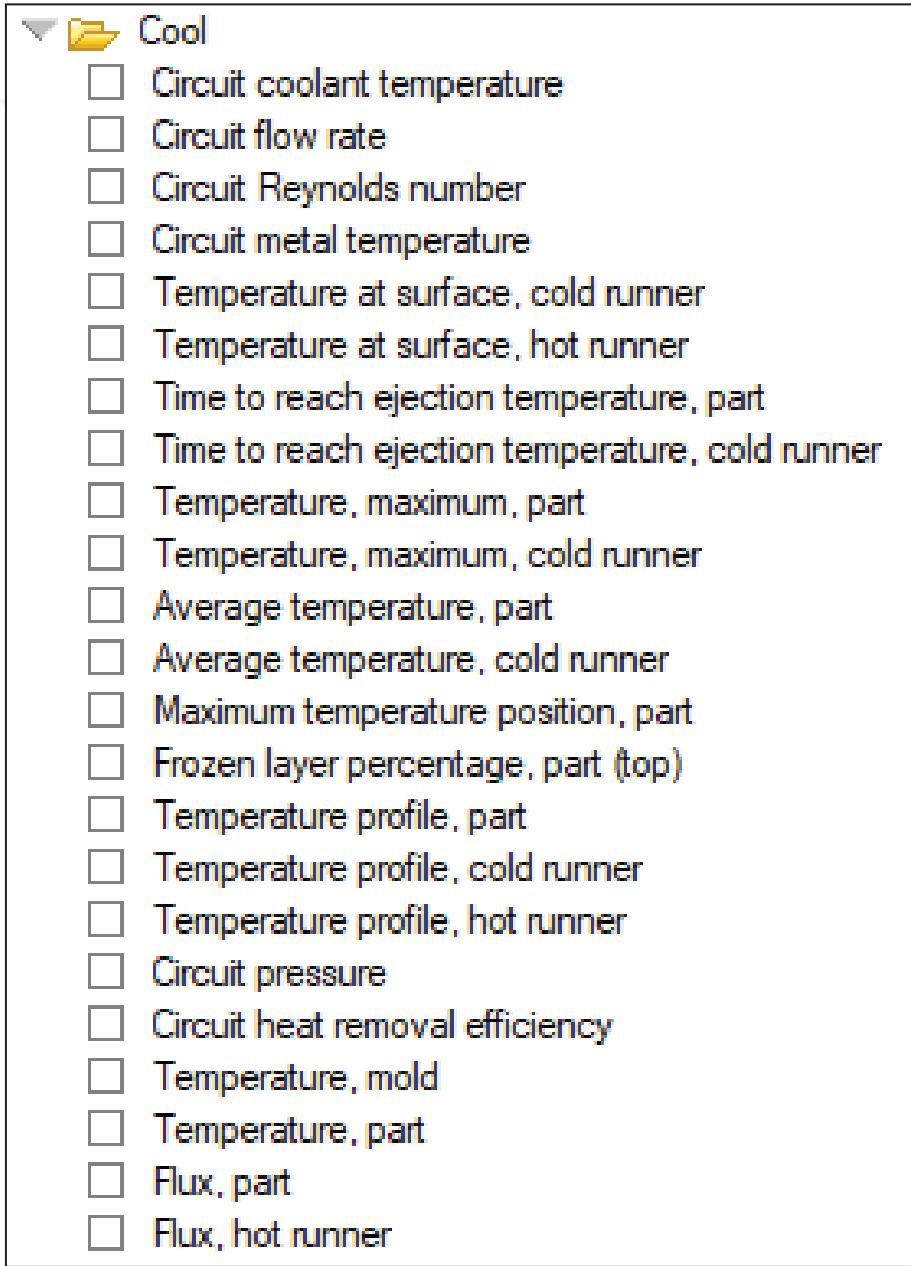
Birleşim izi olarak tanımlanmaktadır. Birleşim izi noktasındaki sıcaklık önemlidir. Soğuk birleşme ile karşılaşılan parçalarda weld line bölgesindeki dayanım düşmekle birlikte, kozmetik olarak da hissedilebilmektedir. Ayrıca gaz oluşan bölgelerde gazın atılması için gaz kanallarının yeterliliği kontrol edilmeli, kalıpta gaz kanalları açılmalıdır. Aksi halde gazın atılmamasından dolayı parçada eksik enjeksiyon görülmesi ve malzemenin degrade olması muhtemeldir.



Şekil 3.36: Birleşim izleri ve gaz bölgeleri

### 3.4.2 Soğutma Analizi Sonuçları

Soğutma kanallarının ve soğutma etkinliğini kontrol edebilmek amacıyla birçok sonuç elde edilmektedir. (Şekil 3.36) Soğutma suyu sıcaklığı değeri malzeme database'inde önerilmekte olan kalıp sıcaklığı değerinin 15-20 °C düşük olmalıdır. Kalıp sıcaklığı değeri enjeksiyon prosesinde bir çıktı olup, soğutma sonrasında soğutma sonuçlarında kalıp sıcaklığı değeri kontrol edilerek çeliğin önerilen değerler arasında soğutulduğu kontrol edilmelidir. Soğutma kanallarının olmadığı analizlerde kalıp yüzey sıcaklığı olarak önerilen değeri tüm yüzeyde sabit kabul ederek soğutma süresini baz alarak soğutmayı gerçekleştirir.

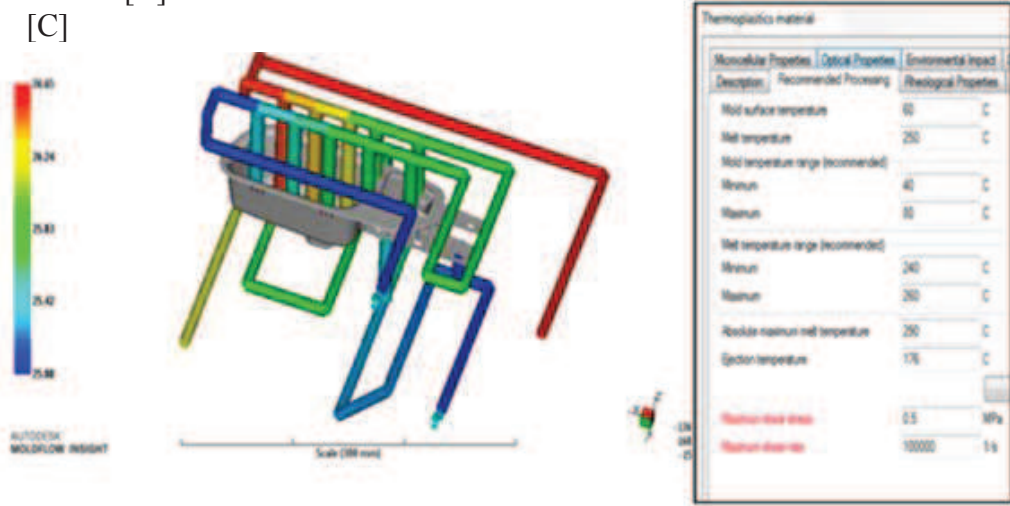


Şekil 3.37: Soğutma analizi sonuçları

### 3.4.2.1 Soğutucu Devre Sıcaklığı (Circuit Coolant Temperature)

Soğutma kanallarında soğutucu akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark görülmektedir. Genelde su ile analiz yapılmakla birlikte giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki farkın 2 °C'yi aşmaması önerilmektedir. Kalıbın iki yüzünde eşit su sıcaklığı dolaşması önerilmektedir. Fakat bazı durumlarda aksi şekilde çalışılmaktadır. Kozmetik olarak parlak yüzey elde etmek istenirse kalıbın sabit yüzeyinde sıcak su dolaştırılarak, parlak ve görsel olarak iyi bir yüzey elde edilmektedir. Şekil 3.37'de gösterilen parçada PA/ABS malzeme kullanılmış olup, önerilen kalıp sıcaklığı değeri 60 °C'dir. Verilen soğutucu suyun sıcaklığı ise 25 °C'dir.

Soğutucu Akışkan Sıcaklığı  
=26.65 [C]  
[C]

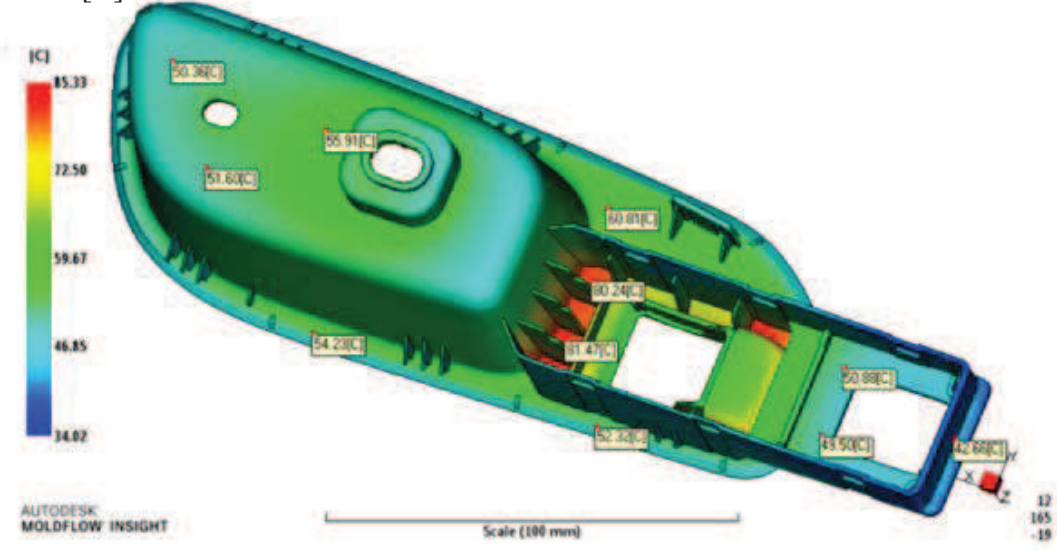


Şekil 3.38: Soğutucu akışkan sıcaklığı

### 3.4.2.2 Sıcaklık, Parça (Temperature, Part)

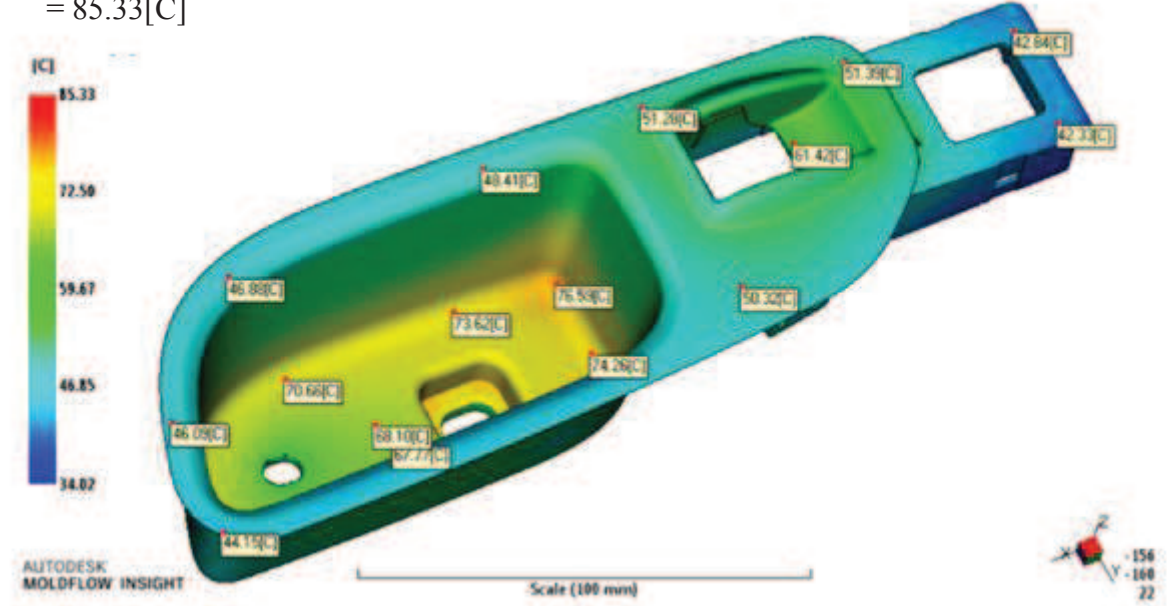
Bu sonuç ile parçanın sabit yüzeyi ve hareketli yüzeyinde sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı 10 °C'yi geçmemelidir. Aksi halde parça sıcak olan tarafa doğru atmaya çarpılmaya başlayacaktır. B yüzeyindeki sıcaklık değerleri incelendiğinde 85 °C'lik bölgeler bulunmakta olup, A yüzeyi ile arasındaki sıcaklık farkı bazı bölgelerde yüksektir. Bu yüzden soğutma farkından kaynaklı parça hataları oluşabilir. İnce cidarlı bölgeler hızlı soğumaktadır.

Sıcaklık, Parça  
85.33[C]



Şekil 3.39: B yüzeyindeki sıcaklık kontrolü

Sıcaklık, Parça  
= 85.33[C]



Şekil 3.40: A yüzeyindeki sıcaklık kontrolü

### 3.4.3 Çarpılma Analizi Sonuçları

Çarpılma analizinde toplam etkiler, soğutma farkı etkisi, fiberli malzeme kullanımında fiber oryantasyonu etkisi, köşe etkisi ve çekme farkından kaynaklanan çarpılma şeklinde sonuçlar sunulmaktadır.

Warp

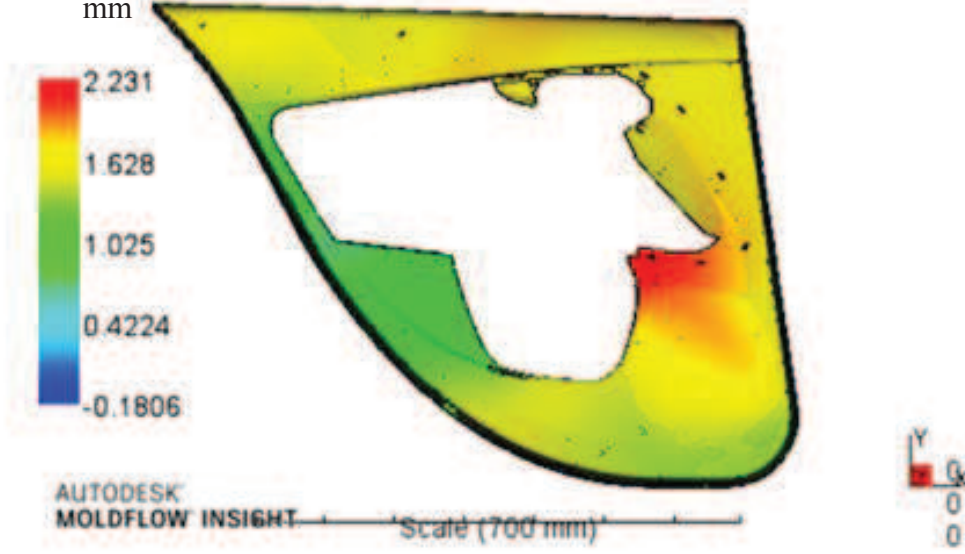
- Deflection, all effects:Deflection
- Deflection, all effects:X Component
- Deflection, all effects:Y Component
- Deflection, all effects:Z Component**
- Deflection, differential cooling:Deflection
- Deflection, differential cooling:X Component
- Deflection, differential cooling:Y Component
- Deflection, differential cooling:Z Component
- Deflection, differential shrinkage:Deflection
- Deflection, differential shrinkage:X Component
- Deflection, differential shrinkage:Y Component
- Deflection, differential shrinkage:Z Component
- Deflection, orientation effects:Deflection
- Deflection, orientation effects:X Component
- Deflection, orientation effects:Y Component
- Deflection, orientation effects:Z Component
- Deflection, comer effect:Deflection
- Deflection, comer effect:X Component
- Deflection, comer effect:Y Component
- Deflection, comer effect:Z Component

Şekil 3.41: Çarpılma analizi sonuçları

#### 3.4.3.1 Yerdeğiştirme Tüm etkiler : X Bileşeni (Deflection, All Effects: X Component)

Yerdeğiştirme sonuçlarında çekme dahil, olup asıl çarpılma değeri kalıp çekmesinin hesaplanarak çıkarılması ile bulunmaktadır. X yönündeki yerdeğiştirme tolerans değerleri içinde değil ise sebebi araştırılarak çözüm bulunmaktadır. Sebebi ,soğutmanın yetersiz olması, ütüleme profilinin etkin yapılamaması olabilir. Kontrol edilmelidir.

Yerdeřtirme Tüm Etkiler: X Bileşeni  
Çekme kompensasyon: 1.1%  
Büyütme faktörü:1.000  
mm

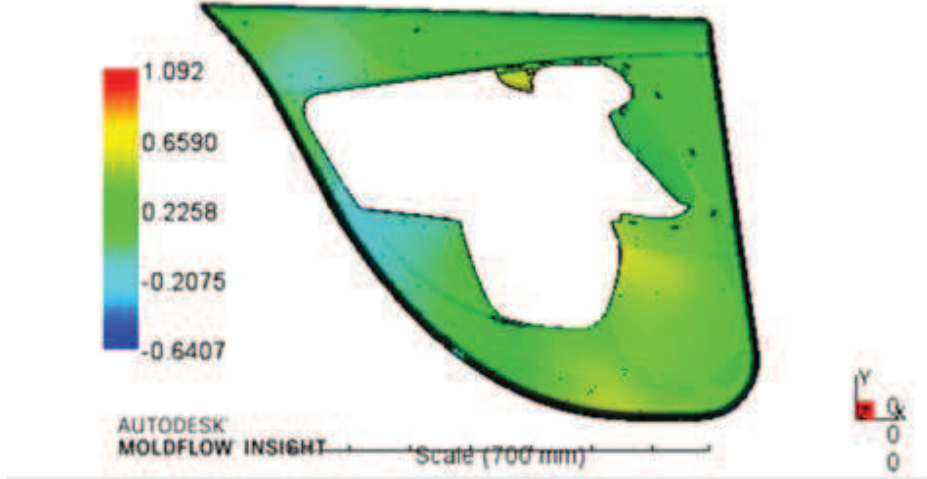


şekil 3.42: X yönündeki arpılma

### 3.4.3.2 Yerdeřtirme Tm etkiler : Y Bileşeni (Deflection, All Effects: Y Component)

Y-eksenindeki çarpılma görülmektedir.

Yerdeřtirme Tm Etkiler: Y Bileşeni  
ekme kompensasyon: 1.1%  
Bytme faktr:1.000  
mm



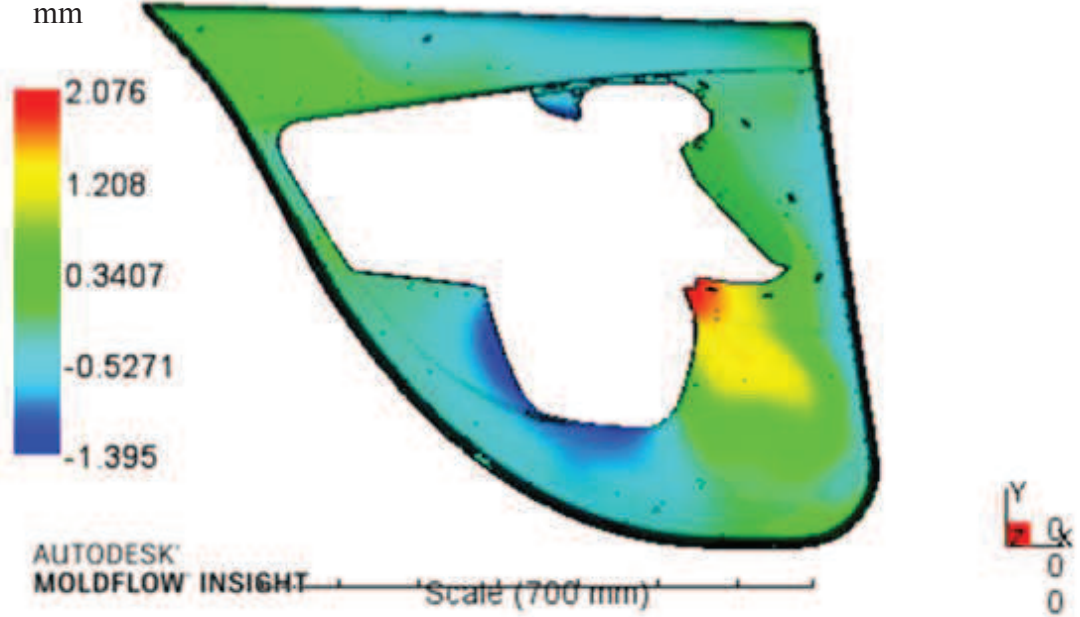
şekil 3.43: Y yönündeki arpılma



### 3.4.3.3 Yerdeğiştirme Tüm etkiler : Z Bileşeni (Deflection, All Effects: Z Component)

Z-eksenindeki çarpılma değerleri görülmekte olup, riski bölgelerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Yerdeęitirme Tüm Etkiler: Z Bileşeni  
Çekme kompensasyon: 1.1%  
Büyütme faktörü:1.000  
mm



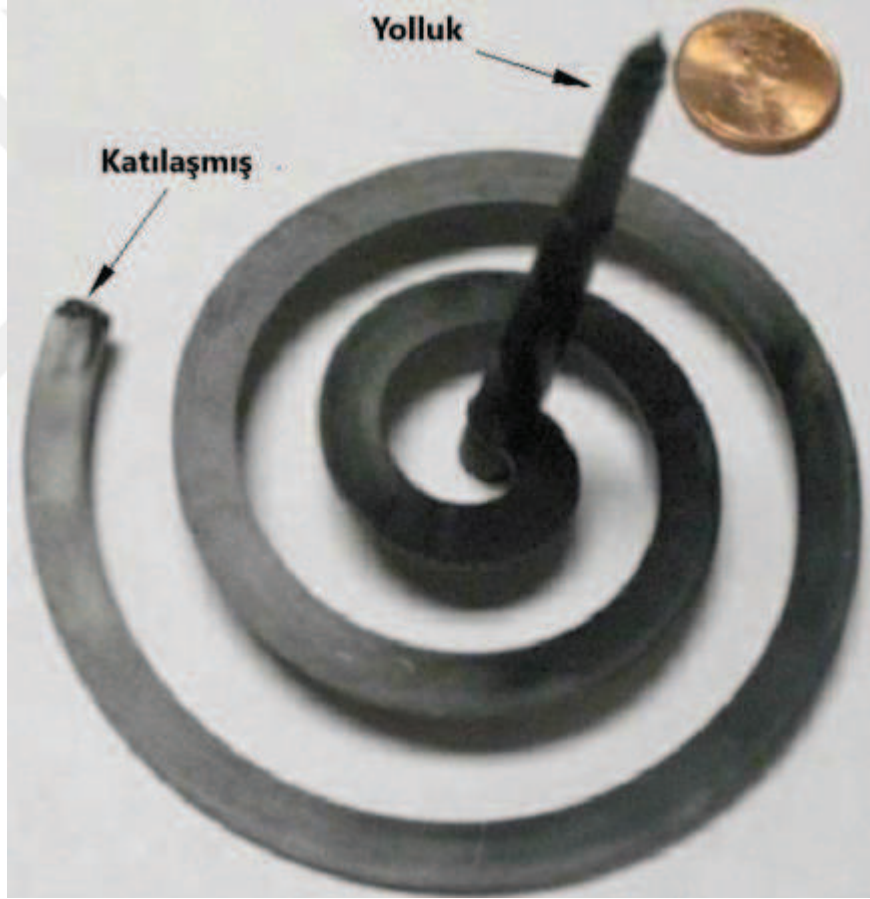
Şekil 3.44: Z eksenindeki arpılma



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1 Spiral Test Kalıbı İle Akış Mesafesi Tayini

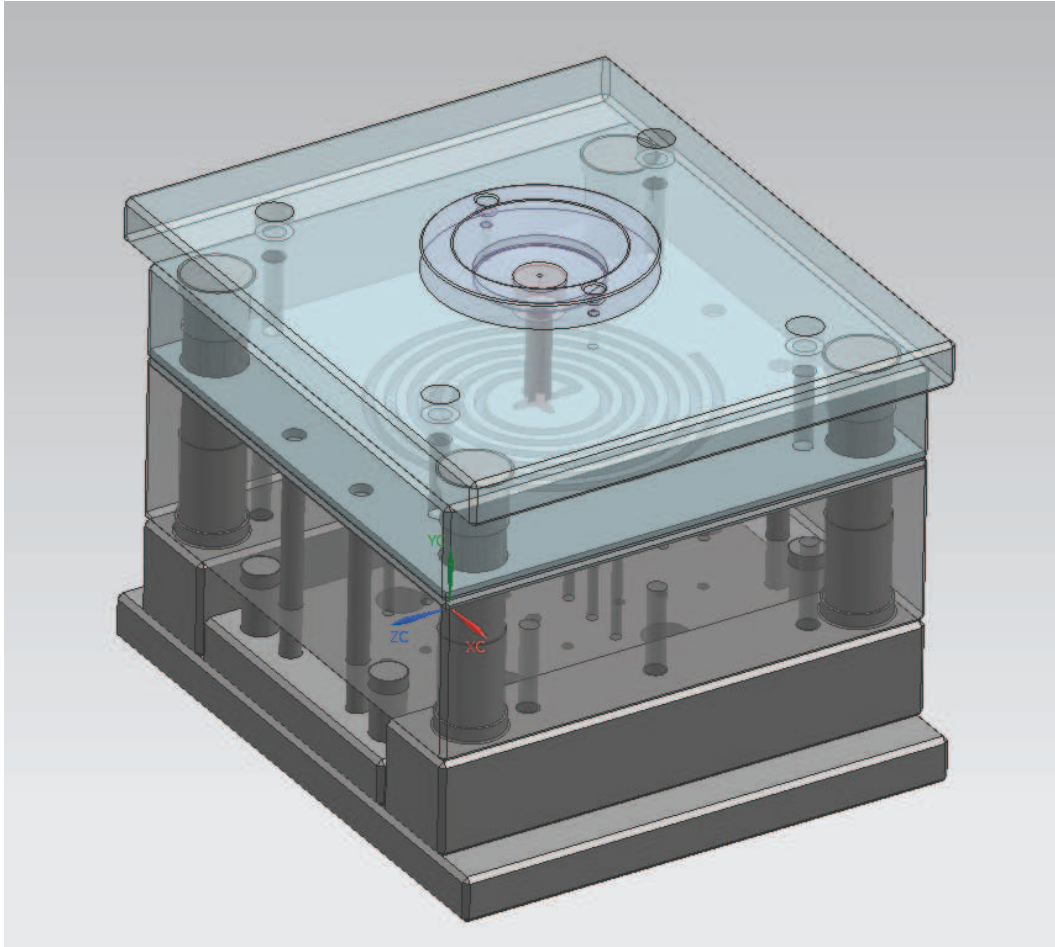
Enjeksiyon kalıplama süresince polimer akışının matematik modeli olarak basit geometrili spiral kalıp birçok termoplastik malzeme için kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar akış optimizasyonu için spiral kalıp boşluğuna birçok basınç sensörü gömmüşlerdir.[66]



**Şekil 4.1:** Enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş termoplastik spiral[67]

Bu çalışmada farklı kalınlık ve basınçlarda akış mesafesini bulmak ve bu akış mesafesinde kilitleme kuvvetini belirlemek amacıyla spiral kalıp ile 2.7 mm kalınlıkta

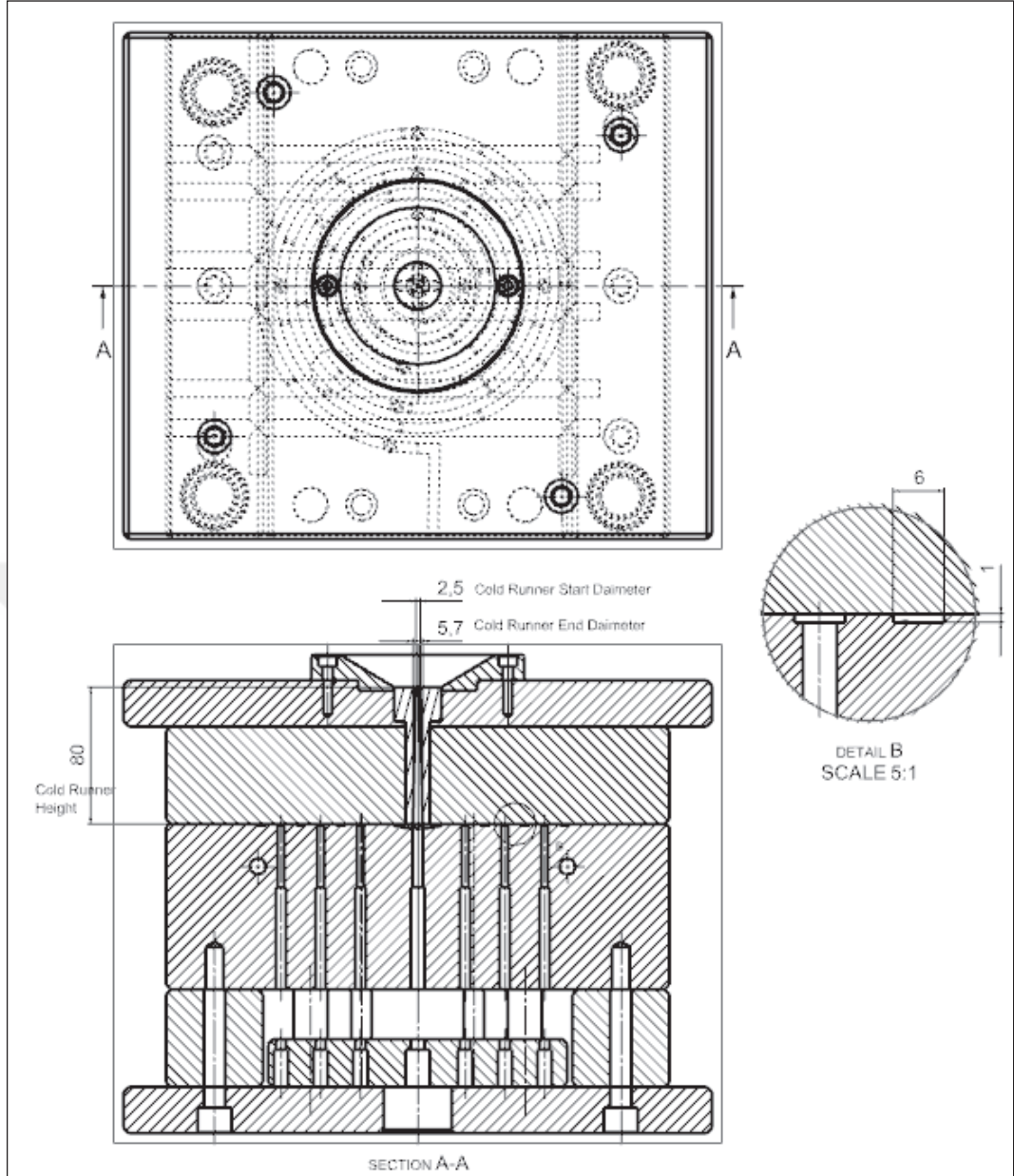
ve farklı basınçlarda (30-40-50-60-70-80-90-100-110-120-180 MPa) 3 deneme baskısı alınmıştır. Bunun yanında dört farklı kalınlıkta ve 20 MPa ve 180 MPa basınç arasında kalıp akış (moldflow) çalışmaları yapılmıştır. Alınan deneme baskılarından alınan verilerle 2.7 mm kalınlıkta ve belirlenen basınç değerlerindeki akış mesafeleri hesaplanmıştır. Alınan veriler kalınlık ve basınç değişkeni ile ilişkilendirilerek kalınlık değeri farklı olan parçalar içinde akış mesafesinin hesaplanmasını ve tonajın hesaplanmasını sağlayacaktır.



**Şekil 4.2:** 3D Kalıp gösterimi

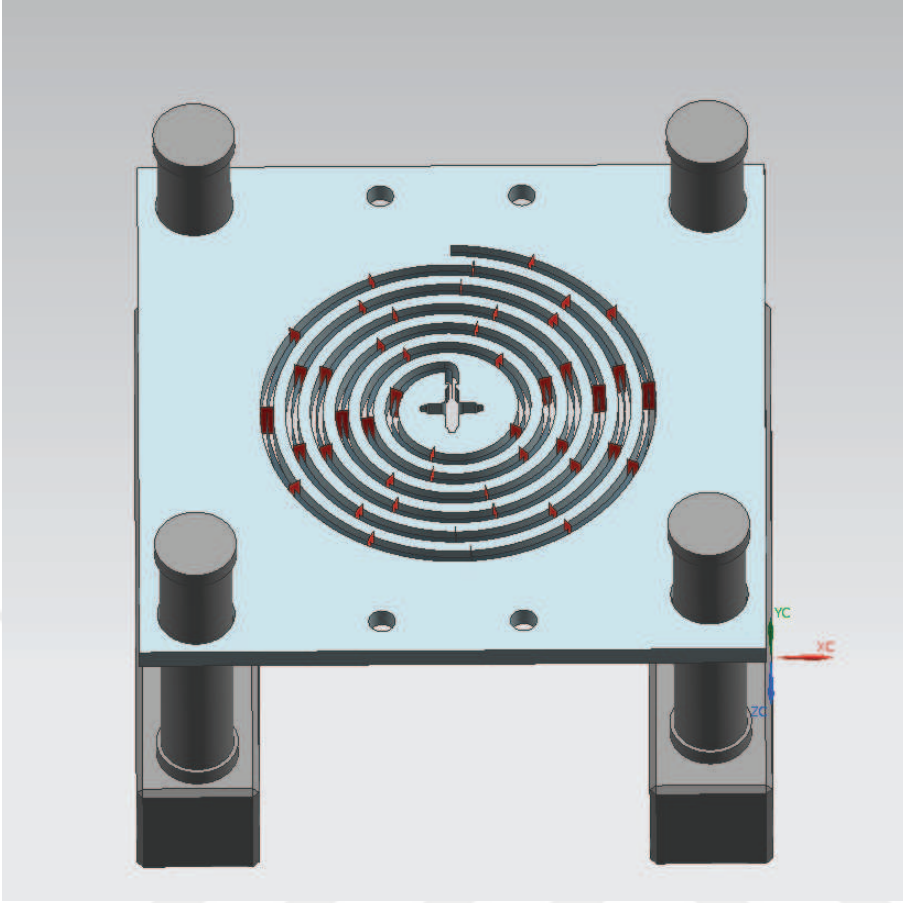
#### **4.1.1 Kullanılan Makine ve Ekipman Özellikleri**

Spiral test kalıbı soğuk yolluklu olarak tek noktadan giriş şeklinde tasarlanmış olup kalıp kesiti ve ölçüleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Test kalıbı malzemesi olarak 2738 enjeksiyon kalıp çeliği kullanılmıştır. Kalıp yüzeyi finiş işleme olarak tamamlanmış ve herhangi bir yüzey parlatma işlemi uygulanmamıştır.



Şekil 4.3: Kalıp gösterimi

1.3.1.2.1 Enjeksiyon baskı işlemi uygulanan spiral numunenin kesiti 2,7 mm x 6 mm'dir. Akış mesafelerinin kolay belirlenmesi için spiral kesit üzerinde 0,25 mm derinlikte ve 1,6 mm uzunluğunda 50 mm aralıklarla ölçüm noktaları tanımlanmıştır.

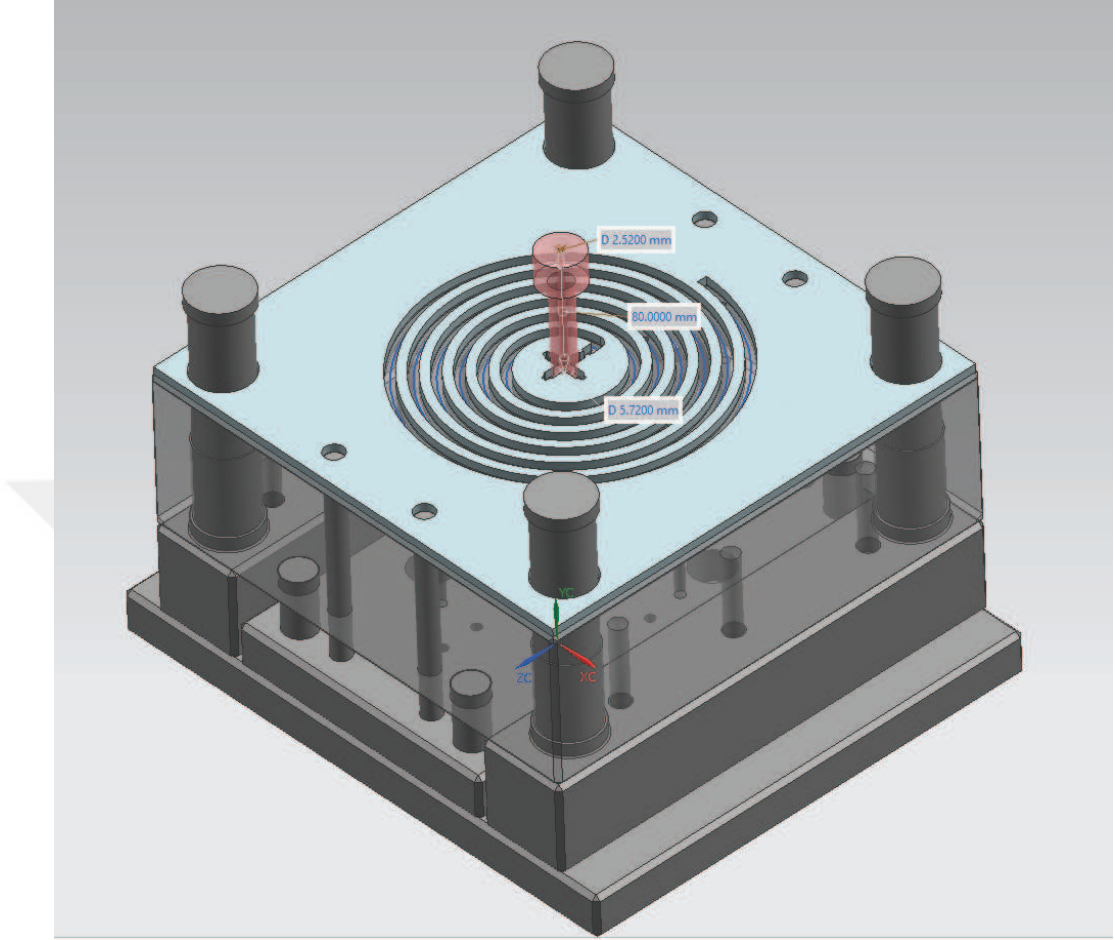


Şekil 4.4: Spiral kalıbın 50 mm mesafede bölündüğünün gösterimi



Şekil 4.5: 50 mm aralıklarla bölünmüş parçanın gösterimi

Kalıp yüzey sıcaklığı 40°C ve eriyik sıcaklığı 240°C olarak enjeksiyon baskı işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6: Sprue giriş ölçüleri

#### 4.1.2 Kullanılan Plastik Malzeme Ve Özellikleri

Hostacom CR 1171 G1 PP” copolimer Basell firmasının bir ürünü olup, yüksek darbe dayanımı ve ultraviyole ışığa uzun süre dayanım gerektiren parçalarda kullanılmaktadır. Malzeme orta akışkan gurubunda olup otomotiv sektöründe araç iç trim parçalarının üretiminde tercih edilir. İncelenen malzeme %10 talk katkılı olup mfr değeri 11 g/10min olarak 230 °C sıcaklık ve 2,6 kg yük altında ölçülmüştür. Malzemenin tanımı ve önerilen sıcaklık değerleri Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Malzeme için önerilen kalıp sıcaklığı 45 °C ve malzeme değeri ise 240 °C’dir. Fakat duruma göre kalıp sıcaklığının 20-70 °C , eriyik sıcaklığın ise 230-250 °C arasında çalışılması mümkündür. Fakat 290 °C’nin üzerine çıkılması durumunda malzemede degradasyon ve yanma görülebilmektedir. Çıkarma sıcaklığı olarak 117 °C tavsiye edilmiş olup, bu sıcaklığın altında bir sıcaklıkta çıkarılması gerekmektedir. Aksi halde

çekmeden dolayı deformasyon ya da enjeksiyon çıkarma anında parçada itici izlerinin görünmesigibi kozmetik hataların olması muhtemeldir. Malzeme için önerilen kayma gerilimi 0.25 MPa ve kayma hızı 100000 1/s olarak tanımlanmıştır. Bu değer üzerinde kayma gerilimi ya da kayma hızı yakalanması malzemenin bozunmasına sebep olabilir. Böyle bir durumda enjeksiyon hızı yavaşlatılmalı ya da yolluk tasarımı yeniden yapılmalıdır. Aksi halde enjeksiyon sonrası parçada akış izleri görülebilmektedir.

Family name	POLYPROPYLENES (PP)	Mold surface temperature	45	C
Trade name	CR1171G1CRIMS)	Melt temperature	240	C
Manufacturer	Basell EU	Mold temperature range (recommended)		
Link		Minimum	20	C
Family abbreviation	PP	Maximum	70	C
Material structure	Crystalline	Melt temperature range (recommended)		
Date source	Autodesk Moldflow Plastics Labs	Minimum	230	C
Date last modified	10-APR-13	Maximum	250	C
Date tested	29-AUG-11	Absolute maximum melt temperature	290	C
Date status	Confidential	Ejection temperature	117	C
Material ID	30560			
Grade code	SN6106	Maximum shear stress	0.25	MPa
Supplier code	LYONDELL	Maximum shear rate	100000	1/s
Fibers/fillers	10% Mineral Filled			

**Şekil 4.7:** Malzeme tanıtımı ve önerilen proses şartları

Malzemenin PVT grafiğinin enjeksiyonda kullanılması çok önemlidir.Çünkü PVT grafiği ile enjeksiyon sonrasında hacimsel çekmenin nasıl olacağı konusunda fikir vermektedir. Aşağıdaki PVT grafiğine göre **1:** Enjeksiyonun başlama noktası

**2:** Ütüleme fazının başlama noktası

**3:** Maksimum basınç

**4:** Yolluk girişinin donması

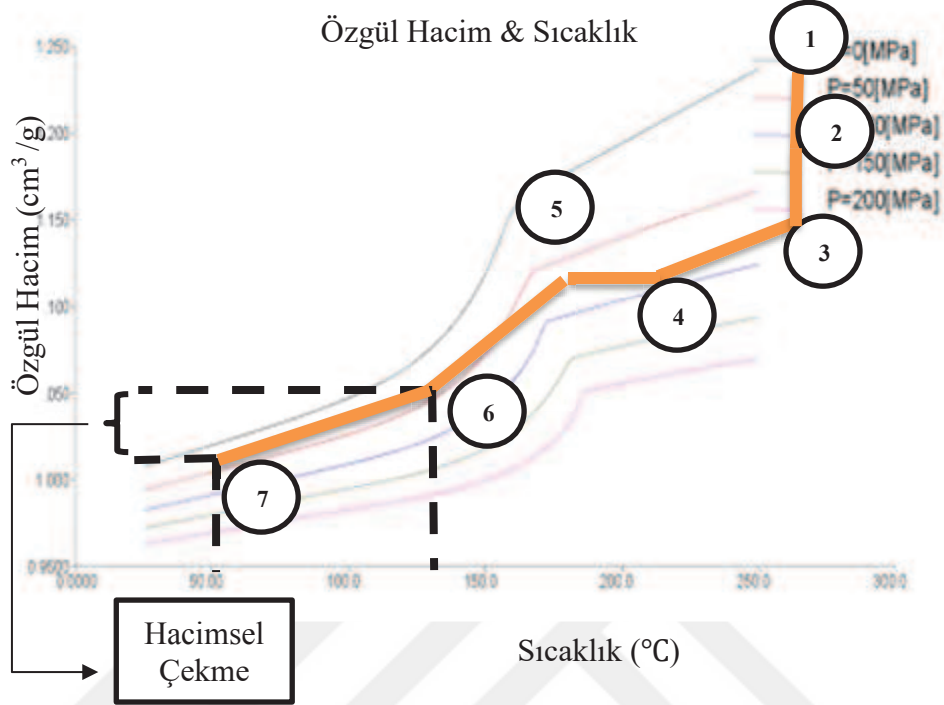
**5-6 arası:** Kalıpta soğuma evresi

**6:** Kalıptan çıkarma

**6-7 arası :** Bu evrede kalıptan alınan parçanın oda sıcaklığına gelme evresi şeklinde tanımlanmaktadır. PVT grafiğinde gösterildiği gibi parçanın kalıptaki soğutma süresi kısa tutulur yani kalıptan sıcak çıkarılırsa dışarıda oda sıcaklığına gelene kadar ki süreçte malzemedeki hacimsel çekme değeri artacaktır. Ya da yolluk girişinin katılma evresinin öncesinde ütüleme basıncı kesilirse, parça kendini tam olarak toparlamayacağı için hacimsel çekme artacaktır. Ya da ütüleme basıncının düşük



olması hacimsel çekmeyi artıracaktır. Hacimsel çekmenin artması ile parçada çarpılma ya da çökme gibi çekme farkından kaynaklanan hatalara yol açmaktadır.



Şekil 4.8: Malzemenin PVT grafiği

Malzemenin mekanik özelliklerinde ise paralel yönde elastik modulus 1614 MPa, dikey yöndeki elastik modulus ise 1480 MPa olarak gösterilmektedir.

Shrinkage Properties	Filler / Fiber	Microcellular Properties	Optical Properties	Environmental Impact	Qua
Crystallization Morphology		Stress - Strain (Tension)		Stress - Strain (Compression)	
Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties	pvT Properties	Mechani
Mechanical properties data					
Elastic modulus, 1st principal direction (E1)		1614	MPa		
Elastic modulus, 2nd principal direction (E2)		1480	MPa		
Poissons ratio (v12)		0.402			
Poissons ratio (v23)		0.402			
Shear modulus (G12)		515	MPa		
Transversely isotropic coefficient of thermal expansion (CTE) data					
Alpha1		7.78e-05	1/C		
Alpha2		8.75e-05	1/C		

[View test information...](#)

Şekil 4.9: Malzemenin mekanik özellikleri

Malzeme çekme özelliklerini tanımlamak için aşağıdaki proses parametrelerinde çekme değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.1'de görülmektedir. Database'de bulunan her malzemenin çekme özellikleri bulunmamaktadır. 2D mesh atılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulduğunda çekme (crims) datasının olması daha doğru sonuç

vermektedir. Aksi halde 3D mesh atılarak analiz yapılması çekme sonucu olarak daha doğru sonuç vermektedir.

**Çizelge 4.1:** Malzeme Çekme özellikleri

	Eri yik sıca klığ 1 °C	Kal ıp sıca klığ 1 °C	Ak ış hız 1 (R) cm 3	Ak ış hız 1 (F) cm 3	R a m ça pı m	Ram yerde ğiştir me mm	Kal ınlı k mm	Ütü lem e bası ncı MP a	Ütü lem e zam anı s	Soğ utm a süre si s	Par ale l çe km e %	Di ke y çe km e %	Hac ims el çek me %
1	246,9	50,1	40,6	31	45	45,6	2	15,7	10	20	1,05	1,14	4,37
2	245,9	52,6	40,7	30,2	45	45,6	2	11,7	10	20	1,05	1,14	4,62
3	245,9	51,5	40,6	28,2	45	45,4	2	9,7	10	20	1,14	1,11	4,75
4	245,9	53,6	40,8	30,2	45	45,4	2	4,2	10	20	1,18	1,16	6,27
5	245,9	54	61,7	45,4	45	45,4	2	9,7	10	20	1,09	1,13	4,8
6	245,9	51,2	40,6	31	45	45,6	2	9,8	10	20	1,26	1,16	4,74
7	245,9	53,5	19,5	13,7	45	45,4	2	9,7	10	20	1,18	1,13	4,78
8	245,9	50	65,1	45,8	45	50,7	3	15,7	15	20	1,16	1,23	6,71
9	245,9	57,4	64,9	45,8	45	50,4	3	11,7	15	20	1,16	1,32	7,38
10	245,9	54,5	65,1	46,9	45	50,6	3	9,8	15	20	1,22	1,39	7,68

1	246	56,	65	48	4	50,4	3	5,1	15	20	1,2	1,3	9,51
1	,8	1			5						1	6	
1	246	56,	97,	80,	4	50,5	3	9,8	15	20	1,3	1,3	7,75
2	,9	1	2	1	5						8	6	
1	246	57,	64,	46,	4	50,4	3	9,8	15	20	1,2	1,3	7,74
3	,9	8	8	9	5							1	
1	246	55	32,	22,	4	50,2	3	9,8	15	20	1,0	1,2	7,56
4	,8		6	9	5						9		
1	246	43,	32,	24,	4	40,1	1	15,	8	20	1,1	0,8	4,69
5	,8	6	3	1	5			7			7	97	
1	245	48,	32,	22,	4	40,1	1	11,	8	20	1,2	1,0	5,02
6	,8	7	3	4	5			8			4	2	
1	245	46,	32,	23,	4	40	1	9,8	8	20	1,4	0,9	5,2
7	,8	5	3	2	5						5	81	
1	245	47,	32,	24,	4	40,1	1	3,3	8	20	1,2	1,0	10,1
8	,9	6	2	1	5						6	4	
1	246	46,	49,	36,	4	40,1	1	9,8	8	20	1,4	1,0	5,2
9	,6	7	4	1	5						3	5	
2	246	48,	32,	24,	4	40,1	1	9,8	8	20	1,1	0,9	5,32
0	,8	7	3	1	5						7	6	
2	246	47	16,	11,	4	40,1	1	9,8	8	20	1,3	0,9	5,2
1	,8		3	6	5						5	56	

#### 4.1.3 Enjeksiyon Makinesinde Proses Şartları

Enjeksiyon üretimi Arburg 470 C 1500 kN ile gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon makinesine ait bilgiler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Enjeksiyon üretiminde kullanılan parametreler de Çizelge 4.3’te görülmektedir. Enjeksiyon prosesinde eriyik sıcaklığı, kalıp yüzey sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve vida hızı tüm baskılarda sabit tutulmuştur.



Şekil 4.10: Makine bilgisi

Çizelge 4.2: Kullanılan enjeksiyon makinesi özellikleri

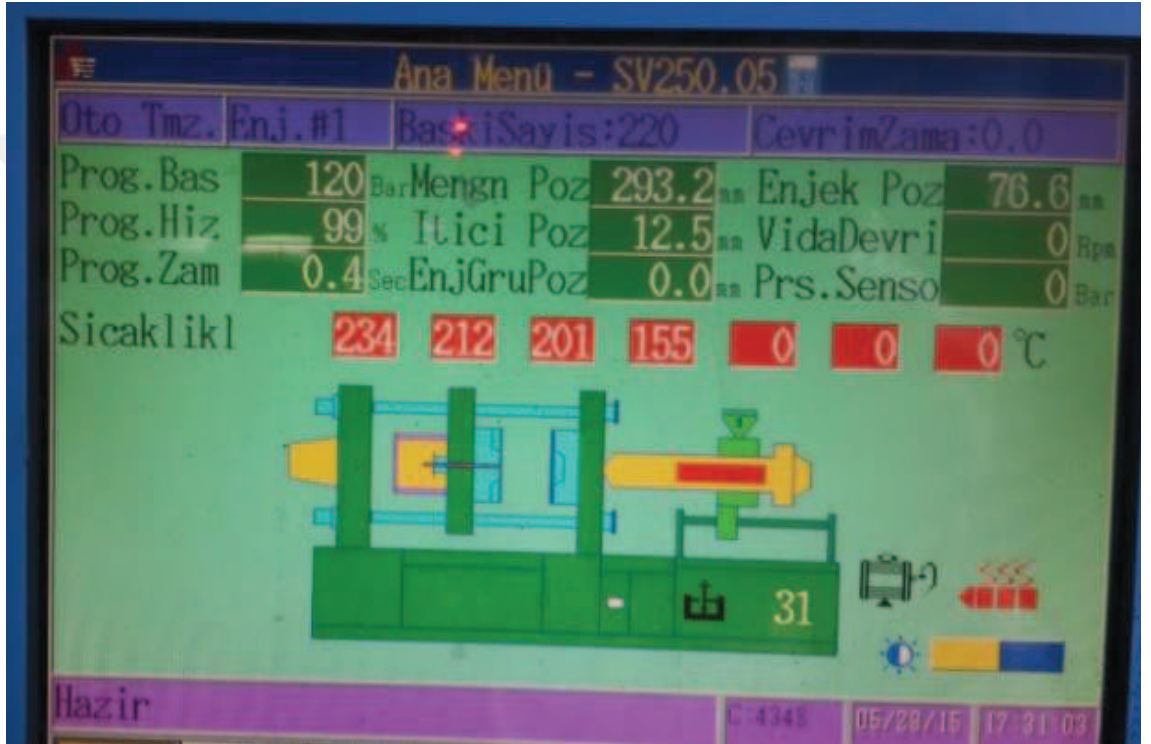
Vida Çapı	45 mm
Etkili Vida Boyu	18 (L/D)
Vida Boyu	160 mm
Ölçülen Vida Boyu Hacmi	254 cm <sup>3</sup>
Baskı Kapasitesi	232 g (PS)
Malzeme Alma Kapasitesi	35 kg/h (PS)
	17,5 kg/h (PA6.6)
Enjeksiyon Basıncı	1580 bar
Ütüleme Basıncı	1580 bar
Enjeksiyon Debisi	212

#### 4.2 Yapılan Deneysel Çalışmalar

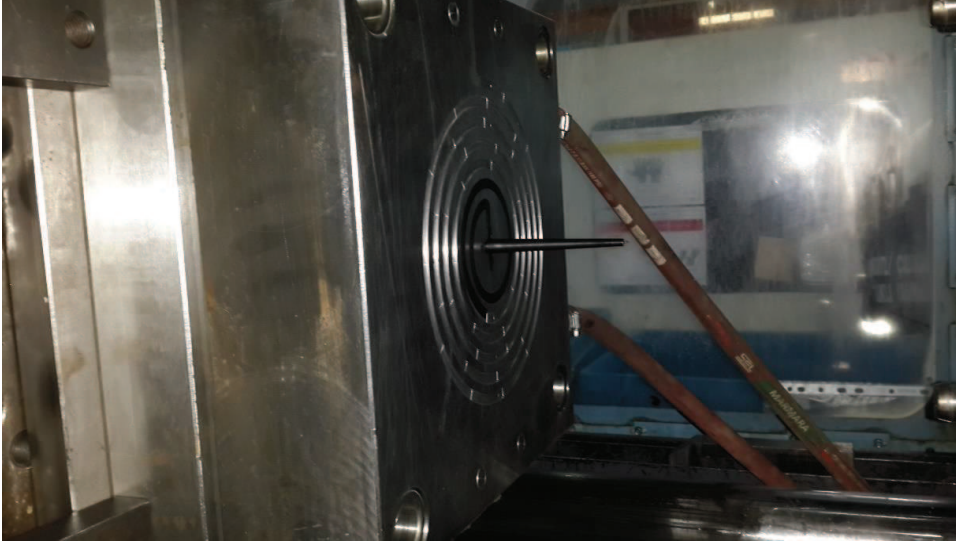
Enjeksiyon başında 2.7 mm cidar kalınlığında kalıpta 20 , 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140 ve 180 MPa enjeksiyon basınçlarında 3'er adet baskı alınmıştır. Akış mesafesi ve ağırlıkları kontrol edilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Enjeksiyon ayarları tablosu

Eriyik Sıcaklığı [°C]	234-212-201-105
Kalıp Yüzey Sıcaklığı [°C]	40
Enjeksiyon Basıncı V/P [MPa]	30-120
Vida Hızı [mm/s]	35
Soğutma süresi [s]	20



**Şekil 4.11:** Enjeksiyon ayarları



**Şekil 4.12:** Baskı anındaki parça alınması

Buna ek olarak tüm bu basınçlarda ve 0,5-1,5-2,7-3 mm cidar kalınlıklarında kalıp akış (moldflow) analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda akış mesafesi, basıncın ve kalınlığın akış mesafesine etkisi incelenmiştir.

**Çizelge 4.4:** Spiral datanın ölçülerini içermektedir

Özellikler	Değer	Birim	Akış Mesafesi
Toplam Hacim (t=1.5 mm)	21.0855	cm <sup>3</sup>	
Toplam Uzunluk	2323.617	mm	
Genişlik	6	mm	
Cidar Kalınlığı	1.5	mm	
Yüzey Alanı	13941.7	mm <sup>2</sup>	

İki sonuçta değerlendirilerek iki çalışma arasındaki korelasyon bulunmuştur. Ayrıca basınca karşın tüm kalınlıklar için kilitleme kuvveti belirlenmiş olup, bu yapılan çalışmadan kalınlık değeri ve basınç ile ilişkili kilitleme kuvveti belirleme çizelgeleri yapılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Elde Edilen Enjeksiyon Verileri

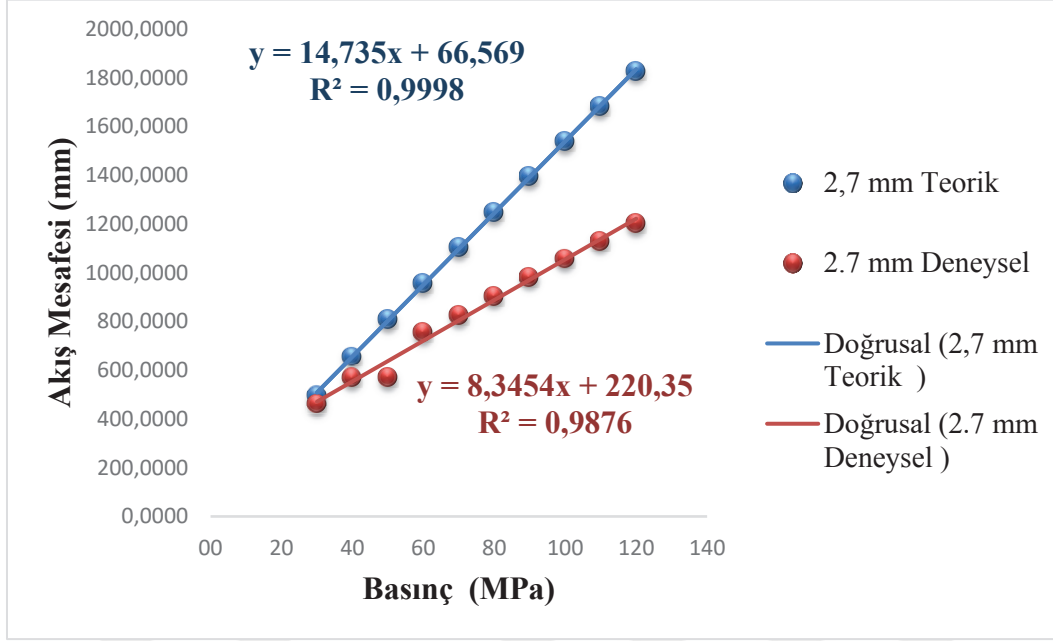
Enjeksiyon kalıplama ile spiral kalıbında parçalar basılmıştır. Parçalar şekil 5.1'deki gibi olup, basıncın artması ile akış mesafesinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.1: Baskıdan alınan parçalar

### 5.2 Korelasyon Grafiği

Enjeksiyon ve kalıp akış (moldflow) sonuçlarına göre elde edilen korelasyon grafiğine göre aralarındaki ilişki incelenmiştir. Çünkü teorik ve deneysel akış mesafeleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,9940 çıkmıştır. Bu da 1'e yakın olmasından dolayı aralarında pozitif ve iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2: Basınca bağlı olarak akış mesafesinin değişim korelasyon eğrisi

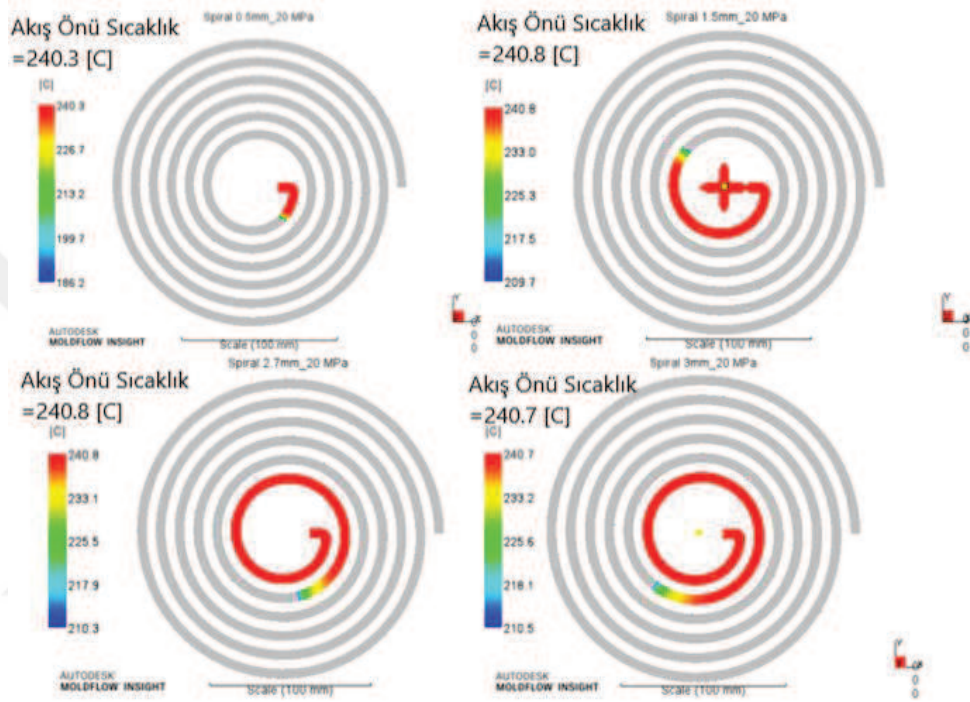
### 5.3 Elde Edilen Kalıp Akış (Moldflow) Simülasyon Verileri

#### 5.3.1 Akış Önü Sıcaklığı

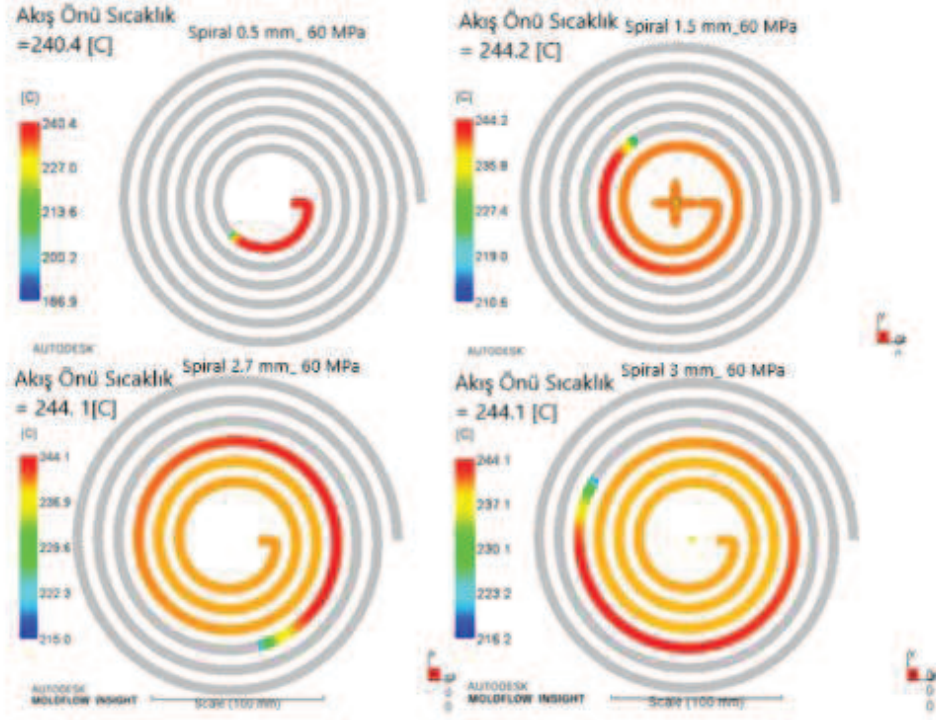
Akış önü sıcaklığı normal bir durumda yolluktan uzaklaştıkça düşmektedir. Ve bu düşüş farkının dolmuş esnasında yaklaşık 2-5°C'yi geçmemesi önerilmektedir. Eğer çok fazla düşerse, bu durumda akış önü sıcaklık düşeceği için malzemenin önü katılaşır ve eksik enjeksiyon problemi ile karşılaşılması muhtemeldir. Ya da birleşim izi oluşabilecek tırnaklar ya da delikler mevcut ise parçada bu bölgelerde soğuk birleşim oluşarak, mekanik dayanımı azaltmaktadır. Böyle bir durumda cidar kalınlığı ya da enjeksiyon hızı artırılmalı yani dolmuş süresi düşürülmelidir. Eğer cidar kalınlığı artırılmıyorsa, bu durumda akışı yönlendirmek için akış önü sıcaklığı artırmak için akış hızlandırıcılar tasarlanmalıdır. Ya da akış önü sıcaklığı yolluktan uzaklaştıkça artıyorsa, bu durumda malzeme sürtünmeye maruz kalıyor ve kayma hızı (shear rate) değeri yükseliyor olabilir. Bu durumda akış yavaşlatılmalı ve dolmuş süresi artırılmalıdır. Akış önü sıcaklığının düşmesi malzemenin akış hızı yavaşlatılmasına bağlıdır. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi eş basınçta alınan akış önü sıcaklık sonuçları incelendiğinde cidar kalınlığına bağlı olarak akış önü sıcaklığı artmakta ve bu sayede viskozite düşüyor, akış önü katılaşmadığı için akış mesafesi artmış ve malzeme daha fazla ilerleyebilmiştir. Fakat 20 MPa basınç spiral kalıbı doldurmak için yeterli değildir. Bu basınçta toplam sıcaklık skalasına bakıldığında, sıcaklık değerleri



arasındaki fark yüksektir. 60 MPa basınçta alınan akış önü sıcaklık değerleri incelendiğinde eş kalınlıkta basıncın artması ile birlikte akış hızı artırılmış, buna bağlı olarak malzemenin akış önünün katılaşmadan gidebileceği mesafe artmaktadır. 0.5 mm kalınlıkta akış daha az artmakta iken, 1.5 mm, 2.7 mm ve 3 mm kalınlıktaki sonuçlarda 60 MPa basıncının artması hem akış yolunun rahatlamış olması ve basıncın artması ile akış hızının artması sebebiyle akış önü daha geç katılaşmakta ve akış mesafesi artmaktadır.

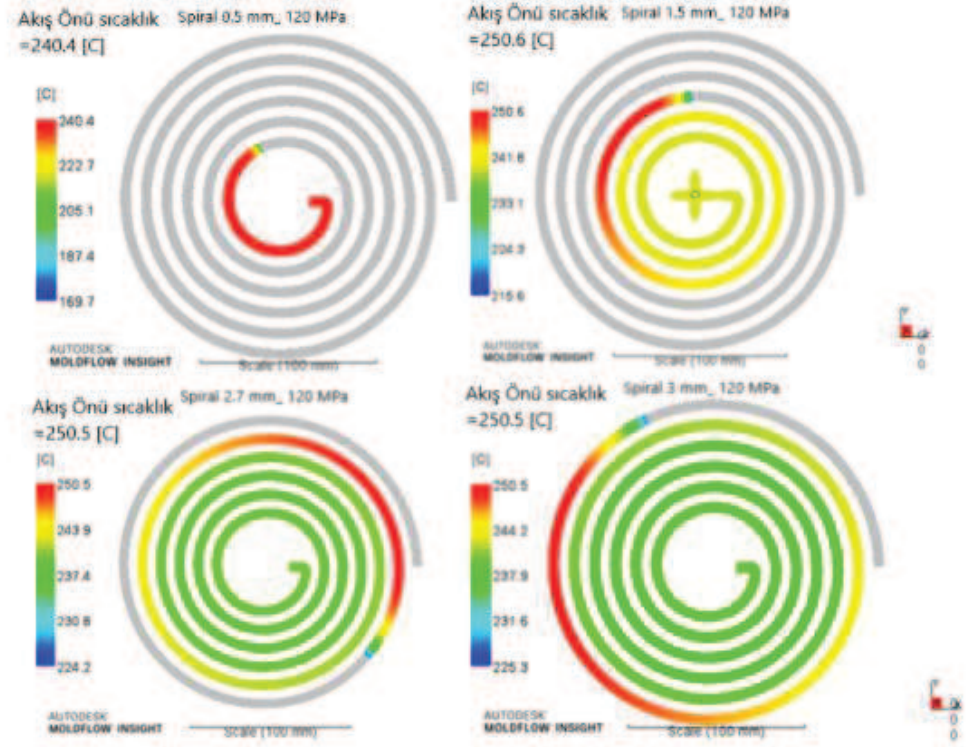


Şekil 5.3: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 20 MPa

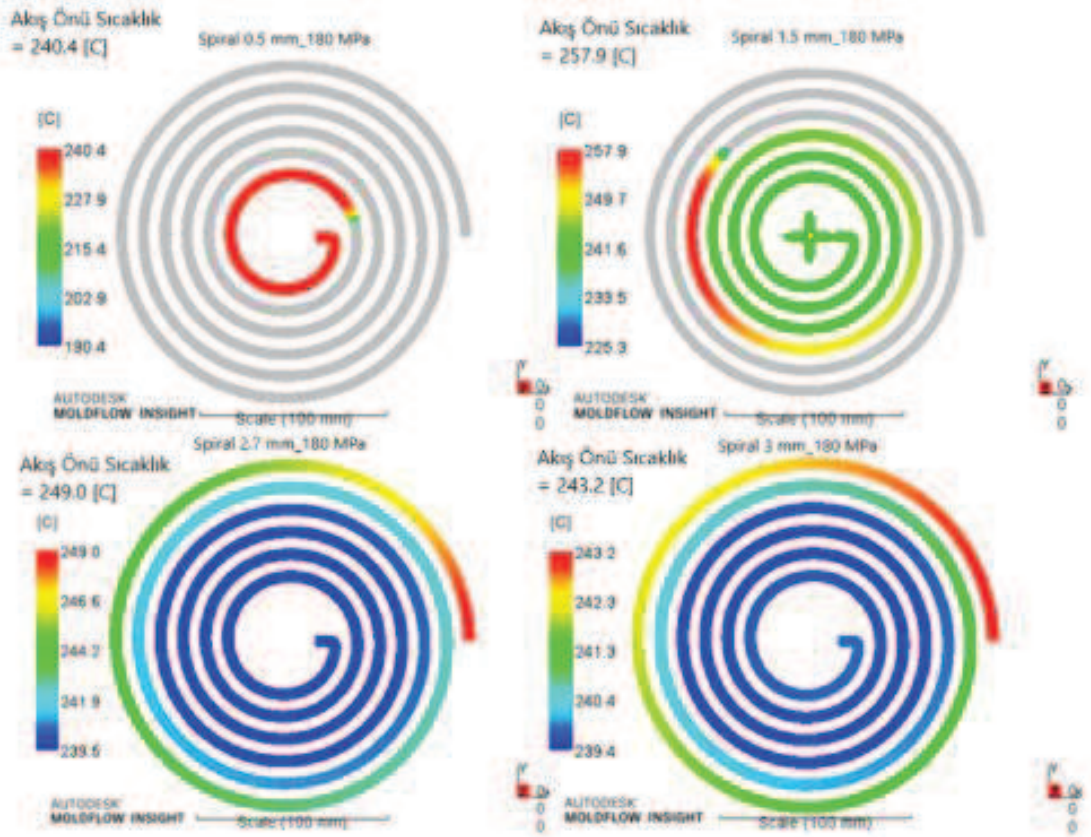


**Şekil 5.4:** Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 60 MPa

120 ve 180 MPa basınçta alınan sonuçlar incelendiğinde sıcaklık akış mesafesi arttıkça sıcaklık yükselmekte fakat sonra basınç doldurmak için yeterli gelmediğinde akış önü sıcaklık düşerek katılaşmaktadır. Bu demektir ki 120 ve 180 MPa basınçta enjeksiyon hızının yüksek olması sebebiyle sürtünme artmakta ve buna bağlı olarak sıcaklık yükselmektedir. Yüksek basınçta bu durum bir dolum riskidir. Malzemenin degrade olmasına ya da yanmasına sebep olabilir.



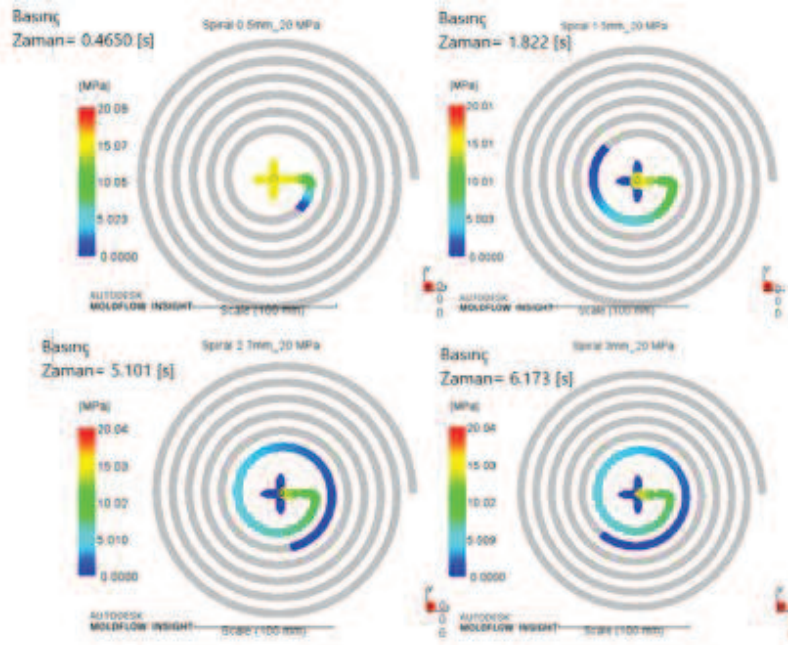
Şekil 5.5: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 120 MPa



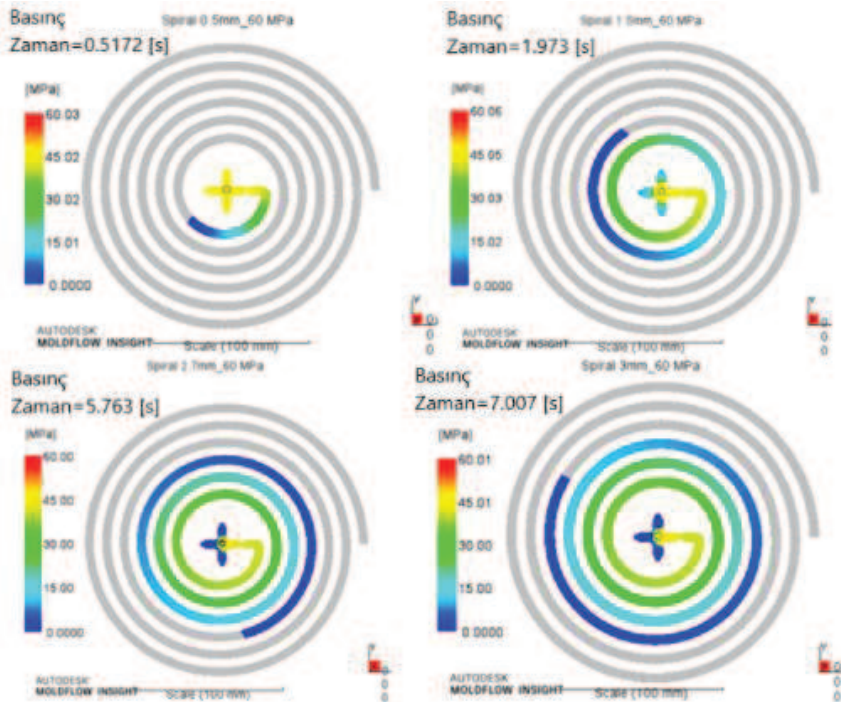
Şekil 5.6: Akış önü sıcaklık ve akış mesafesi sonuçları @ 180 Mpa

### 5.3.2 Basınç Dağılımı ve Akış Mesafesi Sonuçları

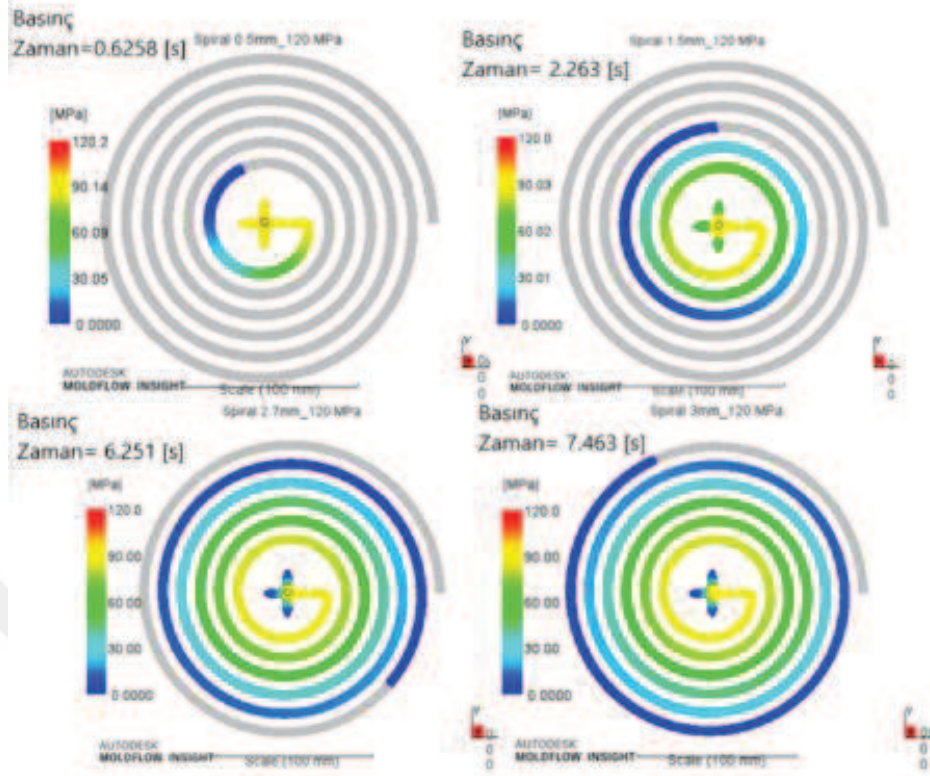
Basınç dağılım sonuçlarında yolluktan uzaklaştıkça basınç düşmekte olup, akışın donduğu noktada basınç 0 olmaktadır. Ve akış mesafesi eş kalınlıkta basınç artışı ile artmakta ve eş basınçta kalınlık artışı artmaktadır.



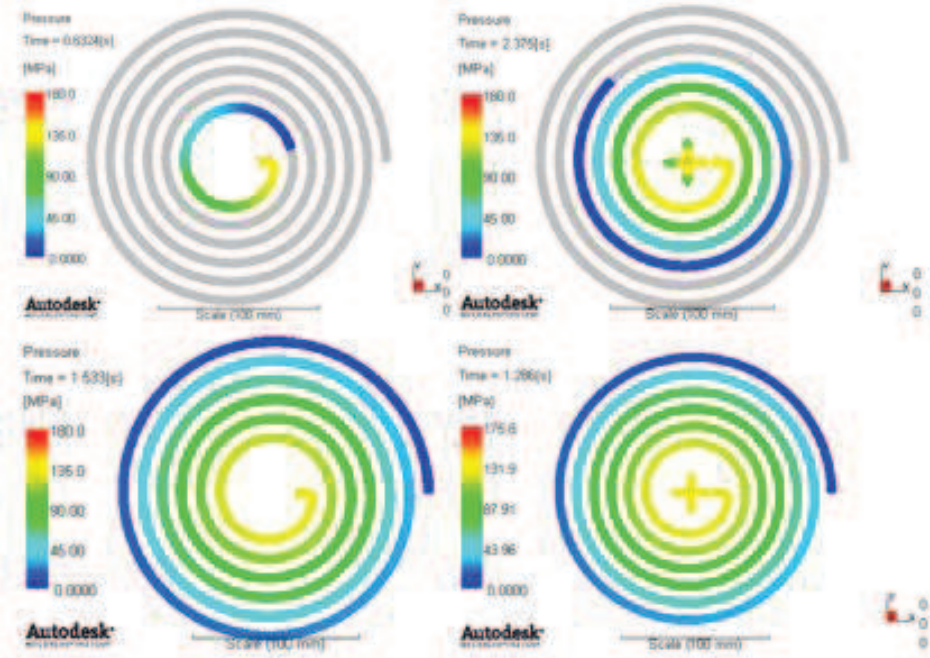
Şekil 5.7: Basınç ve akış mesafesi @ 20 MPa



Şekil 5.8: Basınç ve akış mesafesi @ 60 MPa



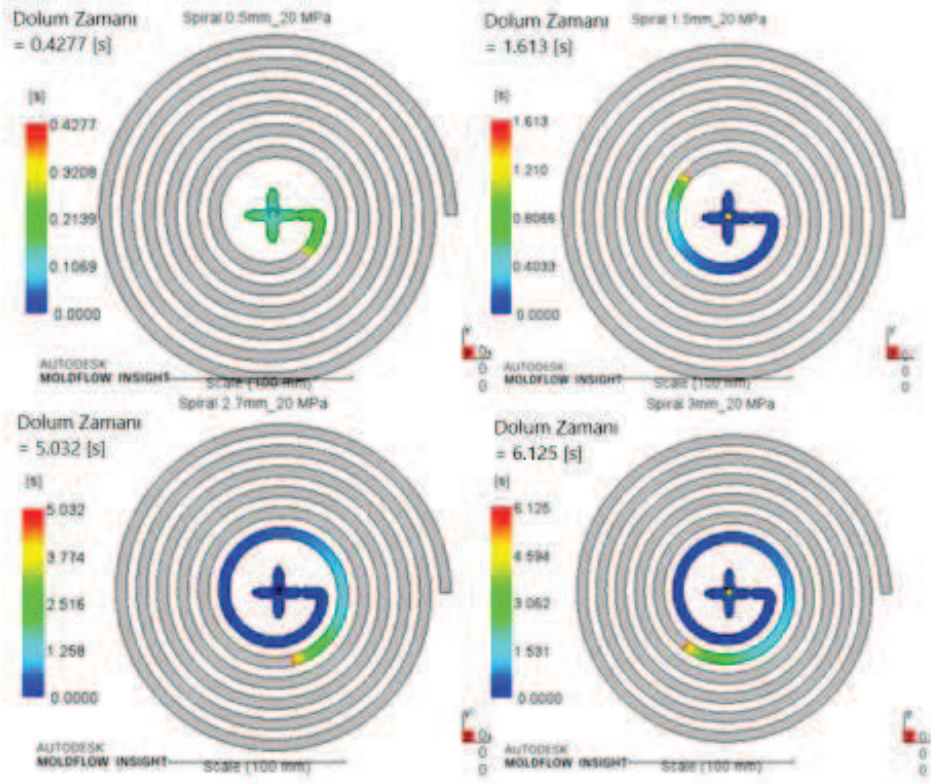
Şekil 5.9: Basınç ve akış mesafesi @ 120 MPa



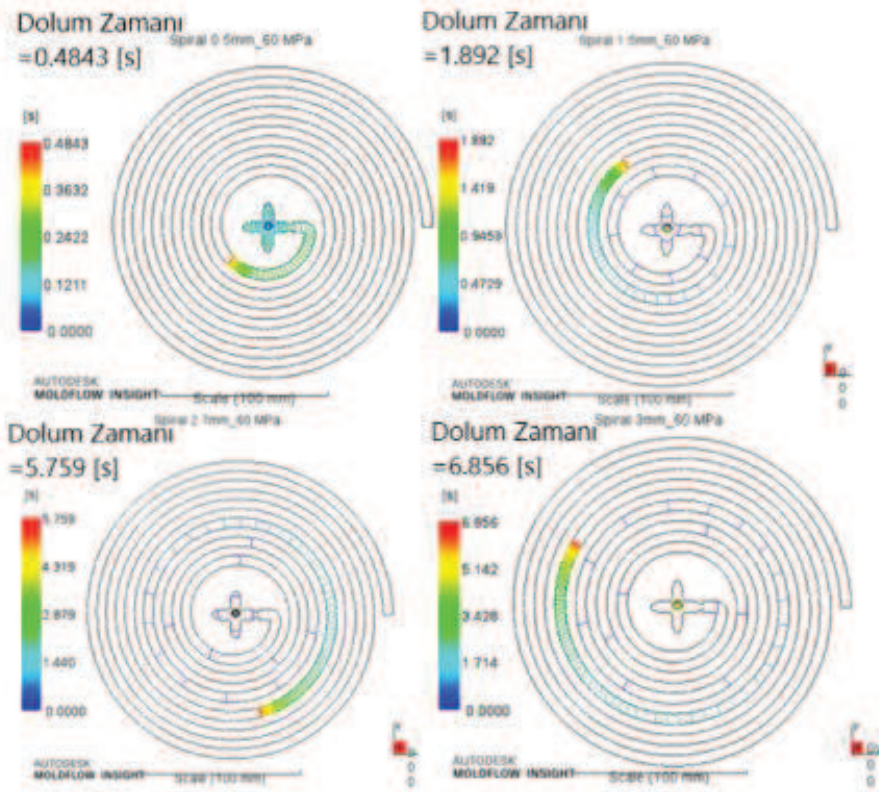
Şekil 5.10: Basınç ve akış mesafesi @180 MPa

### 5.3.3 Dolum Süresi

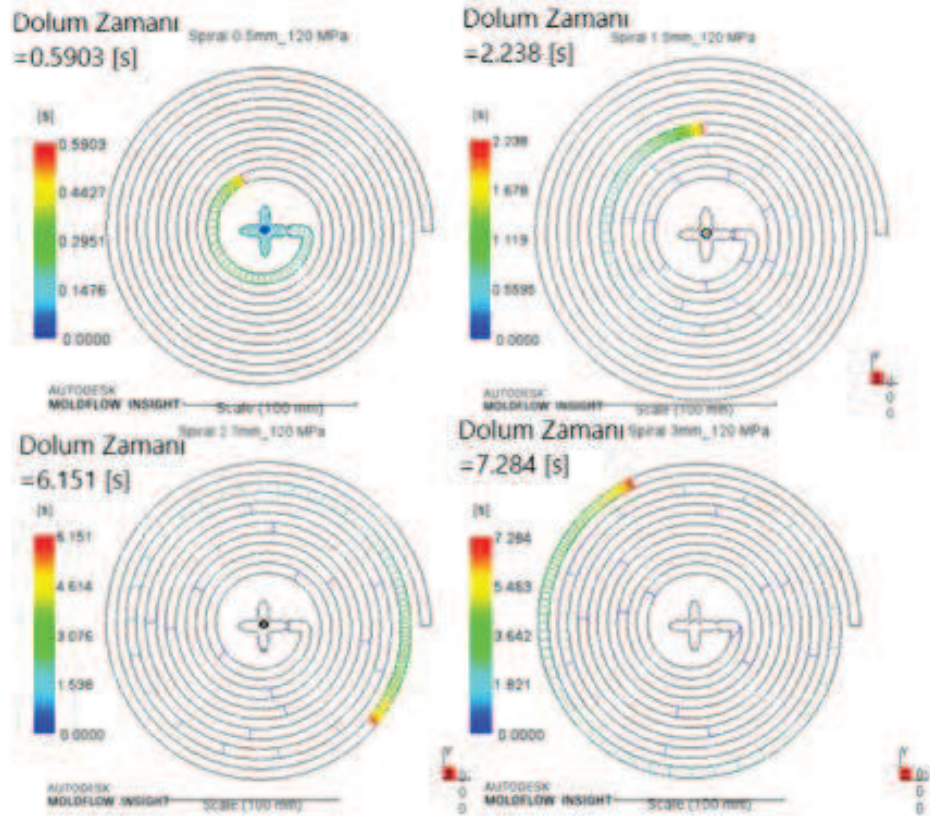
0.5 mm kalınlıkta ve 20 MPa'daki akış incelendiğinde dolum süresi 0.4277 s, 1.5 mm kalınlıkta 1.613 s, 2.7 mm kalınlıkta 5.032 s ve 3 mm kalınlıkta ise 6.125 s olduğu görülmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki 0.5 mm 'de ince cidarlı denemede erken katılaşmadan ve basıncın düşük olmasından dolayı akış 0.4 s.'de bitmiştir fakat diğer kalınlıklarda ise akış önu katılaşmadan önce akış yavaş ilerlediği için dolum süresi artmıştır.



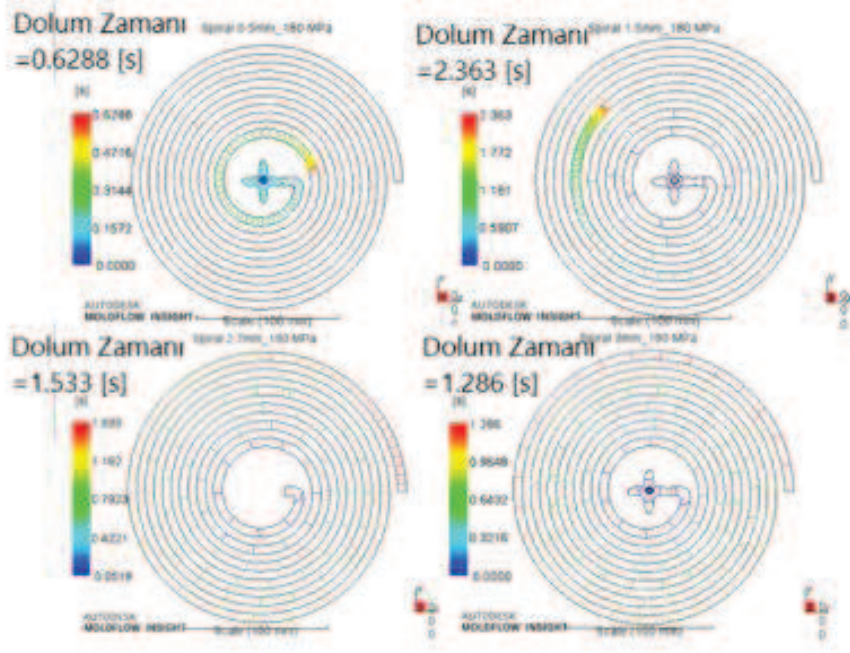
Şekil 5.11: Dolum zamanu ve akış mesafesi @ 20 Mpa



Şekil 5.12: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 60 Mpa



Şekil 5.13: Dolum zamanı ve akış mesafesi @ 120 Mpa

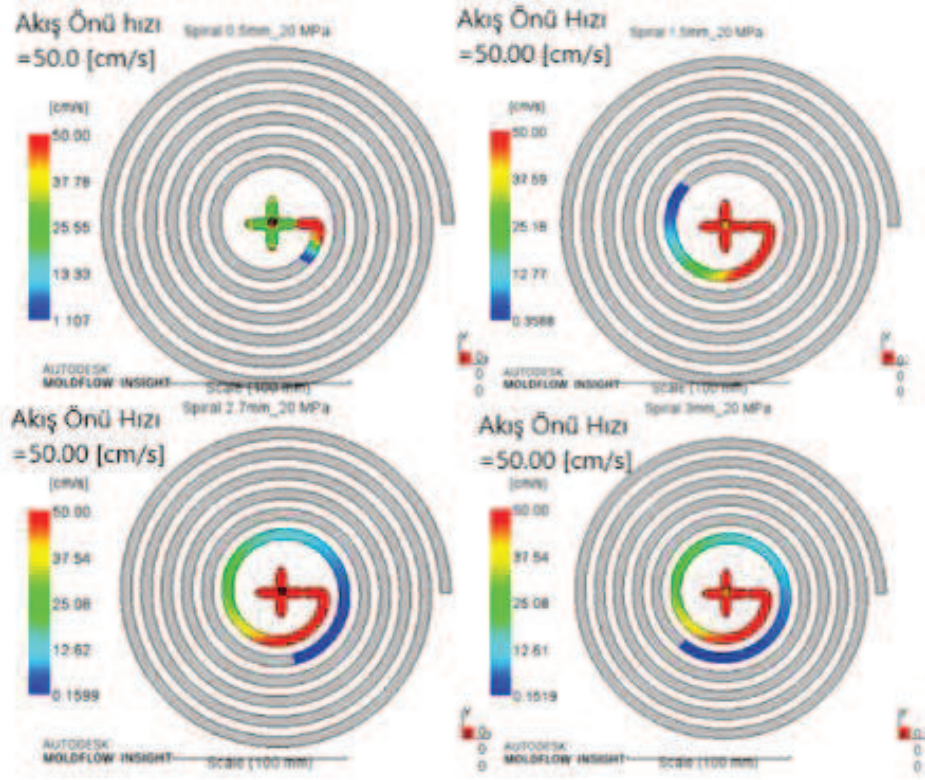


Şekil 5.14: Dolu zamanı ve akış mesafesi @ 180 Mpa

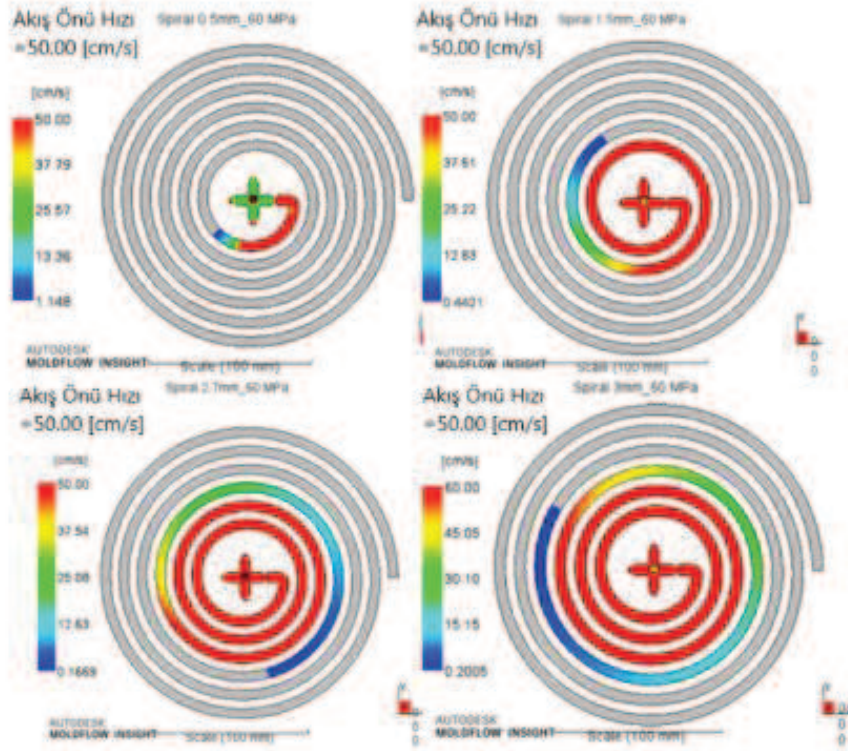
### 5.3.4 Akış Önü Hızı

Akış önü hızı sonuçları için 20 MPa, 60 MPa, 120 MPa ve 180 MPa basınçta ve 0.5 mm, 1.5 mm, 2.7 mm ve 3 mm cidar kalınlığında spiral kalıp üzerindeki akış davranışları incelendiğinde, aynı basınçta ve farklı kalınlıklarda alınan sonuçlarda cidar kalınlığının etkisi bariz olarak görülmektedir. Basıncın etkisi ile akış önü hızı artmış ve akış mesafesi ile orantılı bir durum göstermektedir. Aynı kalınlıklardaki akışın basınç ile değişimi göstermektedir ki, basınç akış mesafesini artırmıştır.

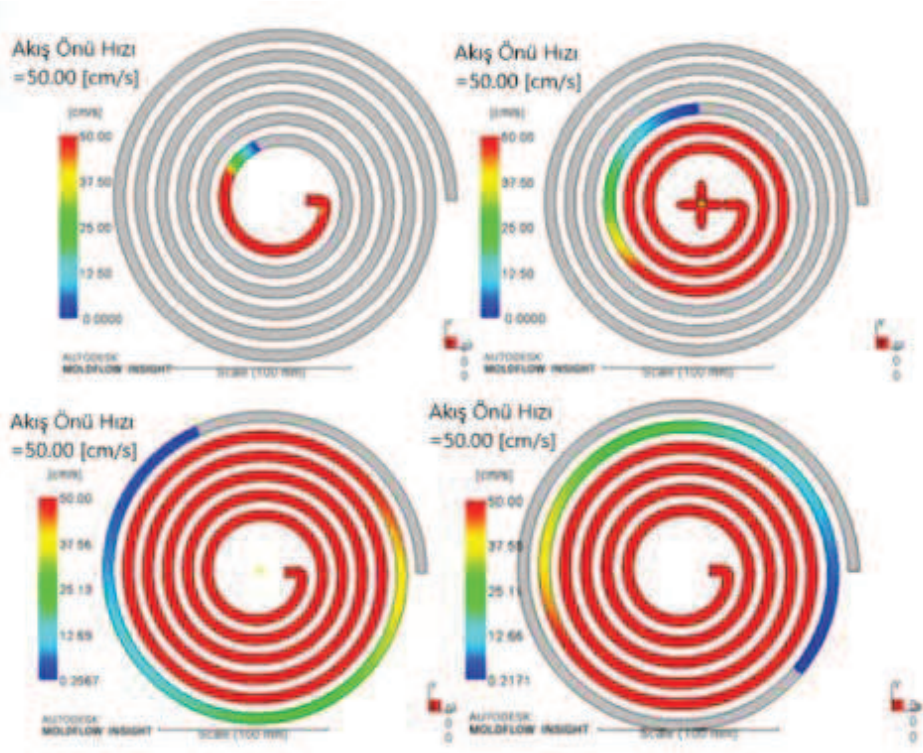




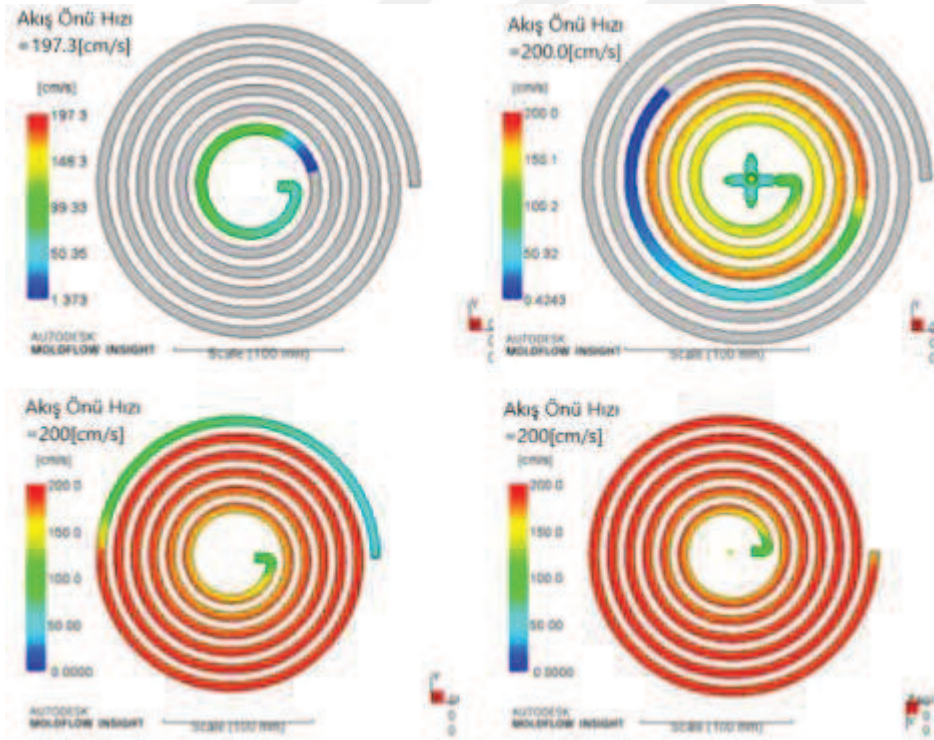
Şekil 5.15: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 20 Mpa



Şekil 5.16: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 60 Mpa



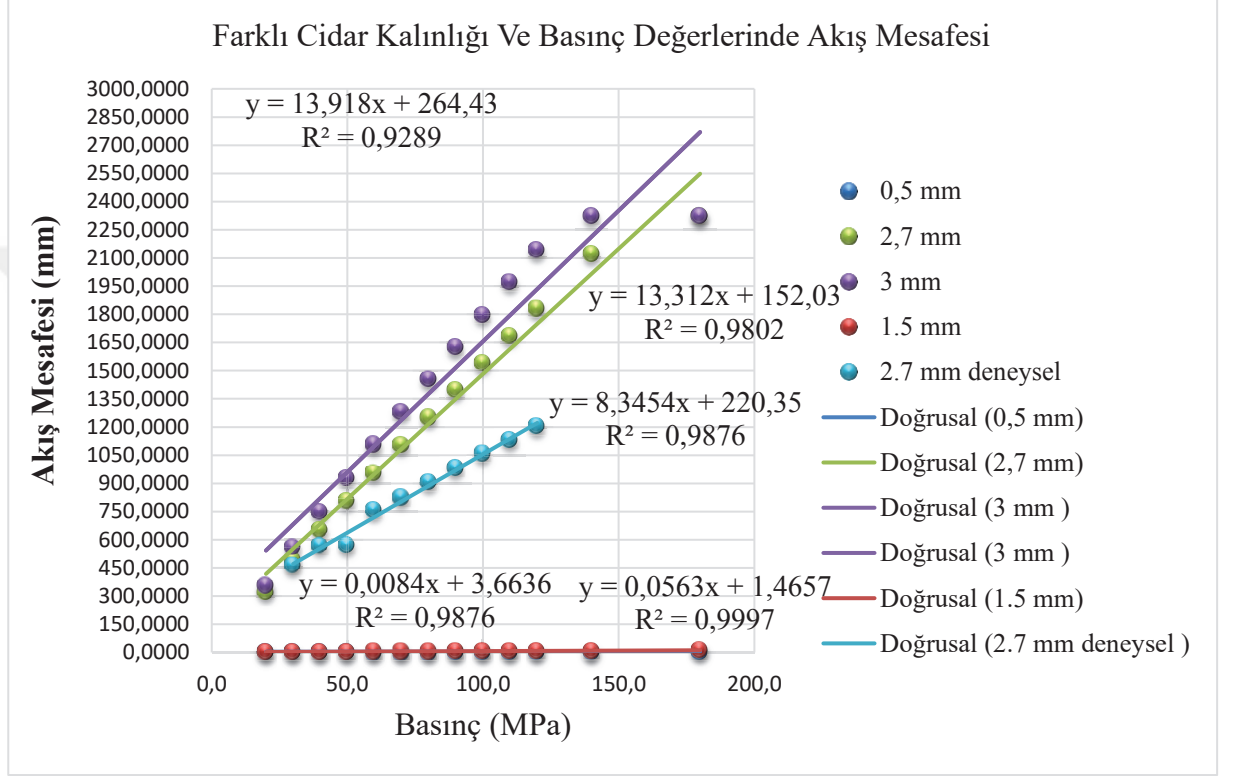
Şekil 5.17: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 120 Mpa



Şekil 5.18: Akış önü hızı ve akış mesafesi @ 180 MPa

#### 5.4 Sonuçlardan Elde Edilen Tablolar ve Grafikler

Basınç değerlerine karşın akış mesafesi incelenmiş olup, cidar kalınlığının artması ile parçada akış mesafesi artmıştır. Çünkü bu sayede akış mesafesi boyunca erken katılaştırmanın önüne geçilmektedir.ve grafikte görülmektedir ki cidar kalınlığının yüksek olduğu bölgede basınç düşük olsa bile elde edilen akış mesafesi ince cidarlı parçada 180 MPa basınç anında sağlanamamıştır.

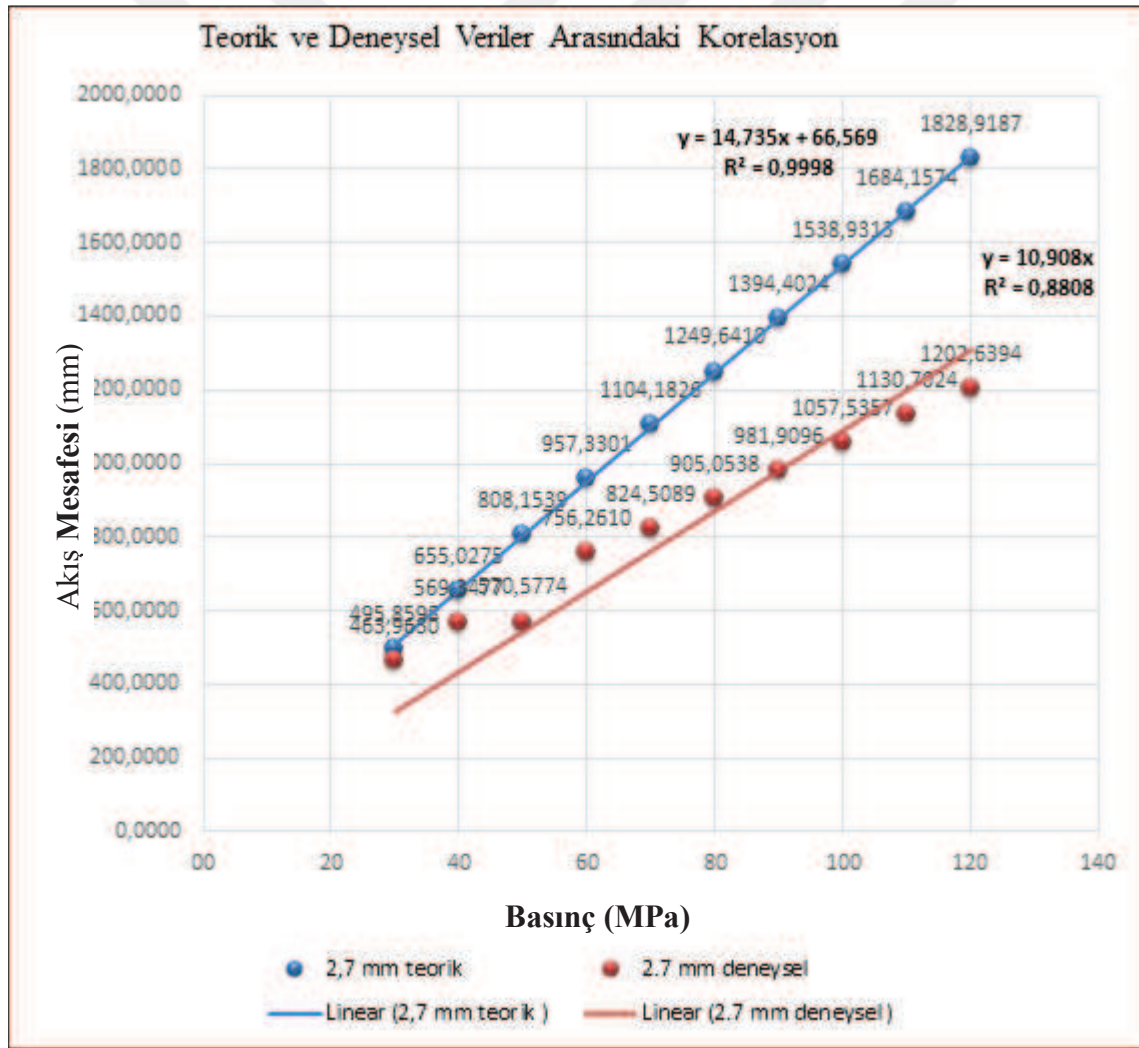


**Şekil 5.19:** Basınç değerlerine karşın akış mesafesinin incelenmesi

Deneysel ve teorik çalışmaladaki akış mesafesi incelendiğinde, kalıp akış (moldflow) programında yapılan analizlerde doğrusallık hakim iken , deneysel çalışmada sapmalar mevcuttur. Bu sapmaların sebepleri, deneysel çalışmalarda ölçülemeyen faktörlerin olması sebebiyle sapmalar gerçekleşmesi doğaldır. Basıncın artması ile deneysel ve teorik çalışmalarda ki sapma artmaktadır. Bu değerler için yapılan korelasyon çalışmasında yaklaşık olarak %90 korelasyon sağlanmaktadır.

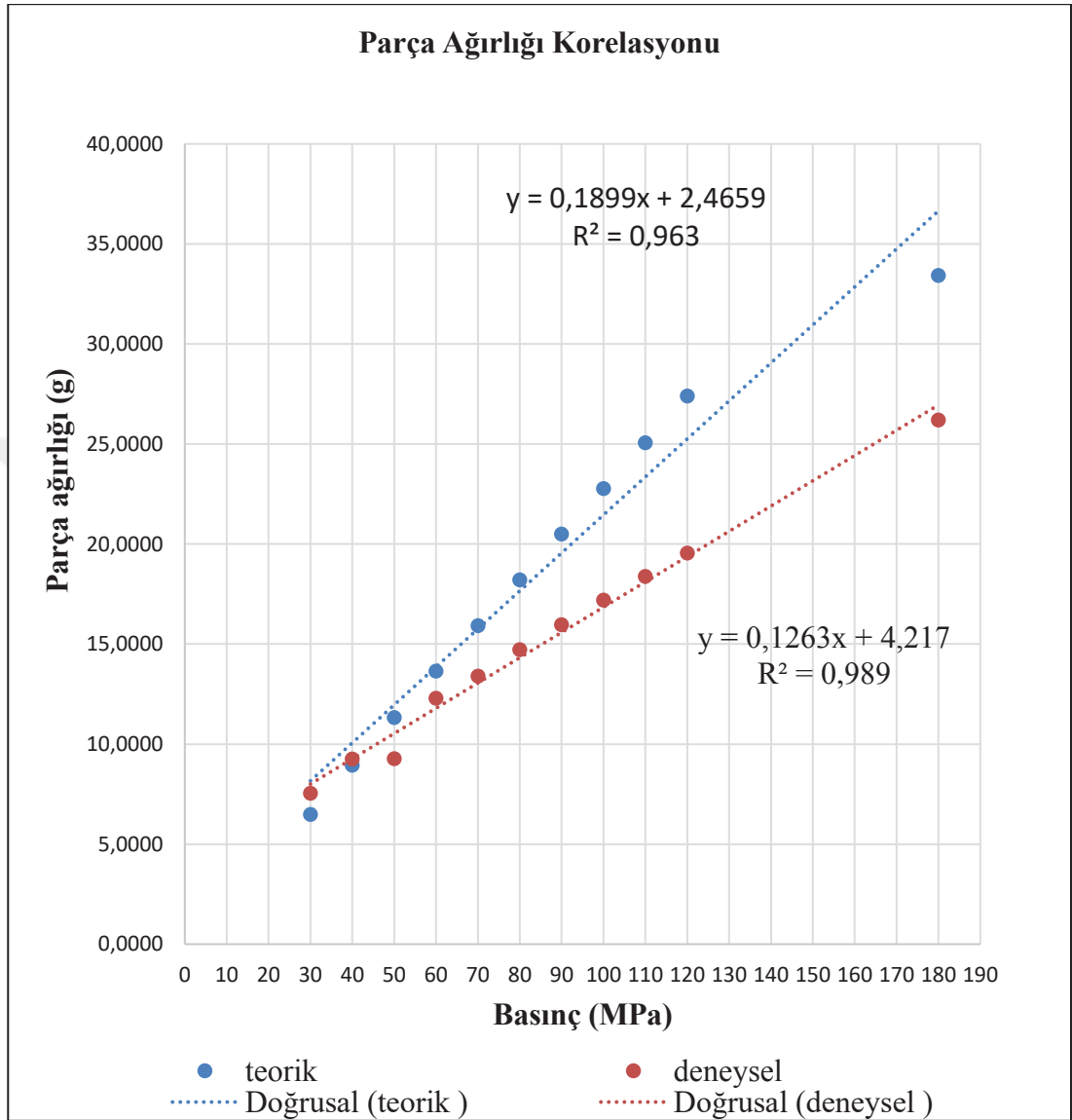
**Çizelge 5.1:** Farklı basınçlarda akış mesafesinin gösterilmesi

Basınç	DeneySEL akış mesafesi	Teorik akış mesafesi
30,0000	463,9630	495,8598
40,0000	569,3400	655,0275
50,0000	570,5774	808,1539
60,0000	756,2610	957,3301
70,0000	824,5089	1104,1826
80,0000	905,0538	1249,6410
90,0000	981,9096	1394,4024
100,0000	1057,5357	1538,9313
110,0000	1130,7024	1684,1574
120,0000	1202,6394	1828,9187



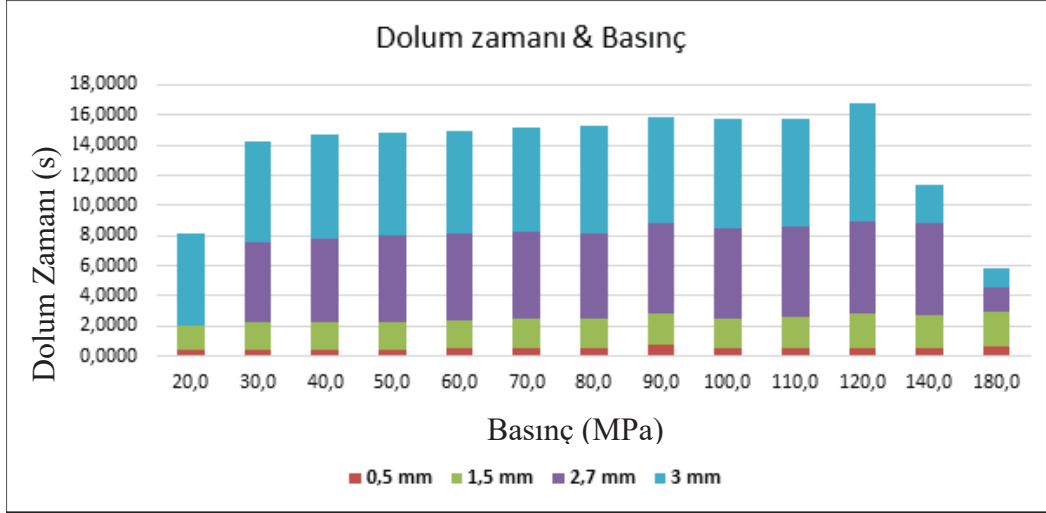
**Şekil 5.20:** Teorik ve deneySEL çalışmada akış mesafesinin ölçülmesi

Aynı zamanda teorik ve deneysel çalışmalarda ki ağırlıklar karşılaştırılmış olup, ikisi arasında ağırlık karşılaştırılması yapılmaktadır. Akış mesafesi ile benzer bir eğri yakalanmış olup, korelasyon değeri % 90 civarında yakalanmıştır.



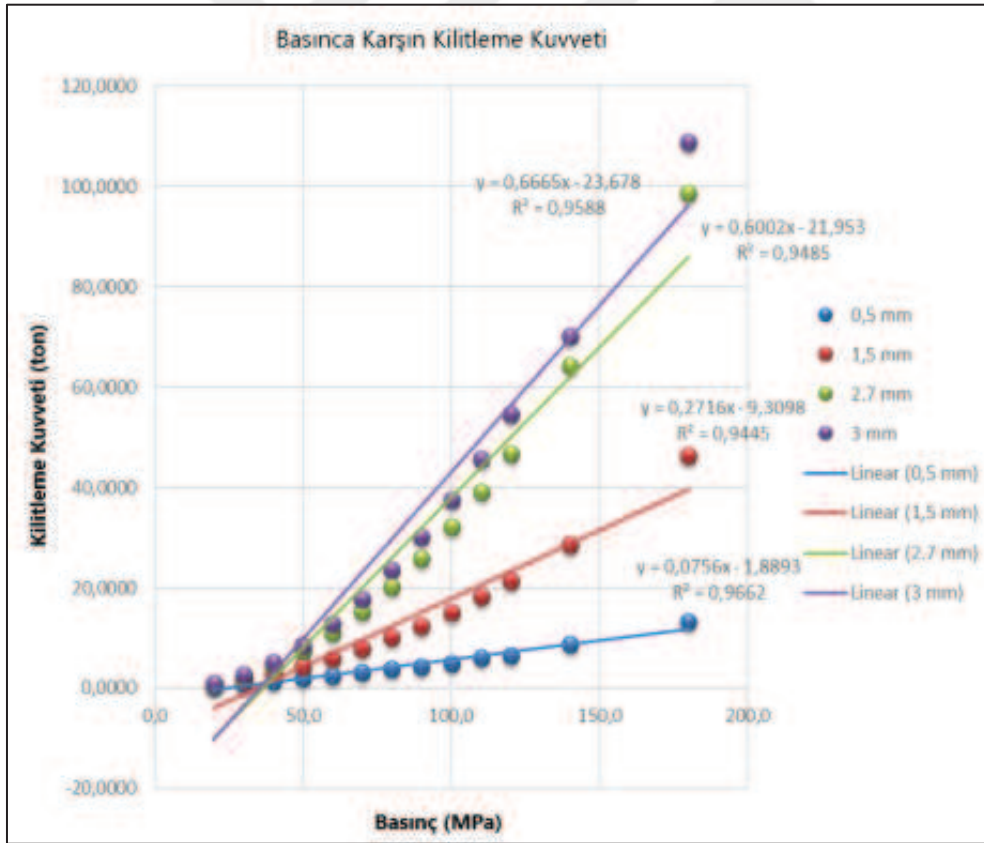
**Şekil 5.21:** Farklı basınçlardaki teorik ve deneysel çalışmadaki parça ağırlığı

Cidar kalınlığı arttıkça malzemenin akışı kolaylaşacağı için eriyik akış önu sıcaklığı düşmeyecektir. Kalın cidarlı parçalarda yüksek basıncın da etkisiyle dolun süresi kısalmış olup, parça dolmuştur.



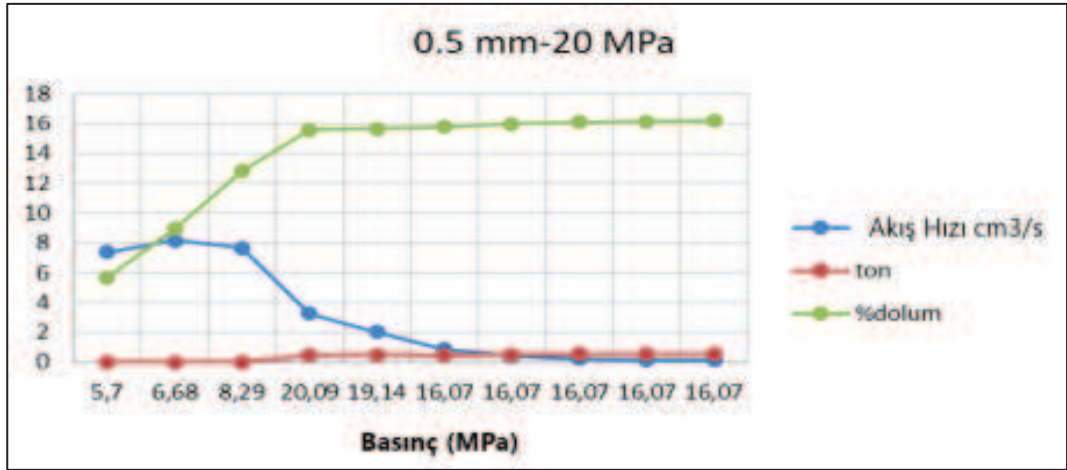
**Şekil 5.22:** Basınca bağlı olarak dolum zamanları

Yapılan analizlerde basınca karşın kilitleme kuvveti incelendiğinde, kalınlığın artışı dolum mesafesini artırmış ve projeksiyon alanını artırmıştır. Aynı kalınlıkta basıncın artması ile projeksiyon alanı artmış olup, basınç ile birlikte kilitleme tonajı artmıştır.



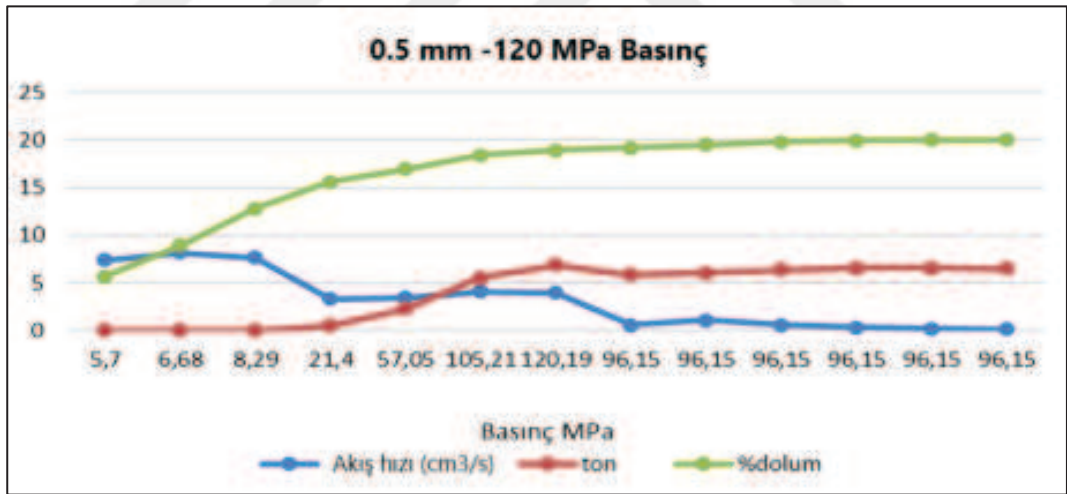
**Şekil 5.23:** Basınca karşın kilitleme kuvveti

0.5 mm cidar kalınlığına sahip spiral modelde plastik basıncı 20 MPa'a ulaşmış bu noktada V/P anında basınç %80'e inerek ütüleme ile devam etmektedir. Bir süre sonra da basınç ve %dolum değerleri sabitlemiştir.



**Şekil 5.24:** 0,5 mm kalınlık için 20 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı

0.5 mm kalınlıkta 120 MPa basınçta spiral kalıpta yapılan analizlerde % dolum artmış ve akış önü sıcaklığının düşmesi ile % dolum sabitlenmiş ve eksik baskı ile analiz sonlanmıştır. Akış hızı ise yolluk girişinin olduğu noktada en hızlı olup, girişten uzaklaştıkça hızın düşmekte olduğu görülmektedir.



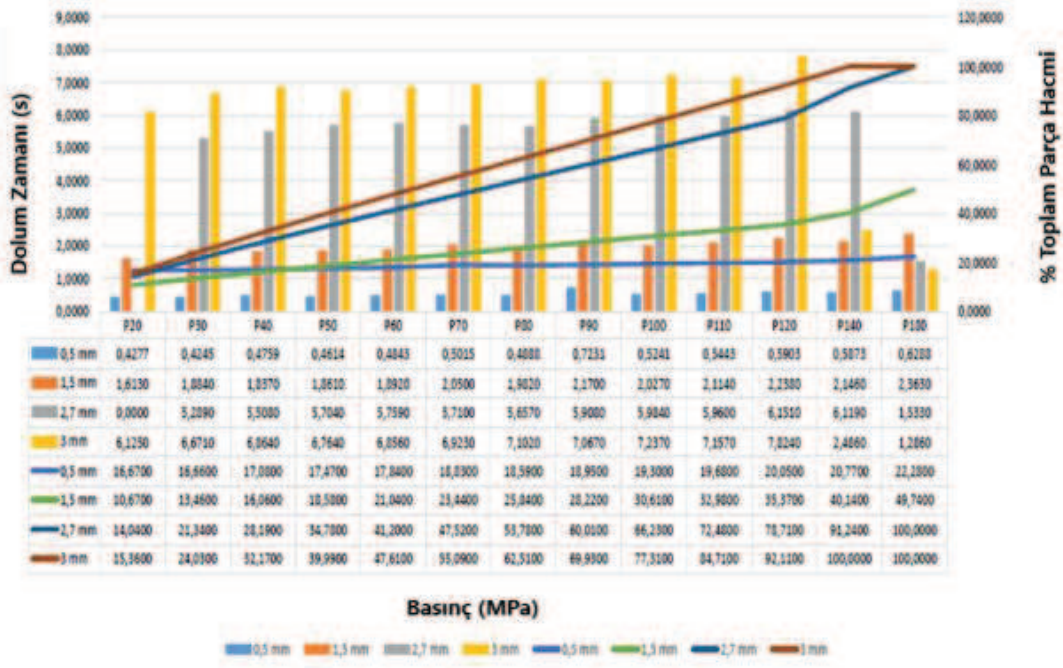
**Şekil 5.25:** 0,5 mm kalınlık için 120 MPa enjeksiyon basıncında kilitleme kuvveti, %dolum, akış hızı

1.5 mm kalınlıkta ve 20 MPa basınçta yapılan analizde basınç hızlı bir şekilde 20 MPa basınç değerine ulaşmış ve akış hızı basıncın düşmesi ile birlikte düşmüştür. %dolum değeri ise V/P anından hemen sonra sabitlenmiştir. Cidar kalınlığının artmış olmasına rağmen basıncın 20 MPa olmasının iyi bir seviye olmadığı görülmektedir.









Şekil 5.30: Farklı basınç ve cidar kalınlığına bağlı olarak dolum zamanları ve toplam % hacimleri

Cidar kalınlığı	Basınç	Parça Ağırlığı Teorik	Parça Ağırlığı Deneysel	%Parça Hacmi Deneysel	%Parça Hacmi Teorik	Kilitleme Kuvveti	Akış Mesafesi Deneysel	Dolum Zamanı	Akış Mesafesi Teorik
0.5	20.0	0.0875			0.1087	0.5600		0.4277	3.8735
	30.0	0.1245			0.1466	0.9700		0.4245	3.8711
	40.0	0.1561			0.1708	1.4100		0.4759	3.9687
	50.0	0.1874			0.1747	1.8900		0.4614	4.0594
	60.0	0.2155			0.1784	2.4400		0.4843	4.1453
	70.0	0.2451			0.1883	3.0700		0.5015	4.3754
	80.0	0.2731			0.1859	3.7200		0.4888	4.3196
	90.0	0.3106			0.1895	4.2900		0.7221	4.4033
	100.0	0.3286			0.1935	5.0000		0.5241	4.4846
	110.0	0.3399			0.1968	5.8800		0.5443	4.5729
	120.0	0.3899			0.2005	6.5900		0.5903	4.6589
	140.0	0.4437			0.2077	8.7200		0.5873	4.8262
180.0	0.5638			0.2228	11.1500		0.6288	5.1770	
1.5	10.0	0.4028			0.0757	0.2100			2.7990
	20.0	1.0345			0.1067	0.7800		1.6130	2.4793
	30.0	1.6049			0.1346	1.6500		1.8840	3.1276
	40.0	2.1413			0.1606	2.8000		1.8370	3.7317
	50.0	2.6486			0.1858	4.2100		1.8610	4.3173
	60.0	3.1257			0.2104	5.8800		1.8920	4.8889
	70.0	3.6655			0.2344	7.8000		2.0500	5.4466
	80.0	4.1517			0.2584	9.9900		1.9820	6.0042
	90.0	4.6602			0.2822	12.4400		2.1700	6.5572
	100.0	5.1457			0.3061	15.1500		2.0270	7.1126
	110.0	5.6187			0.3298	18.1100		2.1140	7.6633
	120.0	6.1170			0.3537	21.3500		2.2380	8.2186
140.0	7.3450			0.4014	28.5900		2.3440	9.3270	
180.0	9.1901			0.4974	46.2119		2.3630	11.3577	
2.7	30.0	6.4886	7.0400	0.1997	21.3400	2.3226	403.9630	1.2895	493.8598
	40.0	8.9528	9.2600	0.2450	28.1900	4.5514	549.3477	5.5380	655.0275
	50.0	11.3330	9.2800	0.2456	34.7800	7.4776	570.5774	5.7040	808.1599
	60.0	13.6387	12.3000	0.3223	41.2000	11.0811	756.2610	5.7590	957.3201
	70.0	15.9295	13.4100	0.3548	47.5200	15.3530	824.5089	5.7100	1104.3826
	80.0	18.2094	14.7200	0.3895	53.7800	20.3000	905.0138	5.6170	1249.6410
	90.0	20.5021	15.8700	0.4226	60.0200	25.8775	981.9596	5.8080	1394.4024
	100.0	22.7840	17.2000	0.4551	66.2200	32.1661	1057.5157	5.9040	1538.9313
	110.0	25.0597	18.3900	0.4868	72.4800	39.1296	1130.7024	5.9030	1684.1574
	120.0	27.3970	19.5600	0.5176	78.7200	46.7974	1202.6194	6.1510	1828.9187
	140.0	32.0861	0.0000	0.0000	91.2400	64.2177	0.0000	6.1180	2120.0678
	180.0	33.4261	26.2100	0.6935	100.0000	98.7413	1011.5123	1.5100	2323.6167
3.0	20.0	4.9220			15.3600	0.8800		6.1250	356.9075
	30.0	8.1776			24.0300	2.6198		6.6710	538.2651
	40.0	11.6308			32.1790	5.2030		6.8640	747.3075
	50.0	14.7444			39.9900	8.6138		6.7640	929.2143
	60.0	17.7973			47.6100	12.8358		6.8560	1106.2799
	70.0	20.7919			55.0900	17.8243		6.9230	1280.0804
	80.0	23.7945			62.3100	23.5977		7.1020	1452.4928
	90.0	26.7798			69.0300	30.1985		7.0670	1624.9051
	100.0	29.7849			77.3100	37.5485		7.2370	1796.3880
	110.0	32.7902			84.7100	45.7540		7.1570	1968.3337
	120.0	35.8216			92.1100	54.6959		7.8240	2140.2833
	140.0	37.3403			100.0000	70.1487		2.4860	2323.6167
180.0	37.0569			100.0000	108.7410		1.2860	2323.6167	

Şekil 5.31: Tüm sonuçlardan elde edilen tablo ve değerleri



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı akış mesafesini etkileyen faktörleri gözlemleyerek, kalıp akış (moldflow) ve reel çalışma örnekleri sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda 0,5 mm , 1 mm, 2.7 mm ve 3 mm cidar kalınlıklı modellerle ve farklı basınçlarla yapılan moldflow analizleri yardımıyla akış mesafesi saptanmış sonuçlarda sunulmuştur. Bu sonuçlara göre belirlenen parametreler olan basınç ve cidar kalınlığının parçanın dolumunda büyük etkisi olduğu saptanmıştır. Analizler göstermiştir ki ince cidar kalınlığında bulunan parça için malzemenin akışının zorlanması ile basınç hızlı bir şekilde yükselmiş olup, V/P anından sonra %80'e düşen basınç ile akış hızı azalarak bu esnada ince cidarlarında erken katılaşması ile malzeme ilerleyememekte ve donmakta eksik baskı problemi ile karşılaşmaktadır. Fakat yine ince cidarlı parçada basınç artırıldığında akış hızı artmış, akış önünün katılaşmasına kadar geçen zamanda malzeme daha fazla yol alabilmiştir. Çünkü bu esnada artan kayma hızı ile malzemenin viskozitesinin düşmesi muhtemel olup, malzeme ince cidarları daha kolay doldurabilmektedir. Cidar kalınlığının artırıldığı analizlerde, ince cidara göre aynı basınçtaki dolum sonuçları incelendiğinde, akış yolunun rahatlamasından dolayı akış mesafesi artış göstermiştir. Cidarın kalınlaşmasından dolayı malzeme çeperlerden çekirdeğe doğru daha yavaş soğumakta olup, akış önünün katılaşması daha geç olmaktadır. Cidar kalınlığı artırılmış olan modellerde yüksek basınçta çalışılan analizlerde basıncın da etkisi ile akış önü hızı artmıştır. Bu sayede akış önü sıcaklığı yavaş bir şekilde düşüş göstermiştir. Akış önünün katılaşmasının geç olması ve basıncın da etkisi ile 3 mm cidar kalınlığında model 140 MPa basınçta doldurulabilmiştir. 2.7 mm cidar kalınlığında ise 180 MPa basınç ile model dolmuştur. Öyleyse, akış mesafesi, basınç ve optimum cidar kalınlığı gerekliliği sunmaktadır. Buna bağlı olarak otomotiv parçalarında yolluk sayısının belirlenmesi ve basınç gerekliliği önemlidir. Genelde 2.5-3 mm cidar kalınlığına sahip parçalar çalışılmaktadır. Fakat parçalarda çökme probleminin önüne geçebilmek için B yüzeyinde tasarlanan feder, boss ve referansların tasarım kuralları içinde yapılarak, bu modellerin kalınlıkları 1 mm'nin altına düştüğü durumlar olmaktadır. Ve yolluğa uzaklığından dolayı basınç

gereklilikleri önemlidir. Plastik basıncı bu ince cidarlı tasarımları doldurabileceği basınca ulaşması ise, beraberinde mengene gücü gerektirmektedir. Yani parçada uzun akış mesafesini doldurmak için yüksek basınç, buna bağlı olarak ta artan basınç, ve yüksek projeksiyon alanından kaynaklı yüksek kilitleme kuvvetine sahip makine gerekmektedir. Analizlerde artan %dolum oranı ile kilitleme kuvveti karşılaştırılmış ve benzer bir artış göstermiştir. O halde dolduralack akış mesafesi için basınç gerekliliği yüksek ise, optimum dolum için yolluk sayısının ya da yolluk boyutlarının artırılması düşünülmelidir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Ebewele, R. O.** Polymer science and technology. (CRC press, 2000).
- [2] **Bolgar, M., Hubball, J., Groeger, J. & Meronek, S.** Handbook for the chemical analysis of plastic and polymer additives. (CRC Press, 2007).
- [3] <https://www.keiteq.org/plastic-injection-mold-thailand> (2018).
- [4] <http://mould-technology.blogspot.com/2008/07/sprue-bush-cooling-design-and.html> / <https://www.indiamart.com/proddetail/sprue-bush-8789291897.html> (2018).
- [5] <http://www.nttd-es.co.jp/products/e-learning/e-trainer/trial/en/mold/kiso/sample/step3/runner.htm> (2018).
- [6] **Bryce, D. M.** Plastic Injection molding: Manufacturing Process Fundamentals. (Society of Manufacturing Engineers, 1996).
- [7] <https://www.google.com.tr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwihtsu0kLXcAhWHY1AKHS8LBVkJRjRx6BAGBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.indiamart.com%2Fproddetail%2Fejector-pins-for-injection-moulding-4086215373.html&psig=AOvVaw2c99WyCNh7V5lePjTRw9eI&ust=1532432050990733> (2018).
- [8] [https://is.alicdn.com/img/pb/999/605/572/572605999\\_051.jpg](https://is.alicdn.com/img/pb/999/605/572/572605999_051.jpg) (2018).
- [9] <https://predictabledesigns.com/wp-content/uploads/2017/10/HeroImage.jpg> (2018).
- [10] [https://www.azom.com/work/xJsvgJlA1KoVb360Z4UW\\_files/image003.gif](https://www.azom.com/work/xJsvgJlA1KoVb360Z4UW_files/image003.gif) (2018).
- [11] <http://www.polymertestingequipment.com/images/melt-flown-2006.gif> / <http://www.impact-solutions.co.uk/testsite/wp-content/uploads/2017/04/Screenshot-2017-04-06-at-14.52.58.png> (2018).
- [12] **Han, C. D.** Rheology and processing of polymeric materials: Volume 1: Polymer Rheology. 1, (Oxford University Press on Demand, 2007).
- [13] **Gordon Jr, M. J.** Total quality process control for injection molding. 5, (John Wiley Sons, 2010).
- [14] <http://www.beaumontinc.com/wp-content/uploads/2015/08/Runner-Shapes.png>

(2018).

- [15] **Zhang, Y., Huang, Z., Zhou, H. & Li, D.** A rapid BEM-based method for Cooling simulation of injection molding. *Eng. Anal. Bound. Elem.* 52, 110–119 (2015).
- [16] **Eiamsa-Ard, K. & Wannissorn, K.** Conformal bubbler cooling for molds by Metal deposition process. *Comput. Des.* 69, 126–133 (2015).
- [17] **Ferreira, J. C. & Mateus, A.** Studies of rapid soft tooling with conformal Cooling Channels for plastic injection moulding. *J. Mater. Process. Technol.* 142, 508–516 (2003).
- [18] **Wang, Y., Yu, K.-M. & Wang, C. C. L.** Spiral and conformal cooling in plastic injectionmolding. *Comput. Des.* 63, 1–11 (2015).
- [19] **Park, H.-S. & Pham, N. H.** Design of conformal cooling channels for an Automotive part. *Int. J. Automot. Technol.* 10, 87–93 (2009).
- [20] **Au, K. M. & Yu, K. M.** A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 34, 496–515 (2007).
- [21] **Shayfull, Z., Sharif, S., Zain, A. M., Ghazali, M. F. & Saad, R. M.** Potential Of conformal cooling channels in rapid heat cycle molding: a review. *Adv. Polym. Technol.* 33, (2014).
- [22] **Yang, Y. & Gao, F.** Adaptive control of the filling velocity of thermoplastics Injection molding. *Control Eng. Pract.* 8, 1285–1296 (2000).
- [23] **Mohan, M., Ansari, M. N. M. & Shanks, R. A.** Review on the Effects of Process Parameters on Strength, Shrinkage, and Warpage of Injection Molding Plastic Component. *Polymer - Plastics Technology and Engineering* 56, 1–12 (2017).
- [24] **Postawa, P. & Koszkul, J.** Change in injection moulded parts shrinkage and weight as A function of processing conditions. *J. Mater. Process. Technol.* 162, 109–115 (2005).
- [25] **Jansen, K. M. B., Van Dijk, D. J. & Husselman, M. H.** Effect of processing Conditions on shrinkage in injection molding. *Polym. Eng. Sci.* 38, 838–846 (1998).
- [26] **Kazmer, D. & Barkan, P.** Multi-cavity pressure control in the filling and packing stages of the injection molding process. *Polym. Eng. Sci.* 37, 1865–1879 (1997).
- [27] **Bushko, W. C. & Stokes, V. K.** Solidification of thermoviscoelastic melts. Part 3: Effects of mold surface temperature differences on warpage and residual stresses. *Polym. Eng. Sci.* 36, 322–335 (1996).



- [28] **Bikas, A., Pantelidis, N. & Kanarachos, A.** Computational tools for the optimal design of the injection moulding process. *J. Mater. Process. Technol.* 122, 112–126 (2002).
- [29] <https://image3.slideserve.com/6879704/wall-thickness-uniformity-n.jpg>
- [30] **Jones, M. P., Callahan, R. N. & Bruce, R. D.** Flow length measurement of Injection molded spirals using a flatbed scanner. *J. Ind. Technol.* 27, (2011).
- [31] **Kitayama, S., Onuki, R. & Yamazaki, K.** Warpage reduction with variable Pressure profile in plastic injection molding via sequential approximate optimization. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 72, 827–838 (2014).
- [32] **Shi, F., Lou, Z. L., Zhang, Y. Q. & Lu, J. G.** Optimisation of plastic injection Moulding process with soft computing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 21, 656–661 (2003).
- [33] **Kurtaran, H., Ozcelik, B. & Erzurumlu, T.** Warpage optimization of a bus Ceiling Lamp base using neural network model and genetic algorithm. *J. Mater. Process. Technol.* 169, 314–319 (2005).
- [34] **Ozcelik, B. & Erzurumlu, T.** Comparison of the warpage optimization in the Plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm. *J. Mater. Process. Technol.* 171, 437–445 (2006).
- [35] **Shen, C., Wang, L. & Li, Q.** Optimization of injection molding process Parameters Using combination of artificial neural network and genetic algorithm method. *J. Mater. Process. Technol.* 183, 412–418 (2007).
- [36] **Yin, F., Mao, H., Hua, L., Guo, W. & Shu, M.** Back propagation neural Network modeling for warpage prediction and optimization of plastic products during injection molding. *Mater. Des.* 32, 1844–1850 (2011).
- [37] **Yin, F., Mao, H. & Hua, L.** A hybrid of back propagation neural network and Genetic algorithm for optimization of injection molding process parameters. *Mater. Des.* 32, 3457–3464 (2011).
- [38] **Kurtaran, H. & Erzurumlu, T.** Efficient warpage optimization of thin shell Plastic Parts using response surface methodology and genetic algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 27, 468–472 (2006).
- [39] **Chiang, K.-T. & Chang, F.-P.** Analysis of shrinkage and warpage in an Injection Molded part with a thin shell feature using the response surface methodology. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 35, 468–479 (2007).
- [40] **Mathivanan, D. & Parthasarathy, N. S.** Sink-mark minimization in injection Molding through response surface regression modeling and genetic algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 45, 867 (2009).

- [41] **Gao, Y. & Wang, X.** An effective warpage optimization method in injection Molding based on the Kriging model. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 37, 953–960 (2008).
- [42] **Gao, Y. & Wang, X.** Surrogate-based process optimization for reducing warpage in injection molding. *J. Mater. Process. Technol.* 209, 1302–1309 (2009).
- [43] **Li, C., Wang, F.-L., Chang, Y.-Q. & Liu, Y.** A modified global optimization Method based on surrogate model and its application in packing profile optimization of injection molding process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 48, 505–511 (2010).
- [44] **Shi, H., Gao, Y. & Wang, X.** Optimization of injection molding process Parameters Using integrated artificial neural network model and expected Improvement Function method. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 48, 955–962 (2010).
- [45] **Deng, Y.-M., Zhang, Y. & Lam, Y. C.** A hybrid of mode-pursuing sampling method And genetic algorithm for minimization of injection molding warpage. *Mater. Des.* 31, 2118–2123 (2010).
- [46] **Zhou, J. & Turng, L.** Process optimization of injection molding using an Adaptive surrogate model with Gaussian process approach. *Polym. Eng. Sci.* 47, 684–694 (2007).
- [47] **Xia, W., Luo, B. & Liao, X.** An enhanced optimization approach based on Gaussian process surrogate model for process control in injection molding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 56, 929–942 (2011).
- [48] **Erzurumlu, T. & Ozcelik, B.** Minimization of warpage and sink index in Injection molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method. *Mater. Des.* 27, 853–861 (2006).
- [49] **Oktem, H., Erzurumlu, T. & Uzman, I.** Application of Taguchi optimization Technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Mater. Des.* 28, 1271–1278 (2007).
- [50] **Öktem, H.** Optimum process conditions on shrinkage of an injected-molded part of DVD-ROM cover using Taguchi robust method. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 61, 519–528 (2012).
- [51] **Azaman, M. D., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Zainudin, E. S. & Abdan, K.** An investigation of the processability of natural fibre reinforced polymer Composites on shallow and flat thin-walled parts by injection moulding process. *Mater. Des.* 50, 451–456 (2013).
- [52] **Jacques, M. S.** An analysis of thermal warpage in injection molded flat parts due to unbalanced cooling. *Polym. Eng. Sci.* 22, 241–247 (1982).

- [53] **Azaman, M. D., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Zainudin, E. S. & Khalina, A.** Shrinkages and warpage in the processability of wood-filled polypropylene composite thin walled parts formed by injection molding. *Mater. Des.* (2013). doi:10.1016/j.matdes.2013.06.047
- [54] **Huang, M.-C. & Tai, C.-C.** The effective factors in the warpage problem of an Injection molded part with a thin shell feature. *J. Mater. Process. Technol.* 110, 1–9 (2001).
- [55] **Zhao, G., Wang, G., Guan, Y. & Li, H.** Research and application of a new rapid heat cycle molding with electric heating and coolant cooling to improve the surface quality of large LCD TV panels. *Polym. Adv. Technol.* 22, 476–487 (2011).
- [56] **Shen, C., Wang, L., Cao, W. & Qian, L.** Investigation of the effect of molding Variables on sink marks of plastic injection molded parts using Taguchi DOE technique. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 46, 219–225 (2007).
- [57] **Tursi, D. & Bistany, S. P.** Process and tooling factors affecting sink marks for Amorphous and crystalline resins. *J. Inject. Molding Technol.* 4, 114 (2000).
- [58] **Wang, X., Zhao, G. & Wang, G.** Research on the reduction of sink mark and warpage Of the molded part in rapid heat cycle molding process. *Mater. Des.* 47, 779–792 (2013).
- [59] <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-099634AE-DB7A-41BA-B70C-5A23FB013B06-htm.html> (2018)
- [60] **Liu, X. F., Hu, Y. H. & Huang, W. J.** Optimum Design of Plastic Injection Mould Gate Based on MoldFlow. *Adv. Mater. Res.* 239–242, 2541–2544 (2011).
- [61] **Zhao, L., Chen, B., Yang, M. & Zhang, S.** Application of moldflow software in design of injection mold. in 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE2010 243–245 (2010). doi:10.1109/MACE.2010.5535705
- [62] **Lotti, C., Ueki, M. M. & Bretas, R. E. S.** Prediction of the shrinkage of injection Molded iPP plaques using artificial neural networks. *J. Inject. Molding Technol.* 6,157 (2002).
- [63] **Chen, C.-S., Cheng, W.-S., Wang, T.-S. & Chien, R.-D.** Optimum design of gas-Assisted injection molding. *J. Reinf. Plast. Compos.* 24, 1577–1586 (2005).
- [64] **Patcharaphun, S., Zhang, B. & Mennig, G.** Simulation of three-dimensional Fiber orientation in weldline areas during push-pull-processing. *J. Reinf. Plast. Compos.* 26, 977–985 (2007).

- [65] <https://www.brightworkengineering.com/images/download/e-bulten-subat.pdf>  
(2018)
- [66] **Claveria, I., Javierre, C. & Ponz, L.** Method for generation of rheological model to characterize non-conventional injection molding by means of spiral mold. *J. Mater. Process. Technol.* 162, 477–483 (2005).
- [67] **Jones, M. P., Callahan, R. N. & Bruce, R. D.** Flow length measurement of Injection molded spirals using a flatbed scanner. *J. Ind. Technol.* 27, (2011).



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Nedime ÖZDEMİR

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Nazilli/AYDIN 18.08.1992

**E-Posta:** nedimeozdemir@gmail.com

**Lisans:** Polimer Mühendisliği

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:** Fompak Automotive Plastics and Interiors Firmasında  
2 yıl Tasarım Uzmanı

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ, **Nedime ÖZDEMİR**, 2017: Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Otomotiv Endüstrisi İçin Üretilen İnce Cıdarlı Plastik Parçaların Üretim Şartlarının Optimizasyonu. *V. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları*, Kasım 2-4, 2017 İzmir, Türkiye.