

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KONVANSİYONEL SOĞUTMALI PLASTİK ENJEKSİYON  
PROSESİ İLE HIZLI ISITMA SOĞUTMALI PLASTİK  
ENJEKSİYON PROSESİNİN KARŞILAŞTIRMASI**

**Cem Barış ÖZGÜVEN**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KONVANSİYONEL SOĞUTMALI PLASTİK ENJEKSİYON**  
**PROSESİ İLE HIZLI ISITMA SOĞUTMALI PLASTİK**  
**ENJEKSİYON PROSESİNİN KARŞILAŞTIRMASI**

**CEM BARIŞ ÖZGÜVEN**

**Doç.Dr. Tülin ŞAHİN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Prof.Dr. Vahdet UÇAR**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi**  
**Prof.Dr. Taner YILMAZ**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 29.01.2020**



## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışması, konvansiyonel plastik enjeksiyon prosesi ile hızlı ısıtma soğutma teknolojisi kullanılarak yapılan plastik enjeksiyon prosesinin karşılaştırmalı incelenmesi plastik enjeksiyon alanında şimdiye kadar yapılmış ve yapılmaya devam eden katma değerli işlerin artmasına katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

Öncelikle tez çalışmamda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen motivasyon kaynağım biricik eşim Merve Özgüven'e, çalışmalarına yön veren desteklemenin çok daha ötesinde yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Tülin Şahin'e, Teknik destek anlamında mentörlük eden Jörn Sengelau'a ve analiz çalışmalarında bana yardımcı olan Hakan Aktaş'a; çalışmalarım için her türlü desteği veren ablalarım Deniz Dikici'ye ve Gözde Aydın'a abim Abdullah Naci Dikici'ye, bütün imkânı ve olanakları ile mücadele eden babam Ömer Hayyam Özgüven, annem Mine Özgüven, teyzem Çiğdem Çelenk'e, çalışmalarım sırasında takibi hiç bırakmayan kayınvalidem Rabia Gün'e ve Zehra Gün'e teşekkürü borç bilirim.

Ocak – 2020

Cem Barış

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	2
1.1. Plastikler .....	3
1.1.1. Termoplastikler .....	3
1.1.2. Termosetler .....	3
1.1.3. Elastomerler .....	4
1.2. Plastik Enjeksiyon Prosesi .....	4
1.2.1. Plastikleştirme .....	5
1.2.2. Enjeksiyon fazı .....	5
1.2.3. Ütuleme-tutma fazı .....	6
1.2.4. Soğutma fazı .....	6
1.2.5. Kalıp açma fazı .....	7
1.2.6. İtici vurma fazı .....	7
1.2.7. Kalıp kapama fazı .....	8
1.3. Plastik Enjeksiyon Kalıbı .....	8
1.3.1. Standart bileşenler .....	8
1.3.2. Yolluk sistemi .....	8
1.3.2.1. Soğuk yolluk sistemleri .....	8
1.3.2.2. Sıcak yolluk sistemleri .....	10
1.3.3. Soğutma kanalları ve önemi .....	12
1.4. Akış Analizi: Autodesk Moldflow .....	14
1.5. Plastik Enjeksiyon Makinesi .....	17
1.5.1. Mengene ünitesi .....	18
1.5.2. Plastikleştirme ünitesi .....	18
1.5.3. Kontrol ünitesi .....	18
1.5.4. Makine gövdesi .....	18
1.6. Yardımcı Ekipmanlar .....	18
1.6.1. Sıcak yolluk kontrol üniteleri .....	19
1.6.2. Kurutucu ve dozajlayıcı sistemler .....	19
1.6.3. Şartlandırıcılar .....	19
1.6.4. Hızlı ısıtma soğutma ünitesi .....	20
1.7. Hızlı Isıtma Soğutma .....	21
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	23
2.1. Plastik Enjeksiyon ile Parça Üretimi ve Proses Hataları .....	23
2.2. Plastik Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilen Parçaların Akış Analizleri .....	24
2.3. Plastik Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilen Parçaların Soğutma .....	25



3. MALZEME VE YÖNTEM.....	28
3.1. Plastik Parça .....	28
3.2. Plastik Parçanın Katı Modeli.....	29
3.3. Plastik Parçanın Hammaddesi.....	30
3.4. Plastik Parçanın Enjeksiyon Kalıbı .....	32
3.5. Moldflow Analizi .....	41
3.5.1. Plastik parçanın moldflow analizi .....	41
3.5.1.1. Modelleme .....	41
3.5.1.2. Mesh değerleri: .....	43
3.5.1.3. Akış analizindeki hammadde bilgisi .....	44
3.6. Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Proses .....	48
3.6.1. Plastik enjeksiyon makinesi .....	48
3.6.2. Plastik enjeksiyon prosesi.....	48
3.6.2.1. Konvansiyonel enjeksiyon prosesi.....	49
3.6.2.2. Hızlı ısıtma soğutmalı enjeksiyon prosesi .....	50
3.7. Numuneler .....	51
3.8. Modele Uygulanan Deneysel Çalışmalar .....	53
3.8.1. Termomekanik analiz .....	53
3.8.2. Boyutsal tarama .....	55
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	56
4.1. Konvansiyonel Enjeksiyon Prosesinin Akış Analizi Sonuçları .....	56
4.2. Hızlı Isıtma Soğutmalı Prosesinin Akış Analizi Sonuçları .....	64
4.3. Boyutsal Tarama Sonuçları .....	67
4.4. TMA Deneyi .....	73
4.5. Parlaklık ve Görsel Kontroller .....	75
KAYNAKLAR .....	81
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	85
.....	86

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İki plakalı soğuk yolluk kalıbı .....	9
Şekil 1.2.	Üç plakalı soğuk yolluk kalıbı .....	10
Şekil 1.3.	Sıcak yolluk sistemi .....	10
Şekil 1.4.	İçten ve harici ısıtılan nozüller.....	11
Şekil 1.5.	Gate-tipi nozüller .....	12
Şekil 1.6.	Valfli nozüller .....	12
Şekil 1.7.	Direk lazer sinterleme yöntemi şeması .....	13
Şekil 1.8.	Vakum birleştirme yöntemi .....	14
Şekil 1.9.	Gekko kalıbı üretim aşaması.....	14
Şekil 1.10.	Moldflow analizi .....	15
Şekil 1.11.	Akış analizi verimlilik akışı .....	17
Şekil 1.12.	Plastik enjeksiyon makinesi .....	17
Şekil 1.13.	Hızlı ısıtma soğutma cihazı.....	20
Şekil 1.14.	Kalıp yüzeyine temas eden eriyik görseli .....	22
Şekil 1.15.	Plak yapımında kullanılan kalıp lokması.....	22
Şekil 3.1.	Gekko parçasının görseli .....	28
Şekil 3.2.	Gekko parçasının katı modeli görseli (üst görünüş) .....	29
Şekil 3.3.	Gekko parçasının katı modeli görseli (alt görünüş).....	29
Şekil 3.4.	Gekko kalıbı görseli .....	32
Şekil 3.5.	Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı görseli .....	33
Şekil 3.6.	Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı görseli .....	34
Şekil 3.7.	Gekko kalıbı itici tarafı görseli .....	35
Şekil 3.8.	Gekko kalıbı itici tarafı görseli .....	36
Şekil 3.9.	Gekko kalıbı sıcak yolluk sistemi görseli .....	37
Şekil 3.10.	Gekko kalıbı sıcak yolluk iğnesi görseli.....	38
Şekil 3.11.	Gekko kalıbı itici tarafı soğutma kanalları görseli.....	39
Şekil 3.12.	Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı soğutma kanalları görseli .....	40
Şekil 3.13.	Gekko parçası analize hazır modeli .....	41
Şekil 3.14.	Gekko parçası ve yolluk analize hazır modeli .....	42
Şekil 3.15.	Gekko parçası ve soğutma kanalları analize hazır modeli 1 .....	42
Şekil 3.16.	Gekko Parçası ve soğutma kanalları analize hazır modeli 2 .....	43
Şekil 3.17.	Mesh değerleri .....	43
	Moldflow'daki hammadde bilgisi .....	44
Şekil 3.19.	Moldflow'da proses ayarları bölümü .....	44
Şekil 3.20.	Moldflow'da hammaddeye ait viskozite- kayma oranı ilişkisi .....	45
Şekil 3.21.	Moldflow' da basınç, sıcaklık ve özgül hacim ilişkisi .....	45
Şekil 3.22.	CRIMS görseli .....	46
	Girilen proses parametreleri.....	47
Şekil 3.24.	Çarpılma sonuçlarının ayırma ayarı .....	47
Şekil 3.25.	Ocak sıcaklıkları .....	48
	Numuneler 1 .....	51
Şekil 3.27.	Numuneler 2 .....	51
	Numuneler 3 .....	52

Şekil 3.29.	TMA-50 Shimadzu .....	54
Şekil 4.1.	Konvansiyonel prodesteki enjeksiyon hızları .....	56
Şekil 4.2.	Konvansiyonel prodesteki tutma basınçları .....	57
Şekil 4.3.	Konvansiyonel prodesteki eriyik ön akış sıcaklıkları .....	57
Şekil 4.4.	Konvansiyonel prodesteki kapama kuvveti gereksinimi.....	58
Şekil 4.5.	Konvansiyonel prodesteki soğuma süresi 1 .....	59
Şekil 4.6.	Konvansiyonel prodesteki soğuma süresi 2 .....	59
Şekil 4.7.	Konvansiyonel prodesteki kayma oranı 1 .....	59
Şekil 4.8.	Konvansiyonel prodesteki kayma oranı 2 .....	60
Şekil 4.9.	Konvansiyonel prodesteki katılaşma oranı .....	61
Şekil 4.10.	Konvansiyonel prodesteki gaz sıkışma noktaları 1 .....	62
Şekil 4.11.	Konvansiyonel prodesteki gaz sıkışma noktaları 2 .....	62
Şekil 4.12.	Konvansiyonel prodesteki birleşme yerleri 1 .....	63
Şekil 4.13.	Konvansiyonel prodesteki birleşme yerleri 2.....	63
Şekil 4.14.	Konvansiyonel prodesteki birleşme yerleri 3.....	63
Şekil 4.15.	Konvansiyonel prodesteki çarpılma sonuçları .....	64
Şekil 4.16.	Isıtma fazındaki analiz görüntüsü.....	65
Şekil 4.17.	Soğutma fazındaki analiz görüntüsü 2.....	65
Şekil 4.18.	Isıtma fazındaki termal görüntü.....	66
Şekil 4.19.	Soğutma fazındaki termal görüntü 2.....	66
Şekil 4.20.	Konvansiyonel prodesteki boyutsal ölçüm 1 .....	67
Şekil 4.21.	Konvansiyonel prodesteki boyutsal ölçüm 2 .....	68
Şekil 4.22.	Hızlı ısıtma soğutmalı prodesteki boyutsal ölçüm 1 .....	70
Şekil 4.23.	Hızlı ısıtma soğutmalı prodesteki boyutsal ölçüm 2 .....	71
Şekil 4.24.	Hızlı ısıtma soğutma ve konvansiyonel soğutma prosesi ile elde edilen örnek parçanın TMA analizleri .....	74
Şekil 4.25.	Hızlı ısıtma soğutma ve konvansiyonel soğutma prosesi ile elde edilen örnek parçanın TMA analizleri .....	75
Şekil 4.26.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı Parçalar 1 .....	75
Şekil 4.27.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 2 .....	76
Şekil 4.28.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 3 .....	76
Şekil 4.29.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 4 .....	77
Şekil 4.30.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 5 .....	77
Şekil 4.31.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 6 .....	78
Şekil 4.32.	Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 7 .....	79
Şekil 4.33.	.....	79

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Malzeme bilgileri .....	30
Tablo 3.2.	Malzemenin mekanik özellikleri .....	30
Tablo 3.3.	Malzemenin termal özellikleri .....	31
Tablo 3.4.	Malzemenin proses parametreleri .....	31
Tablo 3.5.	Proses verileri 1 .....	49
Tablo 3.6.	Proses verileri 2 .....	49
Tablo 3.7.	Konvansiyonel prosesin çevrim süresi kırımını.....	50
Tablo 3.8.	Hızlı ısıtma soğutma prosesinin çevrim süresi kırımını .....	50
Tablo 3.9.	TMA deney parametreleri.....	53
Tablo 4.1.	Konvansiyonel prosesdeki boyutsal ölçüm.....	68
Tablo 4.2.	Hızlı soğutma prosesdeki boyutsal ölçüm.....	71
Tablo 4.3.	Hızlı ısıtma soğutma ve konvansiyonel soğutma prosesi ile elde edilen örnek parçanın termal genişleme katsayıları.....	74

## SİMGELER VE KISALTMALAR

N	: Kuvvet (Newton)
rpm	: Açısal Hız (Revolutions per munite) (devir/dakika)
atm	: Açık Hava Basıncı
R	: Çap
r	: Yarıçap
m/s	: Hız
gr/cm <sup>3</sup>	: Yoğunluk
µm	: Mikrometre
T <sub>m</sub>	: Erime Sıcaklığı
MPa	: Megapaskal
s	: Ürün Et Kalınlığı
a <sub>eff</sub>	: Polimer Termal Diffizüvite Katsayısı
θ <sub>M</sub>	: Eriyik Sıcaklığı
θ <sub>E</sub>	: Ürünün Kalıptan Çıkma Sıcaklığı
θ <sub>W</sub>	: Kalıp Duvar Sıcaklığı
ρ <sub>m</sub>	: Kalıp Çeliğinin Yoğunluğu
l <sub>m</sub>	: Soğutma Kanallarının Kalıp Duvarına Olan Dikey Mesafesi
K <sub>m</sub>	: Kalıp Çeliği Isı İletkenliği
C <sub>m</sub>	: Kalıp Çeliği Özısı

## Kısaltmalar

ABS	: Akrlonitril-Bütadiene,Sytrene
PC	: Polikarbonat
GF	: Cam Elyaf
MFI	: Akış Erime İndeksi
AR	: Aspect Ratio
TMA	: Termomekanik Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi
Gu	

# KONVANSİYONEL SOĞUTMALI PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ İLE HIZLI ISITMA SOĞUTMALI PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNİN KARŞILAŞTIRMASI

## ÖZET

Günümüzde boyalı ve desenli plastik parçalar otomotiv sektörü başta olmak üzere beyaz eşya, elektronik gibi sektörlerde oldukça sık kullanılmaktadır. Bununla birlikte boyama operasyonlarının maliyetleri çoğu zaman plastik parça üretim maliyetinden çok daha yüksektir. Bu nedenle hızlı ısıtma soğutma teknolojisinin kullanılması hem birim parça maliyetlerinin azaltılması açısından hem de parça kalitesinin artırılması açısından oldukça büyük faydalar sağlayacaktır. Çalışmada, oldukça yaygın kullanım alanı bulunan konvansiyonel plastik enjeksiyon prosesi ile konvansiyonel enjeksiyon prosesine entegre çalışan hızlı ısıtma soğutma teknolojisi karşılaştırılmaktadır. Yeni teknolojinin uygulanmasında ilk ön şartı polimer yapısının uygulanacak prosese doğru yanıt vermesidir. İki bağımlı prosesin bir arada adaptasyonu sırasında polimerlerin kristalin yapısı doğru şekilde yönlendirilmelidir. Bu sebeple seçilen malzeme PC/ABS karışımı bir amorf malzemedir. Kullanılacak kalıp GEKKO MOLD adı verilen kalıp olup özel olarak tasarlanmış konformal soğutma geometrisine sahiptir. Konformal soğutma, parça geometrisine göre açılmış soğutma kanalı anlamına gelmektedir. Üretilen parça ise üzerinde hem desenli mat bir bölümü olan hem de piyano siyahı olması planlanan yüzeye sahip bir parçadır. Çalışma farklı parametrelerde ısıtılıp soğutulmuş parçaların görsel kıyaslamasını içermektedir. Ayrıca çalışmanın içeriğinde Moldflow analizleri ile parçanın basınç gereksinimleri ve kalıbın termal analizlerinin kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmadan alınan ve kıyaslanan verilerin bir kısmı nitel bir kısmı nicel olup bunlar parlaklık kontrolü, görsel kontrolün ile birlikte boyutsal kontrol ve ağırlık kontrolünü kapsamaktadır. Hızlı ısıtma soğutma prosesinin uygulanması ile hem görsel açıdan hem de parlaklık açısından konvansiyonel soğutmaya göre daha başarılı sonuçlar edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enjeksiyon Kalıplama, Hızlı Isıtma Soğutma, Moldflow, Plastik Enjeksiyon Prosesi,

## **COMPARISON OF CONVENTIONAL PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESS AND PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESS WITH RAPID HEAT AND COOL TECHNOLOGY**

### **ABSTRACT**

Nowadays, painted and textured plastic parts are used frequently in the automotive sector, especially in the white goods and electronics sectors. However, the costs of painting operations are usually much higher than the cost of production of plastic parts. For this reason, the use of rapid heat and cool technology will provide significant benefits both in terms of reducing the cost of unit parts and improving the quality of the plastic parts. In this study, the conventional plastic injection process, which is widely used, is compared with the rapid heat and cool technology integrated with the conventional injection process. The first prerequisite for the application of the new technology is that the polymer structure responds correctly to the process to be applied. The crystalline structure of the polymers must be correctly oriented during the adaptation of the two dependent processes. Therefore, the selected material is an amorphous material of PC / ABS blend. The mold to be used is GEKKO MOLD and has a specially designed conformal cooling geometry. The part to be produced is a piece with a textured matt part and a surface which is planned to be piano black. The study involves a visual comparison of the rapid heated and cooled parts at different parameters. In addition, Moldflow analysis and pressure requirements of the part and thermal analysis of the mold were compared. Some of the data obtained and compared from this study are qualitative and quantitative and include brightness control, visual control as well as dimensional control and weight control. With the application of the rapid heat and cool process, both visual and glossy results have been very successful.

**Keywords:** Injection Molding, Rapid Heat and Cool, Moldflow, Plastic Injection Process, High Gloss.

## GİRİŞ

Plastik enjeksiyon prosesini ülkemizde en çok kullanan sektörler başta ambalaj olmak üzere beyaz eşya, otomotiv ve yapı sektörlerinde de kullanılmaktadır [1]. Sadece bununla sınırlı kalmayıp elektronik ve medikal alanında da yaygındır.

Özellikle beyaz eşya ve otomotiv alanında görsel beklentisi yüksek parçalar üretilmektedir. Görsel anlamda beklentinin yüksek olması proseste bazı zorlukları beraberinde getirmektedir. Bunların başında birleşme izleri gelmektedir. Plastik parçaların üzerindeki birleşme izi genellikle iki farklı sıcaklıktaki polimer akışının bir araya gelmesi ile oluşur. Birleşme izi problemini aşabilmek için zaman zaman üretilen parçanın boyanması ve/veya kaplanması gibi bir ikincil proses kullanılabilir. Hem boyama proses hem de kaplama prosesi üretim yöntemleri gereği oldukça yüksek ıskarta oranlarına sahiptir. İskarta oranı ortalama olarak %30 civarlarındadır. Bu oranı yakalamak için bile çok ciddi bir yatırım gerektiren bu ikincil proseslerin ortam koşulları da ıskarta oranını etkilemektedir. Bütün bunlar birim parça maliyetlerini birkaç katına katlamakla kalmıyor aynı zamanda tam kontrol, sürekli iyileştirme gibi devamlı işgücünü beraberinde getirmektedir. İşte tam da bu sebeple boyama prosesini ortadan kaldırabilmesi için plastik enjeksiyon prosesinde birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalardan biri hızlı ısıtma ve soğutma teknolojisinin entegre şekilde uygulanmasıdır. Bu tezde hızlı ısıtma ve soğutma teknolojisini konvansiyonel enjeksiyon prosesi karşılaştırmalı çalışması yapılacaktır.

Çalışmanın temel amacı boyama prosesine gereksinim kalmadan parçaları kalıptan almaktır. Tez çalışmasında Gekko parçası kullanılmıştır. Gekko parçasının kalıbında özel soğutma kanalları bulunmaktadır. Bu kanallar hem ısıtma hem soğutma için kullanılacaktır. Kullanılan hammadde LG Chem firmasının Lupoy HR5007A ticari isimli PC/ABS'idir. Çalışmanın sayısallaştırılmasında Autodesk Moldflow Insight



## 1. GENEL BİLGİLER

Plastik parçalar otomotiv başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Büyük bir üretim hacmi genellikle plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilmektedir.

plastığın kapalı bir kalıba içerisine enjekte edilmesi akabinde soğutulmuş kalıptan çıkarılması olarak düşünülebilir. Oldukça hızlı bir üretim metodu olması en önemli avantajıdır. Bu nedenle özellikle seri üretime ihtiyaç duyan parçalarda tercih sebebidir. Plastik enjeksiyon prosesini uygulayabilmek için enjeksiyon makinesine, enjeksiyon kalıbı ve granül haldeki plastik hammaddeye ihtiyaç vardır.

Enjeksiyon makinesi genellikle prosesin en maliyetli kısmıdır. Fakat bazı özel durumlarda enjeksiyon kalıbının maliyeti enjeksiyon makinesinin maliyetini geçebilir. Bununla birlikte iyi bir kalıp ve iyi bir makine prosesin sürdürülebilirliği ve hassasiyeti için oldukça önemlidir. Üretim sürdürülebilirliği kimi zaman yıllık üretim adetleri milyonları geçen parçalar için olmazsa olmazdır. Bu sebepten ötürü parçalardaki toleransları sağlayabilmek adına üretimde daima iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Plastik hammadde içinde aynı hassasiyet oldukça önemlidir. Unutulmamalıdır ki plastik hammaddelerde bir üretim prosesinden geçmektedir. Bu nedenle tolerans kararlılığı dikkat edilmesi gereken önemli konulardandır. Hammadde kaynaklı problemlerin yaşanmasını önlemek açısından hammadde giriş kalitelerinin ölçülmesi gerekmektedir.

Her üretim metodunda olduğu gibi bu üretim metodunun belli zorlukları ve limitleri bulunmaktadır. Zorlukların kimi zaman hammaddeden kimi zaman proses ve yan ekipmanlardan kaynaklanmaktadır. Öncelikle plastik malzemelerin akış davranışını

## **1.1. Plastikler**

Plastikler, monomerlerin bir araya gelerek oluşturduğu polimer adı verilen uzun zincir yapısına dönüştürülmüş malzemelerdir. Plastikler doğada hazır bulunmazlar. Bu nedenle üretimleri insan tarafında müdahale edilmesiyle oluşur.

Plastikler 3 ana grup altına toplanır. Bunlar:

1. Termoplastikler

1.1. Kısmi Kristalin

1.2. Amorf

2. Termosetler

3. Elastomerler

### **1.1.1. Termoplastikler**

Termoplastikler, ısı ile şekillendirilebilen plastik çeşididir. Plastik enjeksiyon prosesinde en çok kullanılan plastik türüdür. Isıtılarak eriyik hale getirilen termoplastikler belirli bir hacme basınç yardımı ile gönderilerek şekillendirilir. Soğutularak Camsı Geçiş Sıcaklığı altına inen termoplastiklerin şekil değişim kalıcı olarak gerçekleşmiştir. Oda sıcaklığında genellikle rijit haldedir. Kullanım alanı oldukça geniş olmakla birlikte tekrar tekrar proses edilebilmeleri ve geri dönüşümlü olmaları en büyük avantajıdır. Çapraz bağlı bir yapıya sahip olmadığı için ısıtılıp soğutulma prosesi su ve buza benzetilir. En çok kullanılan türü Polipropilen, su kapaklarından, araba konsollarına, çamaşır makinelerinden, medikal alana kadar birçok sektörde kendine yer bulmuştur.

Termoplastikler amorf ve kısmi-kristalin olarak ikiye ayrılmaktadır. İsminden de anlaşıldığı gibi kısmi-kristalin termoplastikler yapısının bir bölümünde kristalin yapılar içermektedir. Amorf ise karmaşık zincir yapısındadır. Herhangi bir bölümünde herhangi özel bir düzen bulunmamaktadır.

### **1.1.2. Termosetler**

Termoset malzemeler ısıtıldıklarında kimyasal değişime uğrayan ve geri dönüşümlü kullanılamayan plastik türüdür. Tekrar kullanılamamasının temel sebebi yapısında

### **1.1.3. Elastomerler**

Elastik olarak deforme olabilen plastik türleridir. Yük altında şekil değiştirerek esner ve yük kalkınca eski haline geri gelebilirler. Oda sıcaklığında tam rijit halde olmamaları belirli avantajları beraberinde getirir. En önemli kullanım alanı contalardır.

Plastik Enjeksiyon prosesinde ürün kalitesini, boyut toleranslarının tutarlılığını, yüzey kalitesini, mekanik beklentilerini kontrol altında tutmak diğer proseslere göre nispeten daha zordur. Her bir faktörün bağımsız dinamikleri olmakla birlikte birbirine entegre çalışan parça tasarımı, kalıp, makine ve yardımcı ekipmanları içermektedir. Bu faktörlerden herhangi biri istenilen seviyede parça alınmasını etkileyebilir.

### **1.2. Plastik Enjeksiyon Prosesi**

Plastik enjeksiyon prosesi temelde kapalı bir kalıbın içine plastik malzemenin eriyik sıcaklığının üstündeki bir sıcaklık aralığında yüksek hızda yolluk girişinden kalıp gözüne hızlı bir şekilde enjekte edilmesi sonrası, ütüleme fazı ve tutma fazı ile parçanın boyut ve görsel toleranslarının kabul edilebilir seviyeye getirdikten sonra plastiğin kalıptan çıkma sıcaklığının altına getirilerek kalıptan çıkarılması prensibine dayanan bir plastik parça üretim yöntemidir. Seri üretime uygun olması sebebiyle, birçok sektörde oldukça fazla kullanılan bir üretim yöntemidir. Plastik parça tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur et kalınlığı değişkenlikleri ve tasarımın kalıplana bilirliliğidir.

Plastik enjeksiyon prosesinin adımlarını aşağıdaki başlıklar altında inceleyebiliriz.

Kalıbın içinde gerçekleşen fazlar:

- 1- Enjeksiyon Fazı
- 2- Ütüleme- Tutma Fazı
- 3- Soğutma Fazı
- 4- Kalıp Açma Fazı
- 5- İtici Vurma Fazı
- 6-

Makine tarafında gerçekleşen fazlar:

1- Plastikleştirme (mal alma)

### **1.2.1. Plastikleştirme**

Plastikleştirme makinenin ocak bölgesinde gerçekleşir. Plastikleştirme fazında huniden gelen granül halindeki plastik hammadde belirli sıcaklıkta ısıtılmış kovana, kovanın içindeki vidanın dönüş hareketi ile gönderilir. Ocak hem dışındaki ısıtıcılar yardımıyla hem de vida dönmesi kaynaklı sürtünme ile malzemeyi ısıtarak önce besleme bölgesine, oradan geçiş bölgesine ve daha sonra dozajlama bölgesine aktarır. Dozajlama bölgesi vidanın uç kısmında bulunur ve makineye girilen mal alma miktarının tanımlanması ile belirlenir. Plastikleştirme fazında en çok dikkat edilmesi gereken nokta malzemenin limit kayma oranını geçmeyecek kadar bir hız uygulayarak malzemeyi dozajlamaktır. Buna karşılık üretim verimliliği açısından olabildiğince yüksek hızlar kullanılması oldukça yaygındır. Plastikleştirme fazındaki yüksek hız iki temel probleme yol açabilmektedir. Problemlerden ilki yanık izi problemidir. Yanık izi probleminin temel sebebi malzemenin kayma oranı limitinin aşılmasıdır. Diğer problem ise malzeme için gaz boşlukları oluşmasıdır. Gaz boşluğu probleminde plastik hammadde granül halden eriyik hale geçerken, yüksek vida dönme hızı havanın plastik hammaddenin içinde hapsolmesini sağlayacaktır. Hava kapanlarının içinde olduğu eriyiğin kalıba girmesi, parçada mekanik zayıflık meydana getirecektir.

### **1.2.2. Enjeksiyon fazı**

Enjeksiyon fazı vidanın doğrusal hareket yaparak dozajlama bölgesindeki eriyik malzemeyi önce yolluklara akabinde kalıp gözüne gönderir. Enjeksiyon fazı plastik parçanın hacminin %95-98'i dolana kadar devam eder. Temel prensip malzemenin hızlı bir şekilde kalıba dolmasıdır. Dikkat edilmesi gereken husus plastikleştirme fazında da olduğu gibi bu fazda da kayma oranı limitlerinin geçilmemesini sağlayacak enjeksiyon hızları belirlemektir. Genellikle mm/sn veya cm<sup>3</sup>/sn şeklinde makineye tanımlanan enjeksiyon hızı enjeksiyon prosesi için bir girdidir. Enjeksiyon hızı girdisinin sonucu olarak iki çıktı oluşmaktadır. Enjeksiyon süresi ve enjeksiyon basıncı bu çıktılardır.

toleransları ve desen kalitesi için oldukça önemlidir. Diğer taraftan gazlanma probleminin çok olduğu parçalarda enjeksiyon hızının belirli adımları yavaşlatılarak çözüm bulunabilir.

### **1.2.3. Ütüleme-tutma fazı**

Ütüleme ve Tutma fazı bazı kaynaklarda birbirinden ayrı tanımlanmıştır. Makine ekranlarında bu iki fazı birbirinden ayrı tanımlanabilecek alanlar ne yazık ki mevcut değildir. Temeldeki ayrıma gelecek olursak;

**Ütüleme fazı:** Parçanın %98 hacminden sonraki %2'lik kısmın ki bu kısım genellikle dolum için daha yüksek basınç gerektiren bölgelerdir, doldurulmasına verilen isimdir. Bu faz enjeksiyon makinesi ekranındaki enjeksiyon fazının son adımı ve tutma fazının ilk adımı ile kontrol edilir.

**Tutma fazı:** Parça dolumu tam olarak ve basınçlı şekilde gerçekleştikten sonra yolluk girişi katılaşıncaya kadar uygulanan basınç fazına verilen isimdir. Bu fazda parçanın gereksinimlerine uygun sürede ve basınçta değerler girilmesi oldukça önemlidir. Basıncın yüksek verilmesi durumunda çapak riski yüksektir. Ayrıca fazla sıkıştırma yapılacağı için boyutsal toleransların dışına çıkma ihtimali vardır. Düşük basınç uygulanması durumunda çöküntü ve çarpılma riski yüksektir. Yeterli süre verilmemesi durumunda yine çöküntü riski yüksek olmakla beraber parça gramajı düşük çıkacaktır. Soğuk yolluklu kalıplarda uygulanacak uzun tutma süresi gereksiz yere ıskarta olacak yolluk kısmındaki çöküntünü alınmasını sağlayacaktır. Bu da gereksiz enerji sarfiyatı anlamına gelecektir.

### **1.2.4. Soğutma fazı**

Soğutma fazı, tutma fazının bitiminden parçanın kalıptan çıkma sıcaklığının altına geldiği ana kadar devam eder. Bu süre makinenin herhangi bir etki etmeden beklediği fazdır ve 2. en fazla enerji harcanan kısımdır. Bu nedenle genellikle çevrim zamanı düşürme çalışmalarının yoğunlaştığı kısım soğutma fazıdır. Temelde plastik enjeksiyon çevriminde soğutma eriyik plastiğin kalıba teması ile başlar. Çoğu

sebebiyet verdiği için hesaba katılmaz ve aşağıda metotla hesap edilir. Ütüleme süresi ile makineye girilen soğutma süresinin toplamı fiziksel soğutma süresidir.

Soğutma süresi bir çevrimin yaklaşık 2/3'dür. Bu durumda 60 saniyelik bir çevrimin yaklaşık 40 saniyesi soğutma süresidir. Bu süreyi belirleyen temel etkenler aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

Minimum teorik soğuma zamanı denklem 1.1'de matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \times \ln \left( \frac{4}{\pi} \times \frac{\vartheta_n - \vartheta_w}{\vartheta_e - \vartheta_w} \right) \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de s ile gösterilen büyüklük et kalınlığı,  $a_{eff}$  ile gösterilen büyüklük plastik hammaddenin ısı transfer katsayısı,  $\vartheta_n$  ile gösterilen kısım eriyik sıcaklığı,  $\vartheta_e$  ise kalıptan çıkma sıcaklığıdır. Bu denklemde parça tasarımı ve hammadde dışında etki edilebilecek tek kısım kalıp yüzey sıcaklığı  $\vartheta_w$ 'dir.

Bu durumda parça tasarımındaki et kalınlığı değişkenliği soğutma süresi için en önemli etkendir. Parça tasarımında et kalınlığı değişkenliğinin istenmemesinin arkasında yatan fiziksel açıklama bu soğutma formülüne dayanmaktadır. Diğer önemli etkenler, hammaddenin ısı difüzyon katsayısı, eriyik sıcaklığı, kalıptan çıkma sıcaklığı ve kalıp yüzey sıcaklığıdır. Formülden de anlaşıldığı gibi kalıp tasarımda etkilenebilecek parametre soğutma tasarımının kalıp yüzey sıcaklığına olan etkisidir.

### 1.2.5. Kalıp açma fazı

Soğutma fazı biter bitmez kalıp açılarak parçanın düşmesine olanak verir. Kalıp açmanın ilk kısımları daha düşük hızla yapılarak kalıba zarar verilmesi engellenir. Kalıp açma fazında olabildiğince az vakit kaybedilmelidir.

### 1.2.6. İtici vurma fazı

Kalıp açıldıktan sonra parça itici tarafta kalır ve itici ileri bloğu yardımıyla bütün itici grubu ileri gider. Parçaya temas eden iticiler parçanın düşmesini sağlar. Bazı

fazla kez ileri geri hareketi yapabilir. Ayrıca itici hızı ayarlanabilir. İtici hızlarının fazla olması bazen parçalarda deformasyona uğrayabilir.

### **1.2.7. Kalıp kapama fazı**

Parça tamamen kalıbın içinden alındıktan sonra kalıp birbirine temas edecek kolonlara gelene kadar olabildiğince hızlı, kolonların temasından sonra kalıba zarar vermeyecek şekilde olabildiğince hızlı kapatılmalıdır.

## **1.3. Plastik Enjeksiyon Kalıbı**

Plastik enjeksiyon kalıbının en önemli unsurları; yolluk sistemi, standart bileşenleri ve soğutma sistemidir.

### **1.3.1. Standart bileşenler**

Plastik enjeksiyon kalıbı birçok işlevi yetirene getirmesi gereken fazla sayıda bileşen içermektedir. Bunlardan en önemlileri iticiler, kolonlar, burçlar, kalıp setleri ve kilit mekanizmalarıdır. Kare kilitler kalıplarda en çok tercih edilmesi gereken kilit mekanizmalarıdır. Kare kilitlerin en önemli görevi enjeksiyon fazı esnasındaki titreşimin sönümlemesi görevini üstlenmektedir.

İticiler soğutma fazının sonunda parça tamamen katılaştıktan sonra kalıbın açılmasının akabinde parçanın itilerek kalıptan çıkarılmasını sağlamaktadırlar. İticilerin kalıptaki konumu oldukça önemlidir. Eğer yeterli sayıda itici kullanılmazsa parçanın kalıptan çıkarılması zorlaşabilir ve/veya parçayı deforme ederek kalıptan çıkması gerçekleşebilir. Eğer fazla sayıda itici kullanılırsa soğutma kanallarına yeterince hacim kalmayacaktır. O nedenle optimum miktarı yakalamak gereklidir.

### **1.3.2. Yolluk sistemi**

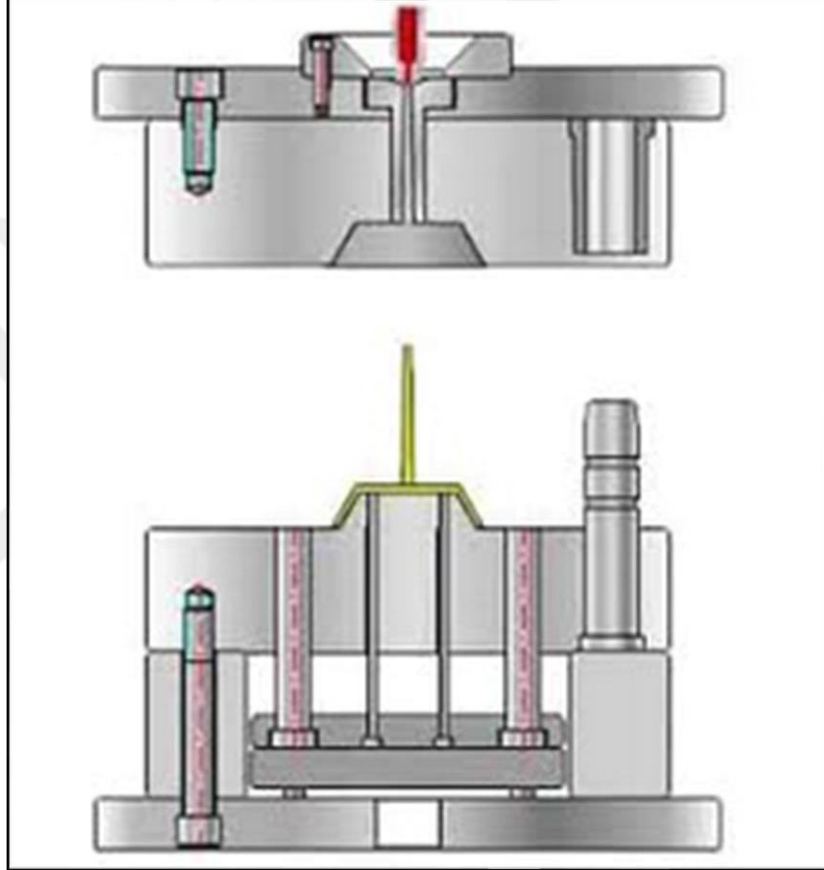
Yolluk sistemi ocaktan kalıba gelen eriyik plastiği kalıp gözüne ulaştırmaya yarayan sistemdir.

### **1.3.3. Soğuk yolluk sistemleri**

Soğuk yolluk sisteminde, yolluktan geçen termoplastik malzemenin sıcaklığı, kalıp

Soğuk yolluk sistemi kalıbın içinde iki veya üç plakadan oluşur.

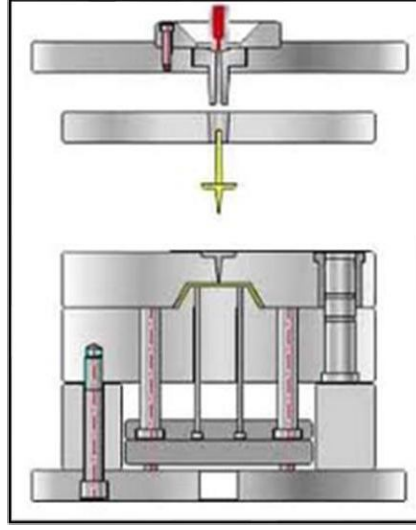
İki plakaya sahip soğuk yolluk prensibiyle çalışan kalıplar, günümüzde yaygın olarak kullanılır ve basit bir yapıya sahiptir (Şekil1.1). Bu plakalar sabit ve hareketli kısımlardan oluşur. Yolluk hareketli plakada bulunur. Enjeksiyon esnasında bu iki plaka birleşir ve parça oluşumu sağlar.



Şekil 1.1. İki plakalı soğuk yolluk kalıbı [2]

Kalıp, üç parçadan oluşur. İki plakalı kalıba ek olarak, bu plakaların arasında sıyırıcı plaka şeklinde tabir edilen gezici bir plaka mevcuttur. Bu plaka, yollukla parça arasında bulunan geçit bölgesinden, parçanın ayrılmasını sağlar. Bu da çevrim olumlu olarak etkiler.

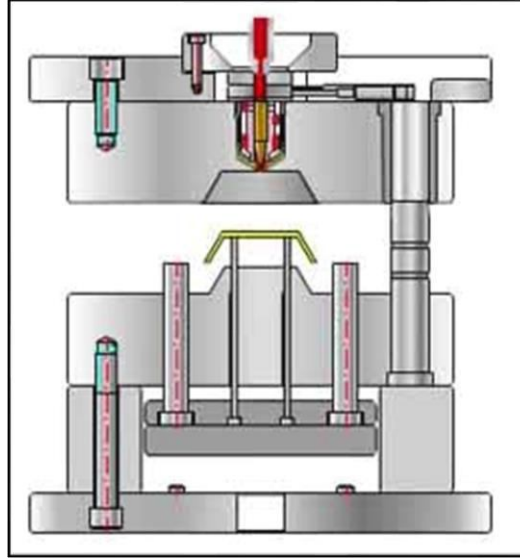




Şekil 1.2. Üç plakalı soğuk yolluk kalıbı [3]

#### 1.3.4. Sıcak yolluk sistemleri

Sıcak yolluk sistemleri, manifold ve yolluk burcunun ısıtılarak, plastik malzemenin bu konumlarda sürekli eriyik halde kalmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sayede her çevrimde, yolluktaki plastik, eriyik kalacağı için parçadan ayrımına işlemine gerek kalmaz (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Sıcak yolluk sistemi [4]

Harici ısıtılan sistemler, diğer sistemlere göre en düşük basınç düşümüne sahiptir.

geniş bir çapa sahiptir. Bu yüzden plastikte donacak tabakanın büyüme hızı daha yavaştır. Bu sayede daha uzun akış kanallarının oluşmasını sağlar.

İçeriden ısıtılan Nozüllü sistemler, hariciye göre daha iyi yolluk girişi kontrolü yapmaktadır. Çünkü ısıtma kanalları nozülün içinde olduğu için, direkt olarak etki etmektedir.

Isıtma kanalları, akışın tam merkezinden geçeceği için, katılaşmaya başlayacak ilk bölge ısıtma kanalının en uzağında, çeperlerde olacaktır. Bu yüzden yollukta oluşacak sızdırmazlık sorununun önüne geçilebilir. Ayrıca akışın merkezi daima eriyik kalacağı için akışın katılaşma sorunu minimize edilecektir. Aşağıdaki şekilde iki farklı nozül türü gösterilmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. İçten ve harici ısıtılan nozüller [5]

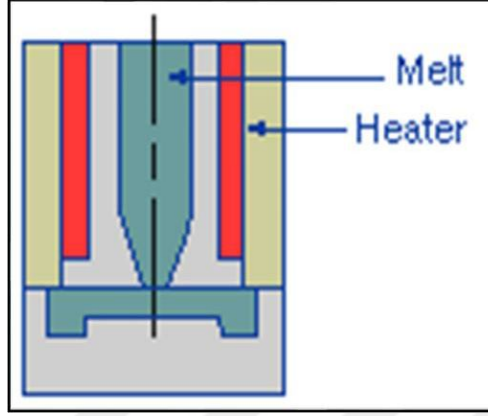
İçeriden ısıtmaya sahip manifold ve nozüller, sızıntı olayına karşın en etkili çözümdür. Isıtma kanalları manifoldun ve nozülün içinde bulunur bu ısıtma kanalları dış ortam ile temas etmediği için iyi bir izolasyona sahip olacaktır. Böylelikle daha efektif bir işlem gerçekleştirecektir. Fakat, bu proses, sıcaklığa duyarlı olan malzemeler için pek önerilmemektedir. Ayrıca, kesit alanının geometrisinden dolayı, enjeksiyon esnasında diğer sıcak yolluk sistemlerinden daha fazla basınç ihtiyacı duymaktadır.

Nozüller, sıcak yolluk sisteminin bir parçasıdır. Eriyik plastik malzemeyi manifoldtan alıp, plastiğin katılaşp şekil alacağı göze iletir.

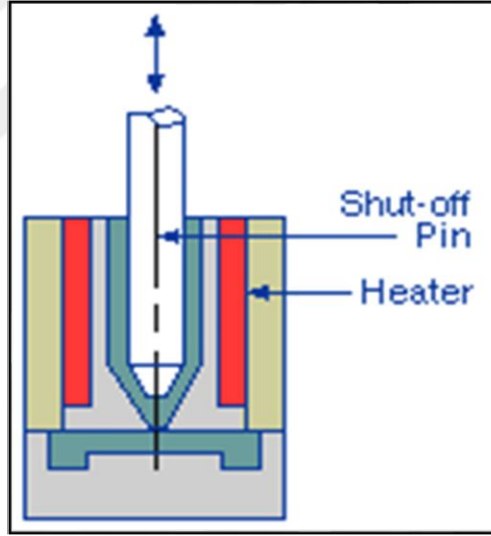
Sıcak nozüllerin verimli bir şekilde kullanılması için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Plastiğin katılaşmaması için yolluk girişine kadar ısıyı iletmelidir.

- Göz içi ile yolluk girişi arasındaki sıcaklık farkını korumalıdır.
- Katılaşma, tıkanma gibi akışı engelleyecek faktörleri minimize etmelidir.
- İyi bir sıcaklık kontrolüne sahip olmalıdır.



Şekil 1.5. Gate-tipi nozüller [6]



Şekil 1.6. Valfli nozüller [6]

Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da sıcak yolluk patlama tipleri gösterilmiştir.

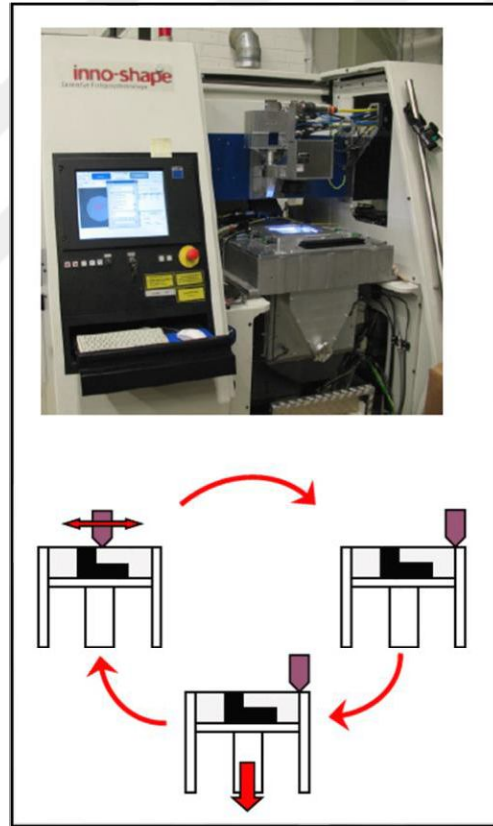
### 1.3.5. Soğutma kanalları ve önemi

Plastik enjeksiyon kalıbının en önemli kısmı soğutma kanallarıdır. Soğutma kanalları

kanallarının parça geometrisini takip etmesi oldukça zordur. Düz delik delme yöntemi ile açılan soğut

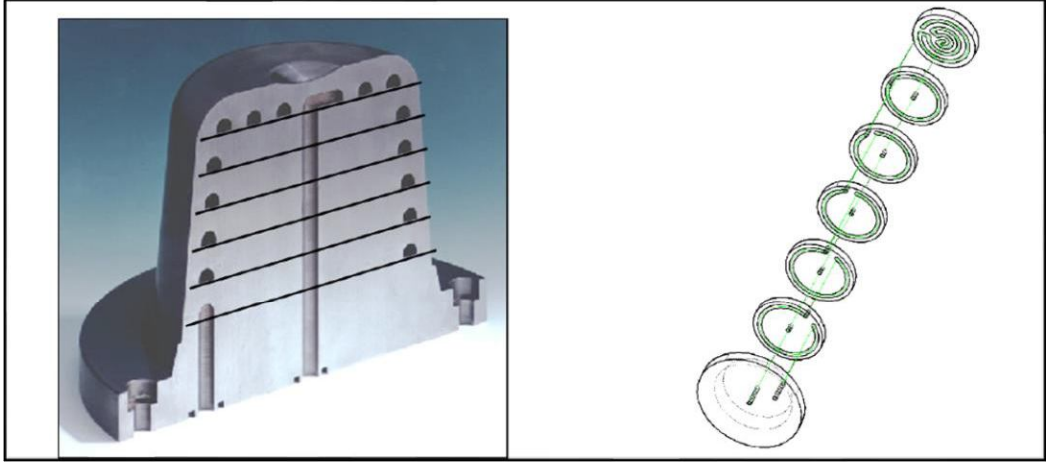
yöntemdir. Fakat et kalınlığı değişken olan parçalar kalıbın yüzeyinde sıcaklık farklarına sebep olmaktadır. Soğutmanın bu denli önemli olması soğutma kanalları konusunda epey bir çalışmayı beraberinde getirmiştir.

Soğutma kanallarının parça geometrisini takip edebilmesi için daha gelişmiş yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Direct Laser Sintering (Şekil 1.7) adı verilen sinterleme yöntemidir. Bu yöntemde uzayda yaratılan geometri metal tozlarının örülmesi ile gerçeğe dönüştürülebilir. Sinterleme yönteminin en önemli dezavantajı her çelik türüne uygulanamamasıdır. Bu durum enjeksiyon kalıplarında sıkça yaşanan aşınma probleminin çözülememesini beraberinde getirmektedir. Sinterleme yöntemi Şekil 1.7’de şematik olarak ifade edilmiştir.



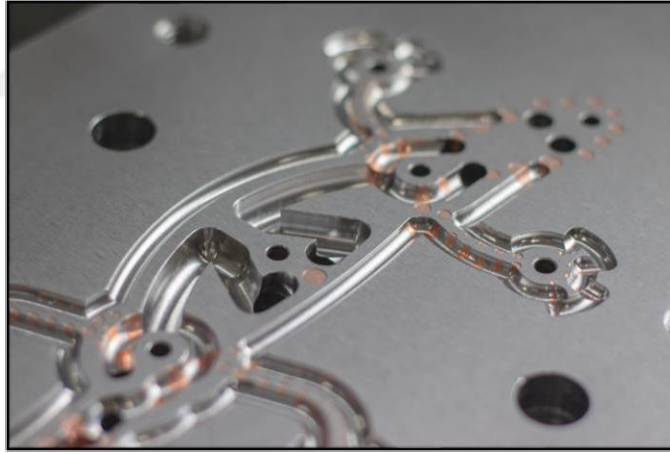
Şekil 1.7. Direk lazer sinterleme yöntemi şeması [7]

Bir diğer yöntem ise Vakum Brazing yöntemidir (Şekil 1.8). Vakum birleştirme yönteminde neredeyse bütün çelikler kullanılabilir. Ayrıca maliyeti



Şekil 1.8. Vakum birleştirme yöntemi [7]

Yukarıdaki şekildeki kalıp lokması vakum birleştirme metodu ile üretilmiştir. Önce çelik dilimlerine ayrılmıştır. Daha sonra yarım ay şeklinde her bir yüzeye soğutma kanalları konvansiyonel yöntemle işlenmiştir. Akabinde çelik yüzeylerin arasına konulan özel folyo ile vakumla birleştirme fırınında birleştirilmiştir.



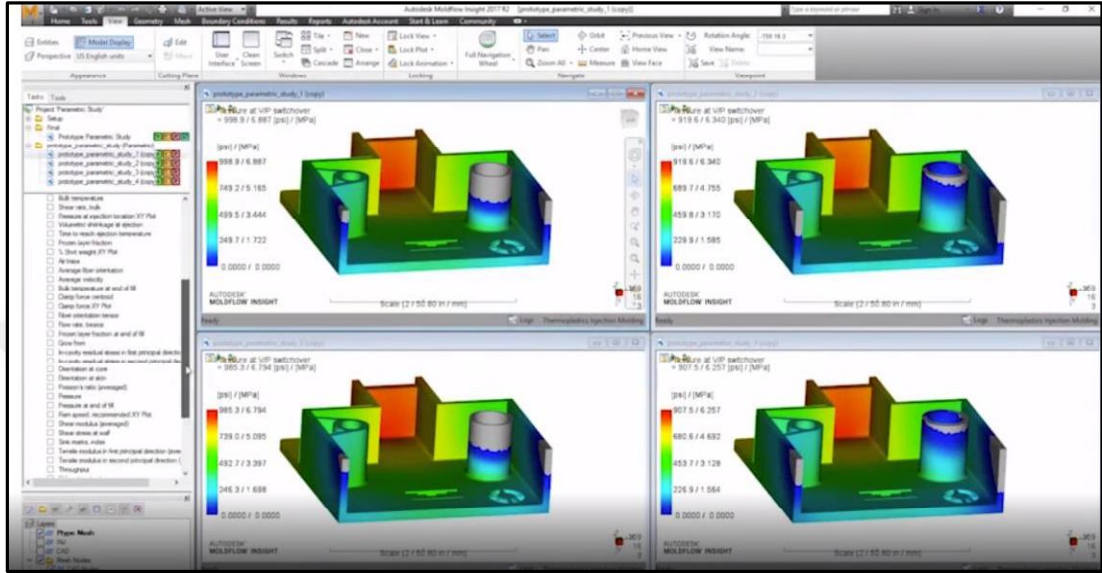
Şekil 1.9. Gekko kalıbı üretim aşaması [7]

Gekko kalıbında da vakum birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 1.9 görsel birleştirme öncesi alınmıştır.

#### 1.4. Akış Analizi: Autodesk Moldflow

Autodesk Moldflow termoplastik ve termosetleri referans alarak sonlu elemanlar metodu ile plastik enjeksiyon simülasyonları yapılabilmesine imkan veren bir

Otomotiv, beyaz eşya ve ince cidarlı paketleme alanlarında günümüzde en çok kullanılan yazılımdır. Hammadde kütüphanesinde 10.000'nin üzerinde hammadde mevcuttur. Şekil 1.10'da plastik parçanın ütülemeye geçiş anındaki basınç görüntülerinin görüldüğü bir sonuç görselleştirmek amaçlı konulmuştur.



Şekil 1.10. Moldflow analizi [8]

Autodesk Moldflow yazılımının mevcutta 5 farklı versiyonu vardır. Bunlar:

Autodesk Moldflow Adviser Premium: Bu versiyon ile dolum analizleri yapmak mümkün iken çarpılma, soğutma analizleri yapmak mümkün değil. Aynı zamanda cam elyaf gibi dolguların oryantasyonunu gözlemlemek mümkün değil.

Autodesk Moldflow Adviser Ultimate: Bu versiyonda Premium versiyonuna ek olarak; soğutma, çarpılma analizlerini cam elyaf oryantasyonunu da hesaba katarak yürütebilirsiniz.

Autodesk Moldflow Insight Standart: Bu versiyonda diğer iki versiyona ek olarak sıralı enjeksiyon simülasyonları yapabilmek mümkün. Insight versiyonunu diğer versiyonlardan ayıran en önemli özellik olarak sıralı enjeksiyon opsiyonunu gösterebiliriz.

Autodesk Moldflow Insight Premium: Şimdiye kadar olan versiyonlarda bir kullanıcı aynı anda tek bir analiz yürütebilirken bu versiyon ile birlikte kullanıcı aynı anda üç

Autodesk Moldflow Insight Ultimate: En üst ve en kapsamlı olan versiyon ise Ultimate versiyonudur. Bu versiyon ile tüm özel plastik enjeksiyon proseslerinin simülasyonunu yürütmek mümkün ki bizde bu projede Autodesk Moldflow Insight Ultimate versiyonunu kullanacağız. Ultimate versiyonu ile yürütülebilecek bazı özel prosesler;

- I. Konformal soğutma
- II. Fiziksel köpürtme
- III. Kimyasal köpürtme
- IV. Hızlı ısıtma soğutma

Plastik enjeksiyonda yüksek kalıp maliyetleri oldukça yüksek, hatalı bir tasarım sonrası ortaya çıkacak kalıp revizyonu kalıp maliyetini arttıracaktır. Moldflow simülasyonu ile tasarımınızın hataları henüz kalıp imalatına geçmeden ortaya koyabilir. Böylelikle revizyon maliyetini elimine edebilirsiniz.

Ayrıca gelişen dünyada diğer rakiplerinizin önüne geçmek projeyi hızlı devreye almak, kalıp revizyonu ile zaman ve para kaybetmemekte oldukça önemli. Autodesk Moldflow simülasyonu bize tasarımda neyi doğru neyi yanlış yaptığımızı gösteriyor ve böylelikle projemizi çok daha hızlı devreye alabiliyoruz [9].

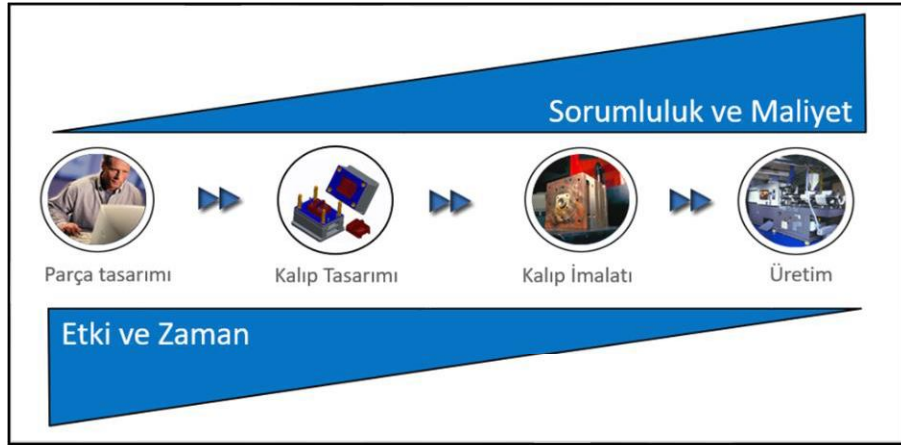
Autodesk Moldflow simülasyonları projeye;

- a) Proje tekliflendirme,
- b) Parça tasarımı,
- c) Kalıp tasarımı,
- d) Kalıp devreye alma,
- e) Proseste karşılaşılan problemlerin iyileştirilmesi aşamalarında dahil edilebilir.

Burada programın sağladığı yararı arttırmak adına projenin en başından itibaren yazılımın dahil edilmesi önemlidir.

Moldflow'un sahneye çıkışı geciktikçe sorumluluklar ve maliyet artacaktır. Aşağıdaki Şekil 1.11'de





Şekil 1.11. Akış analizi verimlilik akışı

### 1.5. Plastik Enjeksiyon Makinesi

Şekil 1.12’de gibi görseli verilen plastik enjeksiyon makinalarına yapılan yatırımlar plastik sektöründe yaklaşık %22’ye ulaşmıştır [1]. Bu veri plastik enjeksiyon makinelerinin proses açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.12. Plastik enjeksiyon makinesi [10]

Enjeksiyon makinesi temelde 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- 1- Mengene Ünitesi
- 2- Plastikleştirme Ünitesi
- 3- Kontrol Ünitesi
- 4-



### **1.5.1. Mengene ünitesi**

Mengene ünitesinin asıl görevi kalıbı açıp, kapatmaktır. Ayrıca enjeksiyon esnasındaki yüksek basıncın oluşturduğu kuvvet ile kalıbın açılmasını engelleyebilmek için kapama kuvvetini uygulamaktır. Genellikle enjeksiyon makineleri kapama kuvvetine göre isimlendirilirler. Mengene ünitesi yeterli kapama kuvvetini uygulayamaması durumunda kalıbın itici ve enjeksiyon tarafları birbirinden ayrılabilir ve bu durum kalıp ayırım hattından çapak problemi olarak parça üzerinde belirecektir.

### **1.5.2. Plastikleştirme ünitesi**

Plastikleştirme ünitesi makinenin ocak ve vida kısmına verilen isimdir. Plastikleştirme ünitesinin görevi granül halde gelen plastik malzemeyi ısıtarak eriyik hale getirerek dozajlanacak miktarı ayarlamaktır. Granülleri eriyik hale getirebilmek için iki temel ısı kaynağı mevcuttur. Bunlardan ilki ocağın dışındaki ısıtıcı bantlardır. İkincil ısı kaynağı ise vidanın dönüşü esnasında ortaya çıkardığı sürtünme kaynaklı ısıdır. Dolgulu plastiklerde iç sürtünmelerden dolayı ısınmada meydana gelmektedir.

### **1.5.3. Kontrol ünitesi**

Kontrol ünitesi enjeksiyon makinesinin bütün parametrelerinin kontrol edildiği kısımdır. Enjeksiyon makine markalarına göre değişkenlik göstermekle birlikte her markanın temelde amaçladığı en önemli gaye kullanım kolaylığıdır.

### **1.5.4. Makine gövdesi**

Makine gövdesi diğer ünitelerin tamamını üzerinde bulduran konstrüksiyondur. Genellikle çelikten yapılan makine gövdelerinin bir diğer kriteri oturduğu zeminde stabil şekilde durabilmesidir. Makinenin bastığı yüzeyde düzgün bir düzlem üzerinde durmaması riskine karşılık makine gövde konuşlandırılmasında oldukça dikkatli olunması gerekmektedir.

## **1.6. Yardımcı Ekipmanlar**

Plastik enjeksiyon makinesinin tek başına yeterli olmadığı proseslerde yardımcı mlileri:

- Sıcak Yolluk Kontrol Üniteleri
- Kurutucu ve Dozajlayıcı Sistemler
- Şartlandırıcılardır.

### **1.6.1. Sıcak yolluk kontrol üniteleri**

Sıcak yolluk kontrol üniteleri kalıbın içinde bulunan sıcak yolluk sistemindeki manifold ve nozülları ısıtmaya ve belirli bir sıcaklıkta kalmalarını sağlamaktır. Sıcak yolluk kontrol ünitelerinin hassasiyeti oldukça önemlidir. Hassasiyet gereksinimi plastik hammaddenin sıcaklık değişiminde verdiği reaksiyon olan viskozite değişiminden kaynaklanmaktadır. Prosesteki sürdürülebilirliği sağlamak için sıcak yolluk sıcaklığının ve eriyik sıcaklığının sabit kalması oldukça önemlidir.

### **1.6.2. Kurutucu ve dozajlayıcı sistemler**

Kurutucu sistemler nem alma eğiliminde olan plastik hammaddelerin nemini doğru şekilde alıp proseze hazır hale getiren sistemlerdir. İki türü bulunmaktadır. İlki sıcak hava üfleyen, ikinci tür ise kuru hava üfleyen sistemlerdir. Kuru havalı sistemler havanın nemini alarak kurutma yaptığı için oldukça avantajlıdır.

Dozajlayıcı sistemler ise hammaddenin makine hunisine doğru miktarda gönderilmesi için kullanılır. Bazı üretimlerde katkıları doğru oranlarda ekleyebilmek için dozajlayıcı sistemlerde kullanılır.

### **1.6.3. Şartlandırıcılar**

Şartlandırıcılar kalıbın soğutma kanallarına gönderilecek suyun veya yağın belirli bir sıcaklığa ısıtılması ve o sıcaklıkta kalacak şekilde belirli bir debide akışkan gönderen sistemlerdir. Şartlandırıcılar soğutma kanallarındaki basınç kaybına karşılık gelecek olan bir debiyi sağlayabilmektedirler. Bu nedenle şartlandırıcı soğutma kanallarındaki basınç kaybı hesaplanarak seçilmelidir. Günümüzde şartlandırıcılar

#### 1.6.4. Hızlı ısıtma soğutma ünitesi

Hızlı ısıtma soğutma ünitesinin görevi plastik enjeksiyon kalıbını enjeksiyon öncesi ısıtarak plastik hammaddenin camsı geçiş sıcaklığının üzerine taşıyarak dolunun tamamen eriyik olarak gerçekleşmesini sağlamaktır. Ütöleme-Tutma fazının ardından kalıba soğuk su göndererek parçanın soğuyarak kalıptan alınmasını sağlamaktır. Bunu yaparken suyu basınçlandırarak yaklaşık 200°C'ye kadar çıkarmaktadır. Gekko parçasında kalıbın çıkarılacağı sıcaklığın 135°C olması yeterli olacaktır ki bu sıcaklık halihazırda camsı geçiş sıcaklığından daha yukarıdadır.

Ünitenin bu geçişleri hızlı yapabilmesi için bünyesinde sensörler bulundurmaktadır. Sensörlerin görevi sıcak ve soğuk suyun birbirine karışmasını engellemek ve enerjiyi boşa harcamadan hızlı ısıtma soğutma prosesi kullanılabilir durumda kılmaktadır. Contura Gekko adı verilen bu ünite. Bu modellerin ısıtma kapasitesi 18 KW'dan 72 KW'ya kadar çıkabilmektedir. Maksimum 6 bar'da çalışabilen bu cihaz 60 lt/dk debi sağlayabilmektedir. Şekil 1.13'te bu cihazın bir görseli bulunmaktadır.



Şekil 1.13. Hızlı ısıtma soğutma  
c 7]

## 1.7. Hızlı Isıtma Soğutma

Hızlı ısıtma soğutma, enjeksiyon fazı öncesi kalıbın plastiğe temas edecek yüzeyinin hammaddenin camsı geçiş sıcaklığı üzerine getirilerek enjeksiyonun başlamasını sağlayarak ütüleme-tutma fazının sonuna kadar sıcak kalmasını sağlayarak soğutma fazına geçişle birlikte kalıba soğuk su gönderilmesi ilkesine dayanır.

Hızlı ısıtma soğutma aşağıdaki özellikleri sağlamak amacıyla uygulanır.

- Birleşme izlerinin yok edilmesi
- Piyano siyah parlaklığında parça almak
- Daha iyi mekanik özellikler elde etmek
- Çöküntü izlerinin elimine edilmesi
- Daha mat veya parlak olan yüzeyleri proses ile kontrol edebilmek amaçlarıyla uygulanır.

Hızlı ısıtma soğutma prosesini uygulayabilmek için kalıpta konformal soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimin arkasında yatan fiziksel açıklama aşağıdaki formülde de açıkça görüldüğü gibi çeliğin reaksiyon verme süresinin prosese görece düşük olmasıdır. Bu nedenle soğutma kanalının parçaya olan dik uzaklığı bizim ısıtma ve soğutma proses süremizi dramatik şekilde arttırmaktadır. Diğer önemli bir konu ise kalıpta kullanılacak çelik türünün ısı transfer katsayısıdır.

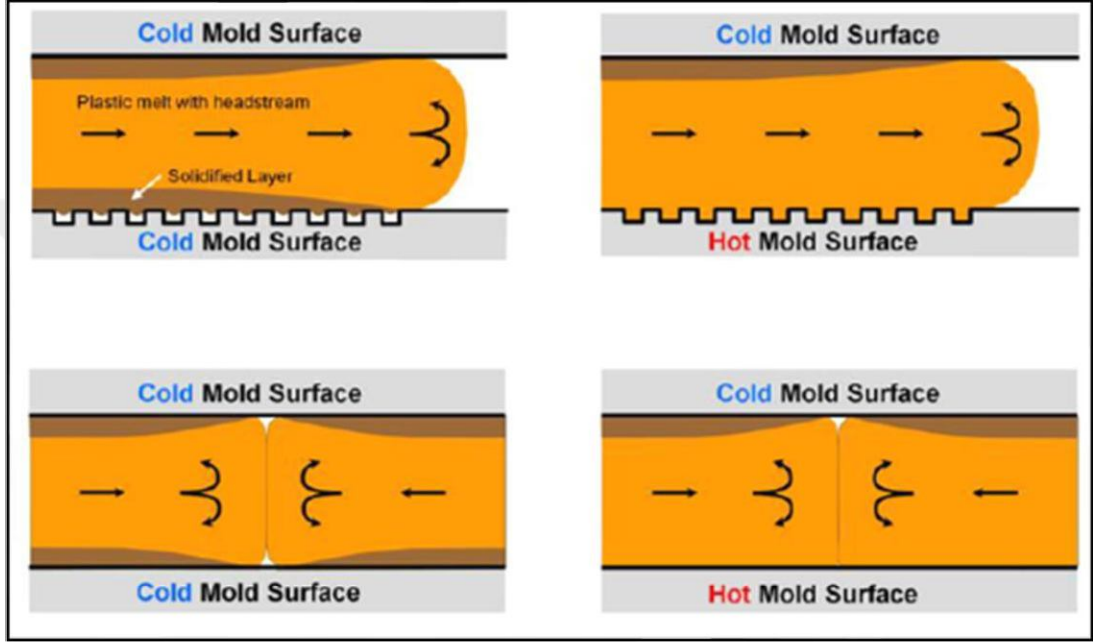
Soğutma kanalının kalıp yüzeyine olan mesafesinin etkisi:

$$\tau_M = \frac{\rho_m \times C_m \times l_m^2}{K_m} \times \left( 1 + \frac{2W \times K_m}{2h \times \pi \times D \times l_m} \right) \quad (1.2)$$

Denklem 1.2 kalıp çeliklerinin tepki verme süresinin formülüdür. Formülde dikkat edilmesi gereken en önemli kısım soğutma kanalının plastik temas eden yüzeye olan mesafesinin karesi ile ilişkili olmasıdır.

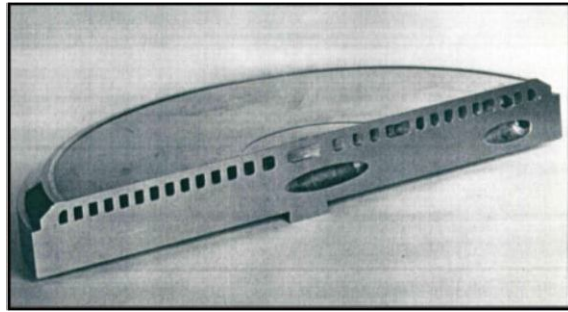
Enjeksiyon prosesinde plastik eriyik kalıba teması ile yüzeyden katılaşmaya başlar. Bu durum yüzeydeki çelik parlaklığının parçanın üzerine tam çıkmasını engellemektedir. Hızlı Isıtma Soğutma ile yüzeyde hiç katılaşma olmadan dolum

Aşağıdaki görüntüde soğuk yüzeye temas eden eriyik plastik ile sıcak yüzeye temas eden eriyik plastiğin akış karakteristiği kıyaslanmıştır. Birleşme izinin yok edilebilmesi tamamen sıcak birleşme ile mümkündür. Diğer taraftan yüzeye yapılmış desenin tamamını parçanın üzerine çıkarabilmek tamamen eriyik olarak doldurmak ile mümkündür. Şekil 1.14’de sıcak ve soğuk kalıp yüzeyine temas eden plastik eriyik malzemenin akış karakteristiği görülmektedir.



Şekil 1.14. Kalıp yüzeyine temas eden eriyik görseli [7]

İlk olarak plaklarda (Şekil 1.15) kullanılan bu teknoloji daha sonra televizyon çerçevelerinde akabinde ise otomotivde geniş alanlara ulaşmıştır.



Şekil 1.15. Plak yapımında kullanılan kalıp  
1 [7]

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın amacına uygun olarak literatür çalışması; plastik enjeksiyon ile parça üretimi ve proses hataları plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilen plastik parçaların akış analizleri, plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilen plastik parçaların soğutma parametrelerine bağlı olarak akış analizleri başlıkları altında incelenmiştir.

### 2.1. Plastik Enjeksiyon ile Parça Üretimi ve Proses Hataları

Enjeksiyon ile Plastik parça üretiminde en verimli yöntemlerden biridir. Bu yöntemde proses hatalarını etkilenen birçok parametre vardır. Hammaddeden gelen hataların dışında makinanın her bir ünitesindeki proses parametresi dikkate alınmalıdır.

Maksims Babenko ve arkadaşları, 2018 yılında mikroenjeksiyon parçalarında polimer ile boşluk arasındaki ısı transfer katsayısını hem deneysel hem de analiz çalışmaları yaparak farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Proseste eriyik, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve tutma basıncı belirgin karakter olmuştur. Bu parametrelerin sonucu olarak yüzey kalitesini incelemişlerdir. Yüzey kalitelerinde belirgin bir farka ulaşmışlardır. Tutma basıncının fazla olduğu deneysel çalışmalarda ısı transferinin arttığı buna karşılık yüzeyin daha iyi bir görsele sahip olduğu saptanmıştır [11].

Xi-Ping Li ve arkadaşları, 2009 yılında yaptıkları çalışmada kalıp gözünün tamamında homojen sıcaklık dağılımı elde etmek için soğutma kanallarının birbiri arasındaki mesafeler odaklanmışlardır. İki kanalın birbiri üzerindeki etkisinin oldukça fazla olduğunu saptadıkları çalışmada hiperküp tasarım adını verdikleri bir yöntem ile deneysel sonuçları yorumlamışlardır. Çalışmada sonucunda optimizasyon [12].

## 2.2. Plastik Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilen Parçaların Akış Analizleri

Plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilecek olan parçalara akış analizi yapmak, proseste birçok parametreyi tahmin etmek ve doğrulamak için avantaj sağlamaktadır. En kısa zamanda en düşük maliyette plastik parçanın kalıplanmasını ve kalıplama sonrası plastik parçadan beklenen özellikleri tahmin etmede çeşitli plastik akış analiz programları kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar literatürde oldukça kısıtlı bir şekilde bulunmaktadır.

Jin Wang ve arkadaşları, 2010 yılında plastik enjeksiyon ile üretilen parçaların elyaf yönelimini araştırmak için birçok çalışma yapmıştır. Bu çalışmada akış analizleri için programı Autodesk Moldflow'u kullanmışlardır. Kullanılan mesh türü sonuçlarda farklılıklar yaratmıştır. Elyaf için yapılan analizlerde merkezden geçen bir plaka ile yapılan mesh yapısı iki modelde de (ARD ve RSC) uygun sonuçlar verirken, kısa cam elyaf için yapılan 3D mesh ile oluşturulmuş analizde RSC metodu kullanıldığında daha uygun sonuçlar verdiği görüşmüştür [13].

J. Koszkul ve arkadaşları, 2010 yılında Moldflow'u kullanarak farklı matematiksel modellerin viskozite sonuçlarının kıyaslamaktadır. Sayısal olarak farkların ortaya koyulduğu bu çalışma farklı matematik modellerinin farklı parçalar için daha uygun olabileceğini ortaya koymuştur [14].

Eskil Andreasson ve arkadaşları, 2013 yılında hem Moldflow'u hem de mekanik analiz programı olan Abaqus ile analizler yapmışlardır. Moldflow'da proses edilen parçanın Abaqus'e aktarılırken proses özelliklerini ve oryantasyonu aktararak bir mekanik analiz yapılmasını amaçlamışlardır. Bu çalışma son dönemde mekanik analizlerin gerçekten uzaklaşmasının neden olduğunu da ortaya koymak için yapılan bir çalışmadır. Diğer taraftan aynı çalışmada deneysel olarak makro ve mikro yapıları da incelemişlerdir. Yapılan kademeli analizler ile deneysel sonuçlar örtüşmektedir. Bu nedenle plastik enjeksiyon kalıpları için yapılacak mekanik analizlerde yapılması gereken ilk olarak Moldflow analizi yapılarak parçanın geometrisine proses özelliklerinin eklenerek [15].

### **2.3. Plastik Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilen Parçaların Soğutma Parametrelerine Bağlı Akış Analizleri**

Plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilen plastik parçaların soğutma prosesi, parçanın geometrisini, malzeme akışını, parçanın kozmetik özelliklerini, maliyetini ve çarpılma durumunu etkilemektedir. Enjeksiyondaki üretim parametrelerinin de dahil edildiği kalıp soğutma prosesi ile ilgili birkaç çalışma aşağıda verilmiştir.

Donggang ve arkadaşı, 2007 yılında ince cidarlı parçalar için akış yolunu uzatabilmek için hızlı ısıtma prosesinden yararlanmışlardır. Analiz sonuçları enjeksiyon hızı artmasına rağmen gereken enjeksiyon basıncında düşüş gözlenmiştir. Polikarbonat numunelerde uygulanan bu çalışmalar iki farklı kalınlık seviyesi ve iki farklı enjeksiyon hızı için yapılmıştır. Her çalışma sonucunda da benzer verilere rastlanmıştır ve kullanılan bu prosesin oldukça avantajlı olduğu ortaya koymuşlardır [16].

Ming-Chang Jeng ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada yine televizyon çerçevesi parçası üzerine yoğunlaşmışlardır. Yaptıkları çalışmada iki farklı ısıtma kaynağının karşılaştırılmasını yapmışlardır. Buhar ile ısıtmanın devreye alma esnasında daha seri çalıştığını bulmalarının yanı sıra parçanın sertlik değerinin buhar kullanıldığında daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ürün kalitesi konusuna da değinen grup buharlı ısıtmanın bu alanda da daha başarılı olduğunu açıklamışlardır [17].

Tiomela Fouodji Cedric ve arkadaşı, 2019 yılında otomobillerde kullanılan far yuvası araştırmışlardır. Çevrimdeki soğutma süresi mevcut proseslerinde toplam çevrimin %70'ini alması nedeniyle bu çalışmayı yapmışlardır. Toplamda dört farklı soğutma kanal tasarımının analizlerini yaparak karşılaştırma yapılmıştır. Konformal soğutma uygulanan analizde süre 61,22 saniye seviyesine inmesi ile en iyi sonuç olduğu saptanmıştır. Çevrim zamanı iyileştirme başarısının yanında hacimsel çekmeye bağlı çarpılma 2,15 mm'den 2,12 mm'ye düşmüştür. Bu durumda hem teknik olarak hem de ticari olarak en iyi sonucun konformal soğutma uygulanması olarak [18].



Yan-Chen Chiou ve arkadaşları, 2011 yılında yaptıkları çalışmada hızlı ısıtma soğutma prosesini optimize ederek kalıbın çevrim süresinin düşülebileceğini hedeflemişlerdir. Bu çalışma esnasında kalıpta aynı zamanda sensor kullanılmıştır. Eriyik sıcaklığı 225°C olarak kullanılmıştır. Kalıptan çıkma sıcaklığı için 110°C kullanılmıştır. Kalıba gönderilen suyun sıcaklıkları arasında 75°C'lik bir farkla 100°C ve 25°C'ye ayarlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda sensor ile okunan değerler yardımıyla gereksiz yere ısıtılan kısımların elimine edilmesi ile verimlilik artışı sağlanmıştır [19].

Wang ve arkadaşları, 2009 yılında hızlı ısıtma soğutma çalışmasını buhar ile yapmışlardır. Çalışmada televizyon çerçevesi parçası kullanılmıştır. Kalıp bu çalışmada da soğutma kanallarına odaklanarak tasarım yapılmıştır. Hızlı ısıtma soğutma prosesi bu çalışmada da tutma fazının sonuna kadar ısıtma için kullanılmıştır. Analizler ile desteklenen bu çalışmada birleşme izi yok edilmiştir. Aynı zamanda parça yüzeyinde parlaklık artmıştır. Bu çalışmada sadece buhar ile yapılan hızlı ısıtma soğutma çalışmasında tek araştırma konusu parlaklık artışı ve birleşme izleri ile hızlı ısıtma soğutma prosesinin ilişkisidir [20].

Pei-Chi Chang ve arkadaşı, 2006 yılında yaptıkları çalışmada induksiyon ısıtma yöntemi ile hızlı ısıtma soğutma prosesi uygulamışlardır. Bu çalışmada yine kalıp yüzey sıcaklığındaki değişimin analiz çalışması ile gözlemeye ANSYS programı çalışmışlardır. Analizlerde 2 farklı türde küçük parçalara bölünerek analiz edilen parçalardan 2D analizler yerine 3D analizlerin gerçeği çok daha iyi yansıttığı gözlenmiştir [21].

Wang ve arkadaşları, 2010 yılında soğutma kanallarında yapılacak optimizasyon yaparak hızlı ısıtma soğutma prosesinin iyileştirmesi için çalışma yapmışlardır. Soğutma kanallarındaki çaplar ve kanalları parça geometrisine mesafesi özenle seçilerek tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar metoduna göre sıcaklık ve mekanik analizler yapmışlardır. Farklı matematiksel modellerin kullanıldığı bu analizlerde soğutma geometrisinin hızlı ısıtma soğutma prosesinde ciddi anlamda etkili olduğu ortaya koyulmuştur [22].

Wang ve arkadaşları, 2014 yılında yaptıkları çalışmada yeni bir hızlı ısıtma soğutma

bir model üzerine odaklanmışlardır. Fakat ana parça olarak bir LCD televizyonun çerçeve parçası seçerek uygulamalar yapmışlardır. Yapılan analizler ile birlikte yeni soğutma tasarımları ile kalıp yüzeyindeki sıcaklık geçişini olabildiğince hızlı yapılabildiği tespit edilmiştir. Sadece analiz ile kalmayıp parça için deneysel olarak üretimler yapmışlardır. LCD televizyonu çerçevesi için yapılan yaklaşık 60 saniyelik bir çevrimde yüzey kalitesi 90 Gu üzerine çıkabildiği gözlenmiştir. Bu sonuç soğutma kanallarının öneminin hem enerji tüketiminde hem de su tüketiminde önemli ölçüde değişebileceğini göstermiştir. Çalışmaya oldukça değer bir konu olan enerji verimliliği artışı [23].



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Plastik Parça

Çalışmada kullanılan parçanın ismi Gekko parçasıdır. Özel bir anlamı olan Gekko aslında, Avrupa'da yaygın olarak kullanılan bir evcil hayvan türüdür. Gekko hayvanının en önemli özelliği ortamın sıcaklığına göre renk değiştirmesidir. Ülkemizde bu türdeki hayvanlardan en bilineni Bukelamun'dur.

prosesinde desenlerinde, renk skalasında ve parlaklığında farklılık gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Parçanın görseli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.1).

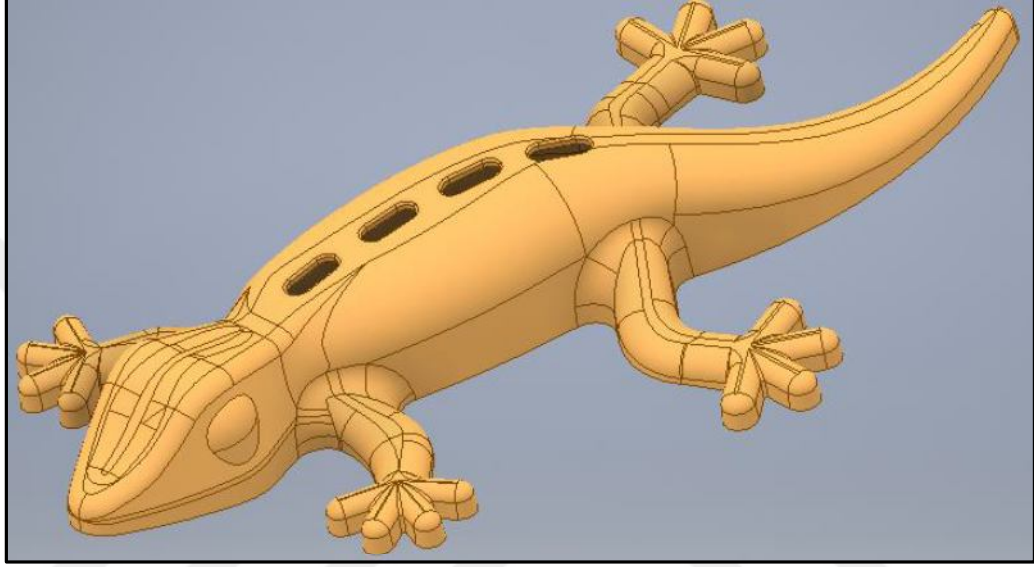


Şekil 3.1. Gekko parçasının görseli

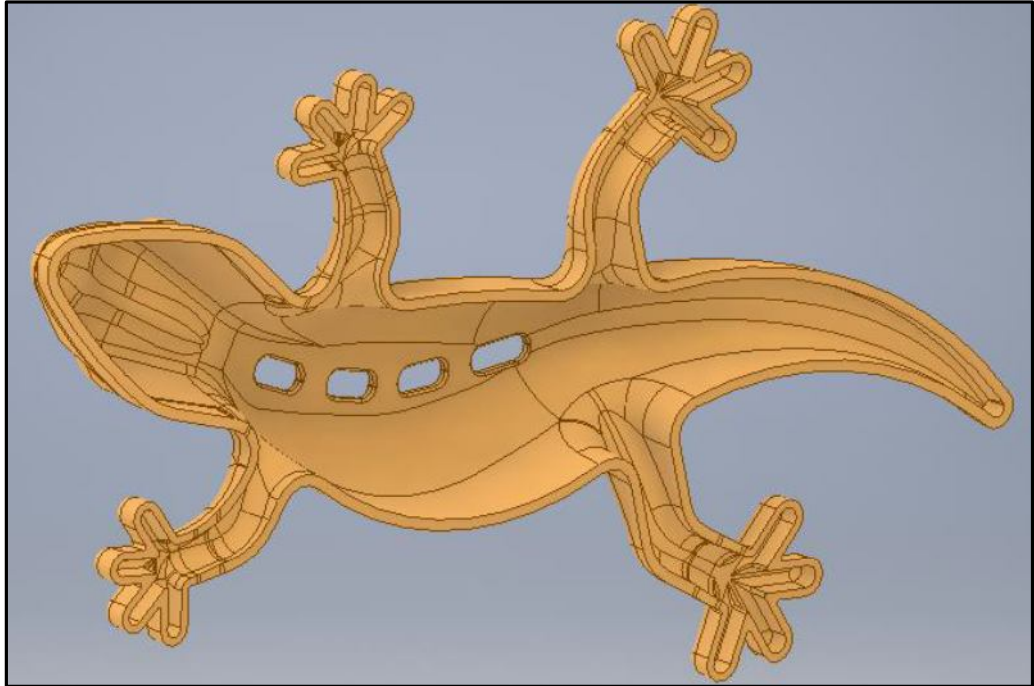
Parçanın üzerinde belirli kısımlar desen, göz bölgesinde parlak bir yüzey ve sırt bölgesinde delikler mevcuttur. Aslında her bir kısmın hızlı ısıtma soğutma prosesinin etkisi için tasarlanması görselleştirmek açısından önem arz etmektedir. Bu bölümlerde desen kısmı hızlı ısıtma soğutma ile daha parlak veya daha mat çıkmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Göz bölgesindeki parlaklık hızlı ısıtma soğutmanın parlaklık farkını görselleştirebilmek için kullanılmıştır. Sırt kısmındaki delikler birleşme izlerinin yok edilebilir

### 3.2. Plastik Parçanın Katı Modeli

Parçanın yaklaşık uzunluğu 220 mm'dir. Et kalınlığı 2,4 mm ile 1,5 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Eni yaklaşık 120 mm'dir. Datanın sırt kısmındaki boşlukların 13 mm uzunluğunda 6 mm uzunluğundadır. Aşağıdaki şekilde parçanın katı model görseli Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de mevcuttur.



Şekil 3.2. Gekko parçasının katı modeli görseli (üst görünüş)



Şekil 3.3. Gekko parçasının katı modeli görseli (alt g

### 3.3. Plastik Parçanın Hammaddesi

Plastik parçanın hammaddesi LG Chem firmasının Lupoy HR5007A ticari isimli PC/ABS Blend hammaddesidir. Bu malzemenin en çok kullanım alanı bulunduğu yerler görsel beklentisi yüksek olan parçalardır. Diğer taraftan karışımın içinde PC bulunması parçanın mukavemetini arttırmaktadır. Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te hammadde sertifikasının bilgilerinin bulunduğu tablolarıdır.

Tablo 3.1. Malzeme bilgileri

Özellikler	Test Koşulları	Test Metodu	Birim	Değer
<b>Fiziksel</b>				
Özgül Ağırlık		ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1.13
Kalıp Çekmesi (Akış), 3.2mm		LG Metot	%	0.5-0.8
Eriyik Akış İndeksi	250°C/2.16kg	ISO 1133	g/10dk	5.3
Eriyik Akış İndeksi	260°C/5.0kg	ISO 1133	g/10dk	21

Tablo 3.2. Malzemenin mekanik özellikleri

Özellikler	Test Koşulları	Test Metodu	Birim	Değer
Çekme Mukavemeti		ISO 527		
@ Akma	1mm/dk		MPa	2,200
Çekme Mukavemeti		ISO 527		
@ Akma	50mm/dk		MPa	54
Çekme Gerinimi		ISO 527		
@ Kopma	50mm/dk		%	>100
Eğilme Mukavemeti	2mm/dk	ISO 178	MPa	84
Eğilme Katsayısı	2mm/dk	ISO 178	MPa	2,200
Çentik darbe dayanımı	23°C	ISO 179	kJ/m	NB
	-30°C		kJ/m	NB
Çentik darbe dayanımı (Çentikli)	23°C	ISO 179	kJ/m	52
	-30°C		kJ/m <sup>2</sup>	22
IZOD Darbe Dayanımı Strength, 4.0mm	23°C	ISO 180	kJ/m <sup>2</sup>	46
(Çentikli)	-30°C		kJ/m	22

Tablo 3.3. Malzemenin termal özellikleri

Özellikler	Test Koşulları	Test Metodu	Birim	Değer
Isıl Sapma Sıcaklığı, 4.0mm	1.8MPa	ISO 75	°C	109
(Tavlınmamış, yatay onumda çekme)	0.45MPa		°C	
Vicat Yumuşama Sıcaklığı	50N, 50°C/saat	ISO 306	°C	128
Doğrusal Isıl Genleşme Katsayısı				
Akış		ISO 11359-2	$\frac{10^{-5}m}{m}^{\circ}C$	7.7E-05
Akışa Dik Yönde			$\frac{10^{-5}m}{m}^{\circ}C$	8.3E-05
Yanmazlık		UL94	Kalınlık	
HB			mm	1.6, 3.0
Bağıl Sıcaklık İndeksi		UL 746B		
Elektriksel			°C	60
Darbeli Mekanik			°C	60
Darbesiz Mekanik			°C	60

Tablo 3.4. Malzemenin proses parametreleri

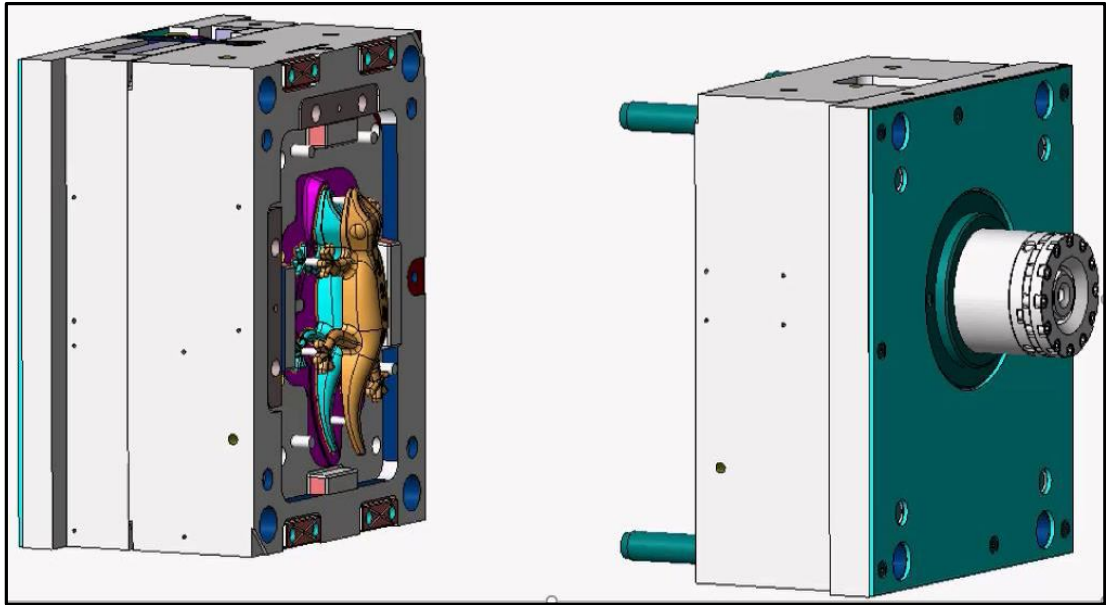
		Birim	Değer
Kurutma Sıcaklığı		°C	80 ~ 100
Kurutma Süresi		Saat	4 ~ 6
Maksimum Nemlilik İçeriği		%	0.02
Eriyik Sıcaklığı		°C	250 ~ 275
Ocak Sıcaklığı	Arka	°C	240 ~ 270
	Orta	°C	245 ~ 275
	Ön	°C	245 ~ 275
Nozül Sıcaklığı		°C	245 ~ 275
Kalıp Sıcaklığı		°C	50 ~ 70
Geri Basınç		kg/cm <sup>2</sup>	10 ~ 40
Vida Dönme hızı		rpm	40 ~

Plastik hammaddenin Erime Akış İndeksi (Melt Flow Index-MFI) değeri 250°C / 2,16 kg test şartlarında ISO 1133 test metodu ile yapılan ölçümde 5.3 gr/10 dk gelmiştir. Ayrıca Erime Akış İndeksi 260°C / 5 kg test şartlarında ISO 1133 test metodu ile yapılan ölçümde 21 gr/10 dk gelmiştir. Bu değerler ile yola çıkarak hammaddenin viskozitesi sıcaklık ve basınç değişimine dramatik şekilde reaksiyon vermektedir. Aslında bu veri kalıp sıcaklığının da eriyik sıcaklığının da artırılmasının parçanın yüzey kalitesine etkisini göstermektedir. MFI değeri tam anlamıyla enjeksiyon prosesini tanımlamasa bile yukarıdaki veriler öngörude bulunabilmek açısından önemlidir.

Vicat Yumuşama Sıcaklığı 128 °C olması hızlı ısıtma soğutma prosesinin uygulanması esnasında 128 °C'nin üzerindeki bir kalıp sıcaklığı kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle proseste 135 °C seçilecektir.

### 3.4. Plastik Parçanın Enjeksiyon Kalıbı

Gekko parçasının kalıbı tek gözlü bir kalıptır. Kalıbın katı modeli ve gerçek görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Neredeyse bütün plastik enjeksiyon kalıplarında olduğu gibi bu kalıpta da bir enjeksiyon tarafı bir itici tarafı mevcuttur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Gekko kalıbı g



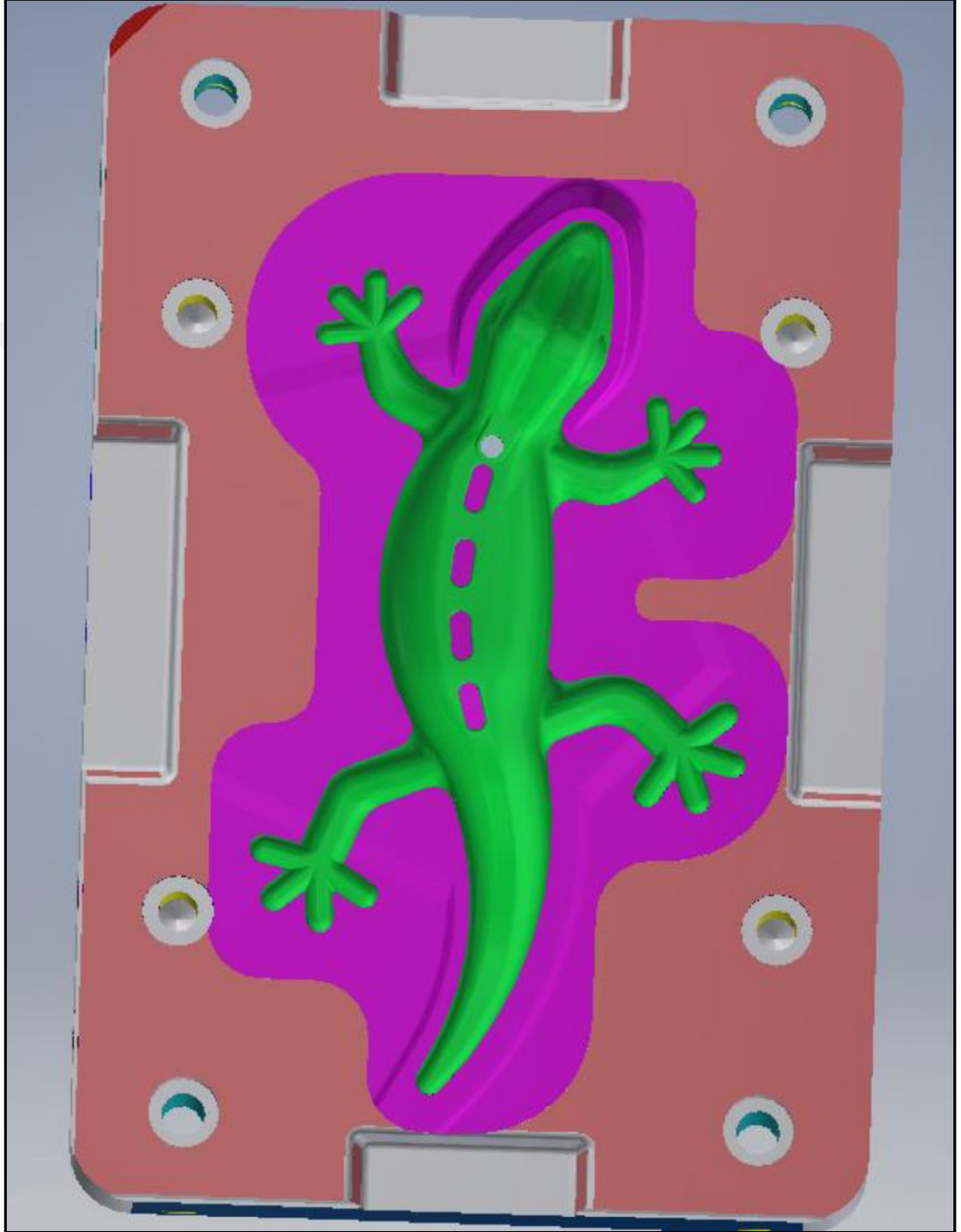
Kalıbın iki kısmı yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Enjeksiyon tarafında normal kalıpların dışında kalıbın dışına doğru sıcak yolluk sisteminin çıkıntısı bulunmaktadır. Bunun nedeni kalıpta valfli sıcak yolluk kullanılmaktadır. Sol kısımda görünün izolasyon plakası özellikle hızlı ısıtma soğutma prosesindeki ısıyı koruyabilmek için kullanılmıştır. Görselde hem kalıbın iki tarafı hem de parçanın kendisi görselleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı g



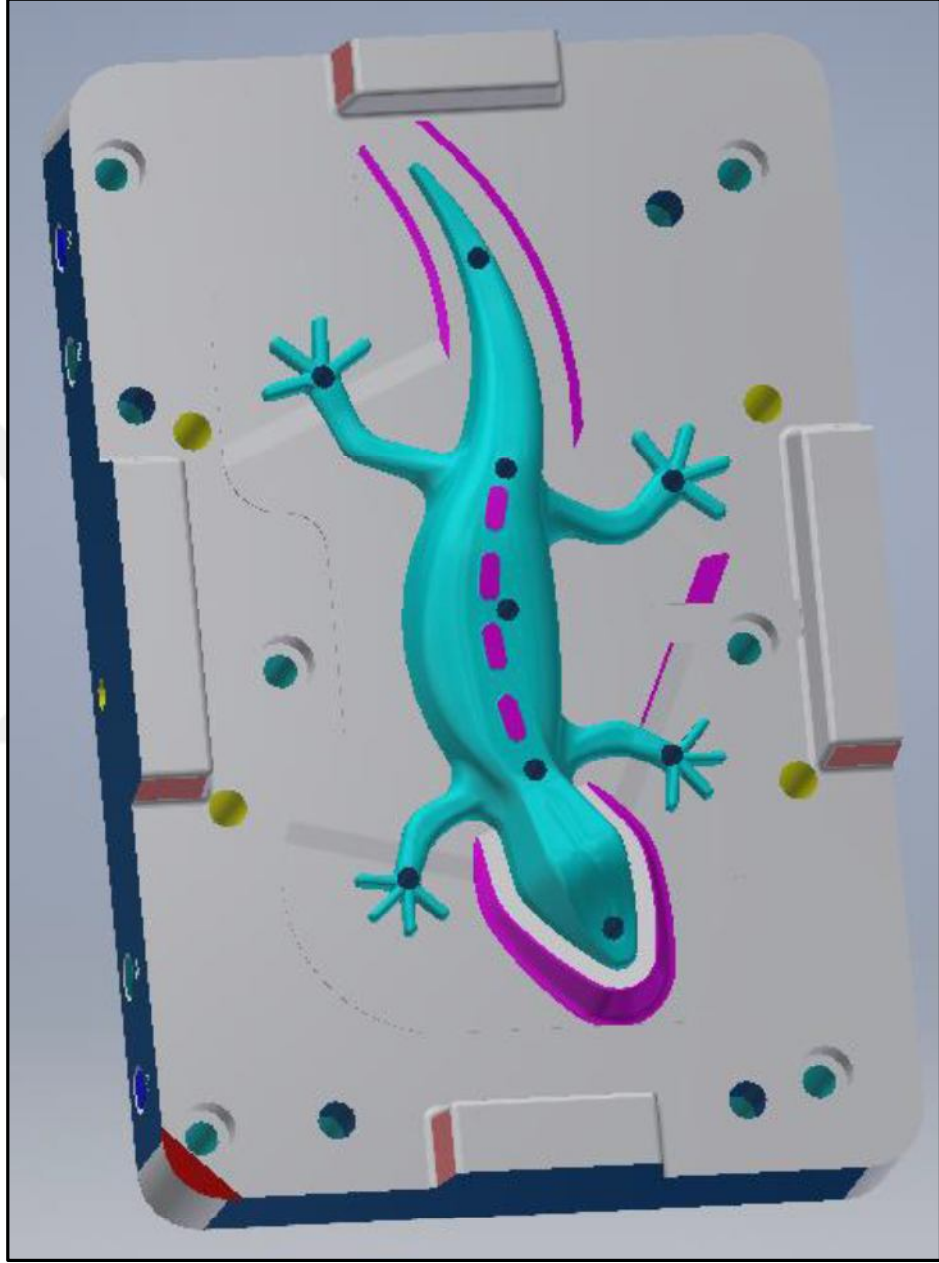
Enjeksiyon tarafında sıcak yolluk sistemi ve parçanın dişi geometrisini çıkaracak figürler bulunmaktadır. Gekko parçası özelinde enjeksiyon noktasındaki soğutma kanalları hızlı ısıtma soğutma prosesine uygun şekilde tasarlanmıştır (şekil 3.6).



şekil 3.6. Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı gorseli

İtici tarafta ise Gekko parçasının ellerinin ortasında kuyruk kısmında sırt kısmında ve

dağılımı ile itmelidir. Diğer taraftan parçanın girintili kısmının itici tarafında olması bu bölgedeki soğutma kanallarının yine konformal soğutmaya ve hızlı ısıtma soğutmaya uygun tasarlanmıştır (Şekil 3.7, Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Gekko kalıbı itici tarafı g



Şekil 3.8. Gekko kalıbı itici tarafı görseli

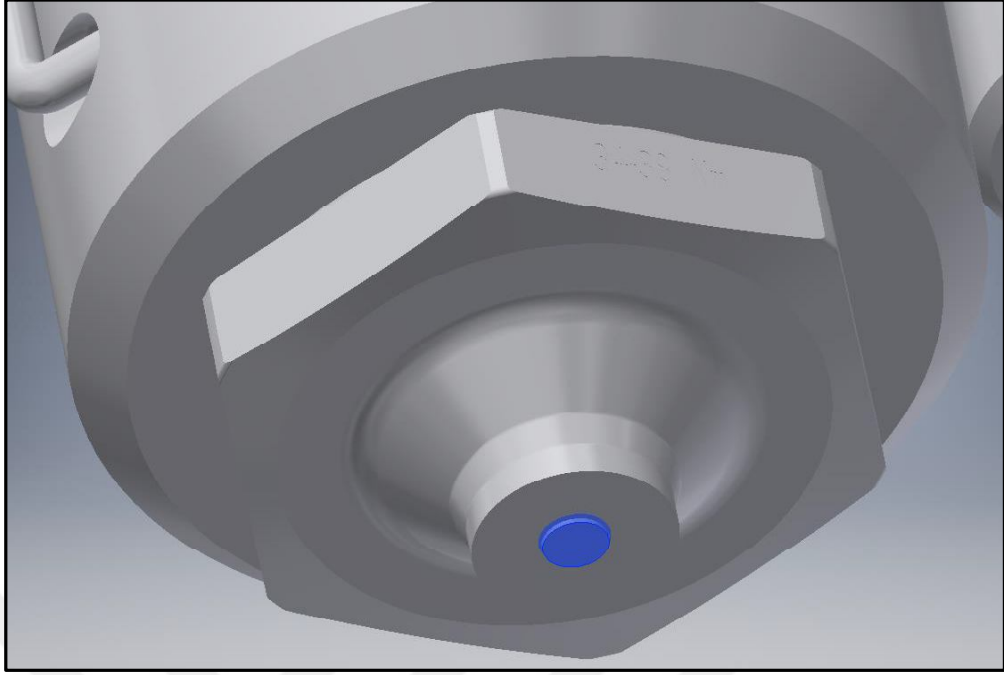
Gekko parçasının kalıbında birçok önemli noktası vardır. Bunlardan ilki sistemidir.



Şekil 3.9. Gekko kalıbı sıcak yolluk sistemi görseli

Sıcak yolluk sistemi olarak kalıpta Moldmasters marka sıcak yolluk kullanılmıştır. Tek gözlü valfli nozül sistemdir. Sistem içinde bulunan iğne sayesinde enjeksiyon, tutma-ütüleme fazı bitince sıcak yolluğun ucunu kapatabilme yeteneğine sahiptir. Bu sayede ipliklenme probleminin önüne geçmekle kalmayıp aynı zamanda tutma-ütüleme fazı için kontrolü yapabilir kılmaktadır. Sistemin gövdesinin büyük olmasının sebebi içerisindeki pin tahrik sistemidir. Pin hava ile tahrik edilmektedir. Pnömatik sistem olarak adlandırılan bu tahrik sisteminin tepkime hızı yüksek ve oldukça temiz bir yöntemdir. Diğer bir seçenek ise hidrolik bir sistemle tahrik etmektir. Bu tip tahrik sistemi yağ kullanımından ötürü temiz bir yöntem değildir.

Yukarıdaki Şekil 3.9'da Sıcak yolluk sistemi bütün olarak gösterilmektedir. Aşağıda bulunan Şekil 3.10'da



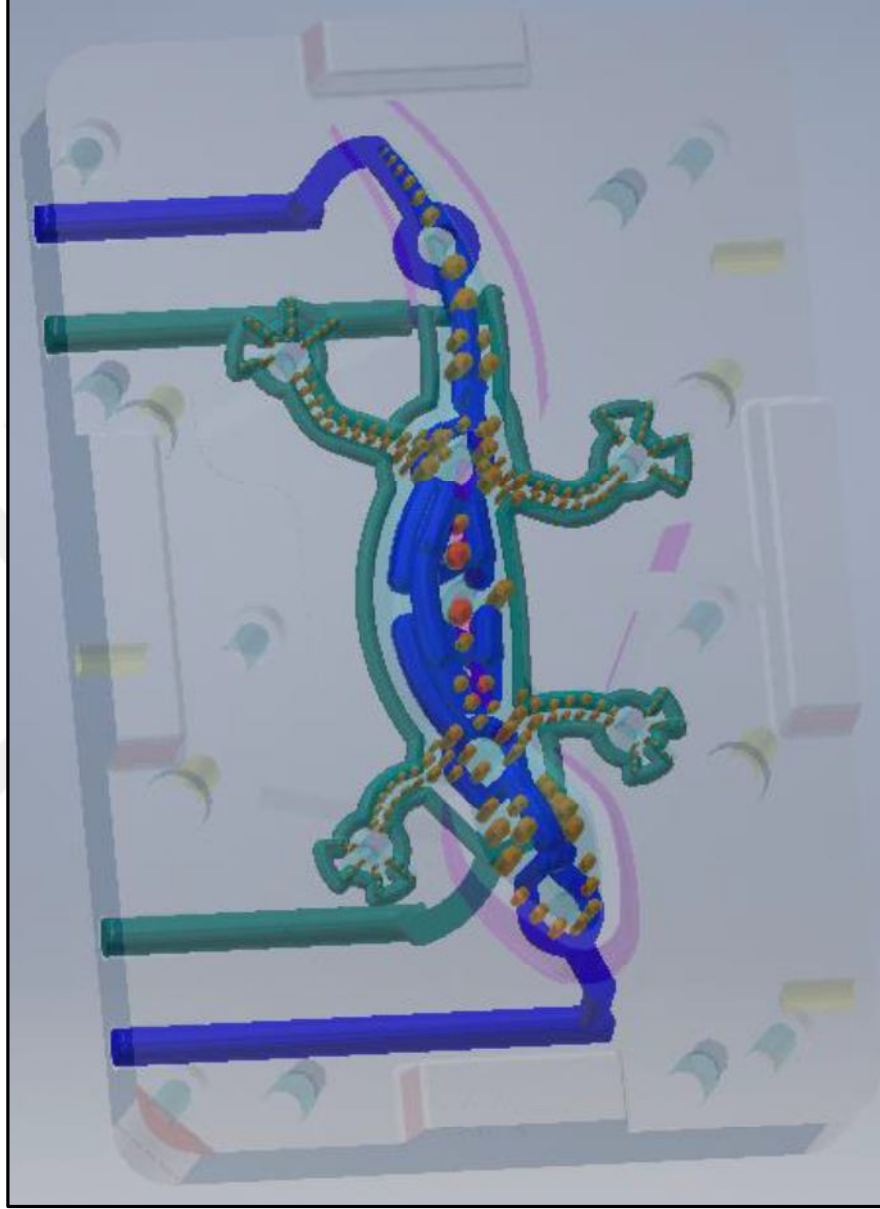
Şekil 3.10. Gekko kalıbı sıcak yolluk iğnesi görseli

Kalıbın bir diğer önemli parçası soğutma kanallarıdır. Soğutma kanalları bir enjeksiyon kalıbının olmazsa olmazıdır. Görevi ise plastik parçanın dolumu esnasında eriyiğin temas edeceği yüzeyi stabil sıcaklıkta tutmak akabinde ise plastik malzemenin camsı geçiş sıcaklığının altına getirerek parçanın kalıptan çıkmasını sağlamaktır.

Konvansiyonel bir plastik enjeksiyon kalıbında soğutma kanalları düz deliklerin birbirine bağlanması ile yapılırken Gekko kalıbında soğutma kanalları özel bir metot ile açılmıştır. Yukarıdaki şekilde gösterilen soğutma kanalları düz deliklerden oluşmamaktadır. Gekko kalıbının soğutma tasarımındaki temel amaç parça geometrisini takip edecek soğutma kanalları tasarlamaktır. Yeterince yakın mesafeye yaklaşamadığı durumda saflığı çok yüksek olan bakır alaşımı ile ısı transfer katsayısını artırarak bölgedeki ısıyı suya transferi amaçlanmıştır. Bakırın iletkenliği kalıp çeliklerine göre oldukça yüksektir. Bu nedenle ısıyı daha iyi transfer etmektedir. Fakat dikkat edilmesi gereken bir nokta da ısı kapasitesidir. Isı kapasitesi bakırlarda kalıp çeliğine göre fazladır. Isı kapasitesinin fazlalığı plastik hammaddeden alınan ısının bakır üzerinde kalabileceğini göstermektedir. Bu noktada bakır pimlerin suya temas etmeleri oldukça önemlidir. Teması sağlayabilmek için tasarımın bazı bölümlerindeki bakır pim

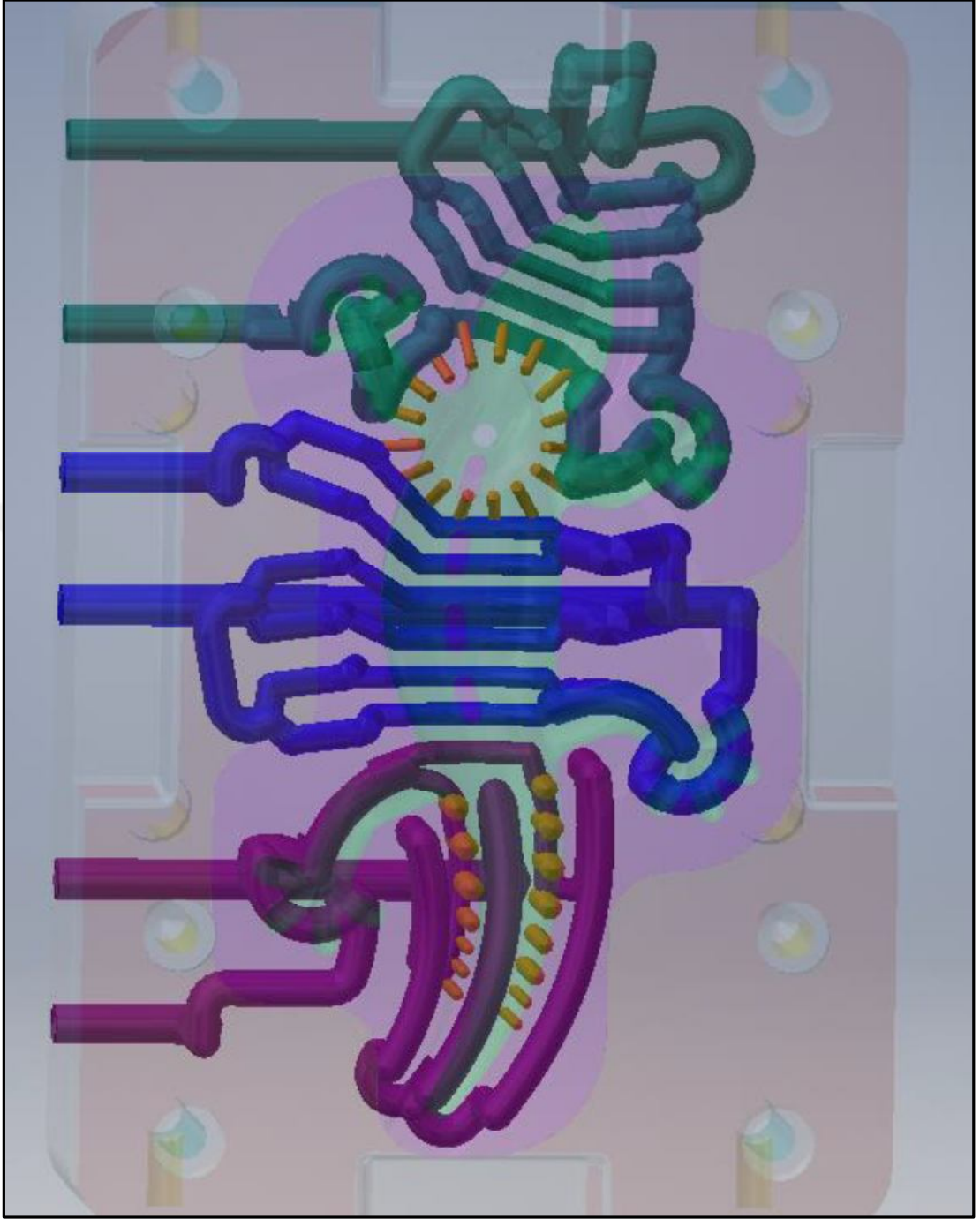


etmektedir. Gekko kalıbı tasarımında ısı kapasitesi ve ısı transferi dikkate alınarak tasarımlar dondurulmuştur.



Şekil 3.11. Gekko kalıbı itici tarafı soğutma kanalları görseli

bakılarak tahmin edilebilecek kadar belirgin bir şekilde tasarlanmıştır. Su giriş çıkışları ana çekirdeklerin yan kısımlarından sağlanmıştır .



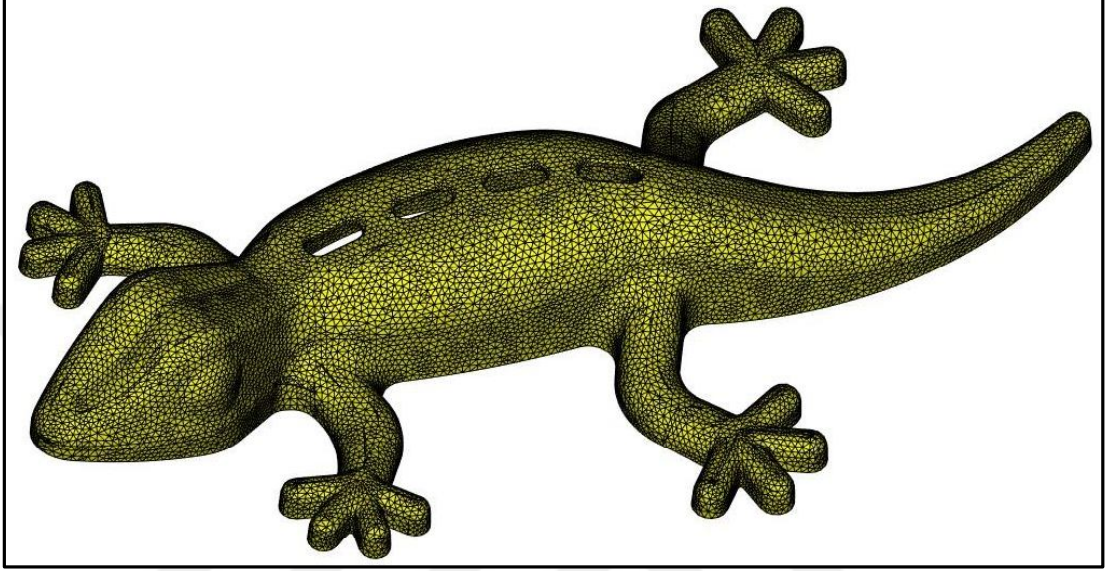
Şekil 3.12. Gekko kalıbı enjeksiyon tarafı soğutma kanalları görseli

Kalıbın enjeksiyon kısmında birbirinden bağımsız kontrol edilebilecek 3 farklı kanal tasarımı uygulanmıştır. (Şekil 3.12) Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise enjeksiyon noktasının etrafındaki soğutma yapısıdır. Bu bölgede çokça bakır kullanılmıştır. Bakır kullanımının fazla olmasının nedeni bölgedeki katı hacim payını düşürmeden soğutmayı efektif yapmaktır. Yine enjeksiyon tarafında su giriş çıkışları

### 3.5. Moldflow Analizi

#### 3.5.1. Plastik parçanın moldflow analizi

##### 3.5.1.1. Modelleme



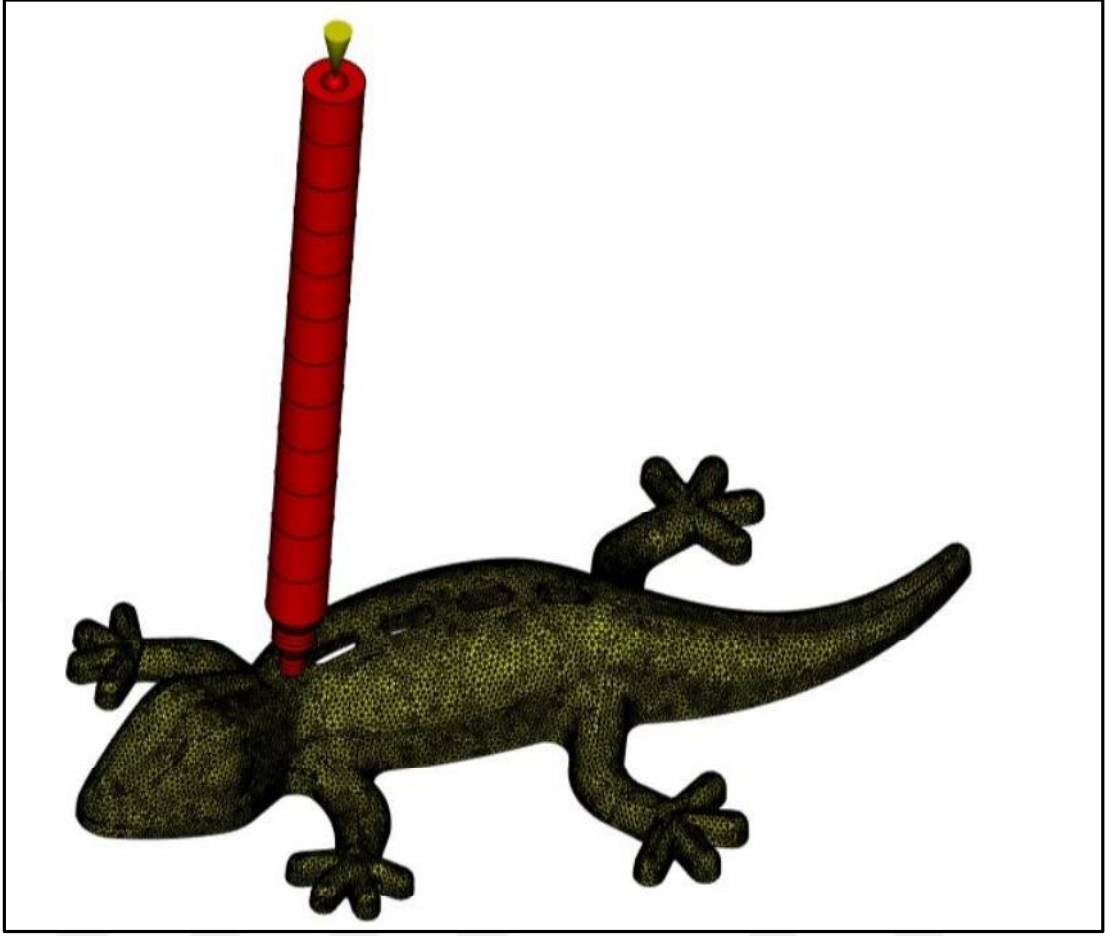
Şekil 3.13. Gekko parçası analize hazır modeli

Sıcak yolluk ile direkt parça üzerine dolacak şekilde tasarlanmıştır. (Şekil 3.13) Yolluk Modellememizi BEAM elemanları ile tamamlanmıştır. BEAM modelleme Autodesk Moldflow'un içinde yer alan ve soğutma kanalları ve yollukları modellemede bize yardımcı olan modelleme araçlarıdır. Bilindiği üzere Moldflow'un içerisinde 3 tip mesh mevcuttur:

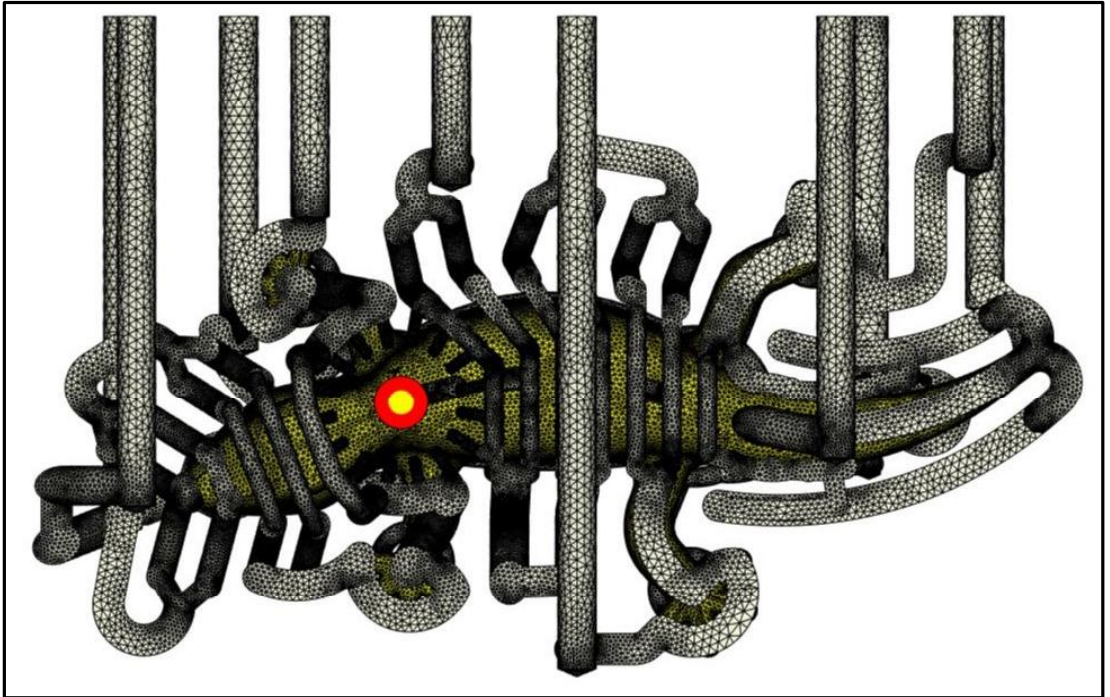
- i. Midplane
- ii. Dualdomain
- iii. 3D

Biz bu parçada 3D mesh tipi kullanılmıştır. Mesh tipi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar çerçevesinde 3D mesh tipi seçilmiştir. Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 parçanın hem yollukla modellenmiş hem de soğutma kanalları ile eri mevcuttur.



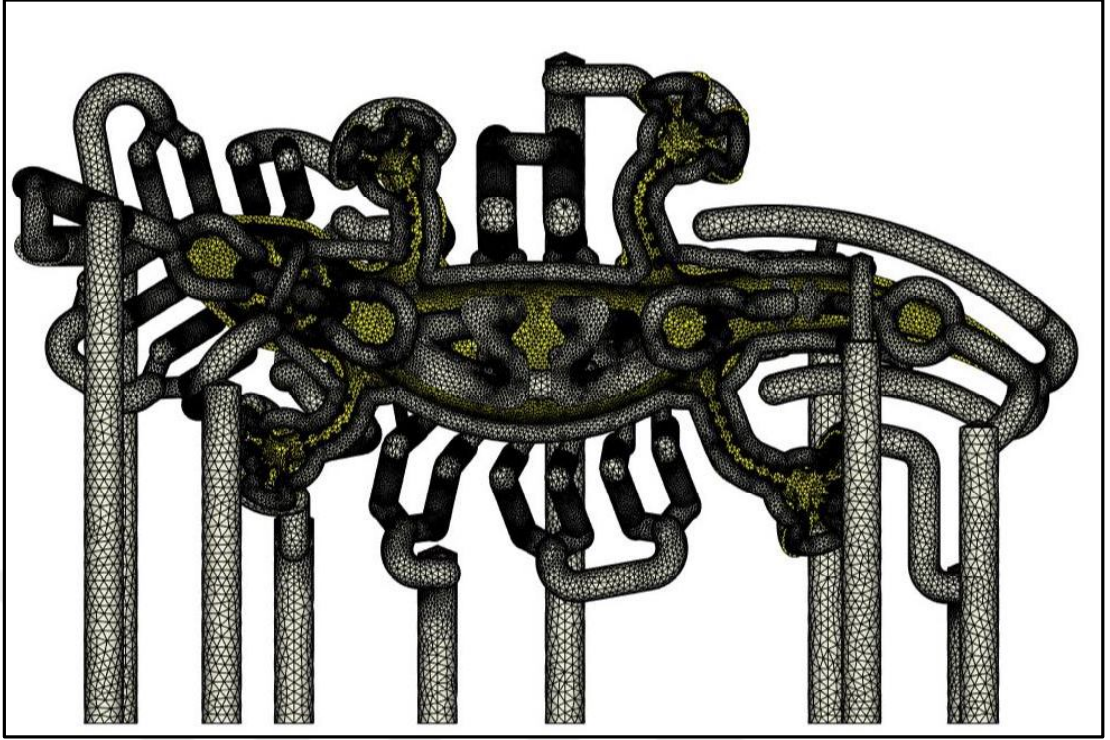


Şekil 3.14. Gekko parçası ve yolluk analize hazır modeli



Şekil 3.15. Gekko parçası ve soğutma kanalla

odeli 1



Şekil 3.16. Gekko Parçası ve soğutma kanalları analize hazır modeli 2

### 3.5.1.2. Mesh değerleri:

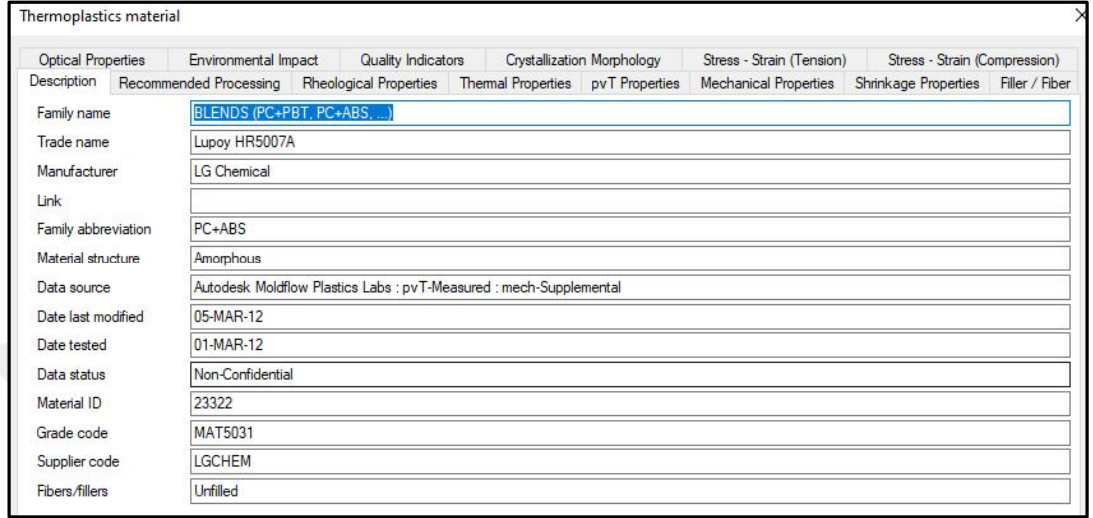
3D Mesh yapısında en önemli kriter AR'nun 100 değerinin altında olması önemlidir. Yapılan analizde bu değer 98.68'dir. AR değeri bize analiz sonuçlarının doğruluğu hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3.17'de görüldüğü üzere analize uygun değerler analiz sonuçlarının doğruluğunu teyit eder niteliktedir.

Mesh Information			
Tetrahedras			
-----			
Entity counts:			
Tetrahedra			825692
Connected nodes			151520
Connectivity regions			1
Volume by element types:			
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Tetra:			32.9748 cm <sup>3</sup>
Total:			56.2307 cm <sup>3</sup>
Volume by components:			
Cavity:			32.9748 cm <sup>3</sup>
Inserts:			0 cm <sup>3</sup>
Mold blocks:			0 cm <sup>3</sup>
Aspect ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
98.68	6.67	1.20	
Maximum dihedral angle: 176.5			

Şekil 3.17. Mesh d

### 3.5.1.3. Akış analizindeki hammadde bilgisi

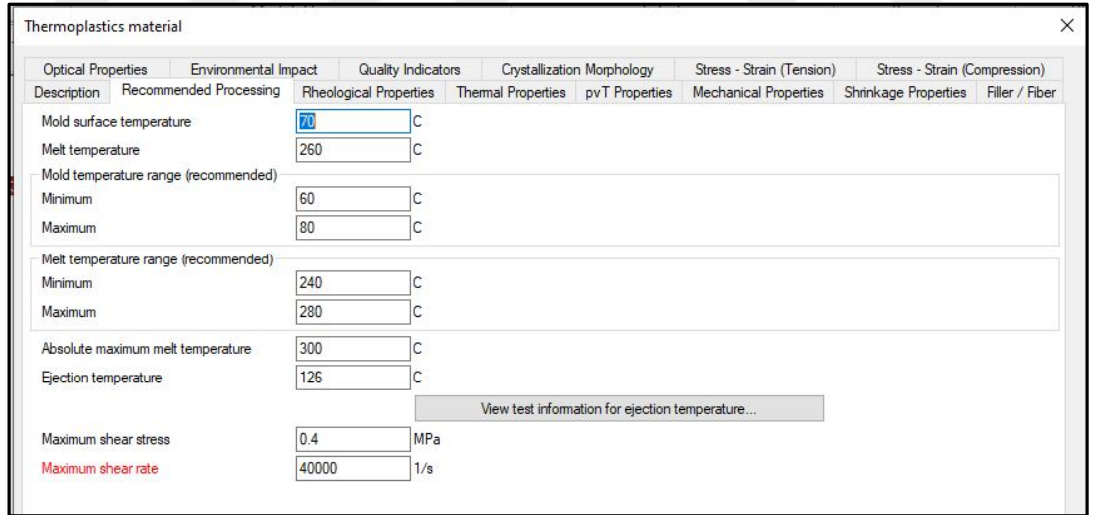
Belirlenen hammadde bilgisinin Moldflow Analiz programında tanımlanmış genel bilgileri Şekil 3.18’ de verilmiştir.



Optical Properties	Environmental Impact	Quality Indicators	Crystallization Morphology	Stress - Strain (Tension)	Stress - Strain (Compression)		
Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties	pvT Properties	Mechanical Properties	Shrinkage Properties	Filler / Fiber
Family name	BLENDS (PC+PBT, PC+ABS, ...)						
Trade name	Lupoy HR5007A						
Manufacturer	LG Chemical						
Link							
Family abbreviation	PC+ABS						
Material structure	Amorphous						
Data source	Autodesk Moldflow Plastics Labs : pvT-Measured : mech-Supplemental						
Date last modified	05-MAR-12						
Date tested	01-MAR-12						
Data status	Non-Confidential						
Material ID	23322						
Grade code	MAT5031						
Supplier code	LGCHEM						
Fibers/fillers	Unfilled						

Şekil 3.18. Moldflow'daki hammadde bilgisi

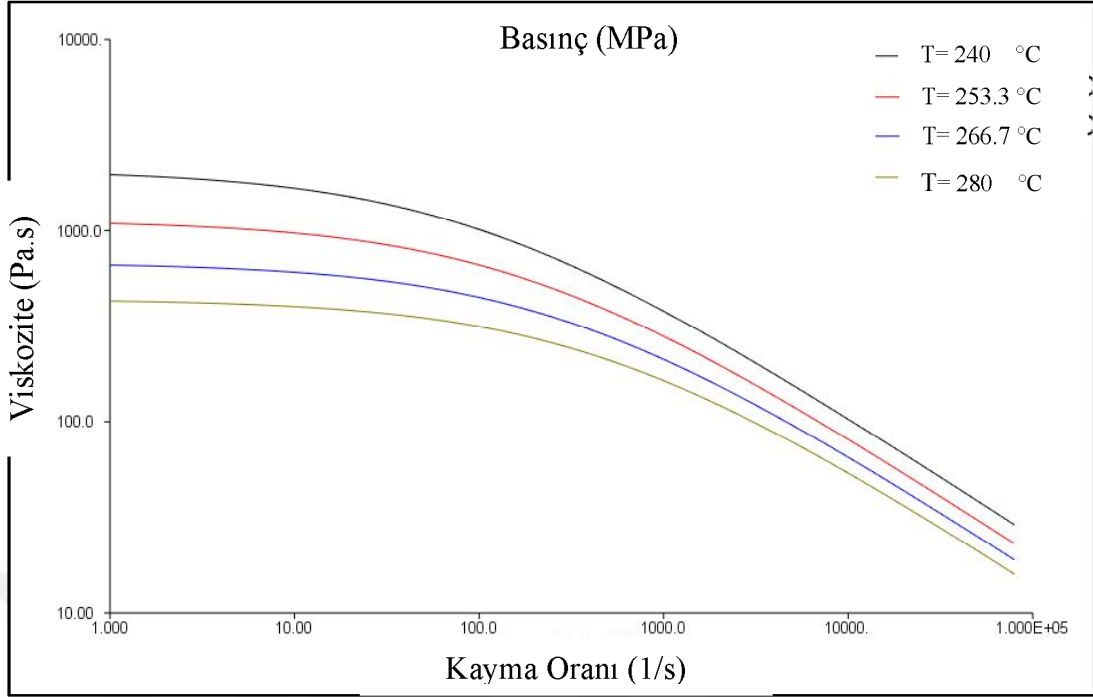
Programın önerdiği proses parametreleri Şekil 3.19’ da verilmektedir.



Optical Properties	Environmental Impact	Quality Indicators	Crystallization Morphology	Stress - Strain (Tension)	Stress - Strain (Compression)		
Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties	pvT Properties	Mechanical Properties	Shrinkage Properties	Filler / Fiber
Mold surface temperature	70	C					
Melt temperature	260	C					
Mold temperature range (recommended)							
Minimum	60	C					
Maximum	80	C					
Melt temperature range (recommended)							
Minimum	240	C					
Maximum	280	C					
Absolute maximum melt temperature	300	C					
Ejection temperature	126	C					
	View test information for ejection temperature...						
Maximum shear stress	0.4	MPa					
Maximum shear rate	40000	1/s					

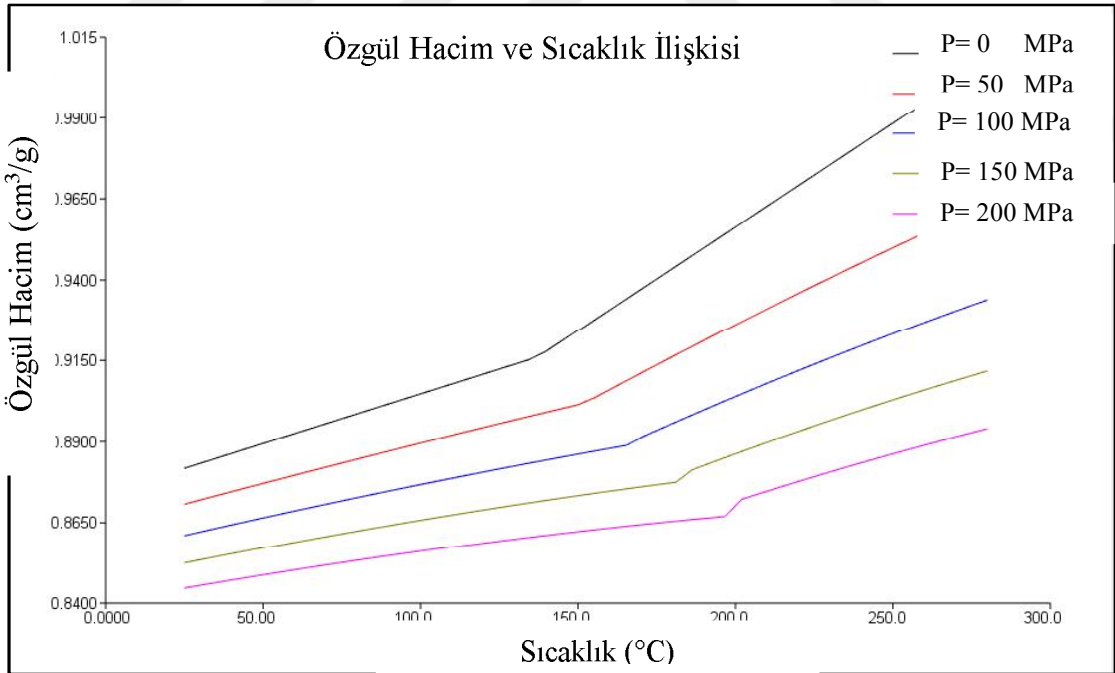
Şekil 3.19. Moldflow'da proses ayarları bölümü

Şekil 3.20’ de Moldflow programı kütüphanesinde Hammaddeye ait viskozite- kayma



Şekil 3.20. Moldflow'da hammaddeye ait viskozite- kayma oranı ilişkisi

Basınç, sıcaklık ve özgül hacim ilişkisine dair grafik Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Moldflow' da basınç, sıcaklık ve özgül hacim ilişkisi

Kullanılan hammaddenin basınca bağlı özgül hacmindeki değişim yok sayılmayacak kadar fazla ve etkilidir.



Thermoplastics material

Optical Properties Environmental Impact Quality Indicators Crystallization Morphology Stress - Strain (Tension) Stress - Strain (Compression)

Description Recommended Processing Rheological Properties Thermal Properties pvT Properties Mechanical Properties Shrinkage Properties Filler / Fiber

Select a shrinkage model (Midplane and Dual Domain)

Corrected residual in-mold stress (CRIMS) Examine CRIMS model Default Flow/Fiber set View model coefficients...

Select a shrinkage model (3D)

Uncorrected residual stress

Observed nominal shrinkage

Parallel 0.5837 %

Perpendicular 0.6207 %

Observed shrinkage

Minimum Parallel 0.3878 %

Maximum Parallel 0.8172 %

Minimum Perpendicular 0.3113 %

Maximum Perpendicular 0.9456 %

View observed shrinkage test information...

Shrinkage Molding Summary

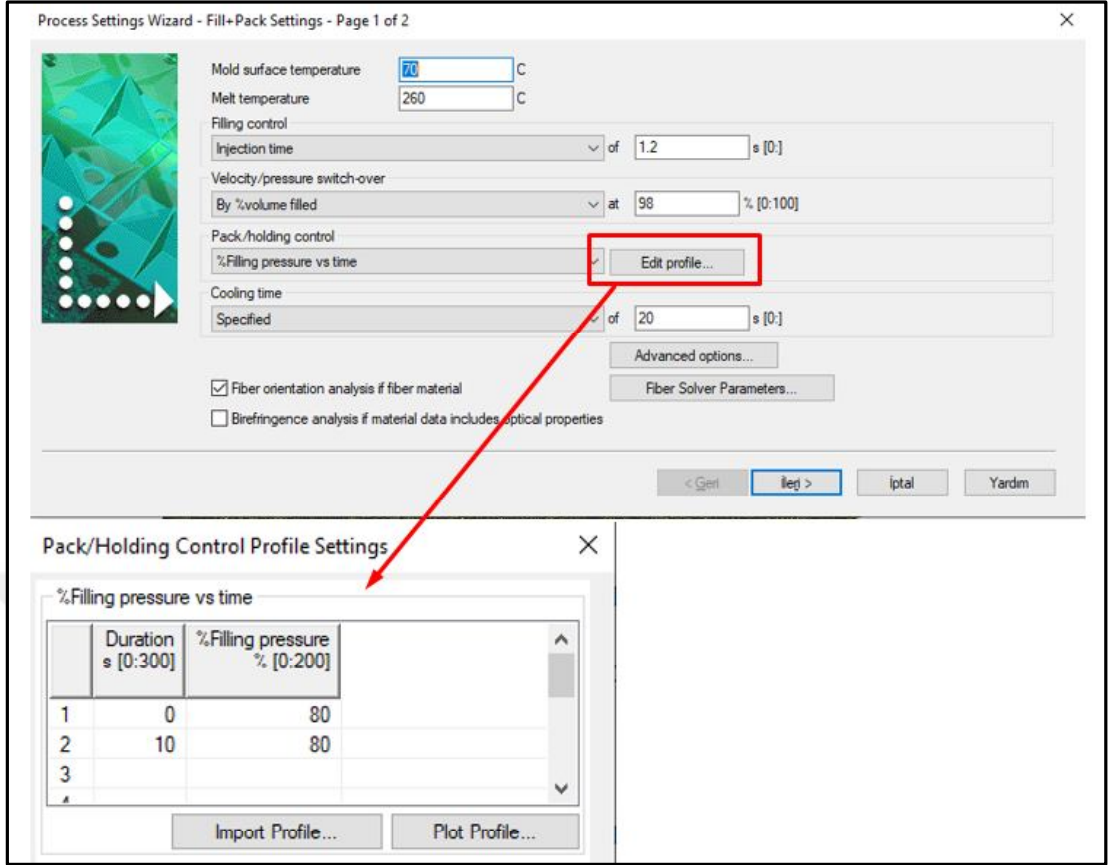
	Melt Temperature C	Mold Temperature C	Flow Rate (F) cm <sup>3</sup> /s	Flow Rate (F) cm <sup>3</sup> /s	Rain Diameter mm	Rain Displacement mm	Thickness mm	Packing Pressure MPa	Packing Time s
1	254.6	65.1	73.9	49.2	45	39	2	51	15
2	254.3	64.6	87.3	56.5	45	39	2	47.5	15
3	253.5	62.5	91.5	65.4	45	38.8	2	47.7	15
4	254.1	63.7	53.5	49	45	38.7	2	56.4	15
5	254	64.2	38.2	27.9	45	38.3	2	56.2	15
6	254	64	72.2	55.5	45	38.6	2	50.9	15
7	254	63.5	73	55.5	45	38.4	2	51.3	15
8	253.8	63.8	71.2	52	45	38.9	2	72.7	15
9	253.9	64.3	72.6	49.2	45	39	2	96.2	15
10	253.7	64.6	73.8	49.2	45	38.1	2	117.1	15
11	253.7	64.8	86.8	56.5	45	38.9	2	109.5	15
12	253.7	64.9	91.4	60.7	45	37.8	2	109.3	15
13	253.4	65.1	54.2	48.5	45	38.6	2	123	15
14	253.5	65.1	37.5	27.9	45	39.2	2	122.7	15
15	253.5	64.6	73.7	49.3	45	39.6	2	116.5	15
16	253.5	64	74.1	48.9	45	40.7	2	116.7	15
17	253.4	64.6	73.3	55.4	45	39.6	2	116.7	15

Şekil 3.22. CRIMS görseli

CRIMS datası (Şekil 3.22), ilgili malzeme test edilirken malzeme ile üretilen numune parçalar üzerinden alınan çekme değerlerini ve o çevrimdeki proses ayarlarını içerir. DD mesh tipinde çarpılma sonuçlarının doğruluğunu arttıran bir veridir.

Parça için 1,2 saniye enjeksiyon süresi tanımlanmıştır. Bu değer Moldflow analizlerinde kullanılan her 100 mm için 1 saniye kuralı ile belirlenmiştir. Bu süreyi malzemeden malzemeye değişen akış boyu ve et kanlığı ilişkisini referans olarak tanımlanmıştır.

Kalıp ve eriyik sıcaklığı ise hammadde tedarikçisinin ilgili hammadde için yayınladığı hammadde teknik bilgi formundan alınmıştır. Tutma basıncı olarak enjeksiyon basıncının %80 'i 10 saniye boyunca uygulanmıştır. Şekil 3.23'te proses parametrelerinin analiz programına nasıl girildiği gösterilmiştir. Proses ayarlarının

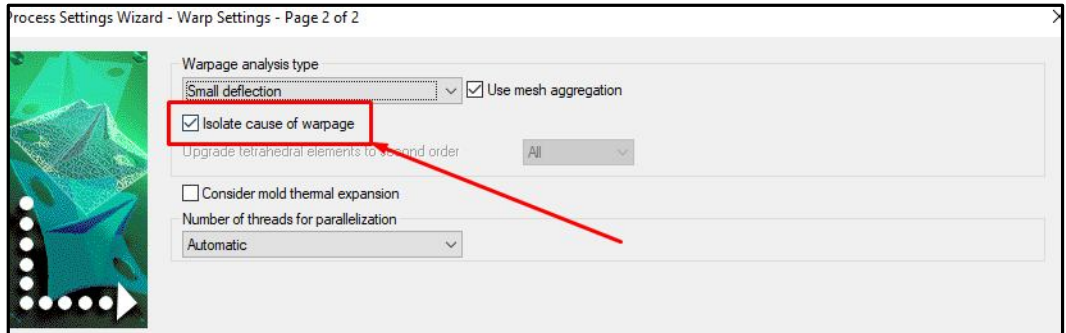


Şekil 3.23. Girilen proses parametreleri

Şekil 3.24'te görüldüğü üzere, çarpılmanın ana sebebi (Çarpılmanın alt başlıklarını açan opsiyon ile);

- Soğutma
- Hacimsel çekme
- Oryantasyon

olan üç nedenin çarpılma üzerindeki etkilerini ayrı ayrı görebiliyoruz.



Şekil 3.24. Çarpılma sonuçlarının ayırma a

### 3.6. Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Proses

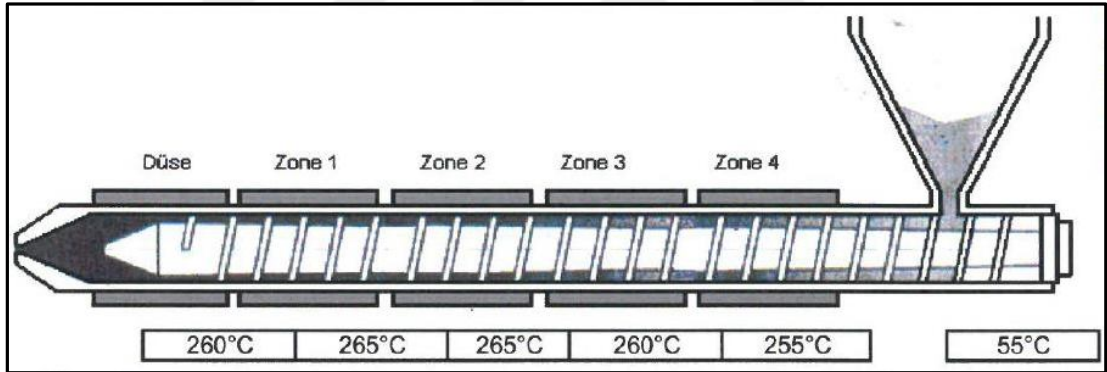
#### 3.6.1. Plastik enjeksiyon makinesi

Üretimin yapıldığı enjeksiyon makinesinin Markası Toyo Modeli Toyo Si-50-6'dir. Plastikleştirme ünitesi D75D olup, Vida çapı (R): 28 mm'dir. Enjeksiyon oranı 185 cm<sup>3</sup>/sn'dir. Maksimum enjeksiyon hızı 300 mm/sn'dir.

Maksimum enjeksiyon basıncı ise 182,3 MPa'dır. Buna karşılık makinenin uygulayabildiği maksimum tutma basıncı 147 MPa'dır. Kalıbın bağlanabildiği plaka 360 x 360 mm' lik bir plakadır.

#### 3.6.2. Plastik enjeksiyon prosesi

Gekko parçasının prosesinde ocakta aşağıdaki şekilde gösterilen sıcaklıklar kullanılmıştır. Eriyik makine nozülünde 260°C'ye ulaşmaktadır.



Şekil 3.25. Ocak sıcaklıkları

Makine nozülünden 260 °C'de çıkan eriyik sıcak yolluk sisteminde de 260°C'yi koruyacak şekilde proses ayarlanmıştır. PC/ABS için eriyik oldukça uygun bir sıcaklıkta kalıba girmektedir.

Enjeksiyon hızı Tablo 3.5'de

Tablo 3.5. Proses verileri 1

Kademe	Enjeksiyon Hızı	Enjeksiyon Yolu
1	48,7 mm/sn	75 mm
2	56,7 mm/sn	35 mm
3	65 mm/sn	30 mm
4	56,4 mm/sn	25 mm
5	48,7 mm/sn	15 mm

Tutma fazı ise yine aşağıda gösterilen Tablo 3.6'daki gibi ayarlanmıştır.

Tablo 3.6. Proses verileri 2

Kademe	Tutma Basıncı	Tutma Süresi
1	160 bar	0,7 sn
2	180 bar	2 sn
3	160 bar	0,2 sn

Önce 160 bar 0,2 saniye boyunca uygulanmıştır. Ardından 2 saniye sürekli olarak 180 bar uygulanmıştır. Kalan 0,2 saniyelik süre 160 bar tutma basıncı ile geçirilmiştir. Soğuma süresi 20 saniye olarak ayarlanmıştır. Analizde 19.576 saniye bulunan süre 20 saniye olarak makineye set edilmiştir. Bu değerlere karar verilirken akış analizinin sonuçlarından destek alınmıştır.

Bu parametreler hem konvansiyonel enjeksiyon prosesi için hem de hızlı ısıtma soğutma prosesi için aynıdır.

### 3.6.2.1. Konvansiyonel enjeksiyon prosesi

Konvansiyonel enjeksiyon prosesinde parçanın görsel olan tarafını çıkaran enjeksiyon tarafına 60 °C'de su bağlanmıştır. İtici kısımda da aynı sıcaklıkta su dolaşmaktadır. İki farklı şartlandırıcıdan gelen suların debileri aynıdır. Bunu sağlayabilmek için 2 adet aynı türde şartlandırıcı



Konvansiyonel prosesin çıktıları aşağıdaki Tablo 3.7’de belirtilmiştir.

Tablo 3.7. Konvansiyonel prosesin çevrim süresi kırılımı

<b>Kalıbı Isıtma Süresi</b>	0 sn
<b>Enjeksiyon Süresi</b>	1,5 sn
<b>Tutma Süresi</b>	2,9 sn
<b>Soğuma Süresi</b>	20 sn
<b>Mal Alma Süresi</b>	7,3 sn
<b>Toplam Çevrim Süresi</b>	33,8 sn

### 3.6.2.2. Hızlı ısıtma soğutmalı enjeksiyon prosesi

Hızlı ısıtma soğutmalı enjeksiyon prosesinde parçanın görsel olan tarafını çıkaran enjeksiyon tarafına 135°C’de su gönderiliyor ve bu suyun enjeksiyon tarafındaki lokmalarda tutma fazının sonuna kadar yüksek debide dolaşması sağlanmıştır. İtici kısımda 60°C’de sıcaklıkta su dolaşmaktadır. Tutma fazı biter bitmez 25°C’de su enjeksiyon tarafına gönderilerek Gekko hızlı ısıtma soğutma cihazının sensor sayesinde 60°C’ye geldiğinde su akışı kesilmektedir. Bu hızlı geçiş ve sıcaklık farkının artırılması sayesinde çevrim zamanı bu durumdan dramatik şekilde etkilenmemektedir. Toplamda 0,7 saniyelik bir artış gözlemlenmiştir.

Hızlı ısıtma soğutmalı enjeksiyon prosesinin çıktıları Tablo 3.8’de belirtilmiştir.

Tablo 3.8. Hızlı ısıtma soğutma prosesinin çevrim süresi kırılımı

<b>Kalıbı Isıtma Süresi</b>	1 sn
<b>Enjeksiyon Süresi</b>	1,5 sn
<b>Tutma Süresi</b>	2,9 sn
<b>Soğuma Süresi</b>	20 sn
<b>Mal Alma Süresi</b>	7,3 sn
<b>Toplam Çevrim Süresi</b>	34,5 sn

### 3.7. Numuneler

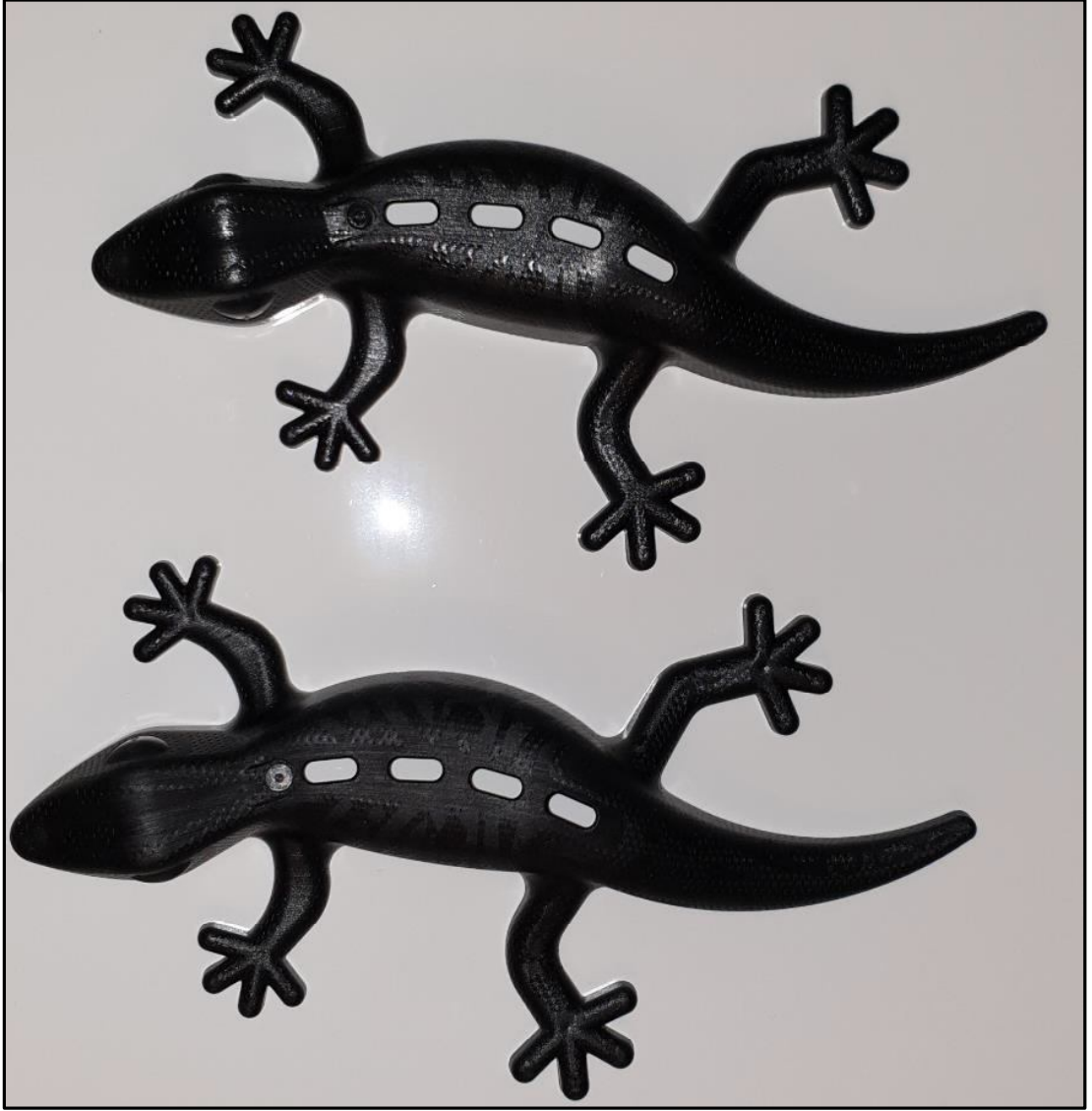
Hızlı ısıtma soğutma prosesi ile ve konvansiyonel proses ile yapılan üretimde alınan numuneler aşağıdaki Şekil 3.26, Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Numuneler görselleştirilmek amaçlı üç farklı örnek olarak eklenmiştir.



Şekil 3.26. Numuneler 1



3.27. Numuneler 2



Şekil 3.28. Numuneler 3

Yukarıdaki görselde üst taraftaki Gekko parçası konvansiyonel metot ile üretilmiştir. Aşağıda gösterilen parça ciddi anlamda farklı parlaklığa sahiptir. Aynı zamanda desenlerin belirginliğinin de farklı olduğu aşikardır. Bir Gekko parçası yüzeyi ve desenleri oldukça parlak iken diğer Gekko parçasında bu durum tam tersine mattır. Parça yüzeyi mat olmasına rağmen desen belirginliği fazladır. Şekil 3.28’de görüldüğü gibi Gekko parçasının kafa kısımlarındaki parlaklıkta oldukça farklıdır. Görsel olarak incelendiğinden farklı hammadde gibi görünse de aynı kalıptan çıkmış

### 3.8. Modele Uygulanan Deneysel Çalışmalar

#### 3.8.1. Termomekanik analiz

TMA, mekanik özellikleri zaman ve sıcaklığın fonksiyonuna bağlı belirleyen bir metottur. Seçilen ölçme modlarına göre malzemelerin viskoz akış ve elastik davranışları hakkında fikir verir [24]. Doğrusal ısı genleşme kat sayısının hesaplanabileceği bir TMA eğrisi elde etmek için deney numunesinin ölçmek istenen yöndeki boyuttaki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür.

TMA' da genleşme (expansion), tek yönlü çekme (elongation), penetrasyon veya deformasyon modları bulunmaktadır. Termoplastikler, elastomerler, kompozit malzemeler ve ağaç gibi birçok malzemenin film, katı ve viskoz sıvı halleri için bu TMA modlarıyla çalışmak mümkündür [25]. Aşağıda şekilde TMA cihazının yandan ve TMA problemlerinin önden görünüşleri verilmiştir.

Bu çalışmada, Termomekanik analiz deneyi ile üretilen farklı plastik enjeksiyon parametrelili malzemelerin boyut değişiminin sıcaklık ve zamana göre bir fonksiyon olarak incelenmiştir. TMA-50 Shimadzu marka cihaz Tablo 3.9'daki deney parametreleri ile birlikte kullanılmıştır. Cihazın genleşme modu kullanılarak analiz yapılmıştır. Deneyde kullanılan numune 6x6x3 mm boyutlarında olup üretilmiş parçalardan alınan numuneler kullanılmıştır [26].

TMA ile, ISO 11359-1-2014 ve ISO 11359-1999 standartlarına göre camı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, lineer termal genleşme katsayısı ve genleşmede boyut değişimi değerleri elde edilebilir.

Tablo 3.9. TMA deney parametreleri

<b>Sıcaklık aralığı</b>	25- 170 °C
<b>Ölçme modu</b>	Genleşme (Expansion)
<b>Ölçme aralığı</b>	Probun hareket miktarı: -2500 µm-/+2500 µm
<b>Numune yükü</b>	1 g (0,01 N)
<b>Ölçme modu</b>	Genleşme (Expansion)
<b>Soğutma sistemi</b>	Hava
<b>Numune boyutları</b>	2x5x7 mm
<b>Isıtma hızı</b>	5 °C/dk

Ortalama doğrusal ısı genleşme kat sayısı, üç boyutun herhangi biri için genleşme kat sayısı, belli bir sıcaklıkta (T), ve belli bir basınçta (p), K<sup>-1</sup> cinsinden, aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{\Delta T} \cdot \frac{1}{L_0} \quad (3.1)$$

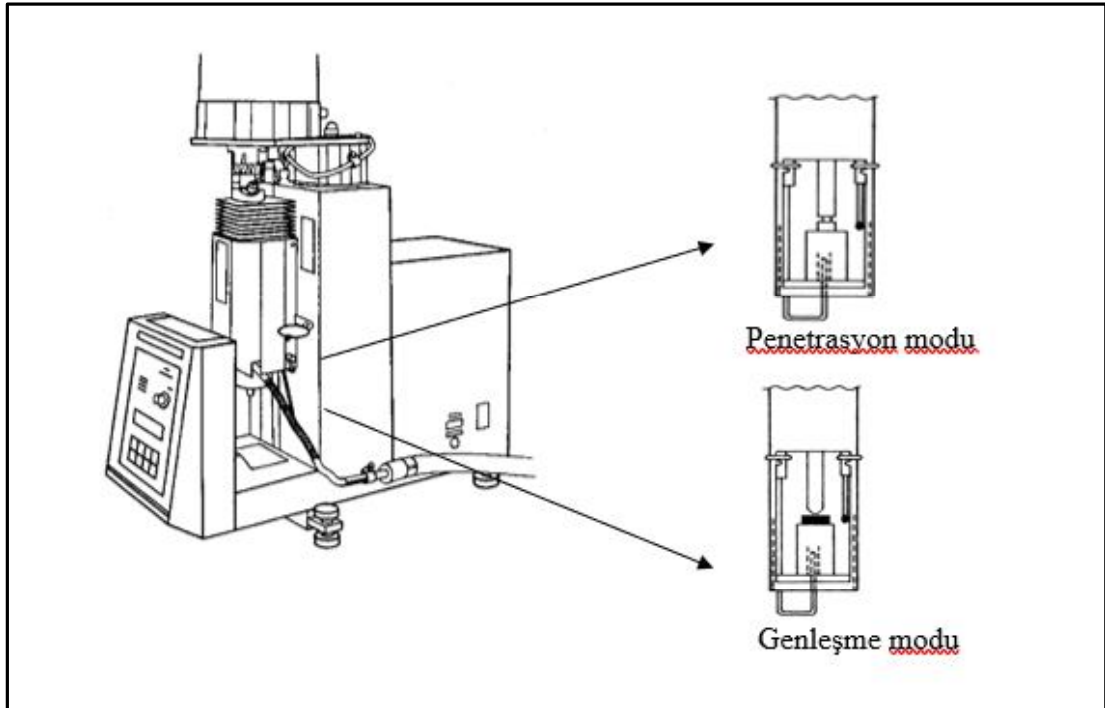
$\Delta L$ : İki sıcaklık T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> arasında deney numunesinin boyut değişimi,

L<sub>0</sub>= Ölçmenin esas alındığı, deney numunesinin oda sıcaklığında referans uzunluğu,

$\Delta T$ : T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>' e eşit olan sıcaklık değişimi,

Herhangi bir sıcaklık veya sıcaklık aralığında lineer termal genleşme katsayısı [ $\mu\text{m}$ ] ve [1/K] cinsinden elde edilebilmektedir [27,28].

Termodilatometri ile elde edilen camsı geçiş sıcaklığı, camsı geçişten önce ve sonraki sıcaklığa karşı uzunluk eğrisine çizilen teğetlerin kesiştiği nokta olarak tanımlanır. Camsı geçiş sıcaklığı, camsı geçişten önce ve sonra TMA eğrisine çizilen teğetlerin kesiştiği nokta olarak tayin edilir [29,30].



3.29. TMA-50 Shimadzu

Bu alışmada TMA-50 Shimadzu (şekil 3.29) marka termomekanik analiz cihazı kullanılmıştır. Bu eğrilerin analizleri TA-60WS termal analiz paket programı kullanılarak yapılmıştır.

### **3.8.2. Boyutsal tarama**

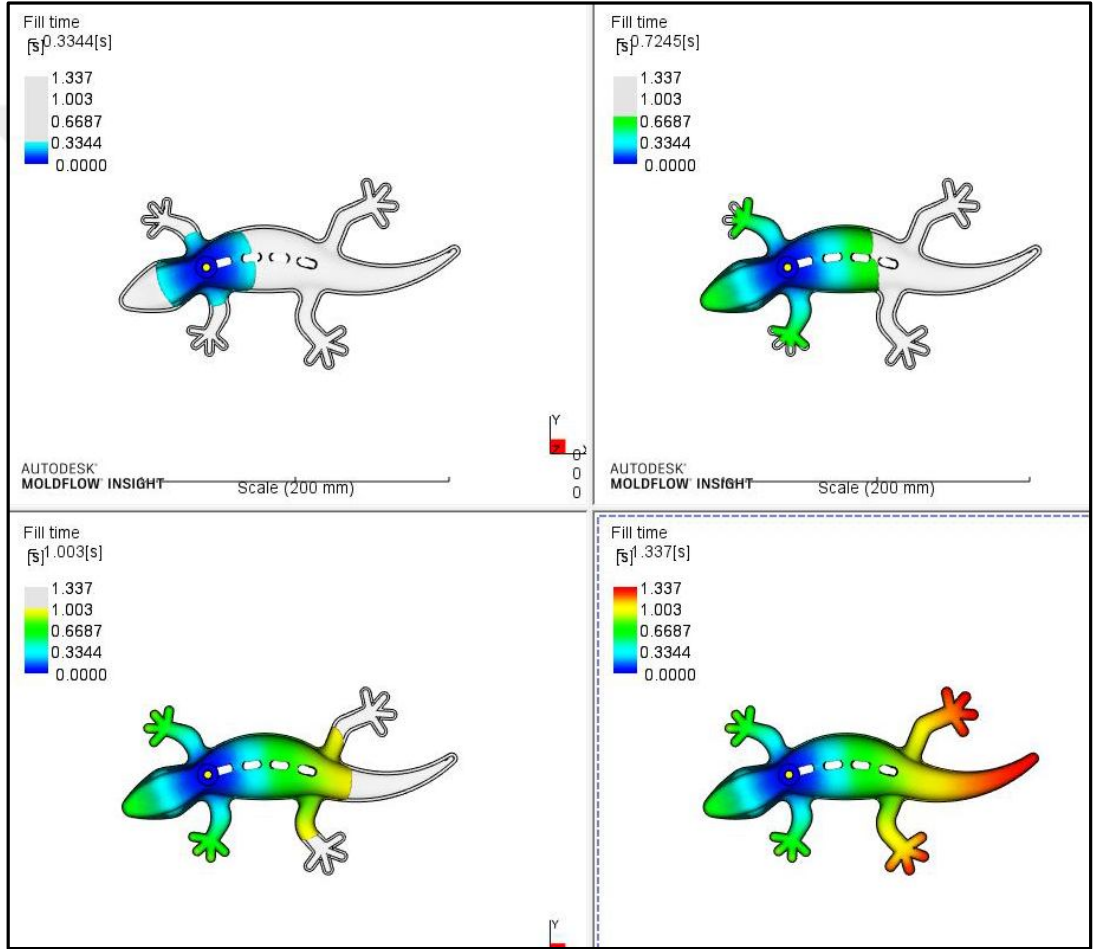
Boyutsal tarama Gekko parçalarına Faro markalı tarama cihazı ile taranmıştır. Bu cihaz genellikle parça kalitesinin boyutsal lümünde 3D metroloji amacıyla kullanılır. Cihaz lazer ışını yardımı ile kendine tanıtılan katı modelin takibini



## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Konvansiyonel Enjeksiyon Prosesinin Akış Analizi Sonuçları

Dolum: Kalıp gözü 1,3 saniye içerisinde %100 oranında herhangi bir eksik dolum riski olmadan doluyor.

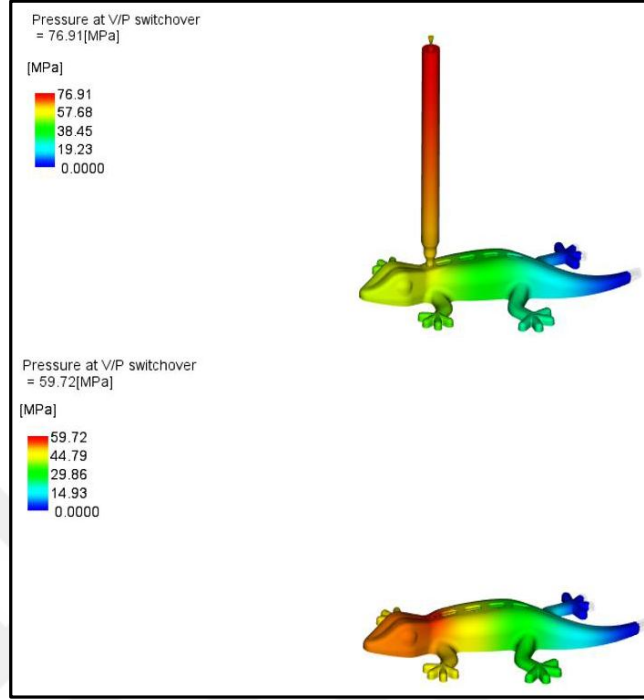


Şekil 4.1. Konvansiyonel prostedeki enjeksiyon hızları

Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi dolum en son kuyruk kısmına ulaşmıştır.

Tutmaya geçiş anındaki basınç: Tek gözlü kalıbı doldurmak için ihtiyaç duyulan 760 bar basınç

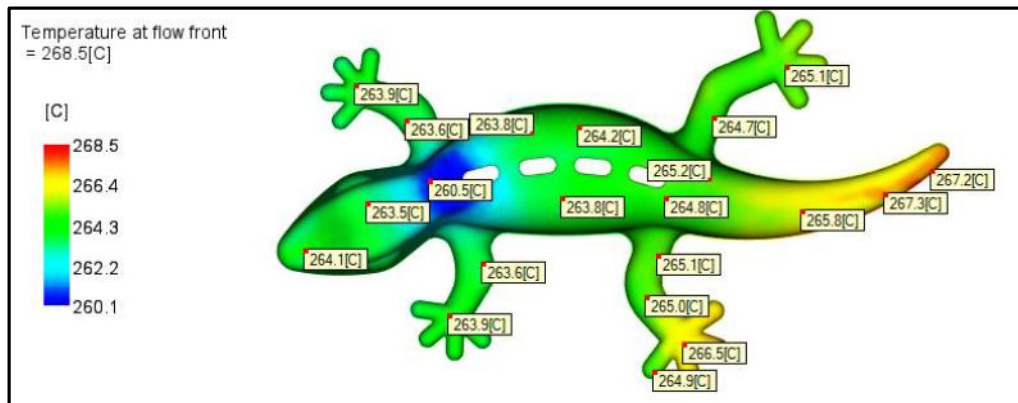
Sıcak yolluk sisteminde kaybedilen basınç ise;  $76-59 = 17\text{MPa}$ 'dır (Toplam basınç gereksiniminin %22'lik bir kısmına denk gelen basınç kaybı) [31].



Şekil 4.2. Konvansiyonel proresteki tutma basınçları

Üst taraftaki yolluk ile birlikte basınç sonucu görüntülenmektedir. Alt kısımdaki sonuç ise yolluk kısmından bağımsız sadece parçanın basıncını göstermektedir (Şekil 4.2).

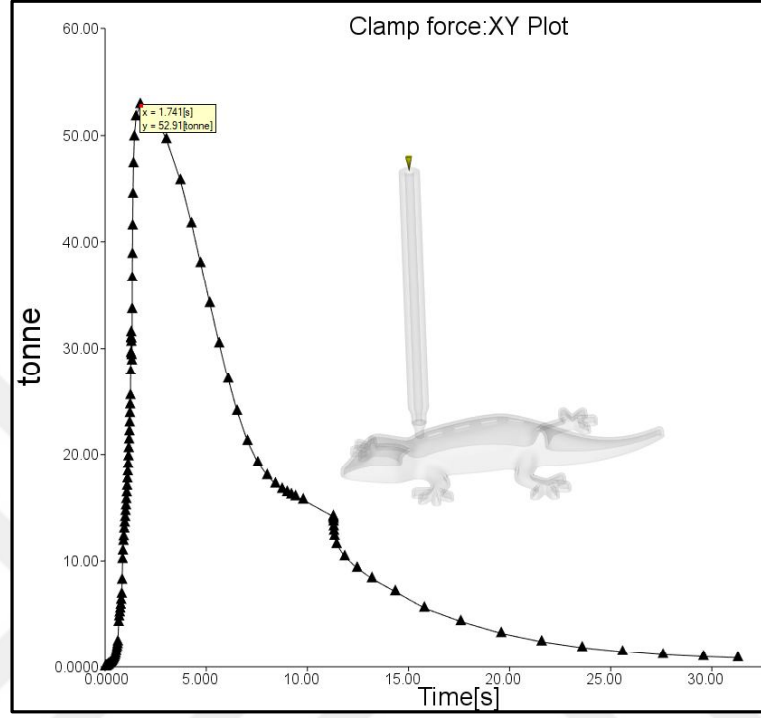
Ön akış sıcaklığı: Akış boyunca ön akış sıcaklığındaki değişim (Şekil 4.3)  $\mp 10$  °C'nin altında bu da gayet homojen bir sıcaklık dağılımına işaret [32].



Şekil 4.3. Konvansiyonel proresteki eriyik ön akış s



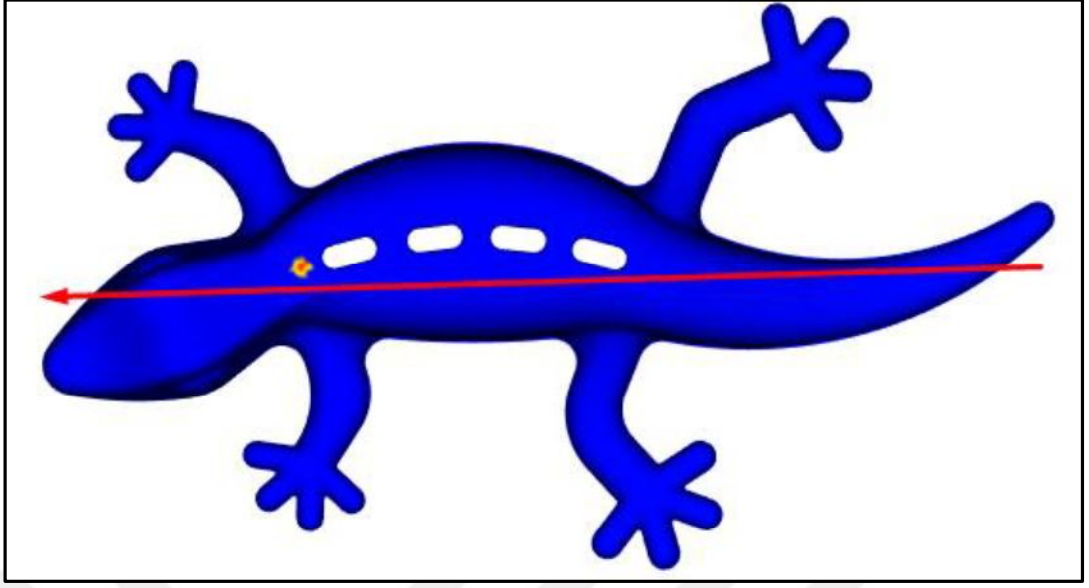
Kapama tonajı: Tek gözlü kalıp için ihtiyaç duyulan basınç ihtiyacı 52 ton. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kapama kuvveti enjeksiyon fazının sonunda maksimuma ulaşmıştır [33].



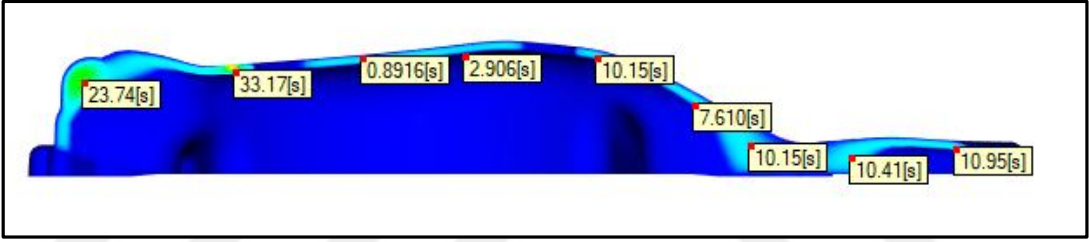
Şekil 4.4. Konvansiyonel prosesteki kapama kuvveti gereksinimi

Soğuma zamanı: Kesit alındığında parçanın en kalınlığının yüksek olduğu noktalarda soğuma süresinin 25 saniye civarlarında parça genelinde ise 15 saniyenin altında olduğu gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4.5'te parçanın en geç katılaşılan bölgesinin yolluk noktası olduğu görülmektedir. Yine Şekil 4.5'te kırmızı çizgi üzerinden kesit alınıp bakıldığında Şekil 4.6 ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.6'da görülebileceği gibi kesitte en geç katılaşılan kısım parçanın göz kısımlarıdır. Genel et kalınlığında katılaşıma süresi yaklaşık 10

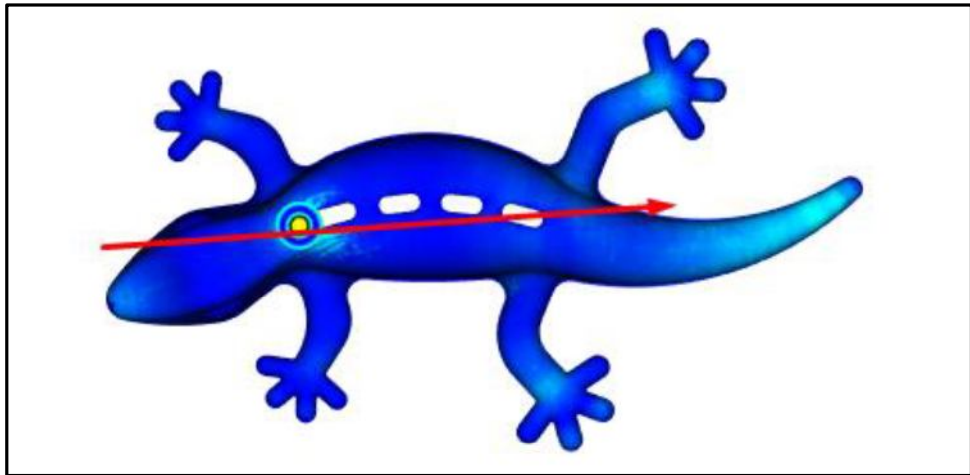


Şekil 4.5. Konvansiyonel proresteki soğuma süresi 1

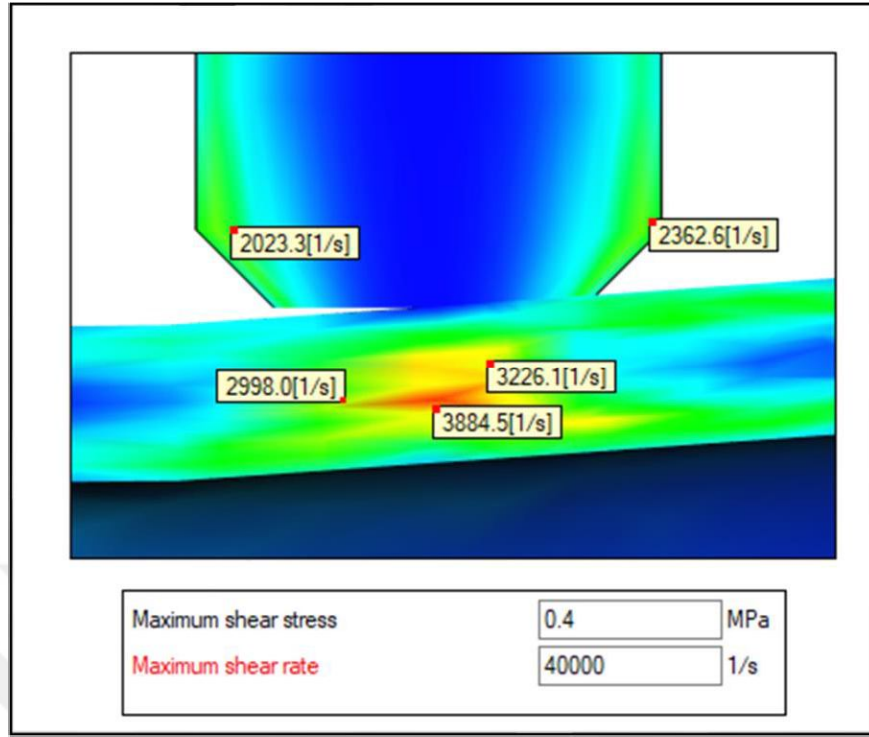


Şekil 4.6. Konvansiyonel proresteki soğuma süresi 2

Kayma oranı: Kayma oranının sınır değerin altında olduğunu gözlemliyoruz. Hammadde için maksimum kayma oranı 40.000/saniyedir [34].



Şekil 4.7. Konvansiyonel proresteki kayma o

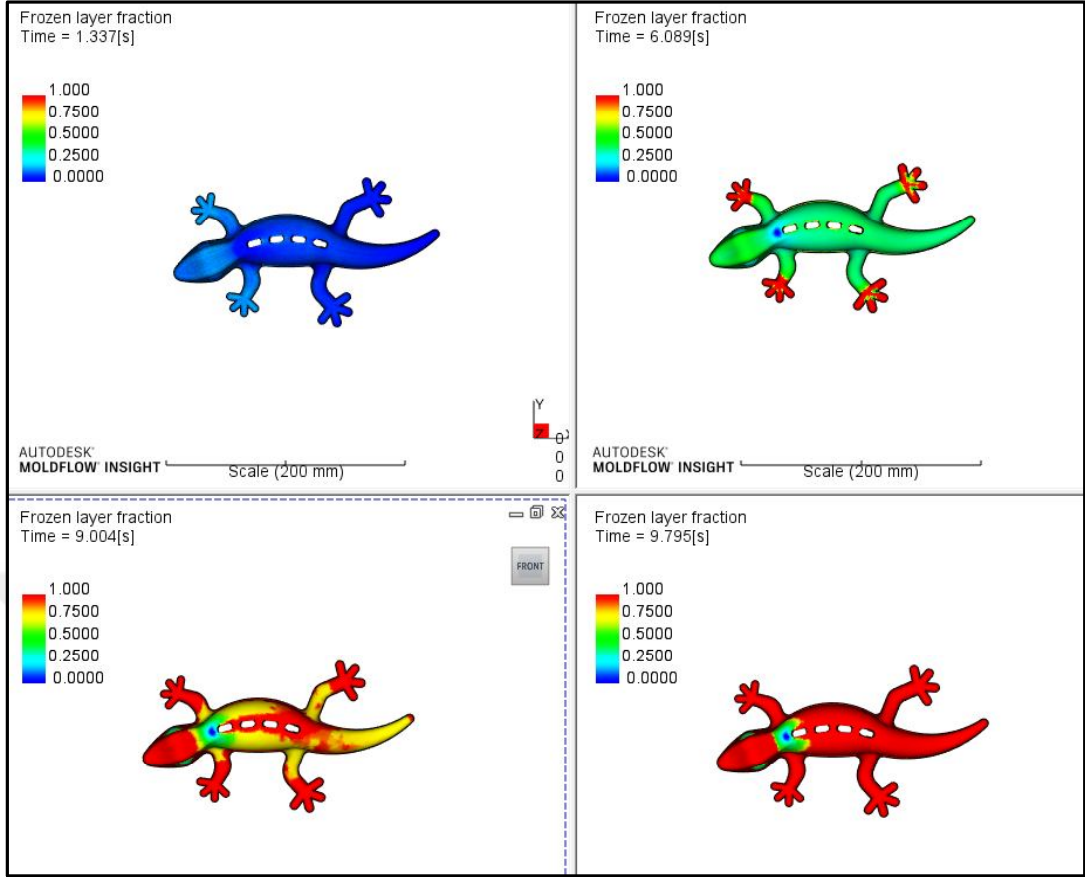


Şekil 4.8. Konvansiyonel prosesteki kayma oranı 2

Şekil 4.7’de kayma oranının en yüksek olduğu nokta en dar kesiti olan yolluk giriş noktasıdır.

Şekil 4.8 incelendiğinde ise kayma oranı değeri 3884,5/sn değerine kadar çıkmıştır. Maksimum kayma oranı limiti 40.000/sn olan limite oldukça uzaktır. Bu durum malzemenin bozulma ihtimalini oldukça düşürmektedir. Diğer taraftan sadece ufak bir artış gözlemlenen nokta Gekko parçasının kuyruk noktasıdır. Arka ayaklarında da artış gözlemlenmiştir. Fakat bu artışlar dikkate değer artışlar değildir. Birleşme izlerinin denk geldiği sırt bölgelerine bakıldığında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum kayma oranında bölgesel bir değişikliğin birleşme izlerini etkilemeyeceğine işarettir. Ayrıca kayma oranı artışı yüzeydeki sıcaklığı da etkileyeceği için değişimin olabildiğince az olması pozitif anlamda etkilidir.

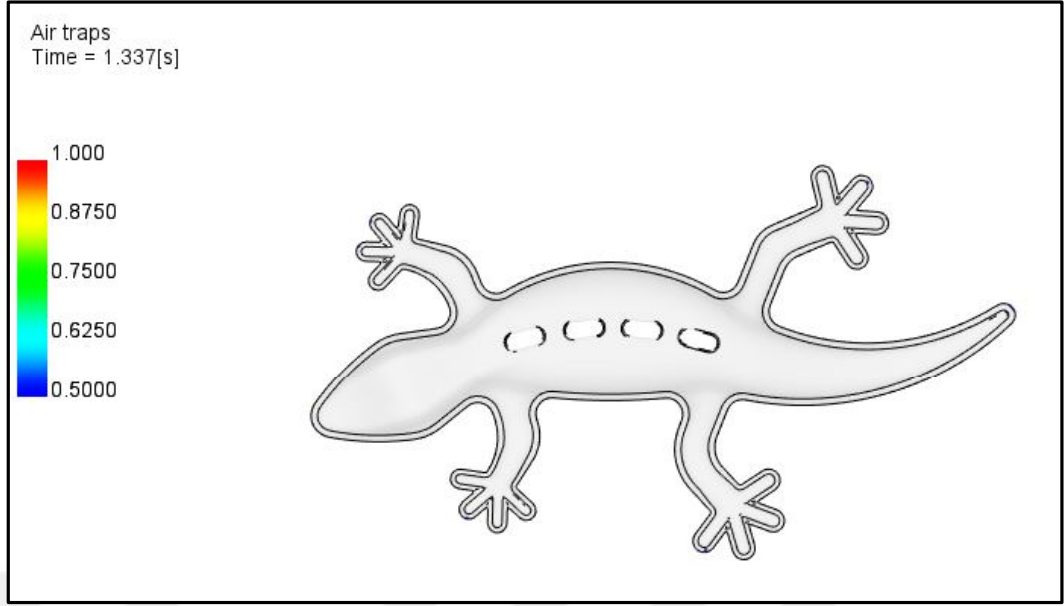
Şekil 4.8’de görüldüğü üzere maksimum kayma gerilmesi limiti ise 0.4 MP



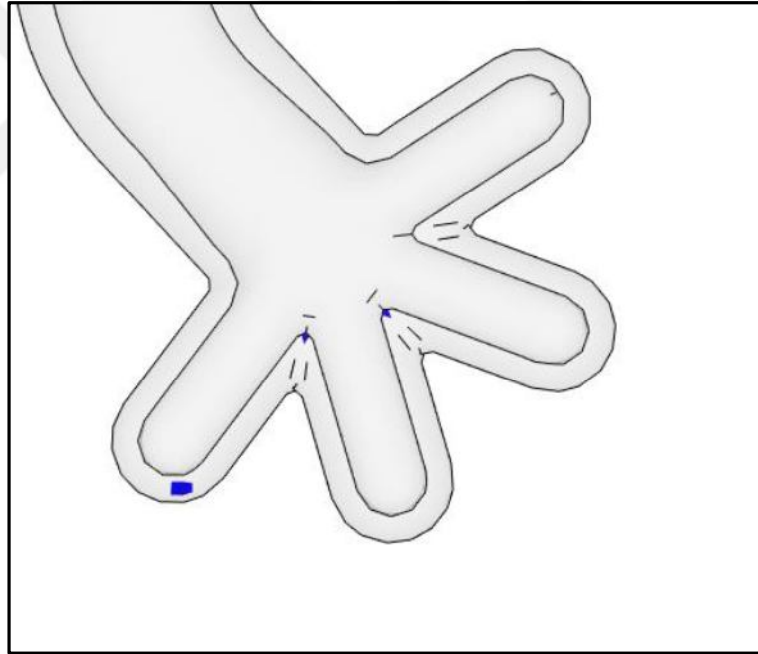
Şekil 4.9. Konvansiyonel proresteki katılaşma oranı

Katılaşma: Parçada önce kol kısımlarının daha sonra baş kısmın ve en sonda yolluğa yakın bölgenin katılaştığını görebiliyoruz. Şekil 4.9'de katılaşma Gekko parçasını ayak kısımlarından başlamaktadır. Bir sonraki katılaşma bölgesi parçanın yan yüzeyleridir. Belirli bir süre sonra katılaşmayan tek nokta yolluk girişine yakın olan sırt bölgesidir [35,36].

Gaz sıkışma noktaları: Parça üzerinde gaz sıkışması ile ilgili bir risk tespit edilmedi. Akış kaynaklı gaz kalıp ayrılma yüzeylerine taşınmış durumda. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'deki analiz sonuçları kontrol edildiğinde parçanın el kısımlarında gazlanma ile ilgili bir problem olabileceği anlaşılacak [37].



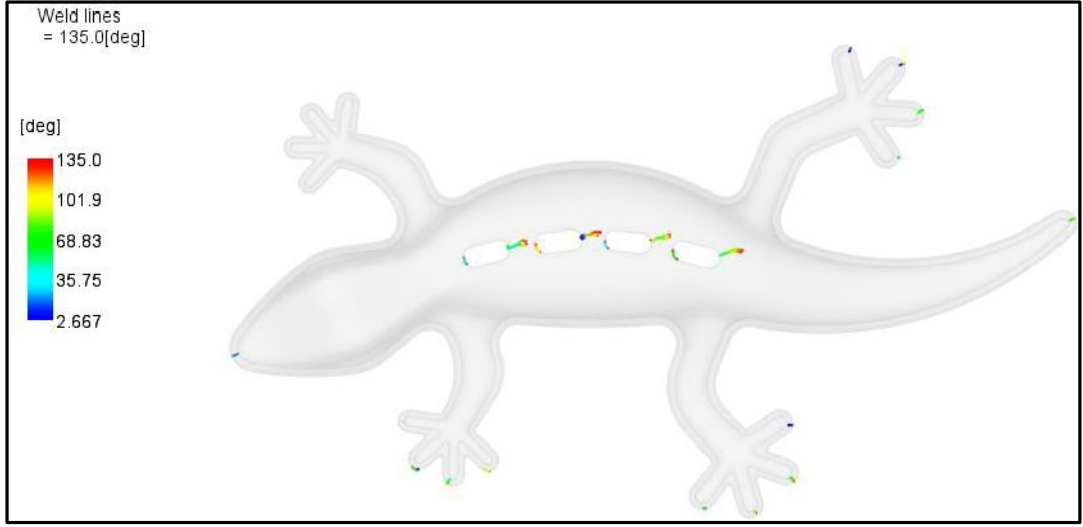
Şekil 4.10. Konvansiyonel prosesteeki gaz sıkışma noktaları 1



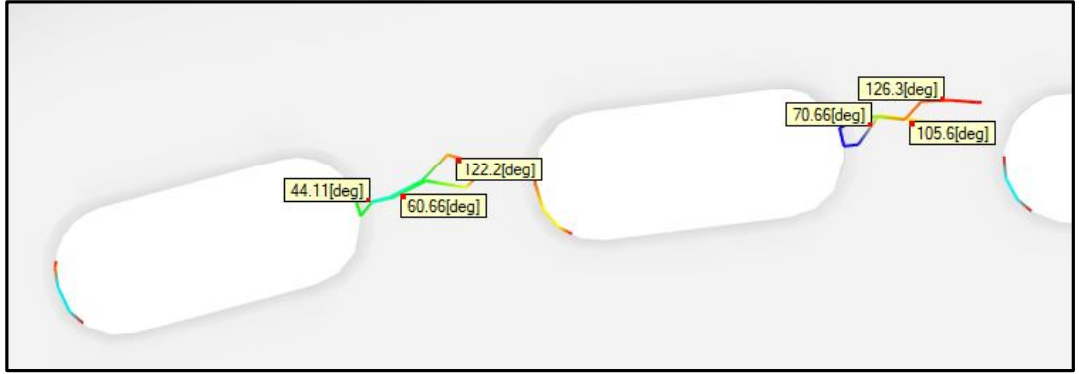
Şekil 4.11. Konvansiyonel prosesteeki gaz sıkışma noktaları 2

Daha yakınlaşıp bakıldığında Gekko parçasının el kısımlarında gaz ile ilgili önlem alınması gerektiği görülmektedir.

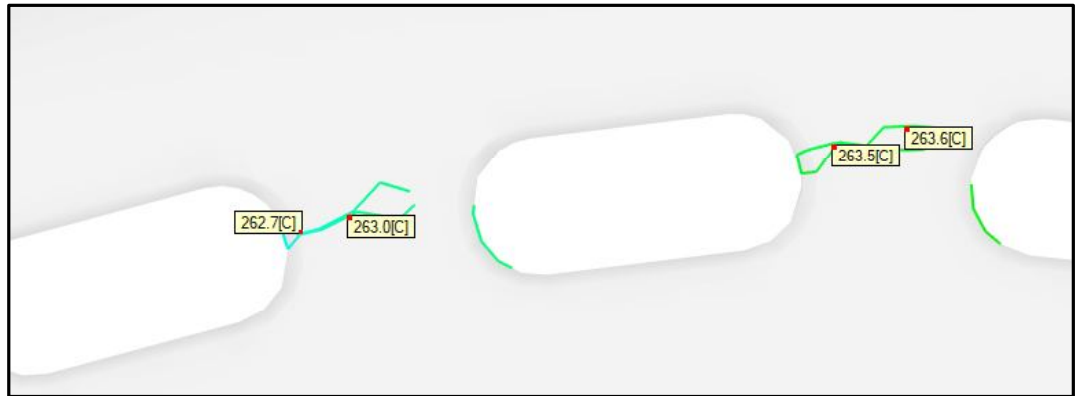
Birleşme izleri: Parça üzerinde 4 ana birleşme izi tespit edilmiştir. Birleşme açıları oldukça düşükken birleşme sıcaklıkları enjeksiyon sıcaklığının üzerinde bu da bu bölgedeki birleşme izlerinin görün [38].



Şekil 4.12. Konvansiyonel proresteki birleşme yerleri 1



Şekil 4.13. Konvansiyonel proresteki birleşme yerleri 2

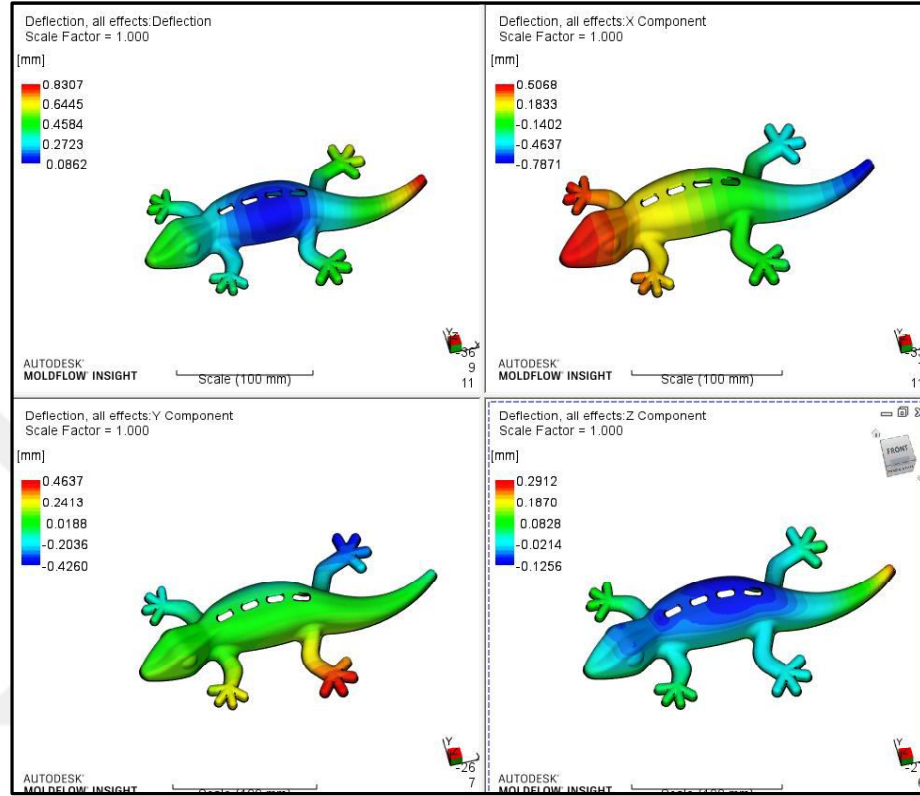


Şekil 4.14. Konvansiyonel proresteki birleşme yerleri 3

Birleşme izleri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te görüldüğü üzere deliklerin çevresindedir. Ayrıca görsel tarafta olmaları hızlı ısıtma soğutma sonrası görsel kontrole olanak sağlamaktadır. Parça üzerindeki birleşmelerin ön akış sıcaklığı yüksek oranda düşmeden gerçekleşmesi hem mukavemet açısından he

açısından bir avantajdır. Diğer taraftan Şekil 4.13'te görülen açı değerleri 0'a yaklaştıkça görsel olarak problem çıkaracaktır.

Çarpılma: Parçanın tüm yönlerdeki toplam çarpılması 0.91 mm'dir.



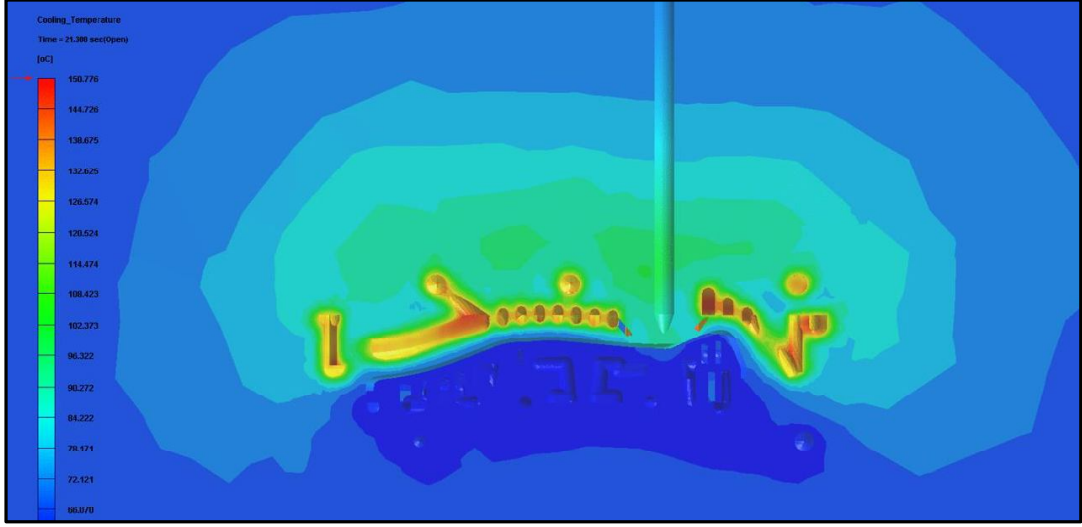
Şekil 4.15. Konvansiyonel prostedeki çarpılma sonuçları

#### 4.2. Hızlı Isıtma Soğutmalı Prosesinin Akış Analizi Sonuçları

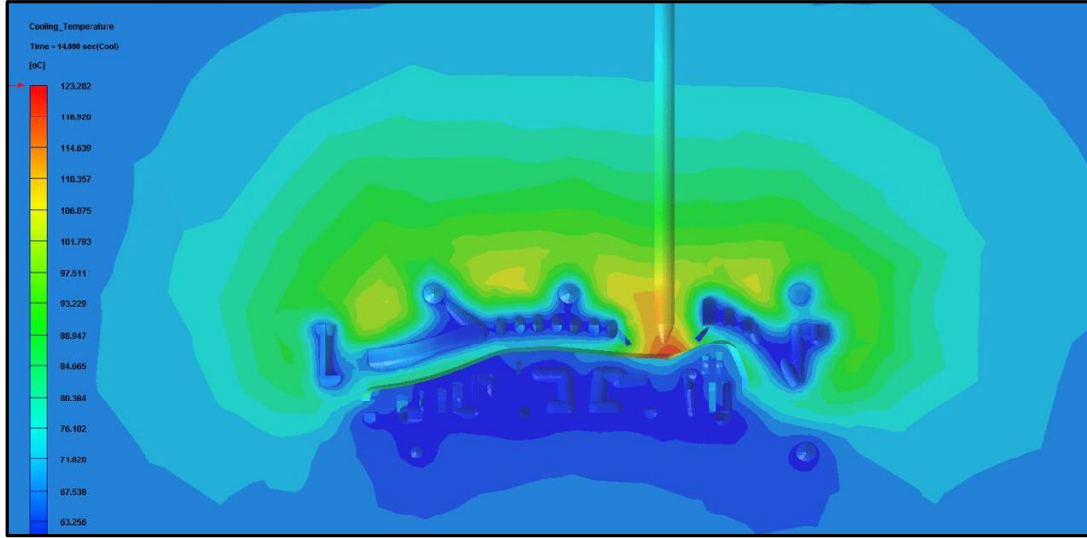
Hızlı ısıtma soğutma prosesinde kalıbın ısıtılıp soğutulması analiz edilmiştir. Bu sayede ne kadar sürede ısınıp soğutulması konusunda bilgi sahibi oluyoruz. Şekil

görmekteyiz. Homojen sıcaklık profili enjeksiyon tarafında görsel anlamda aynı kalitede yüzeylere sahip olacağımız göstermektedir. Soğutma fazı ise Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Soğutma fazında sıcaklık farkı sadece enjeksiyon noktasında diğer bölgelere göre daha yüksektir. Bunun temel sebebi sıcak yolluk sisteminden gelen





Şekil 4.16. Isıtma fazındaki analiz görüntüsü



Şekil 4.17. Soğutma fazındaki analiz görüntüsü 2

Termal kamera yardımı ile alınan görüntülerde ise bölgesel olarak sıcaklık farklarının oldukça az olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.18’de ısıtma fazındaki termal görüntü ile analiz sonuçları tamamen örtüşmektedir. Şekil 4.19’da ise soğutma fazındaki termal görüntüdür. Yine soğutma fazı termal görüntüleri analiz ile uyuşmaktadır. Parçanın hem ısıtma hem soğutma fazında homojen sıcaklığa sahip olması görsel açıdan bölgesel fark





Şekil 4.18. Isıtma fazındaki termal görüntü

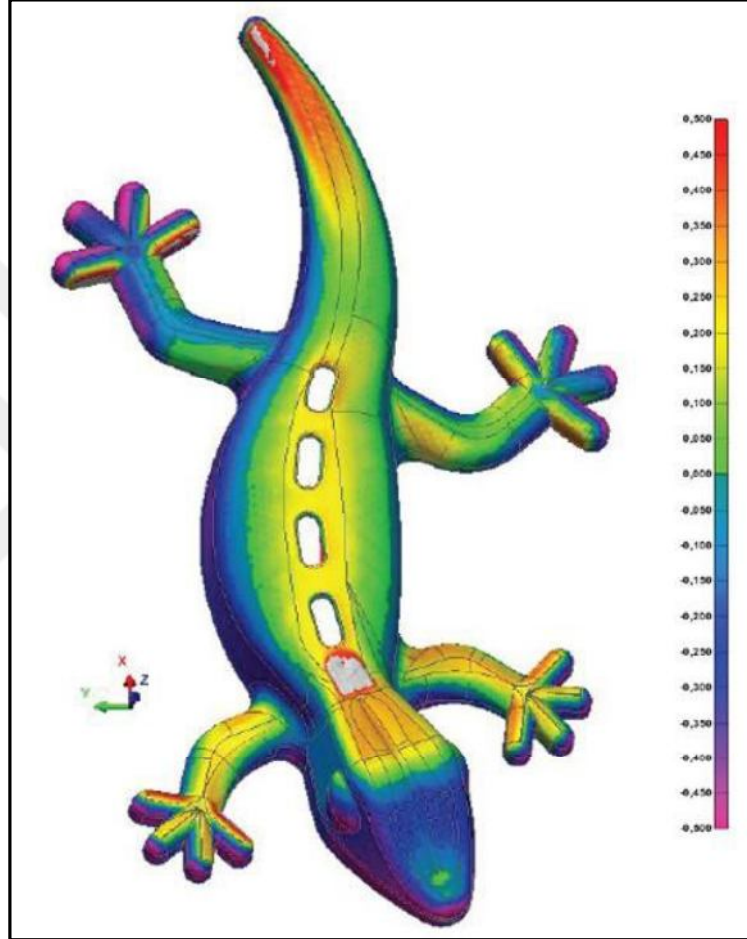


Şekil 4.19. Soğutma fazındaki termal g 2

### 4.3. Boyutsal Tarama Sonuçları

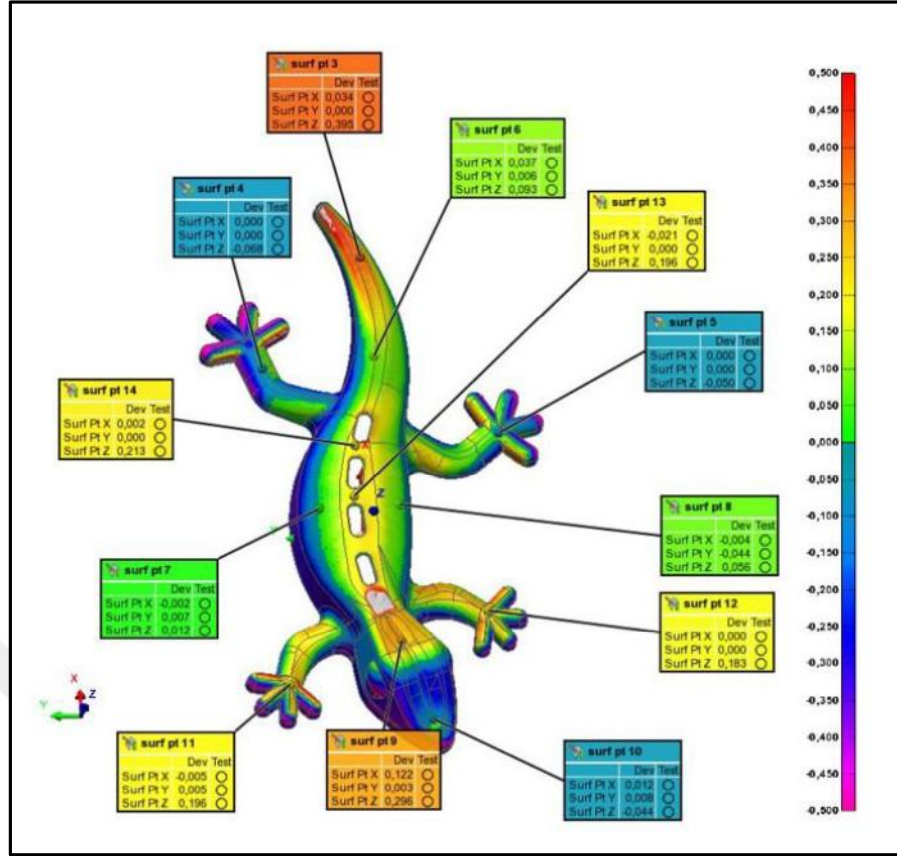
Lazer tarama ile alınan ölçülerdeki sonuçlar Tablo 4.1 gösterilmiştir.

Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 konvansiyonel proses ile üretilmiş parçanın ölçümlerini içermektedir.



Şekil 4.20. Konvansiyonel proresteki boyutsal ölçüm 1

Konvansiyonel proses ile üretilen parçanın bütün ölçüleri toleranslar içerisinde kalmıştır. Bu nedenle test kısmındaki sonuçların tamamından geçer not almıştır. Geçer not  $\pm 0,500$  olarak belirlenmiştir. Ölçümlerdeki minimum sapma 0 mm iken maksimum sapma 0,395 mm'dir. Maksimum sapmanın olduğu kısım Gekko parçasının kuyruk kısmındadır. Ayrıca bu sapma Z ekseninde olup genel çarpılma nindedir.



Şekil 4.21. Konvansiyonel prostedeki boyutsal ölçüm 2

Tablo 4.1. Konvansiyonel prostedeki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 3	Surface Point X	108,291	108,325	±0,500	0,034	Geçti
	Surface Point Y	-1,125	-1,125	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	8,016	8,411	±0,500	0,395	Geçti
surf pt 4	Surface Point X	63,915	63,915	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Y	35,750	35,750	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	6,536	6,468	±0,500	-0,068	Geçti
surf pt 5	Surface Point X	40,606	40,606	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Y	-49,206	-49,206	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	6,536	6,486	±0,500	-0,050	Geçti

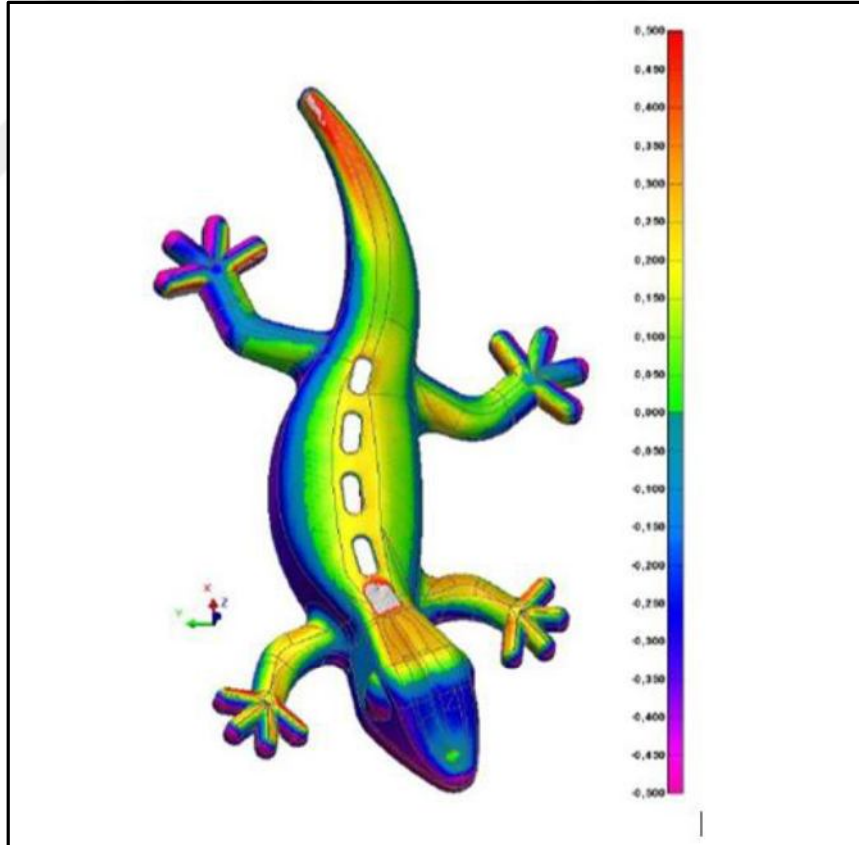
Tablo 4.1. (Devam) Konvansiyonel prosesteki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 6	Surface Point X	63,948	63,985	±0,500	0,037	Geçti
	Surface Point Y	-3,126	-3,120	±0,500	0,006	Geçti
	Surface Point Z	18,971	19,064	±0,500	0,093	Geçti
surf pt 7	Surface Point X	1,190	1,188	±0,500	-0,002	Geçti
	Surface Point Y	19,358	19,365	±0,500	0,007	Geçti
	Surface Point Z	23,853	23,865	±0,500	0,012	Geçti
surf pt 8	Surface Point X	3,802	3,798	±0,500	-0,004	Geçti
	Surface Point Y	-9,865	-9,909	±0,500	-0,044	Geçti
	Surface Point Z	23,081	23,137	±0,500	0,056	Geçti
surf pt 9	Surface Point X	-52,717	-52,595	±0,500	0,122	Geçti
	Surface Point Y	-7,993	-7,990	±0,500	0,003	Geçti
	Surface Point Z	28,124	28,420	±0,500	0,296	Geçti
surf pt 10	Surface Point X	-79,358	-79,346	±0,500	0,012	Geçti
	Surface Point Y	-19,440	-19,432	±0,500	0,008	Geçti
	Surface Point Z	19,899	19,855	±0,500	-0,044	Geçti
surf pt 11	Surface Point X	-60,825	-60,830	±0,500	-0,005	Geçti
	Surface Point Y	30,019	30,024	±0,500	0,005	Geçti
	Surface Point Z	6,534	6,730	±0,500	0,196	Geçti
surf pt 12	Surface Point X	-30,032	-30,032	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Y	-42,882	-42,882	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	6,536	6,719	±0,500	0,183	Geçti

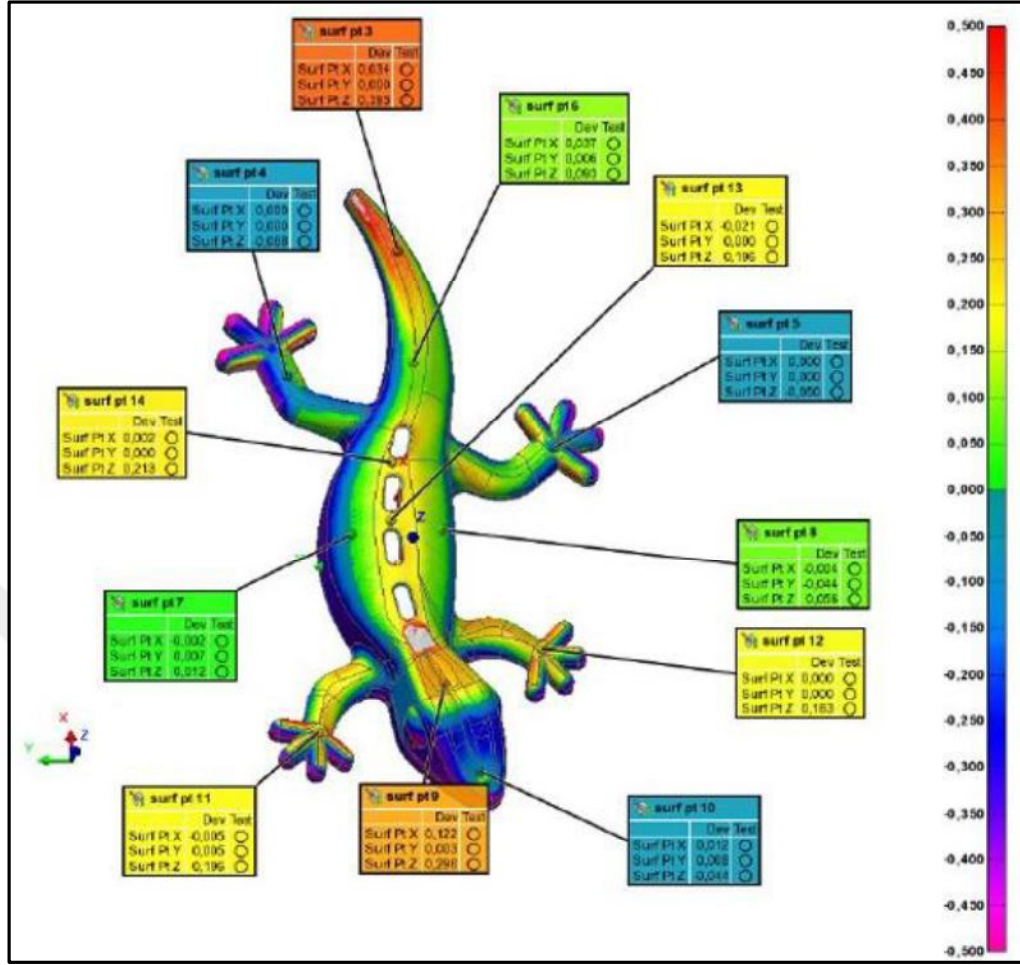
Tablo 4.1. (Devam) Konvansiyonel prodesteki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 13	Surface Point X	5,246	5,225	$\pm 0,500$	-0,021	Geçti
	Surface Point Y	7,083	7,083	$\pm 0,500$	0,000	Geçti
	Surface Point Z	26,250	26,446	$\pm 0,500$	0,196	Geçti
surf pt 14	Surface Point X	24,583	24,585	$\pm 0,500$	0,002	Geçti
	Surface Point Y	6,244	6,244	$\pm 0,500$	0,000	Geçti
	Surface Point Z	28,071	28,284	$\pm 0,500$	0,213	Geçti

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 hızlı ısıtma soğutma prosesi ile üretilmiş Gekko parçası için yapılmış ölçümün sonuçlarıdır.



Şekil 4.22. Hızlı ısıtma soğutmalı prodesteki boyutsal ölçüm sonuçları



Şekil 4.23. Hızlı ısıtma soğutmalı prosesteki boyutsal ölçüm 2

kalınmıştır. Bu nedenle test kısmındaki sonuçların tamamından geçer not almıştır. Ölçümlerdeki minimum sapma 0 mm iken maksimum sapma 0,448 mm'dir. Maksimum sapmanın olduğu kısım Gekko parçasının kuyruk kısmındadır. Ayrıca bu sapma Z ekseninde olup genel çarpılma yönü yine maksimum sapma yönüne paralel şekilde Z eksenindedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Hızlı ısıtma soğutmalı prosesteki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 1	Surface Point X	119,222	119,217	±0,500	0,005	Geçti
	Surface Point Y	4,340	4,340	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	7,364	7,232	±0,500	-0,132	Geçti



Tablo 4.2. (Devam) Hızlı ısıtma soğutmalı procesteki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 2	Surface Point X	75,008	75,008	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Y	41,405	41,405	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	6,536	6,796	±0,500	0,260	Geçti
surf pt 3	Surface Point X	42,788	42,794	±0,500	0,006	Geçti
	Surface Point Y	-46,474	-46,457	±0,500	0,017	Geçti
	Surface Point Z	6,535	6,983	±0,500	0,448	Geçti
surf pt 4	Surface Point X	90,027	89,978	±0,500	-0,049	Geçti
	Surface Point Y	-5,623	-5,623	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	10,831	10,611	±0,500	-0,220	Geçti
surf pt 5	Surface Point X	41,605	41,586	±0,500	-0,019	Geçti
	Surface Point Y	-0,474	-0,474	±0,500	0,000	Geçti
	Surface Point Z	26,427	26,310	±0,500	-0,117	Geçti
surf pt 6	Surface Point X	7,274	7,280	±0,500	0,006	Geçti
	Surface Point Y	19,565	19,507	±0,500	-0,058	Geçti
	Surface Point Z	24,357	24,268	±0,500	-0,089	Geçti
surf pt 7	Surface Point X	9,265	9,273	±0,500	0,008	Geçti
	Surface Point Y	-7,177	-7,123	±0,500	0,054	Geçti
	Surface Point Z	25,157	25,053	±0,500	-0,104	Geçti
surf pt 8	Surface Point X	-73,685	-73,436	±0,500	0,249	Geçti
	Surface Point Y	-18,485	-18,510	±0,500	-0,025	Geçti
	Surface Point Z	22,626	22,239	±0,500	-0,387	Geçti

Tablo 4.2. (Devam) Hızlı ısıtma soğutmalı prodesteki boyutsal ölçüm

İsim	Kontrol	Nominal	Ölçülen	Tolerans	Sapma	Test
surf pt 9	Surface Point X	-28,161	-28,141	±0,500	0,020	Geçti
	Surface Point Y	-39,535	-39,548	±0,500	-0,013	Geçti
	Surface Point Z	6,511	6,737	±0,500	0,226	Geçti
surf pt 10	Surface Point X	-47,530	-47,534	±0,500	-0,004	Geçti
	Surface Point Y	24,925	24,928	±0,500	0,003	Geçti
	Surface Point Z	6,540	6,977	±0,500	0,437	Geçti

Hızlı ısıtma soğutma uygulanan prodeste Z eksenindeki çarpılmalar konvansiyonel prosesle üretilen parçaya göre daha fazladır. Bunun temel nedeni hızlı ısıtma soğutma prosesinde kalıbın enjeksiyon tarafının yüzeyi konvansiyonel procese göre ortalama sıcaklığı daha yüksektir.

Yaptığımız denemelerden çıkarılabilecek en önemli çıkarımlardan biri sadece hızlı ısıtma soğutma cihazı çalıştırmanın parçanın çarpılmasını iyileştirmediğini aksine kötüleştirdiğini göstermiştir. Bunun için iki farklı çözüm önerisi bulunmaktadır. Bunlardan ilki plastik enjeksiyon proses parametrelerinin üzerine yoğunlaşp hızlı ısıtma soğutma prosesi ile ilişkilendirerek yeni bir proses parametresi tanımlamaktır. İkinci öneri ise kalıplama esnasında kalıba verilecek çekme paylarının üretilcek katı model üzerinde tersine mühendislik yapılarak işlenmesi olacaktır.

#### 4.4. TMA Deneyi

Hızlı ısıtma ve soğutma prosesi ile elde edilen parçanın camsı geçiş sıcaklığı normal uygulamaya göre daha düşük elde edilmiştir (Tablo 4.3). Fakat termal genleşme katsayısında düşüş elde edilmiştir.

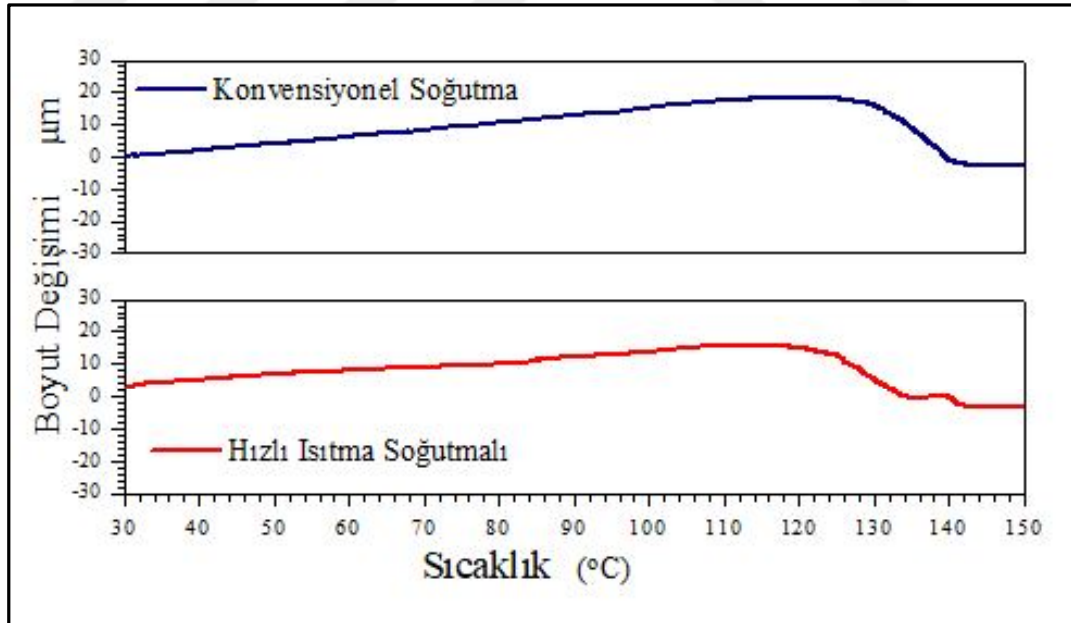
Aynı zamanda boyut kararlılığı hızlı ısıtma soğutmanın normal soğutmaya göre daha iyi olduğu Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'den görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta



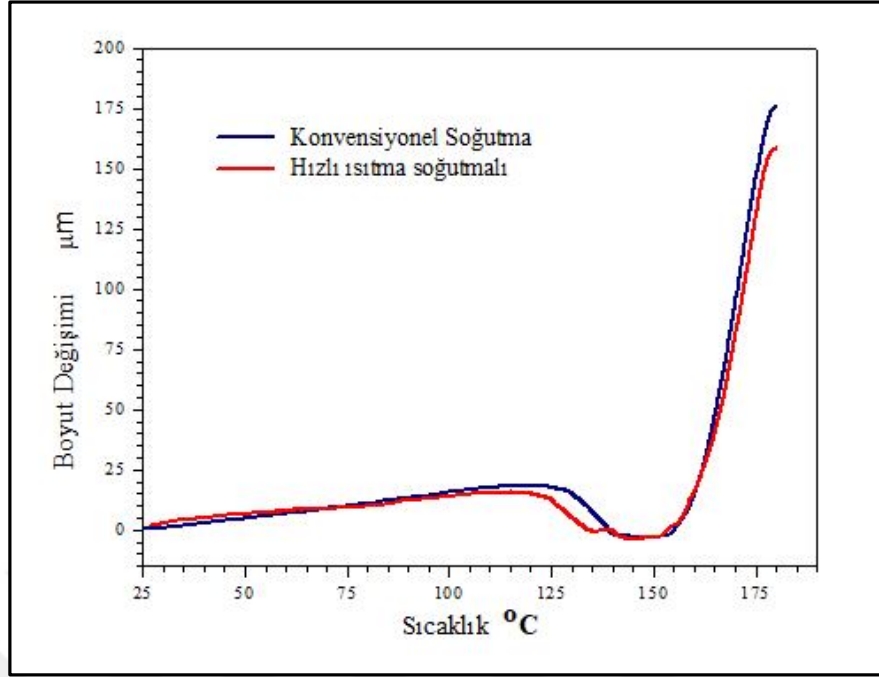
görülmektedir. Ramengmawii ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmada, takviyeli poliaktik asit hibrit malzemenin farklı içeriklerine göre camsı geçiş sıcaklığının üstünde boyut kararlılığının değişimini incelemişlerdir. Bu çalışmaya benzer olarak yaptığımız çalışmada, üretim koşullarının boyut kararlığına etkisi gözlemlenmiştir. Malzemeyi takviyelendirme ile elde edilen boyut kararlılığı sadece üretim koşullarına bağlı olarak elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3. Hızlı ısıtma soğutma ve konvansiyonel soğutma prosesi ile elde edilen örnek parçanın termal genişleme katsayıları

	$T_g$ °C	Termal Genleşme Katsayısı $\alpha$ ( $10^{-6} \times 1/K$ )			
		$T_g$ 'deki	40 °C	40-100 °C	150 °C
<b>Normal Soğutma</b>	128,21	-374,81	113,40	113,19	173,57
<b>Hızlı Isıtma Soğutma</b>	120,08	-193,57	107,19	79,44	301,7



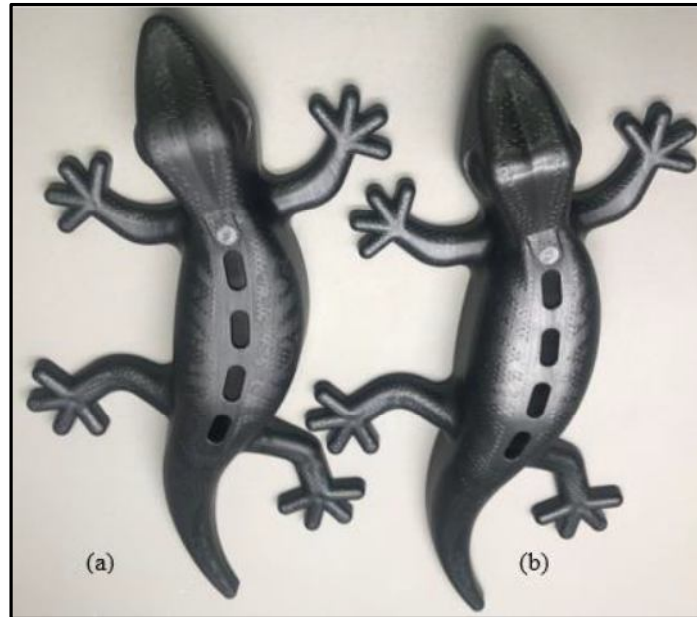
Şekil 4.24. Hızlı ısıtma soğutma ve konvansiyonel soğutma prosesi ile elde edilen



Şekil 4.25. Hızlı ısıtma soğutma ve konvensiyonel soğutma prosesi ile elde edilen örnek parçanın TMA analizleri

#### 4.5. Parlaklık ve Görsel Kontroller

Gekko kalıbının enjeksiyon tarafının yüzeyinde bir desen vardır. Bu desen kalıbın yüzey sıcaklığı arttıkça desenin belirginliği de artmıştır. Fakat buna karşılık kalıp yüzey sıcaklığı arttıkça parça daha mat olmaya başlamıştır.



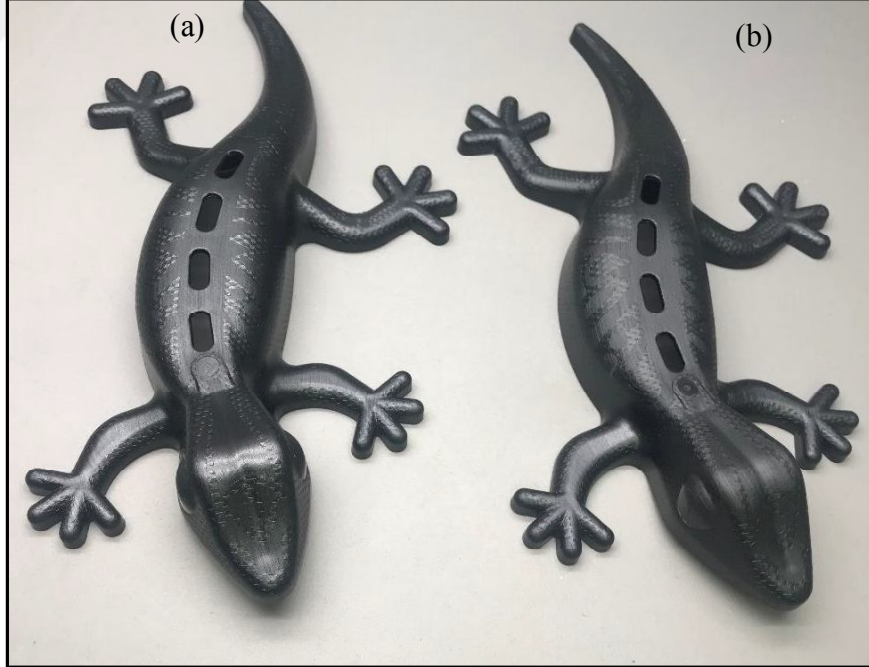
Şekil 4.26. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı

Şekil 4.26 (a)'daki parça hızlı ısıtma soğutma prosesi ile üretilmiş parçadır. Şekil 4.26 (b)'deki ise konvansiyonel proses ile üretilmiş parçadır. Aradaki parlaklık farkı şekillerden net bir şekilde seçilmektedir.

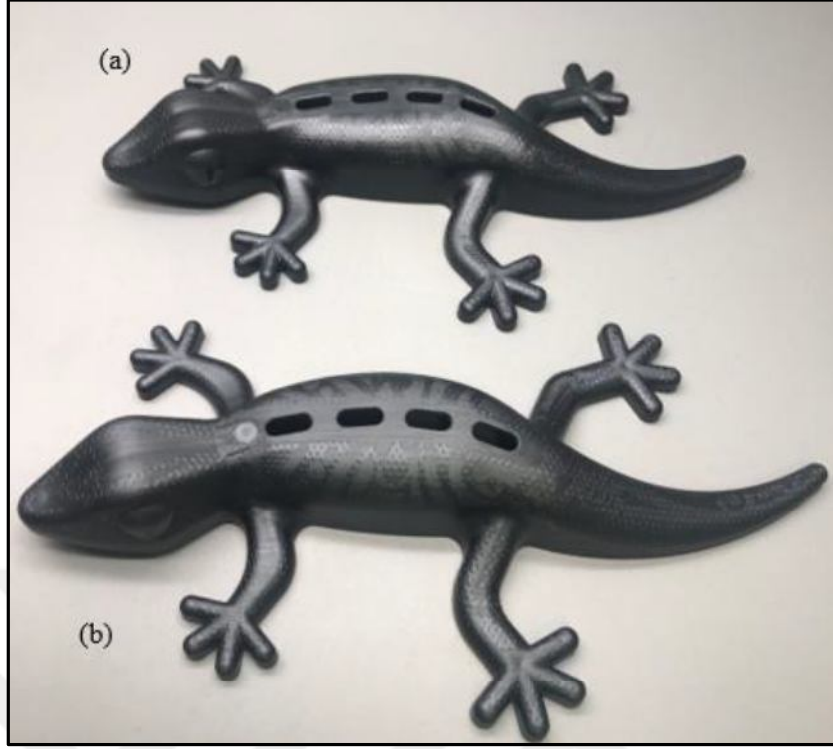


Şekil 4.27. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 2

Desen üzerinde gözlenen bu matlık yüzeyin pürüzlülüğünün fazla olduğunu göstermektedir. Oysaki hızlı ısıtma soğutma yüzeyi parlatılmış kalıplarda oldukça parlak yüzeyler elde edilebilmektedir.



Şekil 4.28. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı p



Şekil 4.29. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 4

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da görselleri bulunan parçaların a versiyonları konvansiyonel proses ile üretilmiştir ve parlaklıkları çok yüksektir. Buna karşılık b versiyonlar daha mat ve üzerindeki desen daha belirgindir. Bunun sebebi hızlı ısıtma soğutma kullanılmasıdır. Şekil 4.30'da ise parçaların arka kısmındaki görsellikleri görüntülenmiştir. Diğer taraftan Şekil 4.30'daki parçaların kafa kısımlarında mat yüzeylerin ne kadar farklı durduğu görüntülenebilmiştir.



Şekil 4.30. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı p

Gekko parçalarının kuyruk kısmına bakacak olunursa parlaklığın konvansiyonel proseste daha fazla olduğu görülecektir. Buna karşılık desenlerin belirginliği hızlı ısıtma soğutma prosesinde daha net olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.31).

Şekil 4.32’de parçanın desenlerinin görselliği sırt bölgesinde oldukça güzel görünürken enjeksiyon noktasının bulunduğu bölgede desenlerin belirginliği azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebi enjeksiyon noktasındaki sıcaklık farkıdır. Sıcaklığın yüksek olması hızlı ısıtma soğutmanın etkisini konvansiyonel prosese göre farkını ortadan kaldırmıştır.



Şekil 4.31. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı p





Şekil 4.32. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 7



Şekil 4.33. Parlaklık ve görsel kontrollerin yapıldığı parçalar 8

Parlaklık özelliği Gekko parçasının göz bölgelerinde görünmektedir. Hızlı ısıtma soğutma prosesi çalışması ile birlikte sıcaklığa bağlı olarak daha mat parçalar elde edilebilmektedir. Hatta hızlı ısıtma soğutma prosesi parlaklık-matlık ayarlaması yapılması için yardımcı bir proses görevindedir. Şekil 4.33’de parçanın gözlerindeki

Sonuç olarak:

1. Hızlı ısıtma soğutma prosesinde soğutma kanallarının önemi oldukça yüksektir. Parçanın görsel yüzeyini takip etmesi için çaba sarf edilmelidir.
2. Hızlı ısıtma soğutma cihazı farklı bir proses entegrasyonu gibi görev yapmaktadır. Bu nedenle proses devreye alırken iki farklı prosesin optimizasyonu yapılmalıdır.
3. Hızlı ısıtma soğutma prosesi uygulanmış parçalarda Z eksininde çarpılma daha yüksek çıkmıştır. Fazla çarpılmanın nedeni kalıbın enjeksiyon tarafındaki sıcaklığın dolun ve tutma esnasında daha fazla olmasıdır. Farklılığın çözüm önerisi olarak kalıptaki çekme payını bir akış analizi yaparak buradan çıkan sonuçlara göre kalıba çekme payı verilmesidir.
4. Matlık ve parlaklığın kontrolü için oldukça kullanışlı bir yöntemdir.
5. Kalıbın yüzeyine verilen desen hızlı ısıtma soğutma prosesi ile çok daha belirgin şekilde kalıba geçmektedir. Desenleme bu veriyi düşünerek tasarlanmalıdır.
6. Hızlı ısıtma soğutma prosesi birleşme izlerinin görsel yüzeyden yok edilmesinde kullanılabilir.
7. Parçalarda ikincil bir proses olarak boyama prosesi uygulanmasını elimine ederek parça maliyetlerini ciddi seviyede aşağıya çekebilir.
8. Görsel anlamda problem yaşanan proseslerde bir çözüm olarak kullanılabilir. Özellikle fiziksel ve/veya kimyasal köpürtme proseslerine entegre ederek yüzey kalite problemleri çözülebilir.
9. Termal genleşme katsayısı hızlı ısıtma soğutma sonucunda konvansiyonel soğutmaya göre daha düşüktür. Artan sıcaklıkla hızlı ısıtma soğutmalı parçaların

## KAYNAKLAR

- [1] Eroğlu Y., Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, PAGEV, 2019/6 , 1-26, 2019.
- [2] Xu X. R., Sachs E., Rapid Thermal Cycling with Low Thermal Inertia Tools, *Polymer Engineering and Science*, 2009, **49**(2), 305-316.
- [3] <https://www.plasticmoulds.net/two-plate-moldthree-plate-moldhot-runner-mold.html>, (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019).
- [4] <https://www.plasticmoulds.net/two-plate-moldthree-plate-moldhot-runner-mold.html>, (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019).
- [5] [www.plasticmoulds.net/two-plate-moldthree-plate-moldhot-runner-mold.html](http://www.plasticmoulds.net/two-plate-moldthree-plate-moldhot-runner-mold.html), (Ziyaret tarihi: 11 Aralık 2019).
- [6] <https://www.meltdesign.com/the-internally-heated-difference>, (Ziyaret tarihi: 11 Aralık 2019).
- [7] <https://www.contura-mtc.de>, (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2019).
- [8] <https://www.autodesk.com/products/moldflow/overview>, (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2019).
- [9] Shoemaker J., *Moldflow Design Guide*, 1st ed., Hanser Publications, USA, 2006.
- [10] <https://www.engelglobal.com>, (Ziyaret tarihi: 13 2019).
- [11] Masato D., Babenko M., Shriky B., Gough T., Lucchetta G., Whiteside B., Comparison of Crystallization Characteristics and Mechanical Properties of Polypropylene Processed by Ultrasound and Conventional Micro-Injection Molding, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, **99**, 113-125.
- [12] Li X.P., Zhao G.Q., Guan Y.J., Ma M. X., Optimal Design of Heating Channels for Rapid Heating Cycle Injection Mold Based on Response Surface and Genetic Algorithm, *Materials and Design*, 2009, **30**(10), 4317-4323.



- [13] Wang J., Jin X., Comparison of Recent Fiber Orientation Models in Autodesk Moldflow Insight Simulations with Measured Fiber Orientation Data, *Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Annual Meeting (PPS-26)*, Banff, Kanada, 4-8 Haziran 2010.
- [14] Koszkuł J., Nabialek J., Viscosity Models in Simulation of The Filling Stage of The Injection Molding Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, **157-158**, 183-187.
- [15] Andreassona E., Persson L., Jacobsson H., Nordgrend J., Integrating Moldflow and Abaqus in The Package Simulation Workflow, *2013 SIMULIA Community Conference (SCC2013)*, Viyana, Avusturya, 21-24 Mayıs 2013.
- [16] Yao D., Kim B., Increasing Flow Length in Thin Wall Injection Molding Using A Rapidly Heated Mold, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2002, **41(5)**, 819-832.
- [17] Jeng M. C., Chen S.C., Minh P.S., Chang J.A., Chung C.S., Rapid Mold Temperature Control in Injection Molding by Using Steam Heating, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2010, **37(9)**, 1295-1304.
- [18] Cedric T. F., Hua H. X., Injection Molding Cycle Time Reduction for Automobile Headlamp Shell in Moldflow, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, **692**.
- [19] <http://www.moldex3d.com/kr/assets/2011/09/Thermal-Feature-of-Variotherm-Mold-in-Injection-Molding-Processes.pdf>, (Ziyaret tarihi: 11 Aralık 2019).
- [20] Wang G. L., Zhao G. Q., Li H.P., Guan Y.J., Design and Analysis of Variotherm Injection Molding of Large LCD Panel Based on CAE, *Journal of Materials Engineering*, 2009, **0(9)**, 24-28.
- [21] Chang P. C., Hwang S.J., Simulation of Infrared Rapid Surface Heating for Injection Molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, **49(21-22)**, 3846-3854.
- [22] Wang G., Zhao G., Li H., Guan Y., Research on Optimization Design of the Heating/Cooling Channels for Rapid Heat Cycle Molding Based on Response Surface Methodology and Constrained Particle Swarm Optimization, *Expert Systems with Applications*, 2011, **38(6)**, 6705-6719.
- [23] Sun B., Jiang C., Wang H., Optimization Design of Injection Mold for Rolling Comb Based on Mold Flow, *2nd International Conference on Manufacturing Science and Information Engineering (ICMSIE 2017)*, Guangzhou, Çin, 2-3 2017.

- [24] Wiedemann H.G., Riesen R., Boller A., Elasticity Characterization of Materials During Thermal Treatment by Thermal Mechanical Analysis, *ASTM STP 1136 Materials Characterization of Materials During Thermal Treatment by Thermal Analysis*, 1991, 84-89.
- [25] Wendlandt W.W., *Thermal Methods of Analysis*, 2nd ed., Wiley, USA, 1974.
- [26] Groenewoud W.M., *Characterisation of Polymers by Thermal Analysis*, Elsevier Science, Netherlands, 2001.
- [27] ISO 11359-1, Plastics-Thermomechanical analysis (TMA) Part 1: General Principles, *International Organization for Standardization*, 2014.
- [28] ISO 11359-2, Plastics-Thermomechanical analysis (TMA) Part 2: Determination of coefficient and glass transition temperature, *International Organization for Standardization*, 1999.
- [29] Prativiera R., Pessan L. A., Carvalho A. J. F., Characterization of Thermally Crosslinkable Polyester Films by Thermomechanical Analysis: A Versatile and Very Sensitive Technique for The Evaluation of Low Crosslinking Degree in Polymers, *Polymer International*, 2018, **67**(8), 1011–1015.
- [30] Siakeng R., Jawaid M., Ariffin A., Sapuan S.M., Mechanical, Dynamic, and Thermomechanical Properties of Coir/Pineapple Leaf Fiber Reinforced Polylactic Acid Hybrid Biocomposites, *Polymer Composites*, 2019, **40**(5), 2000-2011.
- [31] Moayyedian M., Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding, Doctoral Thesis, University of South Australia, Adelaide, 2017.
- [32] Beaumont J. P., *Runner and Gating Design Handbook*, 2nd ed., Hanser Publishers, Mních, 2007.
- [33] Beaumont J. P., Nagel R. F., Sherman R., *Successful Injection Molding*, 1st ed., Hanser Publishers, Mních, 2002.
- [34] Kulkarni S., *Robust Process Development and Scientific Molding*, 2nd ed., Hanser Publishers, Mních, 2017.
- [35] Osswald T. A., Turng L. S., Gramann P., *Injection Molding Handbook*, 2nd ed., Hanser Publishers, Mních, 2007.
- [36] Naranjo A., Noriega M. D. P., Sierra J. D., Sanz J.R., *Injection Molding Processing Data*, 2nd ed., Hanser Publishers, Mních, 2018.
- [37] Menning G., *Mold-Making Handbook*, 2nd ed., 1998.

- [38] Menges G., Michaeli W., Mohren P., *How to Make Injection Molds*, 3rd ed., Hanser Publications, , 2001.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Özgüven C. B.**, Şahin T., Plastik Enjeksiyon Prosesinde Hızlı Isıtma Soğutma Prosesi Entegrasyonu, *SubconTurkey*, **189**, 2020, 64-65.
- [2] **Özgüven C. B.**, Kalıp İçi Sensörlerle Daha Şeffaf Bir Proses, *Plastik, Ambalaj, Makine ve Kalıp Sektör Ürün A*, **209**, 2015.



## ÖZGEÇMİŞ

Cem Barış Özgüven Mart 1991’de Hatay’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İskenderun’da tamamlayıp, İ.D.Ç Anadolu Lisesinden mezun olmuştur. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü kazandı. Üniversite hayatı boyunca plastik enjeksiyon alanında çalışan Brightworks firmasında yarı-zamanlı çalışmıştır. Satış Destek mühendisi olarak başlamıştır. Çalışma hayatının yanında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine 2016 yılında başlamıştır. Kariyerine Brightworks çatısı altında Satış ve Pazar Geliştirme olarak devam etmektedir.

