T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Enjeksiyon Yönteminde Yolluk Tasarımının Parça Kalitesine Etkileri

Can Berk HINÇAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmal Usulleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar VANLI

Temmuz, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Enjeksiyon Yönteminde Yolluk Tasarımının Parça Kalitesine Etkileri

Can Berk HINÇAL tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar VANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar VANLI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Kemal NURVEREN, Üye
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar VANLI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Plastik Enjeksiyon Prosesinde Yolluk Tasarımının Parça Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Can Berk HINÇAL

İmza

Canım Oğlum

ve

Sevgili Eşime

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam sırasında bana yol gösteren, bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar VANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tecrübelerinden ziyadesiyle istifade ettiğim Prodemo Arge Tasarım ve Mühendislik Ltd. Şti. genel müdürü Sayın Cem YAPAREL'e ve manevi desteklerini için değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez yazımı süresince sürekli yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Ezgi Hınçal'a da ayrıca teşekkürü borç bilirim.

Can Berk HINÇAL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR **v**
SİMGE LİSTESİ **viii**
KISALTMA LİSTESİ **ix**
ŞEKİL LİSTESİ **x**
TABLO LİSTESİ **xiii**
ÖZET **xiv**
ABSTRACT **xvi**
1 GİRİŞ **18**
2 PLASTİKLER **20**
2.1 Plastiklere Genel Bakış 20
2.2 Plastiklerin Sınıflandırılması 22
2.3 Otomotiv Sektöründe Plastik Kullanımı 27
3 PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ **29**
3.1 Plastik Enjeksiyon Makineleri 29
3.2 Plastik Enjeksiyon Prosesi 32
3.3 Plastik Enjeksiyon Proses Parametreleri 34
4 PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI **38**
4.1 Besleme Tipine Göre Kalıplar 39
4.2 Geleneksel Yolluk Giriş Tipleri 40
5 MATERYAL VE YÖNTEM **43**
5.1 Plastik Malzeme ve Özellikleri 44
5.2 Enjeksiyon Kalıbı ve Özellikleri 47
5.3 Soğuk Yolluk Tipi ve Özellikleri 49
5.4 Kullanılan Enjeksiyon Makinesi 51
5.5 Problem Tanımı 53
5.6 Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi 55
5.7 Kesme Oranı Değerinin Optimizasyonu 58
5.8 Yolluk Kesiti Tasarım Çalışmaları 62
6 SİMÜLASYON ANALİZLERİ **65**
6.1 Geometrik Mesh Yapısı 65
6.2 Malzeme Seçimi ve Proses Değerleri 66
6.3 Analiz Sonuçları 69

7 UYGULAMA **73**
8 SONUÇLAR **77**
KAYNAKÇA **78**

SİMGE LİSTESİ

θ	Eriyik Akış Birleşme Açısı
T_e	Erime sıcaklığı
T_g	Camsı Geçiş Sıcaklığı
R00	Kalıpta Kullanılan İlk Soğuk Yolluk Tasarımı
R01	Daralma Uzunluğu Optimize Edilmiş Soğuk Yolluk Tasarımı
R02	Rezervuar Yapısı Eklenmiş Soğuk Yolluk Tasarımı
R03	Giriş Noktasına Kadar Daralan Soğuk Yolluk Tasarımı

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril Bütadiyen Stiren
ASA	Akrilonitril Stiren Akrilat
CNC	Computer Numerical Control
EDM	Electrical Discharge Machining
ESR	Elektroslag Rafinasyonu
ISO	International Organization for Standardization
MFR	Melt Flow Rate
OT	Off-Tool
PMMA	Polimetil Metakrilat
TPE	Termoplastik Elastomer
UV	Ultraviyole
ZPL	Zero Parting Line

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mühendislik plastiklerin performans piramidi **20**
Şekil 2.2 Amorf, yarı kristal, kristal polimerlerde ısıl geçişler arasında gözlenen davranışlar **24**
Şekil 2.3 Bazı termoplastikler **25**
Şekil 2.4 Bazı termosetler **25**
Şekil 2.5 Elastomer çeşitlerinin diğer plastiklere göre sertlikleri **26**
Şekil 2.6 TPE'lerin sınıflandırılması **27**
Şekil 3.1 Enjeksiyon makinesinin bölümleri **29**
Şekil 3.2 Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi [13] **30**
Şekil 3.3 Tek blok makas mengene sistemi [14] **31**
Şekil 3.4 Enjeksiyon makinesi kontrol ünitesi **31**
Şekil 3.5 Plastik enjeksiyon prosesi çevrim adımlarının kalıp içi basınç-zaman grafiği üzerinden gösterimi **32**
Şekil 3.6 Plastik enjeksiyon proses çevriminin şematik gösterimi [16] **34**
Şekil 4.1 Plastik enjeksiyon kalıbı parçaları [17] **38**
Şekil 4.2 Soğuk ve sıcak yolluk beslemeli kalıpların şematik gösterimi **39**
Şekil 4.3 Kenar yolluk girişi **40**
Şekil 4.4 Fan yolluk girişi **41**
Şekil 4.5 Film yolluk girişi **41**
Şekil 4.6 Tünel yolluk girişi **42**
Şekil 4.7 Muz yolluk girişi **42**
Şekil 5.1 Boyalı deflektör parçası **43**
Şekil 5.2 Spoiler grubu görseli **44**
Şekil 5.3 Doğal yaşlanmaya maruz kalan PMMA, ABS ve ASA numunlerinin renk değişim değerleri (ISO 105-A02, gri ölçek).[6] **44**
Şekil 5.4 Luran® S 778T malzemesinin (a) Akış/Kesme Oranı grafiği (b) Kesme Gerilimi/Kesme Oranı grafiği [22] **47**
Şekil 5.5 Sıcak yolluk sisteminin görseli **48**
Şekil 5.6 Kalıbın tasarım görseli **49**
Şekil 5.7 Maçalı yolluk (Liftergate) görseli **50**
Şekil 5.8 Liftergate'in 90mm'lik stroku tamamlamasının 3 adımlı kinematiği **51**
Şekil 5.9 Kalıptaki maçalı yolluk giriş bölgesi ölçüleri **51**
Şekil 5.10 Negribossi Vector 800-4250 enjeksiyon makinesi [23] **52**

Şekil 5.11 Kalıp tasarım sürecinde tek göz üzerinden gerçekleştirilen simülasyonda elde edilen kapama tonajı grafiği **53**

Şekil 5.12 Plastik yüzeyler için uygulanan desen tiplerinden bazılarının yakın görünüşleri **54**

Şekil 5.13 Problemin görseli **55**

Şekil 5.14 Birleşim izi: Θ açısının artması birleşim izinin görünümünü azaltır **55**

Şekil 5.15 Jetting problemli akış ve normal akış **56**

Şekil 5.16 Parçanın üst ve alt bölgesinde örüntü şeklinde görülen akış izi örneği, kaplan çizgileri [19] **56**

Şekil 5.17 Simülasyon kütüphanesindeki malzeme limit değerleri **57**

Şekil 5.18 İlk akış analizi parametresi ve enjeksiyon makinesinde elde edilen parametre kullanılarak gerçekleştirilen akış analizleri sonucunda iz bölgesinde görülen kesme oranlarının karşılaştırması **58**

Şekil 5.19 Fıskiye akış olgusunun şematik gösterimi [20] **58**

Şekil 5.20 a) Tipik akış hızı profili b) Enjeksiyon akışında görülen kesme oranı dağılımı [7] **59**

Şekil 5.21 Görünür kesme oranı değerleri hem akış hızına hem de akış kesiti geometrisine göre değişmektedir. [27] **60**

Şekil 5.21 R00 Soğuk yolluk görseli **62**

Şekil 5.22 R01 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması **62**

Şekil 5.23 R02 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması **63**

Şekil 5.24 R03 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması **63**

Şekil 6.1 Simülasyon programında kullanılan mesh yapısı **66**

Şekil 6.2 Autodesk MoldFlow Insight kütüphanesinden seçilen Luran® S 778T malzemesinin mekanik özellikleri **67**

Şekil 6.3 Dolum Süresi karşılaştırması **69**

Şekil 6.4 Hız/Basınç geçiş anında (V/P switch-over) basınç dağılımı karşılaştırması **69**

Şekil 6.5 İzin görüldüğü bölgede eriyik akış yönü ve hızı karşılaştırması **70**

Şekil 6.6 Donan katmanların parçaya göre kalınlık oranı karşılaştırması **70**

Şekil 6.7 Maksimum kesme oranı karşılaştırması **70**

Şekil 6.8 Soğuk yolluk üzerinde girişe yakın bölgedeki maksimum kesme oranı karşılaştırması **71**

Şekil 6.9 Soğuk yolluk üzerinde girişe yakın bölgedeki kesme oranı **71**

Şekil 7.1 Kalıptaki maça yolluğun işlenen bölgesi **73**

Şekil 7.2 Simülasyondan alınan parametreler ile üretilen parçadaki izin durumu **74**

Şekil 7.3 Optimize edilmiş parametreler ile üretilen parçadaki izin son durumu **. 75**

Şekil 7.4 Optimize edilmiş enjeksiyon parametreleri ve R03 yolluk ile gerçekleştirilen analiz sonucu iz bölgesinde görülen kesme oranı **..... 75**

Şekil 7.5 Desenleme işlemi sonrası üretilen parçadaki iz bölgesinin son durumu **76**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Bazı katkı ve dolgu malzemelerinin plastik teknik özelliklerine olumlu etkileri [24] **21**

Tablo 2.2 Plastiklerin sınıflandırılması **22**

Tablo 2.3 Taşıt üretiminde kullanılan başlıca plastikler **28**

Tablo 3.1 Otomotiv sektöründe sıkça kullanılan bazı plastik hammaddeler için tavsiye edilen enjeksiyon parametreleri [15] **37**

Tablo 5.1 Gri Ölçek puanlama sistemi **45**

Tablo 5.2 Kullanılan ASA malzemenin özellikleri [22] **46**

Tablo 5.3 Negribossi Vector 800-4250 enjeksiyon makinesi özellikleri [23] **52**

Tablo 5.4 Moldflow şirketi tarafından sağlanan kesme oranı ve kesme stresi limit değerleri [25] **61**

Tablo 5.5 Soğuk yolluk tasarımlarının ağırlıkları **64**

Tablo 6.1 Proses parametrelerinin karşılaştırması: Simülasyon sürecinde ve enjeksiyon makinesinde kullanılan parametreler **68**

Tablo 7.1 Optimize edilmiş enjeksiyon parametreleri tablosu **74**

ÖZET

Plastik Enjeksiyon Yönteminde Yolluk Tasarımının Parça Kalitesine Etkileri

Can Berk HINÇAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmal Usulleri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Ali Serdar VANLI

Bu çalışma, plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde, yolluk girişi bölgesinde görülen ancak simülasyon analizlerinde saptanamayan akış izi probleminin çözümü için yolluk kesitinde yapılan değişiklikleri ve problemin kesme oranı ile ilişkisini incelemektedir.

Çalışma, otomotiv 5 kapılı (hatchback) araçlarında bulunan spoiler ana grubu içerisindeki deflektör parçası üzerine gerçekleştirilmiştir. Deflektör parçasının üretiminde, ABS malzemesine alternatif olarak geliştirilmiş bir mühendislik plastiği olan ASA kullanılmış ve deneme baskıları Negribossi Vector 800-4250 enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Autodesk Moldflow Insight programı kullanılarak kalıba uygulanan ilk yolluk kesitiyle gerçekleştirilen simülasyon sonucunda, izin oluştuğu bölgede 65453 1/s kesme oranı görülmüştür. Bu değer program kütüphanesindeki limit değeri olan 50000 1/s'den yüksek olması dolayısıyla parçanın estetik yüzeyinde görülen izin kök nedeni olabileceği üzerinde durulmuştur. İlgili bölgedeki kesme oranı değerini düşürmek amacıyla 3 farklı yolluk kesit tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk iki tasarım

ile kesme oranında iyileşme yakalanamamış, ancak R03 versiyonunda kesme oranının limit değere yaklaştığı görülmüştür. Simülasyonlarda minimum kesme oranının elde edilmesini sağlayan R03 yolluk kesiti fiziki olarak kalıba uygulanmış, sonucunda akış izinde iyileşme gözlemlenmiştir. Son olarak, proses parametrelerinde eriyik sıcaklığının, enjeksiyon hızının artırılması yönünde optimizasyonlar gerçekleştirilerek kabul edilebilir bir iz seviyesi elde edilmiştir. Optimize edilmiş son parametre ile kontrol simülasyonu gerçekleştirilmiş ve ilgili bölgedeki kesme oranın limit değerin hemen altında 48259 1/s olarak oluştuğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda, yolluk giriş bölgesinde görülen izin kesme oranı ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Simülasyon programından çıkan sonuçlarda, kesme oranı değerinin malzeme kütüphanesinde tanımlanmış limitlerin altında olmasının problemin tamamen oluşmayacağını garanti etmediği ve parça tasarımı gibi diğer etmenlerin olumsuz etkilerinin de telafi edilebilmesi için kesme oranı değerinin mümkün olduğunca düşürülmesi gerektiği görülmüştür. Ek olarak, simülasyon sonuçlarında net olarak tanımlanamayan problemlerde dahi simülasyon programlarının kullanılmasının; parametre değişiklikleri veya kalıpta yapılacak fiziksel değişiklikler gibi çözüm yöntemleri ile ilgili karar süreçlerinde rehberlik sağlayabildiğini ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon Yöntemi, Yolluk Tasarımı, Simülasyon, Kesme Oranı, Akış İzi

ABSTRACT

Effects of Runner Design on Part Quality in Plastic Injection Process

Can Berk HINÇAL

Department of Mechanical Engineering

Master of Science

Supervisor: Dr. Ali Serdar VANLI

This study investigates the modifications on the runner section and the connection of the problem with the shear rate in order to solve the flow mark problem, which is seen in the runner inlet region during the injection process but cannot be detected in simulation analysis.

The study was carried out on the deflector part in the spoiler main group of automotive hatchback vehicles. ASA, an engineering plastic developed as an alternative to ABS, was used in the production of the deflector part and the trials were carried out on a Negribossi Vector 800-4250 injection machine.

As a result of the simulation performed with the first runner section using the Autodesk Moldflow Insight software, the shear rate was 65453 1/s in the region where the mark appeared. Since this value is higher than 50000 1/s, which is the limit value in the software's library, it has been emphasized that it may be the root cause of the flow mark seen on the aesthetic surface of the part. In order to reduce the shear-rate value in the relevant region, three different runner section designs were made. Although no improvement was achieved in the shear rate with the first two designs, it was observed that the shear rate approached the limit value in the R03 version. R03 version runner, which ensured that the minimum shear rate was achieved in the simulations, was applied to the mold and it was observed that the

visibility of the flow mark was reduced. Lastly, an acceptable flow mark level was obtained by optimizing the process parameters, i.e. by increasing the melt temperature and the injection speed. A control simulation run was performed with the most recent optimized parameters and it was observed that the shear rate in the region was 48259 1/s, which is just below the limit value.

In conclusion, it can be said that the flow mark in the runner inlet region is related to the shear rate. The results of the simulations show that the shear rate value below the limits defined in the material library does not guarantee the problem will not occur at all and that the shear rate value should be reduced as much as possible in order to compensate for the negative effects of other factors such as part design. In addition, this study has shown that the use of simulation programs can provide guidance in decision making processes related to solution methods such as parameter changes and modifications to the mold, even for problems that cannot be clearly defined in the simulation results.

Keywords: Plastic Injection Process, Runner Design, Simulation, Shear Rate, Flow Mark

1
GİRİŞ

Günümüzde, plastik enjeksiyon kalıplama, otomotivden tıbba, günlük kullanım eşyalarından yüksek teknoloji ürünlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılan bir üretim yöntemidir. Bu yöntemin yaygınlığı, malzeme çeşitliliği, üretim hızı ve maliyet etkinliği gibi avantajlarından kaynaklanmaktadır. Ancak, bu sürecin karmaşıklığı ve yüksek hassasiyet gereksinimleri, üretim sırasında karşılaşılan zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu tez çalışmasının temel amacı, plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde sıklıkla rastlanan bir sorun olan yolluk bölgesindeki akış izlerinin oluşumunu incelemek ve bu sorunu minimize etmek için etkili çözümler sunmaktır.

Plastik parçaların kalıplanmasında, malzemenin kalıp içindeki akışı, son ürünün kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Yolluk sistemi, erimiş plastik malzemenin kalıp içerisinde dengeli ve etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlamak için kritik bir rol oynar. Ancak, yolluk tasarımında yapılan hatalar veya uygun olmayan parametre seçimleri, yüzey kusurları gibi istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Bu çalışma, özellikle yolluk kesitindeki tasarım değişikliklerinin, akış izlerini azaltma potansiyelini araştırmaktadır.

Tezin odak noktası, otomotiv sektöründe kullanılan bir deflektör parçasıdır. Bu parçanın üretimi esnasında, yolluk giriş bölgesine yakın estetik yüzeylerde akış izleri meydana gelmiştir. Bu sorunun çözümü için tez çalışmasında Autodesk Moldflow Insight bilgisayar destekli simülasyon aracı kullanılmış ve yolluk tasarımında yapılabilecek iyileştirmeler detaylandırılmıştır.

Yolluk sistemi tasarımının optimize edilmesi, plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde kritik bir öneme sahiptir. Yolluk kesitinin boyutu, şekli ve konumu, malzemenin akışını ve sonuç olarak parçanın kalitesini etkiler. Bu çalışmada, farklı yolluk kesitlerinin akış izleri üzerindeki etkileri, gerçek kalıp koşulları altında incelenmiş ve bulgular simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu süreçte, yolluk tasarımındaki değişikliklerin akış dinamiklerine ve sonuçta parçanın yüzey kalitesine olan etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

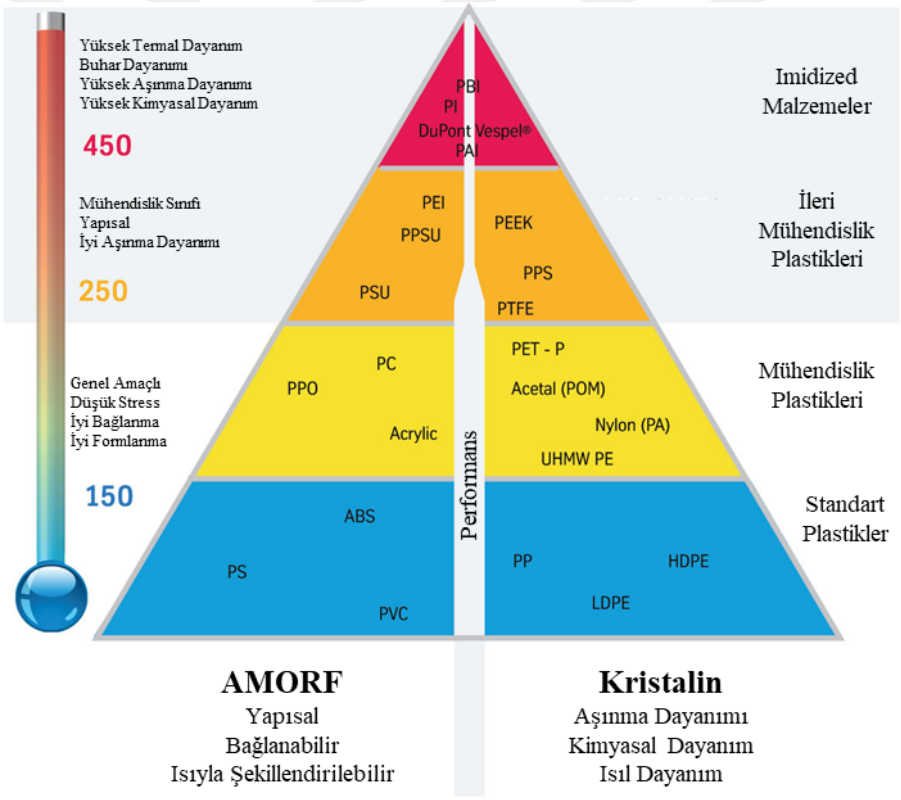
Çalışma, plastik enjeksiyon kalıplama endüstrisindeki profesyoneller için değerli bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Yolluk tasarımındaki iyileştirmeler; üretim maliyetlerinin azaltılması, israfın önlenmesi ve nihai ürünün estetik kalitesinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu tez, plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde karşılaşılan bir sorunu derinlemesine analiz ederek, sektördeki uygulamalar için yenilikçi çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın sonuçları, daha verimli ve etkili yolluk tasarımları geliştirilmesine olanak tanıyacak ve bu sayede plastik parçaların üretim sürecinin optimizasyonuna katkıda bulunacaktır.

2
PLASTİKLER

2.1 Plastiklere Genel Bakış

Otomotiv endüstrisinde plastik malzemeler; hafiflik, maliyet etkinliği ve tasarım esnekliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu sektörde plastikler, araçların iç ve dış bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve metal malzemenin yerine geçerek araçların ağırlığını azaltmaktadır. Hafifletme, yakıt verimliliğini artırma ve emisyonları azaltma hedefleriyle doğrudan ilişkilidir.



Şekil 2.1 Mühendislik plastiklerin performans piramidi

Araç içi uygulamalarında, plastikler; konsol panelleri, kapı kaplamaları ve diğer iç trim parçaları gibi estetik ve fonksiyonel özellikleri olan bileşenlerde kullanılır. Dış uygulamalarda ise tamponlar, kapı çıtaları, çamurluklar ve hava menfezleri gibi bileşenlerde tercih edilir. Bu malzemelerin kullanımı, araç tasarımının daha esnek olmasını sağlar ve üretim süreçlerinin verimliliğini artırır.

Tablo 2.1 Bazı katkı ve dolgu malzemelerinin plastik teknik özelliklerine olumlu etkileri [24]

Takviye ve Dolgu Malzemeleri	Teknik Özellikler						
	Kimyasal Dayanıklılık	Elektrik İzolasyonu	Darbe Dayanımı	Çekme Dayanımı	Rijitlik	Sertlik	Suya Dayanıklılık
Talk	+	+			+	+	+
Cam Elyafı	+	+	+	+	+	+	+
Kalsit					+	+	
Silisyum (Amorf)		+					+
Grafit	+			+	+	+	
Mika	+	+			+	+	+
Molibdendisülfür -Molikot					+	+	+
PTFE -Teflon Elyafı					+	+	
Kaolin -kil	+				+	+	+
Poliamid Elyafı	+	+	+	+	+	+	
Poliakrilnitril Elyafı	+	+	+	+	+	+	+

Plastik malzemeler kullanım gerekliliklerine göre ısıl dayanım, sürtünme, akışa karşı direnç ve oksidasyon gibi özelliklerini iyileştirmek için katkı ve dolgu malzemeleriyle geliştirilmektedir. Bazı katkı ve dolgu malzemelerinin plastikler üzerindeki olumlu etkileri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

2.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler, üretim yöntemlerinden işlenme süreçlerine ve performans özelliklerine kadar bir dizi önemli ölçüte göre sınıflandırılır ve belli gruplara ayrılır. Bu sınıflandırma; plastiklerin kökenine, sentezlenme tepkimelerine, moleküler zincirlerinin yapısına, zincirlerinin uzaysal yönelimine, ısıl davranışlarına ve kristalliğine göre yapılmaktadır [8, 9].

Plastiklerin ısıl davranışları, en önemli sınıflandırılma ölçütlerden biridir. Isıl özelliklerine göre plastikler termoplastik, termoset ve elastomer olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır. Termoplastikler ısıtıldığında yumuşayıp ve akıcı hale geçen, soğutulduğunda katılaşan ve tekrar ısıtıldığında yine akışkan hale geçebilen plastiklerdir. Termosetler, ısıtıldığında kimyasal yapıları değişir ve bu nedenle soğuduktan sonra kalıcı olarak katılaşırlar. Elastomerler ise esnek yapıları ile bilinir ve belirli bir sıcaklık aralığında elastik özellikler gösterirler. Bu sınıflandırma, günümüz plastik sektöründe üretim yöntemlerinin belirlenmesinde temel bir rol oynamakta ve plastiklerin kullanım alanlarını doğrudan etkilemektedir.

Tablo 2.2 Plastiklerin sınıflandırılması

Sınıflandırma Kriteri	**Sınıflandırma**
Köken	Doğal
	Yarı sentetik
	Sentetik
Sentezlenme tepkimesi	Katılama polimerizasyonu
	Basamaklı polimerizasyon

Tablo 2.2 Plastiklerin sınıflandırılması (devamı)

Zincir yapısı	Düz (lineer)
	Dallanmış
	Çapraz bağlı
Zincirlerin uzaysal yönelimi	İzotaktik
	Sindiyotaktik
	Ataktik
Isıl davranışları	Termoplastikler
	Termosetler
	Elastomerler
Kristalliği	Amorf
	Yarı Kristalin
	Kristalin

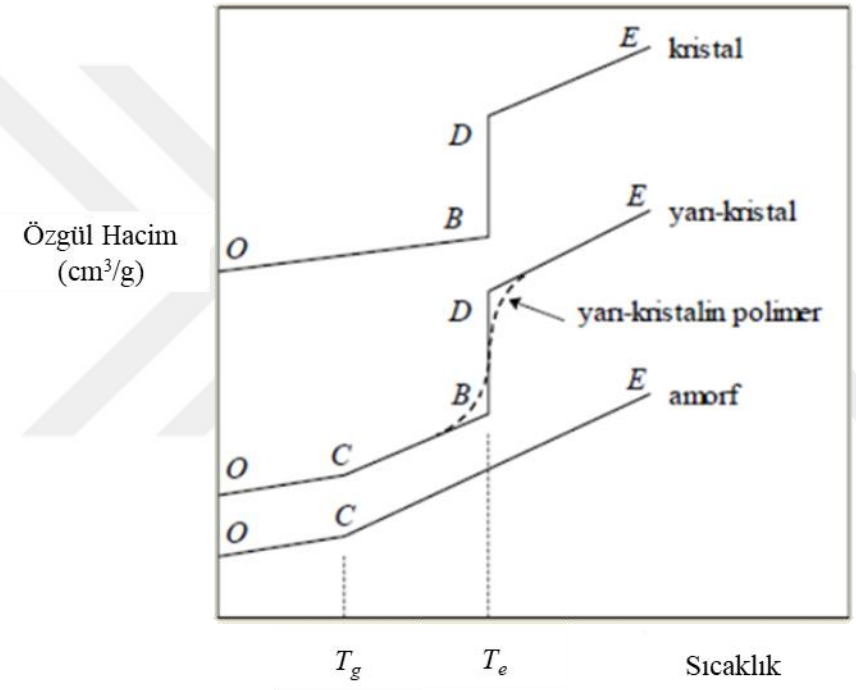
2.2.1 Termoplastikler

Termoplastikler, fiziksel yapıları itibarıyla düz veya dallanmış zincir yapısına sahiptir. Bu zincirlerin dizilimine bağlı olarak amorf, yarı kristalin veya kristalin yapıda olabilmektedir. Bu malzemelerin monomerleri arasında zayıf Van der Waals bağları bulunur [10].

Amorf termoplastikler camsı geçiş sıcaklığı (T_g) özelliği gösterirken, yarı kristalin termoplastikler hem camsı geçiş hem de erime sıcaklığı (T_e) özellikleri sergiler. Kristalin termoplastikler ise yalnızca erime sıcaklığına sahiptir. Plastik

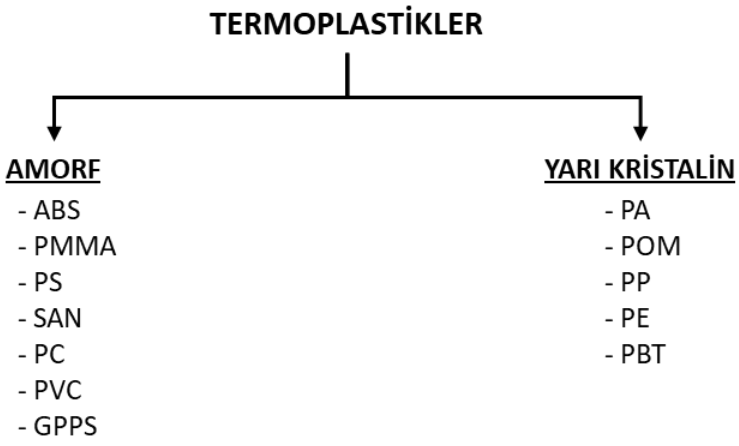
endüstrisinde tam kristalin malzeme üretimi mümkün olmadığından, genellikle yarı kristalin veya amorf yapıdaki termoplastikler kullanılır.

Termoplastik malzemeler, T_g değerinin üzerine ısıtıldığında, zincirleri arasındaki zayıf bağlar gevşeyerek zincir hareketlerinin kolaylaşmasına ve bu nedenle malzemenin yumuşayarak viskoelastik bir davranış sergilemesine yol açar. Bu sıcaklıkta termoplastiklerin şekillendirilmesi kolaylaşır. Amorf yapıdaki termoplastikler, T_g'nin üzerinde daha fazla ısıtıldığında erimek yerine sakızımsı bir yapıya bürünür. Kristalin termoplastikler ise T_e değerine ulaştıklarında sıvı hale geçiş yapar.



Şekil 2.2 Amorf, yarı kristal, kristal polimerlerde ısıl geçişler arasında gözlenen davranışlar

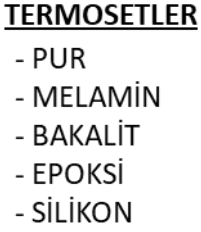
Hem amorf hem de kristalin termoplastikler, yüksek sıcaklıklara farklı tepkiler verse de, bozunma sıcaklıklarına ulaşılmadıkları sürece soğutulduklarında eski hallerine geri dönerler. Bu özellik, termoplastiklerin geri dönüştürülmesini ve defalarca işlenebilmesini mümkün kılar.



Şekil 2.3 Bazı termoplastikler

2.2.2 Termosetler

Termosetler, yapılarında yüksek oranda çapraz bağ içeren, üç boyutlu ağ yapısına sahip plastiklerdir. Termoplastiklerden farklı olarak, termosetler ısıtıldığında yumuşama eğilimi göstermez. Bunun ana nedeni, yapılarında bulunan kuvvetli çapraz bağların (kovalent bağlar) moleküler zincir hareketlerini sınırlamasıdır. Isıya maruz kaldıklarında, bu malzemeler ne yumuşama ne de erime gösterirler; aksine, sıcaklık etkisiyle sertleşen ağ yapısı malzemenin bozulmasına yol açar [10, 11].



Şekil 2.4 Bazı termosetler

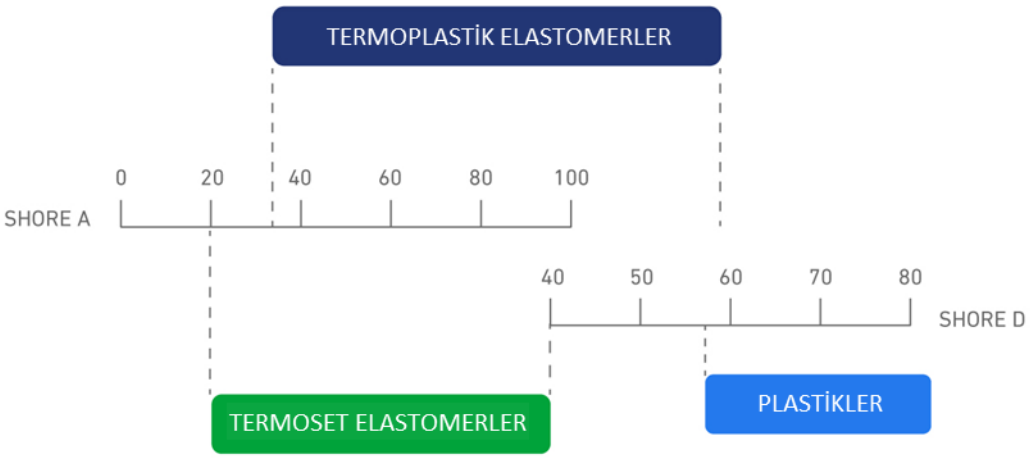
Termosetlerin üretimi, reçine halindeki ön polimerin katkı maddeleriyle (örneğin çapraz bağ yapıcılar) karıştırılarak yüksek sıcaklıkta kürlenmesiyle gerçekleştirilir. Bu süreçte malzeme, kürlenene kadar istenilen şekle sokulabilir; ancak kürleme işleminden sonra sıcaklıkla şekillendirilmesi mümkün olmaz. Bununla birlikte; çubuk, şerit, levha ve kütük formunda üretilen termoset malzemeler, talaşlı şekillendirme yöntemleriyle işlenebilir.

Termosetler, termoplastiklere kıyasla daha yüksek çalışma sıcaklıklarına, daha yüksek mekanik özelliklere, artırılmış sertliğe ve boyutsal kararlılığa sahiptirler. Bu özellikler, termosetleri elektrik izolasyonu, yüksek sıcaklığa dayanıklı uygulamalar ve kimyasal direnç gerektiren alanlarda ideal bir malzeme seçeneği yapar. Ayrıca, bu malzemelerin yüksek sıcaklığa ve kimyasal etkilere karşı gösterdikleri direnç, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde de kritik bileşenlerin üretiminde önemli rol almalarını sağlar.

2.2.3 Elastomer

Elastomerler, kristallenmeye direnç gösteren amorf iç yapıya sahip polimerlerdir. Termosetler kadar yoğun olmamakla birlikte çapraz bağlara sahiptirler. Bu malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g) oda sıcaklığının altında olduğu için, yüksek süneklik ve hareket kabiliyetine sahiptirler.

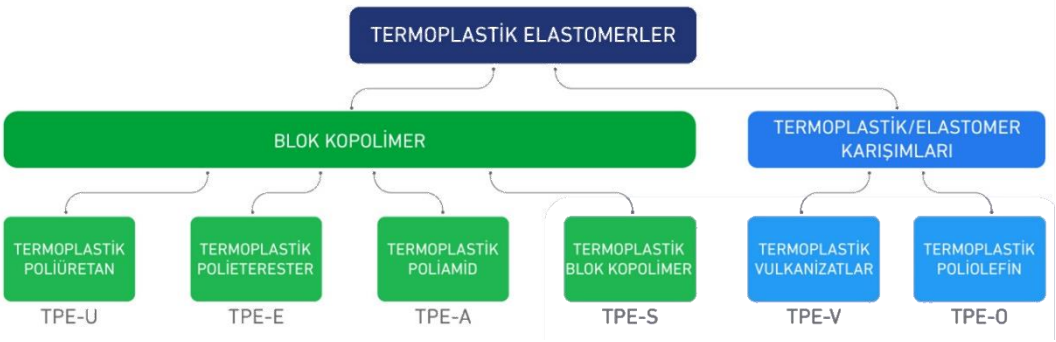
Elastomerler üretim süreçlerinin başlangıcında termoplastiklerle benzer özellikler sergilerken, vulkanizasyon işlemi ile çapraz bağlarının oluşumu sonrası termosetlere benzer özellikler göstermeye başlarlar.



Şekil 2.5 Elastomer çeşitlerinin diğer plastiklere göre sertlikleri

Elastomerler, çok sayıda çapraz bağ içeren termoset elastomerler ve çapraz bağ miktarı azaltılarak üretilen termoplastik elastomerler (TPE) olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir [12]. Uzun bir süre termoset plastikler grubunda değerlendirilen elastomerler, TPE'lerin geliştirilmesiyle yeni bir sınıf olarak karşımıza çıkmaktadır.

TPE'ler, termoset elastomerlere göre geri dönüştürülebilir olmaları, daha kısa üretim çevrim süreleri ve renklendirilebilir olmaları gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu özellikler, günümüzde TPE'lerin termoset elastomerlere alternatif olarak tercih edilmesini sağlamaktadır [12].



Şekil 2.6 TPE'lerin sınıflandırılması

2.3 Otomotiv Sektöründe Plastik Kullanımı

Taşıt imalatında giderek artan plastik kullanımı, plastik parçaların imalatında kullanılan plastik hammaddeleri de çeşitlendirmektedir. Otomotiv sektöründe 10'un üzerinde farklı plastik hammadde kullanılmasına rağmen bu hammaddelerin %50'sinden fazlasını polipropilen, poliüretan ve polyamide oluşturmaktadır [31].

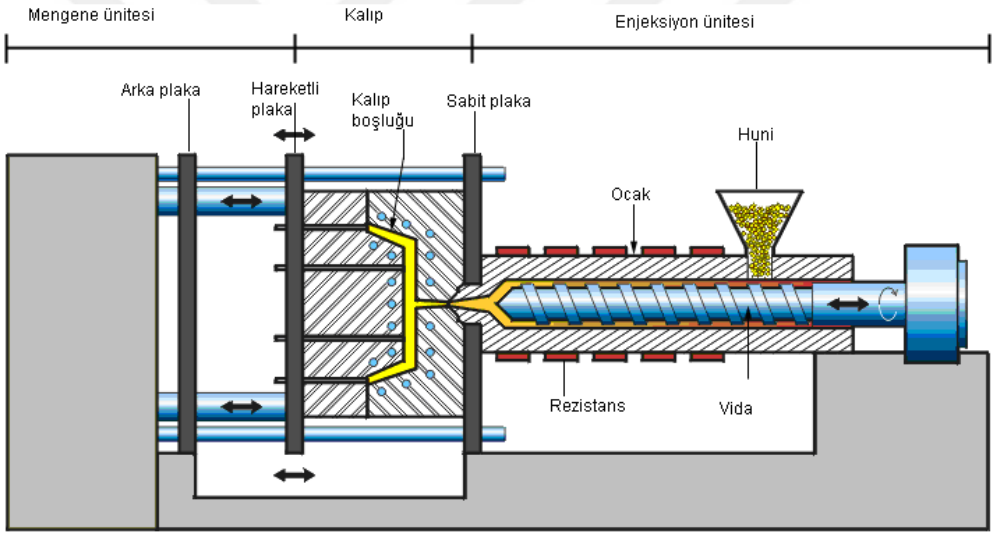
Gün geçtikçe elektrikli araçların daha da yaygınlaşmasıyla birlikte ağırlık azaltma ihtiyacı artmakta ve bu durum, istenen mekanik özellikleri daha düşük özgül ağırlıkla sağlayabilen mühendislik ve ileri mühendislik plastikleri gibi hammaddelerin kullanımını artırmaktadır. Ayrıca elektronikleşen araçlar ile polibütilteraftalat, alifatik polieton ve sıvı kristal polimerler gibi yeni mühendislik plastikleri, konnektörler ve elektrikli parça yuvaları da dahil olmak üzere, son derece zorlu uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır [31].

Tablo 2.3 Taşıt üretiminde kullanılan başlıca plastikler

Parçalar	**Kullanılan Ana Plastik Çeşitleri**
İç süslemeler	PP, ABS, PET, POM, PVC
Kontrol paneli	PP, ABS, PA, PC, PE
Koltuklar	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Tamponlar	PP, ABS, PC
Kaput-altı parçalar	PA, PP, PBT
Döşemeler	PVC, PUR, PP, PE
Yakıt sistemleri	PE, POM, PA, PP
Elektrikli parçalar	PP, PE, PBT, PA, PVC
Karoser (Karoser panelleri dahil)	PP, PPE, UP
Işıklandırma	PP, PC, ABS, PMMA, UP
Dış süslemeler	ABS, PA, PBE, ASA, PP
Diğer depolar	PP, PE, PA

3
PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ

Plastik enjeksiyon, mutfak eşyalarından otomotiv bileşenlerine oyuncaklardan medikal ürünlere kadar çeşitli uygulamalar için kullanılan, verimli bir üretim yöntemidir. Enjeksiyon süreci, sıcak erimiş plastik hammaddenin kalıba enjekte edilmesini, soğutularak katılaştırılmasını ve sonrasında kalıptan alınmasını kapsar. Çalışmanın ileri bölümlerinde enjeksiyon çevrim süreçlerinin daha detaylı bir incelemesi yapılacaktır. Enjeksiyon makineleri genellikle yatay olmakla birlikte dikey versiyonları da belirli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Enjeksiyon makinesinin bölümleri

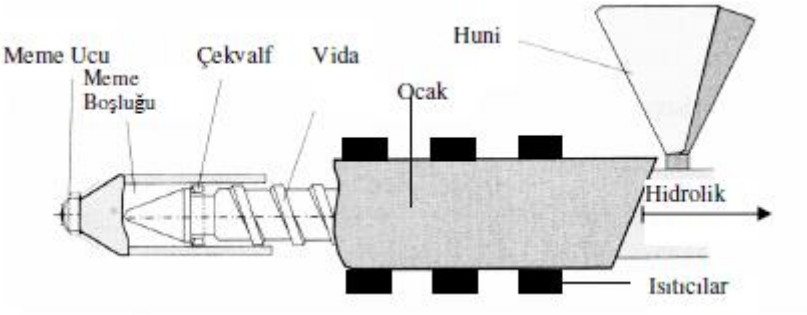
3.1 Plastik Enjeksiyon Makineleri

Enjeksiyon makinesinin plastikleştirme ünitesi, mengene ünitesi ve kontrol ünitesi olmak üzere üç ana bölüme ayrılmaktadır.

3.1.1 Plastikleştirme (Enjeksiyon) Ünitesi

Enjeksiyon ünitesinin esas amacı, plastik hammaddeyi eriterek homojen bir şekilde kalıba basmaktır. Her üretilen parçanın kalite ve tutarlılığını garanti altına almak için, enjeksiyon ünitelerinin her seferinde aynı miktarda ve aynı özelliklerde

malzeme basması kritik öneme sahiptir. Bu süreçte, enjeksiyon ünitesinin sıcaklık ve malzeme homojenliği üzerinde hassas bir kontrol sağlaması gereklidir.



Şekil 3.2 Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi [13]

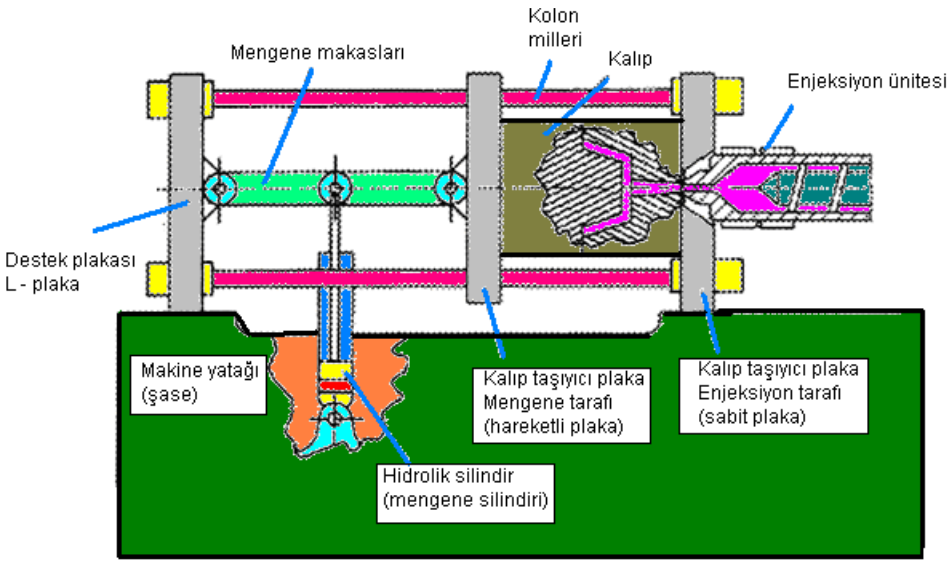
Günümüz enjeksiyon makinelerinde kullanılan helezonlar, plastik malzemeyi eritme ve ileri doğru itme işlevlerini yerine getiren önemli bileşenlerdir. Huniden alınan plastik hammadde ocak ısıtıcılarının (rezistanslar) yanı sıra helezonun dönme hareketinin oluşturduğu sürtünme ısısı tarafından eritilir. Erimiş plastik malzeme, helezonun hareketiyle meme boşluğuna doğru ilerleyerek depolanır ve kalıbı dolduracak seviyeye ulaşana kadar helezonun bu geri hareketi devam eder. Helezonun geri dönüş hızının azaltılması, karışımın daha homojen bir yapıya sahip olmasına yardımcı olur.

Plastikleştirme işlemi tamamlandığında ve meme boşluğu yeterli malzeme ile dolunca helezon piston gibi hareket ederek yüksek basınçla plastik malzemeyi kalıba enjekte eder. Malzemenin meme ucundan çıkarken sahip olduğu basınç, enjeksiyon basıncı olarak adlandırılır [13]. Bu süreç, enjeksiyon makinelerinin verimliliğini ve ürün kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir aşamadır.

3.1.2 Mengene Ünitesi

Mengene ünitesi, plastik enjeksiyon kalıbını taşıyan temel bileşendir. Merkezinde bulunan kilitleme silindiri aracılığıyla enjeksiyon basıncına karşı gerekli kapama kuvvetini uygular ve istenen durumlarda itici hareketinin tahrik işlevlerini de üstlenir.

Bu ünite temelde prese benzer bir yapıdadır ve sabit ile hareketli plakalar, bir destek plakası ile hareketli bölgenin hareketini sağlayan bir tahrik sisteminden oluşur. Bu yapı, kalıbın açılıp kapanmasını, yüksek basınç altında sabit kalmasını ve enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra parçanın çıkarılmasını sağlar.



Şekil 3.3 Tek blok makas mengene sistemi [14]

3.1.3 Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesi, enjeksiyon prosesinin tüm parametrelerinin ayarlandığı, plastikleştirme ve mengene ünitelerinin kontrollerinin sağlandığı bölümdür. Bunların yanı sıra iş güvenliği ayarları ve problem tespitleri bu ünite aracılığı ile operatör tarafından takip edilir.

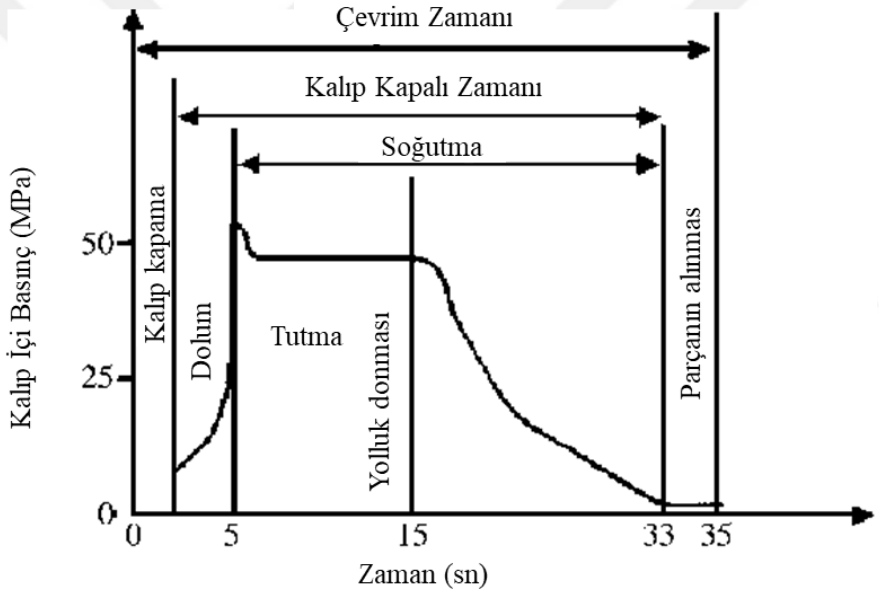


Şekil 3.4 Enjeksiyon makinesi kontrol ünitesi

3.2 Plastik Enjeksiyon Prosesi

Plastik enjeksiyon prosesinde çevrim, kalıptan elde edilen iki baskı arasında geçen süreci tanımlamaktadır. Bu çevrim, ilk parçanın kalıptan çıkarılmasından başlayarak, ikinci parçanın çıkarılmasına kadar süren bir dizi işlemi kapsar [27]. Çevrim süresi, ürün maliyetini doğrudan etkiler, bu nedenle en kısa sürede istenen kalitede üretim yapılması esastır.

Proses çevrim adımları; kalıbın kapanması, dolum, tutma basıncının uygulanması, soğutma, kalıp açılması ve ürünün kalıptan ayrılması şeklinde ayrılabilir. Nadir de olsa soğutma süresinin mal alma süresinden kısa olduğu durumlarla da karşılaşılabilmektedir. Bu durumda mal alma süresi de çevrim süresini etkileyen ek bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.5 Plastik enjeksiyon prosesi çevrim adımlarının kalıp içi basınç-zaman grafiği üzerinden gösterimi

3.2.1 Kalıp Hareketleri

Enjeksiyon prosesi kalıp kapanma hareketi ile başlar. Bu adımda kalıbın hareketli kısmı enjeksiyon makinesinin mengene ünitesi vasıtasıyla gerçekleştirilir ve kontrol ünitesinde tanımlanmış olan kapama tonajının kalıp üzerine yüklenmesi ile adım son bulur. Benzer bir adım soğutma adımından sonra kalıbın açılması sırasında da gerçekleşir. Bu hareketlerin başlangıcı ve sonunda hareket yavaşken ara zamanda hızlı gerçekleştirilir. Bu şekilde adımın çevrimde aldığı süre kısaltılırken kalıbın korunması da sağlanmış olur.

3.2.2 Dolum

Eriyik plastik malzemenin yüksek basınç ve hızla kalıp gözleri içerisine aktarılması adımıdır. Bu adım kalıp gözlerinin %95 ila %98 doluluğa ulaşmasına kadar devam eder. Kalıp gözlerinde kalan kısmın dolumu tutma basıncı ile gerçekleştirilir. Dolumun bittiği ve tutma basıncının başladığı nokta Hız/Basınç geçiş anı (V/P switch-over) olarak isimlendirilmektedir ve bu nokta ürün kalitesi etkileyen önemli bir parametredir.

3.2.3 Tutma

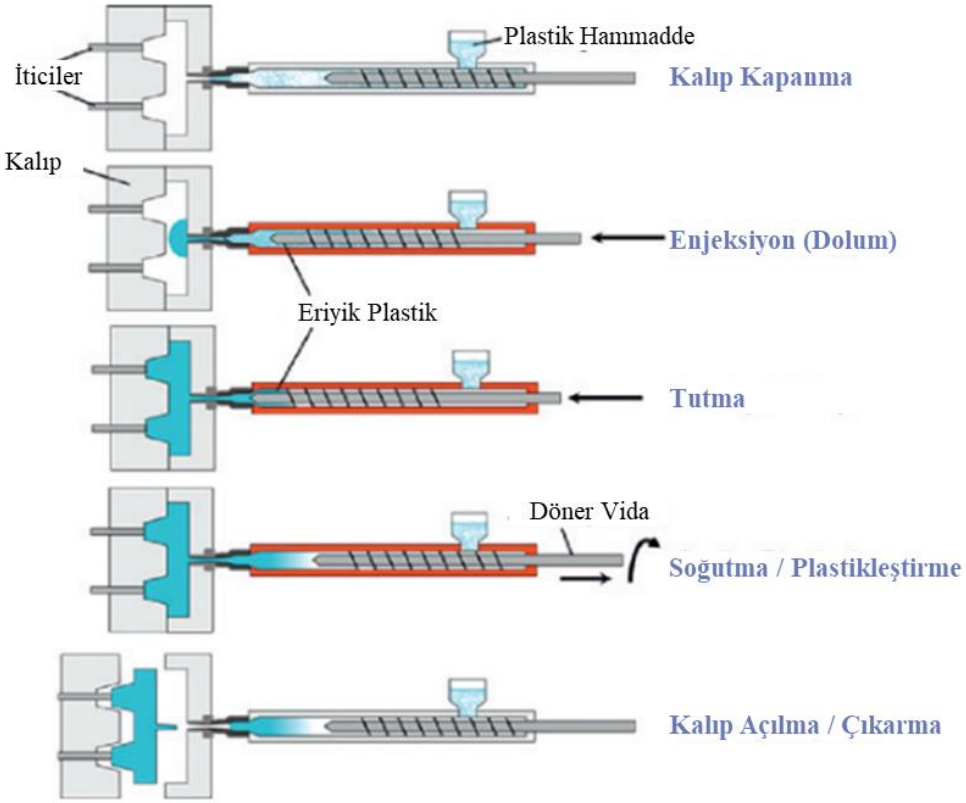
Sıcak eriyik plastiğinin kalıp gözü içerisinde soğuması esnasında boyutsal olarak küçülmektedir. Bu küçülme çeşitli boyutsal ve görsel problemlerin oluşmasına neden olur. Tutma basıncı, erimiş plastik malzemenin soğuması sırasında meydana gelen küçülmeyi tolere etmek için uygulanır. Yolluğun donması öncesinde bu işlem adımının tamamlanması gereklidir. Tutma basıncı parçanın boyutlarını, ağırlığını ve görsel yüzey kalitesini etkileyen kritik bir parametredir.

3.2.4 Soğutma

Soğutma aşaması, çevrim süresinin en uzun kısmını oluşturur. Ortalama olarak çevrim süresinin %70'ini oluşturur. Soğutma, proses çevrim süresinin azaltılmasını sağlayabilecek en etkin parametredir. Soğutma verimliliğin artırılması kalıptaki soğutma kanallarının iyi tasarlanmış olmasına bağlıdır. Bu aşamada ayrıca huniden mal alımı yapılarak plastikleştirme işlemi de gerçekleştirilir.

3.2.5 Parçanın Kalıptan Alınması

Enjeksiyon proses çevriminin son aşaması, kalıbın açılması ve parçanın kalıptan ayrılmasıdır. Kalıbın açılması sonrası genellikle plastik parça hareketli kısımda kalır ve bu kısımdan itici plakasının hareketi ile ayrılır. Kalıptan ayrılan parça operatör veya robot tarafından alınır veya dökme yöntemi ile kalıptan tamamen ayrılmış olur.



Şekil 3.6 Plastik enjeksiyon proses çevriminin şematik gösterimi [16]

3.3 Plastik Enjeksiyon Proses Parametreleri

Ürün tasarımı ve enjeksiyon kalıbının yanı sıra, plastik parça kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de enjeksiyon prosesidir. Doldurma zamanı, ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı gibi parametreler malzemenin teknik özelliklerine, mukavemetine ve çarpılmasına da etki etmektedir [30]. Plastik enjeksiyon prosesinin etkin değişkenleri sıcaklık, basınç, zaman ve hız olmak üzere 4 ana başlık altında toplanır.

3.3.1 Sıcaklık Parametreleri

Enjeksiyon prosesinin en önemli parametresi genellikle sıcaklık olarak ele alınır. Sıcaklığı etkileyen parametreleri kovan sıcaklığı, eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı olarak ayırabiliriz.

Kovan sıcaklıklarının, granül malzemenin istenilen eriyik sıcaklığına ekstrüder adı verilen kovan vidası sayesinde homojen olarak ulaşabilecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Kovan sıcaklıkları, besleme hunisinden eriyik malzemenin kalıba gireceği çıkış memesine kadar olan kısımda rezistanslar sayesinde belirlenir.

Eriyik sıcaklığı, kullanılan malzemenin tipine uygun olarak belirlenmelidir. Uygun olmayan sıcaklıklar, malzemenin ergimemesine veya yanmasına neden olabilir.

Eriyik malzeme, kalıp boşluğuna girişinin ardından çelik yüzeyine temas ederek katılaşmaya başlar. Kalıp sıcaklığı, eriyik malzemenin uygun sıcaklıkta akış yolunu tamamlamasına izin verecek şekilde belirlenmelidir. Ayrıca kalıp sıcaklığı, enjeksiyon çeviriminde en uzun zamanı alan soğuma süresinde en etkili parametredir. Bu nedenle çevrim süresini kısaltmak için kalıp sıcaklığı olabildiğince düşük seçilmelidir. Kalıp sıcaklığı, kalıptaki soğutma kanalları vasıtasıyla belirlenir. Soğutma kanallarının tasarımı parçanın homojen soğumasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi takdirde plastik parçada çarpılma, çökme gibi problemler görülebilir. PP, EPDM gibi viskozitesi düşük malzemelerde kalıp soğutulmaya çalışılırken POM, PEEK gibi yüksek viskoziteye sahip malzemelerde kalıp ısıtılmaya çalışılır.

3.3.2 Basınç Parametreleri

Basınç parametreleri, enjeksiyon sırasındaki basınçlar ve enjeksiyon makinesinin mengene basınçları olarak ayrılmaktadır.

Kalıp kapama kuvveti, enjeksiyon sırasında kalıbın açılmasını engelleyecek şekilde kalıp iç spesifik basıncından her zaman büyük olmalıdır. Kalıp iç basıncını malzemenin viskozitesi ve sıcaklığı, plastik parçanın projeksiyon alanı, et kalınlığı ve ağırlığı, akış yolu uzunluğu, kalıptaki gaz kanalı sayısı gibi değişkenler etkilemektedir.

Kalıp kapama kuvvetinin yanı sıra parçanın kalıptan çıkmasını sağlayan itici basıncı da parçanın görsel kalitesine etki edebilmektedir. Düşük itici basıncı plastik parçanın kalıptan ayrılmamasına neden olabilecekken, yüksek itici basıncı ise iticilerin plastik parçada görünür izler oluşturmasına neden olabilir.

Enjeksiyon sırasında uygulanan basınçlar; enjeksiyon basıncı, tutma basıncı ve geri emiş basıncıdır.

Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon makinesi vidasındaki ergimiş plastiği kalıp boşluğuna dolduran basınçtır.

Kalıp boşluğuna dolan eriyik soğudukça çekmeye başlar ve plastik parçada çöküntülere neden olur, ayrıca plastik parçanın bütün ayrıntıları enjeksiyon basıncı

ile oluşturulamayabilir. Tutma basıncı ile çeken plastiğin yerinin ve dolmayan bölgelerin tamamlanması amacıyla, eriyik plastiğin kalıba itilmesi bir süre daha devam eder. Tutma basıncı, plastik parçanın boyutunun ayarlanması, görsel kalitesinin istenen seviyede olması ve çarpılmanın minimize edilmesi için kritik öneme sahiptir.

Geri basınç, tutma basıncından sonra enjeksiyon vidasının geri çekilmesi ile oluşan basınçtır. Bir sonraki çevrim için ergimiş plastiğin alınmasını ve gaz oluşumunun azalmasını sağlar [21].

3.3.3 Zaman Parametreleri

Zaman parametreleri; enjeksiyon zamanı, tutma zamanı, soğutma zamanı ve toplam çevrim zamanı olarak ele alınabilir.

Enjeksiyon zamanı, kalıba enjekte edilen eriyiğin kalıp boşluğunu doldurduğu zamana kadar geçen süredir. Enjeksiyon zamanını etkileyen en önemli parametre vida hızıdır. Vida hızı malzeme cinsine göre seçilmelidir. Tutma zamanı, tutma basıncının uygulama süresidir. Kullanılan malzemeye göre seçilmelidir. Tutma zamanının yolluk donmasından önce tamamlandığından emin olunmalıdır, aksi takdirde çevrim süresi gereksiz bir şekilde uzatılmış ve fazladan enerji harcanmış olur.

Soğutma zamanı, kalıp gözünün dolumu ile kalıbın açılması arasında geçen süreyi ifade etmektedir. Kullanılan malzemeye göre kalıptan çıkacak parçada istenen sıcaklığa göre belirlenmesi gerekir. Soğutma zamanını, plastik parçanın et kalınlığı, parçanın ağırlığı, kalıp sıcaklığı ve soğutma kanallarının tasarımı etkilemektedir.

Toplam çevrim zamanı, açma ve kapama süresinin de dahil olduğu tüm sürelerin toplamını içerir. Toplam çevrim süresinin fazla olması plastik eriyiği yakabilirken çevrim süresinin gerektiğinden az olması parçada kalitesizliklere ve kalıpta mekanik hatalara sebep olabilmektedir [21].

3.3.4 Hız Parametreleri

Hız parametresi parça kalitesi, kalıp ve makine güvenliği ve çevrim süresi ile doğrudan ilgilidir. Hız parametresini etkileyen etmenler vida dönüş hızı ve enjeksiyon hızı olarak ele alınabilir. Vidanın eksenel yöndeki hızı; eriyiğin kalıp boşluğuna dolarken hızının fazla olmasına, ayrıca parçada çapak oluşumuna ve

kalıp çeliğinin zarar görmesine neden olabilmektedir. Hızın az olması ise eriyiğin çabuk katılaşarak eksik baskı probleminin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir [21].

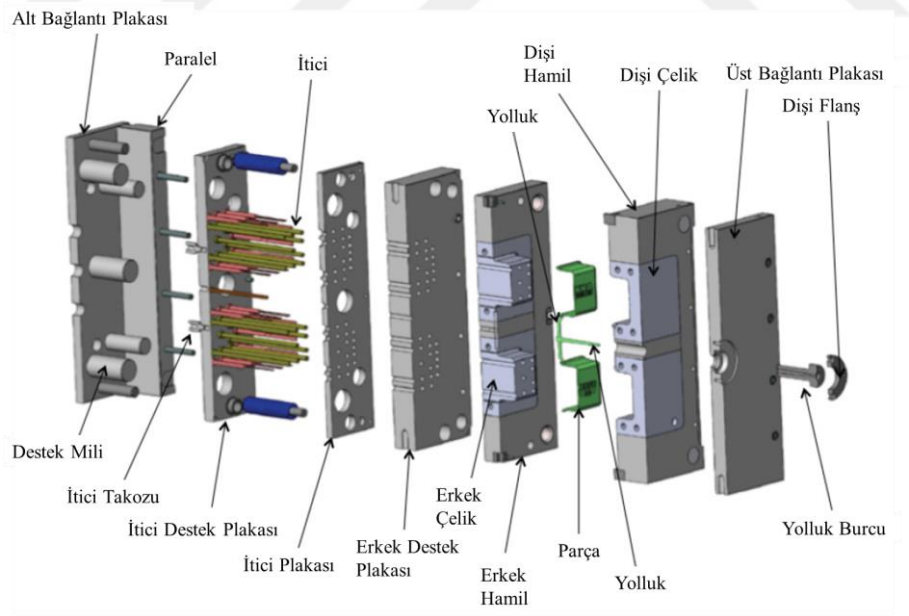
Tablo 3.1 Otomotiv sektöründe sıkça kullanılan bazı plastik hammaddeler için tavsiye edilen enjeksiyon parametreleri [15]

Plastik Hammadde	**Ön Kurutma Sıcaklığı / Süresi (ºC / Saat)**	**Kalıp Sıcaklığı (ºC)**	**Enjeksiyon Sıcaklığı (ºC)**	**Enjeksiyon Basıncı (bar)**
ABS	80-90 / 2-4	60-80	210-260 C	400-1500
PC	120 / 4-8	80-120	270-310	1000-1600
PC/ABS	90-110 / 3-4	60-90	240-280	1000-1600
POM	80-90 / 2-4	80-120	190-210	450-1550
PP	40 / 1	30-80	200-260	400-1200
PMMA	80-90 / 4-8	50-80	200-240	450-1550
PA 6	80-90 / 3-5	40-100	240-270	450-1550
PA 6.6	80-90 / 3-5	40-100	270-300	450-1550
ASA	80-90 / 3-5	60-80	210-260	400-1500

4
PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI

Plastik enjeksiyon kalıpları, esas olarak hareketli ve sabit olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Sabit grup, enjeksiyon makinesinden kalıp boşluğuna eriyik plastik taşıyan yolluk sistemini içerir. Hareketli grup, genel olarak parçalar mekanik kısımlarını oluşturur ve kalıbın açılması sonrası parçanın kaldığı bölümdür. Bu nedenle parçayı kalıptan ayırmak için gereken itici sistemi bu grupta yer alır. Ayrıca Kalıpların verimli bir şekilde çalışabilmesi için, parçanın hızlı ve dengeli bir şekilde katılaşmasını sağlayan ve sağlıklı bir ısı transferi gerçekleştiren soğutma sistemine ihtiyaç vardır.

Plastik enjeksiyon kalıplarında, kalıp çalışma açısından farklı çıkma açısı bulunan detayların (ters açılı geometriler) şekillendirilmesini sağlamak için çeşitli maça sistemleri kullanılır. Bu sistemler, hareketli grubun parçası olarak mekanik, pnömatik ve hidrolik gibi çeşitli tiplerde olabilir.



Şekil 4.1 Plastik enjeksiyon kalıbı parçaları [17]

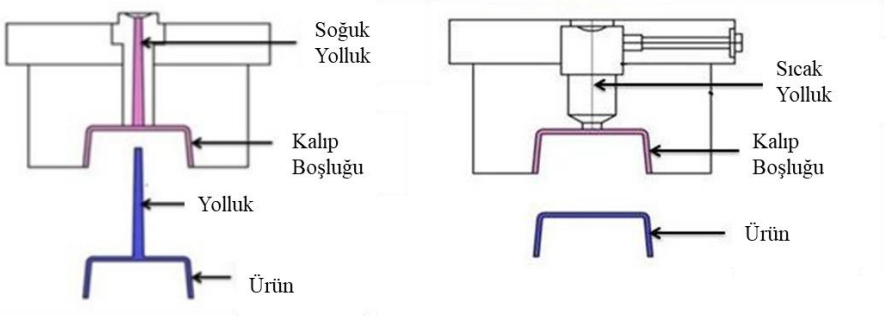
4.1 Besleme Tipine Göre Kalıplar

Eriyik plastiğin kalıp boşluğuna aktarılmasında sıcak ve soğuk olmak üzere 2 tip besleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tercihi, beklenen ürün kalitesi, üretim adedi ve yolluk gramajı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenir.

4.1.1 Soğuk Yolluk

Soğuk yolluk sistemleri, genellikle küçük boyutlu parçaların üretiminde tercih edilir. Bu sistem, parça üretimi için gereken malzemenin yanı sıra, atık olarak değerlendirilecek yolluk kısmı için de ek malzeme gerektirir. Bu sebeple, birden fazla gözü olan kalıplarda kullanımı yaygındır.

Soğuk yolluklu kalıplarda polimer enjeksiyon vidasından çıkıştığı, yani kalıpla temas ettiği noktada soğumaya başlar. Bu soğuma sürecinde, yolluk yüzeyine temas eden polimer donarak bir kabuk oluşturur ve erimiş plastik malzemenin merkezinin sıcak kalmasını sağlayarak akışını sürdürmesine yardımcı olur. Ancak, soğuk yolluk sistemleri, plastik malzemenin hızlı soğuması ve akış kanallarında sıcaklık ile basınç kaybı yaşanması nedeniyle uzun akış mesafeleri olan parçalar için ideal değildir.



Şekil 4.2 Soğuk ve sıcak yolluk beslemeli kalıpların şematik gösterimi

4.1.2 Sıcak Yolluk

Bu sistem, kalıplardaki yollukların çevresine yerleştirilen elektrikli ısıtıcılar aracılığıyla, yolluğun belirli bir sıcaklıkta tutulmasını sağlayarak, parça ile birlikte yollukların çıkmasını engeller ve malzeme tasarrufu sağlar. Sıcak yolluklu kalıpların tasarımı karmaşık olduğundan maliyeti yüksektir ve tecrübe gerektirir. Ancak, bu sistemler sayesinde çapak ve yolluk temizleme işçiliği azalır. Dengeli malzeme akışı ve ısıl denge sağlayarak yüksek parça kalitesi ve makine kapasitesinden tasarruf elde edilir. Sıcak yolluk sistemi, bütün gözlerin aynı

şartlarda doldurulmasını sağlar ve bu da gözler arası minimum kalite farklılığını garantiler. Düşük basınçlarla kalıplama yapıldığında, parçalardaki iç gerilmeler azalır ve genel parça kalitesi iyileşir.

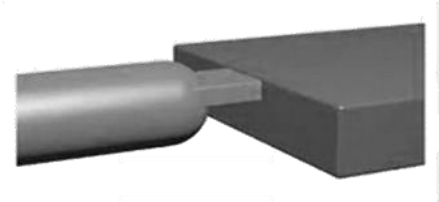
Sıcak yolluk sistemleri, iğne uçlu, açık uçlu ve valfli (valve gate) çeşitlerine sahiptir. Birden fazla valfli sıcak yolluk kullanımlarında, sıralı sistemler günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir.

4.2 Geleneksel Yolluk Giriş Tipleri

Enjeksiyon kalıplarında, özellikle görsellik açısından yüksek beklentilere sahip otomotiv gibi sektörlerde doğrudan giriş yerine farklı yolluk giriş tiplerinin kullanılması gerekebilir. Besleme tipinden bağımsız olarak, estetik ve işlevsel gerekliliklere uygun yolluk girişinin seçilmesi gerekmektedir. Özellikle görsel kalitenin ön planda olduğu uygulamalarda, yolluk giriş tasarımı ürünün son görünümü ve kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

4.2.1 Kenar Yolluk (Edge Gate)

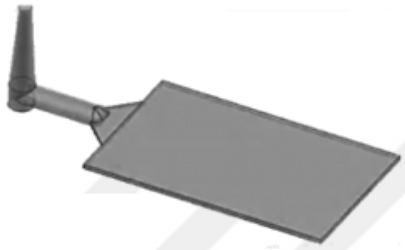
Kenar yolluk girişi, enjeksiyon kalıplarında kullanılan en basit yolluk giriş tasarımıdır. Bu yöntemde, parçaya kalıp ayrılma hattı üzerinden kenardan girilir. Kenar yolluk girişinin imalatı kolaydır ve bu yönüyle avantaj sağlar. Ayrıca kalıp doldurma karakteristiği çok iyidir, bu yönü nedeniyle orta kalınlıkta ya da kalın parçalar için tercih edilir. Ancak yolluk giriş geometrisi, erimiş plastiğin girişte kötü bir şekilde yayılım göstermesine neden olur. Bu durum özellikle estetik beklentisi yüksek parçalar kullanılmasını sınırlamaktadır.



Şekil 4.3 Kenar yolluk girişi

4.2.2 Fan Yolluk (Fan Gate)

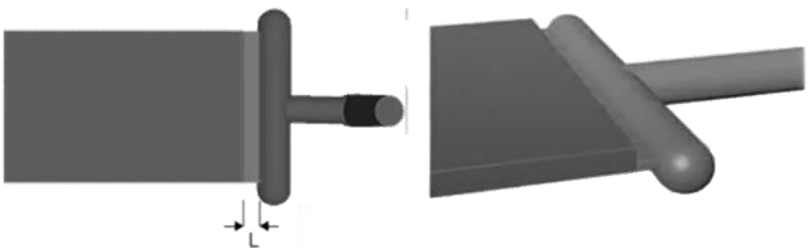
Kenar yolluk girişinin fan şeklinde genişleyerek parçaya girdiği bir yolluk türüdür ve özellikle ince parçaların doldurulmasında kullanılır. Bu tasarım, yavaşlatılmış akış hızı sayesinde malzemenin daha iyi yönlendirilmesini ve giriş bölgesinde düşük kesme hızı oluşumunu sağlar. Sonuç olarak, minimum akış izi oluşur ve daha uniform malzeme akışı elde edilir. Büyük yolluk giriş alanı, yolluğun kesilmesi veya koparılması sırasında yolluk giriş izi oluşmasına neden olabilir. Bu durum, parçanın yüzey kalitesi ve estetiği açısından dikkate alınması gereken bir faktördür.



Şekil 4.4 Fan yolluk girişi

4.2.3 Film Yolluk (Film Gate)

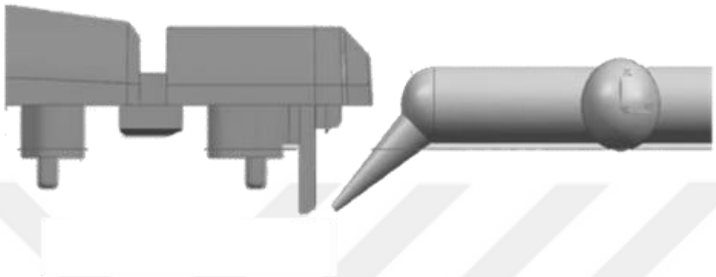
Film yolluk, parçanın kenarında bir hat boyunca dolum yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Özellikle düz yüzeyli, ince et kalınlığına sahip ve cam fiber takviyeli malzemelerin kalıplanmasında tercih edilir. Bu yöntem, kaynak çizgilerinin oluşumunu engelleme, boşlukların eşit şekilde doldurma ve tutma basınçlarının uygulanmasında kolaylık sağlama gibi avantajlar sunar. Film yolluk yönteminin kullanımı, malzeme akış kontrolü ve ürün estetiği açısından iyileştirmeler sunarken, artan atık malzeme miktarı nedeniyle ek maliyetlerin göz önünde bulundurulması gereklidir.



Şekil 4.5 Film yolluk girişi

4.2.4 Tünel Yolluk (Tunnel Gate)

Tünel yolluk, parçanın kalıptan ayrılması sırasında otomatik olarak kopacak şekilde tasarlanan, ince kısmı parçaya bağlı konik bir yolluk tipidir. Bu giriş genellikle parçanın görünmeyen kısmındaki bir forma veya giriş için eklenmiş bir feder yapısına gerçekleştirilir ve genellikle kenar bölgesi estetik olan parçalarda tercih edilir. Dar giriş kesiti nedeniyle büyük oranda basınç kaybı ve buna bağlı daha kısa akış yollu dezavantajları olarak sayılabilir.



Şekil 4.6 Tünel yolluk girişi

4.2.5 Muz Yolluk (Banana Gate)

Muz yolluk, tünel yolluk girişinin bir varyasyonu olarak değerlendirilebilir. Bu tasarımda, yolluk muz formuna benzer bir yapıda kıvrılarak ve parçanın mekanik yüzeyinden giriş yapacak şekilde tasarlanır. Yolluğun kıvrım yarıçapı ve giriş noktası ile yolluk iticisi arasındaki mesafe, yolluğun kıvrılarak yuvasından çıkmasını sağlayacak şekilde düşünülmüştür. Bu yolluk tipinde, plastik malzemelerin esneme özelliği önemli bir faktördür ve yeterince esnek olmayan malzemeler için uygun değildir. Kalıpta, yolluk formunu oluşturmak için genellikle birbirinin aynası olan iki adet lokma kullanılır. Bu, ek maliyet gerektiren bir durumdur.



Şekil 4.7 Muz yolluk girişi

5
MATERYAL VE YÖNTEM

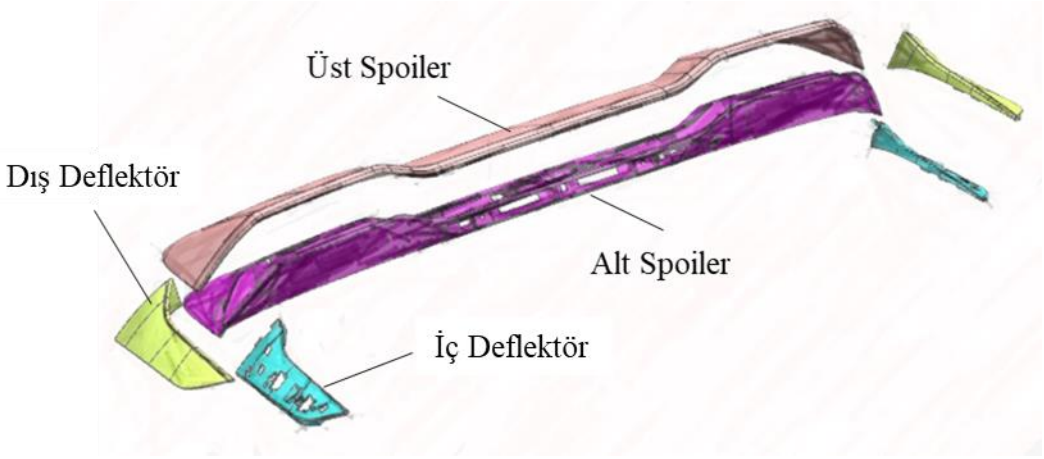
Tezin odaklandığı konu, otomobillerde aracın aerodinamik yapısını iyileştirmek, özellikle yüksek hızlarda dengesini ve yol tutuşunu artırmak için kullanılan spoiler ana grubunun bir parçası olan deflektör parçasıdır. Özellikle hatchback otomobillerin arka camları üzerinde bulunan bu parçalarda, araç tasarımında önemli bir görsel etki yaratması beklenir. Desenli veya düz versiyonları bulunabilen deflektör parçaları genellikle araç sacına uygun olarak boyanmış ve parlak yüzeylere sahip olup, estetik beklentilere uygun bir görünüm sunar.

Bu özel niteliklere sahip deflektör parçaları, genellikle iç ve dış olmak üzere iki ayrı parçadan oluşur. İç parça, parçanın araca montajının gerçekleştirildiği yapıların bulunduğu kısımdır. Dış parça ise, görsel beklentilere cevap verebilmek adına sadelikle tasarlanmaktadır.



Şekil 5.1 Boyalı deflektör parçası

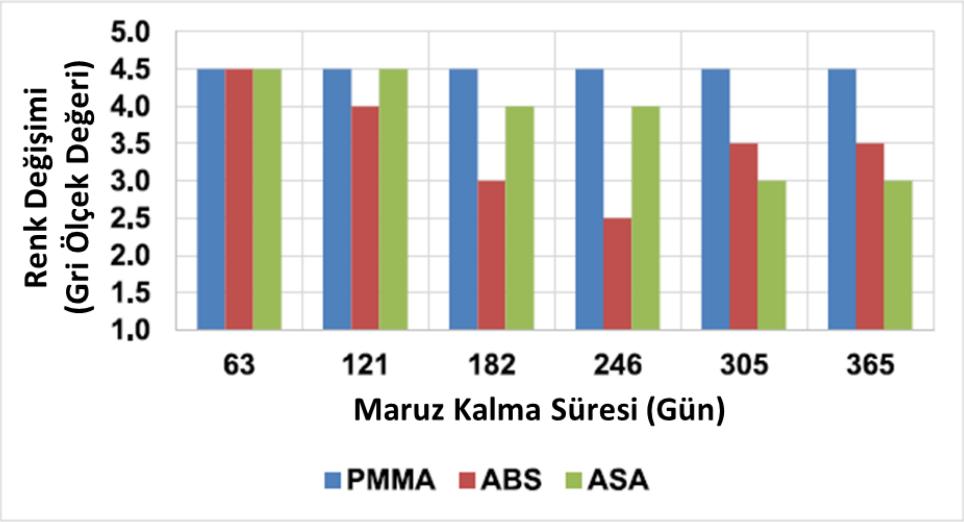
Bu bölümde, görsel dış deflektör parçasında kullanılan malzeme özellikleri, plastik enjeksiyon kalıp özellikleri ve üretimin gerçekleştirildiği enjeksiyon makinesinin özellikleri hakkında bilgiler verilecektir. Ayrıca, parça üzerinde gözlemlenen problem ele alınacak ve öngörülen çözüm yöntemine dair bir yaklaşım sunulacaktır.



Şekil 5.2 Spoiler grubu görseli

5.1 Plastik Malzeme ve Özellikleri

Dış mekânlarda kullanılan polimerik malzemeler ısı, nem, güneş ışığı ve farklı hava olayları gibi değişken koşullara maruz kalmaktadır. Bu koşullar polimerler üzerinde fiziksel ve kimyasal bozulmaya neden olur [1]. Bu nedenle, spoiler grubu gibi otomotiv dış parçalarında ortam koşullarına dayanıklı olan ABS (Akrilonitril Bütadiyen Stiren), ASA (Akrilonitril Stiren Akrilat) ve PMMA (Polimetil Metakrilat) gibi malzemeler tercih edilmektedir. PMMA ve ABS dış ortam koşullarına karşı kararlılıkları ile bilinirken [2, 3, 4], ASA ise bunlara ek olarak ısı ve kimyasal dirence de sahiptir [5].



Şekil 5.3 Doğal yaşlanmaya maruz kalan PMMA, ABS ve ASA numunlerinin renk değişim değerleri (ISO 105-A02, gri ölçek).[6]

Şekil 5.3'te PMMA, ABS ve ASA malzemelerinin bir yıl süreli doğal yaşlanmalarının gri ölçek (grey scale) değerlerine göre değişimleri gösterilmiştir. Gri ölçek, plastiklerdeki renk değişiminin ölçümünde kullanılan, malzemelerin renk hassasiyetlerini ve renk değişiminin derecelerini değerlendirmek için kullanılan bir standarttır. Bu değerlendirme, özellikle plastik ürünlerin uzun süreli kullanımı ve maruz kalınan çevresel faktörler (güneş ışığı, nem, kimyasal maddeler vb.) sonucu meydana gelen renk değişimlerinin kalite kontrolünde önemlidir. Genellikle 1'den 5'e kadar bir puanlama sistemi kullanılır.

Tablo 5.1 Gri Ölçek puanlama sistemi

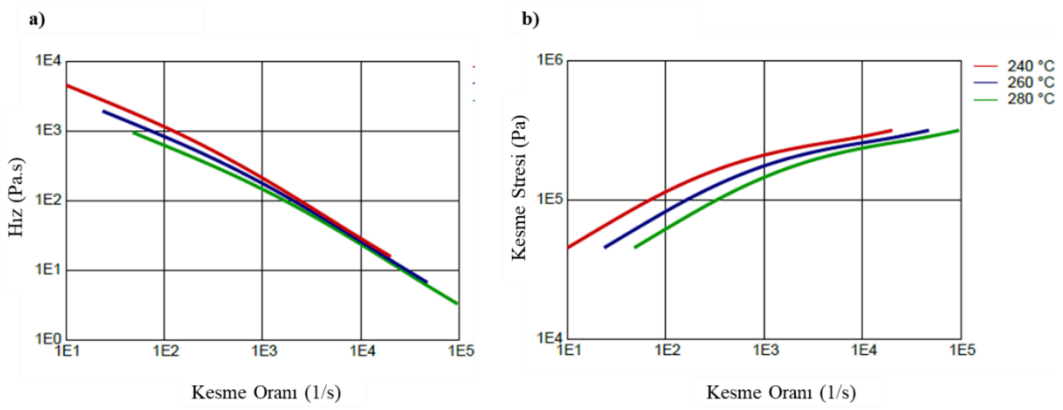
Derece	**Seviye**	**Durum**
1.Derece	Çok kötü	Renk değişimi çok belirgin
2. Derece	Kötü	Renk değişimi belirgin
3. Derece	Orta	Renk değişimi makul düzeyde
4. Derece	İyi	Renk değişimi hafif
5. Derece	Çok iyi	Renk değişimi neredeyse yok ya da yok

Plastik hammadde fiyatları, içerdiği UV direnci, yanmazlık ve kayganlık artırıcı katkı maddelerine göre değişkenlik gösterse de, genel anlamda yukarıdaki plastik türlerinin fiyatları yüksekten düşüğe PMMA, ASA ve ABS şeklindedir. ASA, ABS malzemesine alternatif olarak akrilonitril, stiren ve akrilik kauçuklarının polimerizasyonu yoluyla geliştirilmiş bir mühendislik plastiğidir. Moleküler zincirde polibütadienden gelen çift bağların bulunmaması nedeniyle ASA, ABS'ye göre daha iyi UV stabilitesine ve uzun süreli ısı ve kimyasal dirence sahiptir. Bu avantajları nedeniyle ASA, daha zorlu koşullar altında çalışan uygulamalarda ABS'nin yerini alabilir [18]. Hem ilgili parçanın teknik gereklilikleri hem de

maliyet göz önünde bulundurularak, tezin konusu olan estetik deflektör parçasında da ASA tercih edilmiştir.

Tablo 5.2 Kullanılan ASA malzemenin özellikleri [22]

Özellik	**Birim**	**Değer**	**Standart**
MVR	cm^3/10 dk	5	ISO 1133
Yoğunluk	kg/m^3	1070	ISO 1183
Çekme Modülü	MPa	2500	ISO527
Akma Gerilimi	MPa	54	ISO527
Akma Gerinimi	%	3,4	ISO527
Darbe Dayanımı (Charpy +23 ºC)	kJ/m^2	250	ISO 179/1eU
Darbe Dayanımı (Charpy -30 ºC)	kJ/m^2	90	ISO 179/1eU
Yanabilirlik	Sınıf	HB	UL 94

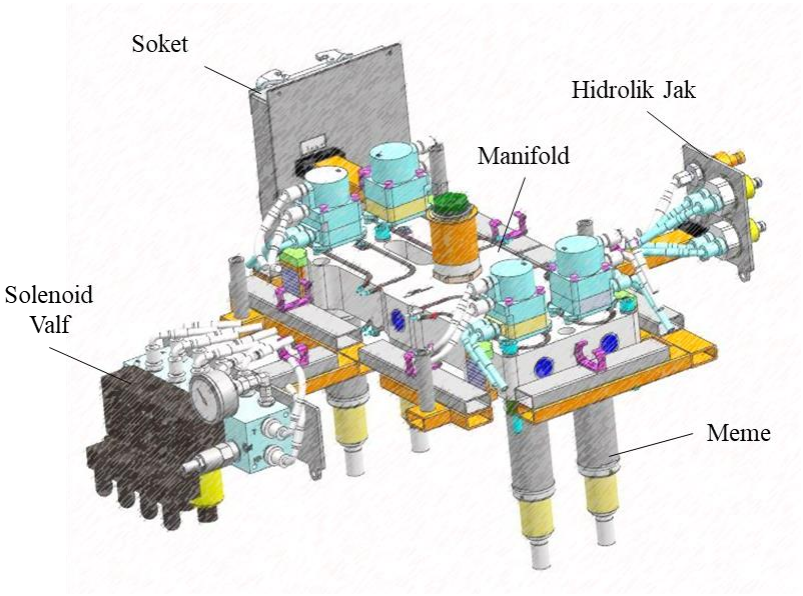


Şekil 5.4 Luran® S 778T malzemesinin (a) Akış/Kesme Oranı grafiği (b) Kesme Gerilimi/Kesme Oranı grafiği [22]

Projede kullanılan ASA, üretici INEOS Styrolution firmasının bilgi birikimi ve tecrübesiyle özellikle otomotiv sektöründeki estetik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak üzere geliştirilmiş Luran® S 778T'dir. Bu malzemenin özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

5.2 Enjeksiyon Kalıbı ve Özellikleri

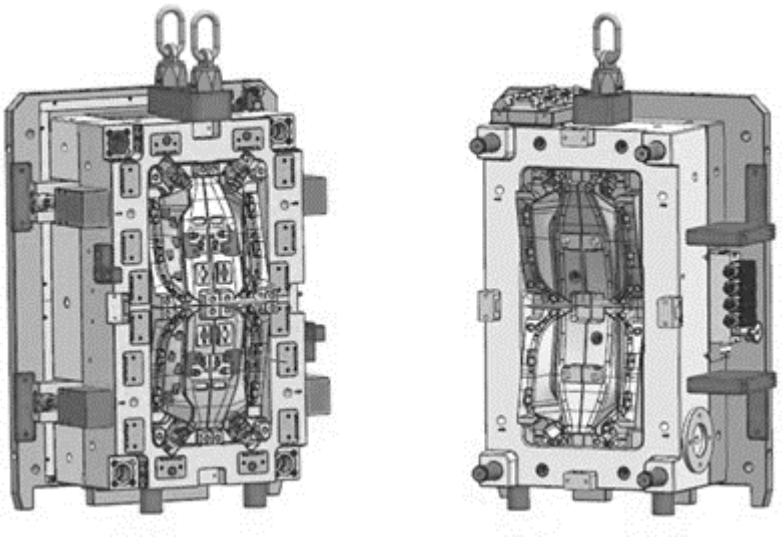
Bu çalışmada incelenen kalıp 2+2 gözlüdür; yani, kalıp bir baskıda arka camın sağında ve solunda bulunan parçalardan ikişer adet olmak üzere toplamda dört adet parça üretme kapasitesine sahiptir. Kalıpta sıcak ve soğuk yolluktan oluşan karma besleme sistemi kullanmaktadır. Sıcak yolluk sistemi, eriyik plastik malzemenin kalıp içerisinde soğumadan ilerlemesini ve kalıp gözlerine istenen sıcaklıkta dengeli bir akışın gerçekleştirilmesini sağlar. Sıcak yolluk sistemi sonrası eriyik plastik malzeme direkt kalıp gözlerine ulaşabildiği gibi, çalışmada kullanılan kalıpta olduğu şekilde sıcak yolluk sistemi sonrası soğuk yolluk vasıtasıyla kalıp gözlerine aktarıldığı tasarımlar da mevcuttur. Çalışmada kullanılan sıcak yolluk sistemi, bir dağıtıcı (manifold) ve her bir kalıp gözü için dağıtıcıdan ayrılan dört memeden (nozuldan) oluşmaktadır. Kalıpta HRSflow marka sıcak yolluk sistemi kullanılmış ve nozullarda hidrolik tahrikli sıralı valf (sequential valve gate) sistemi tercih edilmiştir.



Şekil 5.5 Sıcak yolluk sisteminin görseli

Kalıpta görsel yüzeyi oluşturan dişi çelikte 1.2343 ESR, fonksiyonel bölgeyi oluşturan erkek çelikte ise 1.2343 kullanılmıştır. Bu çeliklerin her ikisi de sıcak iş takım çelikleri olarak bilinir; genellikle aşındırıcı malzemeler için ve yüksek görsel kalite beklenen uygulamalarda kullanılır. Ön sertleştirilmemiş olarak temin edilir, kaba talaş kaldırma sonrası 500-550 °C menevişleme ile maksimum sertlik değeri olan 52-54 HRC'ye ulaşır. Bu iki kalite çelik arasındaki temel fark, üretim süreçlerinden kaynaklanır. 1.2343 ESR, 1.2343 çeliğinin elektroslag rafinasyonu (ESR) ile işlenmiş bir versiyonudur. İki çeliğin de aşınma direnci ve parlatılabilirliği yüksektir, ancak ESR, rafinasyon işlemi sayesinde daha homojen ve temiz bir mikro yapı sunmaktadır. Maliyeti daha yüksek olduğu için, daha hatasız olması gereken görsel yüzeyi oluşturan dişi çelikte kullanımı tercih edilmektedir.

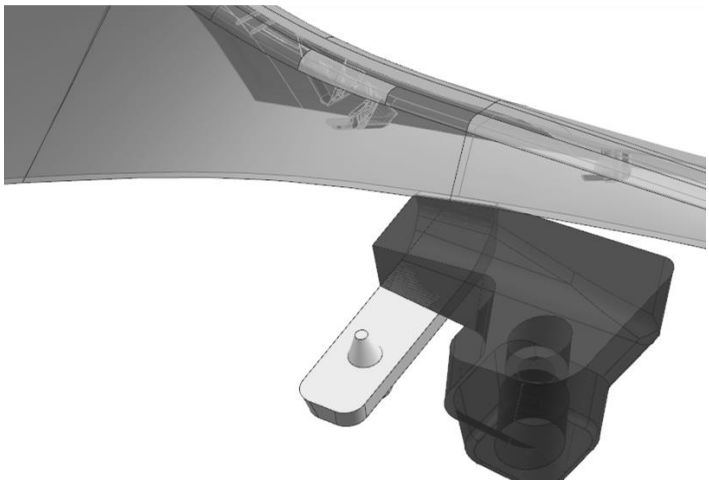
Kalıp 1250x950x850 mm boyutlarında, yaklaşık 4500 kg ağırlığındadır. Plastik parçanın genel et kalınlığı 3 mm ve azami akış yolu uzunluğu yaklaşık 300 mm'dir.



Şekil 5.6 Kalıbın tasarım görseli

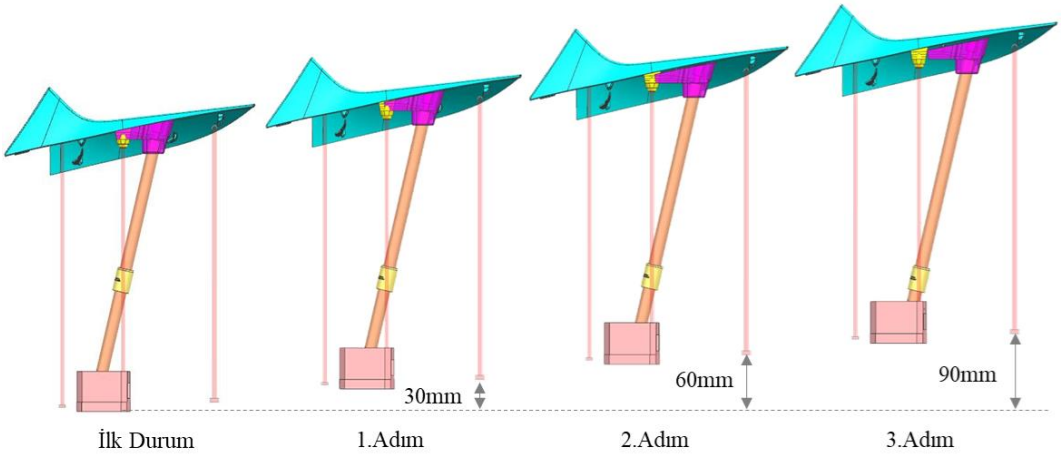
5.3 Soğuk Yolluk Tipi ve Özellikleri

Kalıpta kullanılan soğuk yolluk, geleneksel muz yolluğa benzer olan, yakın dönemde özellikle otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanan maçalı yolluktur (lifter gate). Maçalı yolluğun tercih edilme sebepleri arasında, plastik malzemenin MFR (melt flow rate) değerinin düşük olduğu durumlar, yolluk giriş kesitinin muz yolluk ve benzeri geleneksel yolluk tiplerine kıyasla daha geniş olması gereken durumlar ve kenar yolluk gibi görünür bölgelerde estetik sorunlar yaratma riskinden kaçınma ihtiyacı yer almaktadır. Maçalı yolluk, kenar yolluk gibi ürünle birlikte gelmekte ve enjeksiyon işlemi sonrası soğuk yolluk operatör tarafından genellikle elle kesilerek parçadan ayırılması gerekmektedir. Maçalı yolluk, bu ürünü doldurabilecek geleneksel yöntem olan kenar yolluğa göre, kesim sonrası görsel problem oluşma riskini azalttığı için tercih edilmiştir.

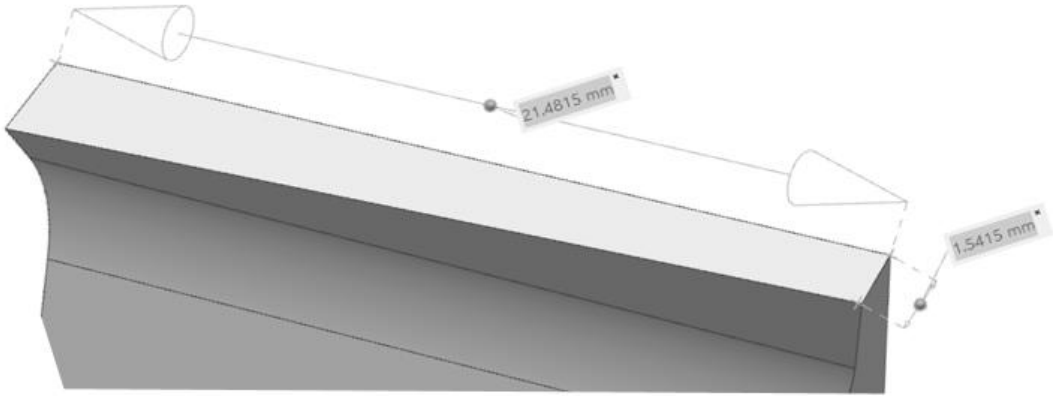


Şekil 5.7 Maçalı yolluk (Liftergate) görseli

Geometrik yapısından dolayı dolumu zor olan bu parça için, malzeme girişi konusunda dikkatli bir seçim yapılması gerekmektedir. Estetik açıdan yüksek önem taşıyan dış hattan ziyade, camın bulunduğu iç hat malzeme girişi için daha uygun bulunmuştur. Deflektör parçasının V şeklindeki kesit yapısı incelendiğinde, dolumun dengeli ve homojen olabilmesi için malzeme girişinin akış yolu en kısa olacak şekilde parça orta bölgesinden yapılması gerekliliği, kalıp tasarım sürecinde gerçekleştirilen akış analizi çalışmaları ile ortaya konmuştur. Ayrıca, parçanın araç konumunda dış hatta görsel beklentiler sebebiyle ZPL (Zero Parting Line – Sıfır Bölme Yüzeyi) lokması kullanılacağından, bu bölgede yolluk girişi için uygun değildir. İç hatta yapılacak yolluk girişinin bir diğer avantajı ise, spoiler grubunun montajı sırasında deflektör ile arka cam arasına yerleştirilen süngerin, yolluk giriş bölgesini kapatarak olası hataların görünümünü minimize etmesidir. Yolluk giriş boyutları, plastik parçanın kalınlığına ve benzer parçalardan elde edilen deneyimlere dayanarak, Şekil 5.7'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.8 Liftergate'in 90mm'lik stroku tamamlamasının 3 adımlı kinematiği



Şekil 5.9 Kalıptaki maçalı yolluk giriş bölgesi ölçüleri

5.4 Kullanılan Enjeksiyon Makinesi

Proje başlangıcında tek kalıp gözü üzerinden gerçekleştirilen simülasyon sonucunda tek göz için 136 ton, dolayısıyla 4 göz için 544 tonluk kapama kuvveti gerektiği görülmüştür. Analiz sonucu elde edilen kapama kuvvetine %10 emniyet oranı eklendiğinde en az 600 tonluk enjeksiyon makinesinin gerektiği sonucuna varılmıştır.

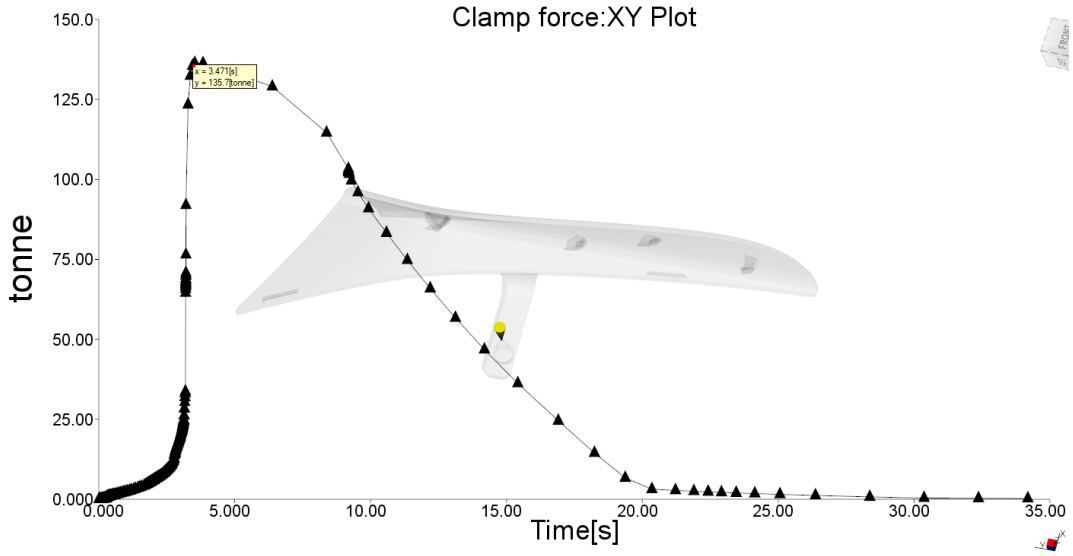
Deneme üretimleri, özellikleri aşağıda verilen NEGRIBOSSI VECTOR 800-4250 enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. 84 gram olan Deflektör parçası ve 7 gram olan yolluk ile bir baskıda toplamda 364 gram malzeme kullanılmaktadır. Seçilen deneme makinasında enjeksiyon maksimum kapasitesi ile 7 baskılık malzemenin vidaya alınabildiği görülmektedir. Bu değerin seri üretim için 5 baskılık bir değerde olması beklenir ancak deneme üretimleri için 7 baskılık oran da oldukça iyidir.



Şekil 5.10 Negribossi Vector 800-4250 enjeksiyon makinesi [23]

Tablo 5.3 Negribossi Vector 800-4250 enjeksiyon makinesi özellikleri [23]

Özellik	**Birim**	**Değer**	**Özellik**	**Birim**	**Değer**
Kapama Kuvveti	KN	8000	**Vida L/D Oranı**	-	20
Kalıp Yüksekliği (min-maks)	mm	400-1100	**Enjeksiyon Kapasitesi (teorik)**	cm^3	2600
Plaka Boyutu (HxV)	mm	1550 x 1400	**Enjeksiyon Debisi**	cm^3/sn	560
Kolonlar Arası Mesafe (HxV)	mm	1100 x 950	**Maksimum Basınç**	bar	1630
Vida Çapı	mm	90	**Vida Hızı**	rpm	175

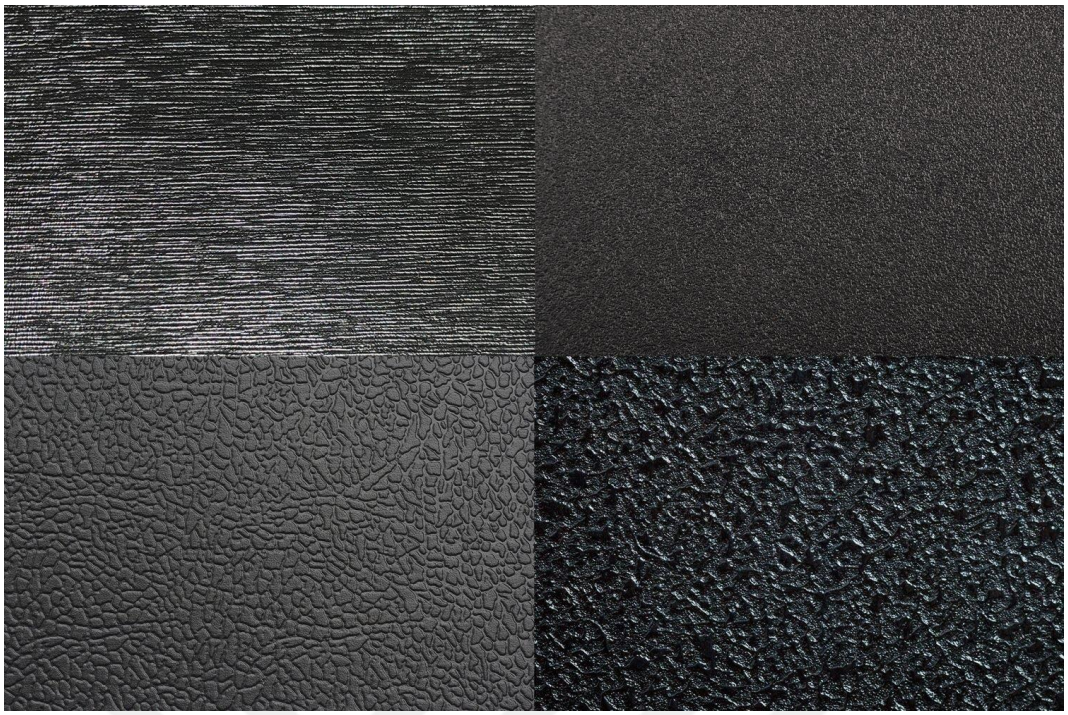


Şekil 5.11 Kalıp tasarım sürecinde tek göz üzerinden gerçekleştirilen simülasyonda elde edilen kapama tonajı grafiği

5.5 Problem Tanımı

Plastik parçaların estetik yüzeylerine, deri veya ahşap gibi çeşitli görünümler kazandırmak amacıyla farklı desen uygulamaları yapılabilmektedir. Bu uygulamalar; dalma erezyon (EDM), kum püskürtme, asit ve lazer gibi tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Otomobil dış gövdelerinde parlak yüzeylerin tercih edilmesi, stil bütünlüğünü korumak amacıyla, dış panel plastik parçalara boya veya krom gibi parlak kaplamaların yanı sıra parlak desen uygulamalarının da yapılmasını gerektirir. Parlak desenlerin elde edilmesi için ince kum desenleme tekniği kullanılmaktadır.

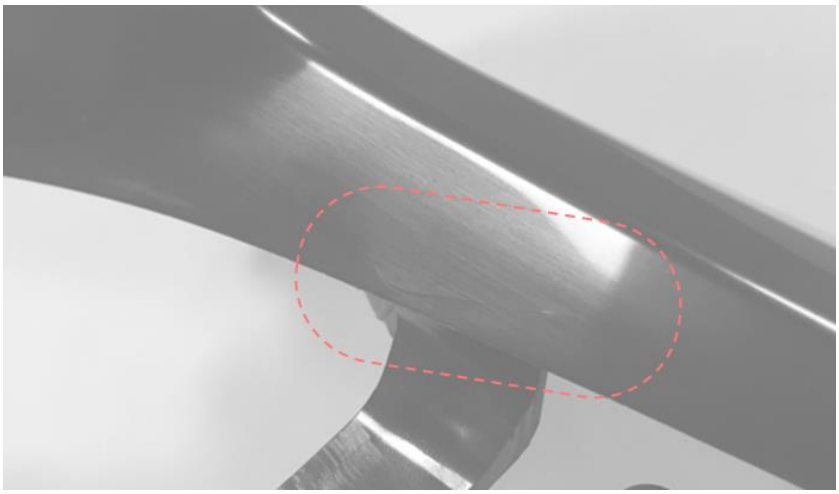
Desen işlemi öncesinde, ana sanayinin ilgili birimleri tarafından incelenen parçalarda çapak, kademe, birleşim izi veya herhangi bir görsel problem bulunmaması, ayrıca estetik yüzeyde beklenen parlatma seviyesinin sağlanması şartları aranmaktadır. Desen onayı alan parçaların kalıpları, devreye alma sürecinde OT (Off-Tool) fazını tamamlamış olur.



Şekil 5.12 Plastik yüzeyler için uygulanan desen tiplerinden bazılarının yakın görünüşleri

İncelenen deflektör parçasının estetik yüzeyine, ana sanayiye özel olarak tasarlanmış kum görünümlü asit desen uygulanması planlanmaktadır. Bu desenin derinliği 20 μm, parlaklığı ise 4,5 ±0,2 GU olarak belirlenmiştir. Ancak yolluk giriş bölgesinde iz tespit edildiği için, parçanın desen onayı alınamamıştır. Önceki deneyimler, benzer görsel problemlerin daha kaba desenleme işlemi sonrasında görünürlüğünü kaybettiğini gösterse de, projedeki teknik özelliklerle parçada görülen izin görünürlüğünün desenleme işlemi sonrası devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, desen işlemine geçilmeden önce yolluk giriş bölgesinde görülen iz probleminin çözülmesi istenmektedir.

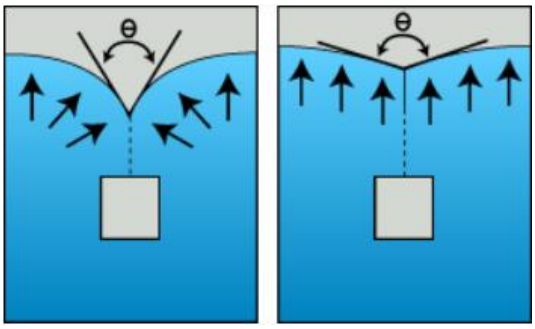
Yapılan detaylı incelemeler sonucunda, parçada izin görüldüğü bölgede çelik üzerinde herhangi bir kusur tespit edilmemiştir. Kalıbın 4 gözünde de aynı bölgede iz probleminin bulunması problemin enjeksiyon prosesiyle ilişkili olduğu ihtimalini güçlendirmektedir. Ancak tasarım aşamasında yapılan akış analizleri, ilgili bölgede birleşim izi veya çökme gibi herhangi bir görsel problem riskinin bulunmadığını göstermiştir.



Şekil 5.13 Problemin görseli

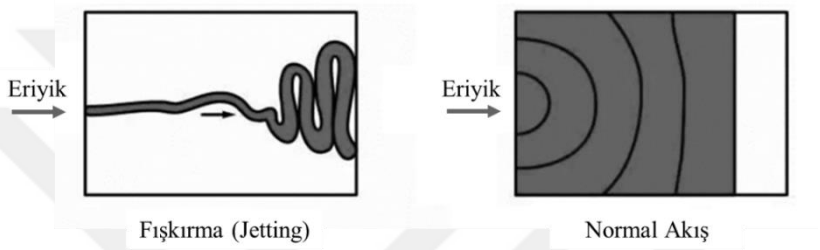
5.6 Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Tasarım aşamasında yapılan analizler sonucunda ilgili bölgede dolum işleminin sorunsuz olduğu görülmüştür. Ancak oluşan iz görünüm açısından değerlendirildiğinde birleşim izi problemine benzerlik göstermektedir. Tipik olarak birleşim izi, iki farklı akışın belli bir açıda birbiriyle karşılaşması veya aynı akışı ayıran bir engel, delik gibi yapısal bir unsurun bulunmasını sonucu oluşur [27]. Birleşimin açısına ve birleşim sırasındaki eriyik sıcaklığına bağlı olarak izin görünürlüğü değişkenlik göstermektedir. Ayrıca birleşim izinin oluştuğu bölgede mekanik dayanım ciddi oranda düşmektedir ve özellikle dinamik yüklere maruz kalan parçalarda bu önemli bir konudur [28, 29]. Bu çalışmaya konu olan parçada bu tür bir yapısal özellik olmadığı için, analiz sonuçları ve geçmiş deneyimler ışığında, bölgedeki problemin birleşim izinden kaynaklanmasının mümkün görünmediği söylenebilir.



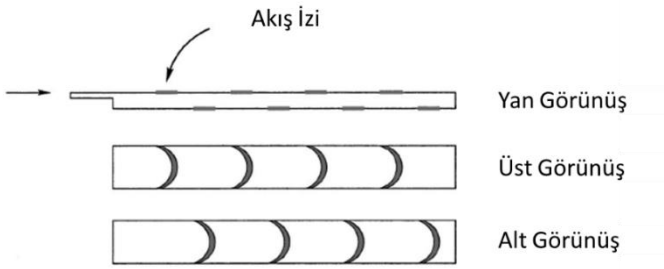
Şekil 5.14 Birleşim izi: Θ açısının artması birleşim izinin görünümünü azaltır

Yolluk giriş bölgesinde sıklıkla karşılaşılan sorunlardan biri olan fışkırma (jetting), eriyik malzemenin yolluk veya meme gibi dar alanlardan kalıp duvarlarına temas etmeksizin yüksek hızda geniş alanlara itilmesi sırasında meydana gelir ve bu durum, yolluk girişinden sonra oluşan, yılan gibi kıvrımlı bir yapıda gözlemlenir [20]. Bu kıvrımlar arasında, malzemenin kalitesinde bozulmalar meydana gelir. Fışkırma problemi, simülasyonlarla kesin olarak tespit edilemez ve analiz sonuçlarında net bir şekilde görülemeyebilir. Bu çalışmanın konusu olan parçadaki problem, yolluk girişinde görülmesi ve analiz sonuçlarında gözlemlenememesi açısından fışkırma problemini akla getirse de problemli bölgenin görselliği açısından örtüşmemektedir.



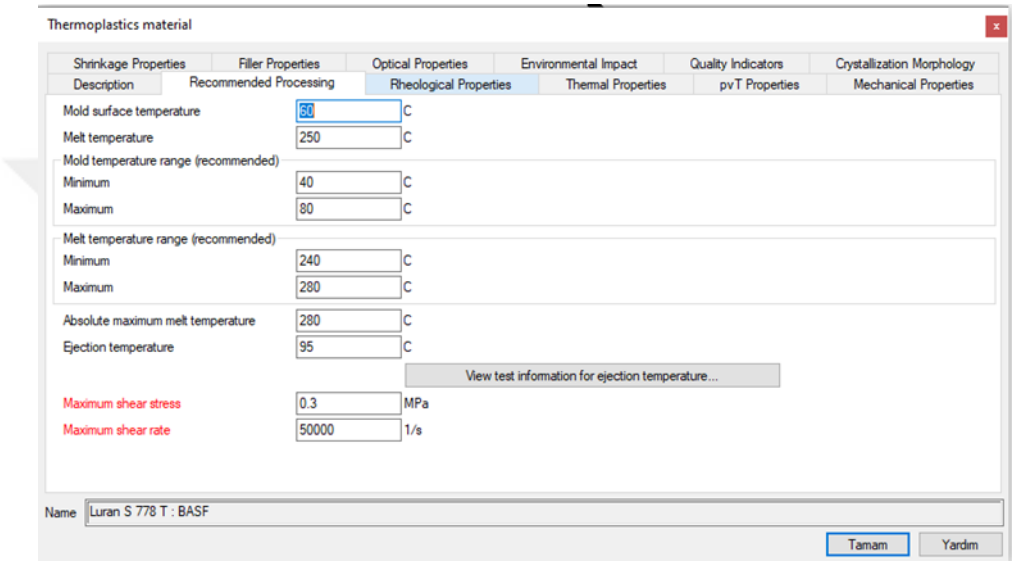
Şekil 5.15 Jetting problemli akış ve normal akış

Parçada yolluk girişinde görülen soruna sıklıkla neden olan bir diğer problem ise akış izidir. Akış izine yol açan çeşitli etmenler mevcuttur. Düşük eriyik veya kalıp sıcaklığı ya da düşük enjeksiyon basıncı gibi nedenlerle malzemenin yolluk girişinde erken katılaşması veya eriyik içerisindeki sıcaklık farklılıkları sonucunda düzensiz akışın ortaya çıkması akış izine yol açan etmenler arasında en sık karşılaşılanlardır. Akış izi, giriş bölgesinde daire, çizgi veya bunların örüntüsü şeklinde gözlemlenmektedir.



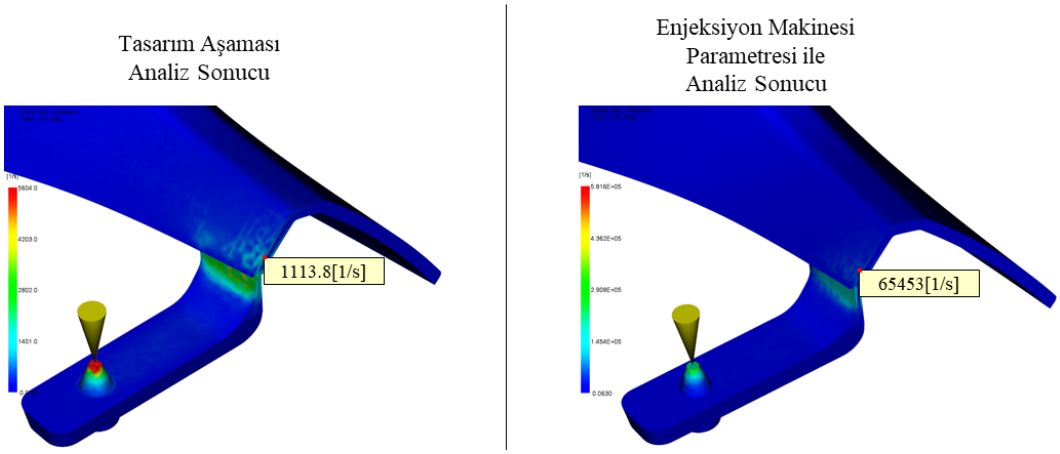
Şekil 5.16 Parçanın üst ve alt bölgesinde örüntü şeklinde görülen akış izi örneği, kaplan çizgileri [19]

Plastik enjeksiyon prosesinde akış izi problemi belirli sıklıklarda da ortaya çıkabilmekle beraber, çalışmaya konu olan parçada problem her baskıda ve tüm kalıp gözlerinde görülmüştür. Bu durum, izin parametrelerdeki bir dalgalanma sonucu ortaya çıkmadığını ve kalıpta var olan yapısal bir hatadan kaynaklandığı izlenimini doğurmuştur. Bu bağlamda enjeksiyon makinesindeki parametrelerle tekrardan akış analizi yapılmış ve elde edilen yeni sonuçlar, izin görüldüğü bölgede kesme oranının malzeme kütüphanesindeki değerden yüksek olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.17 Simülasyon kütüphanesindeki malzeme limit değerleri

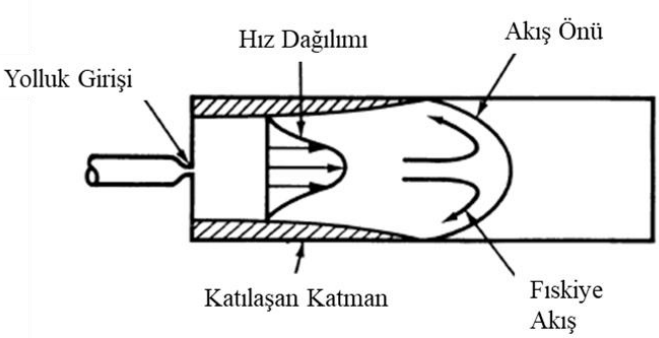
Simülasyonlarda kesme oranı değeri, eriyik malzemenin kalıp içerisine akışının homojenliği konusunda bizlere bilgi vermektedir. Moldflow kütüphanesinde Luran® S 778T için kesme oranı değeri üst limiti 50.000 1/sn olarak verilmektedir. Kalıp tasarımı öncesi yapılan ilk analizlerin sonuçlarında, bahsi geçen limitten düşük değerler elde edilmesine rağmen, enjeksiyon makinesinde belirlenen parametrelerle yapılan akış analizi sonucunda, izin oluştuğu bölgede kesme oranının limit değerden yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.18 İlk akış analizi parametresi ve enjeksiyon makinesinde elde edilen parametre kullanılarak gerçekleştirilen akış analizleri sonucunda iz bölgesinde görülen kesme oranlarının karşılaştırması

5.7 Kesme Oranı Değerinin Optimizasyonu

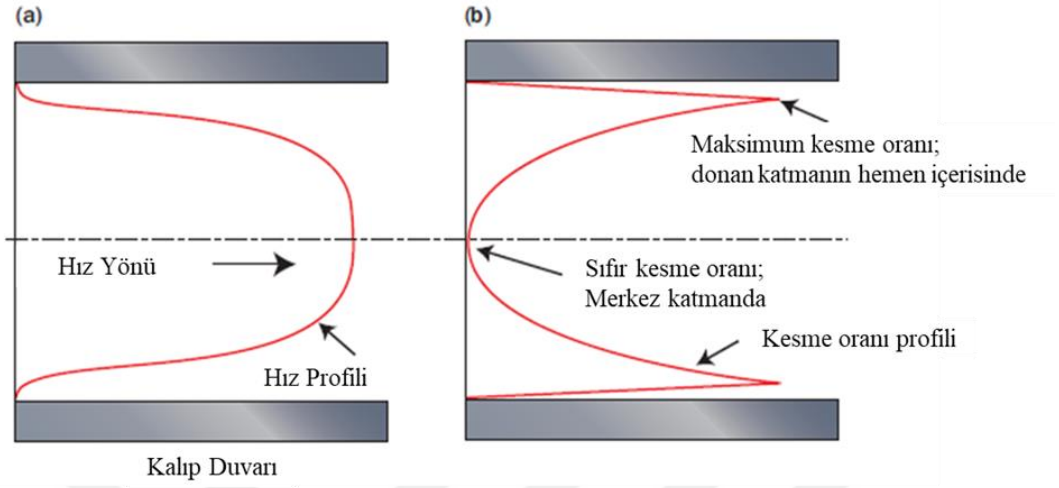
Plastik enjeksiyon prosesinde plastik eriyik, kalıbın içerisinde farklı hızdaki katmanlar halinde hareket eder. Çelik duvarına temas eden eriyik soğuyarak akışı yavaşlarken, eriyiğin merkez katmanında akış yüksek hızda devam etmektedir. Diğer bir deyişle, merkez katmandaki eriyiğin viskozitesi, kalıp duvarına temas ederek katılaşan kısımdakine kıyasla daha düşüktür. Eriyik akışının kalıp içerisinde merkezden dış duvarlara doğru yönelen bir şekilde ilerlemesi ile açıklanan olguya fıskiye etkisi (fountain effect) adı verilmektedir [20]. Şematik olarak Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.19 Fıskiye akış olgusunun şematik gösterimi [20]

Katmanlar arasında oluşan hız farkının katmanlar arasındaki mesafeye oranı olarak tanımlanan ve 1/s cinsinden gösterilen kesme oranı (shear rate), katmanların ne kadar hızlı hareket ettiğinden ziyade katmanlar arasındaki hız farkı ile ilişkilidir [7]. Şekil (a)'da gösterilen tipik bir eriyik akış hızı profili için en yüksek kesme oranı,

çeliğe temas etmesiyle birlikte donan tabakanın hemen iç kısmında yer almaktadır. Merkez çizgide ise bu oran sıfırdır, çünkü akış simetrisi gereği bu noktada göreceli malzeme katmanı hareketi yoktur. Bu durum da Şekil (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 a) Tipik akış hızı profili b) Enjeksiyon akışında görülen kesme oranı dağılımı [7]

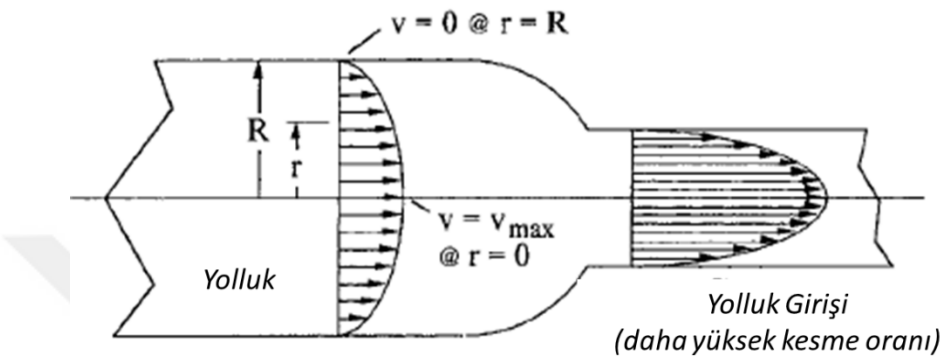
Plastik enjeksiyon prosesinde aşırı kesme oranı plastik malzemenin bozulmasına neden olabilmektedir. PVC ve poliüretan gibi bazı malzemeler diğerlerine nazaran kesme oranına daha duyarlıdır. Termoplastik elastomer gibi diğer malzemeler ise yüksek kesme oranlarında polimer matris ve kauçuk katkı maddelerinin ayrışmasına maruz kalabilmektedir [25].

Birçok şirket ve araştırmacı, Moldflow şirketinin ilk zamanlarında Colin Austin tarafından hazırlanan kesme oranı kılavuzunu benimsemiştir, ancak bu kılavuzun çok az bilimsel dayanağı bulunduğu için kesme oranı limitlerini hassas bir şekilde tanımlayamamaktadır [25].

Mayıs 2003'te Astor ve Cleveland tarafından gerçekleştirilen güvenilir bir ANTEC çalışması, enjeksiyon yönteminde ultra yüksek kesme oranının parçaların mekanik ve eriyik özellikleri üzerindeki gerçek etkileri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır [26]. Bu çalışmada 950.000 1/s kesme oranı uygulanmış olmasına rağmen bu yüksek kesme oranının dahi parçaların mekanik özelliklerinde çok az miktarda etkiye neden olduğu gözlemlenmiştir. Kesme oranının çelik yüzeyine yakın bölgede oluşarak genel parçanın çok küçük bir kısmını etkilediği ve parçanın büyük bir kısmının bozulmadan kaldığı şeklinde yorumlanmıştır. Ancak bozulmanın çelik

yüzeyine yakın bölgede gerçekleşmesi, aynı zamanda problemin görsel yüzeyde oluşması anlamına gelmektedir.

Kesme oranı hacimsel akış hızına ve akış kanalı geometrisine göre de değişir. Örneğin, parçayı besleyen yolluk girişinde tabaka hızları geometri farklılıkları nedeniyle yolluktakilerden daha yüksektir ve bu nedenle kesme oranı yolluk girişinde yolluğa nazaran önemli ölçüde daha yüksektir [27].



Şekil 5.21 Görünür kesme oranı değerleri hem akış hızına hem de akış kesiti geometrisine göre değişmektedir. [27]

Enjeksiyon basıncı ve hızı gibi proseste yapılan değişiklikler kesme oranını etkilemektedir. Bunun yanı sıra, yolluk giriş kesitlerinin gerekenden küçük tasarlanması da kesme oranını artıran etmenlerden biridir.

Parçada istenen estetik kaliteye ulaşabilmek için kesme oranı değerinin doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Eriyik sıcaklığının veya kalıp sıcaklığının artırılması, uygun enjeksiyon hızının veya basıncının belirlenmesi bu faktörün olumsuz etkilerini azaltacaktır. Ancak proses ayarları ile değiştirilemeyecek plastik malzeme viskozitesi ve yolluk kesiti gibi parametreler bu faktörün etkilerinin devam etmesine neden olabilir.

Çalışmada daha önce bahsedildiği gibi, üst limit değerleri programın malzeme veri tabanında bulunmaktadır. Ne var ki, incelenen parçanın özelliklerine ve kullanım şartlarına göre, gerçek uygulamada referans alınabilecek limit değerler farklılık gösterebilir. Bazı karmaşık parçalarda limit değerin çok altında kalmak gerekirken, bazı parçalar için limitlerin fazlaca aşılmasında dahi sorun olmayabilir. Her durumda, kesme oranının mümkün olduğunca düşük tutulması faydalı olacaktır. Kesme oranı değerinden doğan problemlerin parça, yolluk ve kalıp tasarımına

büyük oranda bağlı olması, akış analizi simülasyon programlarının problemin oluşma riskine dair karar vermesini imkansızlaştırmaktadır.

Tablo 5.4 Moldflow şirketi tarafından sağlanan kesme oranı ve kesme stresi limit değerleri [25]

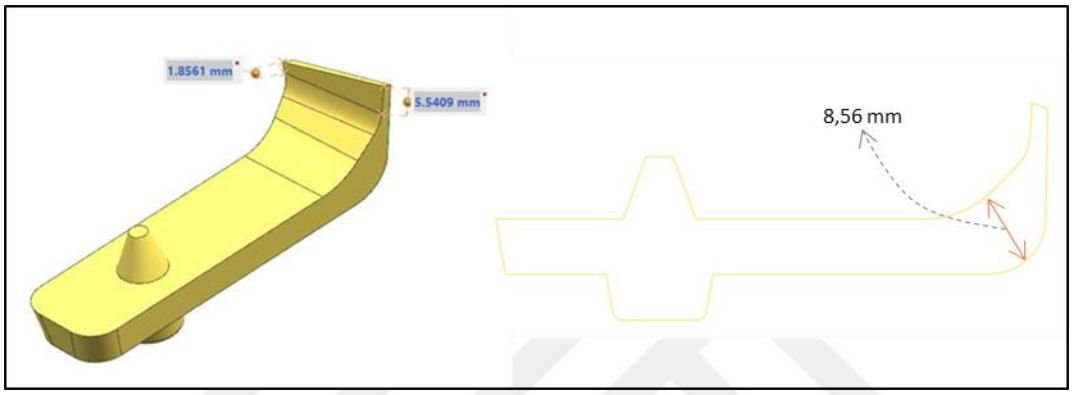
Malzeme Çeşiti	Shear Stress Limit (MPa)	Shear Rate Limit (1/s)
ABS	0,30	50.000
PC	0,50	40.000
PP	0,25	100.000
PMMA	0,40	40.000
PA 6	0,50	60.000
PA 6.6	0,50	60.000
PVC	0,15	20.000

Çalışmanın konusu olan parçadaki izin giderilmesi için enjeksiyon makinesi üzerinde parametre çalışması gerçekleştirilmiş ancak izin azalması konusunda kayda değer iyileşme görülememiştir. Makine parametresi ile gerçekleştirilen analiz sonucu ışığında, soğuk yolluk tasarımı üzerine odaklanılmıştır. Soğuk yolluk, enjeksiyon prosesi sonrası operatör tarafından elle kesilerek plastik parçadan ayrılmaktadır. Bu işlem sırasında plastik parçanın estetik bölgesinin zarar görme riskini yükseltmemek için yolluk kesitinin boyutları artırılamamaktadır.

Yukarıda bahsedilen nedenlerle, soğuk yolluk kesitinde birtakım tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiş ve enjeksiyon makinesinde belirlenmiş parametre ile akış analizleri yapılarak kesme oranı değerleri karşılaştırılmıştır.

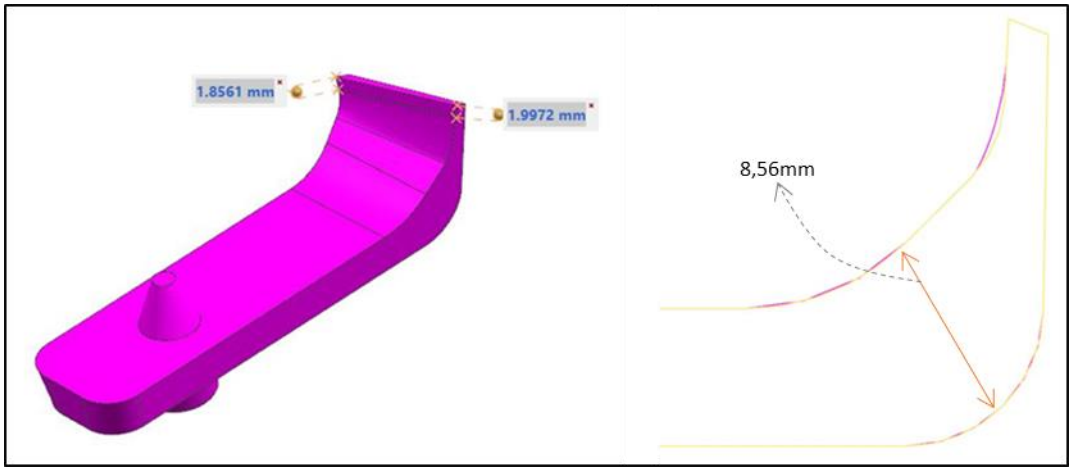
5.8 Yolluk Kesiti Tasarım Çalışmaları

Parçada, geçmişte benzer kalıplarda muz yolluk kullanıldığında ciddi akış problemleri görülmüş, bu nedenle yolluk girişindeki problemleri en aza indirmek için, yakın zamanda otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaya başlanan ve daha geniş giriş kesiti tasarımına imkân tanıyan maçalı yolluk kalıp tasarımında kullanılmıştır. Şekil 5.21'de kalıp imalat sürecindeki soğuk yolluk tasarımı gösterilmiştir. Kalıpta kullanılan bu ilk soğuk yolluk tasarımı çalışmada R00 olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5.22 R00 Soğuk yolluk görseli

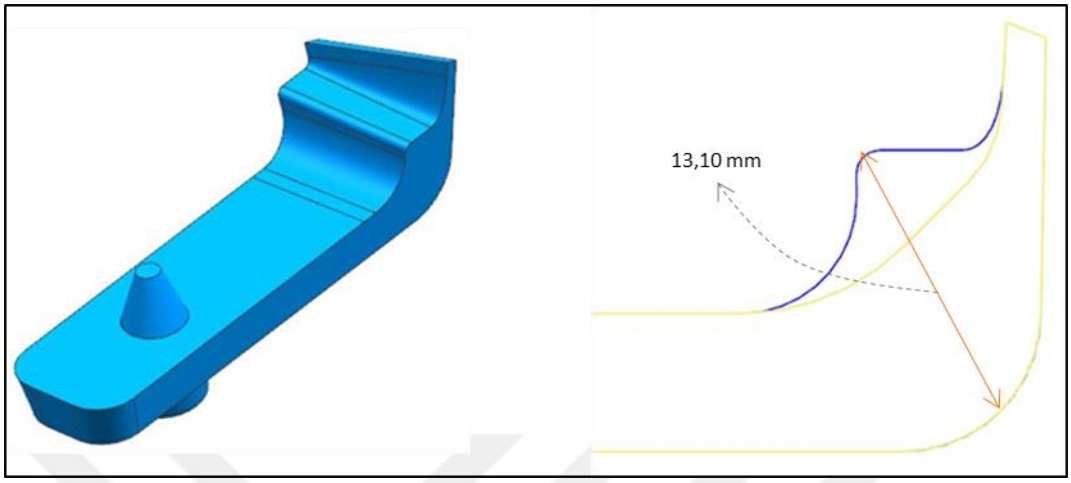
Öncelikli olarak soğuk yolluk kesitindeki daralmanın parça ayrım hattına uzaklığı optimize edilerek eriyik akışındaki hızlanmanın dengeli hale gelmesi hedeflenmiştir. Bu kesit tasarımı, çalışmada R01 olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5.23 R01 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması

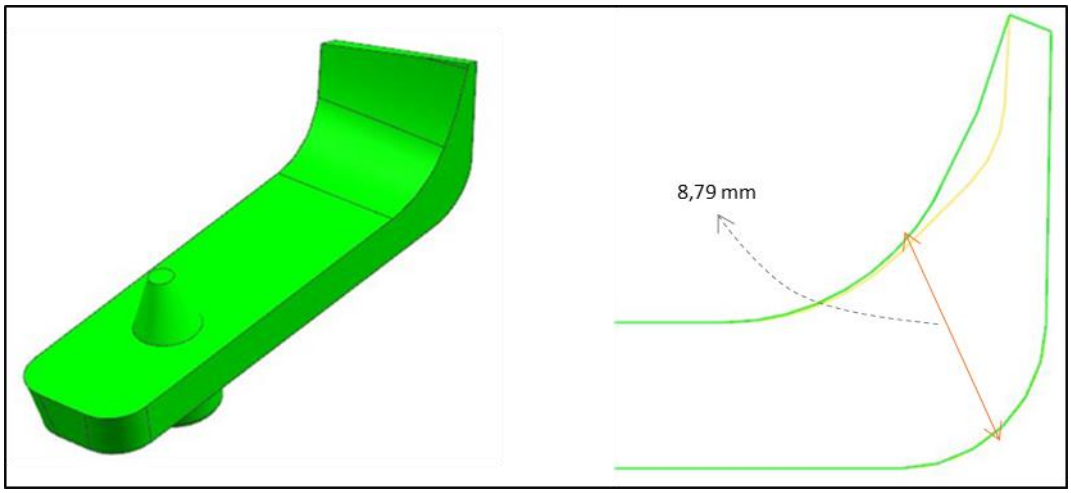
İkinci bir çalışma olarak, soğuk yolluk kesitine, beklemiş malzemenin kalıp içine enjekte edilmesini önleyecek bir rezervuar bölgesi eklenmiştir. Bu şekilde önceki

baskıdan kalan eriyiğin kalıp içinde görsel problem yaratmasının önüne geçilmesi ve genişleyen kısımda eriyik akışında türbülans yaratılması hedeflenmiştir. Bu kesit tasarımı, çalışmada R02 olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5.24 R02 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması

Son olarak, soğuk yolluk kesitindeki daralmanın giriş noktasına kadar devam edeceği şekilde bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, enjeksiyon hızının artma ivmesi azaltılmaya çalışılmıştır. Bu kesit tasarımı ise çalışmada R03 olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5.25 R03 soğuk yolluk tasarımı ile R00 soğuk yolluk kesitinin karşılaştırılması

Soğuk yolluk tasarımları simülasyonlar ile karşılaştırılarak kesme oranı değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Tablo 5.5 Soğuk yolluk tasarımlarının ağırlıkları

Soğuk Yolluk Versiyonu	Ağırlık
R00	7,43 g
R01	7,44 g
R02	7,92 g
R03	7,59 g

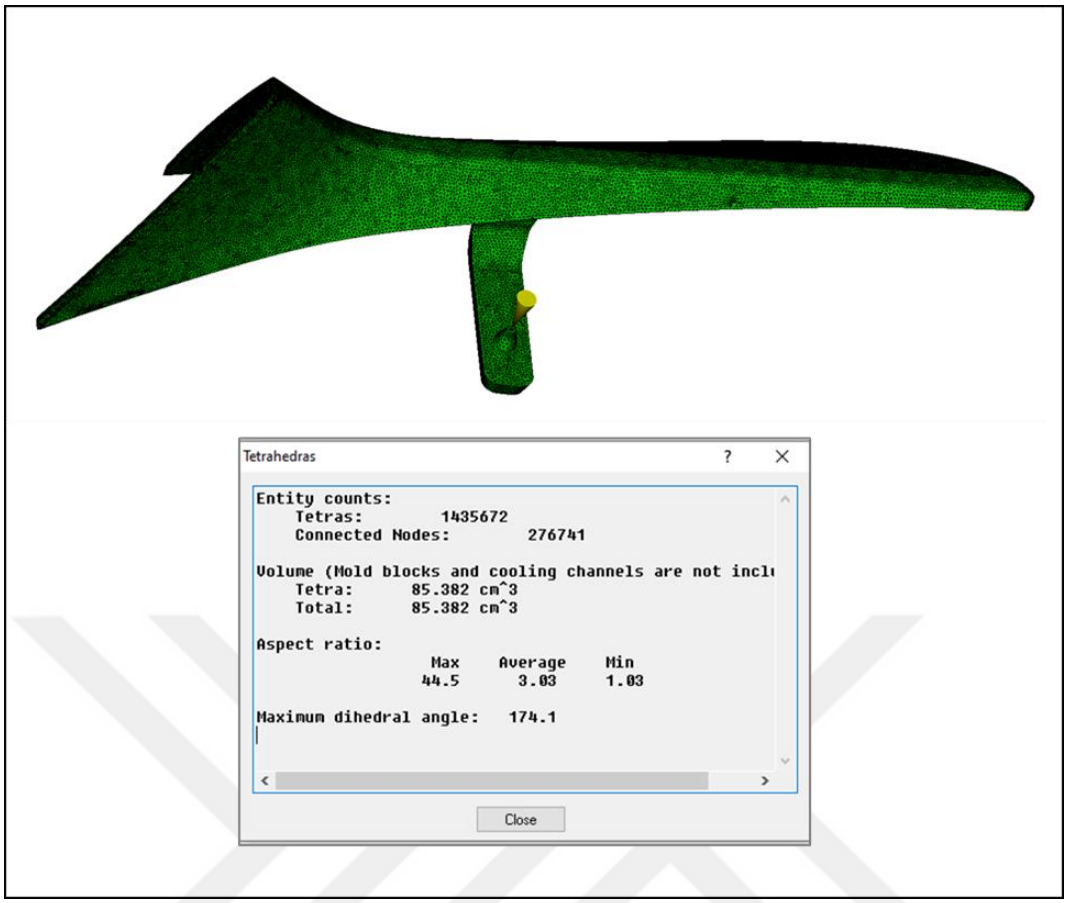
6
SİMÜLASYON ANALİZLERİ

Simülasyon programları, otomotiv sektöründe günümüzde neredeyse tüm kalıp tasarım süreçlerinin başlangıcında, alınacak kararlara ışık tutan ve karşılaşılabilecek problemlerin öngörülmesini sağlayabilecek araçlardır. Kalıbın üretim aşamasına geçilmeden önce, hedeflenen sonuca ulaşılabilirliğin hesaplanması açısından sayısız avantaj sunmaktadır. Bunun yanı sıra, simülasyon programları, teze konu olan çalışmada olduğu gibi, tasarım aşaması sonrasındaki herhangi bir süreçte ortaya çıkan problemlerin giderilmesinde de kullanılabilmektedir. Günümüzde simülasyonlar için kullanılabilecek birçok program mevcuttur, ancak otomotiv sektöründe genellikle Autodesk MoldFlow kullanımı tercih edilmektedir. Bu çalışmadaki analizlerde MoldFlow Insight 2014 sürümü kullanılmıştır.

6.1 Geometrik Mesh Yapısı

Bilgisayar destekli simülasyon programlarının tamamında olduğu gibi, simülasyon programında da analizi gerçekleştirilecek ürünün öncelikle geometrik mesh yapısının oluşturulması gerekir. Mesh, nodlardan oluşan bir ağ yapısıdır. Bu yapının incelenecek parçanın geometrisine göre hassas bir şekilde modellenmesi, analiz sonuçlarının gerçeğe yakın elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, mesh'in çok detaylı olması hesaplama süresini ve kaynak ihtiyacını artırabilir, bu yüzden detay seviyesi ve hesaplama verimliliği arasında bir denge kurmak önemlidir. Kaliteyi artıran değerlerden biri, nod sayısının artması, yani nodlar arası mesafenin kısalmasıdır. Ne var ki bu, analizin uzamasına neden olacaktır. Diğer bir değer de, nodların oluşturduğu üçgensel yapının kenarları arasındaki orandır (aspect ratio). Kenarların birbirine eşit uzunlukta olması idealdir ve bu kriterin analiz süresi üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

Çalışmada 3D mesh tipi kullanılmış olup mesh özellikleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

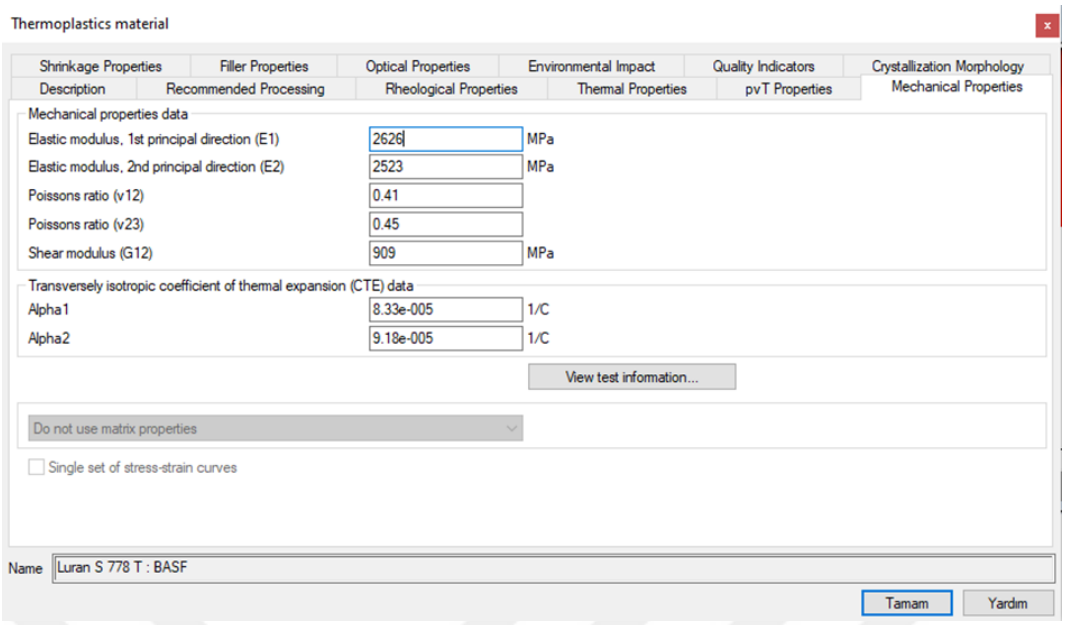


Şekil 6.1 Simülasyon programında kullanılan mesh yapısı

6.2 Malzeme Seçimi ve Proses Değerleri

Hammadde seçiminde izlenecek en iyi iki yöntem, hammaddenin Autodesk MoldFlow Insight kütüphanesi içinden seçilmesi veya kütüphanede bulunmaması durumunda hammadde üreticisinden alınacak dosyayla malzeme girdilerinin programa aktarılmasıdır. Üçüncü bir yöntem ise malzemenin teknik özelliklerinin dosyaya elle girilmesidir, ancak bu yöntem hatalara ve eksik bilgilere sebep olabileceği için pek tercih edilmemektedir.

Bu çalışmada kullanılan Luran® S 778T malzemesi kütüphaneden seçilmiştir. Malzemenin kütüphanede bulunan özellikleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Autodesk MoldFlow Insight kütüphanesinden seçilen Luran® S 778T malzemesinin mekanik özellikleri

Enjeksiyon prosesine ait girdiler eski deneyimlere ve bir dizi çalışmaya dayanarak belirlenmektedir. Bazı parametreler ise programın otomatik ataması için serbest bırakılabilmektedir.

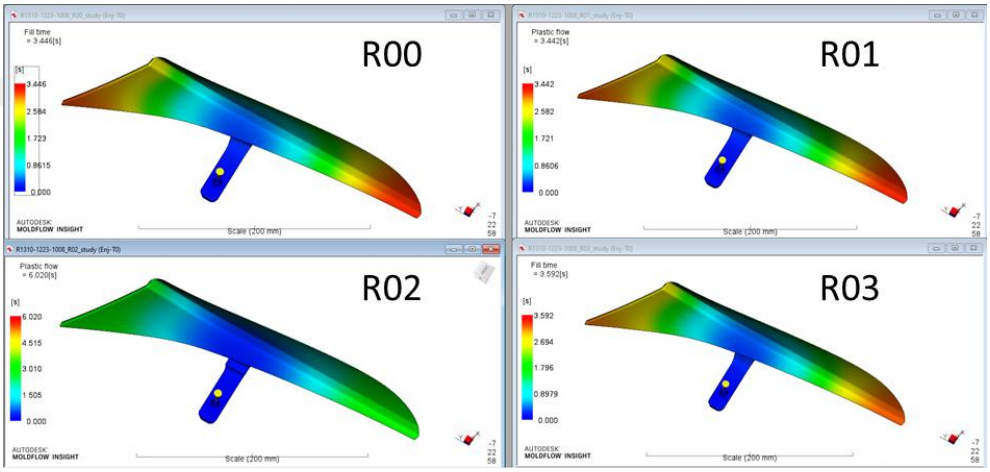
Enjeksiyon makinesinde belirlenen parametrelerle gerçekleştirilen R00 yolluk tasarımlı analiz sonuçları, kontrol numunesi olarak ele alınacaktır. Problemin çözümü için yeni tasarlanan yolluklara ait analizlerde de parametreler aynı şekilde kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.1'de kalıp tasarımı sürecinde kullanılan parametreler ile enjeksiyon makinesindeki denemelerde belirlenen parametrelerin karşılaştırması gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Proses parametrelerinin karşılaştırması: Simülasyon sürecinde ve enjeksiyon makinesinde kullanılan parametreler

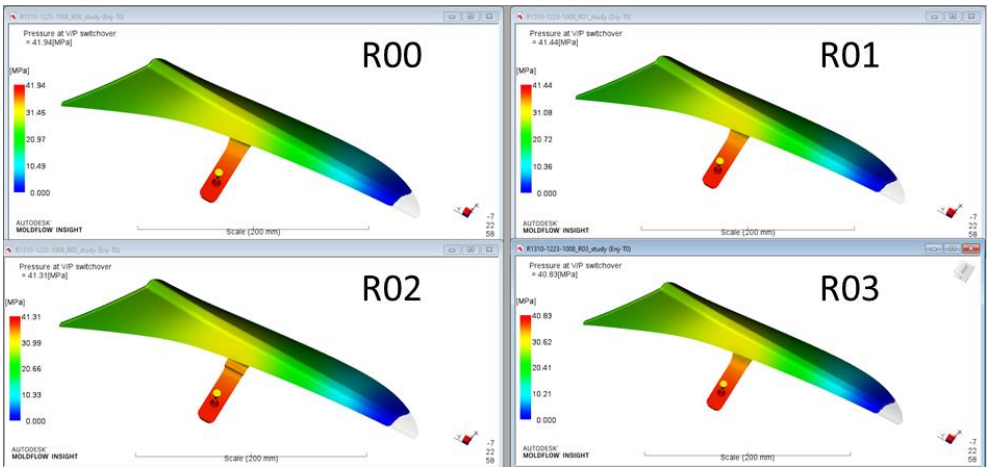
	Simülasyon Parametreleri	**Enjeksiyon Parametreleri**
Maks. enjeksiyon basıncı	180 MPa	130 MPa
Maks. makine kapama kuvveti	600 ton	600 ton
Maks. makine enjeksiyon debisi	500 cm^3/sn	500 cm^3/sn
Makine hidrolik yanıt süresi	0,01 sn	0,01 sn
Eriyik sıcaklığı	250ºC	250ºC
Kalıp şartlandırma sıcaklığı	60ºC	60ºC
Ortam sıcaklığı	25ºC	25ºC
Dolum kontrol tipi	Otomatik	Otomatik
Atım hacmi belirleme	Otomatik	Otomatik
Hız/basınç geçiş kontrol tipi	% dolum hacmi	% dolum hacmi
Parçanın hacmen doluluğu	%98	%98
Tutma basıncı	50 MPa	90 MPa
Tutma basıncı süresi	4 sn	6 sn
Soğutma süresi	20 sn	25 sn

6.3 Analiz Sonuçları

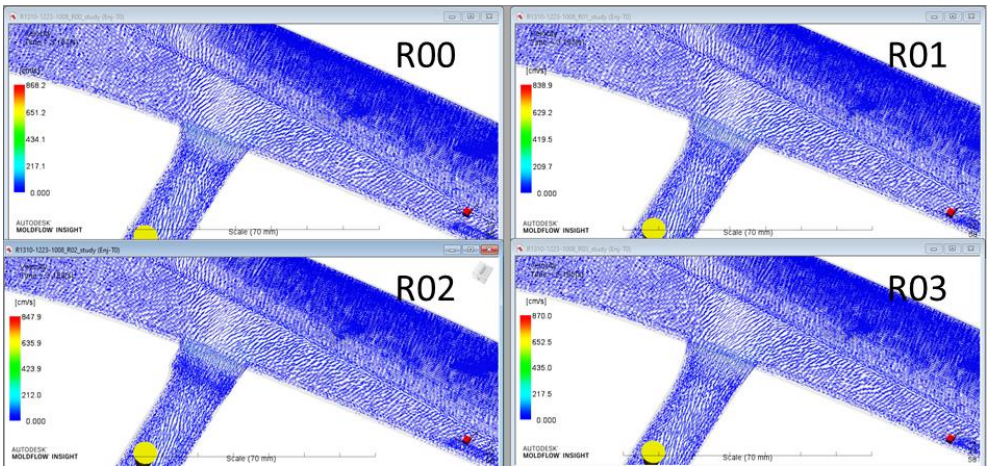
Yolluk giriş kesitinde herhangi bir boyut değişikliği yapılmamış olduğu, yalnızca soğuk yolluk kesitinin daralma formunda tasarım değişiklikleri gerçekleştirildiği için, yapılan dört analizin sonuçları arasında belirgin bir benzerlik gözlemlenmektedir. Kesme oranı değişimlerine yönelik analiz sonuçları incelendiğinde, R01 ve R02'deki değerlerde, başlangıç durumu olan R00 tasarımına göre kesme oranında düşüş görülmemiştir. Ancak, R03 analizinde, hem yolluk giriş kesitine yakın bölgede hem de izin oluştuğu bölgede bu değerde kayda değer bir düşüş gözlemlenmiştir.



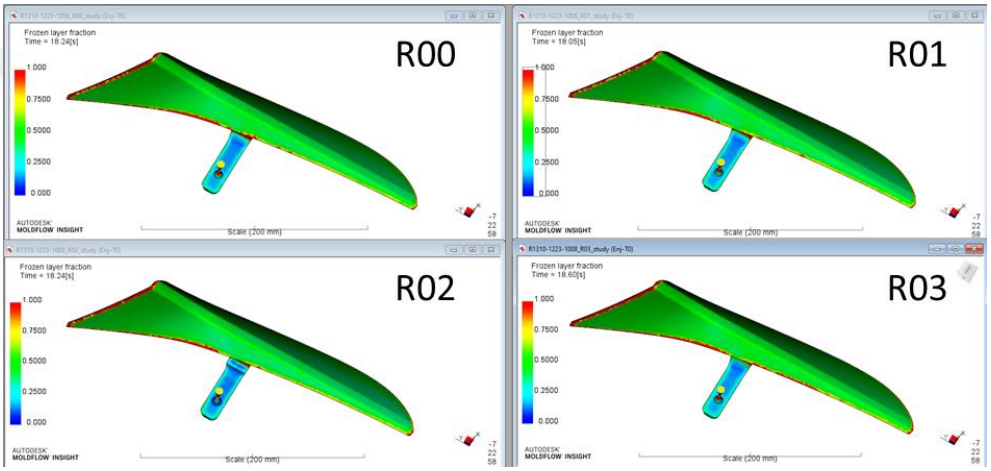
Şekil 6.3 Dolum Süresi karşılaştırması



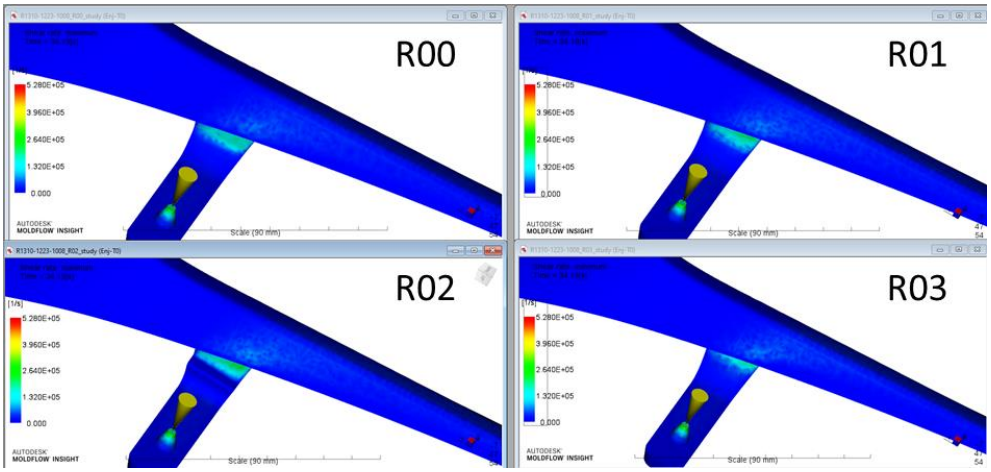
Şekil 6.4 Hız/Basınç geçiş anında (V/P switch-over) basınç dağılımı karşılaştırması



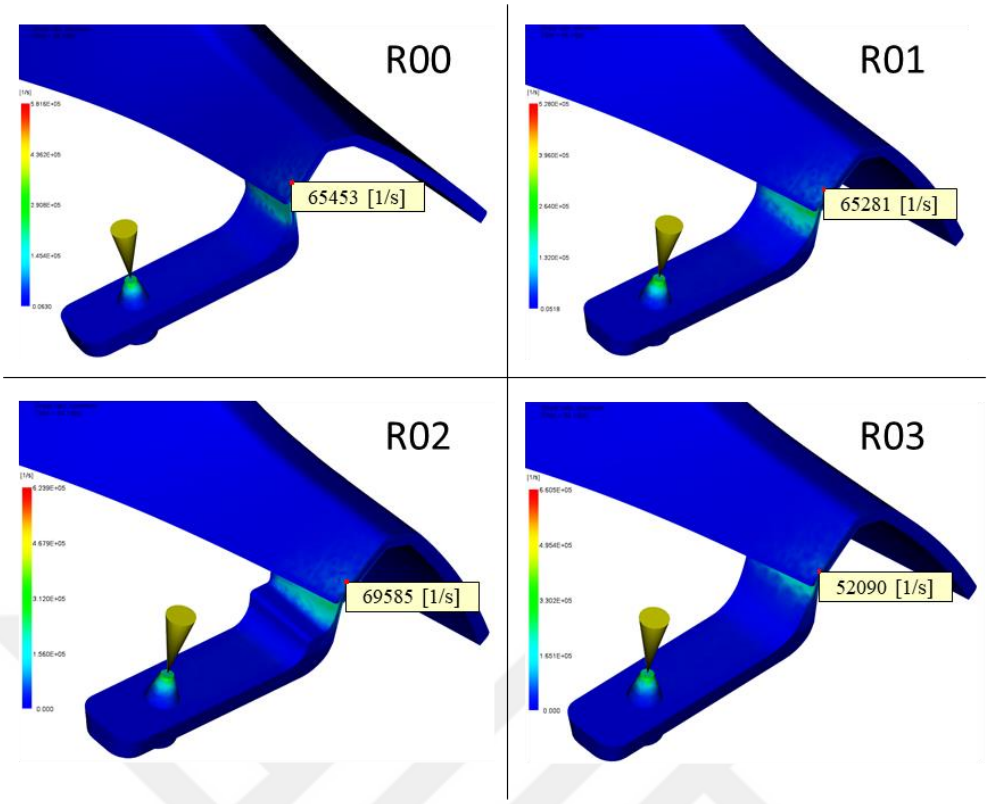
Şekil 6.5 İzin görüldüğü bölgede eriyik akış yönü ve hızı karşılaştırması



Şekil 6.6 Donan katmanların parçaya göre kalınlık oranı karşılaştırması

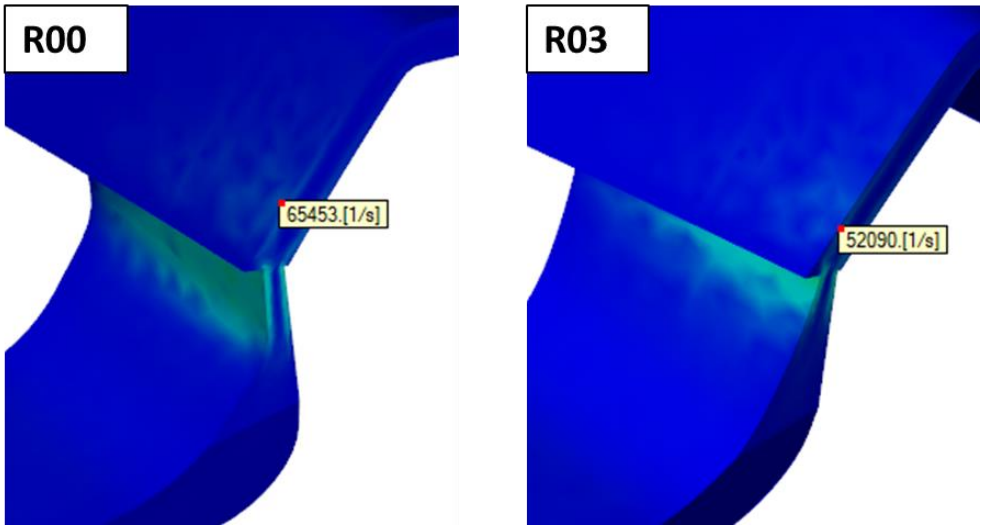


Şekil 6.7 Maksimum kesme oranı karşılaştırması



Şekil 6.8 Soğuk yolluk üzerinde girişe yakın bölgedeki maksimum kesme oranı karşılaştırması

R03 ile R00 analizlerinin kesme oranları değerlendirildiğinde, hem giriş bölgesindeki soğuk yolluk kısmında hem de izin görüldüğü kısımda azalma olduğu gözlemlenmiştir.

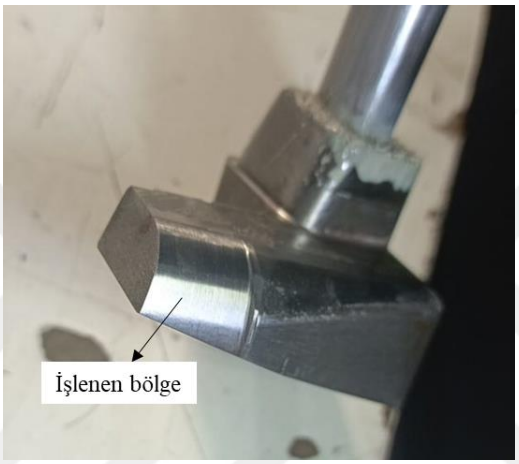


Şekil 6.9 Soğuk yolluk üzerinde girişe yakın bölgedeki kesme oranı

Analiz sonuçları kıyaslandığında, R03 simülasyonuna ait veriler ile izin giderileceği veya en azından kabul edilebilir sınırlara indirilebileceği öngörülmüştür. Buna göre, R03 yolluk tasarımının kalıba uygulanması kararı alınmıştır.

7
UYGULAMA

R00 tasarımlı maça yolluklar kalıptan sökülerek R03 tasarımına dönüştürülmek üzere CNC freze tezgahında işlenmiştir. Aşağıdaki görselde işlenen bölge gösterilmektedir. Bu süreçte, yolluk tasarımı değiştirilmiş ve kalıp yeni yolluk tasarımına uyumlu hale getirilmiştir.



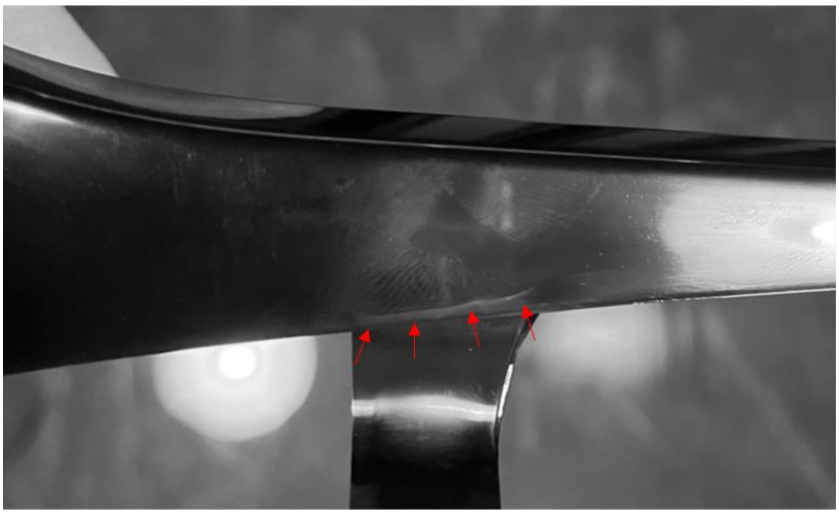
Şekil 7.1 Kalıptaki maça yolluğun işlenen bölgesi

Yollukların istenen tasarıma göre modifiye edilmesinin ardından deneme baskıları gerçekleştirilmiştir. Deneme çalışmasına, önceki kalıp denemesinde belirlenmiş parametreler ile başlanmış ve yolluk bölgesindeki izde iyileşme olduğu görülmüştür. Ancak, yolluk kesiti değişikliği nedeniyle ve izdeki iyileşme oranını artırmak için enjeksiyon parametrelerinde optimizasyon çalışması yapılmış ve nihai ürün elde edilmiştir.

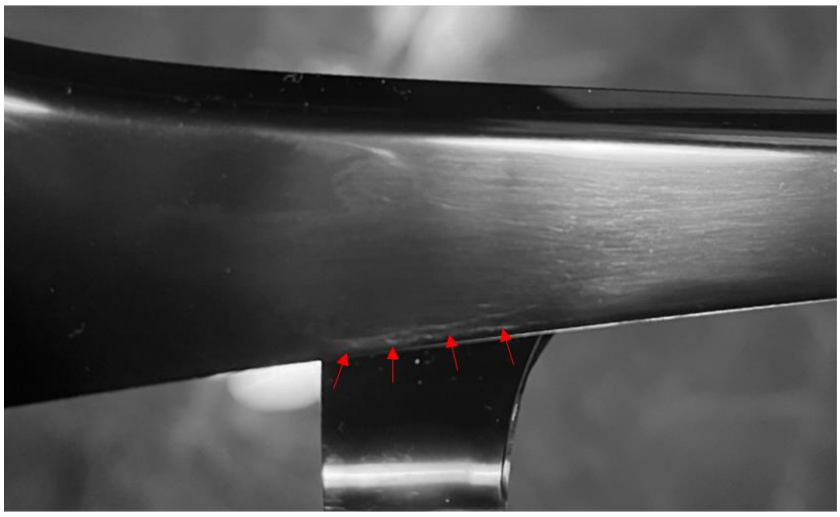
Enjekte edilen plastiğin sıcaklığının artırılması ve enjeksiyon hız ve basınç değerlerinin optimizasyonu ile de izin görünümünde kabul edilebilir seviyeye ulaşılmıştır. Bu iyileştirme, desen işlemine geçiş yapılmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Nihai parametre değerleri aşağıdaki Tablo 7.1'de verilmektedir.

Tablo 7.1 Optimize edilmiş enjeksiyon parametreleri tablosu

Enjeksiyon basıncı	130 MPa
Kapama kuvveti	600 ton
Enjeksiyon debisi	560 / 420 / 196 cm^3/sn
Mal alma miktarı	70 mm
Strok	55 / 42 / 25 mm
Eriyik sıcaklığı	255 ºC
Kalıp sıcaklığı	60ºC
Tutma basıncı	90 MPa
Tutma basıncı süresi	6 sn
Soğutma süresi	25 sn

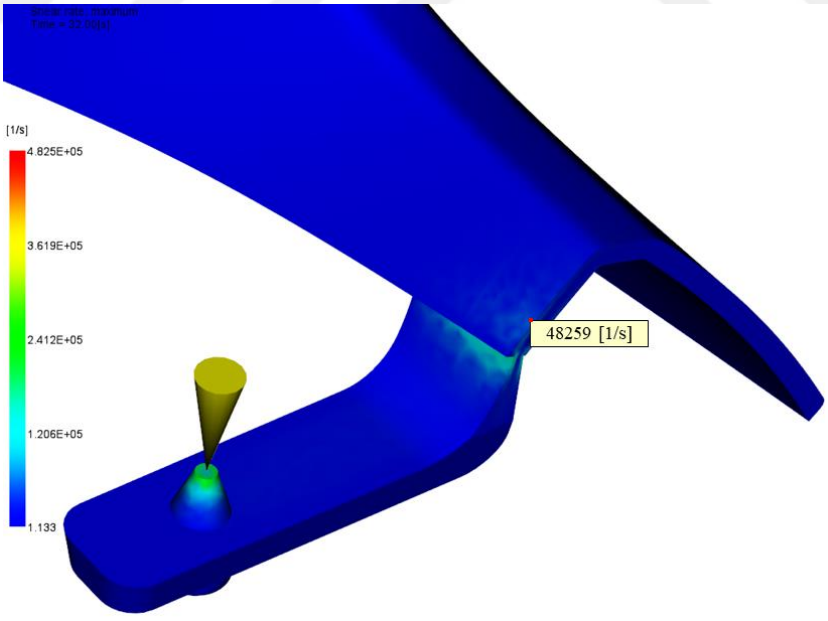


Şekil 7.2 Simülasyondan alınan parametreler ile üretilen parçadaki izin durumu



Şekil 7.3 Optimize edilmiş parametreler ile üretilen parçadaki izin son durumu

Kabul edilebilir iz seviyesinin elde edildiği optimize edilmiş enjeksiyon parametreleri ile akış analizi tekrarlanmıştır. Yapılan denemede plastik parçada izin tamamen giderilememiş olmasına karşın, analiz sonucunda izin görüldüğü bölgede kesme oranının limit değerin altına indiği gözlemlenmiştir. Bu durum bize, kesme oranı değerinin akış izi oluşturma riskinin, malzemeye ait limit değere tamamen bağlı olmadığını kanıtlamaktadır.



Şekil 7.4 Optimize edilmiş enjeksiyon parametreleri ve R03 yolluk ile gerçekleştirilen analiz sonucu iz bölgesinde görülen kesme oranı

Desen işlemi, yüzeyde mikron boyutlarda tepe ve çukurlar oluşturarak, yüzeye gelen ışığın dağılmasına neden olur. Bu dağılma, yüzeyin daha mat bir görünüm

kazanmasını sağlar. Genel olarak, desenli yüzeyler parlak yüzeylere göre görsel problemleri daha az sergiler. Benzer şekilde, deflektör kalıbının desenlenmesi sonrası yapılan deneme baskılarında, ilgili izinlerin tamamen giderildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.5 Desenleme işlemi sonrası üretilen parçadaki iz bölgesinin son durumu

8
SONUÇLAR

Bu çalışmada, otomotiv dış trim parçalarından olan deflektör parçasının yolluk giriş bölgesinde oluşan izin giderilmesi konu alınmış ve kesme oranı değeriyle izin oluşumu arasındaki ilişki incelenmiştir. Alınacak aksiyonun belirlenmesi için Simülasyon programından yararlanılmıştır. R00 yolluk tasarımıyla gerçekleştirilmiş olan analiz sonuçlarında, izin görüldüğü yolluk giriş bölgesinde kesme oranı değerinin malzemenin limit değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Analiz çalışmaları sonucunda R03 versiyonu yolluk tasarımının kesme oranının düşmesini sağladığı belirlenmiş ve bu yolluk kesiti kalıba uygulanmıştır. Baskılardan alınan fiziksel parçalarla yapılan doğrulama ile kesme oranında sağlanan düşüşün izin görünürlüğünde azalma sağladığını ortaya koymuştur.

Yapılan çalışma sonucunda, R00 tasarımındaki ani yolluk kesiti daralmasının aksine, R03 tasarımında olduğu gibi yolluk giriş noktasına doğru yayılmış bir şekilde gerçekleştirilen daralmanın, kesme oranını ve etkisini azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, eriyik sıcaklığının ve enjeksiyon hızının artırılmasının, izin görünürlüğünü azaltmada etkili olduğu görülmüştür.

Simülasyonlar, birleşim izi veya çöküntü gibi bazı görsel problemler hakkında net sonuçlar verse de, özellikle yolluk giriş bölgesinde oluşan izler gibi bazı spesifik durumlarda net sonuçlar sunmada sınırlı kalabilmektedir. Buna rağmen, simülasyonda sonuçların net olarak görülemediği durumlarda bile, parametre değişikliklerinin belirlenmesi ve kalıpta yapılacak revizyonların karar süreçlerinde rehberlik sağlayabilmektedir.

Ek olarak, kesme oranı gibi bazı değerlerin malzeme kütüphanesinde tanımlanmış limitlerin altında olması, problemin oluşmayacağını garanti etmemektedir. Programda tanımlanmış bu limit değerler, genel olarak parça tasarımı gibi diğer etkenlerden bağımsız olarak sadece malzemenin içeriği dikkate alınarak belirlenmektedir. Diğer koşulların etkisini bertaraf edebilmek için tasarımda daha düşük değerleri hedeflemenin gerekebileceği yapılan çalışma ile görülmüştür.

KAYNAKÇA

[1] G. Wypych, T. Faulkner, “Weathering of plastics”, in M. Kutz (Ed.), The Handbook of environmental degradation of materials, Elsevier, 1999.

[2] G. Wypych, Handbook of material weathering, Elsevier, 2018.

[3] U. Ali, K.J.B.A. Karim, N.A. Buang, “A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA)”, in Polymer Reviews, 2015, pp. 678–705.

[4] S. Öztürk, “The weathering study of PC/ASA alloy for automotive exterior applications”, in Journal of the Turkish chemical society section a: chemistry, 2018, pp. 61–72.

[5] M. Sargent, J. Koenig, N. Maecker, “FT-IR analysis of the photooxidation of styrene-acrylonitrile copolymers”, in Polymer degradation and stability, Elsevier, 1993.

[6] F. F. Yıldırım, A. S. Hiçyılmaz, K. Yıldırım, “The effects of the weathering methods on the properties of the ABS, ASA and PMMA polymers”, in Polymer testing, 2022.

[7] J. Shoemaker, Moldflow design guide - A resource for plastics engineers, Hanser Publications, 2006.

[8] M. M. Topal, Plastik enjeksiyon kalıplarında üründeki kaynak yeri hatalarının mukavemet özelliklerine etkisi, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstistüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.

[9] P. Ghosh, Polymer science and technology – Plastics rubber blends and composites, 2. Edition, Tata McGraw-Hill, 2002.

[10] Akkurt S., Plastik malzeme bilimi, teknolojisi ve kalıp tasarımı, Birsen Yayınevi, 2007.

[11] M. Saçak , Polimer kimyasına giriş, Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, 1998.

[12] İ. Cengiz, Polietilen ve polipropilen esaslı ürünlerin plastik enjeksiyon işlem parametreleri ve termodinamik yöntemlerle ısıl yayılımının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 2012.

[13] Ö. F. Akyüz, “Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş”, Pagev Yayınları, 3. Baskı, 2006, pp. 103- 15.

[14] Plastik teknolojisi, enjeksiyon makine ayarları, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2013.

[15] NCB Plastik, http://www.ncbplastik.com/Assets/Dokuman/enjeksiyonla-kaliplama-icin-tavsiye-edilen-calisma-degerleri.pdf, 2015.

[16] S. Chen, L. Turng, Advanced injection molding technologies, Hanser Publications, 2016.

[17] A. Küçükoğlu, S. Vargelci, A. Acar, “A study for detecting flow lines on the aesthetic plastic parts during design phases as using material flow analysis programs”, European mechanical science, 2019.

[18] J. Scheirs and D.B. Priddy, Modern styrenic polymers: polystyrenes and styrenic copolymers, John Wiley & Sons Ltd., 2003.

[19] A. M. Grillet, A.C.B. Bogaerds, G.W.M. Peter, Numerical analysis of flow mark surface defects in injection molding flow, 2002.

[20] J. M. Dealy, K. F. Wissbrun, Melt rheology and its role in plastics processing, theory and applications”, Van nostrand reinhold, 1990.

[21] F. Ceritbinmez, “Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve üretilen parçalarda çapaklanmaya etki eden parametrelerin incelenmesi” 2014.

[22] Albis Distribution GmbH & Co. KG, Ineos Styrolution, https://www.albis.com/en/products/download/doc/en/SI/styrolution/Luran S778T.pdf, 2022

[23] Negri Bossi Vector, https://www.negribossi.com/wp-content/uploads/VECTOR-depliant_Negri-Bossi_2016-10-3.pdf, 2016

[24] F. Kızılay, “Plastikler”, Mühendis ve makine güncel dergisi mart sayısı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2022, pp. 16-26.

[25] J. P. Beaumont, Runner and gating design handbook – Tools for successful injection molding, Hanser Publications, 2004.

[26] K. Astor, S. R. Cleveland, “Ultra high shear rates and their effects on the physical and melt properties of an injection molded part” in SPE Annual Technical Conference, 2003, p. 3378.

[27] R. A. Malloy, Plastic part design for injection molding, Hanser Publications, 2010.

[28] E. Miller, Plastic product design engineering handbook – Part A, Marcel Dekker Inc., 1981.

[29] K. Tomari, S. Tonogai, T. Harada, “Elimination of weldlines in polystyrene injection moldings using a ceramic heater” in Polymer engineering & science, 1990.

[30] Y. K. Shen, J. J. Liu, C. T. Chang, C. Y. Chiu, “Comparison of the Results for Semisolid and Plastic Injection Molding Process” in International Communications in heat and mass transfer, 2002, pp. 97-105.

[31] Türkiye otomotiv plastikleri sektör izleme raporu, PAGEV, 2016