

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT KOMPONENTLİ PLASTİK ENJEKSİYON
KALIBI TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Akın Oğuz KAPTI

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİFT KOMPONENTLİ PLASTİK ENJEKSİYON
KALIBI TASARIMI VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 09/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Akın Oğuz KAPTI
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
Osman İYİBİLGİN
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Aslan ÇOBAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Büşra ÇELİK

17.12.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Akın Oğuz KAPTI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olup; beni destekleyen, güç kaynağım olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ.....	3
BÖLÜM 3.	
ÇOK KOMPONENTLİ ÜRÜN TEKNOLOJİSİ.....	6
3.1. Çok Komponentli Ürünler.....	6
3.2. Çok Komponentli Ürünlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretilmesi	7
3.2.1. Çok komponentli kalıplama.....	9
3.2.1.1. Ko-enjeksiyon kalıplama.....	9
3.2.1.2. Bi-enjeksiyon.....	10
3.2.1.3. Zaman aralıklı enjeksiyon (Ebrulama)	11
3.2.2. Çok atışlı kalıplama	13
3.2.2.1. Transfer kalıplama.....	13
3.2.2.2. Geri hareketli çekirdek yöntemi	14
3.2.2.3. Döner plaka yöntemi	14

3.2.2.4. Döner lokma yöntemi	15
3.2.3. Üzerine kalıplama.....	16
3.3. Çok Komponentli Kalıplama Çalışmaları ve Araştırmaları	17
BÖLÜM 4.	
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÇOK KOMPONENTLİ KALIP TASARIMI.....	26
4.1. Parça Tanımı	26
4.2. Malzeme seçimi.....	26
4.3. Kalıp Boşluğu(Cavity-Core) Tasarımı	28
4.4. Soğutma Sistemi Tasarımı	35
4.5. Makine verimi	41
4.6. Sıcak Yolluk Sistemi Tasarımı.....	42
4.7. Parçayı Kalıptan Çıkarma Sistemi	45
4.8. Döner Plaka Hareketi	48
BÖLÜM 5.	
AKIŞ ANALİZİ	55
5.1. Dolum Zamanı.....	56
5.2. Dolum Sonu Basıncı.....	57
5.3. Dolum Sonu Sıcaklığı	58
5.4. Soğuma Zamanı.....	60
5.5. Soğuma Sonu Sıcaklığı	61
5.6. Çöküntü	62
5.7. Hava Kabarcıkları	63
5.8. Soğuk Birleşme İzi	64
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR	66
KAYNAKÇA.....	68
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: ivme
a _{or}	: Ortalama ivme
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar destekli tasarım)
C _p	: Özgül ısı
ÇKK	: Çok Komponentli Kalıplama
Ç. Lokma	: Çekirdek lokma
d	: Çap
F	: Kuvvet
F _Y	: Yay Kuvveti
G _ü	: Ürün kütlesi
G _{pl}	: Makinenin plastise oranı
h	: Parça et kalınlığı
I	: Eylemsizlik Momenti
k	: yay katsayısı
L	: Soğutma kanalı boyu
m	: Kütle
n	: Saatteki baskı adedi
n ₁	: Kalıptaki ürün gözü sayısı
n ₂	: Bir saatteki çevrim sayısı
P	: Güç
PP	: Polipropilen
R	: Yarıçap
Re	: Reynold sayısı
s	: Yer değiştirme
t	: Zaman
t _s	: Soğutma süresi

T	: Sıcaklık
TPE-S	: Termoplastik Elastomer-Stiren
V_{ort}	: Ortalama hız
V_{son}	: Son hız
W	: Ağırlık
Q	: Isı
α	: Termal difüzyon katsayısı
Υ	: Polimere ait kayma hızı
ρ	: Yoğunluk
η	: Verim
θ	: Açı
ω	: Açısal hız
μ	: Sürtünme katsayısı
\dot{V}	: Hacimsel debi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Enjeksiyon ünitesine bağlı vida ve besleme hunisi.....	4
Şekil 2.2. Enjeksiyon, kalıp ve mengene sistemi ile enjeksiyon makinesi	5
Şekil 3.1. Montajla üretilen çok komponentli ürünler	6
Şekil 3.2. Çoklu renk seçeneği sağlayan ürünlerden araba farı	7
Şekil 3.3. Ürün tasarımında çift komponentli ürün kombinasyonu ile tutuşta konfor sağlanması.....	7
Şekil 3.4. Geleneksel tek komponent ve çift komponent kalıplama ile üretilmiş iki klips örneği	7
Şekil 3.5. Çok komponentli enjeksiyonun sınıflandırılması	8
Şekil 3.6. Ko-enjeksiyon ile üretilen bir ürünün temsili sandviç yapısı kesiti.....	9
Şekil 3.7. Ko enjeksiyon prosesi	10
Şekil 3.8. Bi-enjeksiyon makinası temsili.....	11
Şekil 3.9. Bi-enjeksiyonla üretilmiş ürün.....	11
Şekil 3.10. Hammadde besleme tekniği ile zaman aralıklı enjeksiyon prosesi	12
Şekil 3.11. Piston yüklenmesi tekniği ile çalışan zaman aralıklı enjeksiyon prosesi	12
Şekil 3.12. Zaman aralıklı enjeksiyon ile üretilmiş ürünler	12
Şekil 3.13. Robotla transfer yöntemi	14
Şekil 3.14. Geri çekirdek yöntemi	14
Şekil 3.15. Döner plaka yöntemi.....	15
Şekil 3.16. Döner lokma yöntemi	16
Şekil 3.17. Üzerine kalıplama	16
Şekil 3.18. Çalışmada üretilen parça.....	17

Şekil 3.19. a) Metal plakanın ilk enjeksiyonda ikinci komponent için kaviteye eklenmesi b) İlk komponentin basılması c) Metal plaka çıkarılması ve ilk ürünün tekrar kalıba yerleştirilmesi d) İkinci komponentin uygulanması ve nihai ürün elde edilmesi	18
Şekil 3.20. Enjeksiyon deneme sonuçları a) Kauçuğun ilk olarak enjekte edildiği, ikinci olarak termoplastik enjeksiyonu ile oluşan ürün b) Termoplastiğin ilk olarak enjekte edildiği, ikinci olarak kauçuk enjeksiyonu ile oluşan ürün.....	19
Şekil 3.21. Kimyasal ara yüzü çok komponentli ürünün a)cad modeli b)kalıplanmış hali.....	20
Şekil 3.22. Mekanik ara yüzeye sahip çubuğun a)cad modeli b)kalıplanmış hali.....	21
Şekil 3.23. Kayar çekirdek kalıplama yöntemi a) İlk aşama için çekirdek pozisyonu. b) Kalıplanmış kısım ve ikinci komponent için kalıpta yer açılması. c) İkinci enjeksiyondan çıkan kalıplanmış parça ve üçüncü enjeksiyon için çekirdekte yeniden konumlanma. d) Nihai	23
Şekil 3.24. Ürün için tasarlanan kalıp	23
Şekil 3.25. Döner lokma sisteminin çalışma prensibi: (a) İleri-geri ve dönme hareketi mekanizmaları; (b) Dönebilen çekirdek plakası.....	25
Şekil 4.1. İşaretleme kalemi CAD modeli	26
Şekil 4.2. Yumuşak ve sert malzeme kombinasyonları	28
Şekil 4.3. Kalıplacak ilk komponent geometrisi	29
Şekil 4.4. Kalıp ayırım çizgisi.....	29
Şekil 4.5. Bölünmüş kalıplarda ayırma yüzeyleri	30
Şekil 4.6. Kalıp çenelerinin açık hali	30
Şekil 4.7. Kalıp çenelerinin kapalı hali	31
Şekil 4.8. Maça tutucunun konumu	31
Şekil 4.9. Maça tutucunun çalışması.....	31
Şekil 4.10. Maça tutucu CAD modeli	31
Şekil 4.11. Serbest cisim diyagramı.....	33
Şekil 4.12. Nihai ürün	34
Şekil 4.13. Kalıp gözlerinin dişi plakaya montajı	35

Şekil 4.14. Tek taraflı ısı geçişi.....	37
Şekil 4.15. Paralel soğutma kanalları.....	41
Şekil 4.16. Çenelere açılan soğutma kanalları	41
Şekil 4.17. Sekiz gözlü I tipi manifold.....	42
Şekil 4.18. Nozülün CAD modeli	44
Şekil 4.19. Sıcak yolluk sistemi	44
Şekil 4.20. Sıcak yolluk sistemi montajı.....	45
Şekil 4.21. Sıyırıcı plaka çalışma sistemi	45
Şekil 4.22. Sıyırıcı plaka ve ürün çekirdeğinin erkek kalıba montajı	46
Şekil 4.23. Kalıba ait sıyırıcı sistemi	47
Şekil 4.24. Alt istasyon için sıyırıcı sistemi.....	47
Şekil 4.25. Üst istasyon için sıyırıcı sistemi	48
Şekil 4.26. Döndürme sistemi montajı.....	49
Şekil 4.27. Dişli çiftiyle güç aktarımı	49
Şekil 4.28. Kalıbın montajı	50
Şekil 4.29. Merkezleme kolonları dahil edildiğinde montaj	50
Şekil 4.30. Eylemsizlik momenti hesabı	52
Şekil 5.1. İlk bileşenin mesh işlemi	56
Şekil 5.2. İkinci bileşenin mesh işlemi	56
Şekil 5.3. PP bileşen için dolum zamanı	57
Şekil 5.4. TPE-S malzeme için dolum zamanı.....	57
Şekil 5.5. Dolum sonu basıncı	58
Şekil 5.6. TPE-S bileşenin dolum sonu basıncı	58
Şekil 5.7. PP bileşen için dolum sonu sıcaklık	59
Şekil 5.8. TPE-S için dolum sonu sıcaklık analizi.....	59
Şekil 5.9. PP bileşen için soğuma zamanı.....	60
Şekil 5.10. TPE-S bileşeni için soğuma zamanı	60
Şekil 5.11. PP bileşeni için soğuma sonu sıcaklık	61
Şekil 5.12. TPE-S için soğuma sonu sıcaklık	62
Şekil 5.13. PP bileşende çöküntü	63
Şekil 5.14. TPE-S bileşeni için çöküntü	63
Şekil 5.15. PP bileşen için hava kabarcığı konumu	64

Şekil 5.16. Parça yüzeyinde soğuk birleşme izleri.....	65
Şekil 5.17. Soğuk birleşme izlerinin oluştuğu anlar	65

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. PP ve TPE-S için teknik özellikler	28
Tablo 4.2. Bileşenlere ait özellikler	34
Tablo 4.3. Çevrim süresi	38

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kalıp tasarımı, çift komponentli kalıplama, soğutma sistemi dizaynı, döner plaka, akış analizi

Çok komponentli ürünlerin üretilmesi konusunda geleneksel tek komponentli kalıplama ve montaj yetersiz kalmaktadır. Çok komponentli ürünler, enjeksiyon yöntemi ile seri bir şekilde yüksek kalitede üretilebilir. Çok komponentli ürün tasarımları bu teknoloji göz önüne alınarak daha işlevsel hale getirilebilir. Bu çalışmada, çift komponentli bir işaretleme kalemine ait plastik enjeksiyon kalıbının tasarımının yapılması ve geliştirilen kalıbın proses parametreleri üzerinden akış analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Tasarımı yapılan kalıp çift komponentli, sekiz gözlü ve döner plakalı bir kalıptır. Kullanılacak polimerik malzemeler olarak birbiriyle iyi bağ yapma özelliğine sahip polipropilen (PP) ve stiren bazlı termoplastik elastomer (TPE-S) seçilmiştir. Çift komponentli kalıp tasarımı kapsamında, sıcak yolluk, soğutma, döner plaka hareket ve sıyırıcı plaka sistemlerine yönelik tasarım çalışmaları yapılmıştır. Dolum süresi, dolum ve soğuma sonundaki sıcaklıklar, soğuk birleşme izi, çöküntü, hava kabarcığı oluşumlarına yönelik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

DESIGN AND EVALUATION OF A TWO-COMPONENT INJECTION MOLD

SUMMARY

Keywords: Mold design, two-component injection molding, cooling system design, rotary-cross method, flow analysis.

The conventional plastic injection process is insufficient to respond the necessities expected from the multi-component products. These products can be produced in high quality mass production by multi-component injection method. Even product designs can be made more functional by considering this technology. In this study, it is aimed to design the plastic injection mold of a two-component marking pen and to perform flow analysis by considering the process parameters of the developed mold. The mold designed in this study is a rotary-cross type, two-component, 8-cavity marking pen mold. Polypropylene (PP) and styrene based thermoplastic elastomer (TPE-S) which have good bonding properties were selected as the polymeric materials. Within the scope of the two-component mold design, the hot runner, cooling, rotary-cross movement and slider plate system designs were carried out. Analysis studies were also carried out for filling time, temperatures at the end of filling and cooling periods, and the formation of the sink mark, weld line and air traps.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada günden güne ülkemizde yaygınlaşmaya başlayan plastik enjeksiyonla şekil verme yöntemlerinden biri olan, birden fazla polimer veya aynı tür polimerin farklı renkleri kullanılarak parça üretimi yapılmasına imkan veren çok komponentli enjeksiyon kalıplama yöntemi incelenmiştir.

Plastik enjeksiyon teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, tek komponentli ürünlerin yanı sıra çok komponentli ürünlerin de günlük hayatta kullanılan endüstriyel ürünler listesindeki payı giderek artmaktadır. Çok komponentli ürünlerin daha kısa zamanda, daha kaliteli ve daha hızlı üretilmesini sağlayan bu yeni teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte, enjeksiyon sonrası montaj ya da çift makine/çift kalıp uygulamasına dayalı klasik yöntemler yavaş yavaş terk edilmeye başlanmıştır. Farklı malzeme kombinasyonları ile, kompleks geometrilerin düşük toleranslarda üretilmesini sağlayan çok komponentli enjeksiyonla kalıplama yöntemi, geleneksel kalıplama kurallarını temel alıp üstüne kendine has farklılıklar ekleyerek bunu başarmaktadır. Geleneksel tek komponentli enjeksiyonla kalıplama yönteminden farklı olarak ilk istasyonda enjekte edilen polimerden sonra ikinci polimerin kalıp boşluğuna enjekte edilmesini sağlamak için kalıp boşluğunun bir şekilde ikinci istasyona ulaştırılması gereklidir. Kalıbın hareketli çekirdek lokmasının bir sistem sayesinde taşıyıcı plakadan ayrılarak belirlenen uygun açıyla (çift komponent için: 180°, üç komponent için: 120°, dört komponent için: 90°) rotasyonunun yapılması şeklindeki uygulamaya çok komponentli kalıplama literatüründe “döner lokma (rotary-cross)” adı verilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen çift komponentli kalıp tasarımında döner plaka yönteminin uygulanması prensibi benimsenmiştir.

Plastik enjeksiyon prosesi; enjeksiyon makinesi, kullanılan polimer ve kalıp unsurları üzerine kuruludur. Bu üretim yönteminde kalıp unsuru tüm sistemin kalbidir. Kavite

geometrisine ek olarak polimerin enjekte edilmesi için yolluk besleme sistemi, parçanın kalıp içinde kısa sürede soğutulması için soğutma sistemi ve katılacak parçanın kalıptan atılması için atıcı/itici sistemi tasarımlarına ait parametreler üretilecek ürünün özellikleri üzerinde önemli derecede etkili faktörlerdir.

Bu çalışmada geleneksel tek komponentli enjeksiyon kalıplamanın temellerinde olduğu gibi kalıptan beklenecek temel fonksiyonlar ele alınmıştır. Seçilen çift komponentli ürünün üretilebilmesi için uygun malzeme kombinasyonu belirlenmiştir. Enjeksiyon işlemi esnasında ürün geometrisinde bulunan makine/kalıp çalışma eksenine dik ayrıntıların oluşturulmasını sağlayan maçaların yeri ve türü belirlenerek lokma içindeki yerlerine konumlanmaları işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıp gözlerinin sayısı ve bu gözlerin kalıp plakalarında hangi düzenle yer alacağı belirlenmiştir.

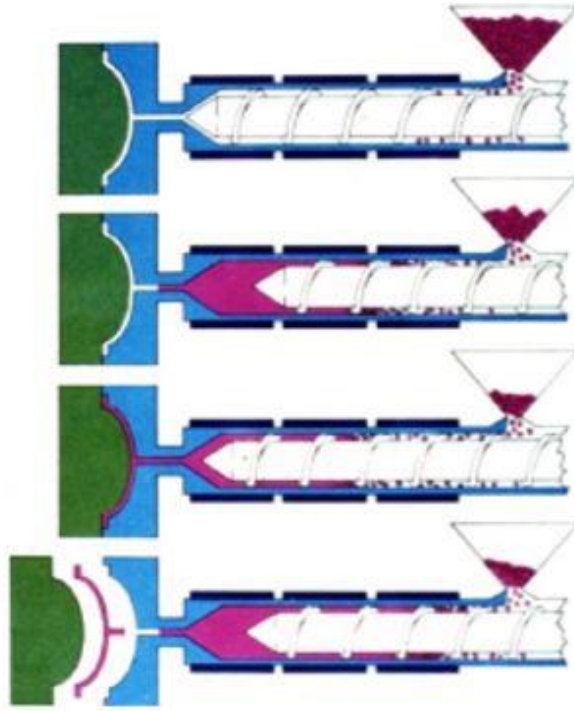
Plastik enjeksiyon kalıpları, enjeksiyon çevriminin gerektirdiği sıralı ve tekrarlı işlem basamaklarının belirli bir sistematik yapı içinde gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde tasarlanması gereken karmaşık sistemlerdir. Enjeksiyon prosesinden beklenen ilk ve en önemli işlev, yüksek basınç altında eriyik polimerin belirlenen kalıp boşluğunu tam olarak doldurmasının sağlanmasıdır. Bu proses için çalışmada bir sıcak yolluk sistemi tasarlanmıştır. Kalıbın ikinci işlevi, ütüleme sonrası hala sıcak olan kalıplanmış eriyiğin kalıbın içindeki soğutucu kanallara ısını verimli bir şekilde aktarmasıdır. Böylece kalıplanmış ürünler mümkün olduğu kadar standarda uygun şekilde üretilebilir. Bu proses için de çalışmada bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Kalıbın üçüncü işlevi, parçanın kalıptan uygun bir şekilde çıkarılmasıdır. Bu gereksinim için de sıyrıcı plaka tasarımı yapılmıştır. Temellerini bu üç işlevden alan çok komponentli kalıplama, tek komponentli klasik enjeksiyon kalıplarına ilave edilen kendine has bir özellik olarak, ilk enjeksiyondan sonra kalıplanacak parçayı ikinci istasyona aktaran hareket sistemine sahiptir. Bu sayede ikinci enjeksiyon gerçekleşir ve nihai parça soğutulularak kalıptan çıkarılır.

Tasarımı yapılan bu kalıbın hemen sonrasında analizlerle üretim hatalarının önceden belirlenmesi ve bu şekilde imalat sonrası hatalara yer vermemek amaçlı akış analizinin yapılması şeklinde bir çalışma planı uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

Plastikler, termoset ve termoplastik olmak üzere temel iki gruba ayrılmaktadır. Bu iki malzeme grubu arasındaki temel fark ısı aktarımı tamamlanıp nihai şekil alma süreci gerçekleştiğinde ısı verilmesiyle beraber tekrar eritildiğinde şekil değişimi elde edilip edilmeyeceği üzerine yapılıdır. Termoset malzemeler ısıtma ve şekil alma süresi boyunca moleküler yapıda kimyasal şekil değişimine, diğer bir adı ile çapraz bağlanmaya neden olan kurlenme prosesine sahiptir. Kurlenme sonucunda meydana gelen yapı, ısı tekrar verildiğinde termoplastikler gibi eski haline dönüş yapmaz. Katıdan sıvı faza veya sıvıdan katı faza geçiş yapan termoplastiklerin kimyasal yapılarında bir değişim gözlemlenmez. Bu özelliğinden dolayı günlük hayatımızda termoplastik malzemeler plastik malzemelerin %80'den fazlasını oluşturmaktadır [1]. Günümüzde enjeksiyonla kalıplama termoplastiklerden mamul parçaların üretilmesinde büyük bir pay üstlenmektedir. Plastik endüstrisinde kullanılan enjeksiyonla kalıplama ve diğer plastik parça üretim yöntemlerinin geçmişi daha eskiye dayanır. Geçmişten bugüne teknolojinin ilerlemesi ile gelişmeler kat ederek günümüzde kullanılan teknoloji meydana gelmiştir.

Enjeksiyonla kalıplama yöntemi ısı verilerek erime sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta, doldurması istenilen kavite boşluğuna büyük bir basınçla enjekte edilen polimerin, belirli süre içinde soğutulup kalıp dışına atılması esasına dayanır. Bu işlemler belirli sıra ve ahenk içinde gerçekleşirken Şekil 2.1.'de görülen enjeksiyon ünitesine ait ısıtıcılarla çevrelenmiş vida kullanılır.

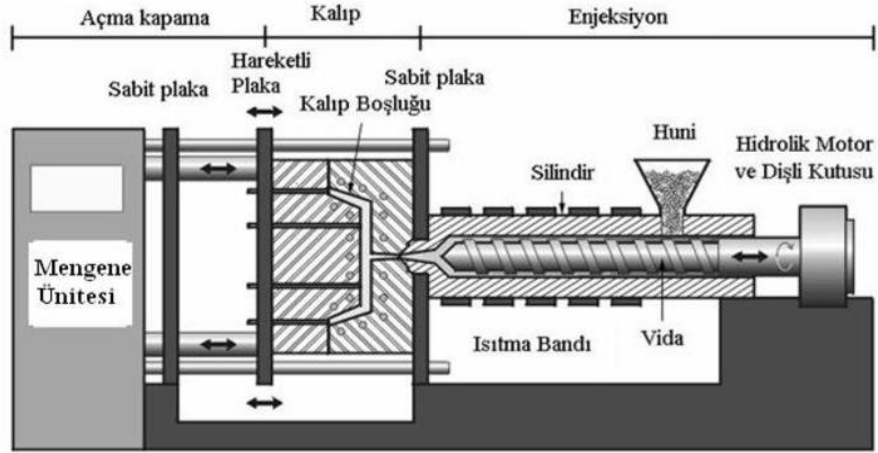


Şekil 2.1. Enjeksiyon ünitesine bağlı vida ve besleme hunisi [2]

Hunide bulunan granül hammadde, ocak silindirine girer ve vidanın dönme hareketleriyle ileri doğru hareket ederken katı fazdan sıvı faza geçiş yapar. Gereklili ısı enerjisinin yaklaşık yarısı ocak çevresindeki rezistanslar tarafından, diğeri yarısı ise helikonik vida sürtünmesi üzerinden karşılanır.

Enjeksiyon prosesi doldurma paketleme ve basınçta tutma aşamalarından oluşur. Eriticiden çıkan polimer bir dağıtma sisteminden geçerek kalıp boşluğunu tamamen doldurana kadar enjeksiyon devam eder. Kalıp boşluğunun içinde katılaştı polimer enjekte edilen eriyikten daha düşük hacime sahip olacağı için büzülme engellemenin amacıyla bir miktar daha malzeme enjekte edilir. Bu işleme paketleme adı verilir. Kalıp boşluğuna yeterince malzeme doldurulduktan sonra basınçta tutma aşaması devam eder. Parçanın sıcaklığı, kalıptan çıkarken zarar görmeyeceği bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda parça kalıptan çıkarılır. Bir sonraki çevrime hazırlanması için kalıp kapatılır [2].

Bir prosesin başka bir prosesin önünde geçmeyerek veya gerisinde kalmayarak tam zamanında ve ahenkle tamamladığı bu üretim yöntemi Şekil 2.2.'de gösterilen bölümlere ayrılmış enjeksiyon makinesi vasıtasıyla gerçekleşir.



Şekil 2.2. Enjeksiyon, kalıp ve mengene sistemi ile enjeksiyon makinesi [3]

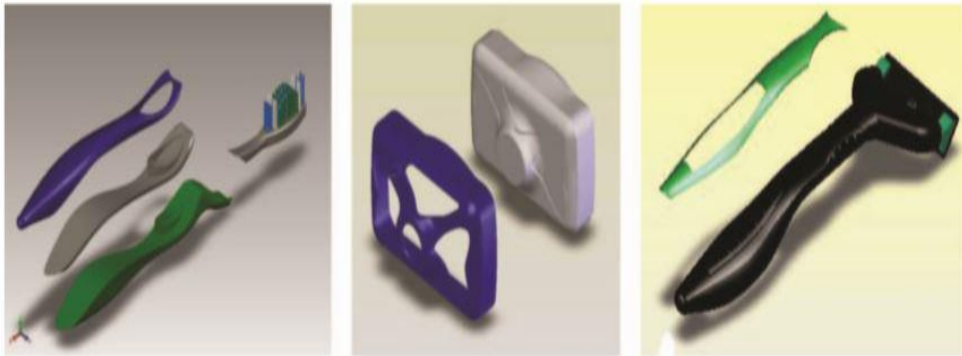
Enjeksiyon, mengene ve tahrik ünitelerinin takım çalışmasıyla gerçekleştirdiği plastik enjeksiyon kalıplama prosesinde istenilen ürün geometrisinin elde edileceği, bu proseslerin kalbi niteliğinde bütün aksiyonu içinde barındıran en önemli yapı ürünün kalıbıdır. Dişi ve erkek olarak iki yarımdan oluşan bu yapı; parçaya polimerin giriş noktasından, kalıptan atma sistemine kadar bütün önemli işlemleri içinde barındırır. Ürün kalitesi üzerine direkt etkisi bulunmaktadır.

BÖLÜM 3. ÇOK KOMPONENTLİ ÜRÜN TEKNOLOJİSİ

3.1. Çok Komponentli Ürünler

Çok komponentli ürünler son zamanlarda; aşağıda sıralanan yönlerinden dolayı Şekil 3.1.'de gösterilen geleneksel kalıplama ile üretilmiş, montajlama yöntemiyle bir araya getirilmiş emsallerine üstünlükleri sebebiyetiyle pazarda giderek daha popüler ve aranan hale gelmiştir.

- İş Güvenliği: Elle kavrama veya parmaklarla tutma ihtiyacı olan bir ürün için, ikinci eklenecek yumuşak bir malzeme bütün parçada kuru ve ıslak ortam şartlarında daha iyi kavrama, titreşim sönümleme ve elektrik yalıtımı sağlar.
- Ergonomi: Bütün ürünün kullanımında konforun artmasını sağlar.
- Gelişmiş ürün performansı: Ses yalıtımı ve sızdırmazlık sağlar.
- Estetik: Çoklu renk seçimi, yumuşak dokunuşlu efektler, insanı etkileyen özellikler sunar.
- Düşük maliyet: Çok malzemeli kalıplama teknolojisi montajla üretime göre; kalıp içi montaj özelliği sayesinde üretim alanında daha az alan, çevrimde daha kısa süre sağlanabilir [4].



Şekil 3.1. Montajla üretilen çok komponentli ürünler [4]



Şekil 3.2. Çoklu renk seçeneği sağlayan ürünlerden araba farı [5]



Şekil 3.3. Ürün tasarımında çift komponentli ürün kombinasyonu ile tutuşta konfor sağlanması[5]



Şekil 3.4. Geleneksel tek komponent ve çift komponent kalıplama ile üretilmiş iki klips örneği [5]

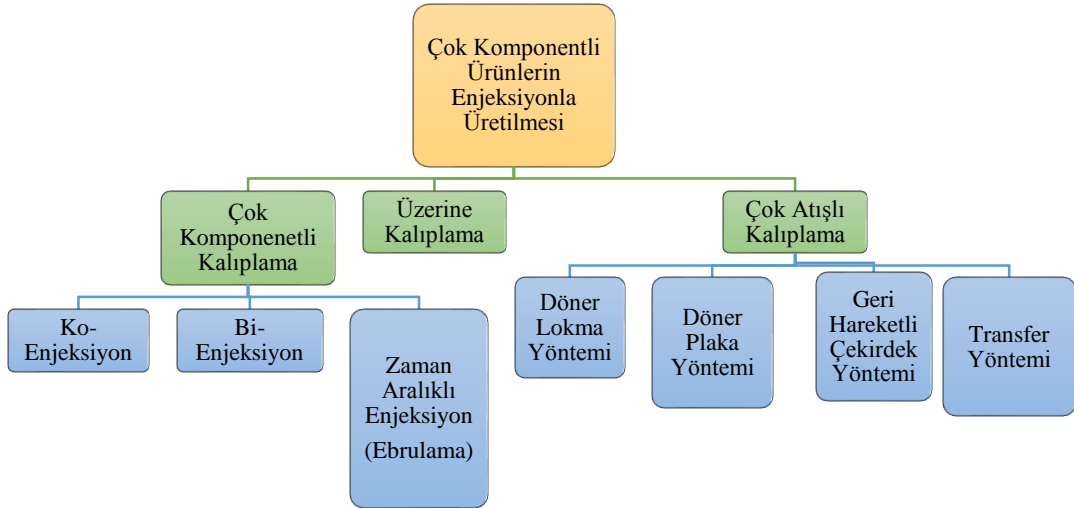
Şekil 3.2., Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de çok komponentli kalıplama ile üretilmiş ürünler verilmiştir. Günümüzde, geleneksel tek malzemeli enjeksiyon kalıplama yöntemini kullanan neredeyse her endüstri (örneğin otomotiv, elektrikli ev aletleri, elektronik aletler) çok malzemeli kalıplama işlemlerini kullanmaya başlamaktadır [5].

3.2. Çok Komponentli Ürünlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretilmesi

Enjeksiyonla kalıplama üretim yöntemi birçok uygulama için oldukça idealdir. Çünkü çeşitli polimer malzemelere uygun, karmaşık geometriler de dahil geniş bir kalıplama kabiliyetine sahiptir. Enjeksiyon makinesi seçimi, proses parametrelerinin kolayca

değişimi sebebiyle son derece kontrol edilebilir olduğu için tercih sebebidir. Ek olarak, enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalar çok düşük bir çevrim süresine sahiptir. Bu gibi avantajlar çok komponentli ürünlerin, oda sıcaklığında uzun sürede döküme benzer bir şekilde veya ayrı parçalar halinde üretilip sonradan montajla bir araya getirilmesi yöntemlerini rafa kaldırmıştır.

Temel olarak, üç farklı tipte çok komponentli enjeksiyon kalıplama işlemi vardır. Şekil 3.5.'de sınıflandırılan çok komponentli ürünlerin enjeksiyon ile üretim yöntemleri tek bir çevrim süresinde ve genellikle tek kalıpta birden fazla komponent içeren ürünlerin üretilmesini sağlar.



Şekil 3.5. Çok komponentli enjeksiyonun sınıflandırılması [6]

Tablodaki ilk yöntem çok komponentli kalıplama, çok bileşenli ürünleri enjeksiyonla kalıplamanın en basit ve yaygın şeklidir. Tek bir kalıp boşluğunda, aynı veya farklı kapı konumlarından iki çeşit malzemenin, aynı anda (veya sıralı) enjeksiyonunu içerir. Çok atışlı kalıplama, Şekil 3.5.'de verilen diğer üretim yöntemlerine göre en karmaşık üretim yöntemidir. Kalıp boşluğunun belirli bir sırayla birden fazla malzemeyle doldurulmasını sağlar. Bu sıralı doldurmanın her birine atış denilir ve ismini buradan alır. Üzerine kalıplama, önceden hazırlanmış bir parça etrafında bir polimerin kalıplanması kapsar [6].

Polimerlerin çok komponentli kalıplama işleminde birleştirilmesinin altında yatan esas neden; işleme, taşıma ve montaj adımlarını veya birleştirme proseslerini azaltarak maliyetten tasarruf etmektir. Çoğu uygulamada, bileşenler arasında iyi bir bağlanma derecesi istenir. Bunun tersi olarak hareketli elemanların kalıplama aşamasında aralarında iyi bağlanma olmayan uyumsuz malzemeler seçilerek birleştirilmesi, gerekli montaj sayısının azaltılmasını sağlar [7].

3.2.1. Çok komponentli kalıplama

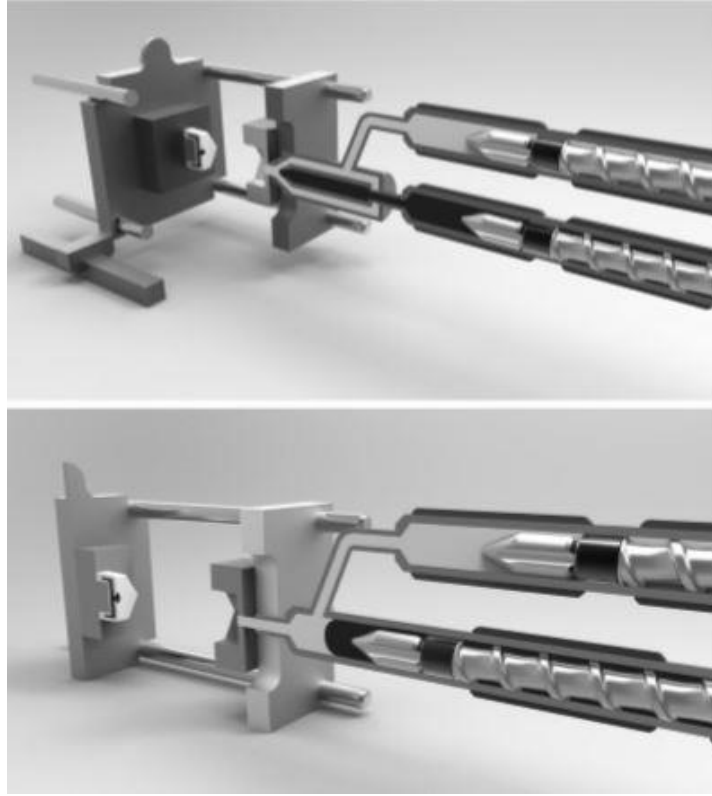
3.2.1.1. Ko-enjeksiyon kalıplama

1970’li yılların başlarından beri kullanılan bu çoklu enjeksiyon yöntemi sandviç kalıplama olarak da bilinir. Bu yöntem; parçanın dış katmanını ve merkezi bölümünü oluşturmak üzere yapılan iki ayrı enjeksiyon işlemi kapsar. Ko-enjeksiyonlu bir kalıbın sandviç yapısının kesiti Şekil 3.6.’daki gibi temsili olarak gösterilebilir. Ko-enjeksiyonla kalıplamada iki uyumlu polimer eriyik kalıbın içine sırayla veya aynı anda enjekte edilir, böylece Şekil 3.6.’daki gibi sandviç denilen katmanlı bir yapı oluşturur. İlk enjekte edilen polimer yüzeyi, daha sonra enjekte edilen polimer ise çekirdeği oluşturur [6].



Şekil 3.6. Ko-enjeksiyon ile üretilen bir ürünün temsili sandviç yapısı kesiti [8]

Farklı özelliklere sahip iki polimerin kullanılması da geleneksel enjeksiyonlu kalıplamada mümkün olmayacak eşsiz özellik kombinasyonları elde etmeyi mümkün kılar. Bu yöntemle azaltılmış ürün ağırlığı ve ses yalıtımı için köpük yapıda bir çekirdek, daha iyi fiziksel özellikler için cam dolgulu göbekler, maliyet tasarrufu için düşük maliyetli çekirdek uygulamaları yapılır [8].

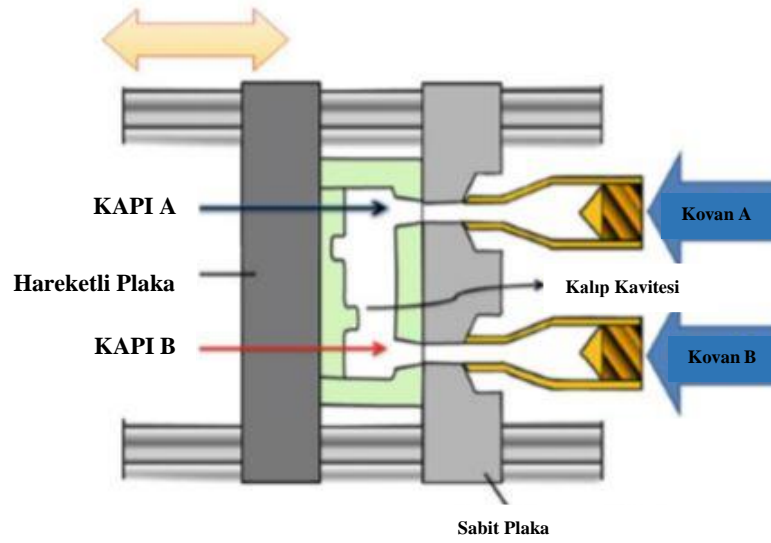


Şekil 3.7. Ko enjeksiyon prosesi [7]

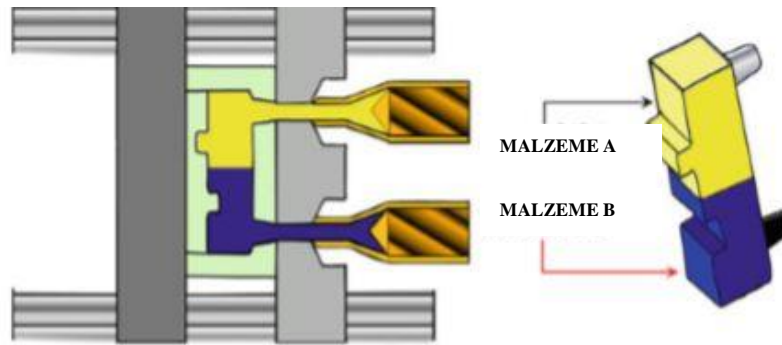
3.2.1.2. Bi-enjeksiyon

Bi-enjeksiyonlu kalıplama; aynı kalıp boşluğuna, farklı kapılardan, aynı anda iki farklı polimerin enjekte edildiği bir işlemdir. Farklı kapılardan enjekte edilen polimerler kalıp boşluğuna girdiklerinde, ortak bir ara yüz boyunca toplanırlar ve çapraz polimerize olurlar. Bi-enjeksiyonlu kalıplama çok komponentli ürünlerin enjeksiyonla üretilmesinde kullanılan en basit yöntemdir ve sadece basit, düşük toleranslı parçalar üretmek için kullanılır.

Ara yüzler genellikle basit düzlemsel yüzeylerdir. Şekil 3.8. Bi-enjeksiyonlu kalıplama makinesini ve Şekil 3.9. bu yöntemle üretilmiş bir ürünü şematik olarak göstermektedir [8].



Şekil 3.8. Bi-enjeksiyon makinası temsili [8]

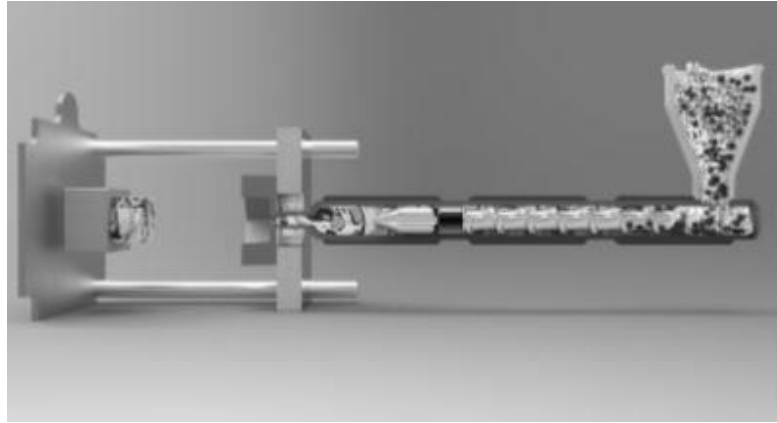


Şekil 3.9. Bi-enjeksiyonla üretilmiş ürün [8]

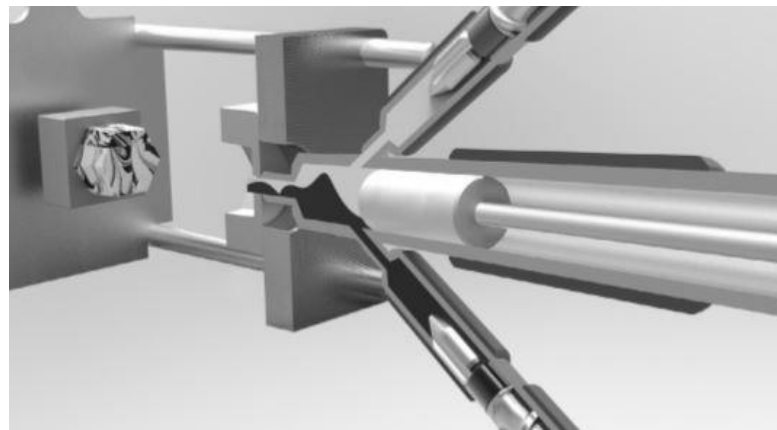
3.2.1.3. Zaman aralıklı enjeksiyon (Ebrulama)

Zaman aralıklı enjeksiyon kalıplama parçada Şekil 3.12.'de gösterildiği gibi ebru tipi görsel özellikler üretir. Bu yöntem genellikle aynı tipte, çeşitli renkli malzemelerin kalıplanmasından oluşur. İki plastik bileşen, zaman aralıklı enjeksiyonlu kalıplama yönteminde kalıp boşluğuna dönüşümlü olarak enjekte edilir. Parçadaki renklenme; döngünün sırası, kalıplanacak parçanın tasarımı, polimer ocağının konumu ve kalıplamada kullanılacak malzemelerin akış özellikleri ile sağlanır [8].

Şekil 3.10.'da gösterildiği gibi besleme hunisinde karışım sağlanarak enjekte edilebilir, Şekil 3.11.'deki gibi bir pistonun yüklenmesi sayesinde de üretim gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.10. Hammadde besleme tekniği ile zaman aralıklı enjeksiyon prosesi [7]



Şekil 3.11. Piston yüklenmesi tekniği ile çalışan zaman aralıklı enjeksiyon prosesi [7]



Şekil 3.12. Zaman aralıklı enjeksiyon ile üretilmiş ürünler [8]

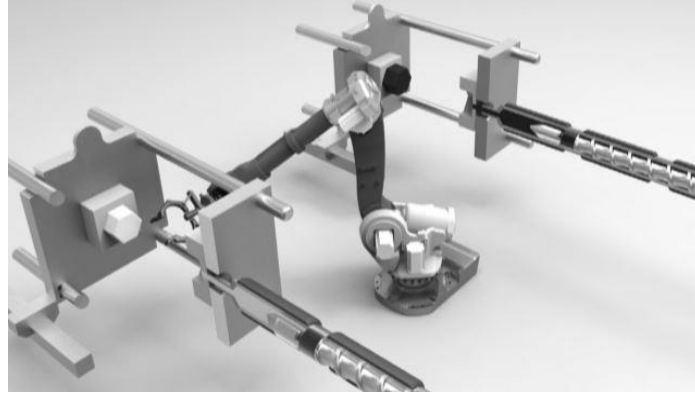
3.2.2. Çok atışlı kalıplama

Çok atışlı enjeksiyon kalıplama, çok katmanlı enjeksiyon işlemlerinin en karmaşık ve çok yönlü yöntemidir. Bu başlık altında incelenen yöntemler iki veya daha fazla plastiği tek bir katı bileşen halinde birleştirir. İlk istasyonda plastik enjekte edildikten sonra, kalıp açılır. Buraya kadar süreçler tek komponentli kalıplama gibidir. Fark bu aşamadan sonra başlar. Kullanılan tekniğe göre ilk komponent ikinci istasyona, enjeksiyon atışı için taşınır. İkinci enjeksiyon tamamlanıp kalıp açıldığında bitmiş parçalar kalıptan alınır. Boşalan kalıp boşlukları bir sonraki parçanın ilk enjeksiyonu için hazır olur [8].

Çok atışlı kalıplamada ilk enjeksiyon istasyonundan, ikinci enjeksiyon istasyonuna parçanın hangi yöntem kullanılarak hareket ettirildiğini kullanılan teknoloji belirler.

3.2.2.1. Transfer kalıplama

Transfer kalıplama yönteminde, ilk komponentin enjekte edilmesinin ardından ikinci komponent için parçanın diğer kalıba transfer işlemi Şekil 3.13.'deki gibi bir robot tarafından gerçekleştirilir. Robot, ön şekillenmiş ürünü yeni bir kalıp boşluğuna veya farklı bir kalıplama makinesine aktarır. Bu yöntem en esnek çok komponentli kalıplama yöntemidir. Bir enjeksiyon makinesinden diğerine transfer, iki bileşenin termal olarak ayrılmasının basit bir yolu olduğundan, termoplastik ve kauçuk kombinasyonlu parçalar için yaygındır [8].

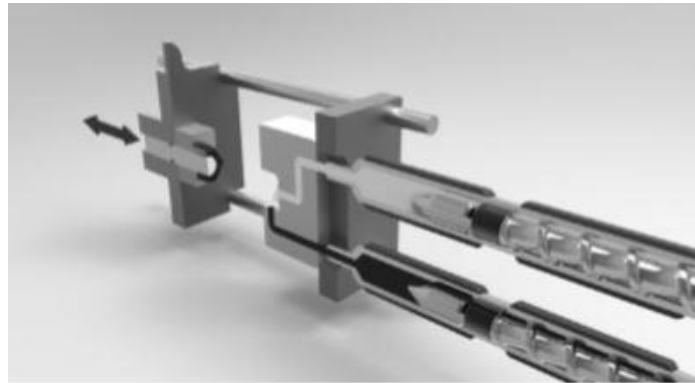


Şekil 3.13. Robotla transfer yöntemi [7]

3.2.2.2. Geri hareketli çekirdek yöntemi

Bu yöntemde ikinci bileşen için ilk enjeksiyonda kalıpta yer açma görevini, kalıp boşluğunda belirli hacim tutan çekirdek eklenti sağlar. Maliyeti diğer yöntemlere göre düşüktür [7].

Şekil 3.14.'de gösterildiği gibi ilk enjeksiyondan sonra çekirdekte ikinci komponent için gerekli hacmin kalıp boşluğunda açılması çekirdeğin geri yönlü hareketi ile mümkündür.

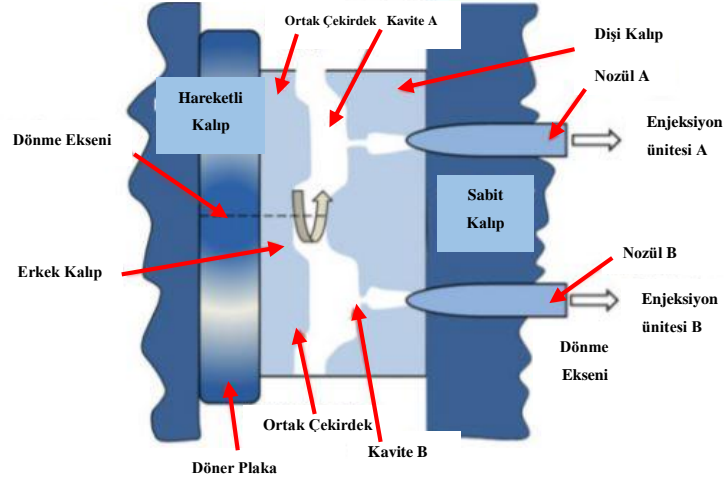


Şekil 3.14. Geri çekirdek yöntemi [7]

3.2.2.3. Döner plaka yöntemi

Döner plaka adlı çok atışlı kalıplama yöntemi, çok atışlı kalıplama türünün en basit ve en yaygın kullanılan versiyonudur. Temel mantık, kalıbın hareketli ve sabit yarılarına,

gerekli enjeksiyon atışı sayısı kadar kalıp boşluğu geometrisi açılmasıdır [8].



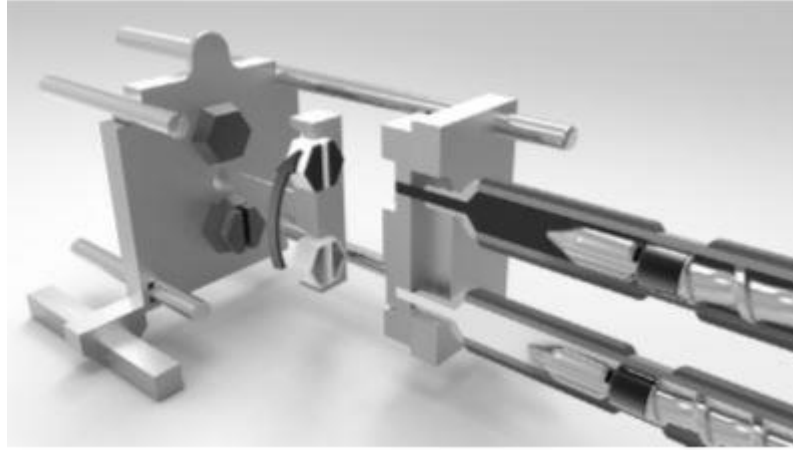
Şekil 3.15. Döner plaka yöntemi [8]

Döner plakanın diğer çok komponentli enjeksiyon yöntemlerinden ayrıldığı nokta hareketli plakanın dönerek ikinci istasyona kalıplanmış ürünleri aktarmasıdır. Şekil 3.15.'de gösterildiği gibi dönme eksenine simetrik yerleştirilmiş iki aynı çekirdek, sabit plakaya açılmış iki farklı kavite boşluğu ile aynı hizadadır. Döner plaka kısmen tamamlanmış bileşenin yeniden konumlandırılmasını, ilk istasyondan ikinciye komponent sayısına göre belirlenmiş açılarda döndürerek gerçekleştirir.

İlk istasyonda kalıplanmış bileşen, ikinci istasyona geldiğinde kalıbın bir parçası gibi davranır. Bu bileşene ön şekillenmiş parça da denir. İkinci istasyonda yapılan enjeksiyon ile nihai ürün elde edilir [8].

3.2.2.4. Döner lokma yöntemi

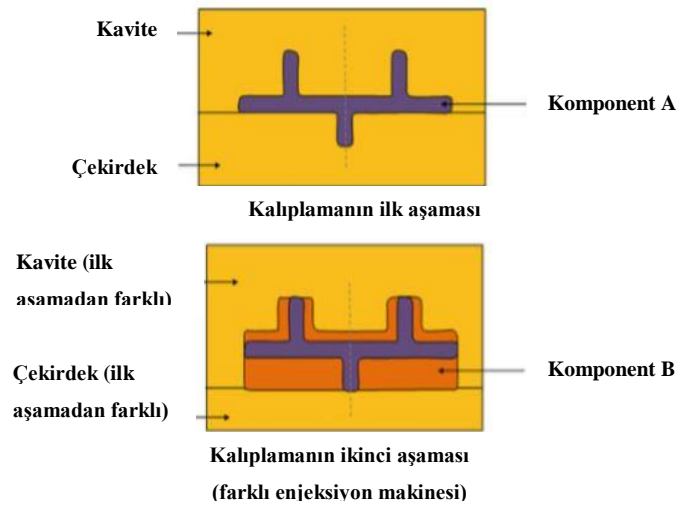
İndeks plaka kalıpları olarak da bilinen bu yöntemde, iki kalıp yarısı arasında Şekil 3.16.'daki gibi merkezi bir eksen etrafında dönen ek bir üçüncü plaka yerleştirilir. Dönme hareketinin tahriki, bir hidrolik motor veya birkaç yüz milimetrelik bir alana yerleştirilmiş olan servo motor ile sağlanır [9].



Şekil 3.16. Döner lokma yöntemi [7]

3.2.3. Üzerine kalıplama

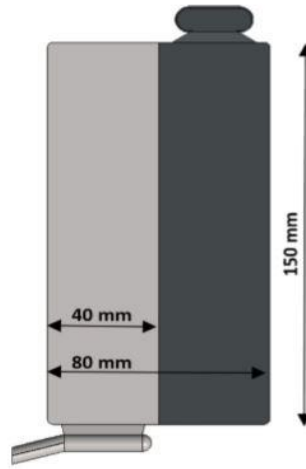
Üzerine enjeksiyonlu kalıplama, çok komponentli bir bileşen üretmek için çoklu kalıpları kullanan bir yöntemdir. İlk malzeme standart tek komponentli kalıplama teknikleriyle bir kalıba enjekte edilir. Daha sonra ön şekillenmiş parça ikinci malzeme ile birleştirilmesi için enjekte edilebileceği farklı bir kalıba taşınır. Bu şematik olarak Şekil 3.17.'de gösterilmiştir [8].



Şekil 3.17. Üzerine kalıplama [8]

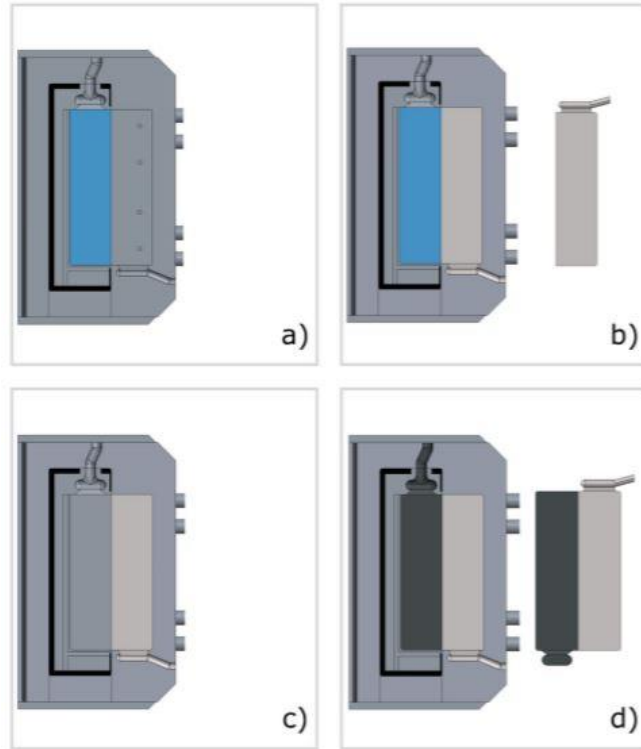
3.3. Çok Komponentli Kalıplama Çalışmaları ve Araştırmaları

Gert-Jan ve arkadaşları 2017 yılında yayınladıkları çalışmada termoplastik malzemelerin termoset kauçukla birleştirilmesi için iki komponentli bir enjeksiyon kalıplama işlemi önermiştir. Kauçukların vulkanize olması için ısıtılmış bir kalıp (160–200 °C) gerekli olduğundan, termoplastik polimerin ise katılaşması için nispeten soğuk bir kalıba (20–100 °C) ihtiyaç duyulduğundan, teknolojik zorluklar ortaya çıkmaktadır. Çalışmada kullanılan kalıplanacak parça Şekil 3.18.'de verilmiştir [10].



Şekil 3.18. Çalışmada üretilen parça[10]

Gert-Jan ve arkadaşlarının çalışma için tasarladıkları kalıp, termal olarak ayrılmış kalıp boşlukları içermektedir. Kalıbın çalışma sistemi Şekil 3.19.'da gösterildiği gibidir, ikinci komponentin enjekte edilmesi için ilk enjeksiyonda metal plakadan yardım alınmıştır [10].



Şekil 3.19. a) Metal plakanın ilk enjeksiyonda ikinci komponent için kaviteye eklenmesi b) İlk komponentin basılması c) Metal plaka çıkarılması ve ilk ürünün tekrar kalıba yerleştirilmesi d) İkinci komponentin uygulanması ve nihai ürün elde edilmesi [10]

Şekil 3.20.'de gösterildiği gibi termoplastik ve kauçuk malzemenin birbirini takip ettiği sekanslarda parça basımları yapılmıştır. Çalışma sonucunda optimum sırada önce termoplastik, ardından kauçuğun enjekte edilmesi gerektiği ve kauçuğun vulkanizasyonu sırasında ara yüzdeki kalıp sıcaklığının kritik bir işlem parametresi olduğu tespit edildi. Ara yüzdeki çok düşük kalıp sıcaklıkları uzun vulkanizasyon süreleri ve zayıf adhezyon ile sonuçlanırken, ara yüzde daha yüksek sıcaklıklar hem vulkanizasyon süresini azaltacağı hem de adhezyon kuvvetini arttıracığı sonucuna ulaşılmıştır [10].



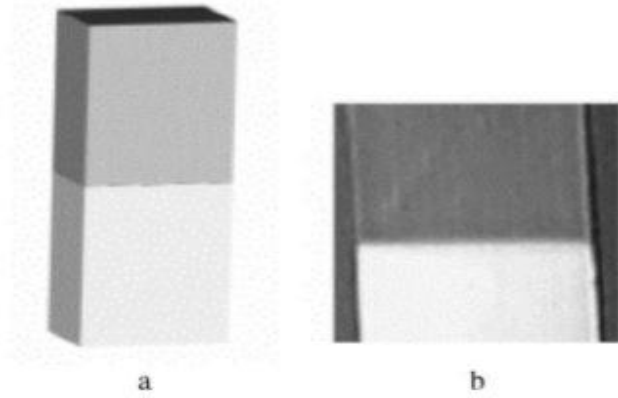
Şekil 3.20. Enjeksiyon deneme sonuçları a) Kauçuğun ilk olarak enjekte edildiği, ikinci olarak termoplastik enjeksiyonu ile oluşan ürün b) Termoplastiğin ilk olarak enjekte edildiği, ikinci olarak kauçuk enjeksiyonu ile oluşan ürün [10]

Gert-Jan ve arkadaşları çalışmasında iki bileşenli enjeksiyonla kalıplama işleminin uygulanabilirliğini termoset kauçuğu, termoplastikle birleştirerek göstermiştir. Ürünün bir kaviteden diğerine aktarılması için bir robot veya indeks plakası kullanarak üretilebileceği ortaya konulmuştur. Maliyetleri mümkün olduğunca düşük tutmak için de bu sürecin üzerine kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilebileceği ön görülmüştür [10].

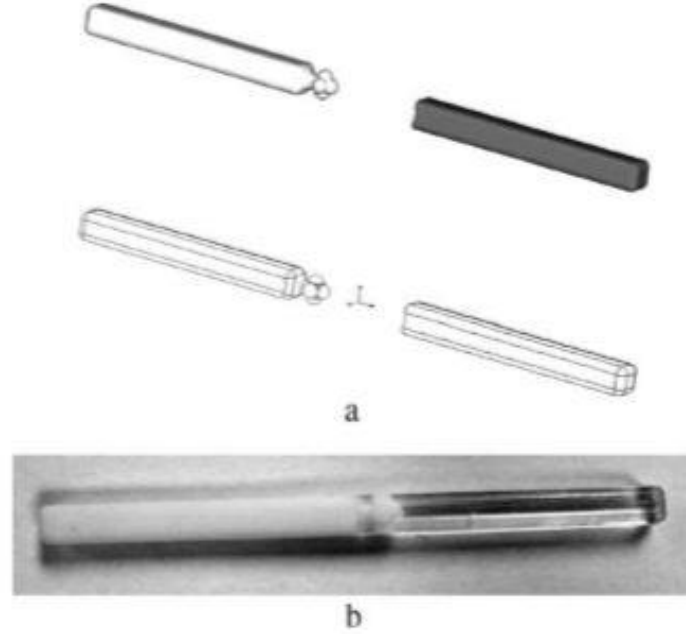
Gouker ve arkadaşları 2006 yılında yayınladıkları çalışmada bir üründe montaj maliyetlerinin üretim maliyetlerinin %40'ı ile %50'si arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Çok komponentli kalıplama teknolojisini kullanarak bu masrafların düşürülmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Mafsallı bağlantılarda ana malzemeye, kimyasal ve geometrik olarak uyum sağlayan bir malzeme kullanılarak, uyumlu mekanizma adı verilen parçalar kullanılabilirliği belirtilmiştir. Bu parçaların çok komponentli kalıplama yöntemiyle üretilebilirliği üzerine çalışma hazırlamışlardır. Uyumlu bir mekanizma, istenen kuvveti veya yer değiştirmeyi üretmek için elastik olarak deforme olan esnek bir yapıya sahiptir. Uyumlu mekanizmalar temel olarak stratejik konumlara eklenmiş uyumlu veya yumuşak malzemeler içeren katı nesnelere veya özelliklerden oluşur [11].

Çok komponentli uyumlu mekanizmalar birçok yeni tasarım olanağı sunar. Araştırmacılar bu tür mekanizmaları üretmenin uygun ve pratik bir yolu olarak çok

malzemeli kalıplamayı önermiştir. Gouker ve arkadaşları yayınladıkları çalışma ile çok komponentli kalıplama teknolojisine genel bir bakış sunar ve çok malzemeli uyumlu mekanizmalarda bulunan farklı tipte uyumlu birleştirmeler oluşturmak için uygulanabilir kalıp tasarımlarını açıklar. Ayrıca uyumlu mekanizmaları kalıplama yoluyla başarılı bir şekilde oluşturmak için temel kuralları da açıklar. Son olarak, yayınlanan çalışmada uyumlu mekanizmalar oluşturmak için pratik çok malzemeli kalıplama uygulamaları gösterilmiştir. Çok komponentli kalıplamada göz önünde bulundurulması gereken bazı parametreler işlenmiştir. Bunlardan bir tanesi ara yüzdeki adhezyon kuvvetidir. İki malzeme arasındaki adhezyonun, karmaşık olduğu ve nihai olarak ortaya çıkan ara yüz kalitesinin ve doğasının tahmin edilmesinin zor olacağı savunulmuştur. Çalışmada 3 çeşit ara yüz modeli incelenmiştir. Bunlardan ilki uyumlu malzemeler arasında birleşme yüzeyi boyunca moleküller arası bağlanma (çapraz polimerizasyon) sonucunda oluşan kimyasal ara yüzlerdir. İkinci arayüz çeşidi birbirine uyumsuz iki malzemenin (örneğin, polistiren ve polipropilen) birbirine kenetlenmesiyle oluşturulan mekanik ara yüzlerdir. Birbirine geçen ara yüzler, malzemeler arasındaki nispi hareketi (serbestlik derecelerini) seçici bir şekilde kontrol etmek için kullanılabilir [11].



Şekil 3.21. Kimyasal ara yüzli çok komponentli ürünün a)cad modeli b)kalıplanmış hali [11]



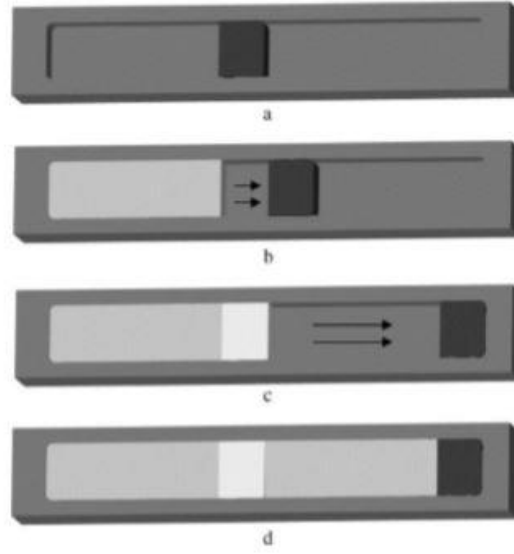
Şekil 3.22. Mekanik ara yüzeye sahip çubuğun a)cad modeli b)kalıplanmış hali [11]

Şekil 3.21. ve Şekil 3.22.'de kimyasal ara yüze sahip ürüne ve iki malzeme arasında herhangi bir nispi harekete izin vermeyen mekanik ara yüze sahip bir çubuğa yer verilmiştir. Çalışmada son tanımlanan ara yüzey tanıtılan her iki ara yüzün de yer aldığı kombinasyon ara yüzüdür. Kombinasyon ara yüz; bileşenlerin hem kimyasal bağlanma, hem de birbirine kenetlenme özelliği gösterdiği kombine bir ara yüzün oluşturulmasına dayanır. Şekil 3.21.'de görülen düz kimyasal ara yüz numunesi ve Şekil 3.22.'de görülen mekanik kilitleme ara yüzü üzerinde bir dizi gerilim testi uygulanmıştır. Test numunesinde kullanılan malzemeler sert bir malzeme olan IE-70DC ve yumuşak bir malzeme olan IE-90A'dır. Bu testlerden elde edilen tipik yük-yer değiştirme eğrileri de elde edilmiştir. Bu testlerden ara yüz boyunca kimyasal bağlanma olmadığında, sadece mekanik ara yüzün, kimyasal bağlanma ile karşılanacak olan seviyenin % 50'sine kadar dayanım yükü taşıyabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, kimyasal olarak uyumlu malzemelerle tasarım yaparken, her iki ara yüz de uygundur. Malzemeler uyumlu olmadığında da sadece mekanik ara yüz kullanılabilir sonuçlarına ulaşılmıştır. Çok komponentli kalıplamada anahtar parametre, bir ara yüzdeki çapraz polimerizasyon derecesini etkileyen kalıplama aşamaları arasındaki soğutma süresidir. Çapraz polimerizasyonun gerçekleşmesi için ikinci enjeksiyon aşamasının, malzemenin birinci kalıp aşamasında tamamen

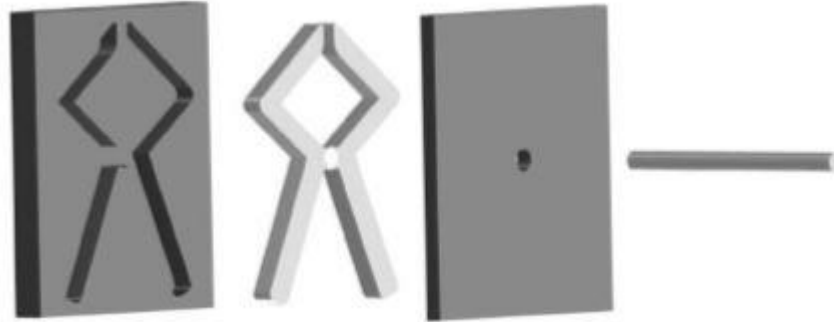
sertleşmeden önce gerçekleşmesi gereklidir. Bununla birlikte, birinci kalıp aşamasından ikinci enjeksiyon istasyonuna gelen malzeme, kalıptan çıkarılabilecek kadar da soğutulmalıdır. Araştırmacılar bir, iki ve üç serbestlik derecelerine sahip mafsallı yapıların hangi yöntemle kalıplanabileceğini tartışmış ve ara yüze göre değişiklik göstereceğine karar vermiştir. Düz, silindirik ve kompleks ara yüz durumlarına göre kalıplama yöntemlerinin tablosu yapılmıştır [11].

Son olarak Gouker ve arkadaşları montajlanmış bazı ürünler seçerek, bunları uyumlu mekanizmalar haline getirerek kalıplamışlardır. İlk örnek olarak Şekil 3.4.'de verilen geleneksel yöntemlerle bir klips olmuştur. Bu geleneksel yöntemlerle üretilmiş klips Şekil 3.4.'de bir serbestlik dereceli dönme hareketi yapan, yumuşak malzemenin küçük bir silindir şeklini aldığı ve sert malzemeyle çevrili olduğu, silindirik bir ara yüz içeren uyumlu tasarımlı hali verilmiştir [11].

Klipsin uyumlu malzemelerle yeniden tasarlanmış halinin Şekil 3.23.'de verilen kayan çekirdek adlı yöntemle üretilmesi uygun görüldü. Ürün için tasarlanan kalıp Şekil 3.24.'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Kayar çekirdek kalıplama yöntemi a) İlk aşama için çekirdek pozisyonu. b) Kalıplanmış kısım ve ikinci komponent için kalıpta yer açılması. c) İkinci enjeksiyondan çıkan kalıplanmış parça ve üçüncü enjeksiyon için çekirdekte yeniden konumlanma. d) Nihai



Şekil 3.24. Ürün için tasarlanan kalıp [11]

Araştırmacılar klips örneğinden sonra bir montajlanmış ürünün daha aynı şekilde çok komponentli kalıplama ile üretilebileceğini ortaya koymuştur ve çalışmayı şu şekilde sonuçlandırmışlardır: İncelenen örneklerde açıkça; uyumlu bağlantıların, üründe parça sayısını azaltmak ve montaj işlemlerini ortadan kaldırmak için kullanılabilirliğini görülmektedir. Klips örneğinde parça sayısı % 66,6, çalışmada incelenen diğer rotor düzeneğinde parça sayısı % 85,7 azaltılmıştır. Bu imalat avantajları ile birlikte, karmaşık yapılar oluşturmak için çok komponentli uyumlu mekanizmalar kullanılabilir. Çok komponentli uyumlu mekanizmalar oluşturmak için birkaç farklı

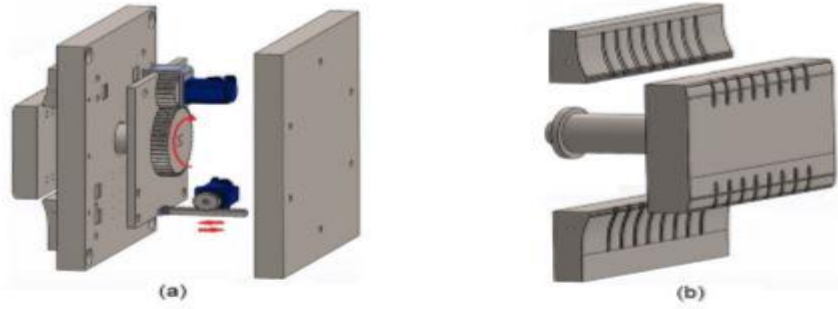
yöntem varken; çok komponentli kalıplama yöntemi, geleneksel kalıplama teknolojilerine uyarlanabilirliği nedeniyle üstündür [11].

Kullanılan bütün çok komponentli kalıplama işlemlerinin, ekipmanla ilgili ek maliyetlere ilave olarak kendi avantajları, dezavantajları ve sınırlamaları olduğunu bilmek önemlidir. Ürün kalitesini ve karı en üst düzeye çıkarmak için, belirli bir uygulamaya yönelik doğru işlem ve malzeme kombinasyonlarını seçmek önemlidir [11].

Banerjee ve ark. 2007 yılında yayınladıkları çalışmada günümüzde kalıplanmış çok komponentli ürünlerin nasıl tasarlandığını açıklayan çok sınırlı düzeye literatür mevcut olduğu gerekçesiyle çok komponentli kalıplama işlemlerine özgü potansiyel üretilebilirlik sorunlarını ve bu sorunlardan kaçınmak için tasarım kurallarını sistematik olarak tanımlamaya yönelik bir çalışma hazırlamışlardır. Ayrıca hem geleneksel tek komponentli kalıplama kurallarını, hem de çok komponentli kalıplama için belirlenmiş olan belirli kuralları içeren kapsamlı bir üretilebilirlik analizi yaklaşımı sunmuşlardır. Geleneksel enjeksiyon kalıplamada ortaya çıkmayan, çok malzemeli kalıplamaya özgü olan beş çeşit üretilebilirlik problemini tanımlanmıştır: Bunlar kalıplama sekanslarının uygulanabilirliği, kalıp açma ve kapama sırasında istenmeyen sürtünme, bitmiş yüzeylerde istenmeyen malzeme çapağı, aşırı ara yüz deformasyonu ve kalıplanmış plastik bileşenin ısı yalıtım etkisidir. İki bileşenin kalıplanabilmesinde en önemli kriterin, ilk bileşenin erime noktasının ikinci bileşenden daha yüksek olması gerektiği ifade edilmiştir [12].

Kaptı ve ark. 2018 yılında yayınladıkları bildiride örnek bir ürün üzerinde çok komponentli kalıp tasarımı yapmıştır. Proses parametrelerinin örnek ürün üzerinde analizini gerçekleştirmişlerdir. Bir diş fırçası örnek ürün olarak seçilmiştir. Örnek ürüne ait iki bileşenli, sekiz gözlü ve döner çekirdek lokmalı (180°-2C-2x8) bir kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıplanacak malzemeler olarak birbiriyle bağ yapma özelliği iyi olan polipropilen (PP) ve stiren bazlı termoplastik elastomer (TPE-S) seçilmiştir. İlk enjeksiyon istasyonundan, ikinci enjeksiyon istasyonuna ön şekillendirilmiş parçanın iletilmesi Şekil 3.25.'deki döner lokma sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Kalıba ait sıcak

yolluk, soğutma sistemi, elektromekanik tahrikli döner çekirdek lokma hareket sistemi, itici sistemi tasarımları yapılmıştır. Akış analizi sonucunda dolun zamanı, dolun kolaylığı, dolun ve soğuma sonundaki sıcaklıklar, çöküntü, hava sıkışması ve soğuk birleşme izleri oluşumuna yönelik analiz çalışmaları yapılmıştır. Bunun sonucunda kalıp tasarımı tekrar gözden geçirilmiştir [13].



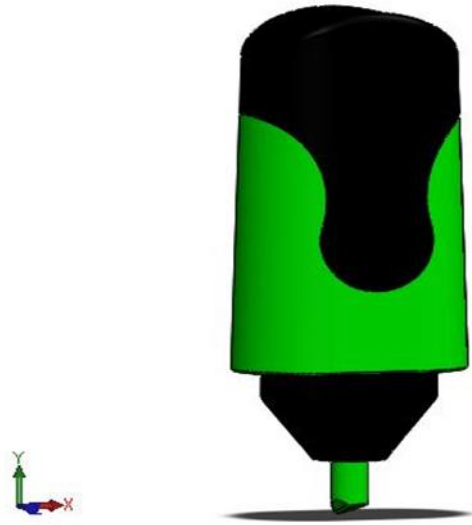
Şekil 3.25. Döner lokma sisteminin çalışma prensibi: (a) İleri-geri ve dönme hareketi mekanizmaları; (b) Dönebilen çekirdek plakası [13]

BÖLÜM 4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÇOK KOMPONENTLİ KALIP TASARIMI

Belirlenen ürünün kalıp tasarımıyla ilgili detayları ve bilgisayar destekli modeli bu başlık altında ele alındı. Modelleme yapılırken Solidworks programından faydalanıldı.

4.1. Parça Tanımı

Kalıplanacak örnek ürün olarak Şekil 4.1.'de verilen işaretleme kalemi seçildi. Ürün gövdesine, kolay elde tutma ve daha rahat kavrama amaçlı daha yumuşak ikinci bir malzeme enjekte edildi.



Şekil 4.1. İşaretleme kalemi CAD modeli

4.2. Malzeme seçimi

İlk istasyonda kalıp boşluğuna enjekte edilip ürünün ana iskeletini oluşturacak polimer olarak Polipropilen (PP) seçildi. PP Dünya genelinde en yaygın kullanılan ikinci

plastik hammaddedir. Maliyetinin düşüklüğü, diğer plastiklere göre yüksek mukavemeti, kolay kalıba girmesi, kimyasallara karşı çözücülüğü ve yağlara karşı dayanıklılığı, neme ve ısıya karşı bozulma hızının düşüklüğü tercih edilme sebepleri içinde sıralanabilir. Günlük hayatta oyuncaklarda, ev eşyalarında, sandalyelerde, aletlerin tutamaklarında, şişe kasalarında, otomobil parçalarında karşımıza çıkar [14].

Bex ve arkadaşlarının çalışmasında yer verilen enjeksiyon sekansı denemelerinden çalışmanın bu bölümü için faydalanıldı [10]. Tasarımdaki termoplastik malzeme polipropilenin (PP), ikinci komponent olarak kullanılacak stiren bazlı termoplastik elastomer (TPE-S) malzemedен önce kalıplanmasına karar verildi. Bu seçim yapılırken dikkat edilen en önemli parametre PP ile TPE-S'nin bağ yapma derecesidir. İlk seçilen malzeme olan PP'nin Şekil 4.2.'de TPE-S ile bağ yapma derecesinin iyi olduğu sarı renkli işaretleme ile vurgulandı. Gouker ve arkadaşları çalışmalarında çok komponentli ürün üretilmesi esnasında iki komponent arasında oluşan ara yüzü araştırmıştır. Bu malzeme kombinasyonunun seçimi de, çalışmalarında araştırdıkları ara yüz çeşitleri arasından kimyasal ara yüz türüne girmektedir. Parçada ilk istasyonda enjekte edilen PP, ikinci istasyona geldiğinde üzerine enjekte edilen TPE-S ile moleküler düzeyde kurduğu bağlarla kimyasal ara yüz meydana getirecektir [11].

Banerjee ve arkadaşları araştırmalarında iki bileşenin çok komponentli kalıplama ile üretilebilmesinde en önemli noktanın bileşenlerin erime noktaları olduğuna dikkat çekmişti. İlk komponentin erime noktasının, ikinci komponentten daha fazla olması gerektiğine dikkat edilerek, Solidworks'un malzeme arşivinden Tablo 4.1.'deki malzemelerin seçilmesi uygun bulundu. Bu malzeme seçimine göre PP'nin erime noktası 220°C, TPE-S'nin ise 210°C'dır. İki bileşen çok komponentli kalıplama için üretilebilirlik yönünden bir problem içermemektedir [5].

Adhesive properties of hard-soft combinations

	TPE- polyamide- bases	TPE- polyester- elastomers	TPE- polyolefin- bases	TPE- styrene- bases	TPE- thermo- plastic polyurethanes	TPE- adhesion- modified grades
ABS	■	□	■	■	▲	△
ASA		▲			▲	
CA						▲
PA 6	△		■	■	▲	△
PA 6.6	△			■	▲	△
PA-Blend	△		□	□	▲	△
PBT	■	□		□	■	△
PC	■	□	■	□	▲	△
PC/ABS	■	□	■	□	▲	△
PC/PBT	■	□	■	□	▲	△
PC/PET	■	□	■	□	▲	△
PE	■		□	□		▲
PETP	■					▲
PMMA				□	□	▲
POM	■				▲	▲
PP	■	■		▲		▲
PPO	■					▲
PS	■	■	■			△
SAN	■				▲	△

TPE = Thermoplastic elastomer Source: Various raw material suppliers and suppliers of compounds

□ limited bonding
 ■ no bonding
 ▲ good bonding
 △ excellent bonding

• **Limited bonding:** Belirli miktarda etkileşime girer, bağ kurar.
 • **No bonding:** Etkileşime giremez bağ kuramaz.
 • **Good bonding:** İyi etkileşime girebilir iyi bağ kurar.
 • **Excellent bonding:** Çok iyi bir şekilde etkileşime girer ve çok iyi bağ kurar.

Şekil 4.2. Yumuşak ve sert malzeme kombinasyonları [15]

Tablo 4.1. PP ve TPE-S için teknik özellikler [16]

	PP Borealis RF365 MO	TPE-S KRAIBURG TPE GmbH THERMOLAST K TF 3 AAH
Erime Sıcaklığı (°C)	220	210
Kalıp Sıcaklığı (°C)	30	40
Kalıptan çıkma sıcaklığı (°C)	80	130
Camsı geçiş sıcaklığı	120	105
Çekme payı	%2	%2,5
Özgül ısı (J/kg.K°)	1600	3080
Termal iletkenlik (W/m.K°)	0,23	0,198
Elastise modülü (MPa)	1310	10,2
Poisson Oranı	0,44	0,37
Maksimum kesme hızı (1/s)	100 000	40 000
Yoğunluk (g/cm ³)	0,9	1,1

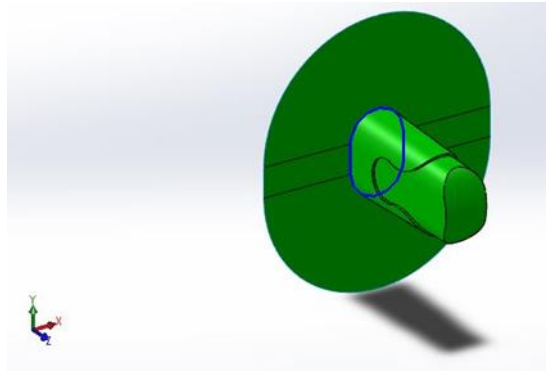
4.3. Kalıp Boşluğu(Cavity-Core) Tasarımı

İlk istasyonda PP malzemesiyle kalıplanacak ürün Şekil 4.3.'de verilmiştir. Kalıp ayırım çizgisi Şekil 4.4.'deki gibi belirlendikten sonra parçaya çekme payı verilerek kalıp gözlerinin oluşturulmasına devam edildi. Sekiz gözlü, tek sıra göz dağılımına sahip olması planlanan kalıp için standart kalıp setlerinin arasından 296-346 mm boyutları seçildi. Üründe ikinci komponentin bir sonraki çevrimde kalıplanmasını sağlayacak olan detay için maça kullanılması gereklidir. Tasarımda ürün

geometrisinde bulunan geniş bir alana yayılmış bu ayrıntıya kalıp boşluğunda yer açılması için bölünmüş kalıp tasarımı yapılması uygun bulundu.



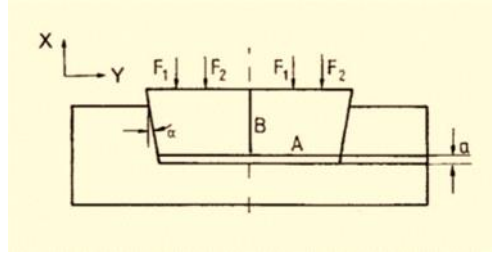
Şekil 4.3. Kalıplacak ilk komponent geometrisi



Şekil 4.4. Kalıp ayırım çizgisi

Bölünmüş kalıp tasarımları parçayı çevreleyip ve iki yarımdan oluşan elemanlar çeneyi andırdığı için maça görevindeki Şekil 4.5.'deki elemanlar çene olarak anılır. Maçalı kalıplarda maça parçada sadece bir ayrıntıyı oluştururken bölünmüş kalıplarda çeneler parçayı çevreler ve kalıp boşluğu gibi davranır [9].

Bu özel enjeksiyon kalıbı tasarımı, parçadaki geniş ayrıntıların kalıptan kolay çıkmasına izin verir ve çok yaygındır. Şekil 4.5.'de bölünmüş kalıbın birbirine dik olan iki ana ayırma hattına sahip olduğu görülmektedir. Birinci ayırma düzlemi A, kapanma yönüne dik olarak kalıp ayırım çizgisinde hizalanır. İkincisi çeneler arasında bulunur ve kapanma yönüne paralel olarak hizalanır [17].



Şekil 4.5. Bölünmüş kalıplarda ayırma yüzeyleri [17]

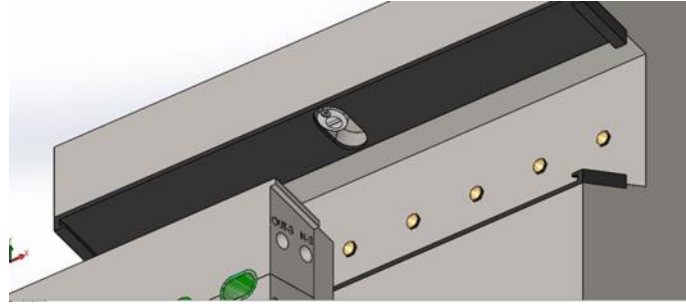
Yapılan tasarımda kalıp çeneleri 18° açı ile çalışmaktadır. Erkek kalıbın hareketi ile çeneler Şekil 4.6.'daki gibi açık haldeyken harekete başlayıp bağlı bulunduğu kızaklarda ilerleyerek Şekil 4.7.'deki gibi kalıbın kapanması sağlanır. Ürün enjeksiyonu ve soğutma tamamlandıktan sonra erkek kalıbın geri hareketi ile kalıp açılır. Bu esnada çeneler ve diş lokma arasında konumlandırılmış Şekil 4.6.'da görülmekte olan yayda kalıp kapanma hareketi ile depolanmış enerji çeneleri iterek ilk konumuna gelmesini sağlar. Çenenin konumundaki bu değişiklik kızak içerisine yerleştirilmiş Şekil 4.8.'de görülen maça tutucu ile sağlanır. Maça tutucu içindeki yay sistemiyle Şekil 4.9.'daki gibi çalışmaktadır. Şekil 4.10.'da maça tutucunun CAD modeli verilmiştir.



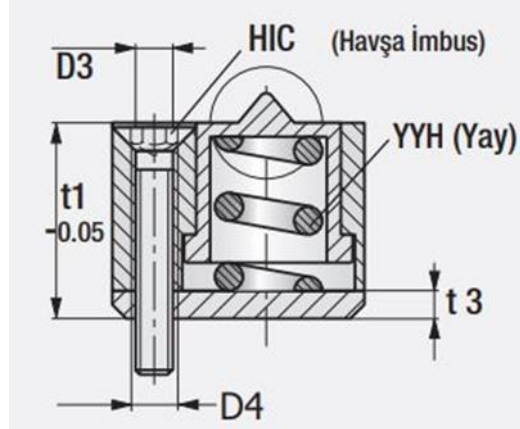
Şekil 4.6. Kalıp çenelerinin açık hali



Şekil 4.7. Kalıp çenelerinin kapalı hali



Şekil 4.8. Maça tutucunun konumu



Şekil 4.9. Maça tutucunun çalışması [18]



Şekil 4.10. Maça tutucu CAD modeli

P20 kalıp çeliği kullanılarak oluşturulan kalıp boşlukları için çeneler 6 mm/s yer değiştirme hareketi yapmaktadır. Bu harekete yardımcı olan yayın, seçimi için gerekçelendirmeler aşağıda verilmiştir:

Ortalama hızın formülü denklem 4.1'de verilmiştir [19].

$$v_{ort} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (4.1)$$

v_{ort} ortalma hız, s yer değiştirme ve t zaman olmak üzere, çenenin 1 saniyede 6 mm yer değiştirdiği harekette ortalama hızı:

$$v_{ort} = \frac{6-0}{1} = 6 \text{ mm/s elde edilir.}$$

4.2 nolu hareket denklemini kullanılarak ortalama ivme hesaplanması yapılır [19].

$$v_{son}^2 = v_0^2 + 2 \cdot a_{ort} \cdot (s - s_0) \quad (4.2)$$

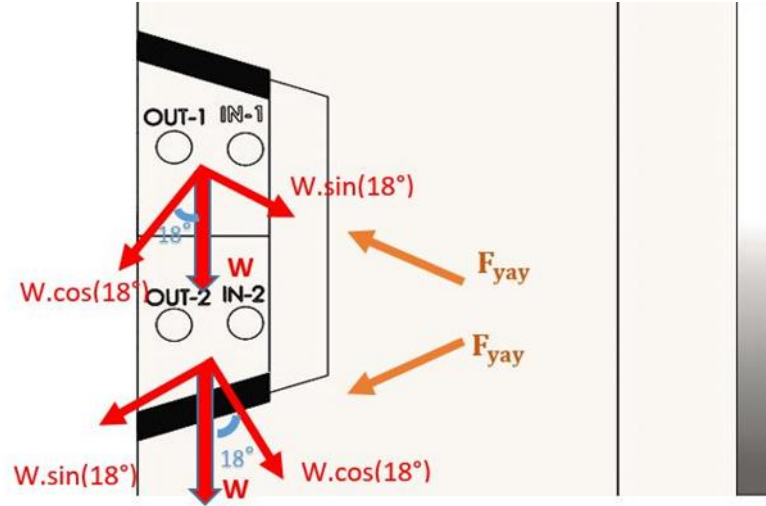
v_{son} ulaşılan son hız, v_0 ilk hız, a_{ort} ortalama ivme, s son konum, s_0 ilk konumu göstermektedir.

Denklem 4.2'ye göre:

$$0,006^2 = 0 + 2 \cdot a_{ort} \cdot (0,006 - 0)$$

$$a_{ort} = 0,003 \text{ m/s}^2 \text{ elde edilir.}$$

Bir adet çeneye ait ağırlık CAD modelinden 2,2 kg elde edildi ve gerekli yay kuvveti hesabına geçildi.



Şekil 4.11. Serbest cisim diyagramı

Şekil 4.11.'de verilen serbest cisim diyagramı kullanılarak, W ağırlığı, m kütleyi, a ivmeyi, μ sürtünme katsayısını, F_y yay olmak üzere üst çene için Denklem 4.3'deki kuvvet dengesi yazılır:

$$F_y = m \cdot a + W \cdot \cos(18^\circ) + W \cdot \sin(18^\circ) \cdot \mu \quad (4.3)$$

$$F_{y1} = 2,20,003 + 2,29,81 \cdot \cos(18^\circ) + 2,29,81 \cdot \sin(18^\circ) \cdot 0,6 = 24,5 \text{ N}$$

$$F_{y2} = 2,20,003 + 2,29,81 \cdot \cos(18^\circ) \cdot 0,6 - 2,29,81 \cdot \sin(18^\circ) = 5,6 \text{ N}$$

Kalıp yayı üreten bir firmanın kataloğundan dış çapı 10 mm, iç çapı 5 mm, yay katsayısı 4,4 N/mm olan yay seçildi [20].

Yay kuvvetinin, yer değiştirme miktarı ve katsayısına bağlı elde edildiği formül Denklem 4.4'de verilmiştir [19].

$$F = k \cdot s \quad (4.4)$$

F kuvveti, k yay katsayısını, s yer değiştirmeyi gösterir.

Bir çeneyi hareket ettirecek 2 yayın toplam bileşke kuvveti:

$$F_{y \text{ toplam}} = 2.4 + 4.6 = 52,8 \text{ N}$$

$F_{y \text{ toplam}} > F_{y1} > F_{y2}$ olduğu için kullanılması uygundur.

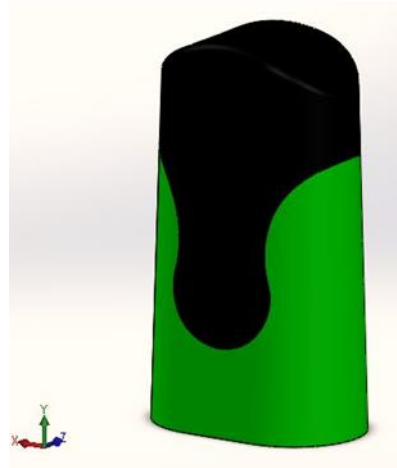
$F_{y \text{ toplam}}$ toplam yay kuvvetini, F_{y1} 1.çene için yay kuvvetini, F_{y2} 2.çene için yay kuvvetini gösterir.

İkinci istasyonda kalıplanacak nihai ürünün CAD modeli Şekil 4.12.'de verildi. İlk komponent ve ikinci komponente ait kütle ve hacim bilgileri Tablo 4.2.'de verildi. Bu değerler tasarımın ilerleyen noktalarında kullanılacaktır.

Tablo 4.2. Bileşenlere ait özellikler

	1. Komponent: PP	2. Komponent: TPE-S
Kütle (g)	2,44	0,796
Hacim(mm ³)	2618	724

Kalıp boşluğu tasarımına ek olarak Şekil 4.13.'deki gibi kalıp gözleri montajla bir araya getirildi ve dişi plakada yerini aldı.



Şekil 4.12. Nihai ürün



Şekil 4.13. Kalıp gözlerinin dişi plakaya montajı

4.4. Soğutma Sistemi Tasarımı

Eriyik haldeki polimer kalıp boşluğuna enjekte edildikten sonra; soğuyup, kalıptan çıkarılabilecek kadar katılaşıncaya kadar, basınç altında kalmasına izin verilir. Plastik parçanın tamamen soğutulmasına gerek yoktur, nihai ürünün plastikte kabul edilemez bir bozulma olmadan atılmasına izin verecek kadar soğutma yeterlidir. Bu soğutma, kalıbı ısıdan uzaklaştıran ve doğru kalıp sıcaklığını koruyan sıcaklık kontrol sistemi ile yapılır [21].

Çok komponentli kalıplama yönteminde soğutma sistemi dizaynı geleneksel kalıplamaya göre farklılık göstermektedir. Gouker ve arkadaşları yayınladıkları çalışmada; ön şekillenmiş parça ve ikinci komponent arasında çapraz polimerizasyonun gerçekleşmesi için ikinci enjeksiyon aşamasının, ön şekillenmiş parça birinci kalıp aşamasında tamamen sertleşmeden önce bitirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, birinci enjeksiyon aşamasından ikinci enjeksiyon istasyonuna gelen malzeme, kalıptan çıkarılabilecek şekilde de sertleştirilmelidir [11]. Bu bilgiler ışığında çalışmada enjeksiyon vidasında eritilip 260°C enjeksiyon sıcaklığına ulaşan PP'nin, Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi kalıptan çıkarılma sıcaklığı

olan 80°C’de kalıptan çıkarılmasına karar verildi. Bu değer camsı geçiş sıcaklığının altında olduğu için parça üzerinde herhangi bir deformasyon yaratacak tehlike barındırmamaktadır. İkinci komponentle çapraz bağ oluşturabilmesi için normal şartlar altında kalıptan atılma sıcaklığı olan 50°C değerinden de yüksektir. Nihai ürünün çıktığı 2.enjeksiyon prosesi için parça çıkış sıcaklığının 50°C alınmasında herhangi bir sakınca yoktur. Sonuçta ilk enjeksiyon ürünü gibi çapraz bağlanma gerekmemektedir.

Plaka orta kesitinin kalıptan çıkış sıcaklığına düşürülmesi için gerekli minimum teorik soğutma süresi [22]:

$$t_s = \frac{h^2}{\alpha \cdot \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \frac{(T_m - T_k)}{(T_e - T_k)} \right] \quad (4.5)$$

t_s soğutma süresi, h parça et kalınlığı, α termal difüzyon katsayısı, T_m polimerin erime sıcaklığı, T_e kalıptan çıkış sıcaklığı, T_k kalıp sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

Termal difüzyon katsayısı α denklem 4.6’da verilmiştir [23].

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (4.6)$$

α termal difüzyon katsayısı, k polimerin ısı iletim katsayısı, ρ yoğunluk, C_p özgül ısıyı göstermektedir.

Polimerin ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısı değerleri Tablo 4.1.’den alınarak:

$$\alpha_{PP} = \frac{0,23}{900 \cdot 1600} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha_{TPE-S} = \frac{0,198}{1100 \cdot 3080} = 5,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

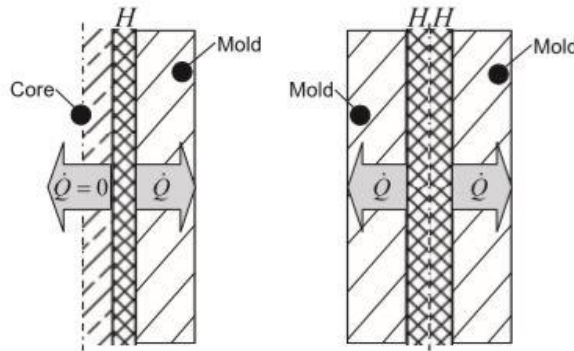
Elde edilen termal difüzyon katsayıları minimum soğutma zamanı denkleminde yerine yazılarak:

$$t_{s\text{ PP}} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-3})^2}{1,597 \cdot 10^{-7} \cdot \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \frac{(220-30)}{(80-30)} \right] = 2,25 \text{ s}$$

$$t_{s\text{ TPE-S}} = \frac{(0,5 \cdot 10^{-3})^2}{5,844 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \frac{(210-40)}{(50-40)} \right] = 1,3 \text{ s}$$

Tasarımda ön şekillendirilmiş parçanın ikinci enjeksiyonun gerçekleşeceği kalıp boşluğuna tekrar konumlandırılması için ÇKK yöntemi olan döner plaka kullanılması planlandı. Bu yöntemde dönen plakalar sebebiyle erkek kalıp tarafına soğutma sıvısı girişi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple kalıpta tek yönlü bir soğutma tasarımı gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan parça çok komponentli bir üretim yöntemiyle değil, geleneksel tek komponentli kalıplama yöntemiyle kalıplanması durumunda bile olsa çekirdek çapı 5 mm'den az olduğu için bubbler, baffle kullanılarak soğutma sistemi tasarlanamazdı.

Kazmer tek yönlü soğutma olması durumunda soğutma kanallarından yapılacak sınırlı ısı transferinden dolayı soğutma süresinin uzayacağını açıklamıştır. En kötü durum senaryosu olarak çekirdeğe ısı geçişi olmadığı varsayılarak kolayca bu durumun analiz edilebileceğinden bahsetmiştir. Bu senaryoda ısı akışı Şekil 4.14.'de gösterilmektedir [23].



Şekil 4.14. Tek taraflı ısı geçişi [23]

Tüm ısının, kalıbın bir tarafından atılması gerektiğinden, termal davranışın esasen plastik eriyiğın iki tabakasının üst üste gelmesiyle aynı olacağını belirtmiştir. Bu da soğutma süresini yaklaşık dört katına çıkaracaktır. Tek taraflı soğutmada yaşandığı gibi yalıtkan bir malzeme olan plastiğın üstüne malzeme kalıplamada da aynı durumun yaşanacağını belirtmiştir [23]. Yani bu çalışmaya uyarlandığında tasarımı yapılacak olan kalıbın her iki gözünde de tek taraflı bir ısı geçişi mevcuttur. Çift et kalınlığı yaklaşımını soğutma süresinde yerine yazarak, çevrimde kullanmak için tekrar bir soğutma süresi elde edildi.

$$t_{s\text{ PP}} = \frac{(2,15 \cdot 10^{-3})^2}{1,597 \cdot 10^{-7} \cdot \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \frac{(220 - 30)}{(80 - 30)} \right] = 9 \text{ s}$$

$$t_{s\text{ TPE-S}} = \frac{(2,05 \cdot 10^{-3})^2}{5,844 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \frac{(210 - 40)}{(50 - 40)} \right] = 5,33 \text{ s}$$

Bu hesaplamada 9 s ile en yüksek soğutma süresine sahip olan PP, soğutma süresini sınırlandırmıştır. Soğutma süresi 9 s alınarak, analiz programından elde edilen diğer değerlerle bir çevrim süresini gösteren Tablo 4.3. oluşturuldu.

Tablo 4.3. Çevrim süresi

PROSES	SÜRE
Enjeksiyon	1 s
Ütuleme	3 s
Soğutma	9 s
Dönme	3 s
Kalıbın ileri-geri hareketi-Parçanın kalıptan atılması	3 s
Toplam çevrim süresi	19 s

Bir çevrim süresinin 19 s olması durumunda 1 saatte 189 çevrim meydana gelir.

Temel ısı geçişi prensibi olan 4.7 numaralı denklemden:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.7)$$

Q ısı, m kütle, C_p özgül ısı olarak verilmiştir. Bu bilgiler ışığında, iki komponentin kalıplanması sonucu saatte kalıptan atılması gereken toplam ısı:

$$Q_{\text{toplam}} = [m \cdot C_p \cdot \Delta T.]_{PP} + [m \cdot C_p \cdot \Delta T.]_{TPE-S} n_1 \cdot n_2 \cdot 0,24 \quad (4.8)$$

0,24 sonucu kCal elde etmek için denkleme eklenmiştir, n_1 kalıptaki ürün gözü sayısı, n_2 bir saatteki çevrim sayısı olarak verilmiştir.

$$Q_{\text{toplam}} = [2,44 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot (260-80)] + [3,236 \cdot 10^{-3} \cdot 3,08 \cdot (230-50)] \cdot 8 \cdot 189 \cdot 0,24 = 906 \text{ kCal/h}$$

Tasarımda soğutma sisteminde, su olarak belirlenen soğutma sıvısı 8°C ile giriş yapıp, $0,8 \text{ m/s}$ hızla tüm gözleri dolaşp, 30°C ile sistemden ayrılmaktadır. Suyun yoğunluğu 1 kg/m^3 , özgül ısı $1000 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C}$ alınmıştır. Bir saatte açığa çıkan 906 kCal/h ısıyı kalıptan uzaklaştırmak için gerekli soğutma sistemi çapı [13]:

$$\frac{Q}{3600} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \cdot v_{su} \cdot \rho_{su} \cdot C_{p,su} (T_{\text{çıkış,su}} - T_{\text{giriş,su}}) \quad (4.9)$$

Q ısı, d_k kanal çapını, ρ_{su} yoğunluğu, v_{su} suyun hızını, $C_{p,su}$ suyun özgül ısını, $T_{\text{çıkış,su}}$ suyun çıkış sıcaklığını, $T_{\text{giriş,su}}$ suyun giriş sıcaklığını göstermektedir. Buna göre Denklem 4.9'dan d_k değeri çekilirse denklem 4.10 meydana gelir [13].

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot v_{su} \cdot \rho_{su} \cdot C_{p,su} \cdot \Delta T}} \quad (4.10)$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 906}{3600 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 22}} = 4,266 \cdot 10^{-3} \approx 4,5 \text{ mm elde edilir.}$$

Soğutma sıvısı olan suyun hacimsel debisini hesaplamak için kullanılan denklem 4.11'de verildi [13]:

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_{su} \cdot 3600 \quad (4.11)$$

\dot{V} hacimsel debiyi, v_{su} suyun hızını, d_k kanal çapını göstermektedir. 3600 ile çarpılarak saniye birimi saate çevrildi:

$$\dot{V} = \frac{\pi.(4,5.10^{-3})^2}{4} . 0,8.3600 = 0,045 \text{ m}^3/\text{h}$$

Q ısısını kalıptan atmak için gerekli, minimum soğutma kanalı boyunun elde edileceği denklem 4.12'de verilmiştir [13].

$$L = \frac{Q.d_k}{3,53 . \dot{V} . (1+0,0015.T_{su-ort}) . (T_k - T_{su-ort})} \quad (4.12)$$

L soğutma kanalı boyunu, Q ısıyı, \dot{V} hacimsel debiyi $T_{su \text{ ort}}$ giriş ve çıkış su sıcaklıklarının ortalamasını, T_k kanalın iç çeper sıcaklığını göstermektedir.

$$T_{su \text{ ort}} = \frac{T_g + T_\phi}{2}$$

$$T_k = T_\phi - 5$$

T_g giriş su sıcaklığını, T_ϕ çıkış su sıcaklığını gösterir.

Denklem 4.12'den 906 kCal/h ısıyı kalıptan atmak için gerekli minimum soğutma boyu:

$$L = \frac{906.4,5.10^{-3}}{3,53.0,045.(0,015.19+1).(25-19)} = 3,328 \text{ m}$$

Soğutma kanalındaki akış rejiminin denklemi 4.13'de verilmiştir [13].

$$Re = \frac{d_k . v_{su}}{V_{su}} \quad (4.13)$$

Re Reynold sayısını, V_{su} suyun kinematik viskozitesini, v_{su} suyun hızını, d_k kanal çapını göstermektedir. Akışın türbülanslı olması istenir. Bu sebeple Reynold sayısının 4000 değerinden büyüklüğünün kontrolü yapılacaktır.

$$Re = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 4500$$

4500 > 4000 tasarım için uygundur.

Soğutma kanallarının kalıp içinde konumlandırılması yapılırken her kalıp gözüne taze su beslenmesini sağlayan paralel soğutma kanalı tasarımı tercih edildi. Şekil 4.15.'de kalıptaki paralel soğutma kanallarında soğutma sularının izlediği yollar verilmiştir. Şekil 4.16.'de de çenelere açılan soğutma kanalları verilmiştir.



Şekil 4.15. Paralel soğutma kanalları



Şekil 4.16. Çenelere açılan soğutma kanalları

4.5. Makine verimi

Verim herhangi bir sistemde alınan/verilen olarak özetlenebilir. Eriyik polimerin gramajı üzerinden bir verim denklemi yazılmaya çalışılırsa Denklem 4.14 elde edilir.

$$\eta = \frac{G_{\ddot{u}} \cdot n}{G_{pl}} \quad (4.14)$$

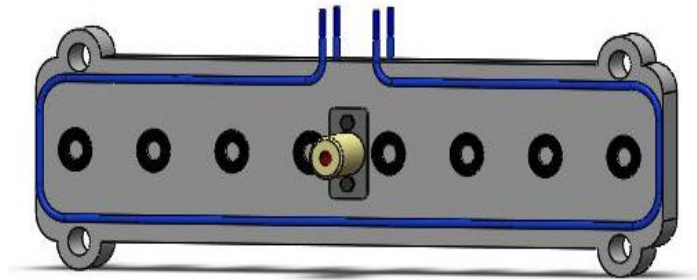
η verim, $G_{\ddot{u}}$ ürünün kütlesi, G_{pl} makinenin plastise oranı, n saatteki baskı adedidir. İlk baskı için 2,44 g ve ikinci baskı için 0,796 g olmak üzere, sekiz gözlü kalıp için $G_{\ddot{u}}$ değeri sırasıyla 19,52 g ve 6,368 g'a eşittir.

Sıcak yolluk sistemi tasarımı içinde hesaplanacak gerekli gücü veren denklemde hesap parametrelerinden biri olan verimin %70 alınarak bir sonraki bölümde hesaplamalara devam edilmesine karar verildi.

4.6. Sıcak Yolluk Sistemi Tasarımı

Sıcak yolluk sistemleri, vida çıkışından alınan eriyik haldeki polimeri sıcaklık ve basınç kaybı olmadan doğrudan kalıp boşluğuna enjekte etmek için kullanılır. Sıcak yolluk sistemi; içinde eriyik maddenin kalıp içinde ilk geçiş yaptığı manifold, parça ile direkt temasta olan nozüller, sıcaklığın korunmasını sağlayan rezistanslar ve bir sıcaklık sensörü olan termokupldan oluşan eriyik polimeri kalıp boşluğuna besleme sistemidir.

Tasarımda bulunan sekiz gözlü tek sıra kalıp boşluklarını beslemesi için I tipi bir manifold seçildi ve Şekil 4.17.'de CAD modeli verildi.



Şekil 4.17. Sekiz gözlü I tipi manifold

Manifoldu ilk çalıştırmada sıcak yolluk sistemini 5 dakikada %70 verimle etkinleştirmek için gereken toplam ısıtma gücü denklem 4.15'deki gibi hesaplandı [13]:

$$P = \frac{m_m \cdot C_s \cdot \Delta T}{t \cdot \eta} \quad (4.15)$$

m_m manifoldun kütlesi, C_s çeliğin özgül ısısı, ΔT sıcaklık farkı, t gerekli süre, η verim olarak verilmiştir. Manifold kütleleri tasarımda 6 kg ve 4 kg, çeliğin özgül ısısı 0,48 KJ/kgK° alınmıştır.

$$P_{PP} = \frac{m_m \cdot c_s \cdot \Delta T}{\eta \cdot t} = \frac{6,0,48 \cdot (260-20)}{0,7 \cdot 5,60} = 3,29 \text{ kW}$$

$$P_{TPE} = \frac{m_m \cdot c_s \cdot \Delta T}{\eta \cdot t} = \frac{4,0,48 \cdot (230-20)}{0,7 \cdot 5,60} = 1,92 \text{ kW}$$

Kapılarda polimerin kayma oranları tipik olarak hacimsel akış hızının bir fonksiyonu olarak denklem 4.16'daki gibi hesaplanmaktadır [23].

$$\dot{Y} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot R^3} \quad (4.16)$$

\dot{Y} polimere ait kayma hızı, \dot{V} yolluk girişindeki akış hızı, R nozül yarıçapı belirlenmiştir. \dot{V} 'ye ait formülasyon denklem 4.17'de verilmiştir. Polimer kesme hızları Tablo 4.1.'den alınarak [23].

$$\dot{V} = \frac{\text{Parça hacmi}}{\text{Doldurma süresi}} \quad (4.18)$$

$$\dot{V}_{PP} = \frac{2618,02 \text{ mm}^3}{1 \text{ s}} = 2618,02 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{TPE-S} = \frac{724,71 \text{ mm}^3}{0,25 \text{ s}} = 2898,84 \text{ mm}^3/\text{s}$$

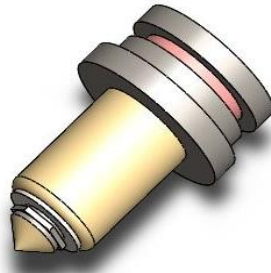
R değeri denklem 4.16'dan çekilerek tasarımda kullanılacak nozül yarıçapları:

$$R = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot \dot{Y}}}$$

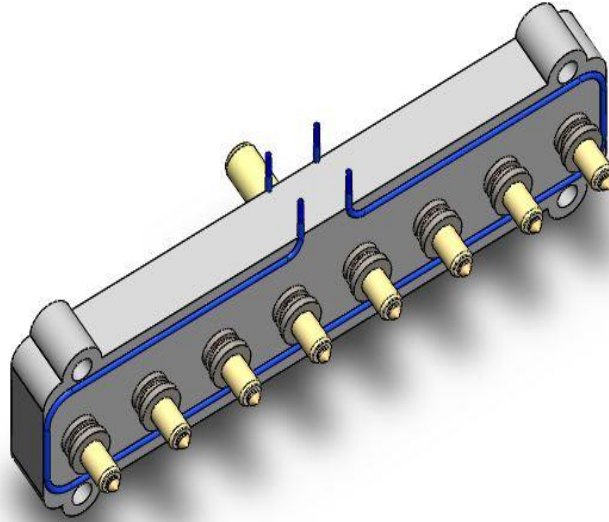
$$R_{PP} = \frac{4.2618,02}{\pi.100000} = 0,35 \text{ mm}$$

$$R_{TPE-S} = \frac{4.2898,84}{\pi.40000} = 0,45 \text{ mm}$$

Bu değerlerle Şekil 4.18.'deki nozül çizildi ve Şekil 4.19. ve 4.20.'deki gibi sıcak yolluk sisteminin montajı yapıldı.



Şekil 4.18. Nozlun CAD modeli



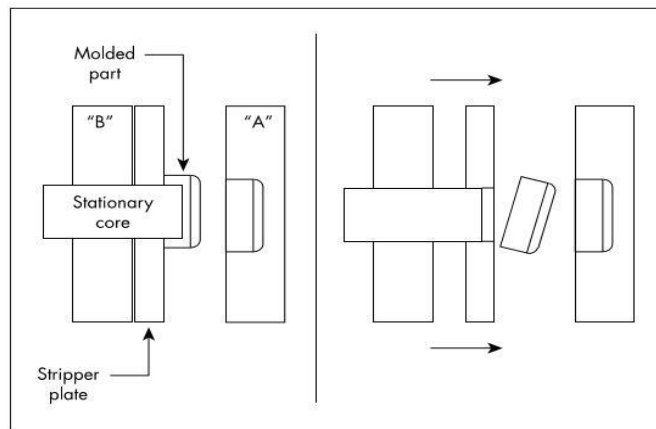
Şekil 4.19. Sıcak yolluk sistemi



Şekil 4.20. Sıcak yolluk sistemi montajı

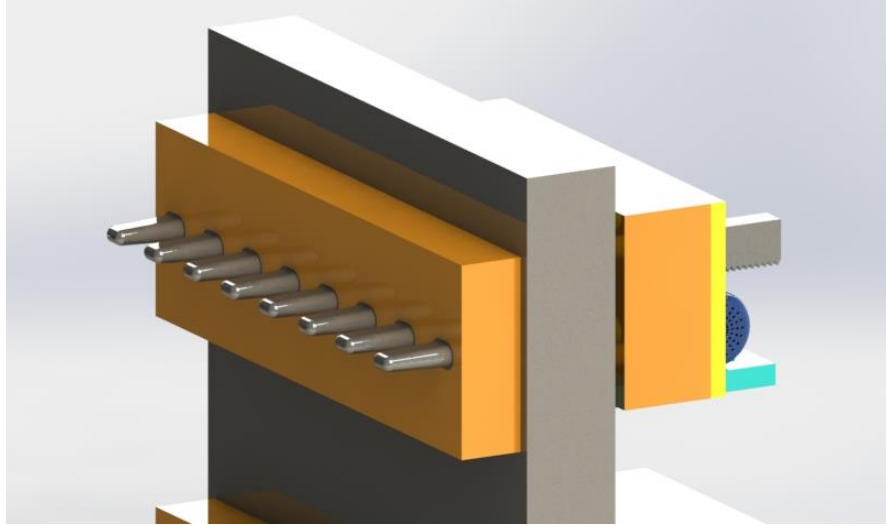
4.7. Parçayı Kalıptan Çıkarma Sistemi

Kalıptan çıkarma prosesinde standart itici pim sistemlerinin kullanılmayacağı durumlar vardır: Parça et kalınlığı itici pimler tarafından delinebilecek incelikteyse veya parçada sınırlı bir alanda itici pimlerinin konumlandırılması gerekiyorsa sıyırıcı plaka kullanılır. Şekil 4.21.'de sıyırıcı plakanın çalışmasının temel mantığı verilmiştir [21].

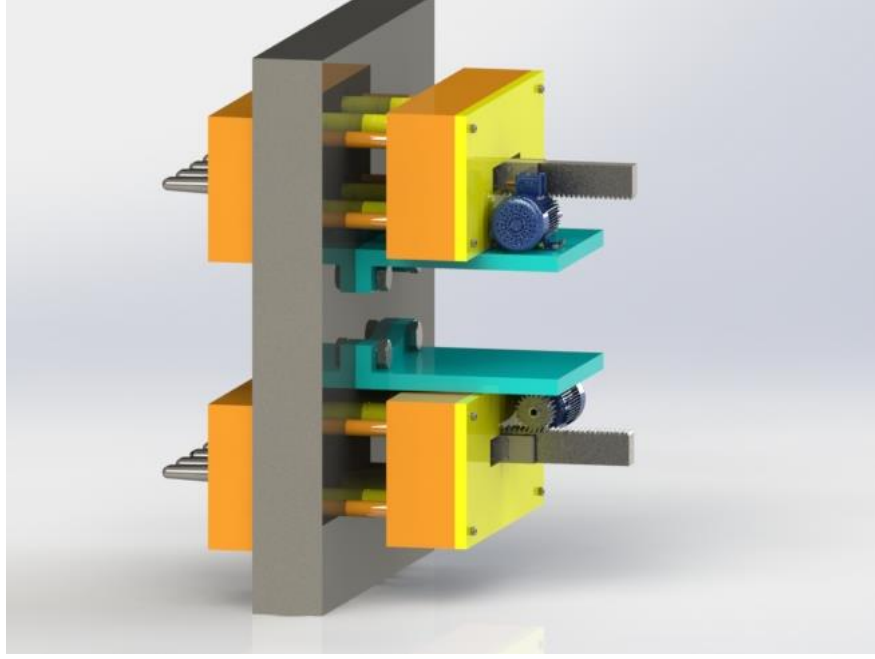


Şekil 4.21. Sıyırıcı plaka çalışma sistemi [21]

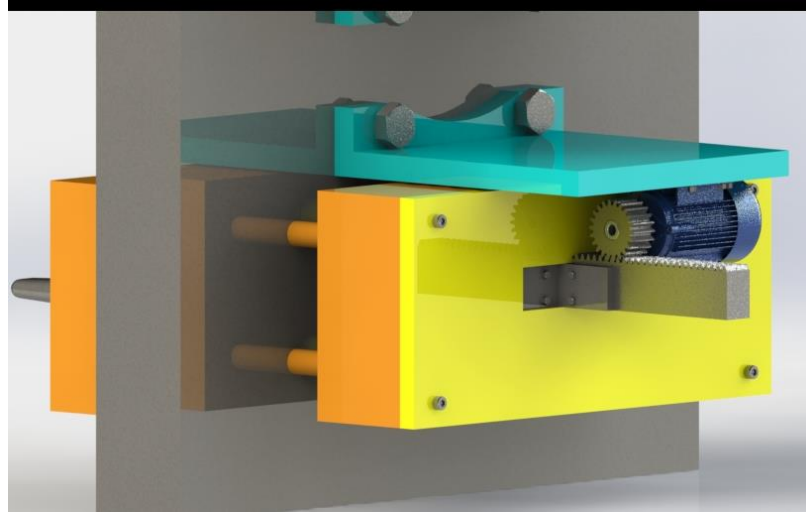
İtici pimlerin parçayı kalıptan çıkarma aşamasında uygulayacağı kuvvet, sıyrıcı plaka sisteminde kalıp ayırım çizgisinde belirli bir alana yayılır. Tasarımda kullanılan örnek ürün, geometrisi gereği itici pimlerle kalıptan çıkarılmaya uygun değildir. Bu yüzden Şekil 4.22., Şekil 4.23., Şekil 4.24., Şekil 4.25.'de olduğu gibi sıyrıcı plaka ile kalıptan çıkarma tasarımı uygulandı. Sistem hareket tahrikini elektrik motorundan almaktadır. Elektrik motoru erkek kalıba bir plaka ile sabitlenmiştir. Kremayer-pinyon çifti vasıtasıyla motordan alınan hareket, lineer harekete çevrilmiştir ve sıyrıcı plaka sistemine uygulanmıştır. Erkek kalıp devamlı dönme hareketi yaptığı için sıyrıcı sistem plakaları, merkezleme kolonları vasıtasıyla erkek kalıba sabitlenmiştir.



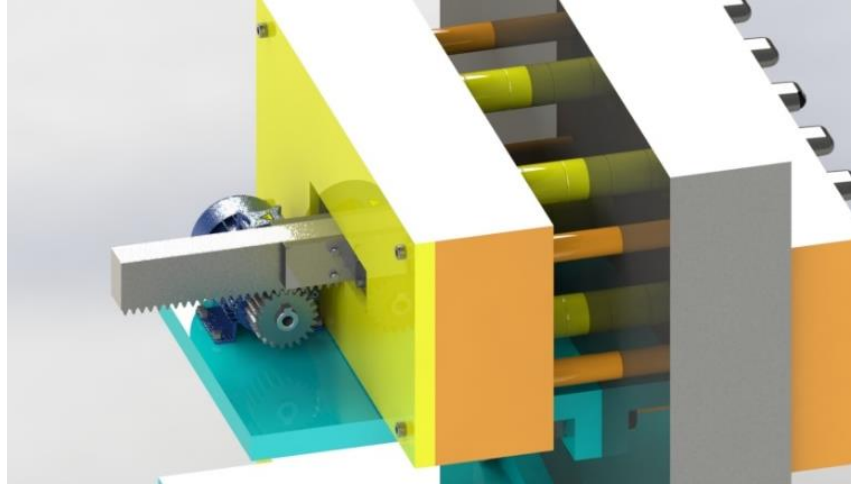
Şekil 4.22. Sıyrıcı plaka ve ürün çekirdeğinin erkek kalıba montajı



Şekil 4.23. Kalıba ait sınıyıcı sistemi



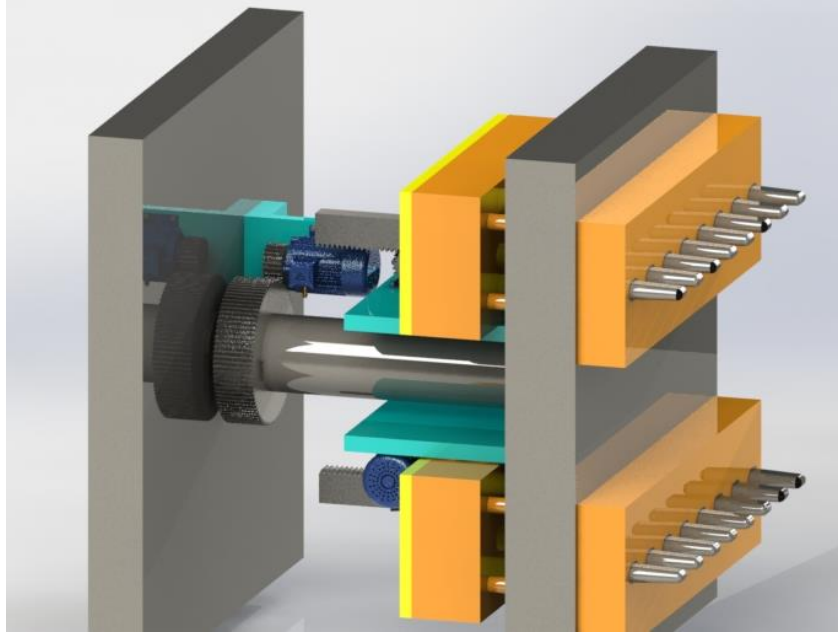
Şekil 4.24. Alt istasyon için sınıyıcı sistemi



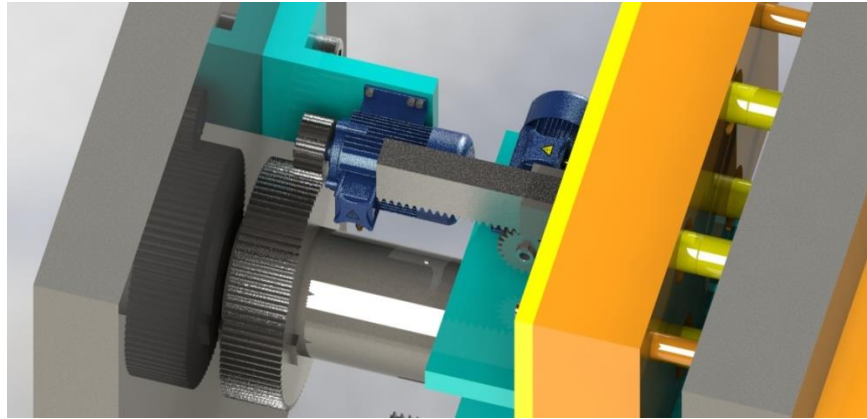
Şekil 4.25. Üst istasyon için sıyrıcı sistemi

4.8. Döner Plaka Hareketi

Çok komponentli kalıplama üretim yöntemini geleneksel tek komponentli kalıplamadan ayıran en önemli fark, ön şekillendirilmiş ürünün tekrar konumlandırılarak ikinci enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmesidir. Bölüm 2’de incelenen çok atışlı enjeksiyon kalıplamada bahsedildiği gibi ön şekillendirilmiş parçayı tekrar konumlandırmak için transfer kalıplama, döner lokma gibi yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada çekirdeğin bağlı bulunduğu plakanın, dönme hareketi ile ön şekillendirilmiş parçanın ikinci istasyona tekrar konumlandırılması tasarlanmıştır. Dönme hareketi tahrikini bir elektrik motorundan almaktadır. Elektrik motorunun çıkışında bir dişli çifti ile de hareket iletimi devam etmektedir. Tasarıma ait görüntüler Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.’de verilmiştir. Kalıbın tamamının montajı Şekil 4.28.’de gösterilmiştir.



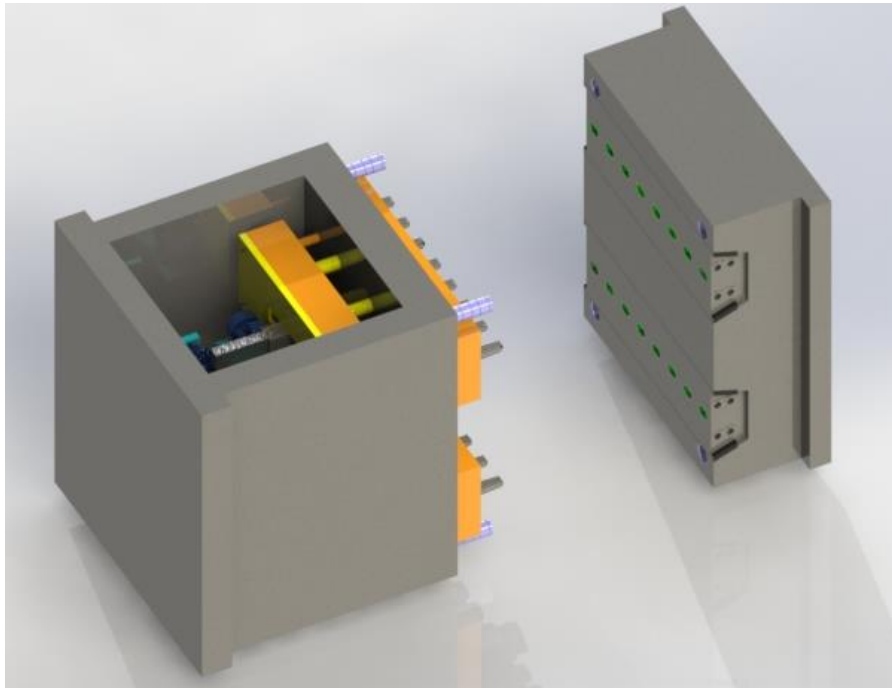
Şekil 4.26. Döndürme sistemi montajı



Şekil 4.27. Dişli çiftiyle güç aktarımı



Şekil 4.28. Kalıbın montajı



Şekil 4.29. Merkezleme kolonları dahil edildiğinde montaj

Elektrik motoru ile tahrik edilen dönme sisteminde kullanılan motorun minimum sahip olması gereken tork değeri Denklem 4.19 ile hesaplanır [24].

$$T = I \cdot \alpha_{ort}$$

(4.19)

T tork, I eylemsizlik momenti, α_{ort} açısal ivme olarak verilmiştir. α_{ort} denklem 4.20 ile hesaplanır [24]:

$$\alpha_{ort} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (4.20)$$

α_{ort} açısal ivme, $\Delta\omega$ açısal hızdaki değişim, Δt zamandaki değişim olarak verilmiştir. Açısal hız denklem 4.21 ile hesaplanır [24]:

$$\Delta\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (4.21)$$

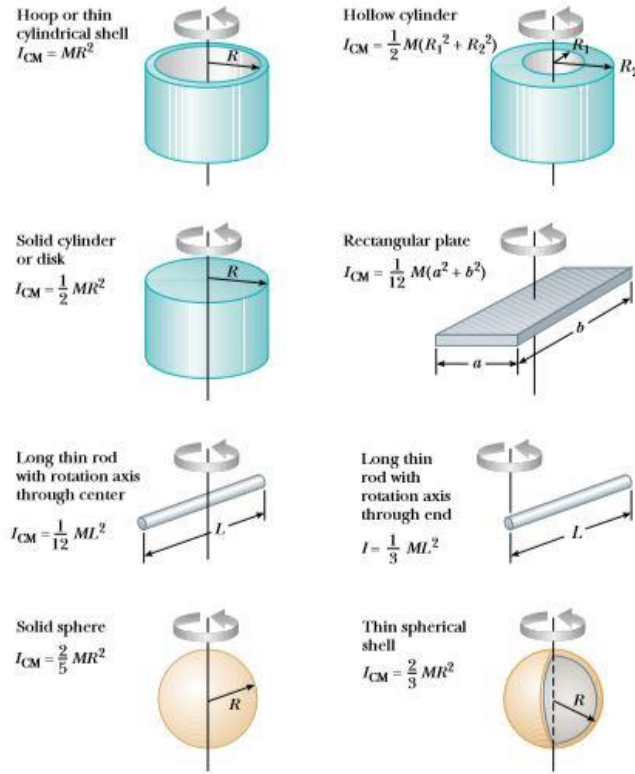
$\Delta\omega$ açısal hızdaki değişim, $\Delta\theta$ açısal konumdaki değişim, Δt zamandaki değişim olarak verilmiştir.

Buna göre 0° konumundan 180° konumuna 3s'de gelen sistem radyan cinsinden π kadar yer değiştirmiş olacaktır.

$$\Delta\omega = \frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$$

$$\alpha_{ort} = \frac{\frac{\pi}{3}}{3} = \frac{\pi}{9} \text{ rad/s}^2$$

Farklı geometrilere sahip homojen sert cisimlerin eylemsizlik momentleri Şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Eylemsizlik momenti hesabı[24]

Buna göre sistemde, merkezde dönen silindir güç aktarma organı ve dikdörtgen plakalar tanımlanmıştır. Silindir için eylemsizlik momenti denklem 4.22 ile hesaplanır [24].

$$I_{\text{silindir}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (4.22)$$

I_{silindir} silindir için eylemsizlik momenti, m kütleyi, r yarıçapı göstermektedir.

Denklem 4.22'ye göre 3,2 kg kütleli, 24 mm yarıçaplı silindir aktarma organı milin eylemsizlik momenti:

$$I_{\text{mil}} = \frac{1}{2} \cdot 0,024^2 \cdot 3,2 = 9,216 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Dikdörtgen ve merkezde dönen bir plaka için eylemsizlik momenti denklem 4.23'de verilmiştir [24]:

$$I_{\text{dikdörtgen plaka}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a^2 + b^2) \quad (4.23)$$

$I_{\text{dikdörtgen plaka}}$ dikdörtgen plaka için eylemsizlik momentini, m kütleyi, a dikdörtgenin kısa kenarı, b dikdörtgenin uzun kenarını göstermektedir.

Buna göre merkezde dönen 23,5 kg ağırlığındaki erkek hamil için $a=0,296$ m $b=0,344$ m olmak üzere eylemsizlik momentini:

$$I_{\text{erkek hamil}} = \frac{1}{2} \cdot 23,5 \cdot (0,296^2 + 0,344^2) = 2,149 \text{ kg.m}^2$$

Merkezde dönmeyip merkeze paralel bir ekseninde dönen cisimler için eylemsizlik momentini denklem 4.24'de verilen paralel eksen teoremi ile bulunur [24]:

$$I = I_M + m \cdot x^2 \quad (4.24)$$

I ağırlık merkezi M 'ye uzaklığı x olan dönme merkezine göre eylemsizlik momentini, I_M ağırlık merkezindeki eylemsizlik momentini, m kütle, x mesafeyi göstermektedir.

Buna göre merkezden 89 mm uzaklıkta dönen 2,8 kg ağırlığındaki h7 plakası için $a=0,204$ m $b=0,090$ m olmak üzere eylemsizlik momentini:

$$I_{h7} = \frac{1}{2} \cdot 2,8 \cdot (0,204^2 + 0,090^2) + 2,8 \cdot 0,089^2 = 0,091 \text{ kg.m}^2$$

Merkezden 89 mm uzaklıkta dönen 2,8 kg ağırlığındaki h8 plakası için $a=0,204$ m $b=0,090$ m olmak üzere eylemsizlik momentini:

$$I_{h8} = \frac{1}{2} \cdot 2,8 \cdot (0,204^2 + 0,090^2) + 2,8 \cdot 0,089^2 = 0,091 \text{ kg.m}^2$$

Merkezden 89 mm uzaklıkta dönen 1 kg ağırlığındaki destek plakası için $a=0,204$ m $b=0,090$ m olmak üzere eylemsizlik momentini:

$$I_{\text{destek}} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (0,204^2 + 0,090^2) + 1 \cdot 0,089^2 = 0,032 \text{ kg.m}^2$$

Merkezden 38 mm uzaklıkta dönen 1,4 kg ağırlığındaki elektrik motoru bağlantı plakası için a=0,120 m b=0,012 m olmak üzere eylemsizlik momenti:

$$I_{\text{bağlantı}} = \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot (0,120^2 + 0,012^2) + 1,4 \cdot 0,038^2 = 0,012 \text{ kg.m}^2$$

Merkezden 89 mm uzaklıkta dönen 12 kg ağırlığındaki çekirdek lokma için a=0,284 mm b=0,090 mm olmak üzere eylemsizlik momenti:

$$I_{\text{ç.lokma}} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot (0,284^2 + 0,090^2) + 12 \cdot 0,089^2 = 0,067 \text{ kg.m}^2$$

$$I_{\text{toplam}} = I_{\text{mil}} + I_{\text{erkekhamil}} + 2 \cdot I_{h7} + 2 \cdot I_{h8} + 2 \cdot I_{\text{destek}} + 2 \cdot I_{\text{bağlantı}} + 2 \cdot I_{\text{ç.lokma}}$$

$$I_{\text{toplam}} = 9,216 \cdot 10^{-3} + 2,419 + 2 \cdot 0,091 + 2 \cdot 0,091 + 2 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,067 = 4,07 \text{ kg.m}^2$$

Bulunan değerler denklem 4.19'da yerine yazılarak elektrik motoru için minimum tork aşağıdaki gibi elde edilir:

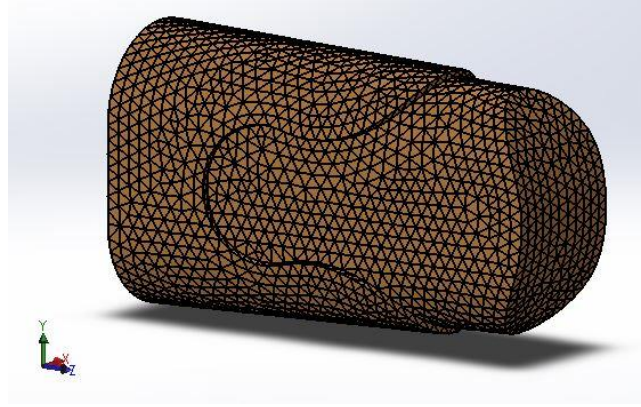
$$T = 4,07 \cdot \frac{\pi}{9} = 1,42 \text{ N.m}$$

BÖLÜM 5. AKIŞ ANALİZİ

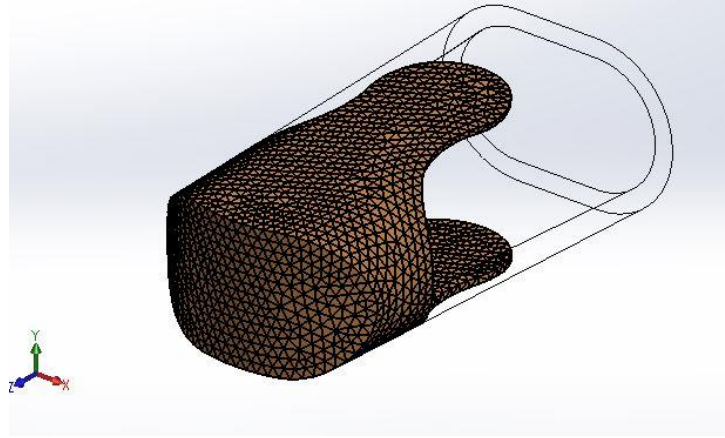
Solidworks Plastics Standard ile enjeksiyon sürecinin akış analizi yapılarak; imalatı öncesi plastik parçanın üretilebilirliği test edilip optimum tasarımı elde edilebilir. Parçada oluşabilecek belirli kalite hataları ön görülebilir ve tasarımda iyileşmeler uygulanabilir.

Çalışmanın bu bölümünde örnek ürünün Solidworks Plastics Standard ile enjeksiyon sürecinin akış analizi yapılarak; parçanın belirlenen sürede dolup dolmayacağını, dolum kolaylığı, dolum basıncı, soğutma sonu sıcaklığı gibi parametreleri elde edildi. Dolum sonu hız vektörlerinin analizi yardımıyla birleşme çizgisi oluşabilecek yerler önceden program vasıtasıyla elde edildi. Potansiyel hava kabarcığı oluşabilecek yerler, parça üzerinde çöküntü ve hacimsel çekme gibi önemli kalite hataları hakkında yapılan bu analizlerle gerektiği durumda kalıpta düzeltmeler yapılarak zaman ve maliyet tasarrufu yapılması amaçlanmıştır.

Parçanın programda tanımlanmasıyla başlandı. Plastik ürün analiz için üçgen şekilli parçalara ayrıldı. Bu mesh işlemi sonucunda Şekil 5.1.'de görülen ilk komponent PP'de 12932 eleman ve bu elemanları birbirine bağlayan 6468 düğüm noktası elde edildi. Şekil 5.2.'de görülen ikinci komponent olan TPE-S'nin mesh işlemi sonucunda da 26325 eleman, 10676 düğüm noktası elde edildi. Parçanın ve kalıbın malzemeleri seçilerek teknik özelliklerin ataması gerçekleştirildi. Dolum ayarlarından eriyik polimerin sıcaklığı, kalıbın sıcaklığı ve enjeksiyon süresi gibi bilgilerin girişi yapıldı. Son olarak enjeksiyon yeri parça üzerinde belirtilerek analize başlandı.



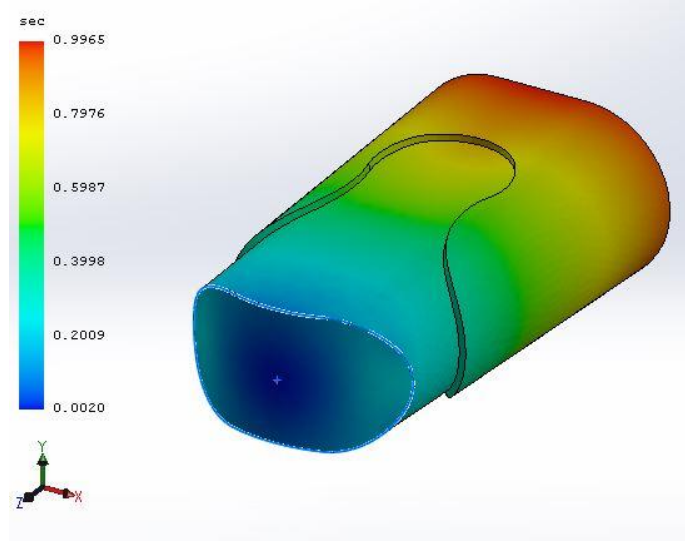
Şekil 5.1. İlk bileşenin mesh işlemi



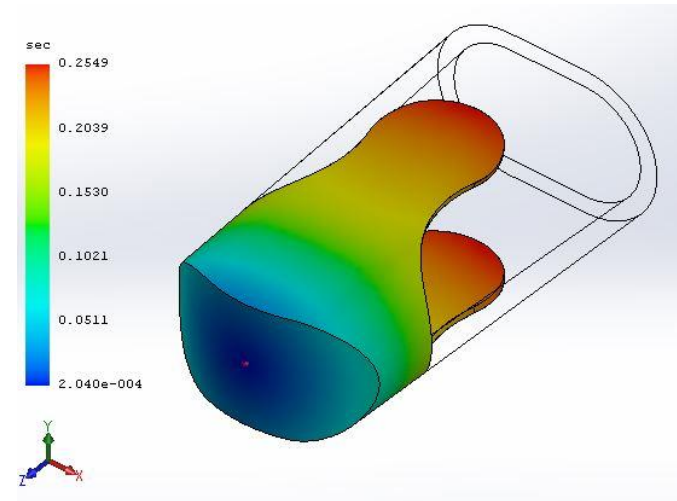
Şekil 5.2. İkinci bileşenin mesh işlemi

5.1. Dolum Zamanı

Dolum zamanı grafiklerinde kırmızı renklendirme polimerin kalıpta yerini alacağı, akış hattındaki en son bölgeyi temsil etmektedir. Skalada hangi saniyede parçanın hangi bölümünün polimer ile doldurulacağı gösterilmiştir. Her iki enjeksiyon işlemi esnasında, belirlenen sıcaklıktaki polimer tarafından doldurulmayan boş kalmış bir bölgenin olmadığı gözlemlenmiştir. Eksik dolumdan kaynaklanan bir kalite hatası ile karşılaşmamıştır. Şekil 5.3.'de PP malzemenin, Şekil 5.4.'de TPE-S malzemenin kalıp boşluğunu doldurduğu görseller verilmiştir.



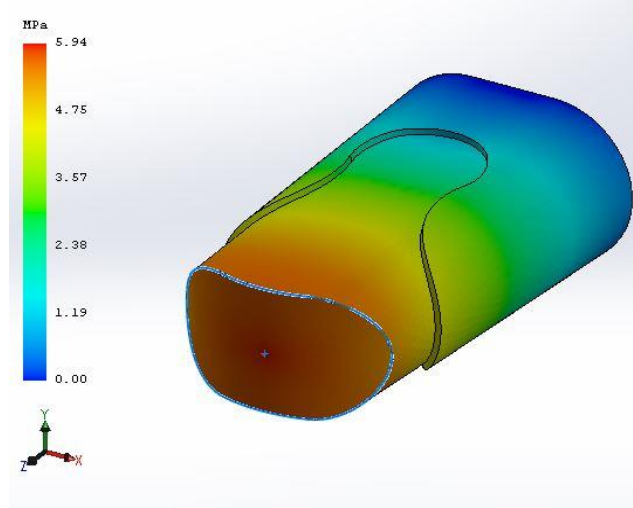
Şekil 5.3. PP bileşen için dolum zamanı



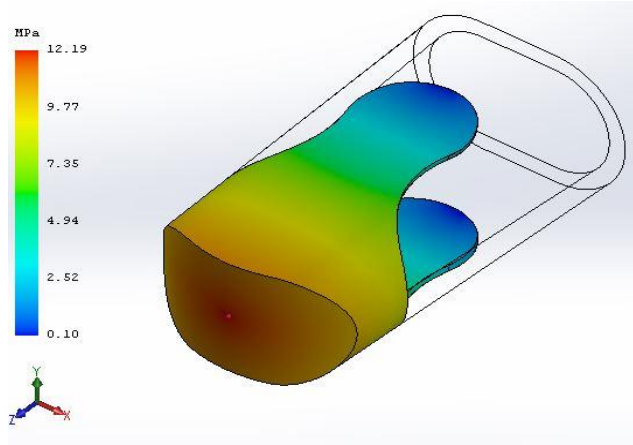
Şekil 5.4. TPE-S malzeme için dolum zamanı

5.2. Dolum Sonu Basıncı

İstenilen sürede kalıp boşluğunun doldurulması ne kadar önem teşkil ediyorsa, parçanın her yerinde eşit bir basınçla dolum olması da homojen bir ürün elde etmek için o en az o kadar önemlidir. Polimerin, kalıp boşluğunda akış uzunluğu boyunca analiz sonuçlarında da elde edildiği gibi homojen bir basınç dağılımı ile dolum gerçekleştirilmesi tercih sebebidir.



Şekil 5.5. Dolum sonu basıncı

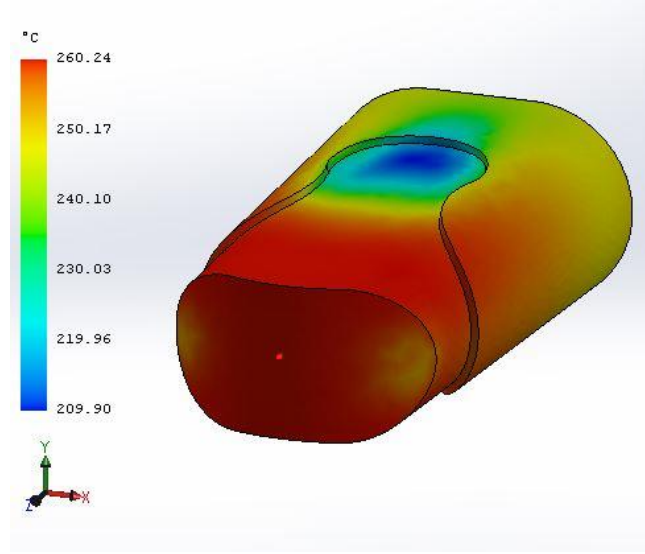


Şekil 5.6. TPE-S bileşenin dolum sonu basıncı

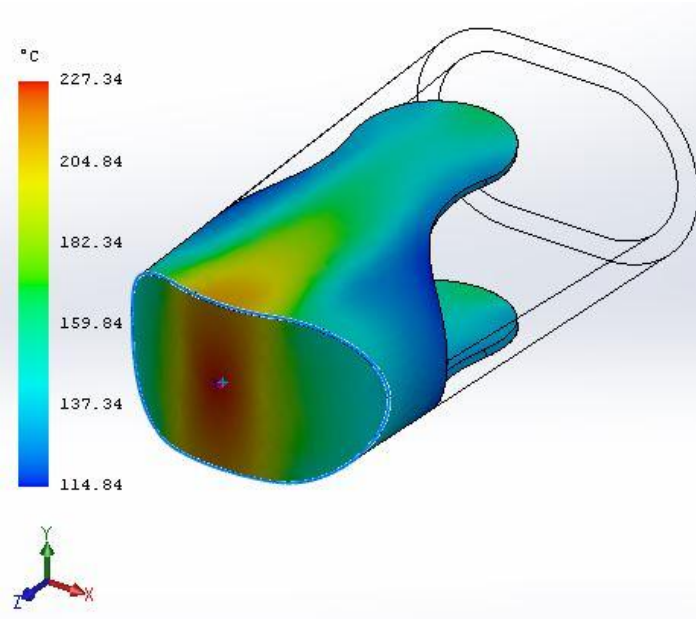
Analizde PP malzeme için dolum sonu 5,94 MPa, TPE-S malzeme için 12,2 MPa homojen olan bir basınç dağılımı elde edilmiştir. Eğer parçanın her iki tarafında da istenilen basınç dağılımı homojen olmasaydı enjeksiyon yerinin tekrar konumlandırılması gerekirdi. Analiz sonucu enjeksiyon yeri seçiminin doğruluğunu destekler niteliktedir.

5.3. Dolum Sonu Sıcaklığı

Dolum sonu sıcaklığı analizi her iki bileşen için Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. PP bileşen için dolum sonu sıcaklık

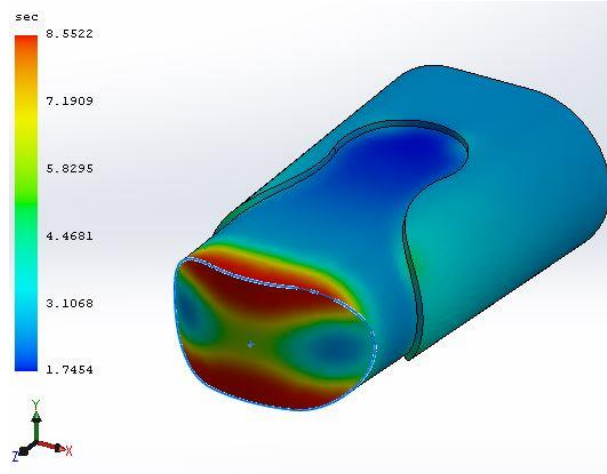


Şekil 5.8. TPE-S için dolum sonu sıcaklık analizi

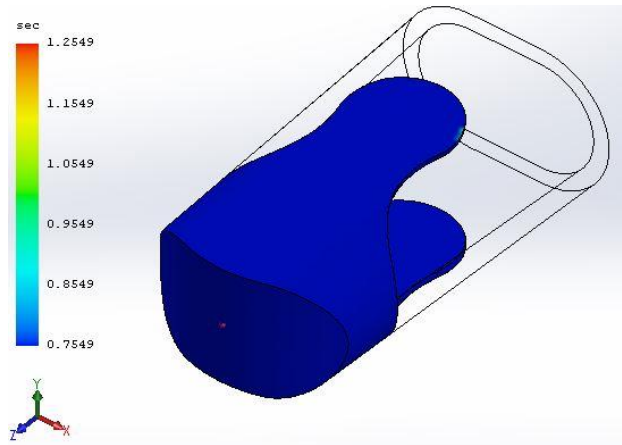
Kalıba enjekte edilen polimerlerin dolum sonu sıcaklığı çift komponentli kalıplamada üretilebilirlik açısından önemlidir. İkinci komponentin dolum sonu sıcaklığı olan 227°C , 80°C 'a kadar soğutmuş olan ön şekillendirilmiş PP parça için sorun teşkil etmemektedir.

5.4. Soğuma Zamanı

Döner plaka tasarımı sebebiyle kalıpta sadece dişi lokmaya soğutma kanalları eklenmişti. Bu türde tek taraflı ısı geçişi durumu için Kazmer soğutma süresinin uzayacağını ve minimum sürenin Denklem 4.5'deki formülde et kalınlığının iki katı alınıp hesaplanması durumunda elde edileceğini ortaya koymuştu [23]. Çalışmada Denklem 4.5'den PP için çift et kalınlığı ile soğuma zamanı 9 s, TPE-S için 5,330 s elde edilmişti. Bileşenlere ait soğuma zamanı grafikleri Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında PP malzemede teoride elde edilen süre ile pratiğin uyuştuğu görülmüştür. Fakat TPE-S için böyle bir uyuşma elde edilmemiştir.



Şekil 5.9. PP bileşen için soğuma zamanı

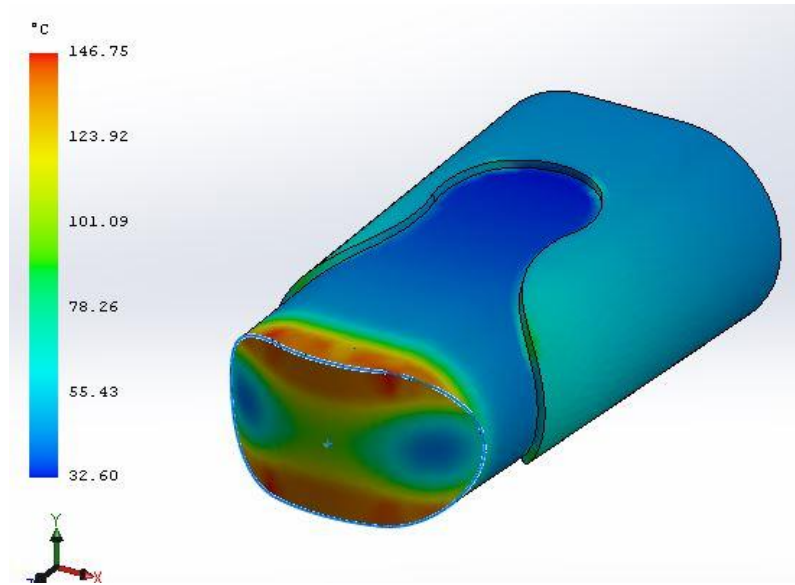


Şekil 5.10. TPE-S bileşeni için soğuma zamanı

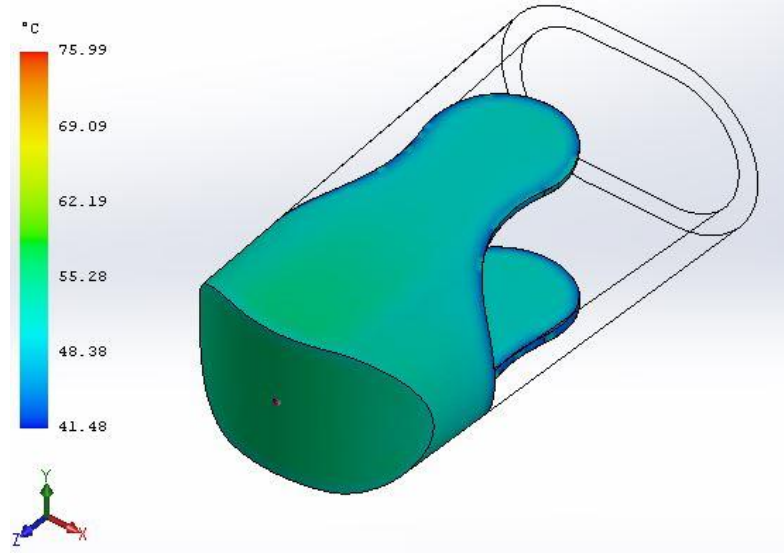
Çift komponentli kalıplamanın, tek komponentli kalıplamadan farkı ürünün ilk enjeksiyonu sonrası tekrar konumlandırılarak ön şekil verilmiş plastik parça üzerine ikinci enjeksiyonun yapılmasıdır. Dolayısıyla ilk komponentin enjeksiyonu ve soğutma sistemi tek komponentli kalıplama ile birebir benzerlik gösterecektir. Fakat ikinci enjeksiyon işlemi ön şekillendirilmiş parça üzerine yapılacağından plastik parçanın yalıtımı söz konusu olacaktır. Bu durumda tek taraflı ısı geçişi halinde; çift et kalınlığı ile Denklem 4.5 hesaplanınca elde edilecek olan soğutma zamanı, geleneksel kalıplama ve çift komponentli kalıplamanın ilk enjeksiyon istasyonunda kullanılabilir.

5.5. Soğuma Sonu Sıcaklığı

İlk bileşen PP için 9 s'lik soğuma zamanı sonucu elde edilecek sıcaklık skalası Şekil 5.11.'de verilmiştir. İkinci bileşen TPE-S için 1,3 s süren soğutma sonunda elde edilecek olan sıcaklık da Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. PP bileşeni için soğuma sonu sıcaklık

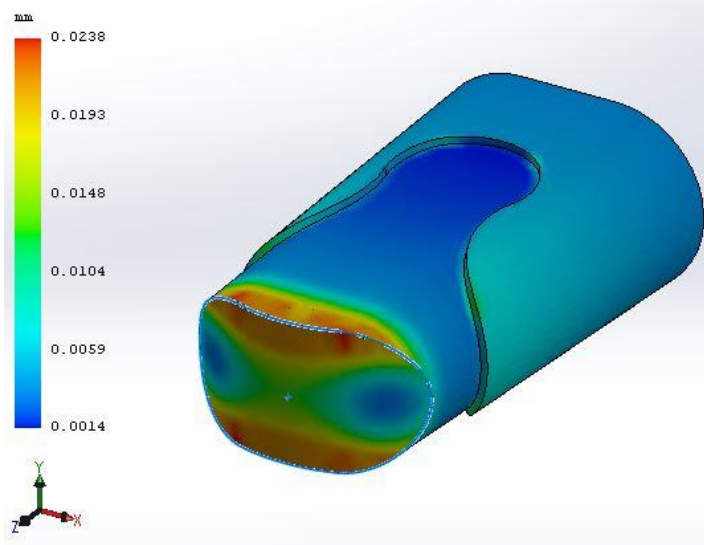


Şekil 5.12. TPE-S için soğuma sonu sıcaklık

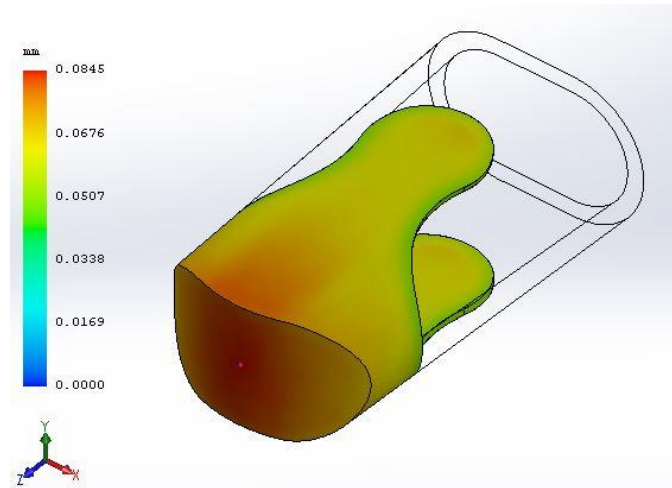
PP malzemesinin 9 s’de soğutulması çevrim süresi için sınırlayıcı olmaktadır. Bu sebeple her iki enjeksiyon prosesinde soğutma süresi 9 s olacaktır. TPE-S’nin 1,3s’lik soğutma sonunda en yüksek 60°C’yi bulan sıcaklık değerlerinin 9 s’de rahatlıkla nihai ürünün kalıptan çıkma sıcaklığı olan 50°C’yi bulacağı ön görülmektedir.

5.6. Çöküntü

Enjeksiyon ve ütüleme işlemlerinden sonra soğumaya geçildiğinde parça ilk olarak kalıp cidarlarıyla temas eden dış kabuktan soğumaya başlayacaktır. Parçanın kalıp ile temas etmeyen iç bölgesi, muhafaza ettiği ısıyı plastik malzemelerin yalıtkan özellik göstermesi sebebiyle verimli bir şekilde dışarı aktaramayacaktır. Bu da göbek olarak adlandırılan bu iç bölgede daha uzun soğuma süresi gerektirecektir. Plastik malzeme soğuma aşamasını ne kadar uzun sürede tamamlarsa büzülme değeri de o kadar artacaktır. İç bölgedeki büzülme parça yüzeyinde çöküntü problemine sebep olacaktır. Analizde kalıplanan ürünün malzeme yoğunlaşmasının olduğu kesitinde en fazla çöküntünün oluşacağı görülmüştür. Şekil 5.13. PP bileşen için en fazla 0,0238 mm çöküntü olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.13. PP bileşende çöküntü



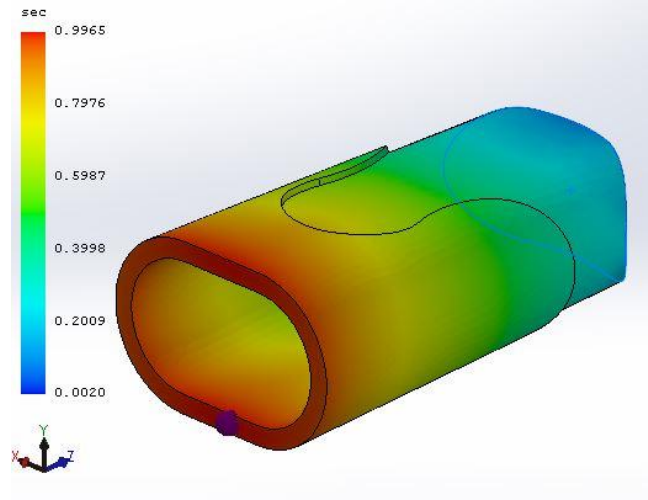
Şekil 5.14. TPE-S bileşeni için çöküntü

Şekil 5.14.'de TPE-S bileşeni için maksimum çöküntü değerini 0,0845 mm olarak göstermektedir.

5.7. Hava Kabarcıkları

Eriyik polimer kalıba girip kalıbı doldururken kalıp boşluğundaki havanın da aynı anda süpürülerek kalıbı terk etmesi gerekmektedir. Akışın hızlı olduğu ve kalıptaki havanın boşluğu terk edemediği durumlarda hava kabarcıkları kalıpta kalır ve kaldığı bölgede yerel olarak yanık izi isimli yerel kalite hatasını meydana getirir. Şekil

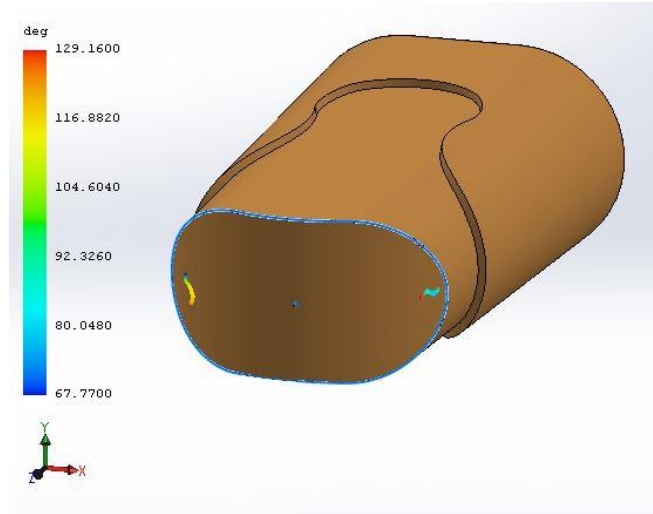
5.15.'daki PP bileşene yapılan analiz sonucunda parçanın dolumu ile hava kabarcığı oluşması muhtemel yerlere ulaşılmıştır. İkinci komponent olan TPE-S'nin analizi sonucunda doldurduğu hacimde hava kabarcığı probleminin olmadığı bulunmuştur. PP'nin oluşturduğu hava kabarcıkları kalıp ayırım çizgisinden kalıp boşluğunu terk edecektir.



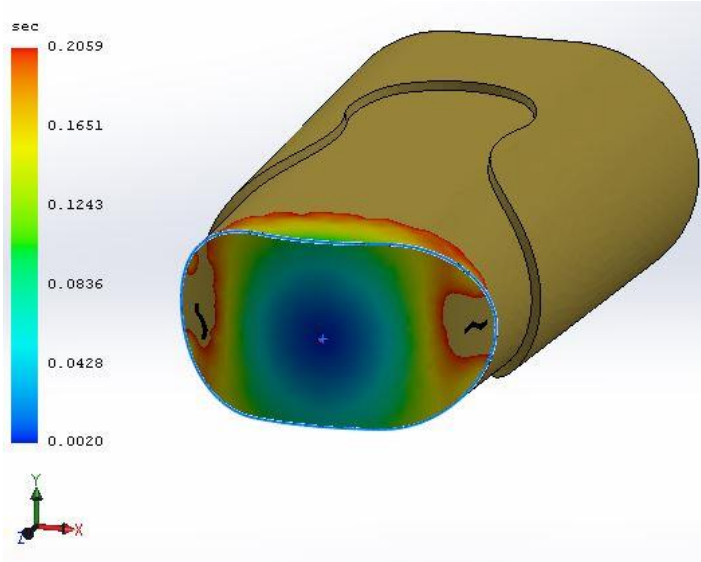
Şekil 5.15. PP bileşen için hava kabarcığı konumu

5.8. Soğuk Birleşme İzleri

Akış boyunca iki veya daha fazla akış hattının birleşmesi parça üzerinde soğuk birleşme izleri oluşturur. Bu soğuk birleşme izleri görsellikte istenmeyen, parçada derin ve uzun birleşme çizgileri olarak yüzeyde kendini gösterir. PP bileşenin analizi sonucunda elde edilen soğuk birleşme izleri Şekil 5.16.'de verilmiştir. Buna göre hangi sıcaklık değerlerinde soğuk birleşme izlerinin oluştuğu görülebilir. Şekil 5.17.'da bu soğuk birleşme izlerinin akış analizi sonucunda nasıl oluştuğu keşfedilebilir.



Şekil 5.16. Parça yüzeyinde soğuk birleşme izleri



Şekil 5.17. Soğuk birleşme izlerinin oluştuğu anlar

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Çalışmada çok komponentli ürünlerin, plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmesi araştırılmıştır ve geleneksel tek komponentli kalıplamadan farkı açıklanmıştır. İşaretleme kaleminin gövdesi örnek ürün olarak seçilmiştir ve CAD modeli hazırlanmıştır. Ürün için uygun malzeme seçimi yapılmıştır ve çok komponentli plastik enjeksiyon yöntemlerinden hangisi ile üretileceğine karar verilmiştir. Çekirdek lokmalardan başlayarak; maça, soğutma, sıcak yolluk, kalıptan parçayı çıkarma ve döner plaka sistemi tasarımları yapılmıştır.

Tasarımda kullanılan polimerlerin özellikleri, kullanılan kalıp çeliği, dolum süreleri, enjeksiyon sıcaklıkları gibi parametreler ile her iki enjeksiyon için de akış analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda dolum sonunda ulaşılan sıcaklık ve basınca ek olarak soğutma süresi ve soğutma sonundaki sıcaklık elde edilmiştir. Akış boyunca meydana gelen çöküntü, soğuk birleşme izi ve hava kabarcığı gibi kalite sorunları araştırılmıştır.

Çalışmada çift komponentli parça üretilmesinde üretilebilirlik açısından önemli olan bazı konuların üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki; ikinci enjeksiyon işleminde iki bileşenin ara yüzünde çapraz bağ oluşabilmesi için ön şekillenmiş parçanın kalıptan çıkınca bozulma yaşanmayacak derece üst sınır, çapraz bağlanma oluşturacak kadar alt sınır belirlenip bu iki sınır arasında bir sıcaklık derecesine kadar soğutulmasıdır. İkinci komponent istenilen kalıptan çıkış sıcaklığına kadar soğutulabilir, üretilebilirlik açısından bir problem yaşanmayacaktır. İkinci olarak ön şekillenmiş parçanın ikinci dolum istasyonuna geldiğinde kendi erime sıcaklığına ulaşabileceği bir sıcaklıkla karşılaşmasını önlemek için ikinci komponentin erime sıcaklığının ilk komponentten daha düşük olduğu uyumlu malzeme seçiminin çift komponentli ürün üretilebilirliğinde önemli bir rolü vardır.

Bu çalışmada örnek ürün üzerine uygulanan döner plaka üretim yöntemi soğutma sistemi için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Dönme hareketi sebebiyle plakalara soğutma sıvısı girişi yapılamamaktadır. Bu da ürünün kalıplanmasında tek taraflı soğutma zorunluluğunu doğurmuştur. Soğutma süresi, ürün çevriminde en uzun süren ve sonuçları nihai ürün geometrisi üzerinde oldukça etkili olan aşamadır. Bu sebeple çevrim için optimum bir soğutma süresi bulunması gereklidir. Normalde erkek ve dişi tarafta olan iki ayrı ısı geçişinin yerini, tek yönlü ısı geçişi alması durumunda sürenin uzayacağına araştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Tek yönlü ısı geçişinde soğutma süresinin, parçanın şuan bulunduğu et kalınlığının iki katı miktarda et kalınlığında soğutmasına eş değer olduğuna ulaşılmıştır ve örnek ürün üzerinde bu bilgiler uygulanıp analizle karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda bu yaklaşımın tek komponentli bir ürünün kalıplanmasında, çift komponentli kalıplamanın da sadece ilk istasyonunda uygulanabilir olduğu elde edilmiştir. Bu sonuç teorisinin pratikle desteklendiği göstermiştir. Ön şekillenmiş plastik ürün üzerine yapılan çok komponentli enjeksiyon işleminin ikinci enjeksiyon istasyonunda ise plastik ürünün yalıtkan etkisi ile sonuç teorik hesaptan farklı çıkmıştır. Çok komponentli kalıplama üretim yönteminde ön şekillendirilmiş plastik parça üzerine yapılan bu enjeksiyon işleminin daha detaylı incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Groover, M. P., Modern İmalatın Prensipleri. Nobel, 260-300, 2015.
- [2] Kamal, M. R., Injection Molding Technology and Fundamentals. Hanser, 7-9, 2009.
- [3] Kafalı M.S., Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [4] Yonghua, C., Yongxiao F., A haptic-based part decomposition method for multi-material product design. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 24:5, 405-415, 2011.
- [5] Banerjee, A.E., Li, X., Fowler, G., Gupta, S. K., Incorporating Manufacturability Considerations During Design Of Injection Molded Multi-Material Objects. Research in Engineering Design, 17:207–231, 2007.
- [6] Goodship, V., Love J.C., Multi-material injection moulding. Rapra Review Report, Volume 13, Number 1, 2002.
- [7] Heim, H.P., Special Injection Molding Techniques. Elsevier, 21-48, 2015.
- [8] Kim K. J., Sabu T., Prosenjit S., Multicomponent Polymeric Materials. Springer Netherlands, 79-109, 2016.
- [9] Pruner, H., Wolfgang, N., Understanding Injection Molds. Hanser, 1-142,2013.
- [10] Bex G. J., Desplentere F., Keyzer J. D., Bael A. V.,Two-component injection moulding of thermoset rubber in combination with thermoplastics by thermally separated mould cavities and rapid heat cycling. Int J Adv Manuf Technol., 92:2599–2607, 2017.
- [11] Gouker, R. M., Gupta, S. K., Bruck, H. A., Holzschuh, T., Manufacturing of multi-material compliant mechanisms using multi-material molding. Int J Adv Manuf Technol. 30: 1049–1075, 2006.
- [12] Banerjee, A. G., Li, X., Fowler, G., Gupta, S. K., Incorporating manufacturability considerations during design of injection molded multi-material objects. Res Eng Design 17:207–231, 2007.

- [13] Kaptı, A.O., Ertekin, E., Acun, İ., Design and Evaluation of a Two-Component 180°-2C-2x8 Plastic Injection Mold. International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology, Dubai, 1-10, 2018.
- [14] Ekici, E., Pazarkaya, İ., Nas, E., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığı. Seçkin Yayıncılık, 21-25, 2016.
- [15] Şahin H., Ko-Enjeksiyon. TurkCADCAM Dergisi, 2008.
- [16] Solidworks Database.
- [17] Menges, G., Michaeli, W., Mohren P., How to Make Injection Molds. Hanser Publishers, 364-369, 2000.
- [18] www.guvenal.net/urun-detay/mtc-maca-tutucu-pimsiz-yuvarlak-tip., Erişim Tarihi: 29.11.2019.
- [19] Hibbeler R. C., Engineering Mechanics Dynamics. Pearson, 3-115, 2010.
- [20] <https://www.guvenal.net/urun-detay/hafif-yuklu-yesil-yay-yuvarlak-kesit.>, Erişim Tarihi: 29.11.2019.
- [21] Bryce D.M., Plastic Injection Molding, 3.cilt. Society of Manufacturing Engineers, 121-135, 1998.
- [22] Chen S.C., Turn, L.S., Advanced Injection Molding Technologies. Hanser Publications, 1-15, 2019.
- [23] Kazmer, D.O., Injection Mold Design Engineering. Hanser Publications, 197-288, 2016.
- [24] Serway, R.A., Jewett, J.W., Physics for Scientists and Engineers. Thomson-Brooks/Cole, 292-335, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra Çelik, 22.08.1995 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2013 yılında Dr. Kemal Naci Ekşi Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.