



**GELENEKSEL VE METAL EKLEMELİ İMALAT
YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN PLASTİK
ENJEKSİYON ÇEKİRDEKLERİ ARASINDAKİ
SOĞUTMA PERFORMANSI KARŞILAŞTIRMASI**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Tuncay USLU

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK**

**GELENEKSEL VE METAL EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİYLE
ÜRETİLEN PLASTİK ENJEKSİYON ÇEKİRDEKLERİ ARASINDAKİ
SOĞUTMA PERFORMANSI KARŞILAŞTIRMASI**

Tuncay USLU

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2024**

Tuncay USLU tarafından hazırlanan “GELENEKSEL VE METAL EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN PLASTİK ENJEKSİYON ÇEKİRDEKLERİ ARASINDAKİ SOĞUTMA PERFORMANSI KARŞILAŞTIRMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK
Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/01/2024

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÖZMEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN (KTUN)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tuncay USLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GELENEKSEL VE METAL EKLEMELİ ÜRETİM YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN PLASTİK ENJEKSİYON ÇEKİRDEKLERİ ARASINDAKİ SOĞUTMA PERFORMANSI KARŞILAŞTIRMASI

Tuncay USLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK

Ocak 2024, 78 sayfa

Seri imalat metotlarından birisi olan plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde soğutma verimliliği, maliyeti ve parça kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Bu çalışmada, losyon pompasının plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçalarından birisi olan stem adlı parça üzerinde çalışılmıştır. Stem parçası, geleneksel imalat yöntemiyle elde edilen çekirdeklerin kullanılması ile üretilmektedir. Stem'e ait üretim süresi, parçanın şekil ve boyutları göz önünde bulundurulduğunda beklenenden fazladır. Soğutma kanalları, dışı kalıp çekirdeği üzerinde yer alan kenar yolluk girişi ve erkek kalıp çekirdeği üzerinde yer alan hareketli maça sebebiyle ürün bölgesinden uzak bir noktada konumlandırılmaktadır. Bu durum üretim süresinin uzun olmasına neden olmaktadır. Soğutma süresini düşürmek amacıyla, erkek ve dışı kalıp çekirdekleri üzerine konformal soğutma kanal tasarımları yapılmıştır. Hazırlanan kanallar için dolmuş analizleri yapılarak etkili soğutmaya sahip kanallar

belirlenmiştir. Konformal soğutma kanalları, geleneksel imalat yöntemiyle üretilemeyeceği için metal eklemeli imalat yönteminden faydalanarak kalıp çekirdekleri üretilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre konformal soğutma kanallarına ait çevrim süresi, geleneksel soğutma kanalı çevrim süresinden %6,16 oranında daha kısadır. Üretim denemelerine göre konformal soğutma kanallarına ait çevrim süresi, geleneksel soğutma kanalı çevrim süresinden %31,74 oranında daha kısadır.

Anahtar Sözcükler : Metal eklemeli imalat, plastik enjeksiyon kalıbı, konformal soğutma kanalları, soğutma performansı

Bilim Kodu : 92901

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COOLING PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN PLASTIC INJECTION CORES PRODUCED BY CONVENTIONAL AND ADDITIVE MANUFACTURING METHODS

Tuncay USLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechatronics Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Kenan IŞIK

January 2024, 78 pages

In plastic injection molding, which is one of the mass production methods, cooling efficiency is a crucial factor influencing cost and part quality. This study focuses on the stem, one of the parts of a lotion pump produced using the plastic injection method. The stem part is manufactured using cores obtained through traditional manufacturing methods. The production time for the stem is higher than expected, considering the shape and size of the part. Cooling channels are positioned away from the product area due to the edge gate entry on the cavity and the movable slider on the core. This positioning contributes to the extended production time. In order to reduce the cooling time, conformal cooling channel designs were developed for core and cavity. Effective cooling channels were determined by conducting filling analyses for the prepared channels. As conformal cooling channels cannot be

produced using traditional manufacturing methods, metal additive manufacturing was employed to produce the mold cores.

According to the analysis results, the cycle time for conformal cooling channels is approximately 6.16% shorter than that of traditional cooling channels. In production trials, the cycle time for conformal cooling channels is approximately 31.74% shorter than that of traditional cooling channels.

Key Word : Additive manufacturing, machining, conformal cooling channels, cooling performance

Science Code : 92901

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması için kalıp çekirdeklerinin hazırlanması ve üretim denemelerinin gerçekleştirilmesinde desteğini esirgemeyen Şekeroğlu Kimya ve Plastik A.Ş ailesine, teknik müdürüm Serdar NAR'a, CAM uzmanı Hasan KIZILTAN'a ve analiz mühendisi Fatih KELEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Moldex3D analiz eğitimi ve destekleri için Insource Yazılım kurucusu, Onur ALPAY'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme hiçbir manevi yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
KAVRAMSAL TEMELLER	4
2.1. PLASTİKLER	4
2.1.1. Plastiklerin Sınıflandırılması	4
2.1.1.1. Termosetler	6
2.1.1.2. Termoplastikler	6
2.1.1.3. Elastomerler	7
2.2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI.....	7
2.2.1. Kalıp Boşluğu	8
2.2.2. Erkek Kalıp	8
2.2.3. Dişi Kalıp.....	9
2.2.4. Maçalar	10
2.2.5. İtici Sistemi.....	10
2.3. PLASTİK ENJEKSİYON YOLLUK TİPLERİ.....	11
2.3.1. Soğuk Yolluk Sistemi	12
2.3.2. Sıcak Yolluk Sistemi	13

	<u>Sayfa</u>
2.3.3. Yarı Sıcak Yolluk Sistemi	14
2.3.4. Kenar Giriş Yolluk Sistemi	15
2.4. KALIP SOĞUTMASI	16
2.4.1. Soğutma Kanalı Yapısı	16
2.4.2. Geleneksel Soğutma Kanalları	17
2.4.3. Konformal Soğutma Kanalları	20
2.5. PLASTİK ENJEKSİYON KALIP İMALATI	23
2.5.1. Geleneksel İmalat Metodu ile Kalıp Çekirdeği İmalatı	23
2.5.2. Metal Eklemeli Üretim Metodu ile Kalıp Çekirdeği İmalatı	25
2.6. ENJEKSİYON MAKİNESİ	25
2.6.1. Enjeksiyon Ünitesi	26
2.6.2. Mengene Kapama Ünitesi	27
2.6.2.1. Çıkarma / İtici Ünitesi	28
2.6.3. Kontrol Ünitesi	28
2.7. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ	29
2.7.1. Kalıbın Kapatılması	29
2.7.2. Enjeksiyon	30
2.7.3. Ütüleme	30
2.7.4. Soğutma	30
2.7.5. Kalıptan Çıkarma	30
BÖLÜM 3	32
MATERYAL ve YÖNTEM	32
3.1. PARÇA TASARIMI ve ÖZELLİKLERİ	32
3.2. ÇEKİRDEK TASARIMI ve YAPISI	34
3.3. GELENEKSEL SOĞUTMA KANALI TASARIMI	35
3.4. GELENEKSEL İMALAT YÖNTEMİ ile ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ ...	36
3.5. KONFORMAL SOĞUTMA KANALI TASARIMI	36
3.6. METAL EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ ile ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ	37
3.7. KALIP TASARIMI	39
3.8. DOLUM ANALİZLERİ	44
3.8.1. Geleneksel Soğutma Kanallarına Sahip Kalıp Analizi	44

	<u>Sayfa</u>
3.8.2. Konformal Soğutma Kanallarına Sahip Kalıp Analizi	48
3.9. ENJEKSİYON ve AYARLARI	52
3.10. PARÇA ve KALIP SICAKLIKLARI ÖLÇÜMLERİ	54
3.11. PARÇA ÖLÇÜMLERİ	54
3.12. PARÇA AĞIRLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ	55
BÖLÜM 4	56
BULGULAR ve TARTIŞMA	56
4.1. KONFORMAL SOĞUTMA KANALI TASARIM METODU	56
4.2. KONFORMAL SOĞUTMA KANALLI ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ ...	56
4.3. ANALİZ SONUÇLARI	57
4.4. DENEYSEL SONUÇLAR	64
BÖLÜM 5	67
SONUÇ	67
KAYNAKLAR	69
EK AÇIKLAMALAR A.	73
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bağ yapılarına göre plastikler.	5
Şekil 2.2. Termoplastikler.	6
Şekil 2.3. Baret kalıbı.	8
Şekil 2.4. Temsili erkek kalıp tasarımı.	9
Şekil 2.5. Temsili dişi kalıp tasarımı.	9
Şekil 2.6. Kam mili ile hareket eden temsili maça tasarımı.	10
Şekil 2.7. İtici pimler.	11
Şekil 2.8. Yolluk burcuna ait kesit resmi.	12
Şekil 2.9. Dağıtım kanal formları: tam daire, parabolik, yamuk, geniş yamuk, yarım çap, çeyrek çap.	12
Şekil 2.10. Giriş şekilleri.	13
Şekil 2.11. Sıcak yolluk örneği.	14
Şekil 2.12. Yarı sıcak yolluk sistemi örneği.	15
Şekil 2.13. Kenar yolluk giriş örneği.	15
Şekil 2.14. Kanal çapı, kanallar arası mesafe ve ürün yüzeyine olan mesafe.	16
Şekil 2.15. Paralel bağlı soğutma kanalları.	17
Şekil 2.16. Seri bağlı soğutma kanalları.	18
Şekil 2.17. a) Düz parçaya ait soğutma kanalları b) Yüksek parçaya ait soğutma kanalları.	18
Şekil 2.18. a) Kalıp yüzeyi delmeli b) Açılı delikler c) Perde ile ayrılmış delikler... ..	19
Şekil 2.19. İskele soğutma kanalları.	20
Şekil 2.20. Voronoi soğutma kanalları.	21
Şekil 2.21. Zigzag soğutma kanalları.	21
Şekil 2.22. Spiral soğutma kanalları.	22
Şekil 2.23. Soğutma kanalı kesit formları.	23
Şekil 2.24. a) Kalıpcı frezesi b) CNC Freze c) CNC freze d) CNC torna e) Sabit matkap.	24
Şekil 2.25. a) Lezer sinterleme yöntemi b) Galvo tarayıcı.	25

Sayfa

Şekil 2.26. Enjeksiyon üniteleri.	26
Şekil 2.27. Vidalı mil.	27
Şekil 2.28. Hidrolik mengene kapama ünitesi.	27
Şekil 2.29. İtici ünitesi.	28
Şekil 2.30. Kontrol paneli.	29
Şekil 2.31. a) İtici ile parça çıkarma b) Sıyırıcı ile parça çıkarma.	31
Şekil 3.1. a) Losyon pompası b) Stem plastik parça.	32
Şekil 3.2. Stem'e ait kalınlık raporu.	33
Şekil 3.3. Sıcak yolluk ve çekirdeklerin yerleşimi.	34
Şekil 3.4. Erkek kalıp çekirdeği ve sıcak yolluk kenar giriş bölgesi.	34
Şekil 3.5. Dişi kalıp çekirdeği ve hareketli maça.	35
Şekil 3.6. Geleneksel soğutma kanalları.	35
Şekil 3.7. a) Yuvarlak çelik testeresi b) DMG Mori NLX 2500 / 700 CNC torna c) Supertech PL-1224NC taşlama.	36
Şekil 3.8. Konformal soğutma kanalı tasarımı.	37
Şekil 3.9. Metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen kaba çekirdekler.	38
Şekil 3.10. Metal eklemeli imalat ile üretilen finiş çekirdekler.	38
Şekil 3.11. Husky kenar giriş sıcak yolluk sistemi.	39
Şekil 3.12. a) Sabit kalıp çekirdek yerleşimi b) Hareketli kalıp çekirdeği ve maça yerleşimi.	40
Şekil 3.13. Kalıp yarımları ve yardımcı elemanlar.	41
Şekil 3.14. Pim merkezlemesi.	42
Şekil 3.15. a) İtici merkezli b) İtici 2,5 mm geride c) İtici 2,5 mm geride.	42
Şekil 3.16. a) Hareketli maçanın konumu b) Maça ve silindir başlı iticinin hareketi.	43
Şekil 3.17. Boru itici ile stem'in kalıptan çıkarılması.	43
Şekil 3.18. a) Geleneksel yapı b) Konformal yapı.	44
Şekil 3.19. Sıcak yolluk ve soğutma kanalı çaplarının tanımlanması.	45
Şekil 3.20. Yolluk giriş noktasının tanımlanması.	46
Şekil 3.21. Soğutma kanalı giriş ve çıkışlarının tanımlanması.	46
Şekil 3.22. a) Mesh yapısı b) BLM örneği.	47
Şekil 3.23. Proses ayarları.	48

Sayfa

Şekil 3.24. Sıcak yolluk ve soğutma kanalı çaplarının tanımlanması.....	49
Şekil 3.25. Yolluk giriş noktasının tanımlanması.	49
Şekil 3.26. Soğutma kanalı giriş ve çıkışlarının tanımlanması.	50
Şekil 3.27. Mesh yapısının oluşturulması.	50
Şekil 3.28. Proses ayarları.....	51
Şekil 3.29. Enjeksiyon mengenesi ölçüleri.	53
Şekil 3.30. Cem DT-820V lazerli termometre.	54
Şekil 3.31. Mitutoyo CMM cihazı.	55
Şekil 3.32. WL 6002 hassas terazi.	55
Şekil 4.1. Metal eklemeli çekirdeklere ait dolum süresi.	57
Şekil 4.2. Geleneksel soğutma kanalına ait sıcaklık dağılım grafiği.	58
Şekil 4.3. Konformal soğutma kanalına ait sıcaklık dağılım grafiği.....	59
Şekil 4.4. Geleneksel soğutma kanallarına ait çekirdek yüzeyi sıcaklık dağılımı.	59
Şekil 4.5. Konformal soğutma kanallarına ait çekirdek yüzeyi sıcaklık dağılımı.	60
Şekil 4.6. Geleneksel soğutma kanalları için “Molten Core” sonuçları.....	61
Şekil 4.7. Konformal soğutma kanalları için “Molten Core” sonuçları.	61
Şekil 4.8. a) Geleneksel soğutma kanalına ait ısı akışı b) Konformal soğutma kanalına ait ısı akışı.....	62
Şekil 4.9. Geleneksel soğutma kanallı stem’e ait maksimum sıcaklık dağılımı.	63
Şekil 4.10. Konformal soğutma kanallı stem’e ait maksimum sıcaklık dağılımı.	63
Şekil 4.11. a) Geleneksel soğutma kanallı parçaya ait çarpılma dağılımı b) konformal soğutma kanallı parçaya ait çarpılma dağılımı.....	64
Şekil 4.12. a) Geleneksel soğutma kanalları ile soğutulan stem b) Konformal soğutma kanalları ile soğutulan stem.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Plastik parçanın cidar kalınlığına bağılı olarak kanal çapları.	16
Çizelge 3.1. Hammadde özellikleri.	33
Çizelge 3.2. Hammadde özellikleri.	47
Çizelge 3.3. Hammadde özellikleri.	51
Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesi parametreleri.	52
Çizelge 3.5. Enjeksiyon parametreleri.	53
Çizelge 4.1. Kalıp çekirdeklerine ait yaklaşık maliyet değerleri.	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H	: Hidrojen
C	: Karbon
O	: Oksijen
N	: Azot
±	: Artı Eksi
%	: Yüzde
m	: Metre
j	: Joule
x	: Mesafe, mm
y	: Mesafe, mm
d	: Kanal çapı
a	: Kanal-kalıp yüzey arası mesafe, mm
b	: Kanal-kanal arası mesafe, mm
Ø	: Çap

KISALTMALAR

CMM	: Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçüm Makinesi)
CNC	: Computer Numeric Control (Bilgisayar Nümerik Kontrol)
EP	: Epoksi Reçine
ABS	: Akrilonitril-Bütadien Stiren
PC	: Polikarbonat
PA	: Poliamid
PVC	: Polivinilklorür
PBT	: Polibutadien Tereftalat
PE	: Polietilen
PET	: PoliEtilenTerephalat
PS	: Polistiren
PP	: Polipropilen
POM	: PoliOksiMetilen
HRC	: Hardness Rockwell Scale (Rockwell Sertlik Ölçeği)
SG4	: Side Gates 4 (Kenar Giriş 4)
MM	: Milimetre
°C	: Santigrat Derece
CM ²	: Santimetre Kare
SN	: Saniye
KG	: Kilogram
GR	: Gram
DK	: Dakika
DMLS	: Direct Metal Laser Sintering (Doğrudan Metal Lazer Sinterleme)
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
H13	: Kalıp Çelik Kodu
BLM	: Boundary Layer Mesh (Sınır Katman Ağı)
3D	: 3 Dimensions (3 Boyutlu)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Plastikler, maliyet ve performans açısından optimum özelliklere sahip ürünler olarak ön plana çıkmıştır. Son yüzyılda metal, ahşap ve cama alternatif olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise plastik kullanımı, metallere sonra ikinci sırada yer almaktadır. Plastiklerin gıda, inşaat, tekstil, mobilya, otomotiv, tıp, uzay ve havacılık sektörlerinde kullanımı oldukça yaygındır [1].

Plastikler, sahip olduğu düşük ergime sıcaklığı ve maliyetleri sayesinde diğer malzemelere göre daha fazla tercih edilmektedirler. Düşük ergime sıcaklığı sayesinde kendisinden daha yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemeler için de form verilerek seri üretimi yapılmaktadır. Başlıca seri imalat yöntemlerine örnek olarak; şişirme, rotasyon, vakum, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metotları gösterilebilir [2].

Plastik enjeksiyon kalıplama metodu diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilen yöntemlerden birisidir. Bu yöntemin daha çok tercih edilmesinin sebebi elde edilen ürünlerin ikinci bir işleme gereksinim duymadan kullanılabilir olmasından kaynaklanmaktadır [3].

Enjeksiyon kalıplama yönteminde kalıp sabit ve hareketli olmak üzere iki yarımdan oluşmaktadır. Kalıplama yöntemi, ergiyik plastiğin yüksek basınç altında kalıp içine enjekte edilmesi, plastik parçanın kalıp çıkarma sıcaklığına kadar soğutulması ve kalıptan çıkarılması aşamalarından oluşmaktadır. Plastiğin eritilmesi ve yüksek basınç ile kalıp içine enjekte edilmesini enjeksiyon makinesi sağlar. Enjeksiyon makinesinin hız, basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerinin ayarlanması ile plastik parçaların seri üretimi yapılmaktadır.

Ergiyik plastiğin, enjeksiyon makinesinden kalıp boşluğuna taşınmasında yolluk adı verilen kanallar görev almaktadır. Yolluk yapısı, soğuk yolluk ve sıcak yolluk olarak ikiye ayrılır. Soğuk yolluk yapısına sahip kalıpta, yolluk yan ürün olarak ortaya çıkar ve tekrar geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Geri dönüşüm ise beraberinde ek maliyet oluşturmaktadır. Sıcak yolluk sistemi ise yan ürün oluşturmaz. Sıcak yolluk sistemlerinde boru etrafına sarılmış rezistanslar bulunmaktadır ve plastik, boru boyunca sürekli ısıtılarak taşınır. Sıcak yolluk sistemlerinde, ürün boyutu ve şekline bağlı olarak farklı giriş tipi ve sistemler kullanılır [4].

Sıcak yolluk sistemleri açık uçlu ve iğneli olarak ikiye ayrılır. Açık uçlu sıcak yolluk sisteminde plastik ile ürün bölgesini birbirinden ayıran bir ayırıcı bulunmamaktadır. İğneli sıcak yolluk sisteminde ise iğne, yolluk ve ürün bölgesini birbirinden ayırarak sıcak yolluk ve plastik parça arasında oluşabilecek, istenmeyen yapıların önüne geçer.

Açık uçlu sıcak yolluk sistemlerinden birisi olan kenar giriş yönteminde ana kol 2 veya 4'e bölünerek ürün boşluğuna açılır. Kenar giriş yolluk, küçük çap ve gramaja sahip ürünlerde genellikle tercih edilir [5].

Plastik enjeksiyon ile seri üretim yöntemi dolun, ütüleme, soğutma ve kalıptan çıkarma aşamalarından oluşur [6]. Dolun aşamasında eriyik haldeki plastik yolluk sistemi ile kalıp boşluğu içine doldurulur. Ütüleme aşamasında eriyik haldeki plastik ile dolu olan kalıp boşluğuna uygulanan basınç kademeli olarak düşürülür. Soğutma aşamasında ise katılma safhasında olan plastik parça kalıptan çıkarma sıcaklığına getirilir ve son olarak ürün kalıptan çıkarılır. Aşamaların arka arkaya gerçekleştirilmesi ile seri üretim süreci devam eder.

Plastik enjeksiyon yönteminde, en uzun süreyi soğutma aşaması oluşturmaktadır [7]. Bu aşamanın uzun olması birim ürünün imalat süresini etkiler. Aynı zamanda soğutma süresi parça üzerindeki çarpılma ve ölçü toleransına etki etmektedir. Sağlıklı üretim ve kaliteli ürünler elde etmek amacıyla optimum soğutma süresine ihtiyaç duyulur. Üretim süresinin minimum seviyeye düşürülebilmesi için soğutma

verimliliğinin yüksek olması ve soğutmanın homojen bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Soğutma kanalları talaşlı imalat yöntemlerinden birisi olan matkap ile delik delme işlemiyle oluşturulur [8]. Soğutma sıvısının kanallar içindeki akışı ile kalıp üzerindeki ısı kalıp dışına taşınarak soğutma sağlanır. Delik delme işlemiyle oluşturulan kanalların, girift geometriye sahip parçalar üzerinde homojen bir şekilde yerleştirilmesi mümkün değildir. Delikler bazı bölgelerde parçaya daha yakın, bazı bölgelerde ise parçaya uzak bir noktada yer almaktadır. Bunun yanında sıcak yolluk sistemlerinden biri olan kenar giriş tipinin kalıp için kullanılması durumunda, soğutma kanallarının ürün bölgesine yakın bir konuma yerleştirilmesi daha zordur. Bu durum soğutma verimliliğini olumsuz etkiler.

Kalıp boşluğunun homojen ve etkili soğutulabilmesi için şekil uyumlu soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalıp boşluğu yüzeyini paralel olarak takip eden kanallar sayesinde soğutma performansı artırılabilir, fakat kalıp imalatçıları için kalıp yüzeyini takip eden soğutma kanallarının oluşturulması önemli sorunlardan birisidir.

Bu çalışmada, kenar yolluk girişine sahip plastik enjeksiyon çekirdekleri için şekil uyumlu soğutma kanal tasarımları yapılmıştır. Optimum soğutma kanalları, analiz yazılımı ile test edilerek belirlenmiş ve belirlenen soğutma kanallarına sahip çekirdekler metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiştir. Geleneksel ve şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon çekirdekleri ile seri üretim yapılarak soğutma kanallarının toplam üretim süresine olan etkisi gözlemlenmiştir.

Şekil uyumlu soğutma kanallarının soğutma performansının geleneksel soğutma kanallarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sayede şekil uyumlu soğutma kanalları ile toplam üretim süresi kısaltılmıştır. İki farklı soğutma kanallarına sahip çekirdeklerden üretilen parçalar CMM cihazı ile ölçülmüş ve kısa soğutma süresine rağmen şekil uyumlu soğutma kanallı çekirdeklerden elde edilen plastik parçaların ölçülerinin belirlenen tolerans değerleri içinde olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2

KAVRAMSAL TEMELLER

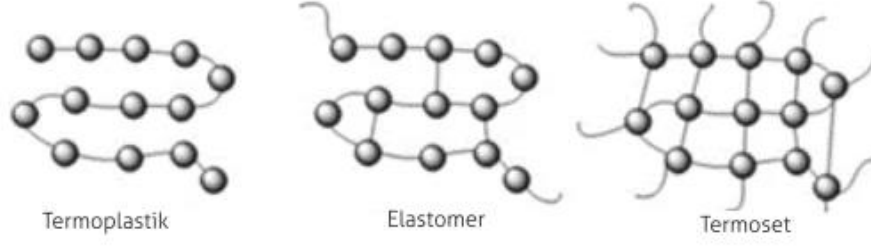
2.1. PLASTİKLER

Seri üretime uygunluğu, ucuzluğu, korozyona karşı dirençli olması, yoğunluğunun düşük olması, ve ısı ve elektriğe karşı yalıtım göstermesi sebebiyle hayatımızın her noktasında plastiklere rastlamak mümkündür. Yaygın olarak ambalaj sektörüne öncülük eden plastikler otomotiv, medikal, uzay ve havacılık sektörlerinde de kullanılmaktadır [1].

Plastikler, makro moleküllerden oluşan polimerlerdir ve temel olarak karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azottan (N) oluşurlar. Elementlerin oluşturduğu basit yapılara monomer ve monomerlerin bir araya gelerek oluşturduğu yapıya ise polimer ismi verilir. Plastikler, petrol, doğalgaz ve selüloz gibi organik maddelerden elde edilir [9].

2.1.1. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler, termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç sınıfa ayrılır. Sınıflandırma, Şekil 2.1’de görülen molekül yapılarına ve bağlanma şekillerine göre yapılır.



Şekil 2.1. Bağ yapılarına göre plastikler [6].

2.1.1.1. Termosetler

Bir kez ısıtıldıktan sonra kimyasal yapıları bozulduğu için tekrar eritilemezler. Isıtıldıklarında yanarak kömürleşir; dolayısıyla sıcaklıkla yumuşamazlar. Isıtılmaları esnasında kovalent çapraz bağlar oluşur. Kovalent bağ, eğilme ve dönme hareketlerini engelleyerek daha sert ve gevrek bir yapının oluşmasını sağlar [10]. Termosetlere bazı örnekler aşağıda yer almaktadır.

- EP (Epoksi Reçine)
- Fenolikler
- Polyester
- Poliüretan

2.1.1.2. Termoplastikler

Termoplastikler ısıtıldığında eriyen ve soğutulduğunda tekrar katılaştıran plastik grubuna verilen addır. Belirli basınç ve sıcaklık altında şekil alabilirler. Tekrar şekillenme esnasında hiçbir kimyasal değişim gerçekleşmez. Bu özellikleri sayesinde geri dönüştürülebilir ve endüstride çokça tercih edilir. Genel olarak çekme dayanımları düşük, sertlik ve çarpma dayanımları yüksektir [11]. Şekil 2.2’de farklı termoplastik çeşitleriyle üretilmiş parçalar yer almaktadır.



Şekil 2.2. Termoplastikler [12].

Termoplastik hammadde çeşitlerine ait bazı örnekler aşağıda yer almaktadır [13].

- ABS (Akrilonitril-Bütadien Stiren)
- PC (Polikarbonat)
- PA (Poliamid)
- PVC (PoliVinilKlorür)
- PBT (Poli Butadien Tereftalat)
- PE (Polietilen)
- PET (PoliEtilenTerephalat)
- PS (PoliStiren)
- PP (PoliPropilen)
- POM (PoliOksiMetilen)

2.1.1.3. Elastomerler

Elastomerler zayıf çapraz bağlara sahiptir. Esneklikleri oldukça yüksektir. Termoplastiklere göre sert, termosetlere göre yumuşaktır. Termosetlerde olduğu gibi ısıtıldıklarında ergimezler.

2.2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI

Kalıplar yüksek adetli üretimler için çelikten imal edilir. Prototip veya deneme kalıpları çelik dışı malzemelerden de üretilebilir. Yüksek adetli üretimler için yumuşak çelik işlenir daha sonra ısıl işlem ile 50 ± 2 HRC (Hardness Rockwell Scale) aralığında sertleştirme işlemine tabi tutulur.



Şekil 2.3. Baret kalıbı [14].

Şekil 2.3'te baret üretimi için kullanılan kalıp gösterilmiştir. Baretin iç tarafı erkek, dış tarafı ise dişi kalıp yarımı ile şekillendirilir. Kalıp boşluğunu oluşturan oyuk ve çıkıntılara sahip çelik yapısı çekirdek olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca çekirdekler dışında kalıbı oluşturan yardımcı kalıp elemanları da bulunmaktadır.

2.2.1. Kalıp Boşluğu

Kalıp boşluğu, seri üretimi yapılmak istenen parçaya ait geometriden oluşur. Esas parçadan tek farkı, plastiğin çekme oranı göz önüne alınarak parça geometrisinden daha büyük ölçülerde hazırlanır.

2.2.2. Erkek Kalıp

Erkek kalıp, üretilecek parçanın iç kısımlarını veya oyuklarını oluşturur. Erkek kısım genellikle enjeksiyon makinesine ait hareketli mengene üzerinde konumlandırılır [15]. Hareketli mengene tarafında itici sistemi yer alır. Böylece üretim çevrimi sonunda erkek kalıp üzerinde kalan parça itici sistemi ile çıkartılır. Bu durumun

istisnaları mevcuttur fakat yaygın olarak erkek kalıp hareketli mengene üzerinde yer alır. Şekil 2.4'te mavi renk ile erkek kalıp, turuncu renk ile ürün gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Temsili erkek kalıp tasarımı.

2.2.3. Dişi Kalıp

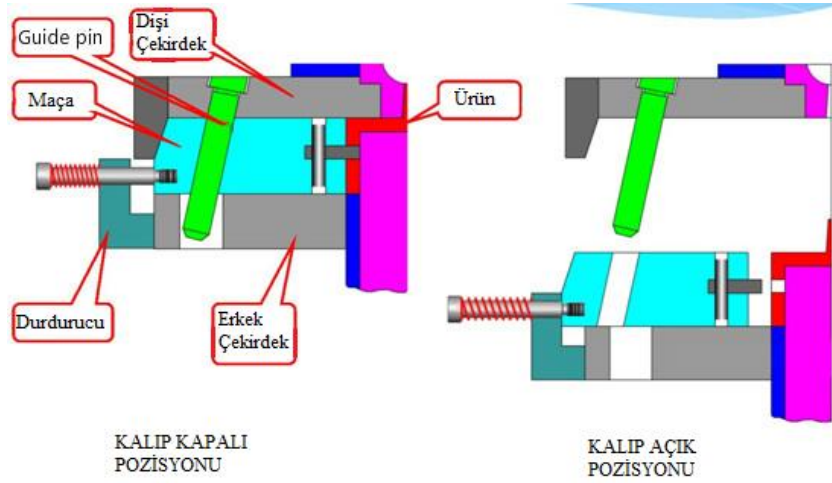
Dişi kalıp boşluğu genellikle parçanın dış kısımlarını oluşturur. Dişi kalıp, enjeksiyon makinesinin sabit mengenesi üzerine konumlandırılır [15]. Şekil 2.5'te mavi renk ile dişi kalıp, turuncu renk ile ürün gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Temsili dişi kalıp tasarımı.

2.2.4. Maçalar

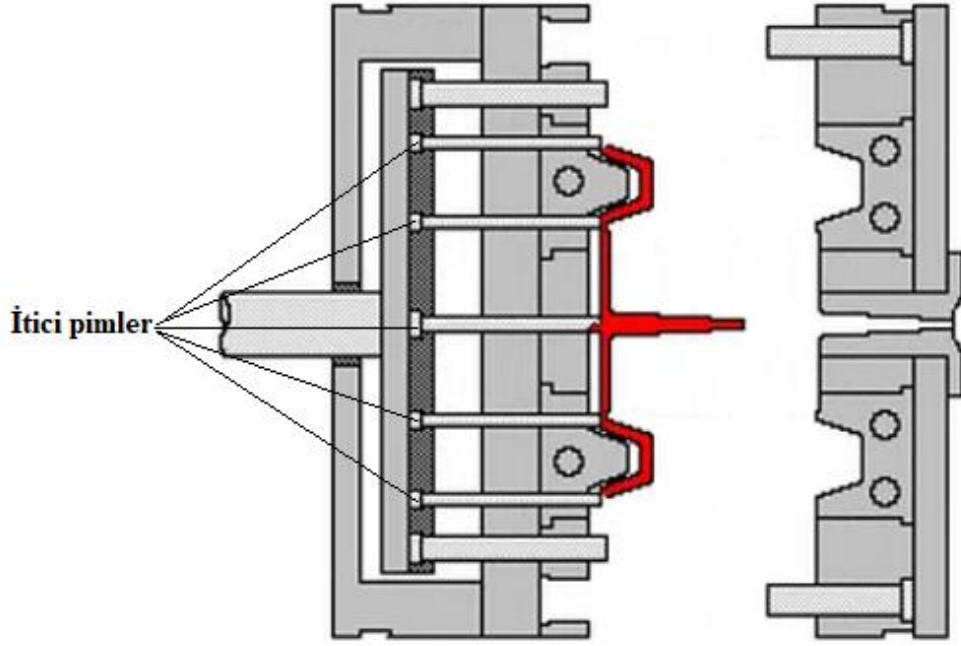
Maçalar, erkek ve dişi kalıp dışındaki oyuk, diş, vb. boşlukların oluşturulmasını sağlayan hareketli kalıp parçalarıdır. Maçalar da tıpkı çekirdekler gibi çelikten imal edilir. Hareketlerini kam mili, hidrolik veya pnömatik pistonlardan alırlar. Şekil 2.6’da kam mili ile hareketi sağlanan maça örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kam mili ile hareket eden temsili maça tasarımı [16].

2.2.5. İtici Sistemi

İtici sistemi, çevrim sonrası genellikle erkek çekirdek üzerinde yer alan plastik ürünü çekirdekten ayırmak için kullanılır. Şekil 2.7’de itici pimler gösterilmiştir. Şekildeki itici pimler, enjeksiyon makinesinin itici ünitesinden tahrik alarak ürünü kalıptan çıkarır.



Şekil 2.7. İtici pimler [17].

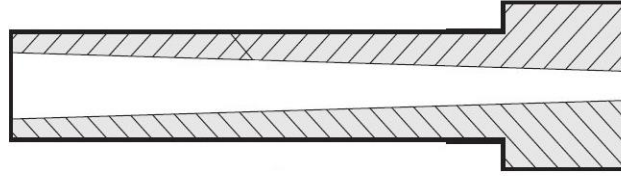
2.3. PLASTİK ENJEKSİYON YOLLUK TİPLERİ

Üretim için kullanılacak hammaddenin ergitilmesinden sonra, kalıp boşluğuna iletilmesini sağlayan sisteme yolluk denir. Yolluklar genel olarak soğuk, sıcak ve yarı sıcak olarak sınıflandırılır. Soğuk yolluklar daha basit yapıya sahiptir ve genellikle kalıp çeliği üzerine açılan delikler veya kanallar aracılığıyla oluşturulur. Yolluk içindeki plastiğin katılaşması ve ürün ile kalıptan uzaklaştırılması sebebiyle soğuk yolluk olarak adlandırılır. Rezistans ile ısıtılan ve yan ürün oluşturmayan yolluk türüne ise sıcak yolluk adı verilir. Hem rezistans ısıtmalarına sahip hem de yolluğun kalıptan uzaklaştırıldığı yolluk türüne ise yarı sıcak yolluk adı verilir.

2.3.1. Soğuk Yolluk Sistemi

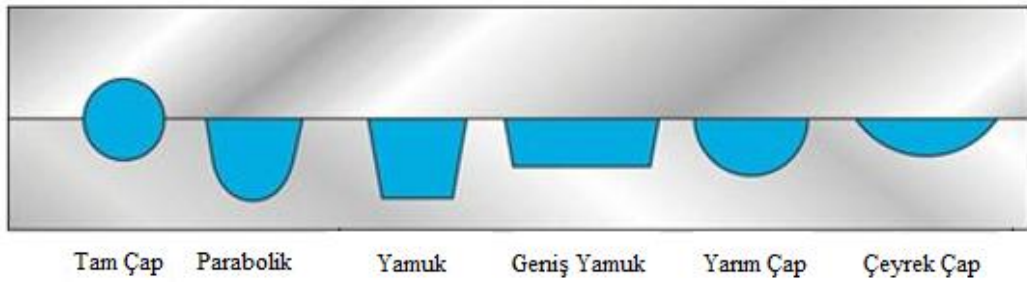
Soğuk yolluk yan ürün olarak kalıptan uzaklaştırılır. Soğuk yolluk sisteminin başlangıç maliyeti düşüktür fakat yüksek üretim adetlerinde toplam maliyeti artırmaktadır.

Soğuk yolluk sisteminde ergiyik plastik, kesit resmi Şekil 2.8'deki görülen ve yolluk burcu adı verilen, içi 1,5°'lik bir açığa sahip taşlanmış bir kanaldan kalıp boşluğuna ulaşır. Çok gözlü bir kalıpta ise ergiyik plastik dağıtıcı kanallar aracılığıyla kalıp boşluğuna ulaşır.



Şekil 2.8. Yolluk burcuna ait kesit resmi [18].

Dağıtıcı kanallar ise kalıp çeliği üzerine oluşturulmaktadır. Kanallar, Şekil 2.9'daki gibi tam çap, parabolik, yamuk, geniş yamuk, yarım çap ve çeyrek çap gibi formlarda oluşturulabilir.



Şekil 2.9. Dağıtım kanal formları: tam daire, parabolik, yamuk, geniş yamuk, yarım çap, çeyrek çap [19].

Dağıtıcı kanalları, yolluk girişi takip eder. Yolluk girişi kanal ve kalıp boşluğu arasındaki bağlantıyı sağlar. Yolluk girişi formları, dağıtıcı kanal formlarından

farklıdır. Yolluk formları, ürün geometrisi ve istenen sonuca bağlı olarak tercih edilir.

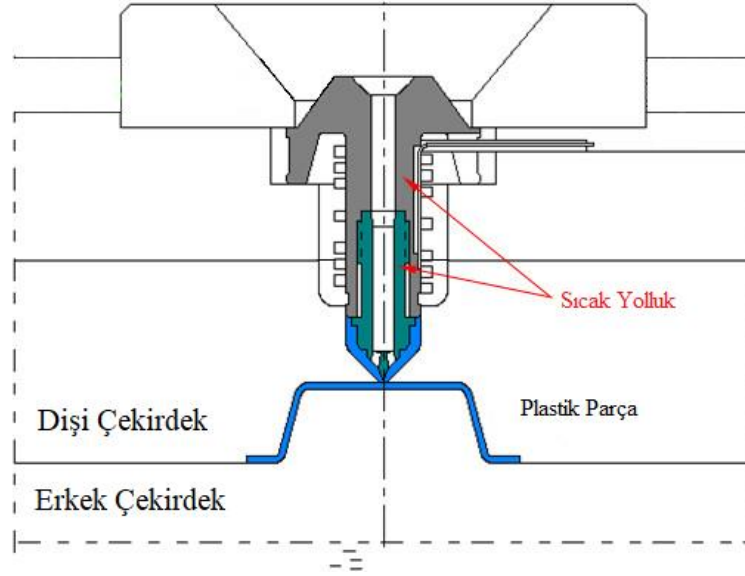
Yolluk girişleri, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi dağıtıcı kanalların ürün üzerinden kolay bir şekilde ayrılmasını ve koparılırken üründe deformasyon oluşmamasını sağlar. Deformasyonu en aza indirmek amacıyla yolluktan ürüne doğru kesiti küçülür.



Şekil 2.10. Giriş şekilleri [20].

2.3.2. Sıcak Yolluk Sistemi

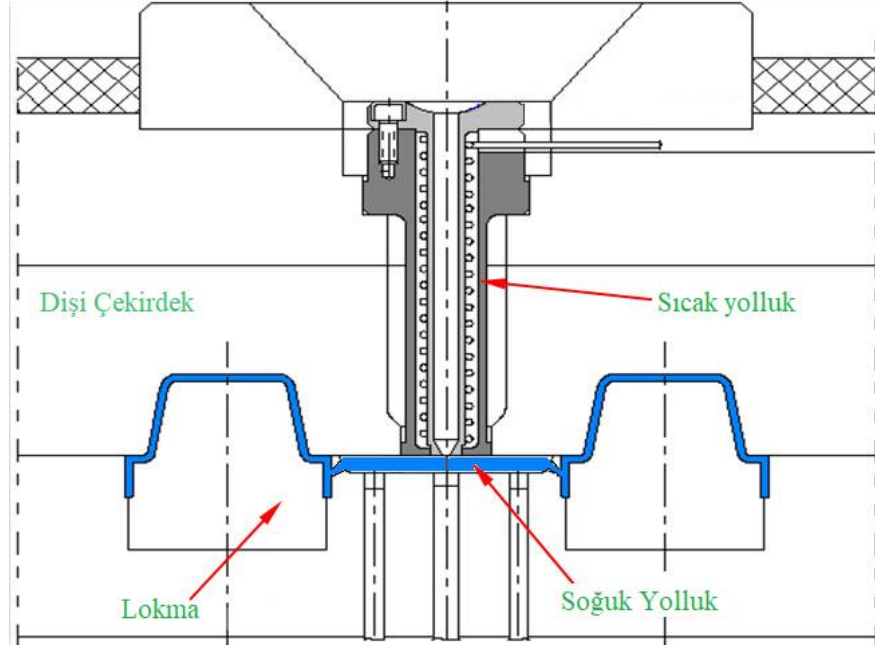
Sıcak yolluk sistemlerinde yan ürün oluşumu gözlemlenmez. Enjeksiyon makinesinden kalıp boşluğuna kadar plastik sıcak bir şekilde taşınır. Sıcak yolluk sistemine ait bir örnek Şekil 2.11'de görülmektedir. Başlangıç maliyetleri yüksek ve bakımı zor olduğu için genellikle yüksek adetli seri üretimler için tercih edilir. Seri üretimi yapılmak istenen parça geometrisine bağlı olarak uygun sıcak yolluk tipi ve giriş şekli belirlenir.



Şekil 2.11. Sıcak yolluk örneği [21].

2.3.3. Yarı Sıcak Yolluk Sistemi

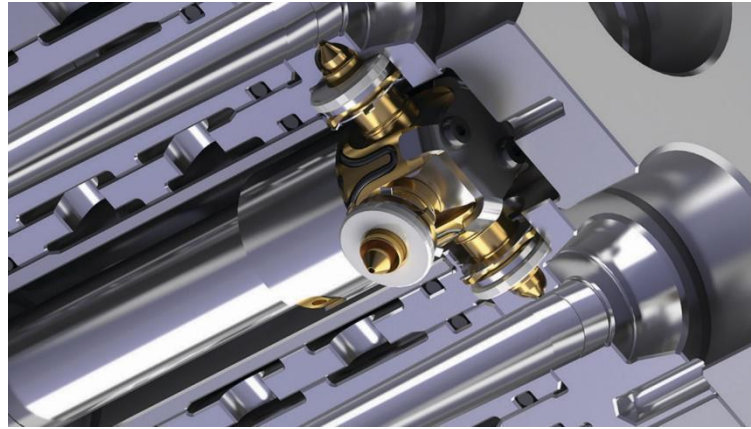
Plastiğin, enjeksiyon makinesinden kalıbın bir bölümüne kadar sıcak yolluk ile ısıtılarak, bir bölümünden sonra ise ısıtılmadan taşınmasına yarı sıcak yolluk adı verilir. Şekil 2.12’de sıcak yolluk ve devamında kalıp yüzeyine oluşturulan soğuk yolluk yer almaktadır. Başlangıç maliyeti tam sıcak yolluk sistemine göre daha düşüktür fakat soğuk yolluk sistemindeki gibi yan ürün oluşumu mevcuttur. Yan ürünlerin, geri dönüştürülmesi sebebiyle toplam maliyeti arttırıcı etkisi bulunmaktadır.



Şekil 2.12. Yarı sıcak yolluk sistemi örneği.

2.3.4. Kenar Giriş Yolluk Sistemi

Kenar giriş yolluk sistemi sıcak yolluk sisteminin bir alt dalı olarak tanımlanabilir. Sıcak yolluktan farklı olarak, kenar giriş yolluk sistemi Şekil 2.13'te görüldüğü gibi 4 kısa ve ince nozula ayrılarak ürün boşluğuna bağlanır, tekli ve çift nozullu sistemlerde mevcuttur. Kenar yolluk tipinde ürünler üzerinde minimum deformasyon oluşur fakat sadece küçük boyutlara sahip ürünlerde uygulanabilirliği mümkündür.



Şekil 2.13. Kenar yolluk giriş örneği [22].

2.4. KALIP SOĞUTMASI

Kalıbın soğutulması en önemli aşamadır. Plastik parçanın maliyetine ve ölçülerine doğrudan etki etmektedir. Genellikle ürün etrafına oluşturulan kanallar sayesinde kalıp boşluğundan ısı emilerek soğutma sağlanır. Plastik parça geometrisine bağlı olarak birbirinden farklı soğutma kanalı tasarım ve sistemleri mevcuttur. Geleneksel ve konformal soğutma kanalları olarak iki başlıkta incelenebilir.

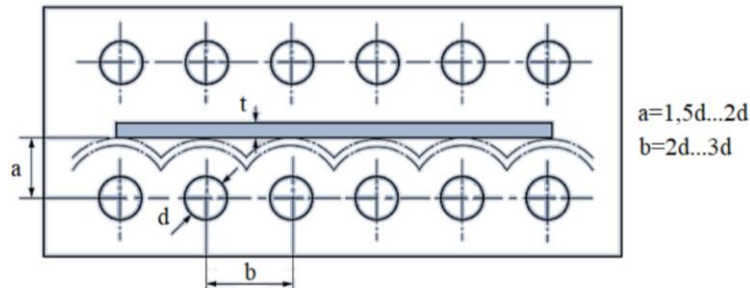
2.4.1. Soğutma Kanalı Yapısı

Genellikle soğutma kanalları talaşlı imalat yöntemlerinden bir tanesi olan matkap ile delik delme yöntemiyle oluşturulur. Açılan delikler matkap formu sebebiyle daireseldir ve bu yöntemle farklı kanal formu oluşturmak mümkün değildir. Kanal çapları plastik parçanın cidar kalınlığına göre belirlenir [23]. Cidar kalınlığına göre kanal çapları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Plastik parçanın cidar kalınlığına bağlı olarak kanal çapları [24].

Cidar Kalınlığı (mm)	Kanal Çapı (mm)
0 – 2	8 – 10
2 – 4	10 – 12
4 – 6	12 – 15

Kanal çapının (d) belirlenmesinden sonra kanalların parça yüzeyine ve birbirine olan mesafeleri belirlenir. Şekil 2.14’te görüldüğü gibi kanalların ürün yüzeyine olan mesafesi (a) kanal çapının 1,5 – 2 katı olarak hesaplanmıştır. Kanallar arası mesafe (b) ise kanal çapının 2 – 3 katı olarak hesaplanmıştır [23].

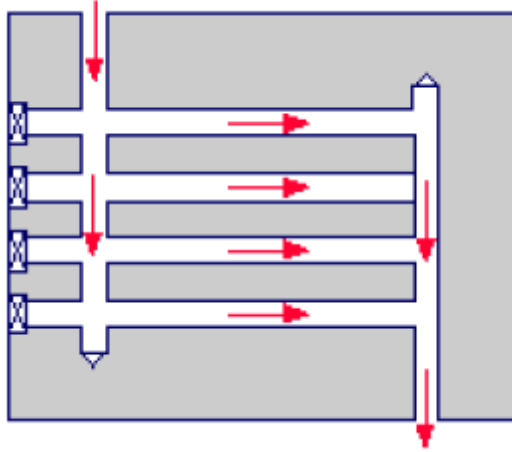


Şekil 2.14. Kanal çapı, kanallar arası mesafe ve ürün yüzeyine olan mesafe.

2.4.2. Geleneksel Soğutma Kanalları

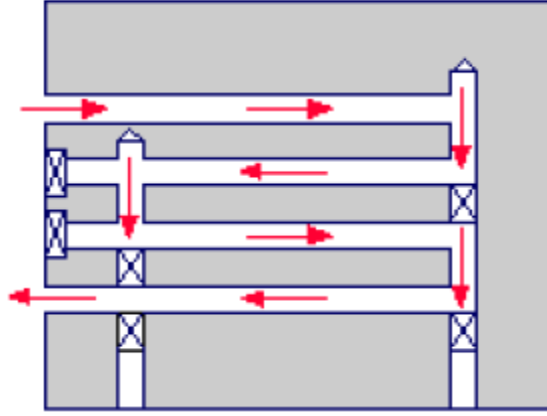
Geleneksel soğutma kanalları talaşlı imalat yöntemlerinden birisi olan delik delme yöntemi ile oluşturulmaktadır. Günümüzde Ø5 mm'den büyük çaplara sahip ve 5 m uzunluğa kadar delikler oluşturmak mümkündür. Tıkaç ve soğutma kavşağı gibi kalıp elemanları ile soğutma sıvısının kalıp içinde akışı yönlendirilir.

Soğutma kanalları paralel ve seri bağlı olarak oluşturulur. Şekil 2.15'te görüldüğü gibi paralel bağlı soğutma kanallarında, soğutma sıvısı birden çok kanala dağılmaktadır. Bu durum soğutma sıvısının hızında düşüşe ve kanallar arasında düzensiz akışa sebep olarak soğutma performansını olumsuz etkilemektedir.



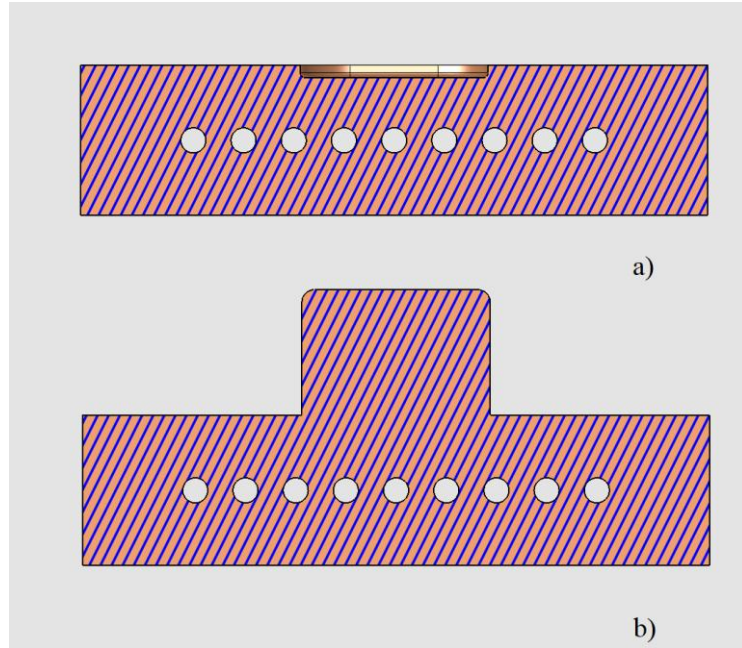
Şekil 2.15. Paralel bağlı soğutma kanalları [25].

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi seri bağlı soğutma kanallarında soğutma sıvısı tek bir kanalı takip etmektedir. Bu durum sabit akış hızı elde etmemizi sağlarken basınç düşüşüne sebep olmaktadır. Ayrıca soğutma işleminin uzun bir soğutma kanalı ile gerçekleştirilmesi durumunda giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark artar, sıcaklık farkı ise homojen olmayan bir soğutmaya neden olur ve bu nedenle soğutma performansını olumsuz etkiler.



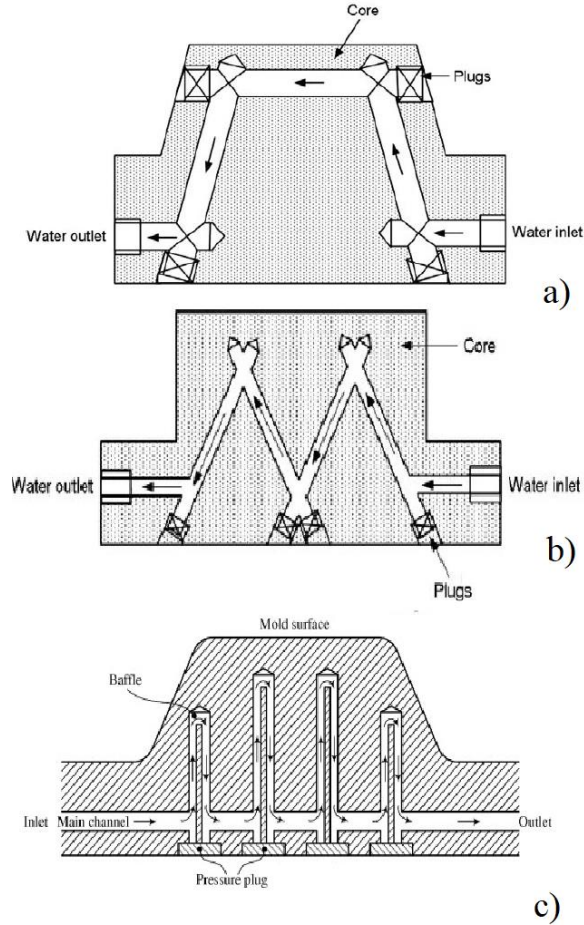
Şekil 2.16. Seri bağlı soğutma kanalları [25].

Paralel ve seri bağlı soğutma kanalları yüksek olmayan plastik parçaların soğutulmasında rahatlıkla kullanılırken parça yüksekliğinin artması durumunda yeterli soğutma verimliliği sağlanamamaktadır. Şekil 2.17 (a)'da düz bir parçaya ait soğutma kanalları uygun bir uzaklıkta yer alırken, Şekil 2.17 (b)'de ise kalıplanan parçanın yüksek olması sebebiyle soğutma kanalları uzak bir noktada yer almaktadır ve bu durum soğutma kalitesini düşürür. Bu durumun önüne geçebilmek için farklı yüksekliğe veya açığa sahip kanallar oluşturulmuştur.



Şekil 2.17. a) Düz parçaya ait soğutma kanalları b) Yüksek parçaya ait soğutma kanalları.

Seri üretimi yapılacak parçanın yüksek olması durumunda Şekil 2.18’de görülen soğutma uygulamaları yapılmaktadır. Şekil 2.18 (a)’da yer alan soğutma kanalları, ürün yüzeyine açılan delikler ve bu deliklerin bakır tıplarla kapatılmasından oluşmaktadır. Kapatma sırasında uygulanan kuvvet nedeniyle delik başlangıcında yüksek stresler oluşarak zamanla kanalın çatlamasına neden olur. Ayrıca bu yöntem, kanal bakımını ve temizliğini zorlaştırmaktadır. Şekil 2.18 (b)’de yer alan soğutma kanalları açılı bir şekilde üçgen formunda birbirine bağlanmıştır. Birleşme noktalarında kanallar arası mesafenin fazla olması sebebiyle soğutma verimi düşüktür. Şekil 2.18 (c)’de yer alan soğutma sisteminde bir kanalı ikiye ayıracak şekilde sac vb. plakalar kullanılarak kanal üzerinde farklı akış yönlerine sahip soğutma sıvısı akışı sağlanır. Sac vb. plakaların keskin dönüşler oluşturması sebebiyle soğutma hızında düşüş meydana gelmektedir.



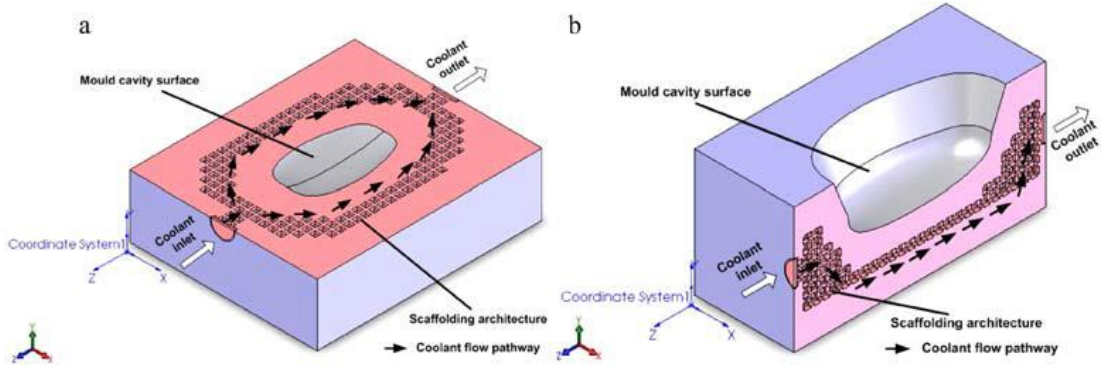
Şekil 2.18. a) Kalıp yüzeyi delmeli [26] b) Açılı delikler [26] c) Perde ile ayrılmış delikler [27].

2.4.3. Konformal Soğutma Kanalları

Gelişen teknoloji ile eklemeli imalat yöntemi plastik enjeksiyon kalıpcılığında da kullanılmaya başlanmıştır. Katmanlı üretim sayesinde geleneksel imalat yöntemiyle elde edilemeyen, yüzey uyumlu soğutma kanallarının üretimi kolay bir şekilde yapılmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanalları sayesinde etkili ve homojen bir soğutma elde edilerek plastik parça kalitesinde artış ve çarpılmalarda azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

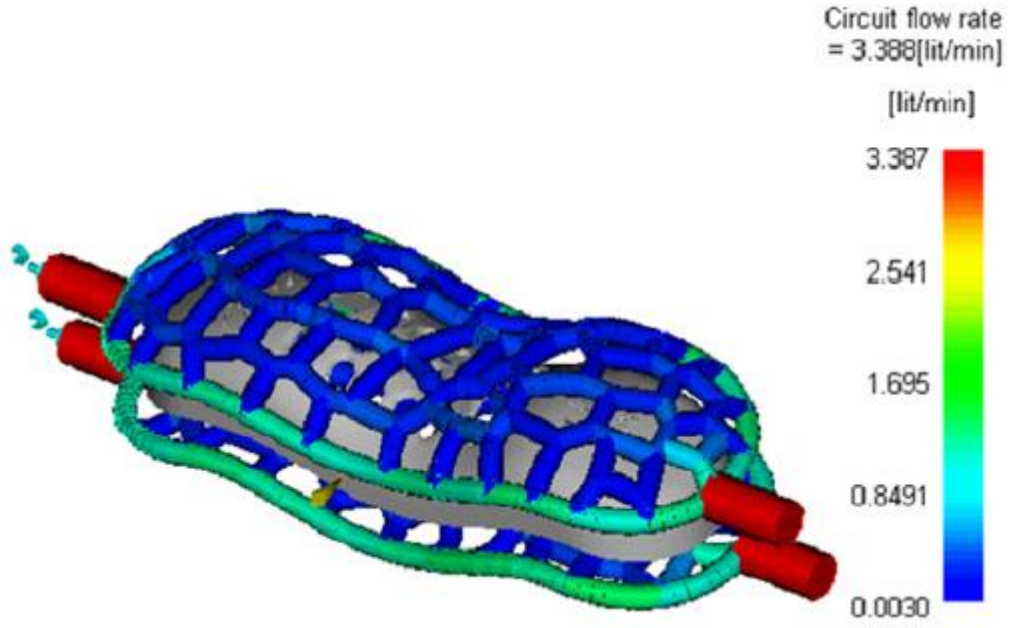
Soğutma kanallarının tasarım ve üretiminde geniş bir alan oluşmuş; topoloji, kesit formu ve kesit optimizasyonu alanında çalışmalar yapılmıştır. Soğutma kanalı topolojileri üzerine iskele (scaffold), voronoi diyagram, zigzag ve spiral kanal tipleri geliştirilmiştir.

Şekil 2.19'da iskele tip soğutma kanalları görülmektedir. İskele tipinde birbirine bağlanan çok sayıda paralel soğutma kanalı yer almaktadır. Basınç kaybı düşüktür fakat bağlantı sayısının fazla olması sebebiyle soğutmanın düzensiz olmasına ve bazı kanallarda soğutmanın gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Ayrıca akış en kolay kanalı takip ederek ürün yüzeyinden uzaklaşabilir [28].



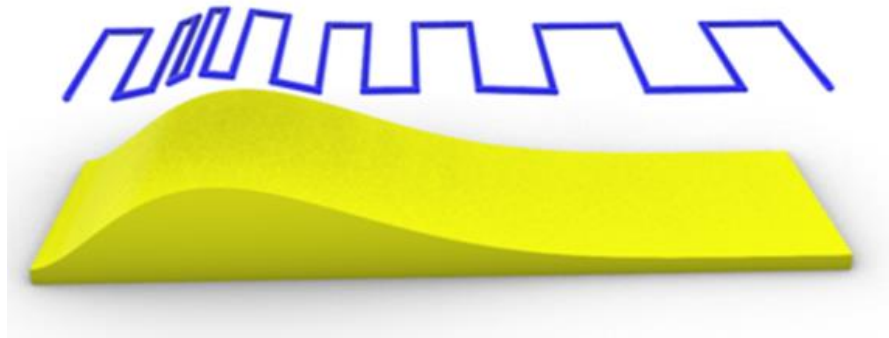
Şekil 2.19. İskele soğutma kanalları [28].

Şekil 2.20'de Voronoi diyagram tipi görülmektedir. Voronoi diyagram tipinde soğutma kanalları ürün yüzeyini sağlıklı bir şekilde takip eder ve basınç düşüşü görülmez fakat düzensiz akış gözlemlenir. İskele tipinde akış ürün yüzeyinden uzak bir kanaldan gerçekleşebilir iken bu durum Voronoi diyagram tipinde gözlemlenmez [29].



Şekil 2.20. Voronoi soğutma kanalları [29].

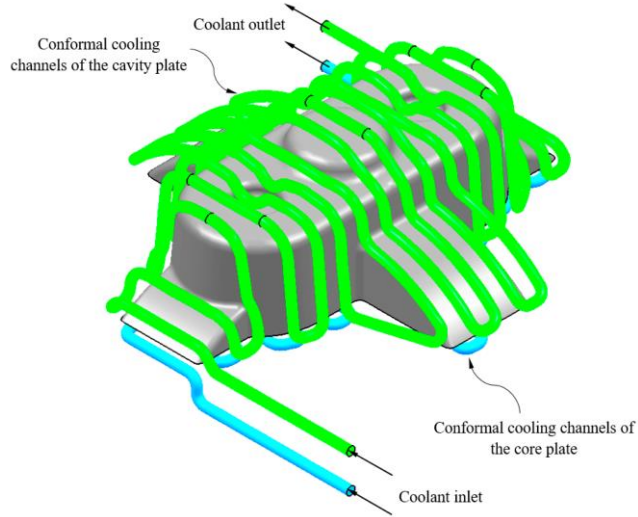
Şekil 2.21’de Zigzag soğutma kanalı tipi görülmektedir. Zigzag tipinde soğutma kanalları tek bir kanaldan oluşmaktadır ve ürün yüzeyini sağlıklı bir şekilde takip etmektedir. Fakat Zigzag tipinde yer alan keskin dönüşler, İskele ve Voronoi diyagram tipine göre daha fazla basınç kaybına neden olur [30]. Ayrıca soğutma sıvısının akış hızını da azaltarak Reynolds sayısını ve buna bağlı olarak soğutma verimliliğini düşürür. Buna bağlı olarak soğutma sıvısının kalıp içerisinde kalma süresi artar, giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkının da artmasına sebep olur.



Şekil 2.21. Zigzag soğutma kanalları [31].

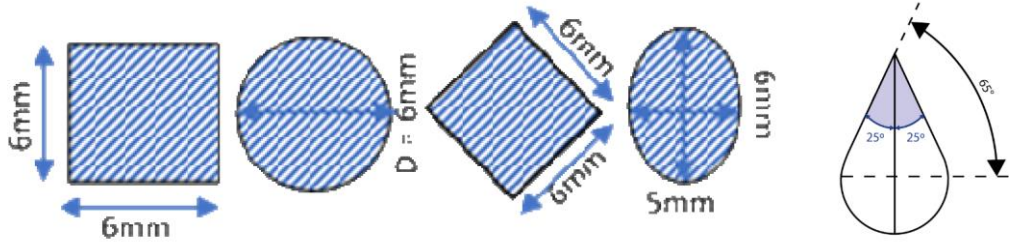
İskele ve Voronoi diyagram tipinde paralel kanalların fazla olması bölgesel soğutma farklılıkları oluştururken, Zigzag tipte ise keskin dönüşlerin ve soğutma kanalı mesafesinin uzun olması soğutma verimini düşürür.

Şekil 2.22’te spiral soğutma kanalları görülmektedir. Spiral soğutma kanalları ürün yüzeyini sağlıklı bir şekilde takip edebilmektedir ve tek bir kanaldan oluşan dönüşlerin yumuşak bir şekilde gerçekleştirildiği bir soğutma kanalı çeşididir. Dönüşlerin keskin olmaması sebebiyle akış hızında kayıplar meydana gelmez. Reynolds sayının yüksek olması sebebiyle etkili soğutma verimliliği sağlamaktadır [32].



Şekil 2.22. Spiral soğutma kanalları [32].

Kanal kesiti üzerine yapılan bir çalışmada dikdörtgen, eliptik, yuvarlak ve su damlası kesit formları kullanılmıştır. Kesit formları Şekil 2.23’te gösterilmiştir. Dikdörtgen kesit en etkili soğutma performansına sahip olmasına rağmen metal eklemeli imalat için zor bir kesit formudur. İmal edilmesi için desteklere gereksinim bulunmaktadır. Diğer formlar ise metal eklemeli üretim için oldukça kolay uygulanabilirliğe sahiptir [33].



Şekil 2.23. Soğutma kanalı kesit formları.

Topoloji ve kesit üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra optimum kesit, kanallar arası mesafe ve kalıp kanal arası mesafelerin belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada kanal kesiti, kanal çapı, kanallar arası ve kanal-kalıp arası mesafeler optimizasyon parametreleri olarak belirlenmiştir. Çalışma için basit bir silindirik parça hazırlanmış, helezonik şekil uyumlu soğutma kanalları dişi ve erkek kalıp çekirdekleri için uygulanmıştır. Kanal kesitleri $\text{Ø}4$, $\text{Ø}6$ ve $\text{Ø}7$ mm dairesel ve aynı kesit alanına sahip dikdörtgen kesit tasarımları yapılmıştır. Analiz sonuçları göz önüne alındığında 6.5 x 4.3 mm'lik dikdörtgen kesit, 8 mm kanallar arası mesafe ve 7 mm kalıp kanal arası mesafeye sahip uygulama minimum soğutma süresini sağlamıştır [34].

2.5. PLASTİK ENJEKSİYON KALIP İMALATI

Plastik enjeksiyon ile seri üretim yönteminde, plastik parça ve kalıp tasarımı bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları ile hazırlanır. Tasarım sonrasında kalıp parçaları geleneksel imalat veya metal eklemeli imalat yöntemleriyle üretilir.

2.5.1. Geleneksel İmalat Metodu ile Kalıp Çekirdeği İmalatı

Geleneksel imalat metodu ile kalıp çekirdeği üretimi, takım çelikleri üzerinden talaş kaldırma işlemine dayanmaktadır. Bu işlem için bilgisayar destekli veya manuel kontrol edilen talaş kaldırma makineleri kullanılır. Bilgisayar destekli makinelere örnek olarak CNC işleme merkezleri, CNC tornalar, CNC dalma erozyon ve tel erozyon cihazları gösterilebilir. Şekil 2.24 (b) (c) ve (d)'de yer alan CNC freze ve torna bilgisayar destekli imalat makinelerine örnek olarak gösterilebilir. Bilgisayar destekli sistemler sayesinde çelik işleme yüksek hassasiyet ile yapılmaktadır.

Manuel kontrole dayanan talaş kaldırma makinelerine ise radyal matkap, torna, kalıpcı frezeleri örnek olarak gösterilebilir. Şekil 2.24 (a) ve (e)'de yer alan kalıpcı frezesi ve sabit matkap, manuel imalat makinelerine örnek olarak gösterilebilir. Bu makinelerle yapılan talaş kaldırma işlemi bilgisayar kontrollü sistemlere göre daha kabardır.

Bilgisayar destekli veya manuel araçlar ile kalıp çelikleri işlenerek hassas bir şekilde hazırlanır. Çelik hammaddesine bağılı olarak kalıplar nihai formuna işlenebilir veya ısıl işlem için bir miktar kaba bırakılır ve ısıl işlem sonrasında tekrar işlemeye alınır.

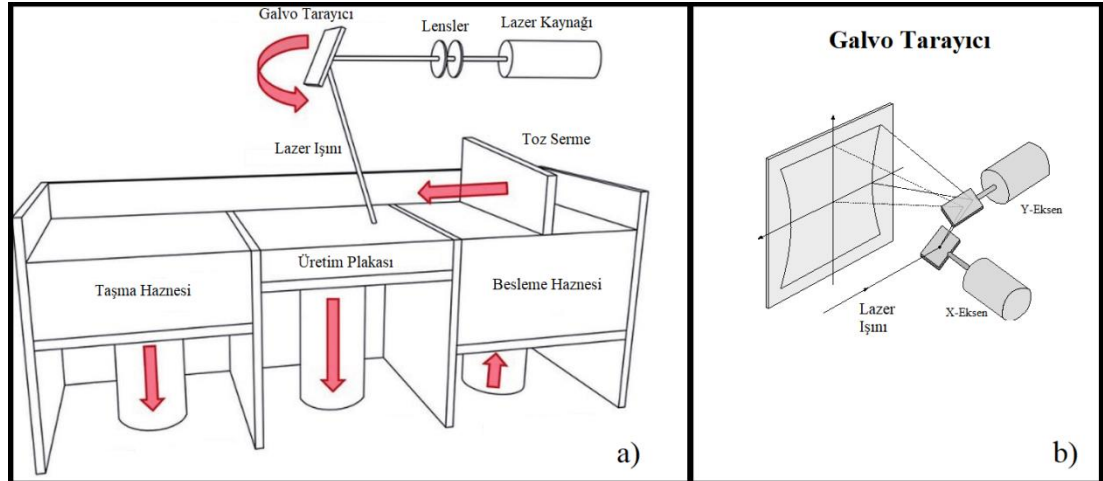


Şekil 2.24. a) Kalıpcı frezesi b) CNC Freze c) CNC freze d) CNC torna e) Sabit matkap.

2.5.2. Metal Eklemeli Üretim Metodu ile Kalıp Çekirdeği İmalatı

Metal eklemeli imalat yöntemi metal tozunun katmanlar halinde lazer ile sinterlenmesine dayanmaktadır. Katmanlar halinde yapılması, talaşlı imalat yöntemiyle üretilmek için uygun olmayan parçaların üretilmesinde yaygın olarak tercih edilmesine sebep olmuştur.

Şekil 2.25 (a)'da görüldüğü gibi metal eklemeli imalat yönteminde metal tozunun lazer ışını ile sinterlenerek birbirine kaynaması sağlanır. Üretim plakası üzerine, besleme haznesinden toz metal serilir. Serilen metalin üzerinden lazer ile geçilir. Lazerin x ve y eksenlerindeki hareketi Şekil 2.25 (b)'de görüldüğü gibi galvo tarayıcı sayesinde gerçekleştirilir. Galvo tarayıcı, 2 ayna ve motordan oluşmaktadır, doğrusal lazer ışını aynalar üzerine düşer, aynalar ise motorlar yardımıyla hareket ettirilir, böylece x ve y eksenlerinde lazer ışınının hareketi sağlanır. Sinterleme sonrasında üretim plakası alçalır, besleme plakası yükselir ve tekrar serme işlemi yapılır. Bu işlemler birbirini takip ederek parça üretimi tamamlanır.

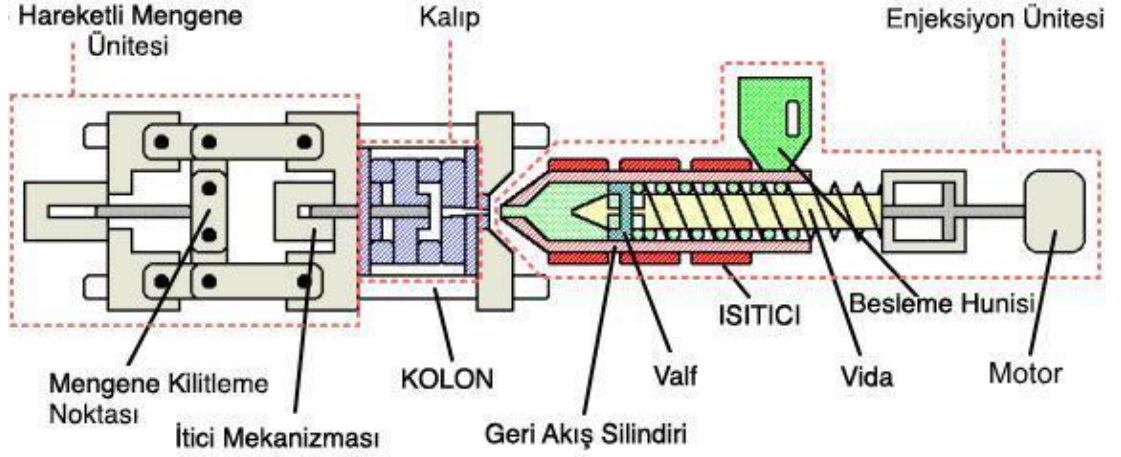


Şekil 2.25. a) Lazer sinterleme yöntemi b) Galvo tarayıcı.

2.6. ENJEKSİYON MAKİNESİ

Plastik enjeksiyon makinesi, yüksek basınçlar altında ve seri olarak plastik parça imalatını sağlamak amacıyla özel olarak üretilmiş bir makinedir. Ana görevi plastiği

ergiterek kalıp boşluğuna yüksek basınç ve hız ile enjekte etmek ve kalıptan katı plastik parçayı çıkarmaktadır. Kalıp açma/kapama, kilitleme ve enjeksiyon işlemlerini gerçekleştirmek için Şekil 2.26'de görülen enjeksiyon ve mengene üniteleri bulunmaktadır. Ünitelere ait parametrelerin ayarları ise kontrol ünitesi sayesinde gerçekleştirilir.



Şekil 2.26. Enjeksiyon üniteleri.

2.6.1. Enjeksiyon Ünitesi

Şekil 2.26'da görüldüğü gibi enjeksiyon ünitesi; vidalı mil, besleme hunisi, elektrik motoru, ısıtıcı ve yolluk memesinden oluşur. Granül haldeki plastik besleme huni içinde yer alır, huni plastiğin vidalı mile sürekli beslenmesini sağlar. Vidalı mil ise taşlanmış bir boru içinde rulmanlarla yataklanmıştır. Boru ise dışında yer alan rezistanslarla ısıtılmaktadır. Şekil 3.27'de vidalı mile ait bir görsel yer almaktadır. Ergiyik plastik vidalı mil önünde yer alan haznede toplanır. Vidalı mil, sadece ileri yönde hareket ederek plastiği kalıp içine yüksek basınçta enjekte eder. Hammadde almak için saat yönünün tersine dönerek geriye doğru hareket eden vidalı mil önündeki haznede ergiyik plastik biriktirilir. Seri üretilecek olan parça ağırlığına uygun olarak vidalı mil önünde ergiyik plastik biriktirilir.



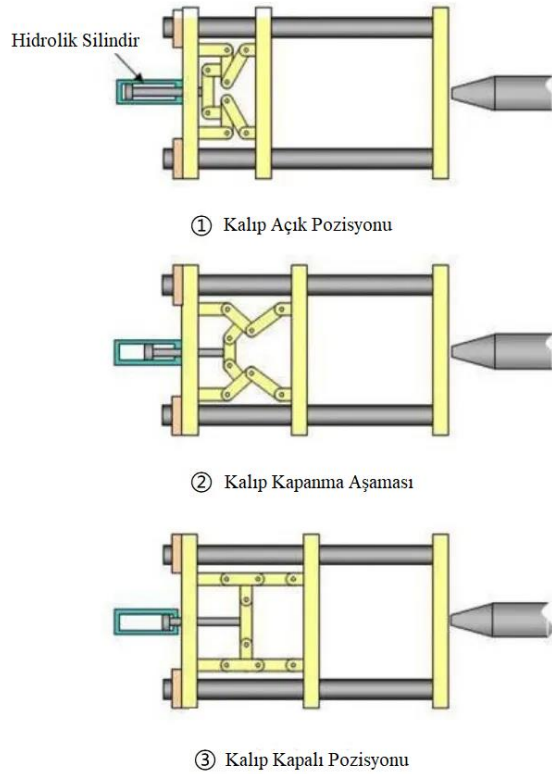
Şekil 2.27. Vidalı mil.

2.6.2. Mengene Kapama Ünitesi

Mengene kapama ünitesi, yüksek basınç ile enjekte edilen plastik karşısında kalıbın açılmasını engeller ve böylece kalıp ayırım yüzeylerinde çapak oluşumunu engeller.

Üç tip mengene kapama mekanizması vardır.

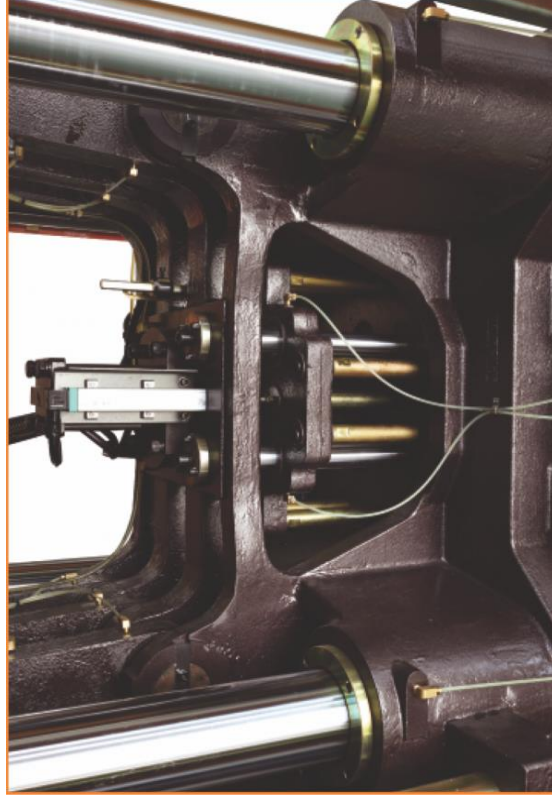
- Hidrolik kapama
- Hidro-mekanik kapama (Şekil 2.28)
- Mekanik kapama



Şekil 2.28. Hidrolik mengene kapama ünitesi.

2.6.2.1. Çıkarma / İtici Ünitesi

Parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlayan itici ünitesi Şekil 2.29’da görüldüğü gibi hareketli mengene üzerinde yer almaktadır. İtici ünitesi, kalıptan çıkarma sıcaklığına kadar soğutulan plastiğin kalıp içinden çıkarılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.29. İtici ünitesi.

2.6.3. Kontrol Ünitesi

Operatör, kalıp gereksinimleri doğrultusunda ve makine sınırları çerçevesinde üretim için gerekli ayarları kontrol ünitesi üzerinden gerçekleştirir. Şekil 2.30’da kontrol ünitesi görülmektedir. Basınç, hız, sıcaklık, açma ve kapama süresi gibi parametreler ayarlanarak minimum enerji tüketimi ile minimum çevrim süresini oluşturmak hedeflenir. Ayrıca basınç ve hız değerlerinde, dolum, ütüleme ve soğutma sürelerinde değişiklik yapılarak dolaylı bir şekilde plastik parça ölçü ve yüzey kalitesine müdahalede bulunabilir [35]. Genellikle bu ayarlar üretilecek olan parçanın geometrisinde küçük düzeltmeler yapmak amacıyla uygulanır.



Şekil 2.30. Kontrol paneli.

2.7. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

Enjeksiyon prosesi, plastik hammaddenin ergitilmesi, kalıbın kapatılması, enjeksiyon yapılarak kalıbın doldurulması, ütüleme, soğutma ve kalıptan çıkarma aşamalarını içermektedir.

2.7.1. Kalıbın Kapatılması

Mengene kapama ünitesi ile kalıp kapatılır. Kapama, yüksek basınçta enjekte edilen plastiğin kalıp boşluğundan taşmaması için yüksek kuvvetler altında gerçekleştirilir. Kapama işlemi sağlıklı bir seri üretim süreci için oldukça önemlidir. Kapama kuvvetinin yetersiz olması veya mungenelerin birbirine paralel olmaması gibi durumlarda sağlıklı bir seri üretim sürecini gerçekleştirmez ve plastik ürünlerin üzerinde çapak oluşumuna neden olur.

2.7.2. Enjeksiyon

Ergiyik haldeki plastik yüksek basınç ve hızla kalıp içine enjekte edilir. Plastik parça kalınlığı ve ağırlığına bağlı olarak dolum basıncı ve süresi değişkenlik gösterir.

Sağlıklı bir dolum için ergiyik plastiğin kalıp içindeki sıcaklık farkının 10°C'den daha az ve yolluk başlangıç noktasından kalıbın tamamen doluma kadar geçen süreçte Shear Rate değerinin 100.000 altında olmasına dikkat edilir.

2.7.3. Ütüleme

Dolan kalıp içindeki plastik parça soğutulurken katılaşıp büzülebilir. Büzülmeyi engellemek için dolum basıncında veya daha düşük bir basınç altında ergiyik plastik kalıba enjekte edilmeye devam edilir. Böylece plastik parça üzerindeki çökmelerin önüne geçilir.

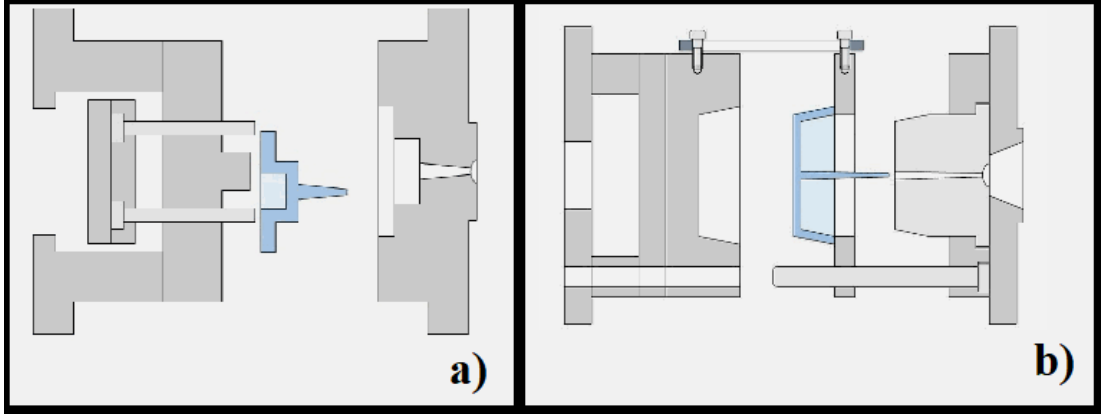
2.7.4. Soğutma

Plastik parça kalıptan çıkarma sıcaklığına ulaşmaya kadar soğutulur. Kalıptan çıkarma sıcaklığına ulaşmadan çıkarılan parçalarda çarpılma, çöküntü ve tolerans dışı ölçüler gözlemlenir. Bu nedenle parça kalitesine ve ölçülerine doğrudan etki eden bir aşamadır. Soğutma süresinin arttırılması ile parça kalitesi ve ölçülerindeki doğruluk artarken, enjeksiyon prosesi de uzayarak maliyeti arttırıcı etkide bulunmaktadır.

2.7.5. Kalıptan Çıkarma

Kalıptan çıkarma sıcaklığına ulaşan plastik parça, itici veya sıyrıcı olarak adlandırılan kalıp elemanları ile kalıptan çıkarılır. İtici ile parça çıkarılması Şekil 2.31 (a)'da gösterilmiştir. İticiler silindir, dikdörtgen veya özel formda olabilir. Küçük kesit alanına sahip parçaların kalıptan çıkarılmasında etkili bir yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajı, iticilerin plastik ürüne batarak iz bırakmasıdır. Sıyrıcı ile parça çıkarılması Şekil 2.31 (b)'de gösterilmiştir. Sıyrıcı plastik parça etrafında yer alır. İsminden de anlaşılacağı üzere parçayı bulunduğu kalıp bölümü üzerinden

sıyırarak kalıptan çıkarır. Sıyırıcılar genellikle yuvarlak ve ince cidarlı ürünler için uygulanır ve ürün üzerinde iz bırakmaz.



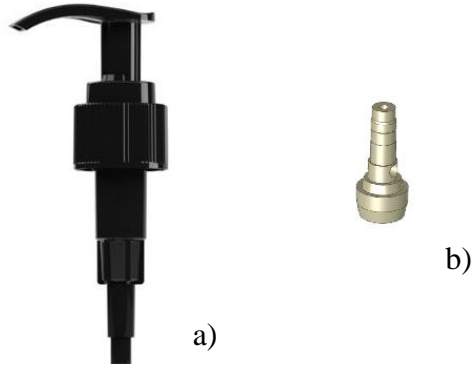
Şekil 2.31. a) İtici ile parça çıkarma b) Sıyırıcı ile parça çıkarma.

BÖLÜM 3

MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. PARÇA TASARIMI ve ÖZELLİKLERİ

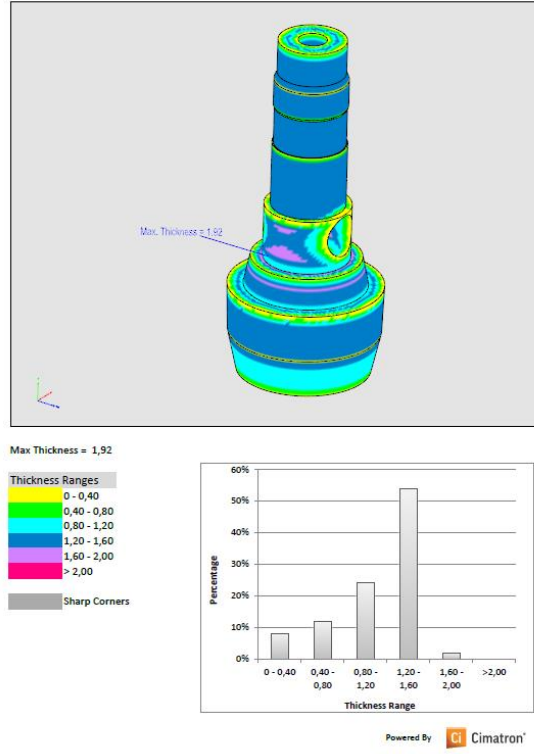
Bu çalışma, Şekil 3.1 (a)'da görülen losyon pompasına ait 7 plastik parçadan birisi olan ve Şekil 3.1 (b)'de görülen stem adlı parça üzerine yapılmıştır. Stem, çapı 11 mm, yüksekliği 25 mm ve ağırlığı 0,5 gram olan bir parçadır.



Şekil 3.1. a) Losyon pompası b) Stem plastik parça.

Stem için Cimatron ticari yazılımı kullanılarak kalınlık analizi yapılmıştır. Şekil 3.2'de stem'e ait kalınlık dağılımları görülmektedir. Maksimum cidar kalınlığı 1.92 mm olarak belirlenmiştir.

STEM - Thickness Report



Şekil 3.2. Stem'e ait kalınlık raporu.

Stem, HDPE MARLEX HMN 6060 plastikten üretilmektedir. Darbelere ve kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Hammaddeye ait fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hammadde özellikleri.

Özellikler	Değerler
Yoğunluk	962 kg / m ³
Çekme Oranı	% 1,5
MFI (190°C / 2,16 kg)	6,5 gr. / 10 dk
Enjeksiyon Sıcaklığı	230 °C
Kalıp Sıcaklığı	35 °C
Kalıptan Çıkarma Sıcaklığı	112 °C

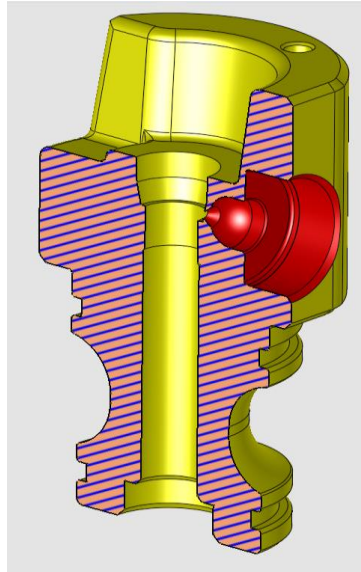
3.2. ÇEKİRDEK TASARIMI ve YAPISI

Stem kalıbında, Husky sıcak yolluk sistemlerinden birisi olan kenar giriş sıcak yolluk sistemi (SG4) kullanılmıştır. Kenar giriş sıcak yolluk sistemleri bir yolluk borusunun 2 veya 4'e dallanmasından oluşmaktadır. Çekirdekler karşılıklı yerleştirilir ve çekirdek çapları maksimum Ø40 mm ile sınırlıdır. 0,3 ve 4 gram aralığındaki plastik ürünlerin üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sabit tarafa ait çekirdekler Ø40 x 65 mm boyutunda ve 4'er adet üretilerek Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kalıp üzerine yerleştirilmiştir.



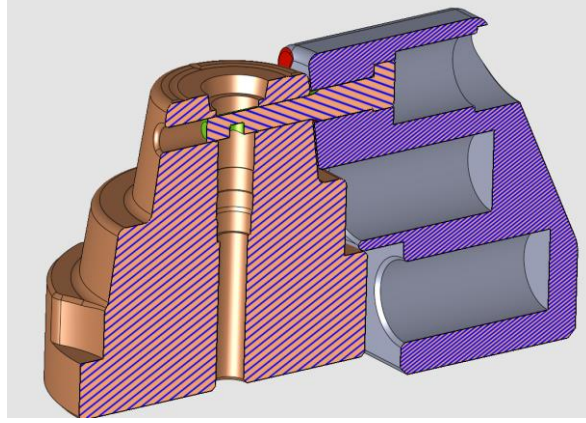
Şekil 3.3. Sıcak yolluk ve çekirdeklerin yerleşimi.

Ayrıca kenar giriş sıcak yolluk sisteminin çekirdeklere bağlanabilmesi için Şekil 3.4'te yer alan kırmızı renkli geometrinin oluşturulması gereklidir. Çekirdek ve sıcak yolluk arasındaki sızdırmazlığın sağlanması için ± 0.005 mm tolerans ile üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Erkek kalıp çekirdeği ve sıcak yolluk kenar giriş bölgesi.

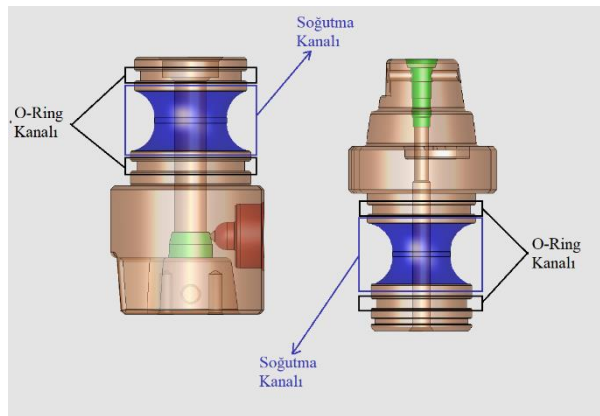
Şekil 3.1 (b)'de görüldüğü gibi stem'in üzerinde dairesel bir boşluk bulunmaktadır. Boşluğun oluşturulabilmesi için Şekil 3.5'te yer alan maça sistemi tasarımı yapılmıştır.



Şekil 3.5. Dişi kalıp çekirdeği ve hareketli maça.

3.3. GELENEKSEL SOĞUTMA KANALI TASARIMI

Geleneksel imalat yönteminin getirdiği sınırlandırmalar sebebiyle soğutma kanalları Şekil 3.6'da görüldüğü gibi çekirdek dışına tasarlanmıştır. Çekirdeklerin, kalıp içine yerleştirilmesi ile soğutma kanalları tamamlanır. Çekirdek ve kalıp arasında sızdırmazlık elemanı o-ring kullanılmıştır, Şekil 3.6'da o-ring kanalları gösterilmiştir. Soğutma kanalları etrafında hareket eden sıvı ile ürün bölgesinden ısı uzaklaştırılarak soğutma sağlanır.



Şekil 3.6. Geleneksel soğutma kanalları.

3.4. GELENEKSEL İMALAT YÖNTEMİ ile ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ

Çekirdekler H13 kalıp çeliğinden imal edilmiştir. İmalat için 5 metrelik çubuk üzerinden 70 mm boyutunda parçalar, Şekil 3.7 (a)'da görüldüğü gibi şerit testere ile kesilmiştir. Kesilen parçalar, Şekil 3.7 (b)'de görülen DMG Mori NLX 2500 / 700 CNC torna üzerinde çift ayna, tornalama ve frezeleme işlemleri ile çekirdek yüzeyleri 0.8 mm kaba olacak şekilde işlenmiştir. İşlenen parçalar ısıl işleme alınarak 48 ± 2 HRC sertleştirme işlemi yapılmıştır. Sertleştirme işleminden sonra Şekil 3.7 (c)'de yer alan Supertech PL-1224NC taşlama ile taşlanarak boyları uygun ölçüye getirilmiştir. Çekirdeklere, CNC torna ile finiş operasyonu yapılmıştır. Talaşlı imalatın tamamlanmasından sonra parçalar Mitutoyo CMM ile ölçülmüş, kaba ölçüler tespit edilerek tekrar işlemeye gönderilmiş ve ölçülerin tolerans içine alınması sağlanmıştır.

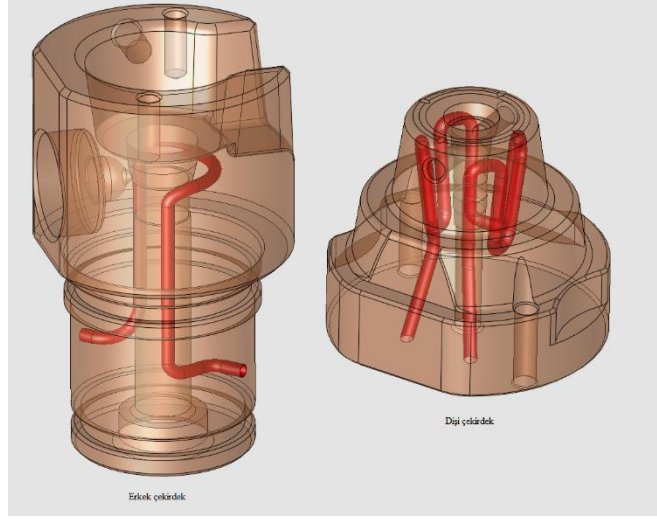


Şekil 3.7. a) Yuvarlak çelik testeresi b) DMG Mori NLX 2500 / 700 CNC torna c) Supertech PL-1224NC taşlama.

3.5. KONFORMAL SOĞUTMA KANALI TASARIMI

Kenar giriş sıcak yolluk sisteminin, hareketli maçanın ve çekirdek boyutlarının küçük olması, soğutma kanallarının oluşturulmasında büyük bir tasarım sınırlaması oluşturmaktadır. Ürün bölgesi ve kalıp dışı arasında 14 mm mesafe bulunmaktadır. Etkili soğutma için mümkün olduğu kadar büyük çapta, çekirdek yüzeyinde çatlama yaşanmaması için mümkün olduğu kadar küçük çapta soğutma kanallarının

tasarlanması gerekmektedir. Bu yüzden kanal boyutu Şekil 3.8’de görüldüğü gibi Ø2 mm olarak belirlenmiş, çekirdek içinde uzun bir yol kat etmesi ve daha fazla ısı transferinin sağlanması için kıvrımlı bir yapı oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. Konformal soğutma kanalı tasarımı.

3.6. METAL EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ ile ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ

Konformal soğutma kanalı içeren çekirdekler H13 kalıp çeliğinden imal edilmiştir. İmalat için toz formunda bulunan H13 çeliği katmanlar şeklinde EOS M 290 model 3 boyutlu yazıcı ile sinterlenmiştir. Sinterleme esnasında seçici lazer sinterleme (SLS) yöntemlerinden olan doğrudan lazer sinterleme (DMLS) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde, tasarım katmanlar halinde dilimlenir, her katman üzerinden lazer ile geçilerek tozların birbirine sinterlenmesi sağlanır. Seçici lazer sinterleme yöntemi ile hazırlanan parçanın ikinci bir işlem görmeden kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle parça yüzeylerinden 0.8 mm ofsetlenir ve parçanın kaba halinin ortaya çıkması sağlanır. Şekil 3.9’da kaba olarak imal edilmiş çekirdekler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen kaba çekirdekler.

Metal eklemeli imalat yöntemini talaşlı imalat yöntemi takip eder ve parçalar önce Supertech PL-1224NC taşlama ile taşlanır, sonrasında ise final forma ulaşmak için DMG Mori NLX 2500 / 700 CNC torna ile işlenir. Finiş işleme sonrasında elde edilen çekirdekler Şekil 3.10'da gösterilmiştir. İşleme sonrasında parçalar CMM cihazı ile ölçülür ve tolerans değerleri kontrol edilir. Tolerans dışındaki ölçüler için yeniden işleme yapılarak parça ölçülerinin tolerans içinde olması sağlanır.

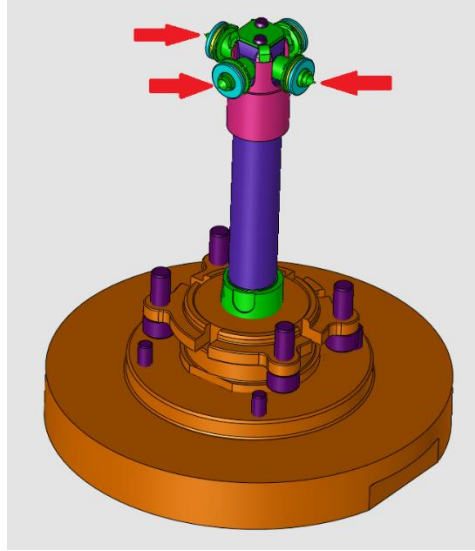


Şekil 3.10. Metal eklemeli imalat ile üretilen finiş çekirdekler.

3.7. KALIP TASARIMI

Kalıp tasarımı yapılırken maliyet göz önünde bulundurularak, çelik boyutlarının minimum ve kalıp dayanıklılığının maksimum seviyede olması istenir. Kalıp boyutların belirlenmesinde ise üretilecek olan plastik parçanın rolü büyüktür. Büyük plastik parçaların seri üretiminde yüksek enjeksiyon basınç ve kilitleme tonajları söz konusu olacağı için çeliklerin kalın ve sertleştirilmiş olması gerekmektedir aksi durumda kalıp ömrü oldukça kısalmır.

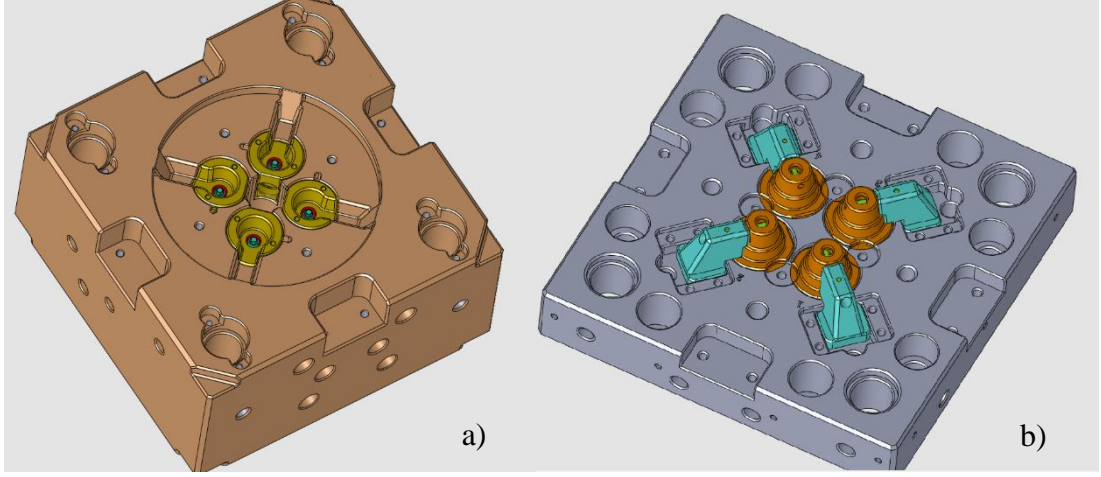
Stem'in yaklaşık 20 saniye olan çevrim süresi ile hedeflenen yıllık üretim miktarını karşılayabilmek için kalıbın 4 gözlü olması gerekmektedir. Göz sayısına bağlı olarak sıcak yolluk üreticisi Husky firmasından uygun sıcak yolluk temini yapılmıştır. Temin edilen kenar giriş sıcak yolluk sistemi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Sistemdeki sıcak yolluk nozullarından önden görülebilen üçü kırmızı oklarla gösterilmiştir. Tasarlanan çekirdekler nozul uçlarında konumlandırılacaktır.



Şekil 3.11. Husky kenar giriş sıcak yolluk sistemi.

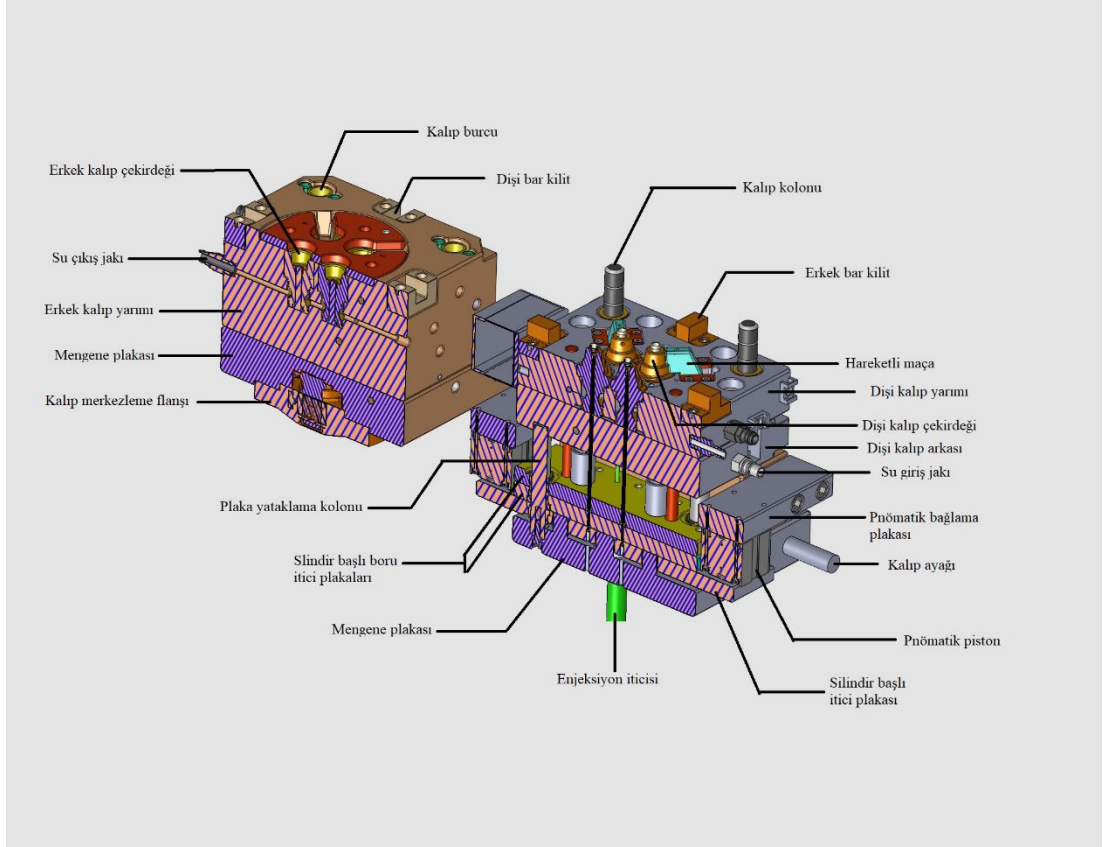
Stem parça boyutu ve çalışma şekli göz önüne alınarak Şekil 3.4 ve 3.5'te yer alan kalıp çekirdeği tasarımları yapılmıştır. Kalıp çekirdeklerinin yerleştirilmesi için zarflar hazırlanmıştır. Sabit kalıp çekirdekleri Şekil 3.12 (a)'da görüldüğü gibi,

hareketli kalıp çekirdekleri ve hareketli maçalar ise Şekil 3.12 (b)'de görüldüğü gibi zarflar içine yerleştirilmiştir.



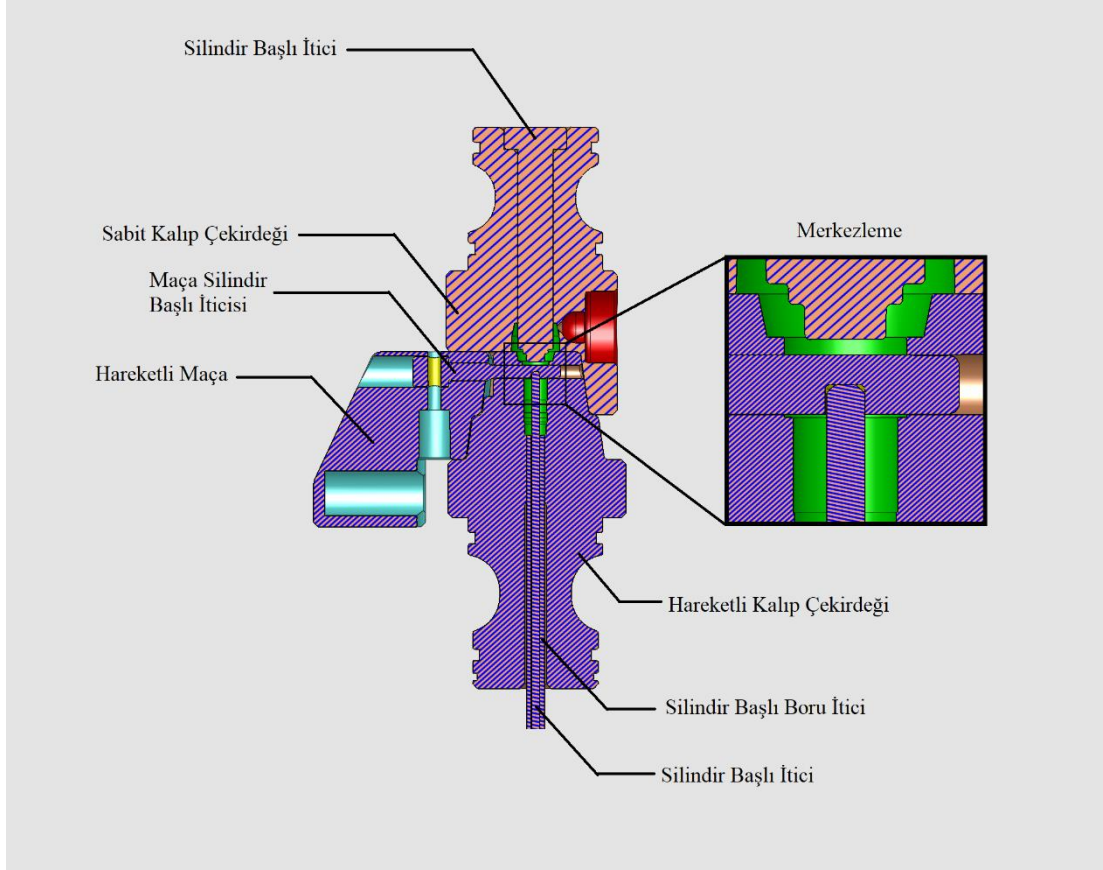
Şekil 3.12. a) Sabit kalıp çekirdek yerleşimi b) Hareketli kalıp çekirdeği ve maça yerleşimi.

Kalıbın işlevselliği için yardımcı kalıp elemanları bulunmaktadır. Kalıp yardımcı elemanlarından biri olan merkezleme flanşı, Şekil 3.13'te görüldüğü üzere, kalıbın enjeksiyon ile merkezlenmesini sağlar. Mengene plakaları ise kalıbın mengeneye sabitlenmesi ve üretim esnasında kalıbın enjeksiyon mengenelerinde kalmasını sağlamaktadır. Silindir başlı iticilerin ve itici plakasının ileri geri hareketi pnömotik piston ile sağlanır. Silindir başlı boru iticiler ve boru itici plakasının ileri geri hareketi ise enjeksiyon iticisi ile sağlanır. Kalıp yardımcı elemanlarının yanında kolon, burç ve bar kilitler bulunur. Bu elemanlar kalıp yarımlarının merkezlenerek sabit ve hareketli kalıp yarımlarında kaçıklığın önlenmesini ve ürünlerin tek eksenli olmasını sağlar.



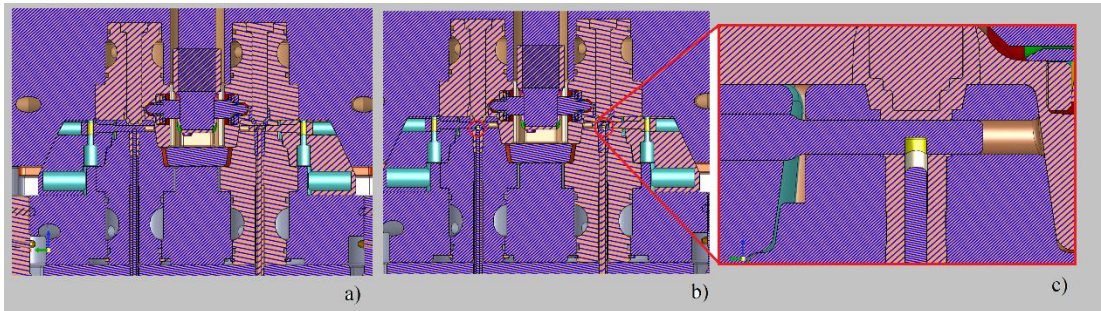
Şekil 3.13. Kalıp yarımları ve yardımcı elemanlar.

Stem üzerinde yer alan deliklerin oluşturulması için iki adet pim kullanılmaktadır. Pimlerin, enjeksiyon anında sabit kalması için Şekil 3.14’te görülen pim merkezlemesi oluşturulmuştur. Bu sayede plastik ile karşılaşan pimlerin hareketi kısıtlanarak parça kalitesi arttırılmıştır. Fakat merkezleme, kalıbın çalışma mekanizmasına sınırlama getirerek pim ve kalıp açma kapama hareketlerinde sıra önceliğinin oluşmasına neden olmuştur.



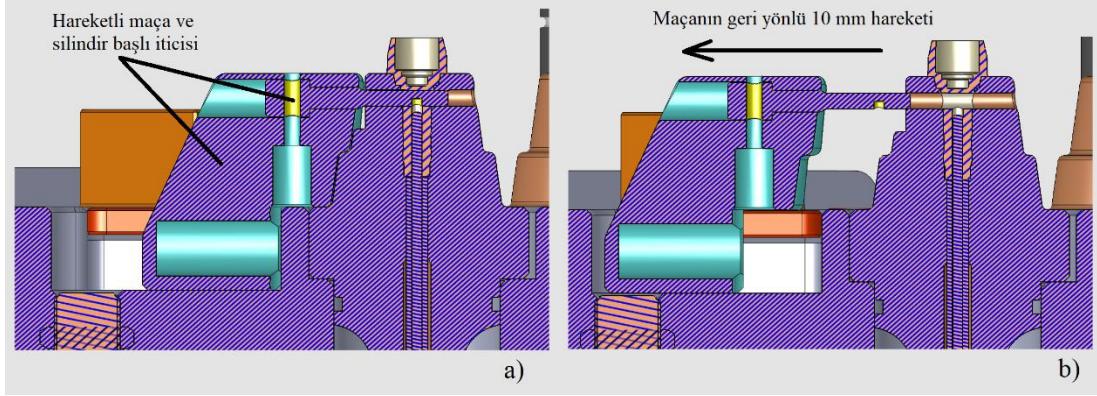
Şekil 3.14. Pim merkezlemesi.

Kalıp kapalı, enjeksiyon için hazır durumda ve silindir başlı iticiler ileri konumdayken, ergiyik plastik kalıp içine enjekte edilir. Enjeksiyonun ardından ütüleme işlemi yapılır. Daha sonra soğutma işlemi gerçekleştirilirken Şekil 3.15 (c)'de görüldüğü gibi itici pimlerin pnömotik pistonlar yardımıyla 2.5 mm geri yönlü hareket etmesi sağlanır. Geriye çekilen silindir başlı pim ile merkezleme ortadan kalkar ve kalıp açılır.



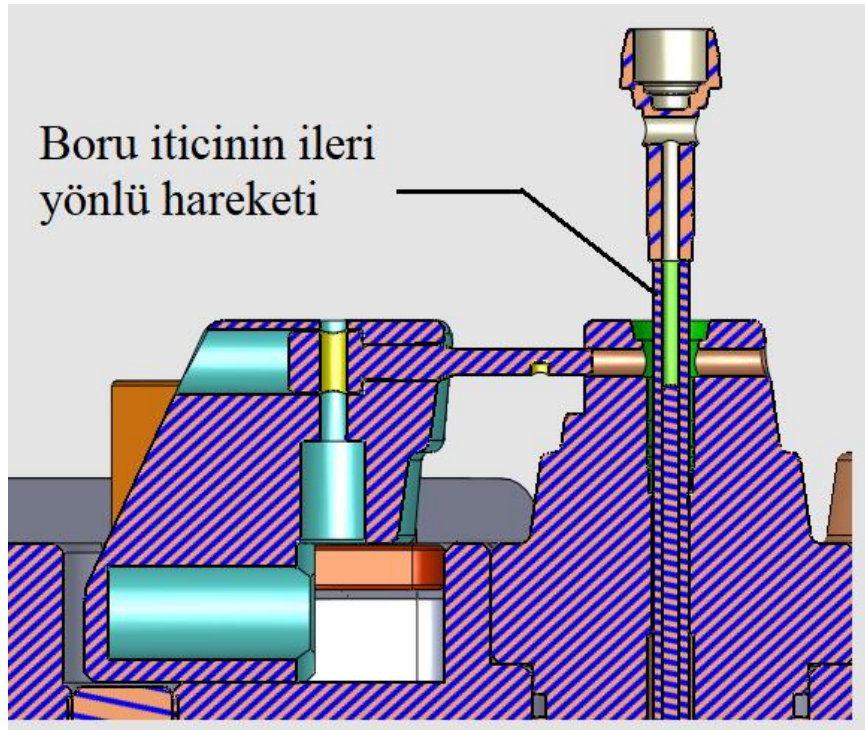
Şekil 3.15. a) İtici merkezli b) İtici 2,5 mm geride c) İtici 2,5 mm geride.

Kalıbın açılması esnasında Şekil 3.16 (b)'de görüldüğü gibi hareketli maça geri yönlü 10 mm hareket eder.



Şekil 3.16. a) Hareketli maçanın konumu b) Maça ve silindir başlı iticinin hareketi.

Silindir başlı itici pimin ve hareketli maçanın geri çekilmesinden sonra boru itici ve plakası enjeksiyon makinesi yardımıyla ileriye hareket ettirilerek ürünün Şekil 3.17'da görüldüğü gibi kalıptan çıkarılması sağlanır.

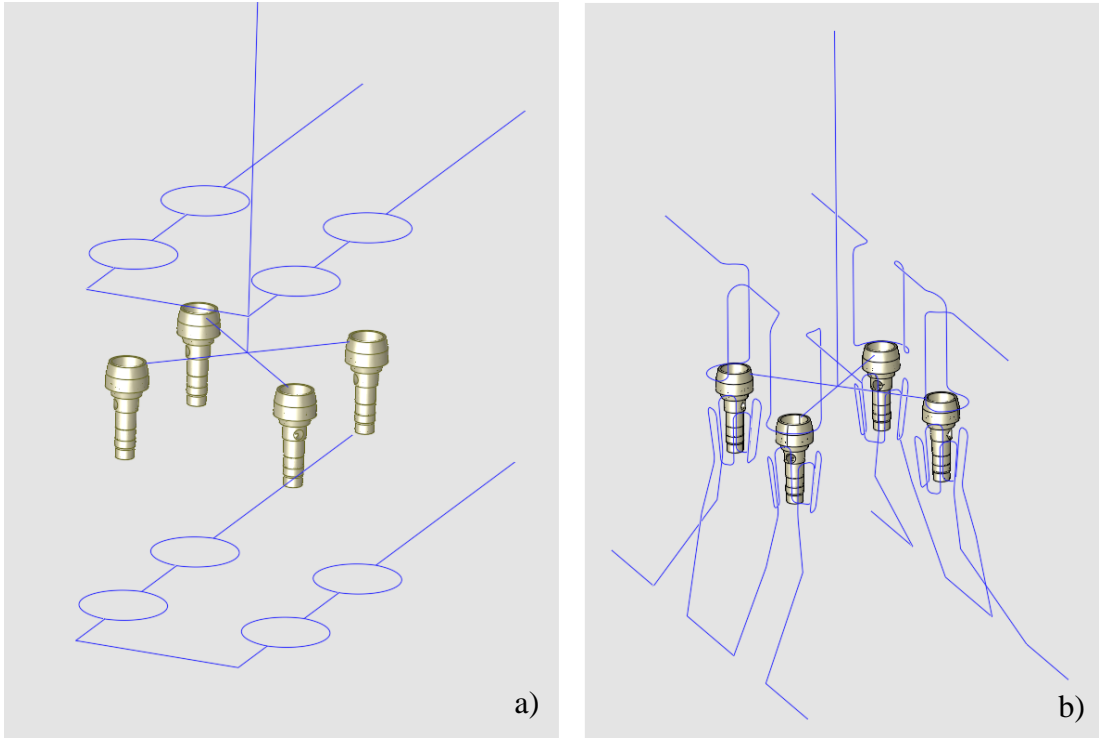


Şekil 3.17. Boru itici ile stem'in kalıptan çıkarılması.

Kalıbın kapanma aşamasında, kapama işlemi önceliklidir, kapama sırasında hareketli maça da kapanarak merkezleme için hazır hale gelir ve kalıbın kapanmasından sonra pnömotik piston yardımı ile silindir başlı itici pimler ileri yönlü hareket ederek merkezleme yapılır. Böylece çevrim tamamlanarak seri üretime devam edilir.

3.8. DOLUM ANALİZLERİ

Geleneksel ve konformal soğutma kanalları için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Analize hazırlık aşamasında 3 boyutlu plastik parça ve çizgi formunda olacak şekilde sıcak yolluk ve soğutma kanallarına ait tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan çizgiler ve stem Şekil 3.18’de görülmektedir. Hazırlanan tasarımlar, Moldex3D ticari yazılımına aktarılması için IGES formatında kaydedilmiştir.

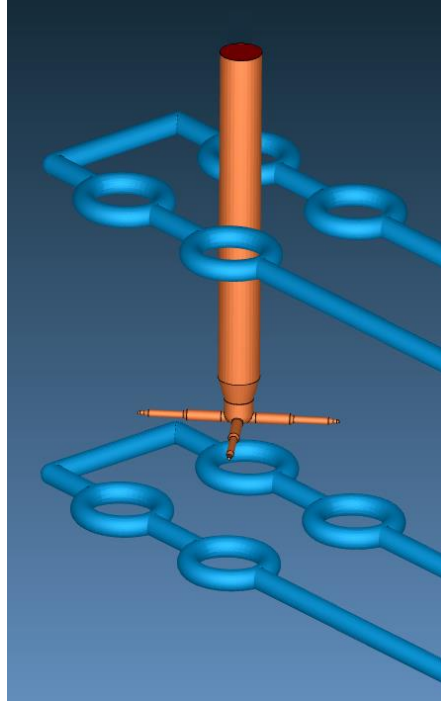


Şekil 3.18. a) Geleneksel yapı b) Konformal yapı.

3.8.1. Geleneksel Soğutma Kanallarına Sahip Kalıp Analizi

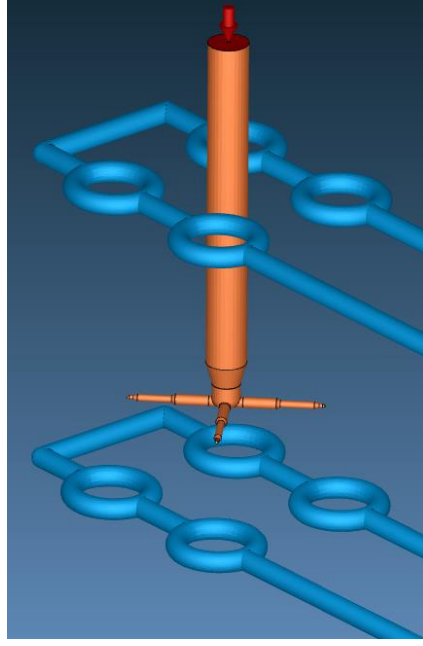
Geleneksel soğutma kanallarına sahip kalıp analizinin gerçekleştirilmesi için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- 1- Tasarıma dosyası IGES, import seçeneği ile Moldex3D ortamına alınmıştır.
- 2- Tasarımda yer alan her bir nesne tekli veya grup şeklinde sırası ile seçilerek, "Attribute" komutu ile tanımlamaları yapılmıştır. Tanımlamalar esnasında sıcak yolluk ve soğutma kanalları için çap değerleri girilerek ve Şekil 3.19'da yer alan görünüm elde edilmiştir.



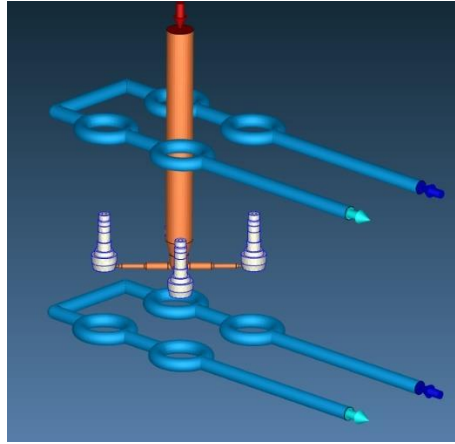
Şekil 3.19. Sıcak yolluk ve soğutma kanalı çaplarının tanımlanması.

- 3- Enjeksiyon ünitesi ve sıcak yolluk, enjeksiyon başlangıç noktasında birleşir. Plastik akışı giriş noktasından başlamaktadır. Giriş noktası Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Yolluk giriş noktasının tanımlanması.

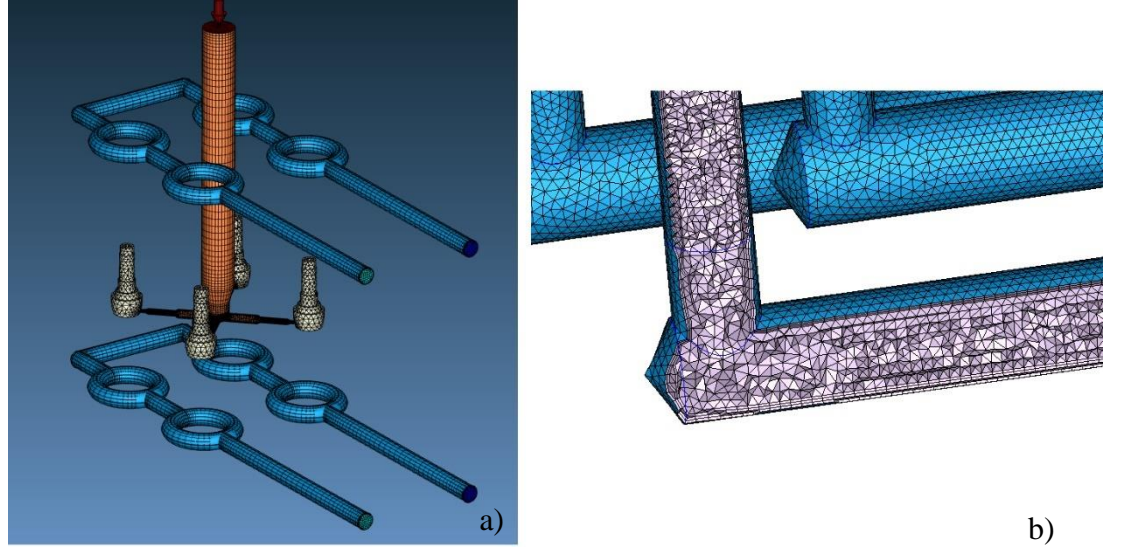
- 4- Soğutma kanallarına ait giriş ve çıkış noktaları tanımlanmıştır. Tanımlanan giriş ve çıkış noktaları Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Soğutma kanalı giriş ve çıkışlarının tanımlanması.

- 5- Analiz için stem’e, sıcak yolluğa, soğutma kanallarına ve kalıba mesh uygulanmıştır. Şekil 3.22 (a)’da mesh yapısı gösterilmiştir. Moldex3D yazılımında diğer yazılımlardan farklı olarak tek tip mesh yapısı bulunmaktadır. Bu yapı 3D mesh’dir ve plastik akışının gerçeğe daha yakın bir şekilde simülasyonunu sağlayan BLM (Boundary Layer Mesh) özelliğine sahiptir. Şekil 3.22 (b)’de görüldüğü gibi BLM yapısında dış 3 katman

düzenli bir forma sahiptir. BLM katman sayısı kullanıcıya bağlı olarak 3 kattan daha fazla sayıda oluşturulabilir.



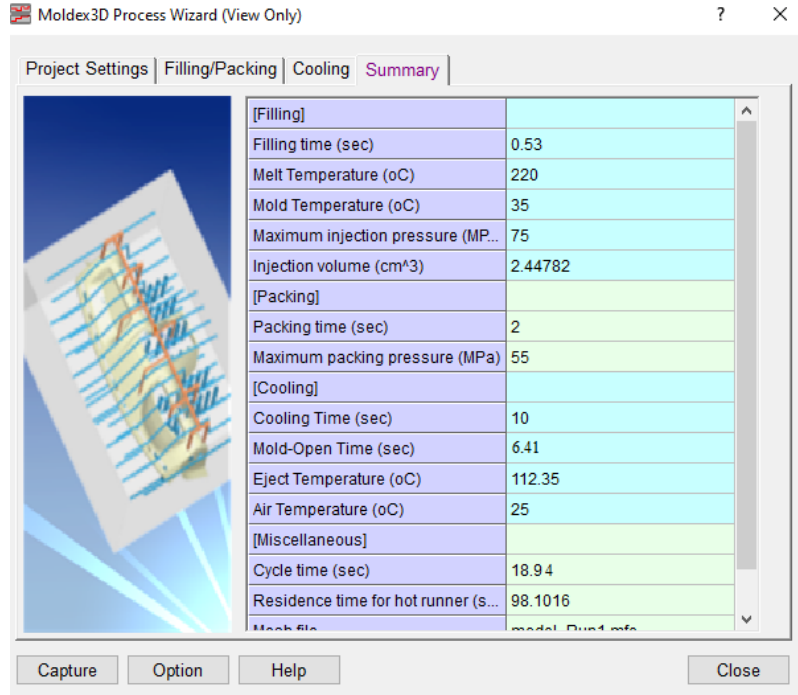
Şekil 3.22. a) Mesh yapısı b) BLM örneği

- 6- Stem'in analizi için HDPE MARLEX HMN 6060 hammadde tanımlanmıştır. Bu hammaddenin özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Hammaddeye ait değerler Moldex3D malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

Çizelge 3.2. Hammadde özellikleri

Malzeme	HDPE
Sınıf	MARLEX HMN 6060
MFI (190°C / 2,16 kg)	6,5 gr. / 10 dk
Erime sıcaklığı (minimum)	204°C
Erime sıcaklığı (ortalama)	230°C
Erime sıcaklığı (maksimum)	260°C
Kalıp sıcaklığı (minimum)	25°C
Kalıp sıcaklığı (ortalama)	35°C
Kalıp sıcaklığı (maksimum)	50°C
Kalıptan çıkarma sıcaklığı	112,35°C
Donma sıcaklığı	132,35°C

- 7- Enjeksiyon proses parametreleri Şekil 3.23'te görülen değerlere ayarlanmıştır.



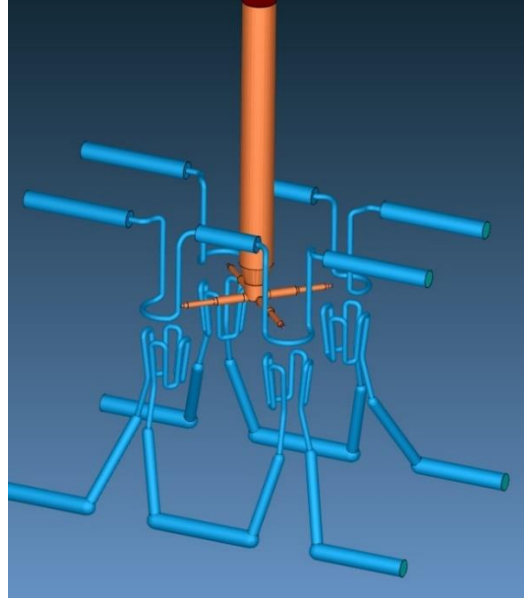
Şekil 3.23. Proses ayarları.

- 8- Kalıp sıcaklığının çevrim süresine etki eden bir parametre olarak kabul edildiği “Transient Analsys” seçeneği işaretlenerek analiz başlatılmıştır.

3.8.2. Konformal Soğutma Kanallarına Sahip Kalıp Analizi

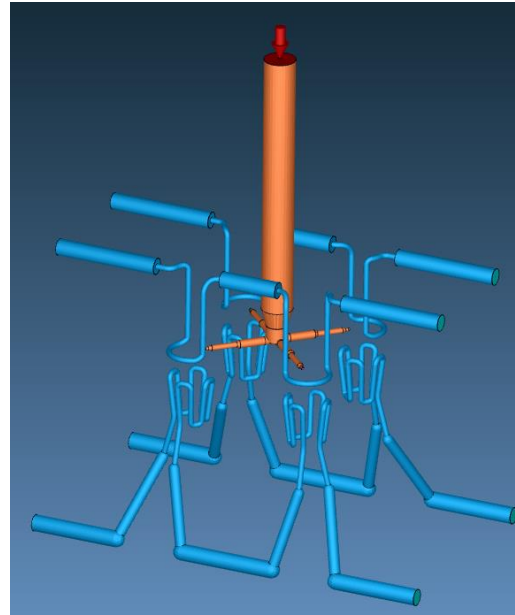
Konformal soğutma kanallarına sahip kalıp analizinin gerçekleştirilmesi için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- 1- Tasarım dosyası IGES, import seçeneği ile Moldex3D ortamına alınmıştır.
- 2- Tasarımda yer alan her bir nesne tekli veya grup şeklinde sırası ile seçilerek, “Attribute” komutu ile tanımlamaları yapılmıştır. Tanımlamalar esnasında sıcak yolluk ve soğutma kanalları için çap değerleri girilerek ve Şekil 3.24’te yer alan görünüm elde edilmiştir.



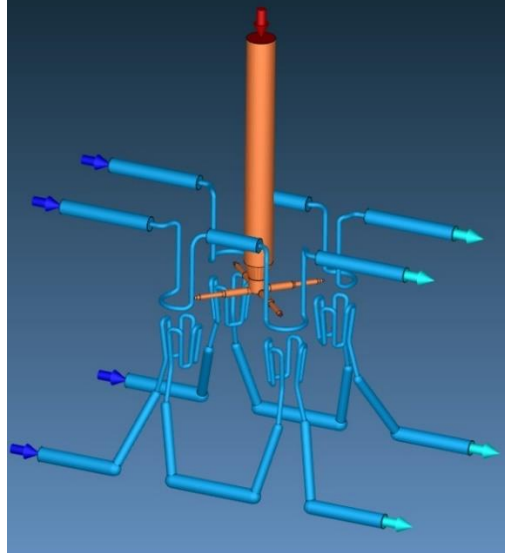
Şekil 3.24. Sıcak yolluk ve soğutma kanalı çaplarının tanımlanması.

- 3- Enjeksiyon ünitesi ve sıcak yolluk, enjeksiyon başlangıç noktasında birleşir. Plastik akışı giriş noktasından başlamaktadır. Giriş noktası Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



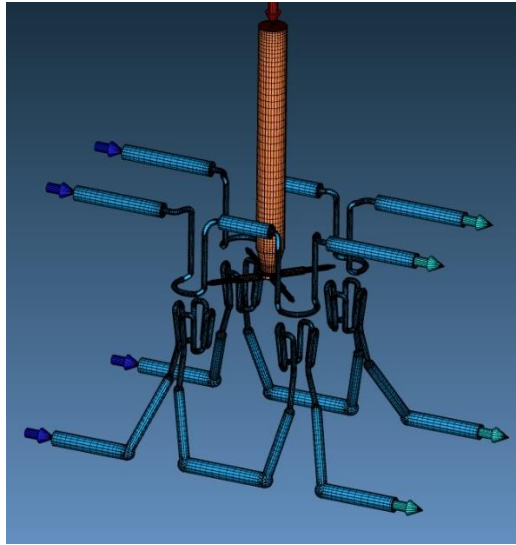
Şekil 3.25. Yolluk giriş noktasının tanımlanması.

- 4- Soğutma kanalları giriş ve çıkış tanımlanmıştır. Tanımlanan giriş ve çıkış noktaları Şekil 3.26’de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Soğutma kanalı giriş ve çıkışlarının tanımlanması.

- 5- Analiz için stem’e, sıcak yolluğa, soğutma kanallarına ve kalıba mesh uygulanmıştır. Şekil 3.27’de mesh sonucu gösterilmiştir. Geleneksel kalıp analizinde yer alan BLM yapısı burada da uygulanmıştır.



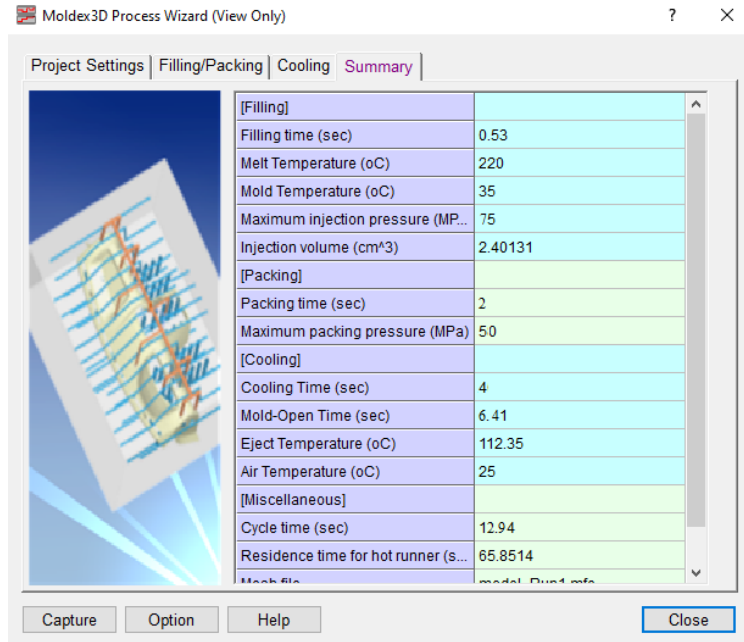
Şekil 3.27. Mesh yapısının oluşturulması.

- 6- Stem'in analizi için HDPE MARLEX HMN 6060 hammadde tanımlanmıştır. Bu hammaddenin özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Hammaddeye ait değerler Moldex3D malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

Çizelge 3.3. Hammadde özellikleri

Malzeme	HDPE
Sınıf	MARLEX HMN 6060
MFI (190°C / 2,16 kg)	6,5 gr. / 10 dk
Erime sıcaklığı (minimum)	204°C
Erime sıcaklığı (ortalama)	230°C
Erime sıcaklığı (maksimum)	260°C
Kalıp sıcaklığı (minimum)	25°C
Kalıp sıcaklığı (ortalama)	35°C
Kalıp sıcaklığı (maksimum)	50°C
Kalıptan çıkarma sıcaklığı	112,35°C
Donma sıcaklığı	132,35°C

- 7- Enjeksiyon proses parametreleri Şekil 3.28'de görülen değerlere ayarlanmıştır.



Şekil 3.28. Proses ayarları.

- 8- Kalıp sıcaklığının çevrim süresine etki eden bir parametre olarak kabul edildiği “Transient Analsys” seçeneği işaretlenerek analiz başlatılır.

3.9. ENJEKSİYON ve AYARLARI

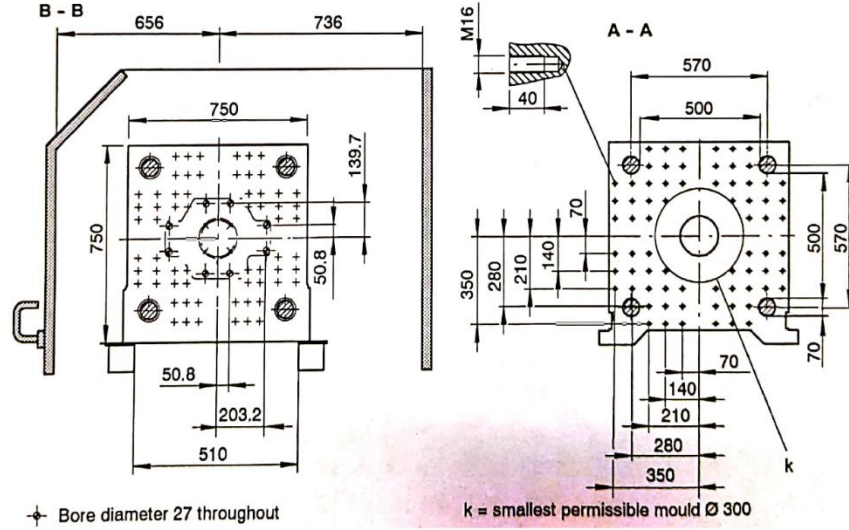
Üretim denemeleri Demag El-Exis SP Models 150/500 enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. Yüksek enjeksiyon hızları, yüksek döngü hızı ve yüksek hassasiyet gerektiren ütüleme ve ince cidar uygulamaları için ideal bir enjeksiyon makinesidir. Enjeksiyon makinesine ait parametreler Çizelge 3.4’te yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesi parametreleri.

Mengene Ünitesi	Birimler	1500
Kapama kuvveti	kN	1500
Kilitleme kuvveti	kN	1650
Mak. kalıp açma mesafesi	mm	500
Min. kalıp yüksekliği	mm	250
Mak. kalıp yüksekliği	mm	560
Mak. mengene açıklığı	mm	1060
Mengene yüksekliği	mm	750
Mengene genişliği	mm	750
Mengene kolonlar arası mesafe	mm	500 x 500
Mak. kalıp ağırlığı	kg	1750
Hareketli mengene mak. ağırlık kapasitesi	kg	1150
Hidrolik İtici Ünitesi		
İtme mesafesi	mm	160
İtme kuvveti	kN	59
Geri çekme kuvveti	kN	29

Makine seçiminde önemli bir faktör kolonlar arası mesafedir. Kalıbın kolonlar arası mesafeden daha küçük bir ebatla olması gerekmektedir. Şekil 3.29’da görüldüğü gibi enjeksiyon makinesi kolonları arasındaki mesafe 500 x 500 mm’dir. Kalıp ölçüleri

ise 326 x 246 mm'dir. Bu nedenle kalıp, enjeksiyon makinesine yerleştirilmek için uygundur.



Şekil 3.29. Enjeksiyon mengenesi ölçüleri.

Kalıbın şartlanması yani yüzey sıcaklıklarının dengeye ulaşması için ön üretim yapılmıştır. Ön üretim sonrasında ürün kalitesi ve ölçü toleransının içinde kalacak şekilde soğutma süresi azaltılmıştır. Minimum süreye ulaşılarak stabil soğutma ve çevrim süreleri elde edilmiştir. Bu işlemler geleneksel ve metal eklemeli enjeksiyon çekirdekleri için tekrar edilerek yapılmıştır. Üretim sırasında her iki yöntem için ortak olan parametrelerin kaydı alınarak Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Enjeksiyon parametreleri.

Parametreler	Değerler
Eriyik Plastik Sıcaklığı	220°C
Çıkarma Sıcaklığı	112°C
Kalıp Sıcaklığı	35°C
Soğutma Suyu Sıcaklığı	10°C
Enjeksiyon Basıncı	75 Bar
Ütüleme Basıncı	50 Bar
Mengene Açma / Kapama	≈6,5 sn

3.10. PARÇA ve KALIP SICAKLIKLARI ÖLÇÜMLERİ

Sıcaklık, geleneksel ve metal eklemeli imalat yöntemleri arasındaki farkın gözlemlenmesini sağlayan parametrelerden birisidir. Üretim esnasında Şekil 3.30'da yer alan Cem DT-820V kızılötesi termometre ile kalıp yüzeyine ait sıcaklıklar ölçülmüştür.



Şekil 3.30. Cem DT-820V lazerli termometre.

3.11. PARÇA ÖLÇÜMLERİ

Parça ölçümleri, geleneksel ve metal eklemeli imalat yöntemleri arasındaki farkı gözlemlemeye olanak tanıyan önemli parametrelerden biridir. Üretilen parçalar, Şekil 3.31'de görülen Mitutoyo CMM ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Tasarım ve ölçümler arasındaki farklar, soğutma karakteristiği hakkında bilgi sağlamaktadır.



Şekil 3.31. Mitutoyo CMM cihazı.

3.12. PARÇA AĞIRLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ

Enjeksiyon parametreleri ve soğutma faktörü, plastik parça ağırlığını etkilemektedir. Parça ağırlıkları, 0,01 gr. hassasiyete sahip ve Şekil 3.32’de görülen WL 6002 terazi ile ölçülmüştür.



Şekil 3.32. WL 6002 hassas terazi.

BÖLÜM 4

BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. KONFORMAL SOĞUTMA KANALI TASARIM METODU

Konformal soğutma kanallarının tasarımı aşamasında, etkili bir soğutma sağlamak için gerçekleştirilebilecek maksimum kanal çapı belirlenir. Aynı zamanda, kalıp çekirdeklerinin kırılmaması için kanal ve kalıp yüzeyine olan mesafenin maksimum olmasına özen gösterilir. Büyük bir kanal çapı tercih edilirse, kanal-parça yüzeyi arasındaki mesafe azalır, ancak tam tersi durum soğutma verimliliğini düşürür. Bu etkiler göz önünde bulundurularak, Ø2 mm çapında konformal soğutma kanallarının tasarımı yapılmıştır.

4.2. KONFORMAL SOĞUTMA KANALLI ÇEKİRDEKLERİN ÜRETİMİ

Stem plastik parçasının kalıp çekirdeklerini üretmek için tercih edilen eklemeli imalat yöntemi doğrudan lazer sinterleme yöntemidir. Bu yöntemde, metal tozu katmanlar halinde serilir ve üzerinden lazer güç kaynağı ile geçilerek tozlar birbirine sinterlenerek birleştirilir. Yöntemin katmanlar halinde ve katı bir destek olmaksızın parça üretimine imkân sağlaması, özellikle karmaşık geometrili parçaların üretimi için sıkça tercih edilmesine sebep olmuştur.

15.09.23 tarihli fiyat teklifi ile belirlenen çekirdek maliyetleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Geleneksel imalat yöntemiyle üretilen çekirdek maliyetleri 7.500 Türk lirasıdır. Doğrudan lazer sinterleme ile parçanın üretilmesi 15.000 Türk lirasıdır. Ancak, doğrudan lazer sinterleme yöntemiyle üretilen çekirdekler ikincil işleme ihtiyaç duymaktadır; taşlama ve CNC torna ile finiş işlemleri için ekstra maliyet 5.000 Türk lirasıdır. Bu nedenle, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen çekirdeklerin

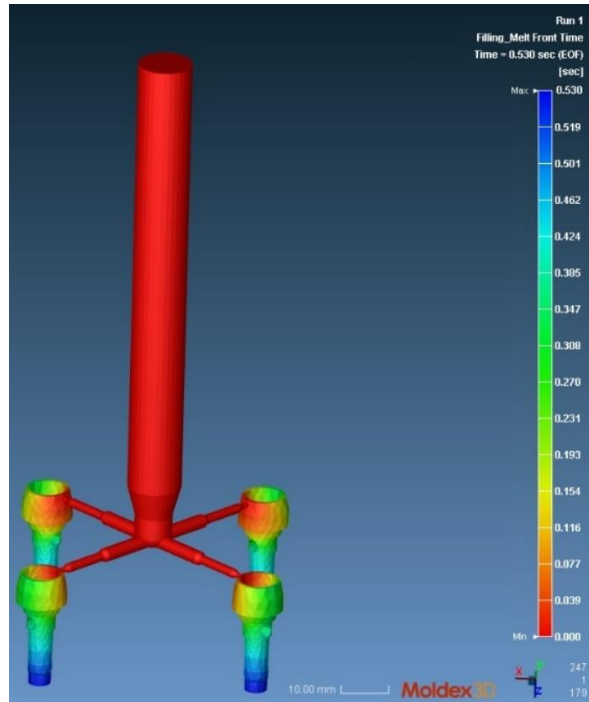
toplam maliyeti 20.000 Türk lirasıdır. Metal eklemeli imalat yöntemi, geleneksel imalat yöntemine kıyasla yaklaşık olarak 2,66 kat daha pahalıdır.

Çizelge 4.1. Kalıp çekirdeklerine ait yaklaşık maliyet değerleri.

Üretim Metodu	Geleneksel İmalat	Metal Eklemeli İmalat
Maliyet	7.500 Türk lirası	20.000 Türk lirası

4.3. ANALİZ SONUÇLARI

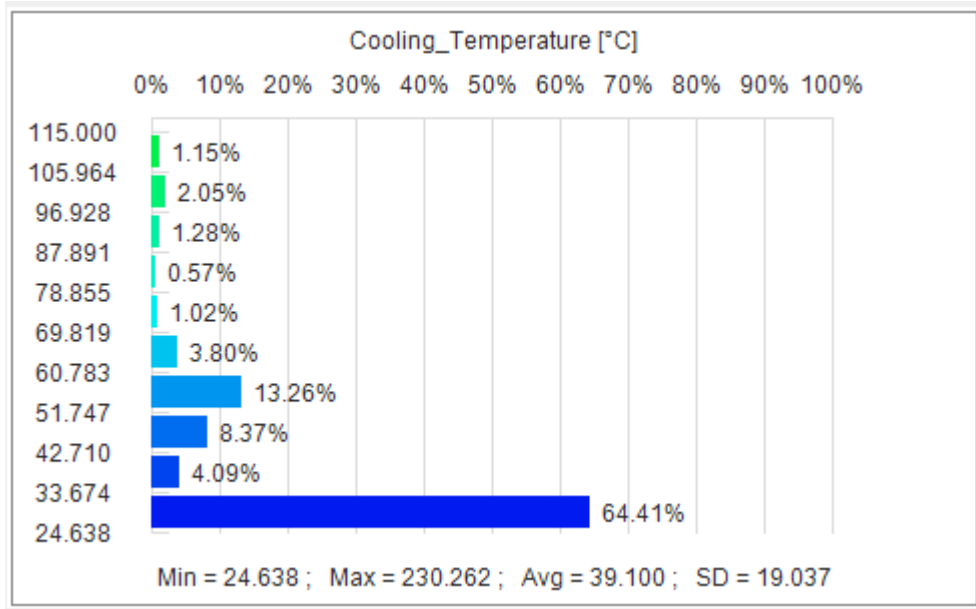
Geleneksel ve konformal soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon çekirdeklerine ait dolum analizleri, Moldex3D ticari yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler, dolum, ütüleme ve soğutma aşamalarını içermektedir. Çekirdeklere ait dolum süreleri 0,53 saniyedir. Dolum analizinden elde edilen sonuç Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Stem’e ve sıcak yolluğa ait dolum süresi, kırmızıdan maviye geçiş yapan bir renk skalası ile renklendirilmiştir. Kırmızı renk, en kısa dolum süresini, mavi renk ise en uzun dolum süresini ifade etmektedir. Renk skalası ve dağılımı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Metal eklemeli çekirdeklere ait dolum süresi.

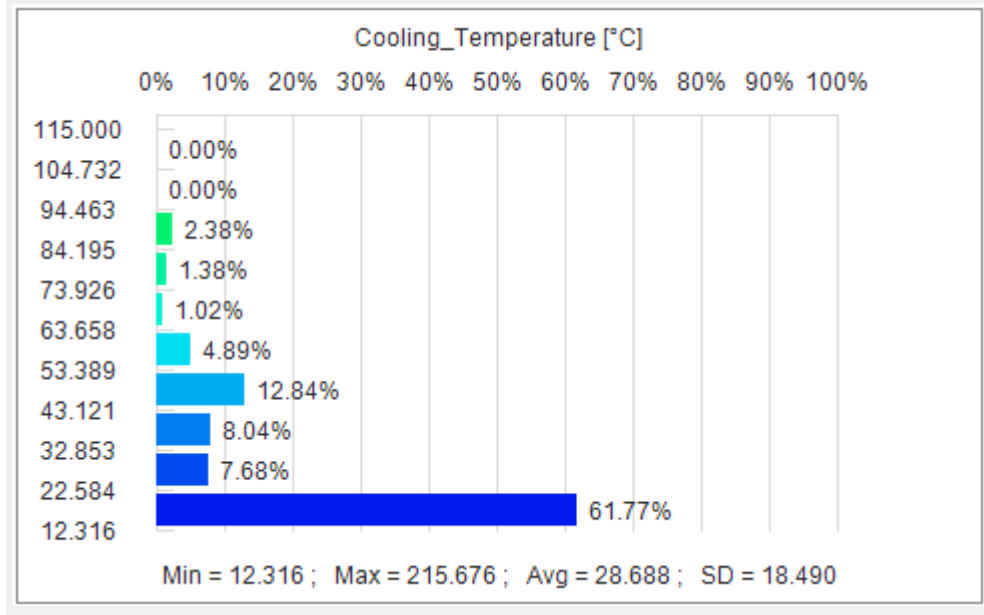
Her iki soğutma tipi için 2 sn ütüleme yapılmıştır. Analizlerden anlamlı çıktılar elde etmek için kalıptan çıkarma süreleri 4,676'ncı saniyede eşitlenmiş, tek farklılık olarak kanal yapısı bırakılmıştır. Eşitleme işlemi, kalıptan çıkarma süresi düşük olan konformal soğutma kanallarına göre yapılmıştır. Analiz sonuçlarının yorumlanması 4,676'ncı saniyedeki değerlere göre yapılmıştır. “Molten Core” aşamasında 4,676'ncı saniyede analiz sonuçlarının değerlendirilme nedeni açıklanmıştır.

Geleneksel soğutma kanalı ile soğutulan stem'in sıcaklık dağılımı, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre, parça sıcaklığı ortalama 39°C ve maksimum 115°C'dir.



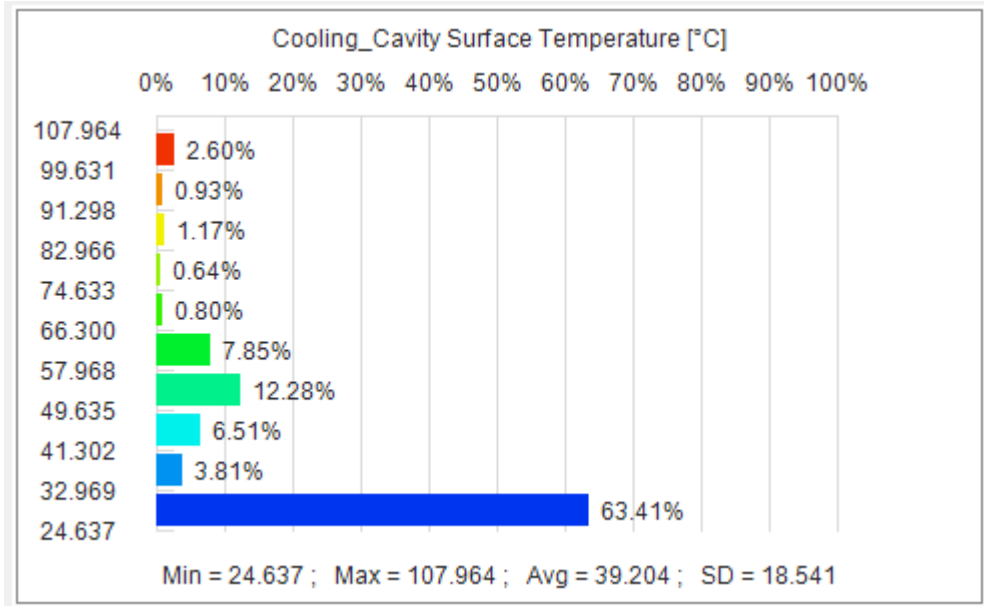
Şekil 4.2. Geleneksel soğutma kanalına ait sıcaklık dağılım grafiği.

Konformal soğutma kanalı ile soğutulan stem'in sıcaklık dağılım grafiği, Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre, parça sıcaklığı ortalama 28°C ve maksimum 98°C'dir. Kalıptan çıkarma sıcaklığı olan 112°C'nin altındadır. Ortalama sıcaklık değerleri kıyaslandığında konformal soğutma kanallarının daha düşük ortalama sıcaklık dağılımına sahip olduğu gözlemlenmektedir.



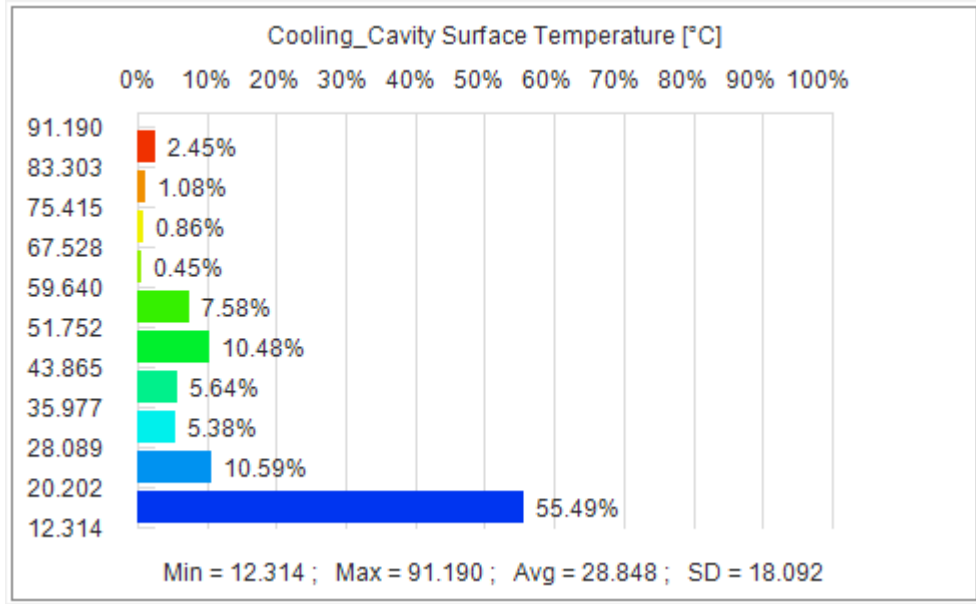
Şekil 4.3. Konformal soğutma kanalına ait sıcaklık dağılım grafiği.

Geleneksel soğutma kanalına sahip çekirdeklerin yüzey sıcaklıkları dağılımı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Geleneksel soğutma kanallarına ait çekirdek yüzeyi sıcaklık dağılımı.

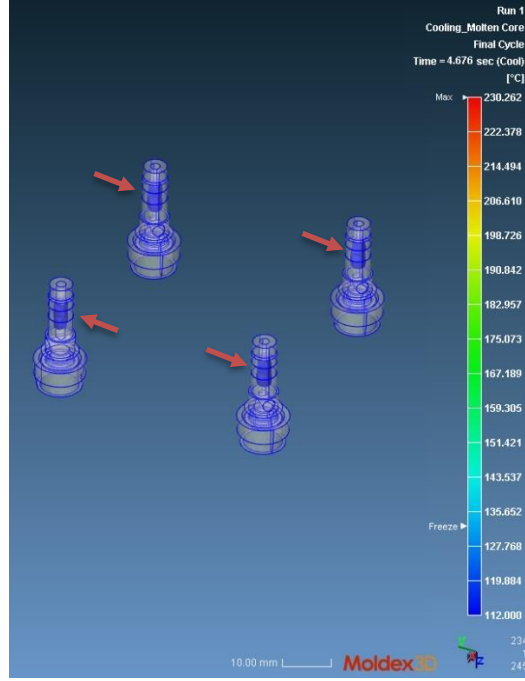
Konformal soğutma kanalına sahip çekirdeklerin yüzey sıcaklıkları dağılımı Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Geleneksel soğutma kanalı grafiğine göre daha düşük bir sıcaklık dağılımı söz konusudur.



Şekil 4.5. Konformal soğutma kanallarına ait çekirdek yüzeyi sıcaklık dağılımı.

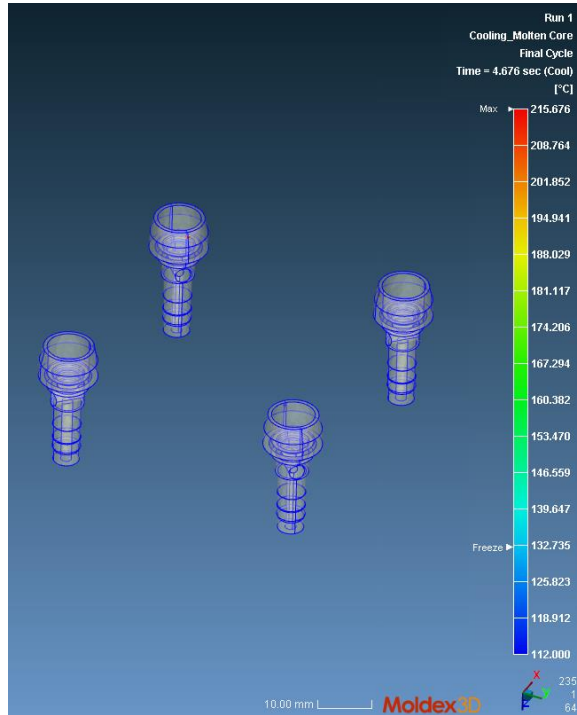
“Molten Core” sonuçları plastiğin kalıptan çıkarılması için önemli bir parametredir. Plastiğin ergiyik kısımlarını ve sıcaklığını gözlemlememizi sağlar. Stem için 112°C olan kalıptan çıkarma sıcaklığının altında, parçanın iç kısımlarında ergiyik halde plastiğin bulunmaması gerekmektedir. Aksi durumda çıkarma anında parçada çarpılma ve deformasyon meydana gelebilir. “Molten Core” sonuçları incelenirken Şekil 4.6’da görülen sıcaklık barındaki minimum değere 112°C girilerek, bu sıcaklık değerindeki plastiğin durumu gözlemlenir. Ergiyik formda plastik bulunmuyorsa parça kalıptan çıkarılabilir. “Molten Core” sonuçlarına göre geleneksel soğutma kanallarına sahip çekirdek için 5,410 saniye kalıptan çıkarma süresi, konformal soğutma kanallarına sahip çekirdekler için 4,676 saniye soğutma kalıptan çıkarma gereklidir. Bu yüzden 4,676’ncı saniyede analiz sonuçları yorumlanmaktadır.

Geleneksel soğutma kanalları ile soğutulan stem’de halen ergiyik formda plastik bulunmaktadır, kalıptan çıkarma için soğutma süresinin artırılması gerekmektedir. Ergiyik formdaki plastik Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



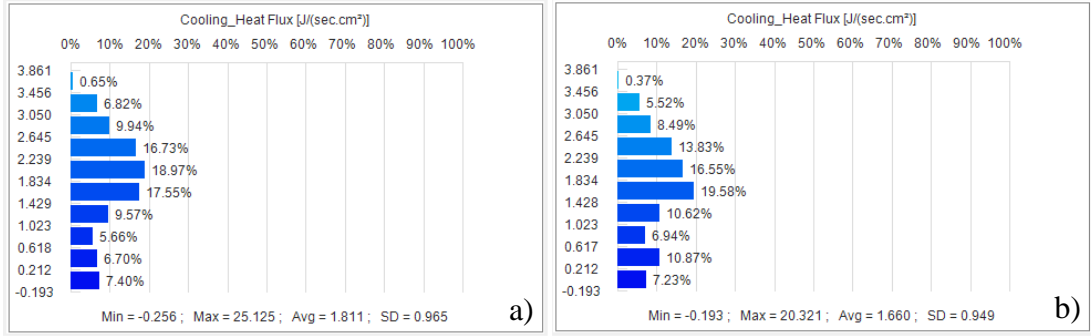
Şekil 4.6. Geleneksel soğutma kanalları için “Molten Core” sonuçları.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi konformal soğutma kanalları ile soğutulan stem, ergiyik formda plastik bulunmamaktadır. Ergiyik formda plastiğin bulunmaması ile stem kalıptan çıkarılabilir.



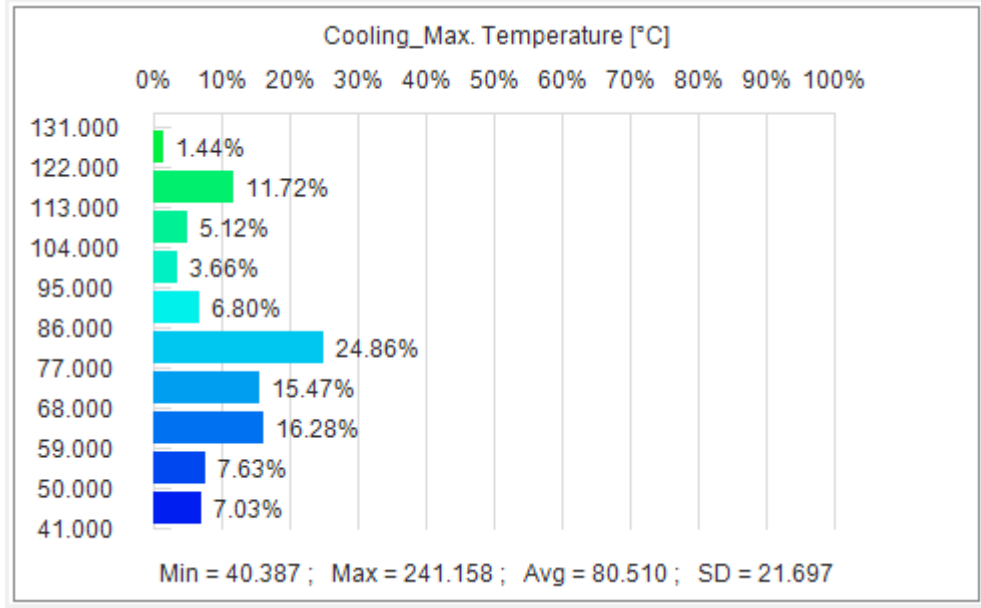
Şekil 4.7. Konformal soğutma kanalları için “Molten Core” sonuçları.

Soğutma verimini kıyaslamamızı sağlayan bir diğer parametre ise parça ve kalıp arasında gerçekleşen ısı akışıdır. “Heat Flux” 1 sn’de, santimetre kare birim alan üzerinden aktarılan joule miktarını ifade eder. Şekil 4.8 (a)’da görüldüğü gibi geleneksel soğutma kanallarında ortalama 1,811 j/sn.cm², Şekil 4.8 (b)’de görüldüğü gibi konformal soğutma kanallarında ise 1,660 j/sn.cm² ısı akışı meydana gelmektedir.



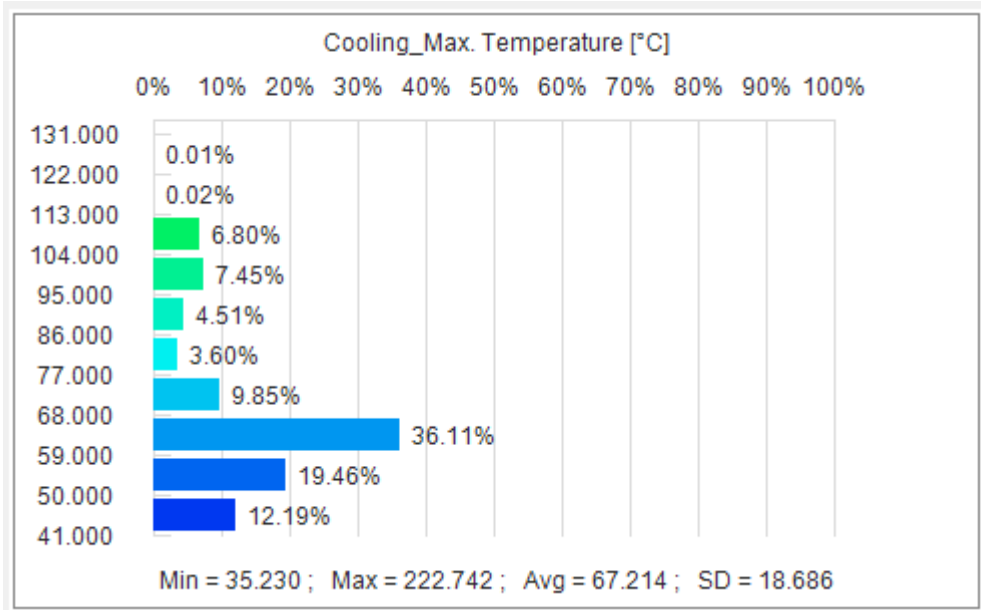
Şekil 4.8. a) Geleneksel soğutma kanalına ait ısı akışı b) Konformal soğutma kanalına ait ısı akışı.

Şekil 4.9’da yer alan “Max Temperature” değerleri soğutma süreci boyunca stem üzerindeki bölgesel sıcaklık dağılımını gösterir. Geleneksel soğutma kanalları ortalama 80,5°C ile konformal soğutma kanallarından daha yüksek maksimum sıcaklık dağılımına sahiptir.



Şekil 4.9. Geleneksel soğutma kanallı stem'e ait maksimum sıcaklık dağılımı.

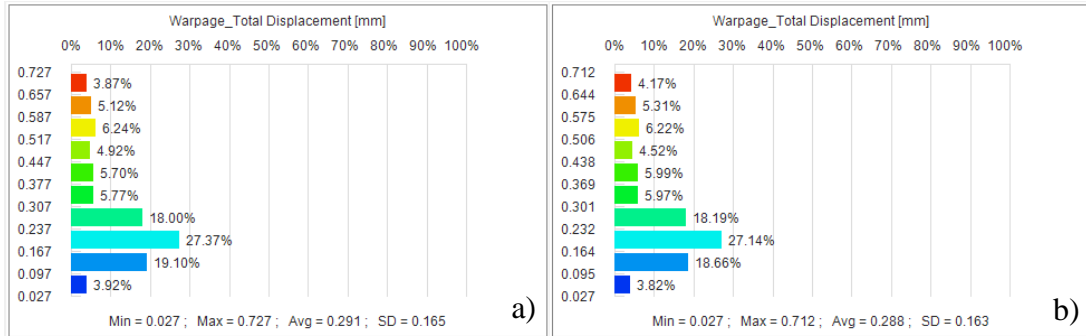
Konformal soğutma kanalları ise ortalama 67°C ile daha düşük maksimum sıcaklık dağılımına sahiptir. Maksimum sıcaklık dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Konformal soğutma kanallı stem'e ait maksimum sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.11'de stem'e ait çarpılma dağılımları gösterilmiştir. Şekil 4.11 (a) ve (b)'de gösterilen çarpılma dağılım değerleri benzerlik göstermektedir. Bu durum Şekil 4.11 (a)'daki sonuçların 10 sn soğutma süresi sonunda, Şekil 4.11 (b)'deki sonuçların 4 sn soğutma süresi sonunda oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Çarpılma sonuçları,

kullanıcı tarafından girilen 10 sn'lik ve 4 sn'lik sürelerle oluşturulmaktadır, kullanıcı tarafından diğer sonuçlarda yapılan süre eşitleme uygulaması yapılamamaktadır.



Şekil 4.11. a) Geleneksel soğutma kanallı parçaya ait çarpılma dağılımı b) konformal soğutma kanallı parçaya ait çarpılma dağılımı.

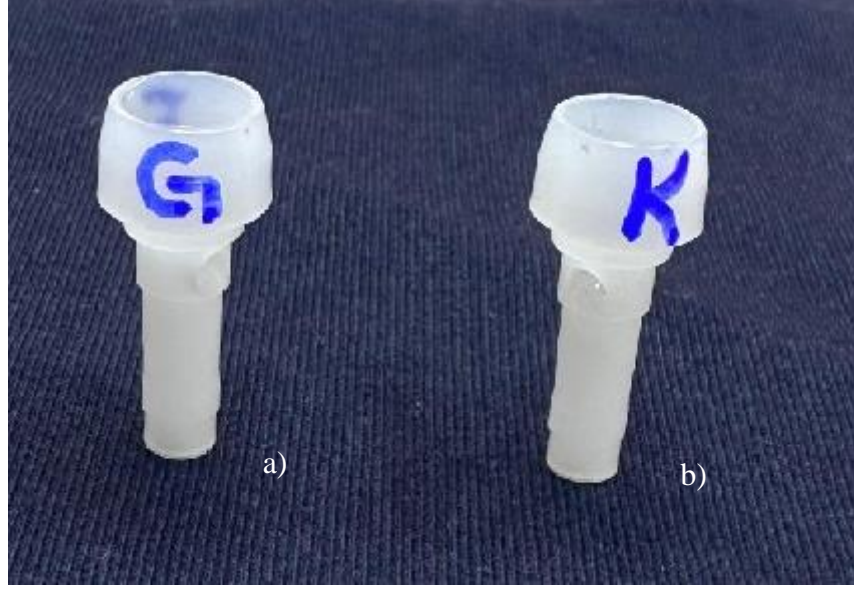
Parça üzerinde oluşacak olan ölçü değişimleri, çarpılma sonuçları sayesinde gözlemlenebilir ve buna göre minimum çarpılmanın gerçekleşmesi için parça formu üzerinde değişiklik yapılır.

4.4. DENEYSEL SONUÇLAR

Metal eklemeli imalat yöntemi, karmaşık plastik enjeksiyon çekirdekleri ve yüzey uyumlu soğutma kanalı formlarının üretilmesine olanak tanıyarak, soğutma süresinin kısaltılmasına ve parça kalitesinin artırılmasına büyük katkıda bulunmuştur. Eklemeli imalat yönteminde başlangıç maliyeti, geleneksel imalat yöntemine göre yüksektir. Yüksek maliyetler bir dezavantaj olmasına rağmen toplam maliyet açısından kayda değer düşüşler sağlanmaktadır.

Stem parça üretimi geleneksel soğutma kanallarına sahip çekirdekler üzerinden yapılmaktadır. Stem parçası için belirlenen üretim süresi, parçanın şekil ve boyutları göz önünde bulundurulduğunda beklenen üretim süresinden fazladır. Üretim süresinin kısaltılması için konformal soğutma kanallarına sahip çekirdekler tasarlanarak, metal eklemeli 3 boyutlu yazıcıyla üretilmiştir. Çekirdekler kalıba, kalıp ise enjeksiyon makinesine montajlanarak baskı denemeleri yapılmıştır. Deneme esnasında HDPE MARLEX HMN 6060 hammadde plastik kullanılmıştır. Geleneksel

soğutma kanallarına sahip çekirdekler ile üretilen stem Şekil 4.12 (a)'da, konformal soğutma kanalları sahip çekirdekler ile üretilen stem Şekil 4.12 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. a) Geleneksel soğutma kanalları ile soğutulan stem b) Konformal soğutma kanalları ile soğutulan stem.

Geleneksel ve konformal soğutma kanalına sahip çekirdekler için ayrı ayrı üretim denemeleri yapılmıştır. Baskı esnasında dolun ve ütülemeye ait basınç ve süreler aynı tutulmuştur. Deneme esnasında soğutma ve çevrim süreleri, stem ölçü toleransları arasında yer alacak şekilde düzenlenerek elde edilmiştir. Geleneksel ve konformal soğutma kanallarının soğutma süreleri gözlemlenmiştir. Geleneksel soğutma kanallarına sahip çekirdekler ile yapılan üretimde soğutma süresi 10 saniye ve çevrim süresi 18,94 saniye olarak elde edilmiştir. Konformal soğutma kanallarına sahip çekirdekler ile yapılan üretimde soğutma süresi 4 saniye ve çevrim süresi 12,93 saniye olarak elde edilmiştir. Kalıptan çıkarma süreleri, “Molten Core” şartlarına göre düzenlendiğinde stem ölçülerinin tolerans dışında olduğu gözlemlenmiştir. Stem ölçüleri tolerans aralığına girene kadar soğutma ve çevrim süresi arttırılmış böylece üretime uygun soğutma ve çevrim süreleri elde edilmiştir. Konformal soğutma kanalları sayesinde stem'in kalıptan çıkarma sıcaklığına ulaşma süresi kısaltılmıştır. Geleneksel imalat yöntemleriyle üretilen çekirdeklere göre soğutma süresinde %60 oranında, çevrim süresinde %31,73 oranında kısalma elde edilmiştir.

Kalıp sıcaklığı, ürün kalitesine etkide bulunmaktadır. Üretim esnasında kalıp sıcaklığı yükselerek belirli bir seviyede sabitlenir. Bu durum kalıbın dengeye veya rejime ulaşması olarak adlandırılır. Kalıbın dengeye ulaşmasının ardından kalıptan çıkarılan stem'lere ait yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümlerde yüzey sıcaklıklarının yaklaşık olarak 35°C ile 37°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Stem'ler Mitutoyo CMM ile ölçülmüş ve ölçülerin tolerans aralığında olduğu gözlemlenmiştir. CMM raporları EK 1'de gösterilmiştir. Üretim denemeleri sonucunda, stem ağırlıklarının 0,5 gram olduğu ve ağırlıklarda farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, daha kısa soğutma süresine rağmen aynı kalitede ürün üretilbildiğini göstermiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışma, losyon pompasına ait stem plastik parçası üzerine yapılmıştır. Losyon pompası 7 parçadan oluşmaktadır. Stem bu 7 parçadan bir tanesidir ve diğer parçalar ile çalışması için uygun ölçü aralığında üretilmesi gerekmektedir. Geleneksel imalat yöntemiyle elde edilen çekirdekler kullanılarak üretilen stem parçası için belirlenen üretim süresi, parçanın şekil ve boyutları göz önünde bulundurulduğunda beklenen üretim süresinden fazladır. Üretim süresini kısaltmak ve geleneksel imalat yöntemleriyle oluşturulan soğutma kanalları arasındaki performans farkını gözlemlemek amacıyla konformal soğutma kanallarına sahip kalıp çekirdekleri tasarlanmıştır.

Geleneksel ve konformal soğutma kanalları için Moldex3D ticari yazılımı ile dolum analizleri yapılmıştır. Parça kalitesini koruyarak soğutma süresinin düşürülmesi hedeflendiği için her iki soğutma tipinde aynı dolum ve ütüleme parametreleri kullanılmıştır.

Geleneksel soğutma kanallarına sahip kalıp çekirdekleri için 5,410 sn, konformal soğutma kanallarına sahip kalıp çekirdekleri için 4,676 sn kalıptan çıkarma süresi elde edilmiştir. Üretimde kullanılacak çevrim süresinin teorik değerini bulmak için analizlerden elde edilen kalıptan çıkarma sürelerine 6,5 saniye eklenir. Eklenen süre kalıp açma/kapama ve serbest düşürme için geçen sürelerdir. Eklenen 6,5 saniyelik süre enjeksiyon makinesine, ortam sıcaklığına ve ürünün serbest düşme süresine bağlıdır ve değişkenlik gösterir. Böylece geleneksel imalat çekirdekleri ile 11,910 sn'lik çevrim süresi, metal eklemeli imalat çekirdekleri ile 11,176 sn'lik çevrim süresi elde edilir.

Çevrim süresinde %6,16 oranında iyileşme hesaplanmıştır. Bu sayede her 17 çevrim de 4 adet ürün ekstra olarak üretilebilir. Geleneksel imalat yöntemiyle üretilen çekirdekler ile yıllık yaklaşık olarak 8,7 milyon adet, metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen çekirdekler ile 9,27 milyon adet ürün üretimi hesaplanmıştır. Üretimde yıllık olarak yaklaşık 570 bin adet artış beklenmektedir.

Geleneksel çekirdekler ile yapılan üretim denemeleri sonucunda çevrim süresi 18,940 sn, metal eklemeli çekirdekler ile yapılan üretim denemeleri sonucunda çevrim süresi 12,930 sn'dir. Plastik parçanın kalıptan çıkarılma süreleri, elde edilen teorik sürelerde gerçekleştirilmesi durumunda plastik üründe çarpılmalar ve kademelere ait ölçülerde sorunlar görülmüştür. Parça kalitesi ve ölçü tekrarı elde edilene kadar soğutma süreleri artırılmış, geleneksel imalat yöntemiyle üretilen çekirdeklerde 7,03 sn'lik, metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen çekirdeklerde 1,754 sn'lik fazladan soğutma süresi eklenmiştir. Konformal soğutma kanalına sahip çekirdeklerle çevrim süresinde geleneksel çekirdeklere göre %31,73 oranında iyileşme görülmüştür. Yaklaşık olarak her 3 çevrimde 4 adet ürün ekstra olarak üretilmiştir. Geleneksel imalat yöntemiyle üretilen çekirdekler ile yıllık yaklaşık olarak 5,48 milyon adet, metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen çekirdekler ile yıllık yaklaşık olarak 8 milyon adet üretim yapılabilecektir. Üretimde yıllık olarak yaklaşık 2,5 milyon adet artış beklenmektedir.

Metal eklemeli imalat yöntemiyle üretilen çekirdeklerin, talaşlı imalat yöntemiyle üretilen çekirdeklerden daha yüksek maliyete sahip olduğu görülmektedir. Ancak konformal soğutma kanallarının sağladığı düşük soğutma süresi ile yıllık daha yüksek üretim adedi elde edilebileceği görülmüştür. Bu durum metal eklemeli imalat yönteminin endüstride sıkça tercih edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] G. Sevilmiş, «Ege Bölgesi Plastik Sektörü Raporu,» İzmir Ticaret Odası (İZTO), İzmir, 2012.
- [2] O. Ekşi, Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi, Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [3] Ş. Katmer ve Ç. Karataş, «Plastik enjeksiyon kalıplama şartlarının polistiren düz parçalardaki kalıntı gerilmelere etkisi,» *Gazi üniversitesi mühendislik ve mimarlık fakültesi dergisi*, cilt 27, no. 3, pp. 501-507, 2012.
- [4] MEB, «Enjeksiyon ile Üretimde Kalıp Ayarları,» %1 içinde *Plastik Teknolojisi*, Ankara, MEB, 2013.
- [5] Husky Co, «Husky Co,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.husky.co/en/solutions/hot-runners/ultra-hot-runners/>. [Erişildi: 23 10 2023].
- [6] V. Verleye, «Modelling the flow of fiber suspensions in narrow gaps,» *Elsevier*, cilt Rheology series., no. Vol. 8, pp. 1347-1398, 1999.
- [7] Ö. F. Akyüz, «Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş,» *Pagyay*, 1999.
- [8] H. Turaçlı, Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, İstanbul: PAGEV Yayınları, 2000.
- [9] Wikipedia, «Plastik,» [Çevrimiçi]. Available: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik#:~:text=Plastik%3B%20karbon%20\(C\)%20C,elde%20edilen%20malzemelere%20verilen%20isimdir..](https://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik#:~:text=Plastik%3B%20karbon%20(C)%20C,elde%20edilen%20malzemelere%20verilen%20isimdir..) [Erişildi: 6 11 2023].
- [10] M. Koçak ve B. E. Abalı, «Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2005-2006.
- [11] Ö. T. Savaşçı, N. Uyanık ve G. Akovalı, Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik, PAGEV Yayınları, 2008.

- [12] «All about Thermoplastics vs Thermosets,» Qualityinspection.org, 3 4 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://qualityinspection.org/thermoplastics-vs-thermosets-videos/>. [Erişildi: 17 10 2023].
- [13] «Termoplastik Malzemeler,» Aldemir Plastik Kalıp ve Makina San. Tic. Ltd. Şti., [Çevrimiçi]. Available: <https://www.aldemirltd.com/polymer#:~:text=Termoplastik%20grubuna%20giren%20polimerlere%20%C3%B6rnek,m%C3%BChendislik%20uygulamalar%C4%B1nda%20s%C4%B1kl%C4%B1kla%20tercih%20edilirler..> [Erişildi: 17 10 2024].
- [14] A. Dirim, «Kalıp Tasarımı,» Tasarımdan İmalata, 26 03 2012. [Çevrimiçi]. Available: https://www.tasarimdanimalata.com/argul-y-cia_mold_tcm1023-51341/. [Erişildi: 18 10 2023].
- [15] H. Turaçlı, «Enjeksiyon Kalıpları İmalatı,» *Seçkin Yayınevi*, p. 198, 2003.
- [16] Jackie, «Undercuts in plastic injection molding,» Eco Molding, 2 3 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.injectionmould.org/2019/04/19/undercuts/>. [Erişildi: 6 11 2023].
- [17] «What Is a Mold Ejector – Basics of Ejection System in Molding,» Die Casting Mould, 24 4 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.diecasting-mould.com/news/what-is-a-mold-ejector-basics-of-ejection-system-in-molding>. [Erişildi: 14 11 23].
- [18] «14.01 Yolluk Memesi (Plastik Enjeksiyon),» SAY TEKNİK Hırdavat Kalıp Elemanları San. ve Tic. Ltd. Şti. , [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sayteknik.com.tr/urun/goTo/128/yolluk-memesi-plastik-enjeksiyon.html>. [Erişildi: 26 10 23].
- [19] «Cold Runner Design – Attention to Details,» Beaumont Technologies, Inc., 15 04 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.beaumontinc.com/cold-runner-design-attention-to-details-part-2/>. [Erişildi: 21 10 2023].
- [20] «Types Of Gates For Injection Molding,» 22 08 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://autoplasticsworld.com/types-of-gates-for-injection-molding/>. [Erişildi: 26 12 2023].
- [21] Jackie, «Plastic injection mold types,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.injectionmould.org/2019/08/19/plastic-injection-mold-types/>. [Erişildi: 14 11 2023].
- [22] «Hot Runner System For Injection Mold,» 31 07 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.plasticmoulds.net/hot-runner.html>. [Erişildi: 15 12 2023].
- [23] M. Khan, S. K. Afaq, N. U. Khan ve S. Ahmad, «Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design,» *Hindawai Publishing Corporation*, 2014.

- [24] A. T. Güneş, Plastik Enjeksiyon Kalıpları, TMMOB Makina Mühendisliği Odası, 2005.
- [25] «Cooling-channel configuration,» Flying Eagle, [Çevrimiçi]. Available: <http://www.cnf-moldmaking.com/Mold%20Technology%20Blog/Cooling-channel%20configuration,%20china%20injection%20mold%20%20China%20Mould%20maker%20%20china%20injection%20mold%20factory,%20mold%20china.htm>. [Erişildi: 22 11 2023].
- [26] «Options for Core Cooling,» [Çevrimiçi]. Available: <https://plasticmolddesign.wordpress.com/options-for-core-cooling/>. [Erişildi: 20 11 2023].
- [27] G.-l. Wang, G.-q. Zhao ve X.-x. Wang, «Heating / cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding,» *Elsevier*, cilt Materials and Design, no. 59, pp. 310-322, 2014.
- [28] A. K. M. ve Y. K. M., «A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 34, pp. 496-515, 2006.
- [29] Y. Wang, K.-M. Yu ve C. C. Wang, «Spiral and conformal cooling in plastic injection molding,» *Elsevier*, no. 63, pp. 1-11, 2015.
- [30] H. S. Park ve N. H. Pham, «Design of conformal cooling channels for an automotive part,» *International Journal of Automotive Technology*, no. 10, pp. 87-93, 2009.
- [31] Z. Gao, G. Dong, Y. Tang ve Y. F. Zhao, «Machine learning aided design of conformal cooling channels for injection molding,» *Journal of Intelligent Manufacturing*, no. 34, pp. 1193-1201, 2023.
- [32] A. Torres-Alba, J. M. Mercado-Colmenero, D. Diaz-Perete ve C. Martin-Donate, «A New Conformal Cooling Design Procedure for Injection Molding Based on Temperature Clusters and Multidimensional Discrete Models,» *Polymers*, cilt 12, no. 1, p. 154, 2020.
- [33] H. Hasan, N. Regnier, C. Lebot, C. Pujos ve G. Defaye, «Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding,» *Applied Thermal Engineering*, no. 29, pp. 1786-1791, 2009.
- [34] S. A. Jahan, T. Wu, Y. Zhang, H. El-Mounayri, A. Tovar, J. Zhang, D. Acheson, R. Nalim, X. Guo ve W. H. Lee, «Implementation of Conformal Cooling & Topology Optimization in 3D Printed Stainless Steel Porous Structure Injection Molds,» *Procedia Manufacturing*, cilt 44, no. 5, pp. 901-915, 2016.
- [35] A. Çetin, «Katkı Maddelerinin ve Enjeksiyon Parametrelerinin Plastik Ürünün Mekanik Özelliklerine ve UV Direncine Etkisinin Deneysel Araştırılması,»

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

- [36] Z. Shayfull, S. Sharif, A. M. Zain, M. F. Ghazli ve R. M. Saad, «Potential of conformal cooling channels in rapid heat cycle molding: a review,» *Advances in Polymer Technology*, cilt 33, no. 1, 2013.

EK AÇIKLAMALAR A.

CMM RAPORU



Tarih / Saat:
22.12.2023 / 09:58

Parça Adı:
Geleneksel soğutma kanallı ürün
Dişi Çekirdek Bölgesi

1	2	3	4					
El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. X-Angle Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance
A	2	31 A		4.610	0.020	4.620	0.010	
		Çap			-0.020			___***__
B	3	36 B		5.000	0.020	4.990	-0.010	
		Çap			-0.020			____*___
C	4	41 C		4.800	0.020	4.815	0.015	
		Çap			-0.020			____*___
D	5	46 D		4.970	0.020	4.972	0.002	
		Çap			-0.020			___*___
E	6	57 E		5.750	0.020	5.754	0.004	
		Çap			-0.020			___**__



Tarih / Saat:
22.12.2023 / 10:02

Parça Adı:
Geleneksel soğutma kanallı ürün
Erkek Çekirdek Bölgesi

1	2	3	4					
El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist/Ang. Dev/Error	Variance
A								
1	29	A		1:00:00	0:30:00	0:40:39	-0:19:21	
		Koni Açısı			-0:30:00			---***---
2	31	A1		7.840	0.020	7.856	0.016	
		Çap			-0.020			-_-*****_
3	33	A2		7.800	0.020	7.809	0.009	
		Çap			-0.020			---***---
B								
2	39	B		3:00:00	0:30:00	3:11:13	0:11:13	
		Koni Açısı			-0:30:00			---***---
4	41	B1		10.460	0.020	10.460	0.000	
		Çap			-0.020			---*---
C								
3	47	C		12:00:00	0:30:00	11:28:52	-0:31:08	-0:01:08
		Koni Açısı			-0:30:00			<<---+---
5	49	C1		9.660	0.020	9.651	0.009	
		Çap			-0.020			---***---



Tarih / Saat:
22.12.2023 / 10:05

Parça Adı:
Konformal soğutma kanallı ürün
Dişi Çekirdek Bölgesi

1	2	3	4					
El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. X-Angle Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance
A	2	30 A		4.610	0.020	4.613	0.003	___**__
		Çap			-0.020			
B	3	35 B		5.000	0.020	4.990	-0.010	___****_
		Çap			-0.020			
C	4	40 C		4.800	0.020	4.817	0.017	___*****_
		Çap			-0.020			
D	5	45 D		4.970	0.020	4.979	0.009	___***_
		Çap			-0.020			
E	6	56 E		5.750	0.020	5.685	0.010	___***_
		Çap			-0.020			



Tarih / Saat:
22.12.2023 / 10:08

Parça Adı:
Konformal soğutma kanallı ürün
Erkek Çekirdek Bölgesi

1	2	3	4					
El. No	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance
A								
1	29	A		1:00:00	0:30:00	0:48:25	-0:11:35	
		Koni Açısı/2			-0:30:00			---***---
2	31	A1		7.840	0.020	7.857	0.017	
		Çap			-0.020			---*****-
3	33	A2		7.800	0.020	7.801	0.001	
		Çap			-0.020			---*---
B								
2	39	B		3:00:00	0:30:00	2:57:05	-0:02:55	
		Koni Açısı/2			-0:30:00			---*---
4	41	B1		10.460	0.020	10.445	-0.015	
		Çap			-0.020			-.*****-
C								
3	47	C		12:00:00	0:30:00	11:46:38	-0:13:22	
		Koni Açısı/2			-0:30:00			---***---
5	49	C1		9.660	0.020	9.665	0.005	
		Çap			-0.020			---*---

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay USLU, lise eğitimini Afyonkarahisar'da tamamladı. 2014 yılında Şuhut Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl başladığı Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında mezun oldu. 2024 yılında Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'ndeki yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2021 yılından bu yana Şekeroğlu Kimya ve Plastik A.Ş.'de kalıp tasarım mühendisi olarak çalışmaktadır.