

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALIP İÇİ KUMAŞ ARKASI ENJEKSİYON
KALIPLAMA YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ VE
KALIP TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan GERGEF

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

Ocak 2020

BEYAN

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



Cihan GERGEF

27.12.2019

TEŞEKKÜR

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

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Kumaş Arkası Enjeksiyon İşlemi Sırasında Polimerin Viskoz Davranışı	4
2.2. Kalıp İçi Dekorasyon İşleminde Kumaş Özelliklerinin Etkisi.....	5
2.3. Poliolefin ve Polikarbonatın Kumaşa Enjektesinde Reolojik Analizi.....	5
2.4. Asimetrik Soğutma Sisteminin Kalıp İçi Dekorasyonda Çarpılmaya Etkisi.....	6
2.5. Kalıp İçi Dekorasyonda Kaliteyi Etkileyen Proses Parametreleri	7
2.6. Kalıp İçi Dekorasyonda Filmin Kalıp Yüzeyi Sıcaklığına Etkisi	8
2.7. Kalıp İçi Dekorasyonda Çarpılmayı Etkileyen Faktörler.....	9
2.8. Kalıp İçi Dekorasyonda Asimetrik Kalıp Sıcaklığı ve Çarpılma Etkisi..	10
2.9. Kumaş Üzerine Kalıplanmış Polimerin Penetrasyon Karakteri	11

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal	13
3.2. Yöntem	13
3.2.1. Kalıp içi dekorasyon tekniklerinin popularitesi	13
3.2.2. Kalıp içi teknikler ve dekorasyon.....	15
3.2.2.1. Kalıp içi dekorasyonun avantajları.....	19
3.2.2.2. Kalıp içi dekorasyonu sınırlayan durumlar	20
3.2.3. Kalıp içi kumaş kaplama	21
3.2.3.1. Kalıp içi kumaş kaplama teknolojileri.....	22
3.2.4. Kalıp içi kumaş kaplama için gerekli ekipmanlar	23
3.2.4.3. Kumaşın kesilmesi ve kumaş yapının sabitlenmesi	27
3.2.4.4. Hidrolik silindir	28
3.2.4.5. Hidrolik mengene ünitesi	29
3.2.5. Kalıp içi kumaş kaplama işlem adımları	30
3.2.6. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sisteminde önemli parametreler	36
3.2.6.1. Basınç düşüşü	36
3.2.6.2. Kumaş yapı katman kalınlığı.....	45
3.2.6.3. Parça geometrisi etkisi.....	49
3.2.6.4. Kalıp sıcaklığı etkisi	52
3.2.6.5. Asimetrik soğutma sistemi etkisi.....	60
3.2.6.6. Çarpılma etkisi	62
3.2.7. Kalıp içi dekorasyonda kullanılan kumaş ve özellikleri	64
3.2.7.1. Kumaş yapıdaki özel gereksinimler	65
3.2.7.2. Kumaşın penetrasyonu	68
3.2.7.3. Gerilme-penetrasyon ilişkisi.....	69

BÖLÜM 4.

TASARIM VE ANALİZ	73
4.1. Tasarım Çalışması ve Hesaplamalar.....	73
4.1.1. Malzeme seçimi.....	73

4.1.2. Nozül sayısı	74
4.1.3. Eriyik girişi için uygun bölge.....	76
4.1.3.1. Nozül çapının belirlenmesi.....	77
4.1.3.2. Soğutma sistemi	80
4.1.3.3. Çevrim süresi.....	81
4.1.3.4. Isı yükü hesabı.....	82
4.1.3.5. Soğutma kanalı çapı	83
4.1.3.6. Akış rejimi.....	83
4.1.3.7. Soğutma kanalı boyu	84
4.1.3.8. Hidrolik silindir hesabı	88
4.1.3.9. Makine verimi	92
4.1.3.10. Sıcak yolluk sistemi hesabı	92
4.2. Akış Analizi Değerlendirmeleri ve Hesaplamaları.....	93
4.2.1. Geleneksel enjeksiyon proses parametreleri	93
4.2.1.1. Giriş noktası	94
4.2.1.2. Enjeksiyon basıncı.....	95
4.2.1.3. Basınç kayıpları.....	96
4.2.1.4. Dolum süresi.....	96
4.2.1.5. Soğuk birleşme izi	97
4.2.1.6. Parça çarpılması	97
4.2.2. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon akış analizi.....	98
4.2.2.1. Proses parametrelerinin belirlenmesi	98
4.2.2.2. Giriş noktası	99
4.2.2.3. Enjeksiyon basıncı.....	100
4.2.2.4. Basınç düşüşü	101
4.2.2.5. Dolum süresi.....	101
4.2.2.6. Soğuk birleşme izi	102
4.2.2.7. Parça çarpılması	102
4.3. Teorik ve Analiz Basınç Düşüşlerinin Karşılaştırılması.....	103

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA	106
5.1. Genel Bakış	106

5.2. Proses Parametreleriyle İlgili Bulgular	106
5.3. Kumaş Yapıyla İlgili Bulgular	107
5.4. Tasarım İle İlgili Bulgular	108
5.5. Analizle İlgili Bulgular	109
5.6. Sonuç Değerlendirme	109
 KAYNAKLAR.....	 111
ÖZGEÇMİŞ	114



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: İvme (m/s^2)
ABS	: Akrilonitrilbütadienstiren
b	: Parçanın, kalıp çeliğine gömülü olan genişliği (m)
c	: Çeliğin Özgül Isısı ($kJ/kg^{\circ}K$)
C_p	: Suyun Özgül Isısı ($kCal/kg^{\circ}C$)
d_k	: Soğutma Kanalı Çapı (mm)
F_{ϕ}	: Çekme Kuvveti (N)
F_T	: İtici Silindirin Uygulaması Gereken Kuvvet (N)
F_1	: Parça-Kalıp Arası Sürtünme Direnci
F_2	: İvmelenme Direnci
F_3	: Pim-Kalıp Arası Sürtünme Direnci
g	: Yerçekimi İvmesi (m/s^2)
$G_{\bar{u}}$	: Toplam Ürün Kütlesi (g)
G_{pl}	: Plastisite Oranı (kg/h)
h	: Ürün Et Kalınlığı (mm)
IMC	: Kalıp İçi Kesim
IMD	: Kalıp İçi Dekorasyon
k	: Isı İletim Katsayısı ($W/m^{\circ}C$)
L	: Mesafe (mm)
L_p	: Parçanın Çevre Uzunluğu (m)
m	: Kütle (kg)
MFI	: Eriyik Akış İndeksi (g/10dk)
n	: Saatteki Baskı Adedi

η	: Viskozite (Pa. s)
η_m	: Makine Verimi
p	: Basınç (Bar)
Δp	: Basınç Düşüşü (Bar)
PC	: Polikarbonat
PET	: Polietilentereftalat
PP	: Polipropilen
Re	: Reynolds Sayısı
RTD	: Isıl Gecikmeye Bağlı Sıcaklık Düşüşü ($^{\circ}\text{C}$)
S	: Kalıp Yüzey Alanı (m^2)
T_B	: Kalıp-Eriyik Arayüz Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_C	: Eriyik-Film Arayüz Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{ç}}$	: Su Çıkış Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_D	: Film-Kalıp Arayüz Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_g	: Su Giriş Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_K	: Kalıp Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{kn1}	: Kanalın İç Çeper Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{su-ort}}$	: Soğutma Suyu Ortalama Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT	: Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
T_0	: Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	: Eriyik Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	: Parçanın Kalıptan Çıkış Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{\text{ç}}$	: Çevrim Süresi (s)
t_d	: Dolum Süresi (s)
t_s	: Soğutma Süresi (s)
$t_{a/k}$	: Kalıp Açılma Süresi (s)
t_m	: Manifold Isıtma Süresi (s)
v_{su}	: Su Hızı (m/s)
ν_{su}	: Suyun Kinematik Viskozitesi (m^2/s)

Q	: Debi (cm^3/s)
Q_1	: Doğal Soğutmayla Atılan Isı Yüğü (kCal/h)
Q_2	: Cebri Soğutmayla Atılan Isı Yüğü (kCal/h)
Q_{su}	: Su Debisi (m^3/h)
ρ_{su}	: Su Yoğunluğu (kg/m^3)
γ	: Kayma Gerilmesi ($1/\text{s}$)
$\emptyset$	: Çap (mm)
Δq	: Entalpi Farkı (kCal/kg)
α	: Termal Yayınma Katsayısı (m^2/s)
μ	: Sürtünme Katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. TPO-film Daimler Chrysler Vito ile iç cephe kaplama parçası.....	15
Şekil 3.2. Kalıp içi film.....	16
Şekil 3.3. Otomotiv uygulaması.....	16
Şekil 3.4. Kalıp içi ahşap uygulaması	16
Şekil 3.5. Kalıp içi ahşap uygulaması	17
Şekil 3.6. Seat Ibiza, door trim panel	17
Şekil 3.7. Kalıp içi taneleme	17
Şekil 3.8. Ev eşyaları ve elektronik malzemeler	18
Şekil 3.9. Kozmetik uygulamalar.....	18
Şekil 3.10. Kalıp içi etiketle kalıplanmış parça.....	19
Şekil 3.11. Araç içerisinde kumaş kaplama uygulamaları	21
Şekil 3.12. Volkswagen iç kapı paneli (solda), Intier Redditch tarafından üretilen BMW mini kapı paneli- 800 Ton- 1+1 kavite kalıp (sağda).....	22
Şekil 3.13. Audi A4 C-Pillar cover parçası- Valve gate tekniği ile Intier Straubing tarafından üretilmiş malzeme ABS/PC	23
Şekil 3.14. Ters enjeksiyonun prensibi	24
Şekil 3.15. Ters enjeksiyon kalıp tasarımı örneği itici sistemi ile malzeme girişi aynı tarafta.....	24
Şekil 3.16. Otomotivde kullanılan A-B Pillar parça örnekleri.....	25
Şekil 3.17. Valve gate sisteminin kalıplama prensibi	26
Şekil 3.18. Kumaşın kalıba sabitlenmesi	27
Şekil 3.19. Kumaş yapının çelik üzerinde kliplere yerleştirilmesi	28
Şekil 3.20. Otomotiv kapı trim elemanları için DecoForm üretim sahası	29
Şekil 3.21. İki-plakalı kalı kapama ünitesinin tasarımı ve işletimi.....	30

Şekil 3.22. IMD prosesinin işlem adımları a) Kumaş yapının kalıbın erkek tarafına yerleştirilmesi, b) Kalıbın kapanması ve dolum fazının başlaması, c) Kumaşla kaplanmış parçanın kalıptan çıkarılması.....	30
Şekil 3.23. Kumaşın önkesimi	31
Şekil 3.24. Cnc lazer kesim ve 6 eksen robot kesim.....	31
Şekil 3.25. Hazır kumaşın kalıba devredilmesi.....	32
Şekil 3.26. Kalıbın açılmasıyla birlikte kalıp içi kesimi yapan lokmalar ve kumaşın sabitlendiği klipsler	33
Şekil 3.27. Kumaşın kalıba sabitlenmesi	33
Şekil 3.28. Montaja hazır parça.....	34
Şekil 3.29. Kalıp içi dekorasyon hattı	35
Şekil 3.30. Kalıp içi dekorasyon akış şeması.....	35
Şekil 3.31. Basınç, dağıtım sistemi ve boşluk boyunca basınç düşüşü.....	37
Şekil 3.32. Kullanılan Spiral Kalıp	38
Şekil 3.33. Basıncın deneysel grafiği	38
Şekil 3.34. Donmuş tabaka gelişimi.....	39
Şekil 3.35. Deneysel simülasyon ve basınç düşüşü arasındaki karşılaştırma-katman düzeltilmesi olmadan.....	40
Şekil 3.36. Deneysel ve simülasyon basınç düşüşü arasındaki karşılaştırma–katman düzeltilmesi ile.....	41
Şekil 3.37. Geleneksel enjeksiyon viskoz eğrileri ile IMD candide olanlar arasındaki karşılaştırma	42
Şekil 3.38. Kalıp içi dekorasyon candide kumaşı işlemi için deneysel ve simülasyon basınç düşüşü.....	42
Şekil 3.39. FALSET kumaş görünümü	43
Şekil 3.40. PP ve PC malzemelerinin 280 °C ve 315 °C sıcaklığında viskoziteleri..	44
Şekil 3.41. PP+FALSET ve PC+FALSET malzemelerinin 280 °C ve 315 °C sıcaklığında viskoziteleri.....	44
Şekil 3.42. PP ve PP+FALSET için viskoziteleri	44
Şekil 3.43. PC ve PC+FALSET için viskoziteleri	45
Şekil 3.44. Tekstillerin katmanlarının belirgin ifadesi.....	46
Şekil 3.45. Kalıp içi dekorasyon işlem adımlarını gösteren şema	49

Şekil 3.46. Parça boyutları ve açı değerleri.....	50
Şekil 3.47. Kalıp içi dekorasyon kalıp parçaları	50
Şekil 3.48. Etki parametrelerini gösteren grafik	51
Şekil 3.49. Filmden dolayı kaynaklanan simetrik olmayan ön akış ilerlemesi.....	53
Şekil 3.50. Asimetrik eriyik ve sıcaklık doğrultusunun gösterimi.....	53
Şekil 3.51. IMD ve geleneksel enjeksiyon kalıplama sırasında ortaya çıkan ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü	54
Şekil 3.52. IMD ve geleneksel kalıplama arasında ortaya çıkan RTD farkı.....	55
Şekil 3.53. Farklı fım kalınlıklarına bağlı olarak ısı gecikme sıcaklığı ve çarpılma değerleri.....	56
Şekil 3.54. Çeşitli kalıp sıcaklıklarında ve film kalınlıklarında deneysel ve simülasyon sonuçlarının çarpılma ve RTD değerleri.....	57
Şekil 3.55. PET filmi üzerinde soğutma sıcaklığının RTD'ye etkisi.....	59
Şekil 3.56. Kalıp-Eriyik, Eriyik-Film ve Film-Kalıp arayüz sıcaklıklarının simülasyon sıcaklık profilleri	59
Şekil 3.57. Çeşitli eriyik sıcaklıklarında ısı iletim katsayısına bağlı olarak temas-arayüz sıcaklık değişimleri.....	60
Şekil 3.58. Farklı kalıp yarımlarını, soğutma kanalları ve termoform film	61
Şekil 3.59. Simetrik Olmayan Soğutma Sistemi Sonucu Çarpılma Değerleri.....	62
Şekil 3.60. Parçanın düşük et kalınlığı tarafına göre çarpılma durumu	62
Şekil 3.61. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak farklı kalınlıklardaki çarpılma değerleri ve olumlu ve olumsuz çarpılma şeması	63
Şekil 3.62. 2 mm kalınlığa sahip PC filmde çarpılmaya etki eden parametrelerin karşılaştırılması	64
Şekil 3.63. Dekor malzemenin katmanları.....	66
Şekil 3.64. Enjeksiyon öncesi kumaş yapı kalınlığı (solda), enjeksiyon sonrası kumaş yapı kalınlığı (sağda).....	66
Şekil 3.65. Bir araç için iç malzemenin kesit görünüşü 100, Bitkisel elyaf mat; 200, Çapraz Bağlanmış PLA köpüğü; 300, biyobozunur kumaş tabakası; 400, Laminat.....	67
Şekil 3.66. Kumaş yapının katmanları- IMD için.....	68
Şekil 3.67. Dekoratif yüzeye penetre olmuş eriyik	69

Şekil 3.68. Birkaç farklı uzama değerleri için basınç düşüşü	70
Şekil 4.1. Tasarımı yapılacak yan kapı paneli.....	73
Şekil 4.2. Parça Ölçüleri(mm).....	74
Şekil 4.3. Parçanın nominal duvar kalınlığı	75
Şekil 4.4. Plastik eriyiklerin maksimum akış genişliklerinin et kalınlığına oranı ...	75
Şekil 4.5. Geleneksel enjeksiyon kalıplama için en uygun giriş yerleri	76
Şekil 4.6. Geri enjeksiyon sistemiyle kalıplama için en uygun giriş yerleri.....	76
Şekil 4.7. Belirlenen giriş yerlerine yerleştirilen sıcak yolluk sistemi.....	77
Şekil 4.8. Parça gramajı ve sıcak yolluk patlama çapı arasındaki bağıntı grafiği....	78
Şekil 4.9. Erkek çelik (solda), dişi çelik (sağda).....	78
Şekil 4.10. Kumaş yapının sabitlendiği klipsler	79
Şekil 4.11. Parçanın Lama ve bar iticileri	79
Şekil 4.12. Ürün ve soğutma kanalları arasındaki mesafeler	80
Şekil 4.13. Polipropilen için Entalpi Değerleri	81
Şekil 4.14. Kumaş tarafına denk gelen dişi taraf soğutma sistemi tasarımı.....	85
Şekil 4.15. Seperatörün akışa yön vererek parçanın derin bölgelerine soğutma suyunu ulaştırması	86
Şekil 4.16. Dişi taraf ve erkek soğutma sistemi	87
Şekil 4.17. Soğutma suyu girişi ve çıkışı	87
Şekil 4.18. Hidrolik silindir milinin geri döndürücü plakaya sabitlenmesi	88
Şekil 4.19. Tasarımı yapılan hidrolik silindirin ölçüleri ve gerekli kuvveti	89
Şekil 4.20. İtici plakası ve erkek hamil arasındaki strok uzunluğu.....	90
Şekil 4.21. Kumaş yapının dişi kalıp tarafında sabitlendiği klipsler	91
Şekil 4.22. Kalıbın erkek tarafı	91
Şekil 4.23. Ters enjeksiyon kalıbının izometrik görünüşü.....	91
Şekil 4.24. Geleneksel enjeksiyon kalıp tasarımı.....	93
Şekil 4.25. Sıcak yolluk nozül memelerinin giriş yerleri.....	94
Şekil 4.26. Geleneksel enjeksiyon kalıplama için nozül giriş noktaları	95
Şekil 4.27. Enjeksiyon basıncı	95
Şekil 4.28. Ürün üzerindeki basınç kayıpları	96
Şekil 4.29. Dolum süresi	96
Şekil 4.30. Soğuk birleşme izi.....	97

Şekil 4.31. Çarpılma.....	97
Şekil 4.32. Kalıplama Penceresi.....	99
Şekil 4.33. Sıcak yolluk nozül memelerinin giriş yerleri	99
Şekil 4.34. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama için sıcak yolluk giriş noktaları	100
Şekil 4.35. Enjeksiyon Basıncı.....	100
Şekil 4.36. Basınç düşüşü	101
Şekil 4.37. Dolum süresi	101
Şekil 4.38. Soğuk birleşme izi.....	102
Şekil 4.39. Çarpılma.....	103
Şekil 4.40. Eriyik girişi ve en düşük basınç görülen bölge arasındaki mesafe	103
Şekil 4.41. Belirlenen noktalardaki basınç değerleri	104
Şekil 4.42. Kavitedeki basınç ve kayma gerilmeleri.....	104

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 Donmuş katman süreklilik sabitleri	39
Tablo 3.2. CANDIDE, MOSSA ve FALSET kumaşları	46
Tablo 3.3. 200 °C ve 220 °C sıcaklıkta sadece PP malzemenin basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi	47
Tablo 3.4. Falset kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi.....	47
Tablo 3.5. Mossa kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi.....	48
Tablo 3.6. Candide kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi.....	48
Tablo 3.7. Deneylerde kullanılan ortogonal metod sonuçları	51
Tablo 3.8. Kalıp içi kumaş kaplamada kullanılan yapıların minimum gerilme yüzdeleri	65
Tablo 3.9. Opel Corsa kapı panelinde kullanılan üç farklı kumaşın özellikleri.....	67
Tablo 3.10. Kumaş tensör vidası dönüşleri nedeniyle tekstil deformasyonu.....	70
Tablo 3.11. Candide, Mossa ve Falset kumaşların penetrasyon karşılaştırması için film yoğunluğu	71
Tablo 3.12. Falset kumaşın penetrasyon koşulları	72
Tablo 4.1. Geleneksel enjeksiyon proses parametreleri.....	94
Tablo 4.2. Malzeme kütüphanesine eklenen PP+Falset kumaşın ikinci dereceden denklem sabitleri	98
Tablo 4.3. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon proses parametreleri.....	99

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kumaş arkası enjeksiyon, Kalıp tasarımı, Soğutma sistemi dizaynı, Akış analizi

Her geçen gün gelişen teknolojilerle birlikte oluşan sıkı rekabet ortamı, artan üretim maliyetleri, kalite ve güvenilirlik beklentilerinin yükselmesi, çevrim sürelerinin uzamasından dolayı seri üretim için proses adımlarını iyileştirme ve birleştirme isteği zorunlu hale gelmiştir. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sistemleri de birçok proses adımlarının birleştirildiği ve tek bir işlemde ürün elde etmemizi sağlayan kalıplama tekniklerinden birisidir. Bu sistemle birlikte minimum hurda oranında, maksimum malzeme tasarrufu sağlayarak, düşük çevrim süreleri elde ederek, işgücü oranını düşürerek istenen kalitede ürünler elde etmek mümkündür. Geleneksel enjeksiyon kalıplama tekniklerinin revize edilmesiyle gerekli ekipmanlar tedarik edilerek, kompleks üretim adımlarının tek istasyonda tamamlaması ve maliyet giderlerinin yüksek oranlarda azaltılması mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama yöntemi ile geleneksel enjeksiyon kalıplama yöntemi arasındaki farkların incelenmesi amaçlanmıştır. Amaca uygun olarak iki yöntem arasındaki farklar kalıp tasarımları ve akış analizi noktalarında değerlendirilmiştir. Enjeksiyon kalıp tasarımı ve akış analizi yapılan parça binek araçlarda kullanılan, üzeri kumaş yapıyla kaplanmış yan kapı panelidir. Kumaş arkası enjeksiyon kalıplama esnasında ortaya çıkan farkları oluşturan parametreler üzerinde detaylıca durulmuştur. Bu parametrelerin optimizasyonu ile en ideal kalıplama koşulları belirlenerek analizler ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca akış analizi sonucu ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kumaş yapının kalıp içerisine dahil olması nedeniyle geleneksel enjeksiyon kalıp tasarım sisteminin kumaş yapı için uygulanabilir olmadığından, ters enjeksiyon adı verilen kalıp tasarımı yaklaşımının uygulanması uygun görülmüştür.

Yapılan akış analizi değerlendirmeleri sonucu kumaş arkası enjeksiyon kalıplamanın geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre enjeksiyon basıncında artış sergilediği, bunun nedeninin ise polimer eriyiğinin kalıp duvarına itilmesine ek olarak kumaş yapının da kavite duvarına sıkıştırılma isteği olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca çarpılma değerlerinde de kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama yönteminde artış görülmüştür. Teorik ve akış analizi basınç kayıplarında ise teorik basınç kaybının yüksek olduğu hesaplanmıştır. Bunun nedeninin ise analiz parçasının uniform et kalınlığına sahip olmaması ve parabolik olarak ilerleyen parça geometrisine sahip olduğu anlaşılmıştır.

INVESTIGATION of IN-MOLD TEXTILE INJECTION MOLDING METHOD and DEVELOPMENT of MOLD DESIGN

SUMMARY

Keywords: back of fabric injection, mold design, cooling system design, flow analysis

Due to the tight competition environment, increase in production costs, quality and reliability expectations, and cycle times, the desire to improve and combine process steps has become a necessity for plastic manufacturers. In-mold back-of-fabric injection molding systems are one of them. With this system, it is possible to obtain products of the desired quality by providing material saving, low cycle times and minimum scrap rate. With the revision of traditional injection molding techniques, the necessary equipment is provided and the complex production steps are completed at single station and the cost expenses are reduced at high rates.

In this study, it is aimed to investigate the differences between in-mold back-of-fabric injection molding method and traditional injection molding method. Advantageously, the differences between the two methods were evaluated in the mold design and flow analysis points of view. The part used for the injection mold design and flow analysis study is the passenger vehicles side door panel covered with fabric structure. The parameters that make up the differences that occur during back of fabric injection molding fabric were discussed in detail. With the optimization of these parameters, the most ideal molding conditions were determined and analyzes and calculations were performed. In addition, the results of the flow analysis were compared with the theoretical results. Since the traditional injection mold design system is not applicable to the fabric structure with the inclusion of the fabric structure in the mold, it is deemed appropriate to apply the mold design approach called reverse injection.

As a result of the flow analysis evaluations, it was found that back-of-fabric injection molding showed an increase in injection pressure compared to conventional injection molding, which was caused by the desire to push the polymer melt into the mold wall and to compress the fabric structure into the cavity wall. In addition, there was an increase in the warping values in the back of fabric injection molding method. It was calculated that the theoretical pressure loss was higher. The reason for this is that the analysis piece does not have uniform wall thickness and it has a parabolically progressive piece geometry.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama yöntemi geleneksel bir enjeksiyon kalıplama yönteminin kalıp içerisine kumaş eklentisinin dahil olmuş halidir. Tanım olarak sadece klasik enjeksiyon kalıbının içerisine kumaş yapının eklenerek plastik parçanın üretimi olarak algılansa da kalıp tasarımı, enjeksiyon makinesi ünite bölümleri ve enjeksiyon proses parametrelerinin kontrolü, valve gate sistemine sahip olan bir sıcak yolluk sisteminin kullanım mecburiyeti, kumaş yapının kontrolü gibi kompleks adımları içermektedir. İlk olarak oluşan farklılık kalıp tasarımında gözlenir. Klasik olarak iki veya üç plakalı bir enjeksiyon kalıp tasarımında itici sistemi, erkek taraf ve dişi taraf olmak üzere üç bölüm incelenir. Dişi taraf olarak tabir edilen kısım kalıbın sabit tarafından (hareket etmeyen kalıp yarımı) ve sıcak yolluk sisteminden oluşmaktadır. Erkek taraf ise enjeksiyon bittikten sonra parçanın kalıptan çıkabilmesini sağlayan itici sistemi ve erkek kalıp yarımından oluşmaktadır. Parçanın kalıptan düşebilmesi için itici pimlerinin strok mesafesini tamamlaması gerekmektedir. Strok uzunluğu ve kalıbın açılma hareketini mengene ünitesi sağlamaktadır. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sisteminde ise itici sistemi ve malzeme akışının başladığı yer (makine ekstrüder bölgesi) aynı taraftadır. Bunun amacı kumaş yapıya tünel yolluk veya muz yolluk kullanılmıyorsa ki sıcak yolluk kullanımı zorunlu hale gelmiştir; kumaşla birlikte enjekte edilecek parçaya kapı girişi ters enjeksiyon dışında imkansız hale gelmektedir. Sıcak yolluk sistemi ve itici ünitesi aynı tarafta olduğu için ters enjeksiyon kalıplarında sabit kalıp tarafı erkek taraf haline dönüşür. Enjeksiyon makinesinin mengene tarafı dişi kalıp yarımını temsil eder. Hareket eden blok dişi kalıp tarafıdır. Erkek taraf sabit kalıp tarafı olduğu için itici plakasını harekete geçirecek mekanizma bulunmamaktadır. Bu amaçla itici plakasına hidrolik silindir pistonu aparatlar veya diş profili ile çektirilerek gerekli strok hareketi sağlanmaktadır. Kumaş yapı ise dişi kalıp yarımına sabitlenir. Dişi çeliğe veya hamiline kurulan klipslere önkesimi yapılmış kumaş robot

vantuzlarıyla sabitlenir. Kumaş sabitlendikten sonra mekanik özellikleri belirli kumaşın gerilme değerlerine bağlı olarak ön yük uygulanır. Kalıp plakaları enjeksiyon başladığında yüksek kapama kuvvetine maruz kalır. Arada sıkıştırma işlemi gerçekleşen kumaş yapının yırtılması veya yapısının bozulması ihtimali vardır. Verilen önyükün amacı kumaş yapının sahip olduğu bariyer koruyucu tabaka, köpük katmanı ve dekoratif yüzeyin enjeksiyon öncesinde daha mukavim bir yapı kazanmasını sağlamaktır. Bu mukavim yapının başrolünde köpük tabaka vardır. Kalıp içerisinde oluşan kuvvetler köpük tabakayla birebir ilişkilidir. Bariyer tabaka ise eriyik malzemenin sıcaklığıyla orantılı olarak sızıntıları engelleme ile görevlidir. Uygulanan belirli önyük değerleri kumaş yapıya ön şekil verme ve mukavemet sağlamak içindir. Önyük uygulandıktan sonra enjeksiyon başlar. Enjeksiyon sırasında eriyik malzeme kumaş yapıdan kaynaklı olarak daha viskoz hareket gerçekleştirir. Viskozitenin artması ile kalıp içi basınçlar yüksek oranda artmaktadır. Geleneksel enjeksiyon ile oluşan ikinci büyük fark kalıp içi basınçlardır. Ayrıca kalıp açılma mesafesini ekstrüder tarafına sabitlenmiş hidrolik silindirler yapmaktadır. Enjeksiyon makinesinin dört köşesine yerleştirilmiş hidrolik sistemler mekanik kapanma hareketine göre daha düşük toleranslarda alıştırma çizgisinde kapanmayı sağlamaktadır. Enjeksiyon işlemi bittikten sonra oluşan en büyük farklardan birisi de kumaş yerleştirilen sabit kalıp tarafında ısı transferinin istenilen düzeyde olmamasıdır. Kumaş yapının yerleştirildiği tarafta katman kalınlığı ve ısı iletim katsayısına bağlı olarak ısı hapsedilir ve bu kalıp içerisinde ısıl gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü meydana getirir. Soğutma çevrimi bu sebepten dolayı uzamaktadır. Doğal olarak kumaş yapı yerleştirilen yüzeylerin çekme ve çarpılma değerleri kumaş yapı olmayan kalıp tarafına göre farklılık göstermektedir. Bu soruna çözüm bulmak için kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı artırılır, asimetrik soğutma sistemi veya etkin soğutma sistemi uygulanır.

Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sistemleri çalışma prensipleri, kalıp tasarımı, proses koşulları, kumaş yapının penetrasyonu, yoğun mühendislik hesaplamaları gibi kompleks durumları içerse de geleneksel enjeksiyon makinesine gerekli ekipmanların eklenmesiyle yeni bir enjeksiyon makinesine gerek duyulmadan istenilen plastik parçayı elde etmek mümkün hale gelmektedir. Kalıp içi kumaş

arkası enjeksiyon kalıplama yönteminin başlıca hedeflerinden olan maliyet için de bu durum avantaj sağlamaktadır. Ürünün enjeksiyon makinesinde çevrim süresi azalmasa bile makro anlamda üretim süresi bir hayli kısalmaktadır.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kumaş Arkası Enjeksiyon İşlemi Sırasında Polimerin Viskoz Davranışı

Bu çalışmada Martinez ve ark. [1], kumaşlı kalıp içi dekorasyonun (IMD-In Mold Decoration) uygulandığı enjeksiyon prosesindeki polimer davranışı üzerine bir çalışma yapmıştır. Kullanılan polimerin spiral kalıp içerisinde reolojik karakteristiğini, viskoz modelini tahmin etmek amacıyla metodoloji yaklaşımına gidilmiştir. Bir parçanın veya bir kalıp tasarımının geliştirilmesinde ve seri üretime geçmeden önce IMD çevrimini optimize etmek tasarımcılara ve plastik parça üreticilerine kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda bir diğer önemli husus donmuş tabaka karakteristiğini anlamaktır. Basınç düşüşü kalıp içerisinde sadece kullanılan eriyik malzemeye değil, aynı zamanda kumaşın varlığını da bağlıdır. Bu çalışmada sonuçları kıyaslama yapabilmek için görünür kayma hızı ve görünür viskozite kullanılmıştır. Dolum basıncına etki eden bir diğer faktör olarak donmuş katmana yoğunlaşmıştır. Donmuş katman ile temas yüzeyinin termal iletkenliği doğru orantılı olduğundan dolayı metalik bir yüzeyde akan plastik eriyik ile kumaş üzerinde akan plastik eriyiğin arasındaki farkın ne olduğunu anlamak çok önemlidir. Çalışmada üç katmandan oluşan Candide kumaş ve PP malzeme spiral kalıp vasıtasıyla kalıplanmıştır. Kalıp içi kullanılan sensörler ile basınç düşüşü ölçülmüştür. Donmuş tabaka etkisini de hesaba katarak model sabitleri elde edilmiştir. Plastik spiral ile candide kumaş üzerinde akan plastiğin arasındaki viskozite farkı % 15 olarak ölçülmüştür. Yüksek enjeksiyon hızında simülasyonda elde edilen basınç düşüşü deneysel değerlerin altındadır ancak düşük enjeksiyon hızlarında bu durum tam tersine dönmektedir. Basınç düşüşü hatalarının %14 ten %17,7 ye kadar ulaşması kabul edilebilir olmadığı için donmuş katman düzeltilmesi ile sonuçların irdelenmesi zorunlu hale gelmiştir.

2.2. Kalıp İçi Dekorasyon İşleminde Kumaş Özelliklerinin Etkisi

Bu çalışmada Martinez ve ark. [2], basınç düşüşü ve akış uzunluğu arasındaki ilişki için metodoloji yöntemini belirlemek, basınç düşüşü ve kullanılan kumaşların yapılarını karşılaştırabilmek ve kumaş kullanarak ve kumaş olmadan kalıplama sırasında hammaddenin viskoz davranışını incelemek için çalışma yapmışlardır. Katman kalınlıkları farklı 3 kumaş üzerine spiral kalıp vasıtası ile PP malzemenin enjeksiyonu çalışılmıştır. Kumaş varlığından dolayı kalıp içerisinde geleneksel yapıya göre daha fazla ortaya çıkan basınç düşüşünü ölçmek için kalıp içerisine iki tane sensör yerleştirilmiştir. Enjeksiyon sırasında eriyik sıcaklığı tedarikçiden elde edilen sıcaklık değerlerinin altına inilmiştir. Bunun sebebi farklı kalınlıktaki kumaşlarda eriyik malzemenin bariyer filmini ve köpük katmanını geçerek estetik kısma ulaşmamasını ve zarar vermemesini sağlamaktır. Çalışma sonucunda farklı kalınlıktaki kumaşların koruyucu film kısımları eşit olmasına rağmen kumaşların köpük kalınlığı eriyik malzemenin viskoz hareketini tanımlamaya yardımcı olmuştur. Candide ve mossa kumaşların köpük kalınlığı aynı olmakla birlikte viskozite eğrilerinin benzer olduğu görülmüştür. Ancak falset kumaşın diğerlerine göre köpük kalınlığı daha düşük olduğundan dolayı daha az viskoz davranış sergilemiştir. Bu davranışlar gözlenirken malzemenin kavite boşluğunda dolduracağı hacmin eşit olarak gözlenebilmesi mümkün değildir. Çünkü kumaş kalınlıkları farklıdır. Bu amaçla enjeksiyon yapılmadan önce kalıbın kapanmasında kalıp ayırım çizgisi kumaş kalınlığına göre yapılmaktadır. Çalışma sonunda plastik malzeme kumaş üzerinde ilerlediğinde geleneksel bir enjeksiyon işleminde elde edilen basınç düşüşünden yaklaşık %12 ile %15 arasında daha büyük bir düşüş gözlenmiştir. Plastik büzülmeden dolayı da kumaş üzerinde %2,3 ile %2,8 arasında genişlik daralması görülmüştür.

2.3. Poliolefin ve Polikarbonatın Kumaşa Enjektesinde Reolojik Analizi

Martinez ve ark. [3], eriyik malzeme enjeksiyon çevrimi sırasında kumaşa temas ettiğinde viskozite eğrilerinin nasıl değiştiğini gözlemlemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Konvansiyonel enjeksiyon işlemi ile kumaş üzerine PP ve PC enjekte

edildiğinde viskozite değerleri arasındaki farkları karşılaştırmak amaçlanmıştır. Aynı zamanda geleneksel enjeksiyon işlemine göre basınç düşüşü de karşılaştırılmıştır. Bunun için spiral kalıp kullanılmıştır. Kalıp içi basınç düşüşünü ölçecek iki basınç sensörü kavite boşluğuna yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Kumaş parçası kalıbın erkek tarafına bir çerçeve ile gerdirilmiştir. Bunu yaparken kumaş ile çelik yüzeyi arasında boşluk kalmamasına dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan kumaş Falset adında üç katmandan oluşan bir kumaştır. Kumaşlı spirallerin kalınlığı sadece spirallerin kalınlığı ile benzerdir. Çünkü kalıbın kapanması esnasında ayrılma çizgisi kumaşın kalınlığına göre ayarlanmaktadır. PP ve PC malzemelerinin Falset kumaşı üzerine enjekte edildiklerinde elde edilen basınç düşüşlerini ve viskoz hareketleriyle reolojik davranışlarını incelemek için ikinci dereceden Moldflow denklemleri elde edilmiştir. Aynı kumaş üzerine enjekte edilen PP-Falset ve PC-Falset arasında %67-70 oranında viskozite farkı gözlemlenmiştir. Kumaş üzerine plastiğin akışı sırasında PP ve PC için geleneksel enjeksiyon işlemindeki basınç düşüşünden yaklaşık %17 daha yüksek basınç düşüşü görülmüştür. Çünkü polimer ilerlerken aynı zamanda kumaşı da sıkıştırması gerekmektedir. Sonuç olarak, kumaşın varlığı kalıp içinde basınç düşüşünü artırmaktadır.

2.4. Asimetrik Soğutma Sisteminin Kalıp İçi Dekorasyonda Çarpılmaya Etkisi

Bu çalışmada Y-H. Lin ve ark. [4], dişi ve erkek kalıbın soğutma sistemi sıcaklığının ürün çarpılması üzerindeki etkisini araştırmak için simülasyon ve deneyler yapmıştır. Kalıp içinde kullanılan filmin ısı geciktirme etkisinden dolayı malzemenin kristallliği, çekme dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemektedir. Kavite ve çekirdek (sırasıyla dişi ve erkek) sıcaklıklarının 50 °C ve 65 °C olduğu asimetrik soğutma sistemi tasarımıyla çarpılmadaki azalmayı incelemektedir. 0,175 mm kalınlığında PC filmi polipropilen malzeme ile enjekte edilmiştir. Filmin oluşturduğu ısı gecikmeyi ölçmek için dişi ve erkek kalıp yarımlarına ısı sensörü konulmuştur. Kalıp çeliği P20 çeliktir. Eriyik malzeme sıcaklığı 230 °C de tutulup iki aşamada enjeksiyon gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada hem dişi kalıp yarımı hem de erkek kalıp yarımı sıcaklığı 50 °C de tutulup kullanılan PC filminin çarpılma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İlk aşamada simetrik soğutma sistemi, ikinci

aşamada ise asimetrik soğutma sistemi benimsenmiştir. Dişi kalıp yarımı 50 °C de sabitlenip, erkek kalıbın sıcaklığı 65 °C' ye yükseltilmiştir. Birinci adımın sonucu olarak filmin ısı geciktirme sebebiyle asimetrik sıcaklık farkına yol açtığı görülmüştür. İkinci aşamada uygulanan asimetrik kavite ve çekirdek soğutma tasarımıyla dişi ve erkek arasındaki oluşan sıcaklık farkının azaltılabileceği gösterilmiştir. Asimetrik soğutma sistemi tasarımı grafik sonuçları çarpılmanın 0,62 mm den 0,29 mm' ye indirilebileceğini göstermiştir. Simülasyon sonuçları % 63'lük bir azalma gösterirken deneysel sonuçlar %53' lük bir azalma sağlar. SEM fotoğrafları ile desteklenerek filmli enjeksiyon ve filmsiz enjeksiyon arasındaki yüzey pürüzlülüğü 0,1 mm den 0,005 mm' ye düştüğü gösterilmiştir.

2.5. Kalıp İçi Dekorasyonda Kaliteyi Etkileyen Proses Parametreleri

Woyan ve ark. [5] tarafından Ink-Wash(termoform film üzerindeki yolluk izi)' u etkileyen temel parametreler ve IMD ile üretilen parçaların çarpıklığı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Ink-wash parametresini ve parçanın çarpılmasını tanımlamak için bir işlem modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. 250 µm ve 375 µm kalınlığında PC filmi kullanılmıştır. Eriyik malzemesi olarak MFI değerleri farklı olan iki tane Makrolon PC seçilmiştir. Parça geometrileri 2 ve 3 mm kalınlıklarındadır. İlk PC eriyik malzemesi için erime sıcaklığı olarak 260 ve 300 °C, ikinci PC eriyik malzemesi için erime sıcaklığı olarak 270 ve 310 °C kullanılmıştır. Ütuleme basınçları sırasıyla 31,2-43,7 MPa ve 25-37,5 MPa olarak uygulanmıştır. Çarpılma etkisini gözlemlemek için kalıp sıcaklıkları 40 ve 80 °C, ink-wash etkisini gözlemleyebilmek için ise 60 °C olarak uygulanmıştır. En etkili parametreyi seçebilmek için bir etki tablosu oluşturulmuştur. Film kalınlığı kalıp içi ısının transferini azalttığı için asimetrik bir sıcaklık profili gelişmesine neden olmuştur. Kalıp sıcaklığının parça üzerindeki negatif ve pozitif çarpılma olarak tanımlanmış grafikleri elde edilmiştir. Artan kalıp sıcaklığı plastiğin soğumasını geciktirmiş ve düşük sıcaklık gradyanına bağlı olarak daha az bükülmeye neden olmuştur. Ink-wash etkisinin kayma gerilmelerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Çarpılmayı etkileyen ana parametrenin kalıp sıcaklığı olduğu, diğer etkili parametrelerin ise film kalınlığı, eriyik sıcaklığı ve enjeksiyon sonrası basınç olduğu anlaşılmıştır.

2.6. Kalıp İçi Dekorasyonda Filmin Kalıp Yüzeyi Sıcaklığına Etkisi

Chen ve ark. Tarafından yapılan bir çalışmada [6] kalıp içinde kullanılan filmin sıcaklık alanı üzerindeki etkisini araştırmak için soğutucu sıcaklığı, erime sıcaklığı, film malzemesi ve film kalınlığı gibi çeşitli koşulların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Eriyik-film arayüz sıcaklığının filmin başlangıç sıcaklığından ve filmin ısııl özelliklerinden etkilenip etkilenmediğini değerlendirmek için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Kalıp duvarına yerleştirilen filmde kaynaklanan kalıp-polimer ve eriyik-film-kalıp arayüz sıcaklıklarında ısı transfer davranışını anlamak esastır. Tek taraflı film kullanılan çalışmada, boşluk çeperine dik yöndeki asimetrik kalıp sıcaklık profilinin IMD prosesi için kritik öneme sahip olduğu görülmüştür. Kalıp-polimer (film olmadan), polimer-film ve film-kalıp arayüz sıcaklıkları deneylerle desteklenmiştir. Eriyik malzeme olarak PC seçilmiştir. Kalıp sıcaklıkları 10 °C'lik artışla 75 °C'den 95 °C'ye; erime sıcaklığı ise 15 °C'lik artışla 280 °C'den 310 °C'ye kadar değiştirilmiştir. Kalıp duvarlarında sırasıyla 0,175 mm ve 0,05 mm kalınlığında PC ve PET film kullanılmıştır. Kalıp sıcaklıklarını ölçmek için kalıp boşluklarına sıcaklık sensörü konulmuştur. Filmlerden kaynaklanan ısı geciktirme, artan soğutma suyu sıcaklığı ile azalırken, erime sıcaklığının artmasıyla artış gösterir. PC filmi PET filminden daha kalın olduğundan ısı gecikme PET filme göre daha yüksek olması beklenmektedir. Bu nedenle RTD (ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü) daha yüksektir. PC filminin termal iletkenlikleri farklı varsayılarak kalıp-eriyik-film grafiğinde üç farklı eriyik sıcaklığı ve aynı soğutma suyu sıcaklığı koşulları altında eriyik-film arayüz sıcaklıkları karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca film kalınlığına bağlı olarak değişen ısı gecikmenin kalınlık arttıkça daha belirgin hale geldiği ve ısı gecikmeyi de artırdığı açıkça görülmüştür. Kalıp sıcaklık farkları göz önüne alınarak konvansiyonel kalıplamaya kıyaslandığında, kalıp sıcaklık farkının PC filmi için 17,7 °C, PET filmi için ise 13 °C olduğu gözlemlenmiştir. PC filminin kalınlığı 0,175 mm'den 0,525 mm'ye yükseldikçe geciktirmeye bağlı kalıp sıcaklık farkı da 4 °C artmıştır. PC filminin termal iletkenlik katsayısı iki katına çıkarıldığında eriyik-film arayüz temas sıcaklığının da 23 °C arttığı gözlemlenmiştir.

2.7. Kalıp İçi Dekorasyonda Çarpılmayı Etkileyen Faktörler

Lee ve ark. [7] tarafından yapılan bir çalışmada kalıp içi dekorasyon parçalarında çarpılmayı etkileyen faktörler hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Parça geometrisinin parça çarpılmasına etkisini belirlemek için çeşitli geometrilere çalışmalar yapılmıştır. Tüm deneyler için 2 mm kalınlıkta ve U şeklinde bir parça seçilmiştir. Bu parçanın köşe açıları sırasıyla 90°, 135° ve 150° dir. Kullanılan dekorasyon filmleri 250 µm kalınlıkta ve 2 x 2 mm boyutundadır. Eriyik malzeme %20 cam elyaf takviyeli PET dir. Kalıplamaya geçmeden önce filmlerin termoform geçirerek U şeklini almaları sağlanmış ve ardından kalıplama için kalıp boşluğuna yerleştirilmiştir. Farklı işlem prosesleri için erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve köşe açıları değerlendirme faktörleri olarak seçilmiştir. Enjeksiyon debisi 97 cm³/s ye sabitlenmiştir. Kalıp sıcaklıkları sırasıyla 55, 65 ve 75 °C, eriyik sıcaklıkları 270, 275 ve 280 °C, eriyik basınçlar ise 83, 100 ve 125 MPa olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre tüm U şeklindeki plakalar dekorasyon filmi yönünde eğilim göstermiştir. Dekorasyon filmli kalıplamalar filmsiz olanlara oranla çok daha şiddetli çarpılma göstermiştir. En büyük çarpılma değerleri 90° köşe açılı olan plakada, en düşük çarpılma değeri ise 150° köşe açısı olan plakada meydana gelmiştir. Minimum çarpılma için optimal faktör seviyelerini gösteren grafikte en az çarpılma 270 °C erime sıcaklığı, 55 °C kalıp sıcaklığı, 83 MPa basınç ve 150° köşe açısı kombinasyonunda ortaya çıkmıştır. Film tarafındaki büzülmenin karşı taraftan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Eriyik sıcaklığı parçaların soğutma hızını azaltmakta ve polimerin soğuması daha fazla zaman almakta, bu da çarpılmanın daha fazla olmasına neden olmaktadır. Kalıplanmış parça çarpılmalarını en aza indirmek için düşük kalıp sıcaklıkları kullanılmalıdır. Çünkü kalıp sıcaklığının artırılması polimerin daha uzun bir süre boyunca yüksek sıcaklıklarda kalmasına ve malzemenin kristallik seviyesinin (polimer malzemenin sıcaklığı karşı gösterdiği direncin artması ve daha yüksek sıcaklıklarda erimeye başlaması) artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak parçaların köşe açıları ve enjeksiyon basıncı, IMD parçalarında çarpılmayı etkileyen en önemli faktörler olduğu görülmüştür.

2.8. Kalıp İçi Dekorasyonda Asimetrik Kalıp Sıcaklığı ve Çarpılma Etkisi

Chen ve ark. [8] tarafından yapılan bu çalışmada, kalıp içine eklenen filmin PP parçalar için asimetrik kalıp sıcaklık alanı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca asimetrik kalıp sıcaklığından dolayı filmin yerleştirildiği kalıp duvarı kısmının çarpılma ve kristallenmesi de incelenmiştir. Eklenen film sonrası kalıp duvarlarında eşit olmayan sıcaklık dağılımı ile kalıp-polimer ve polimer-film-kalıp arayüzeylerinde ısı transferi davranışına yoğunlaşmıştır. Eklenen filmin kalıp çelikleri üzerindeki sıcaklık alanı ve IMD enjeksiyonlu kalıplamanın ortaya çıkardığı fazla çarpılma değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için PP malzeme, kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, film malzemesi ve film kalınlığı gibi çeşitli proses parametresi varyasyonları ile kalıplama yapılmıştır. Çalışmada 0,125 ve 0,175 mm kalınlığında PC filmleri ile 0,036 ve 0,05 mm kalınlıkta PET filmleri kullanılmıştır. Kalıp sıcaklığı 10 °C' lik artan adımlarla 40-60 °C arasında değişirken; erime sıcaklığı 30 °C'lik artan adımlarla 200-260 °C arasında değişmiştir. IMD kalıplama esnasında kalıp sıcaklık değişimini incelemek için 1 mm çapındaki iki sıcaklık sensörü erkek ve dişi kalıp boşluklarına yerleştirilmiştir. Film eklemeli ve geleneksel enjeksiyon kalıplama arasında kalıp kavitesinde meydana gelen sıcaklık farklarını gösteren grafik elde edilmiştir. Film kalınlığı arttıkça ısıl gecikme ve çarpılmanın arttığı ve daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Eriyik sıcaklığının artmasının ısıl gecikmeyi ve ısıl gecikmeyle beraber kalıp içi gerilmeleri artırdığı ve buna bağlı olarak da çarpılmanın yükseldiği gözlenmiştir. Artan kalıp sıcaklığı ile ısıl gecikme ve çarpılma da azalma saptanmıştır. Filmle kaplanan parçalarda geleneksel kalıplanmış parçalara göre daha yüksek kristallik boyutu gözlenmiştir. Bunun nedeni polimer eriyiğin soğuma oranını azaltan ısıl gecikmedir. Bu çalışmanın en önemli noktalarından biri olan ısıl gecikmeyi düşürmek ve asimetrik soğutma sistemi tasarımının etkilerini araştırmak için 0,175 mm kalınlığında, 230 °C erime sıcaklığında, 50 °C kavite sıcaklığına ve 65 °C çekirdek sıcaklığına sahip bir PC filmi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çarpılma önemli oranda azalmıştır. Asimetrik soğutma sistemi uygulandığında (çekirdek sıcaklığı 50 °C' den 65 °C' ye çıkarılıp, kavite sıcaklığı 50 °C' de sabit tutulduğunda) parça çarpılma değerleri %53-%63 oranında düşmüştür. Geleneksel kalıplamaya göre kalıp sıcaklık farklarının PC için

10 °C ve PET için 6 °C olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ısı gecikme ve çarpılma, eriyik sıcaklığı ve film kalınlığı arttıkça artmakta, artan kalıp sıcaklığı ile azalmaktadır. Asimetrik soğutma sistemi tasarımıyla çarpılma üzerinde önemli oranda iyileştirme sağlanabilmektedir.

2.9. Kumaş Üzerine Kalıplanmış Polimerin Penetrasyon Karakteri

Penetrasyon, eriyik malzemenin tekstil üzerine enjekte edildiğinde ortaya çıkan ve parçanın dekoratiflik amacını engelleyen bir hatadır. Enjeksiyon hatalarını önceden belirlemek zaman, maliyet açısından çok önemlidir. Martinez ve ark. [9] tarafından yapılan bir çalışmada penetrasyonu karakterize eden gerginlik, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve ortaya çıktığı noktadaki kombinasyonlar incelenmiştir.

Penetrasyon kumaş kullanılan bir IMD işleminin bir özelliğidir. Plastikler IMD işleminde kullanılan tekstilin yapısına girdiğinde penetrasyonlar meydana gelmektedir. Sızmalar genellikle kumaşın kalıba yerleştirilmesini sağlayan karmaşık boyutlu alanlarda meydana gelir. Dokunun aşırı gerginliği gözenek boyutunun artmasına ve ermiş plastiğin yapıya girmesine sebep olacaktır. Kumaş yapının çok sıkı olduğu bölgede yüksek bir basınç değeriyle karşılaşması doğal olarak penetrasyonu oluşturacaktır. Bu makalede spiral kalıp kullanılarak tekstil kumaş üzerinde eriyik malzeme enjekte edildiğinde parametrelerde meydana gelen değişime değinilmiştir. Uygulanan spiral malzeme 136 cm uzunluğa ve 20x2 mm dikdörtgen kesite sahiptir. Kalıp içerisine yerleştirilen basınç ölçerlerle birlikte kumaş yapı üzerindeki basınç değerleri okunmuştur. Kalıp içerisinde kumaş yapının sabitlenmesine ve gerilmesine yardım eden cımbız sistemi kurulmuştur. Enjeksiyon makinesi 55 tonluk bir sıkıştırma kuvvetine ve 50 gr/s lik plastikleştirme kapasitesine sahiptir. Çalışmada Stamylen PHC31 PP malzeme kullanılmıştır. Katman kalınlıkları ve bariyer tabaka yoğunlukları farklı olan üç farklı kumaş yapı incelenmiştir. Enjeksiyon eriyik sıcaklıkları 190, 210 ve 230 °C dir. Enjeksiyon hızı makinenin maksimum enjeksiyon hızının %50' si kadardır. Çalışmada basınç limitleri 30, 40 ve 50 bar olarak seçilmiştir. Cımbız yapısının vidalarının sıkılması ile birlikte kumaş üzerinde belirli gerilme değerleri elde edilmiştir. Köpük kalınlıkları aynı olan iki

kumaşın viskoz hareketlerinin aynı olduğu görülmüştür. Diğer kumaşın ise köpük kalınlığının düşük olmasıyla birlikte daha az viskoz hareket sergilediği görülmüştür. Koruyucu astar yoğunluğunun polimer geçişini engellediği anlaşılmıştır. Bu nedenle üç farklı kumaştan bariyer tabaka yoğunluğu yüksek olanların penetrasyon açısından daha güvenilir olduğu anlaşılmıştır. Yapılan çalışma sonucu koruyucu astar tabakanın ne kadar yoğun olursa polimerin nüfuz etme olasılığının o kadar düşük olacağı anlaşılmıştır. Eriyik sıcaklığının ise penetrasyona sebep olabileceği ve düşük sıcaklıklarda çalışılması gerektiği öngörülmüştür. Köpük tabakanın ise penetrasyonu etkilemediği, kalıp içi basınç oluşumlarında etkili olduğu anlaşılmıştır.



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada IMD tekniklerinde yaygın bir şekilde kullanılan kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sistemleri incelenecek, bu yöntemde yüksek önem derecesine sahip olan proses değişkenleri araştırılacak, kalıp tasarımı geliştirilecek, gerekli mühendislik hesaplamaları yapılacak ve klasik yollarla elde edilen yöntemlerle karşılaştırmalı olarak akış analizleri gerçekleştirilecektir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kalıp içi dekorasyon tekniklerinin popülaritesi

Değişen dünya pazarı, piyasa beklentileri ve gereksinimleri ile birlikte maliyeti azaltacak işlem adımları üzerine çalışmalar süreklilik kazanmaktadır. Bu çalışmalar sektörde yeni teknolojik prosesleri ön plana çıkarmakta, üretim sürelerini minimuma indirmeyi ve hassas parçaları düşük toleranslarda üretmeyi mümkün kılacak polimer işleme teknolojilerindeki değişiklikleri körüklemektedir. Özel olarak, çok fonksiyonlu kalıplama ve kalıp içi dekorasyon teknikleri, birden fazla beklentiye cevap veren dekoratif ürünler için popülarite kazanmaktadır [10].

Bazı tedarik zinciri müşterileri polimeri işleyen üreticilerden, tek tek kalıplanmış ürünlerinin yerine IMD tekniklerini de enjeksiyon prosesine dahil ederek işlemlerini tamamlamalarını istemektedir. Ancak bu IMD teknikleri ürünü üreten yüklenicinin kalite, üretim süresi, çevrim zamanı ve kâr gibi konularda revizyona gitmesini gerektirmektedir. Ürünün hammaddesinin ekstrüdere girişinden parçanın enjeksiyon makinesinden düşürülmesine kadar IMD teknikleri ve işlem adımları değişebilir,

rakipler üretim maliyeti, çevrim süresi, kalite üstünden birbirleriyle farklılaşabilirler. Tamamı ile bir termoform makinesi, laser kesici, robot sistemleri veya boyama işlemini içine alan bir atölye kurulması bir polimer işleyici için genellikle uygun değildir. Bu nedenle IMD işlemleri bu noktada gerçekçi bir seçenek haline gelmektedir [10].

Müşteri tarafından talep edilen dekorasyon değişikliklerinin sayısı ve tasarımı da gittikçe farklılaşmaktadır. Özellikle otomotiv ve cep telefonu endüstrisinde, müşteriye bireysel bir tasarımcı olarak görme ve ürüne özelleştirilmiş hissi verme yönünde bir eğilim vardır. Sipariş üzerine daha fazla bireysel esneklik seçeneği sunulmaktadır. Müşterilere otomobillerinin iç hacmini değiştirebilme ve yeni bir ambiyans yaratma, telefonlarının dış yüzeyini ve dekorasyonunu istedikleri oranda özelleştirebilme gibi seçenekler sunulabilmektedir. Bu uygulama, otomotiv endüstrisinde, araç pazarlama konusunda bir yöntem olarak başlasa da müşterilerin otomobilleriyle kendi kişilik özelliklerini ifade edebilmeleriyle sonuçlanmıştır. Bu uygulamalar zamanla telekomünikasyon, kozmetik, beyaz eşya ve özellikle araç içi kaplamalarda yüksek oranda uygulanmaya başlamıştır. Kalıp içi boyama teknikleri ve kalıp içi film ekleme uygulamalarıyla çevrim süresi içerisinde değişmesi gereken boya türünü sadece film rulosunu değiştirmekle çok daha kolay değiştirilebilir hale getirmektedir. Böylece iki farklı proses bir uygulamada birleştirilmiş olup aynı zamanda üretim süresi de daha kısa hale gelmiştir [10].

Rekabetçi bir ortamda faaliyet gösteren otomotiv piyasası, yoğun maliyet baskısı altında maksimum model farklılaşmasını sağlamak, yenilikçi düşünceler üretmek ve maliyeti düşük tutmak konusunda teknolojiler geliştirmek zorundadır. Yeni segmentlerdeki araçlar üretim teknolojilerindeki hızlı gelişmeleri yönlendirmektedir. Bu tekniklere otomotiv piyasası öncülük etmektedir. Ama diğer sektörlerde de hızlı bir gelişim sağlanmaktadır. Kalıp içi teknikler, uçak ve tren iç mekânlarında, oturma yerlerinde ve mobilya endüstrisinde kalite ve maliyet avantajları sunmaktadır [11].

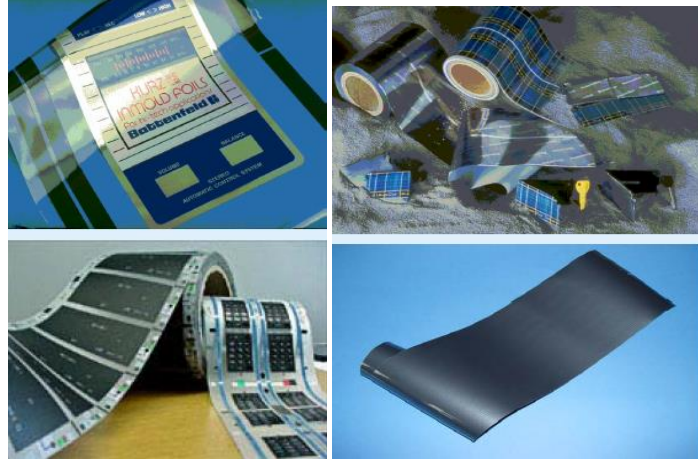


Şekil 3.1. TPO-film Daimler Chrysler Vito ile iç cephe kaplama parçası [12]

3.2.2. Kalıp içi teknikler ve dekorasyon

Estetik, ambiyans, yüzeysel özellikleri iyileştirme, etiketleme, aşınma direnci, ömür, ses yalıtımı, ısı yalıtımı vb. amaçlar için müşteri talepleriyle enjeksiyon kalıplarının işlemden geçirilerek dekore edilmesinin birkaç yolu vardır. Sektörde bu yöntemler, firmaların kendi ortaya çıkardıkları teknoloji ile patentlerini almasıyla isimlerinde değişiklik göstermektedir. İçerdikleri malzemeden isimlerini almışlardır. Bu tekniklerden yoğun olarak kullanılanlar; Kalıp İçi Etiketleme, Kalıp İçi Kumaş Kaplama, Kalıp İçi Ahşap Kaplama, Kalıp İçi Film Kaplama, Kalıp İçi Taneleme, Kalıp İçi Elektronik vb. dir. Genellikle ‘kalıp içi’ kelimesiyle adlandırılırlar. Bu çalışmada kalıp içi kumaş kaplama yoğun olarak incelenecektir [13]. Kalıp İçi Dekorasyon (In-Mould Decoration – IMD) aşağıdaki gruplara ayrılmaktadır.

- Kalıp İçi Folyolama (In-Mould Foil – IMF)
- Kalıp İçi Etiketleme (In-Mould Labelling – IML)
- Kalıp İçi Kumaş Kaplama (In-Mould Fabric veya In-Mould Textile – IMT)
- Kalıp İçi Ahşap (In-Mould Veneer – IMV)
- Kalıp İçi Elektronik (In-Mould Electronics – IME)
- Kalıp İçi Taneleme (In-Mould Graining – IMG)
- Kalıp İçi Film (In-Mould Insert Film – IMF)



Şekil 3.2. Kalıp içi film [12]

IMD uygulamaları başta otomotiv, telekomünikasyon, ev eşyaları, beyaz eşyalar, elektronik, kozmetik, spor ve özel tasarım parçalar olmak üzere birçok alanda artarak devam etmektedir.



Şekil 3.3. Otomotiv uygulaması [14]



Şekil 3.4. Kalıp içi ahşap uygulaması [13]



Şekil 3.5. Kalıp içi ahşap uygulaması [12]

Kalıp içi ahşap kaplama uygulaması gerçek ahşap malzemeler kullanarak plastik enjeksiyon sistemlerinde otomotiv sektöründeki önde gelen birkaç firma tarafından desteklenmiştir. Ancak kaynakları yoğun olan, zaman bakımından yukarılarda ve maliyet açısından yüksek fiyatlarda olduğu için sadece birinci sınıf kalitede olan araçlar için üretilmeye başlanmıştır. Kalıp içi teknikler kullanılmasıyla bu engeller ortadan kaldırılmıştır. Zamandan, maliyetten önemli ölçüde tasarruf sağlayarak alternatif kalıp içi üretim yöntemi geliştirilmiştir [13].



Şekil 3.6. Seat Ibiza, door trim panel [11]



Şekil 3.7. Kalıp içi taneleme [12]

Kapı paneline ait parça iki kademelidir. Dış taraftaki siyah yüzey kalıp içi taneleme yöntemiyle plastik üzerine modelleme yapılırken, iç tafaftaki ahşap modeline benzer kısma ise kalıp içi ahşap uygulaması ile görsellik kazandırılmıştır.



Şekil 3.8. Ev eşyaları ve elektronik malzemeler [12]



Şekil 3.9. Kozmetik uygulamalar [12]

IML işleminin uygulama alanı olarak çoğunlukla ince duvarlı plastik ambalaj kapları ve plastik kartlar kapsamaktadır. Basılı bir filmi direkt olarak kalıbın dişi veya erkek çelik bölümüne robot vantuzlar yardımıyla yerleştirilerek, kalıp boşluğunu bir film ile bir enjeksiyonla kalıplanmış parça oluşturur [15].



Şekil 3.10. Kalıp içi etiketle kalıplanmış parça [12]

Etiketlerin magazinden kalıp boşluğuna transferi bir taşıma cihazı ile yapılır. Etiketler, taşıma cihazının kısıkcından vakumla alınır. Etiketlerin kalıp içinde yerinde tutulması vakum veya elektrostatik yüklenme ile yapılır. Etiketlerin iyi bir şekilde kalıp boşluğundan ayrılmaması için filmin uygun sertliği gereklidir. Film kalınlığı yaklaşık 50 - 80 μm olmalıdır [15].

3.2.2.1. Kalıp içi dekorasyonun avantajları

- Geliştirilmiş estetik ve yüzey özellikleri elde etmek için çeşitli proses adımlarının kalıp içerisinde birleştirilmesine olanak sağlar [13].
- Oluşturulan plastik ürünlerin estetik görünümü, aşınma direnci ve dayanıklılığını artırmak için tercih edilebilir uygulamadır [13].
- Parça üretim sonrası ikincil, üçüncül işlemleri ortadan kaldırır veya kalıp içi herhangi bir kesim operasyonu mevcutsa kalıplama öncesi işlemi de ortadan kaldırabilir.
- Yüksek otomasyon seviyesi sağlar.
- Tasarımda esnek davranma ve dekoratif yüzeylerin hızlıca değişmesine olanak sağlar.
- Ön işlem yoktur ve solvent kullanımı içermez.(Kullanılan film türüne göre değişiklik gösterebilir. Çünkü ısı iletim katsayısı kalıp içerisinde ısı transferi davranışında oldukça etkilidir)
- Substrat(eriyik malzemenin termoform film veya kumaş yapı temas noktaları) üzerinde iyi bir adezyon kuvveti sağlar.

- Dekoratif yüzeyler enjeksiyon sonrası parça üzerinde oluşan hataları gizleyebilir (Soğuk birleşme izi, yüzey çöküntüsü, gümüş izleri vb) [12].
- Üretim aşamalarının ve bileşen parçalarının sayısını azaltabilir ve bitmiş ürünlerin kalitesini, karmaşıklığını ve dayanıklılığını geliştirme potansiyeli sunarken hem üretim zamanını hem de maliyeti düşürür [8].

3.2.2.2. Kalıp içi dekorasyonu sınırlayan durumlar

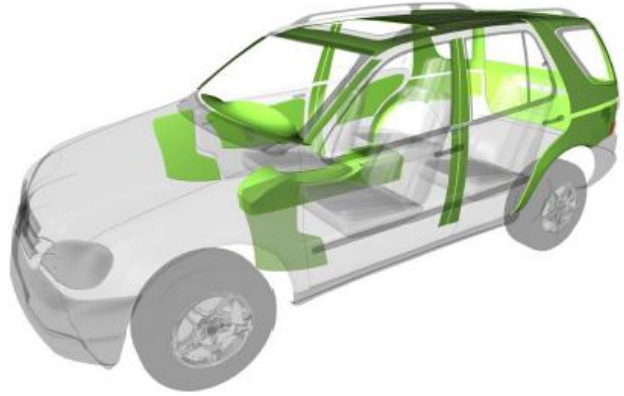
- Özel olarak tasarlanmış kalıplar gerektirir. Çünkü film, kumaş veya herhangi eklentide geleneksel kalıplamaya göre kalıp içine giren yeni elemanın sabitlenmesi için çeşitli kısıkaçlar, cımbızlar, klipsler gereklidir.
- Ters enjeksiyon kalıbında ekstrüderden gelen eriyik malzeme itici sistemi ile aynı taraftadır. Parça geometrisi, parça üzerinde üretim sonrası oluşan hataları görünmez hale getirmek, kalıp içi dekorasyon özelliği katmak için böylesine özel tasarımlar yapılmaktadır. Film veya kumaşların ısı direnci eriyik sıcaklığından daha yüksek olmalıdır. Ancak bu durumda bariyer film dokusuna veya kumaş estetiğine zarar gelmez. Aksi durumda hammadde olarak kullanılan polimer erime sıcaklığına ulaşmadan film / kumaş yapısını ve görevini yerine getiremez hale gelir.
- Dekoratif yüzeyin derinliği sınırlıdır. Çünkü film veya kumaş kalınlığı arttıkça parça çarpılması (warp) ve ısı geciktirme sıcaklığına bağlı parçadaki ısı gerilmelerin artması (Retardation Temperature Drop) artmaktadır. Çarpılma ve ısı geciktirme sıcaklığı konularına ileriki bölümlerde değinilecektir.
- Yarıçaplar sınırlıdır. Parça üzerinde kalıp içi dekorasyonla kaplanmış yüzeylerin duvarlarındaki açığa bağlı olarak çarpılma değerleri farklılık gösterir.
- Parçaların temizlenmesi gerekli olabilir. Eriyik plastik substrat görevini yapan katmanın temizliği çok önemlidir. Kimyasal olarak yapışma uyuma bağlı olup, film veya kumaşların eriyik plastik arayüz temas noktaları temiz olması gereklidir.

3.2.3. Kalıp içi kumaş kaplama

Geleneksel olmayan enjeksiyon kalıplama ailesinin bir üyesi kalıp içi kumaş kaplama uygulamasıdır. Önceden belirlenmiş bir kalıp yarımına yerleştirilen kumaş veya tekstil üzerine polimerin enjekte edilmesi işlemidir.

Normalde, geleneksel enjeksiyon makinelerinde kumaşı yerleştirmek ve enjeksiyon işlemi bittikten sonra parçayı çıkarmak için bir robot kol kullanılır. Robot kol parçanın kalıptan çıkarılması için değil, konveyör sistemine taşınması için güvenli bir şekilde tutulması amacıyla kullanılır. Parçanın kalıptan çıkarılmasını itici sistemler sağlar. Kumaş arkası enjeksiyon kalıplama işlemi otomotiv endüstrisinde iç döşeme parçaları üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalıplama parçasına uygulanan ve zaman faktörü bakımından etkili olan son işlemleri ortadan kaldırır [16].

- A-B-C- D Sütun Panelleri
- Kapı Paneli
- Bagaj Kapağı
- Ön Konsol
- Bagaj Trimleri
- Tavan Kaplama



Şekil 3.11. Araç içerisinde kumaş kaplama uygulamaları [17]

Kumaşlar genellikle kalıba yerleştirilmeden önce dekoratif film tüm yapının üzerine gelecek şekilde ve köpük katmanı ara tabakayı oluşturacak şekilde desteklenir ve düşük erime ve kalıplama sıcaklığına sahip bir polimer kumaşın arkasına enjekte edilir. Kumaşın katmanlarına zarar gelmesini önlemek için düşük sıcaklıklar tercih edilir ve düşük doldurma basınçları kumaşın enjeksiyon üzerinde hareket etme olasılığını azaltmak ve kumaşın kalıba doğru itilmesinden kaynaklanan ezilmeyi

azaltmak için kullanılır. Bu düşük basınçlar enjeksiyon hızı profilini değiştireceğinden, viskoziteyi azaltarak ve kısa akış yollarını ve yüksek kalıp sıcaklıklarını kullanarak elde edilir. Çünkü viskozite tanımı basınç değişimleri ile elde edilen reolojik değerlerdir. Kalıp içi tekstiller ile ilgili problemler arasında başta parça çarpılması ve kırılma, renk ve parlaklık değişimi, bozulma ve katlanma riski vardır. Ancak bu zorluklara rağmen proses parametrelerinin optimum değerleri bulunarak bu üretim hatalarından kaçınılır [10].



Şekil 3.12. Volkswagen iç kapı paneli (solda) [12] , Intier Redditch tarafından üretilen BMW mini kapı paneli- 800 Ton- 1+1 kavite kalıp (sağda) [17]

3.2.3.1. Kalıp içi kumaş kaplama teknolojileri

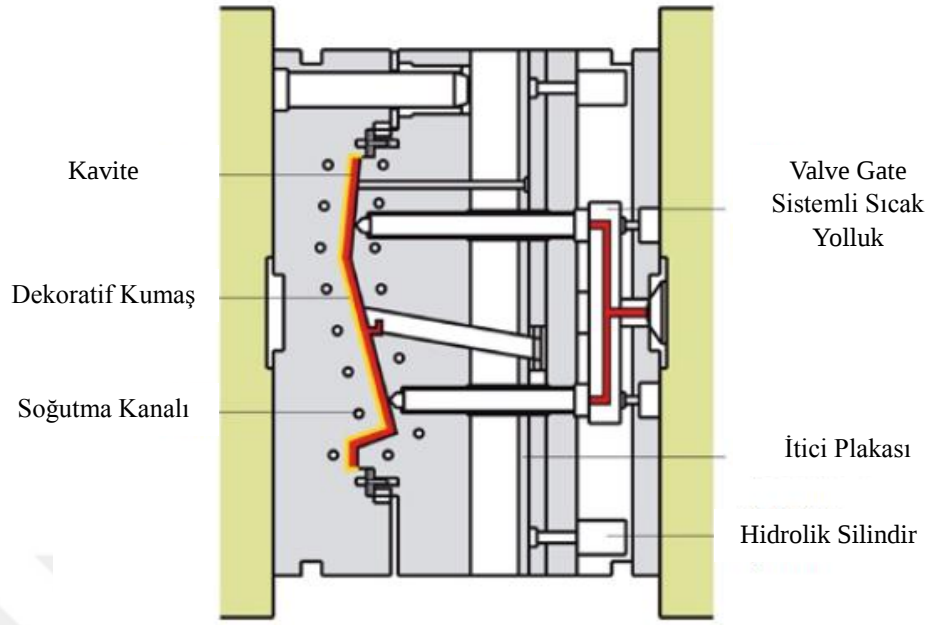
Üretilen farklı kumaş kalıplama teknikleri üreticiler tarafından farklı isimler verilerek müşterilerine sunulmaktadır. Engel kumaş kaplama teknolojisine Tecomelt adını verirken, Battenfeld ise ters enjeksiyon kalıplama anlamına gelen Back Injection Molding, Krauss Maffei ise dekoratif şekil verme anlamına gelen Decoform adını kullanmaktadır.



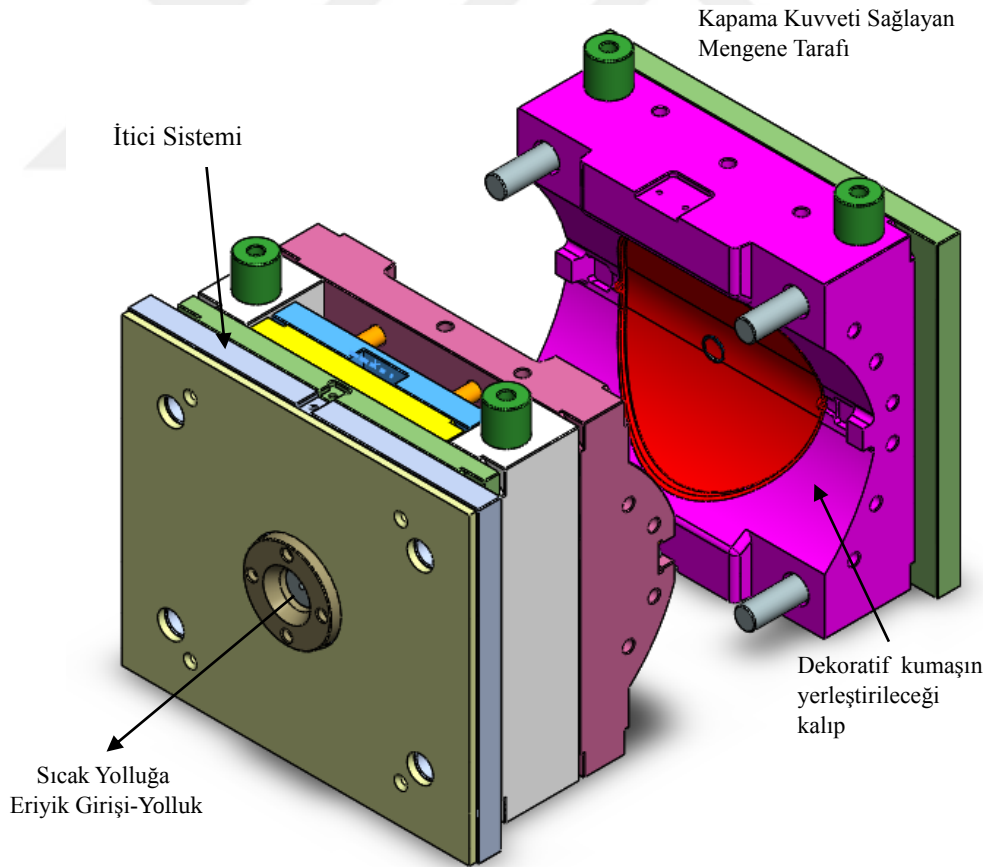
Şekil 3.13. Audi A4 C-Pillar cover parçası- Valve gate tekniği ile Intier Straubing tarafından üretilmiş malzeme ABS/PC [17]

3.2.4. Kalıp içi kumaş kaplama için gerekli ekipmanlar

Kumaş arkası enjeksiyon kaplama yönteminin geleneksel enjeksiyon kalıplarına göre en önemli farkı ters enjeksiyon tekniğinin kullanılmasıdır. Ters enjeksiyon kalıpları kumaş arkası enjeksiyon kaplama yöntemine en uygun kalıplardır. Ters enjeksiyon adını alması erkek kalıp yarımının sabit taraf olmasından kaynaklanır. Erkek çeliğin sabit tarafa konulmasının asıl nedeni dekoratif yüzeyin yerleştirileceği kalıp yarımının kalıplama bittikten sonra parçanın kalıptan atılması için itici izlerinin kumaş yapı üzerinde istenilmemesidir. Buna ek olarak aynı zamanda kumaş yerleştirilen taraftan enjeksiyon eriyiğinin gelmesi için bir yolluk kısmının da bulunmaması ekstrüderden gelen eriyiğin itici sistemi tarafından geçtiği anlamına gelmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere enjeksiyonun başladığı tarafta hem sıcak yolluk sistemi hem itici sistemi hem de sabit kalıp yarımı bulunmaktadır. Ekstrüder vidası erkek kalıp ile aynı tarafta olduğundan dolayı itici sisteminin stroğu enjeksiyon makinesinin mengenesi ile hareket ettirilmez. Bunun yerine gövdesi ön bağlantı plakasına sabitlenmiş hidrolik silindir itici sisteminin strokunu sağlamaktadır.



Şekil 3.14. Ters enjeksiyonun prensibi [15]



Şekil 3.15. Ters enjeksiyon kalıp tasarımı örneği itici sistemi ile malzeme girişi aynı tarafta [18]

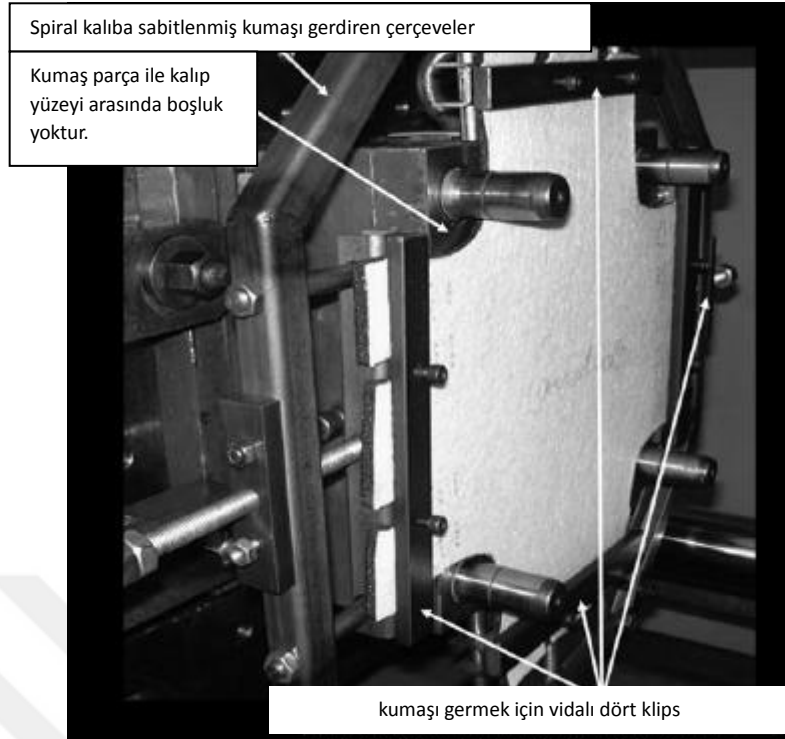
Kumaş arkası enjeksiyon kalıplama işleminde tercih edilen sıcak yolluk sisteminde nozül sayısı maliyete bağlı olarak artırılmalıdır. Kalıp içerisine kumaş yapının girmesiyle birlikte enjeksiyonun başlamasıyla basınç ve viskozite artacak ve eriyiğin ilerleyişi zorlaşacaktır. Bu amaçla kapı girşinin çoğalması eriyik ön akışındaki basınç kayıplarını azaltacak, malzemenin her bölgesine eşit basınçta eriyik doldurulacak, kalite bakımından yüksek oran elde edilecektir. Ancak parça üzerinde kapı girişlerinin fazlalaşması da malzemedeki mukavemet azaltıcı soğuk birleşme izlerinin oluşumuna neden olacaktır. Bu engelleri ortadan kaldıran valve gate sistemlerinin kullanımı en doğru yaklaşım olacaktır.



Şekil 3.16. Otomotivde kullanılan A-B Pillar parça örnekleri [19]

3.2.4.1. Valve gate sistemleri

Valve gate sistemleri uzun akış yolları ve viskoz olarak sert davranış gösteren plastiklerde kullanıldığında iyi sonuçlar gösterir. Akış hatları birbirinden ayrılmış bir şekilde kavite içerisindeki akış hareketlerine yön vermek, istemediğimiz sonuçlardan kaçınmak amacıyla kullanılır. İğne kapatma memesi adı verilen bir sıcak yolluk tasarımı ile kalıplanmaktadır. Valve gate teknolojisinde tüm sıcak yolluklar aynı anda enjekte etmeye başlamaz. Kalıplamasını istediğimiz parça adım adım hacim doldurularak ilerler. Kavite içerisinde eriyik malzemenin MFI değerine ve parçanın



Şekil 3.18. Kumaşın kalıba sabitlenmesi [1]

Kalıp kapandığı zaman kumaşı gerdiren çerçeve hidrolik olarak itilir ve kumaş yapı ilk olarak onunla temasa geçer. Kalıbın desen yüzey olarak adlandırdığımız ürünün çeliğe temas eden noktaları ise sonradan kumaşa ön yük uygulama ve kapama kuvveti etki ettiğinde dekoratif kumaşa etki etmektedir. Kumaş gerdirme işlemiyle birlikte kumaş ve kalıp yüzeyi arasında boşluk kalmamaktadır [20].

3.2.4.3. Kumaşın kesilmesi ve kumaş yapının sabitlenmesi

IMD işleminde kullanılacak kumaş yapıya eğer kalıp içerisine yerleştirilmeden önce önkesim uygulanmıyorsa çeliklerin uygun işlenebilirlik ve çeliğin keskin köşelerinde oluşabilecek çatlama ve kırıklara karşı en çok başvurulan yöntem olan lokma sistemiyle kumaş kesme aparatı oluşturulabilir. Kumaş yapının eriyiğin büzülmesiyle birlikte genişliğinde bir daralma meydana gelir. Bunu kumaş kesme aparatında lokma sistemini gerçek kumaş boyutlarından %2 değerlerinde büyük olarak tasarlayarak tekstil boyutundaki sorunu ortadan kaldırabiliriz. Tasarımını gerçekleştirdiğimiz lokmamızın alıştırma yüzeyinden belirlenmiş mesafelerde yukarıda tutulması gerekir. Lokma sisteminin altına konulan yaylar kalıbın

kaplanmasıyla birlikte oluşacak kapama kuvvetinin etkisiyle belli bir mesafede deplasmana uğrayarak yeniden lokmanın alıştırma yüzeyine oturmasını sağlayacaktır. Bu gerçekleşirken yay sisteminin kapamayı zorlaştırması kumaş yapının dişi ve erkek çelik arasında sıkışmaya maruz kalarak belirlenen sınırlardan kesilmesine sebebiyet verir. Yay uzunluğunun ayarı yay ayar civatalarıyla yapılır.

Ön kesimi yapılmış kumaşın (ürün sınırlarını geçen, dişi veya erkek çelik boyutlarında kalıp içi son kesimi yapılmamış kumaş) çelik üzerinde sabitlenmesi için lokma sistemleriyle veya çeliğe yekpare şeklinde pimler halinde yuvaları açılır. Bu şekilde kalıp içi robotlar vantuzlarıyla kumaşı hazırlanmış deliklere teslim ederler ve kumaşın enjeksiyon öncesinde çelik üzerinde düşmesi engellenir.



Şekil 3.19. Kumaş yapının çelik üzerinde klipslere yerleştirilmesi [21]

3.2.4.4. Hidrolik silindir

Geleneksel enjeksiyon kalıplama prosesinde, farklı mekanizmalarda mekanik maça kullanımı elverişli değil ise hidrolik silindirler tercih edilir. Kalıp içi kumaş kaplamada ise ekstrüder vidası ile itici sistemi aynı yönde olduğu için parçayı kalıptan düşürecek strok hareketi yine aynı tarafa yerleştirilen hidrolik silindirler vasıtasıyla gerçekleşir. Hidrolik pistonun silindir içerisinde alacağı mesafe itici sisteminin strok boyuyla aynı olmalıdır. Aksi halde parça kalıptan düşmeyebilir. Tercih edilen hidrolik sistem itici sistemi elemanlarının strok hareketini ve parçanın

kalıptan atılmasını sağlayacak kuvveti üretecek yapıda olmalıdır. Kullanılan pistonun itme ve çekme kuvvetleri strok hareketini sağlarken yüksek itme kuvvetine, geri dönüş hareketinde ise daha düşük kuvvete gerek duyar. Bunun sebebi piston ileri hareketini yaparken piston tarafının, geri dönüşte ise piston kolu tarafının çalışmasıdır. Aynı basınca sahip hidrolik silindirde geri dönüş hareketinde temas alanı küçüleceği için çekme kuvveti de azalmış olur.

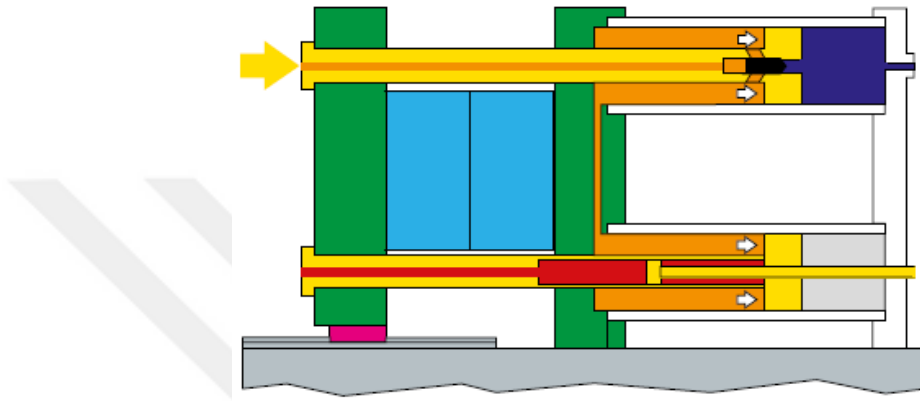
3.2.4.5. Hidrolik mengene ünitesi

Geri enjeksiyon olarak adlandırdığımız kalıp içi kumaş kaplama prosesinde boşluk basınçları geleneksel enjeksiyon işlemine göre daha düşük seviyelerdedir. İşlem sırasında düşük sıkıştırma kuvvetine sahip büyük boyutlu parçaların üretimine olanak sağlamaktadır. Et kalınlığı yüksek oranda ürün üzerine homojen bir şekilde dağılmış ve uzun ince parçaların bu yöntemle imal edilmesi daha kolaydır. Parça boyutları uzun, kalıp boyutları yüksek olduğundan dolayı hidrolik mengene ünitesinden geniş açılma mesafelerine sahip olması beklenmektedir. Dört silindirle çalışılması, kuvvetin en hassas şekilde eşit olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Böylelikle eşit basınç dağılımıyla plakaların deformasyon ve deplasman sorunları en aza indirilir. Basınç ve hız parametreleri en yüksek kalite ve düşük tolerans aralıklarında fonksiyonlandırılabilir [11].



Şekil 3.20. Otomotiv kapı trim elemanları için DecoForm üretim sahası [11]

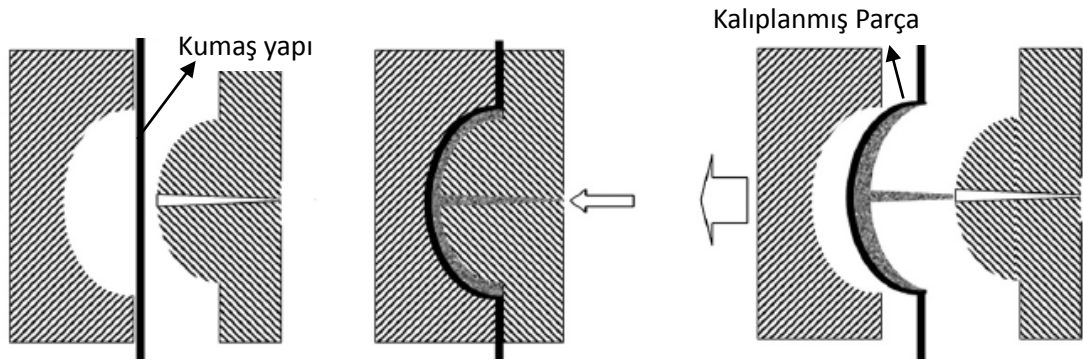
Yatay enjeksiyon makinesine entegre edilecek hazırlanmış kumaş yapılar Decoform üretim sahasında robot vantuzlarının yardımıyla kalıp içerisine dahil edilmeye hazır bulunmaktadır. Hidrolik mengene üstün kalitede ürün elde etmemize yardım eder. Geri enjeksiyon kalıplama için en uygun makine tamamen hidrolik, iki plakalı mengene ünitesine sahiptir. Kalıp kapanma ve sıkıştırma çevrimleri boyunca hassas basınç kontrolü ve tekrarlanabilirlik özelliklerine sahip güvenli bir sistemdir [11].



Şekil 3.21. İki-plakalı kalı kapama ünitesinin tasarımı ve işletimi [11]

3.2.5. Kalıp içi kumaş kaplama işlem adımları

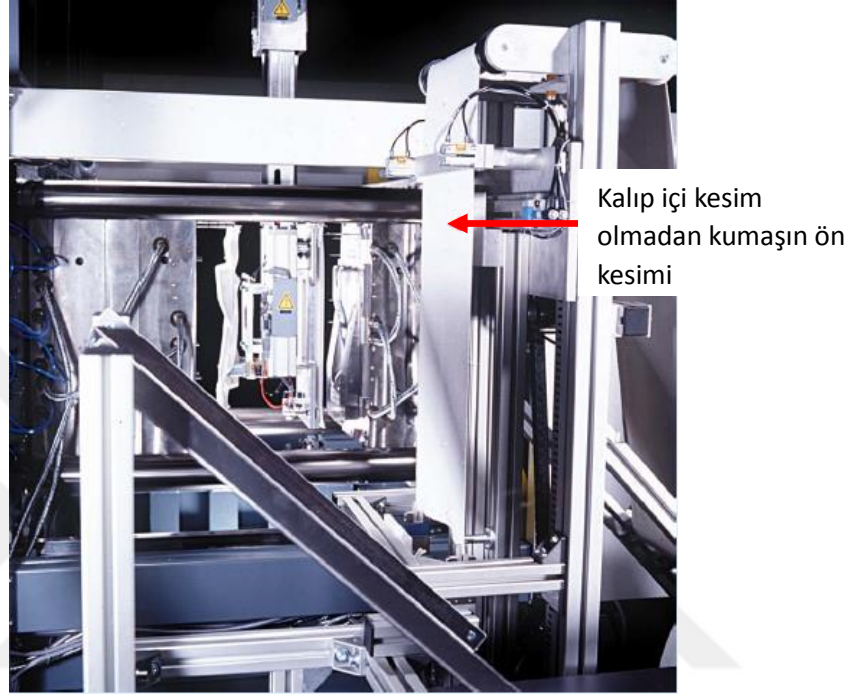
Geleneksel enjeksiyon makinesinde IMD işlem adımları Şekil 3.22.' de verilmiştir.



Şekil 3.22. IMD prosesinin işlem adımları a) Kumaş yapının kalıbın erkek tarafına yerleştirilmesi, b) Kalıbın kapanması ve dolum fazının başlaması, c) Kumaşla kaplanmış parçanın kalıptan çıkarılması [1]

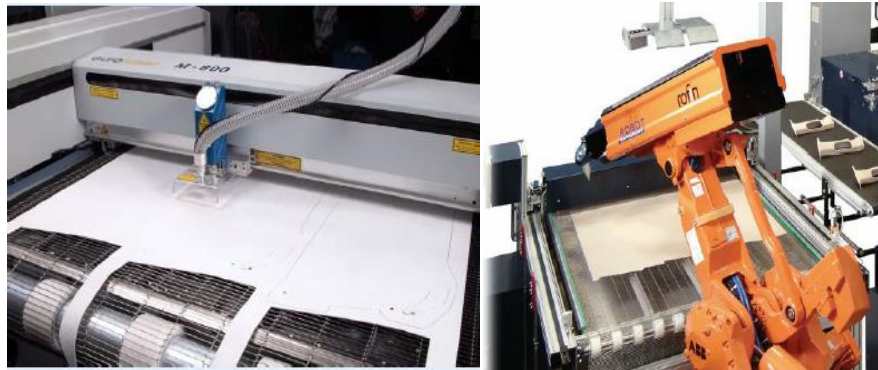
Dekorasyonu yapılacak film, etiket veya kumaşın ön kesimi yapılır. Bu işlem kalıp içi kesim (In-Mould Cutting) olmadan ve kalıp içi kesim olarak ikiye ayrılabilir. Battenfeld'in Back Moulding Technology sistemlerinde kumaş yapının kalıp

içerisine teslim edilmeden önceki konumlandırılması gösterilmiştir. Kumaş yapının kalıp yarımına transferi sonrası klipslerle sabitlenir. Ardından kalıp kapatılır ve dolum fazı başlar. Enjeksiyon bittikten sonra kumaşla kaplanmış parça kalıptan çıkartılır [1].



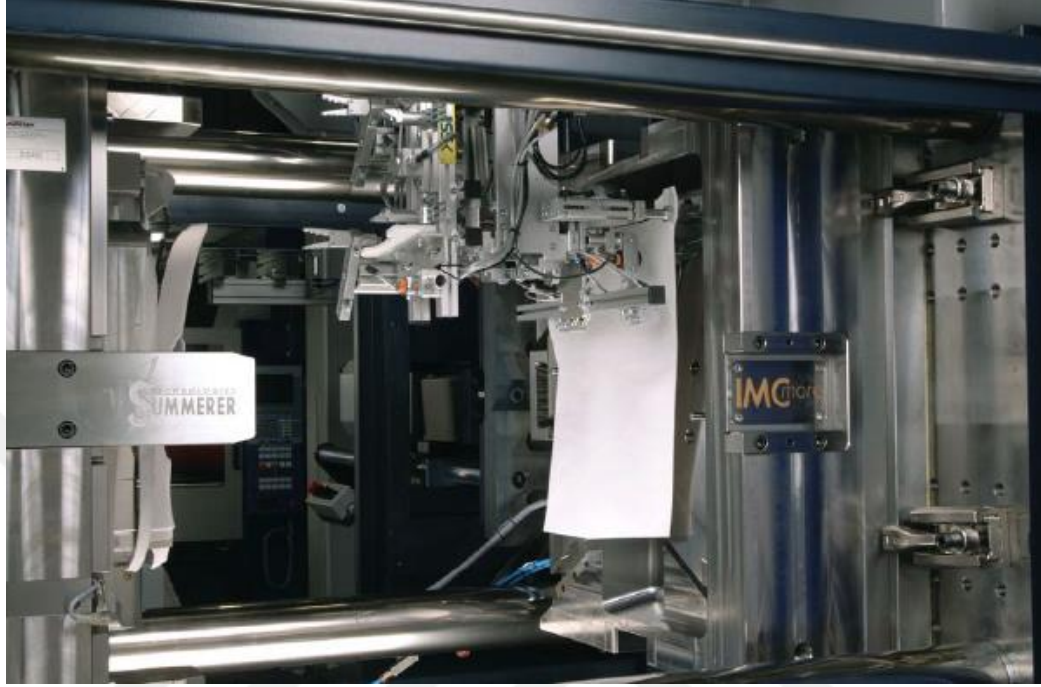
Şekil 3.23. Kumaşın önkkesimi [12]

Bu kesim lazer CNC makineleriyle veya 6 eksen robotlar yardımıyla yapılır. Böylelikle işlem öncesi kesimle birlikte yüksek hassasiyetle kesim ve malzeme tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 3.24. Cnc lazer kesim ve 6 eksen robot kesim [12]

Kullanılan kumaş, film gibi eklemeler robot mekanizmasının vantuzları yardımıyla veya tutucu panelleriyle alınarak kalıp içine transfer edilir.



Şekil 3.25. Hazır kumaşın kalıba devredilmesi [12]

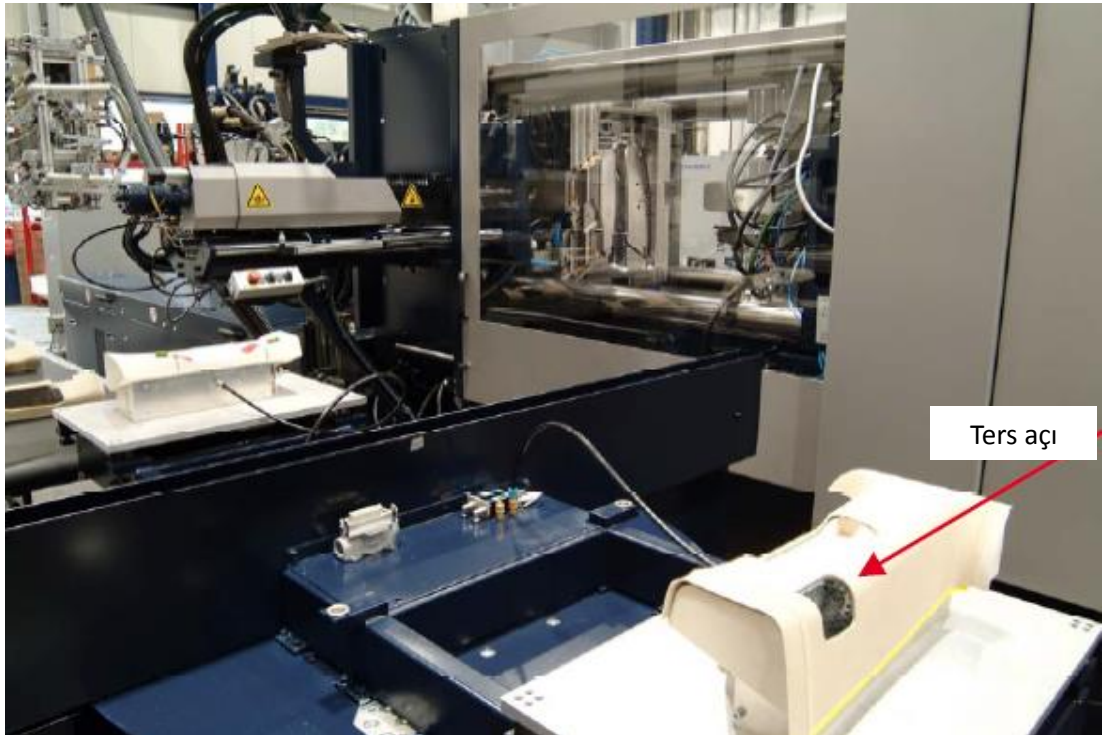
Kalıp içine taşınan kumaş veya film, kalıbın dişi veya erkek tarafına eklentilerin sabitlenmesi için kurulmuş klipslere sabitlenerek kumaşın kalıp içerisinde hareket etmeden durması sağlanır. Bu adım kalıp içi dekorasyonda çok önemlidir. Çünkü vantuzlar yardımıyla klipslere kilitlenen film veya kumaşın en küçük aralıklarla hareket etmesi kalıplama bittikten sonra parça üzerinde katlanma, yırtılma, görselliği etkileyecek iz bulunmasına sebep olacağından dolayı direkt olarak malzemelerin hurda sınıfına ayrılmasına yol açar. Maliyet açısından olumsuz bir durum ortaya çıkar.

Tekstil malzemesinin yerleştirildiği kalıp yarımında kumaş ile çelik yüzeyi arasında boşluk yoktur. Martinez ve arkadaşları (2011) yaptıkları kumaş üzeri kalıplama çalışmasında bir spiral kalıp üzerine kumaşı sabitlemek için çerçeve ve kalıbın dört tarafına vida sistemi kurmuşlardır. Vidaların sıkılmasıyla birlikte çelik yüzeye açılan dış profili ile vidalar çerçeveyi dört bir taraftan eşit şekilde sıkıştırarak kumaşın sabitlenmesine yardımcı olacaktır [1].

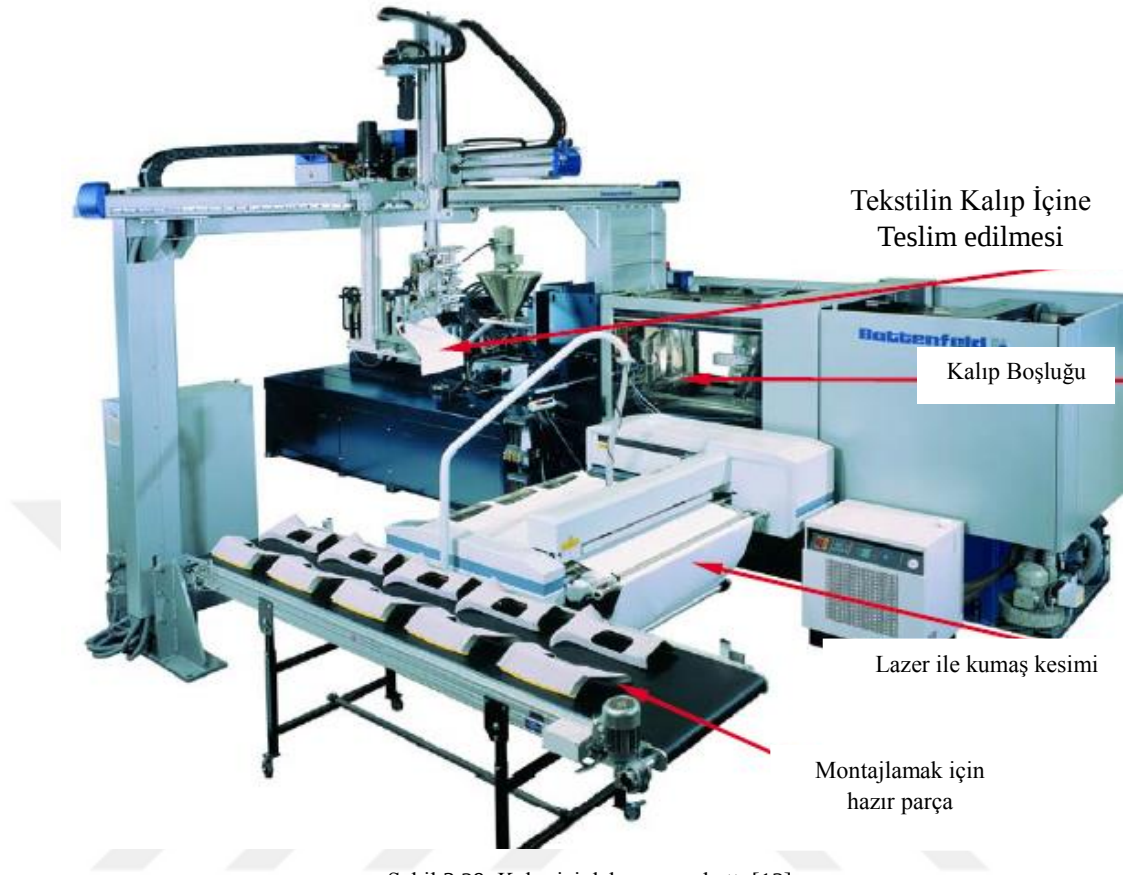
yeniden açılır. Bu ön sıkıştırma mm mertebelerindedir. Çünkü kullanılan kumaşlar genellikle nonwoven(dokumasız teknik tekstil) kumaşlardır ve yaklaşık olarak 6 mm(bariyer tabaka, köpük tabaka ve dekoratif tekstil) kalınlığa sahiplerdir.

Kalıp açıldıktan bir süre sonra tekstilin önyükten kurtulmasıyla yeni almış olduğu kalınlığa göre dişi ve erkek kalıpta o kalınlıkta boşluk bırakılarak kalıplama işlemi tamamlanır. Kalıbın kapanması, kalıp ayırım çizgisinde bulunan kumaş kalınlığına göre ayarlanır, böylece kalıp, kumaş olmadığı zamandan biraz daha açıktır ve boşlukta tekstil tarafından doldurulan kalınlık telafi edilir [1]. Eğer kalıp önyük uygulandıktan sonra tamamen kapanırsa dekoratif yüzey, köpük katmanı ve bariyer tabakadan oluşan yapı bozulur.

Dolum fazı başlar. Geleneksel enjeksiyon çevrimi tamamlandıktan sonra kalıp açılır. Enjeksiyon kalıbında kalıp içi kesim mevcutsa vantuzlardan ve itici sisteminden önce kesimi yapacak lokma çeliklerinin hareketi beklenir. Artık kumaş kesimi de tamamlandıktan sonra vantuzlar yardımıyla kumaşla kaplanmış parça kalıp içerisinde konveyör sistemine aktarılarak montaja hazır hale getirilir.

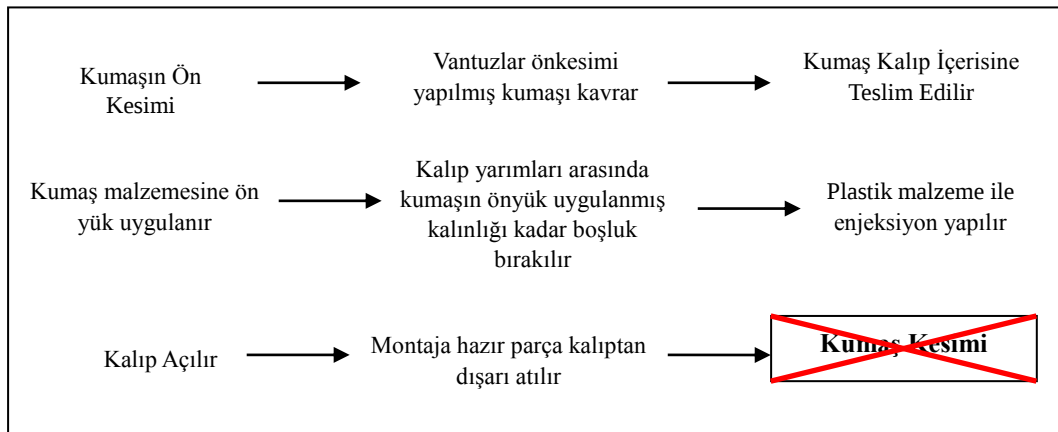


Şekil 3.28. Montaja hazır parça [12]



Şekil 3.29. Kalıp içi dekorasyon hattı [12]

Özetlemek gerekirse kalıp içi dekorasyon (kalıp içi kesim mevcut) şematik olarak aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.30. Kalıp içi dekorasyon akış şeması

3.2.6. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sisteminde önemli parametreler

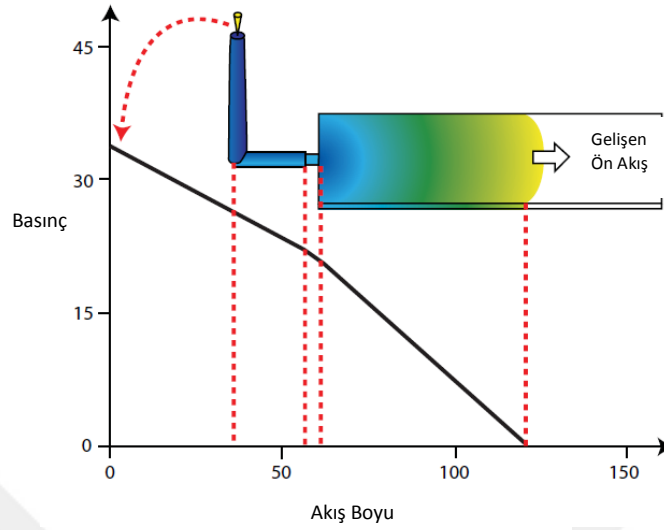
Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sisteminde geleneksel enjeksiyon sistemine göre kalıp tasarımının değişmesine ek olarak gerekli ekipman ve teçhizat sayısı da artmaktadır. Bu ek ilaveler proses sürecine dahil edilmesiyle birçok alt işlem minimize edilerek bir istasyonda ana ürün meydana gelmektedir. Ancak kalıp içerisine kumaş yapının dahil olmasıyla birlikte kalıp tasarımı, itici sistemi, soğutma sistemi ve proses parametreleri büyük oranda değişmektedir. Bu değişimler incelenerek en uygun kalıplama koşulları belirlenerek tasarımlar ve analizler yapılmalıdır. Aşağıda incelenen parametrelerin optimizasyonu ile kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sistemlerinde en çok öneme sahip parametreler açıklığa kavuşturulmuştur.

3.2.6.1. Basınç düşüşü

Kalıp kavitesini doldurmak ve ütüleme fazına geçebilmek için polimer eriyiğinin ilerlemeye karşı gösterdiği direnci yenen enjeksiyon basıncıdır. Polimer eriyiğinin ilerlediği akış yolu boyunca belirlenmiş noktalara basınç sensörleri yerleştirirsek yolluk, kapı girişi, göz olarak adlandırılan bölgelerin basınç değerlerini okuyabiliriz. Ancak donmuş katman düzeltmesini hesaba katarak bu basınç dağılımını incelememiz gerekir. Donmuş katman düzeltmesine ileriki bölümde değinilecektir. Polimer eriyiğindeki basınç dağılımı şematik olarak gösterildiği gibi elde edilebilir [22].

Kumaş yapı IMD işlemi sırasında geleneksel kalıplama yöntemine göre daha yüksek enjeksiyon basınçlarına sebep olmaktadır. Bunun nedeni kumaşın polimerin ön akışına duvar olup olmayacağı konusundaki bilinmezliklere ilaveten, doğruluğundan emin olunan bir diğer nedense enjeksiyon basıncının hem polimeri kalıp boşluğuna doldurması hem de geleneksel kalıplamaya ek olarak bir de kumaş veya eklenen filmin kalıp duvarına yerleşmesi için baskı kuvveti uygulaması gerektiğidir. Metalik

bir yüzeyde akan plastik akışı ile kumaş üzerinde akan plastik akışın viskoz hareketleri aynı değildir [1].

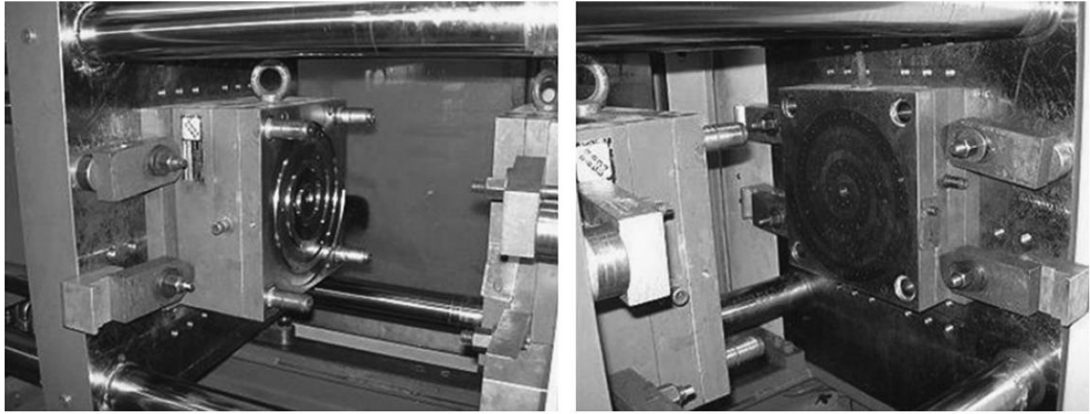


Şekil 3.31. Basınç, dağıtım sistemi ve boşluk boyunca basınç düşüşü [22]

Kumaşın kalıp içine transferinden sonra enjeksiyon makinesi ekranında enjeksiyon basıncının konvansiyonel kalıplamaya göre yaklaşık %15 daha fazla olduğu bilinmektedir. Yani kumaşın enjeksiyon işleminde bulunması veya bulunmaması enjeksiyon basıncını etkilemektedir [1].

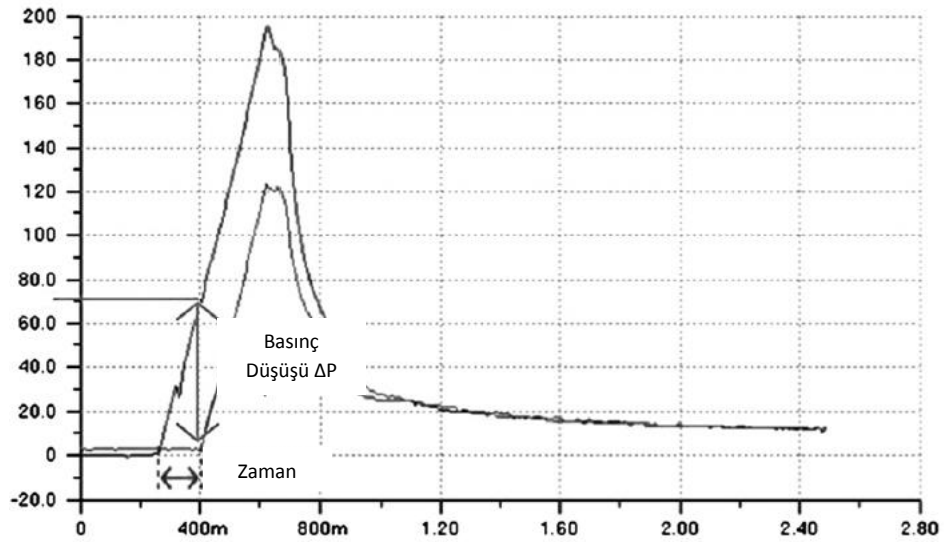
Kumaşın akış davranışı bilinmediği için, buna cevap olarak yapılan çalışmalarda bir metodoloji geliştirme çabası içerisine girilmiştir. Kumaşın akış davranışının bilinmesiyle birlikte parça üretimi öncesi gerekli makine özellikleri, proses parametreleri ve akış analizleri önceden yapılarak parça üzerinde oluşan hataları engelleyebilmek adına büyük bir adım atılmış olacaktır. Ardından deneysel sonuçlar ve simülasyon sonuçları karşılaştırılabilir ve geliştirme çalışmaları devam ettirilebilir [1].

Basınç düşüşü çalışmalarını A.Martinez ve ark (2011) bir spiral kalıp vasıtasıyla bir kalıp içerisine yerleştirilen iki basınç ölçer cihazla ölçerek buradaki basınç değerlerini bilgisayar ortamına aktararak ikinci dereceden bir denklem oluşturmaya çalışmışlardır. Bu denklemle birlikte aynı tekstil kumaşı kullanılarak ve tekstil kumaşı olmadan viskoz eğriler elde edilmiştir. Eriyik malzeme basınç dönüştürücüye ulaştığında ve bir diğerine geçtikten sonra yine ölçüm yaptıktan sonra basınç değerleri arasındaki fark kaydedilmeye başlanır [1].



Şekil 3.32. Kullanılan Spiral Kalıp [1]

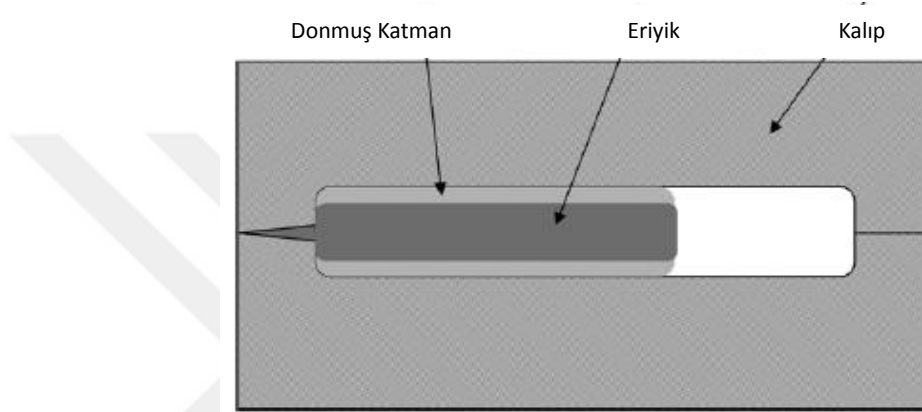
Kaydedilmeye başlayan değerler ile basınç değerlerine ulaşım sağlanır. Spiral kalıp kullanımının asıl nedenlerinden biri de budur. Aynı kesit geometrisine sahip parça uzun akış yolu boyunca donmuş katman düzeltmesi bozulmadan birçok akış genişliğinde basınç düşüşleri ölçebilmektedir. Yapılan çalışmada tekstil malzemesi kullanılmadan polipropilen spiral kalıp üzerindeki basınç düşüşü değerleri elde edilmiştir. Geleneksel enjeksiyon makinesinde yapılan çalışmada soğuk yolluk tercih edilmiştir [1].



Şekil 3.33. Basıncın deneysel grafiği [1]

Şekil 3.33'te verilen grafikte dikey eksen iki farklı basınç ölçerle bar cinsinden ölçülen basınç değerlerini göstermektedir. Yatay eksen ise kapı kısmından itibaren

akış boyunu temsil etmektedir. Grafikten elde edilen değerler, simülasyon ve deneysel sonuçlarla eşleştirildiğinde basınç düşme değerlerindeki hesaplama hatalarının yaklaşık olarak %14 ten % 17,7' lere kadar çıkabildiği görülmüş ve bu değerlerin kabul edilemez olduğuna karar verilmiştir. Bu amaçla donmuş katman düzeltmesine gidilmiştir. Donmuş katman düzeltmesi kavramı kütlenin korunumu, denge denklemi, enerji dengesi ve sınır şartları kullanılarak akış boyu ilerlediğinde buna paralel olarak sıcaklık gradyanlarını ölçen bir metottur [1].



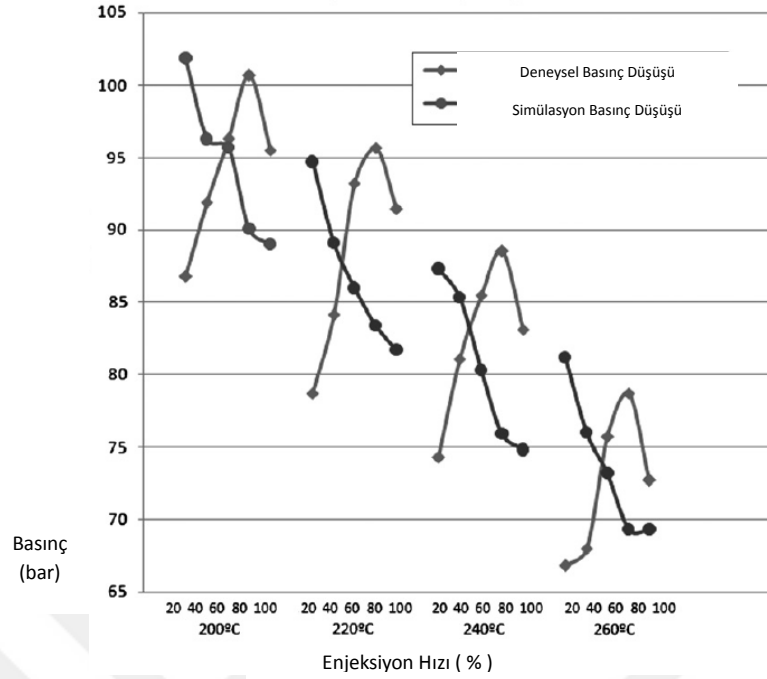
Şekil 3.34. Donmuş tabaka gelişimi [1]

Bu metotla birlikte Martinez ve ark. (2011) kumaşlı ve kumaşsız olarak enjekte edilen PP malzeme üzerindeki viskoz değerlerin daha kabul edilebilir değerler arasında olduğunu görmüşlerdir. Kullanılan PP malzemenin donmuş tabaka etkisi gözetilerek ve donmuş tabaka etkisi dikkate alınmadan ikinci dereceden reolojik model sabitleri Tablo 3.1.' deki gibidir. Aynı şekilde deneysel ve simülasyon basınç düşüşleri donmuş tabaka kalınlığı etkisi gözetilmeden ve dikkate alınarak elde edilen grafikler Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.38' deki gibidir [1].

Tablo 3.1. Donmuş katman süreklilik sabitleri [1]

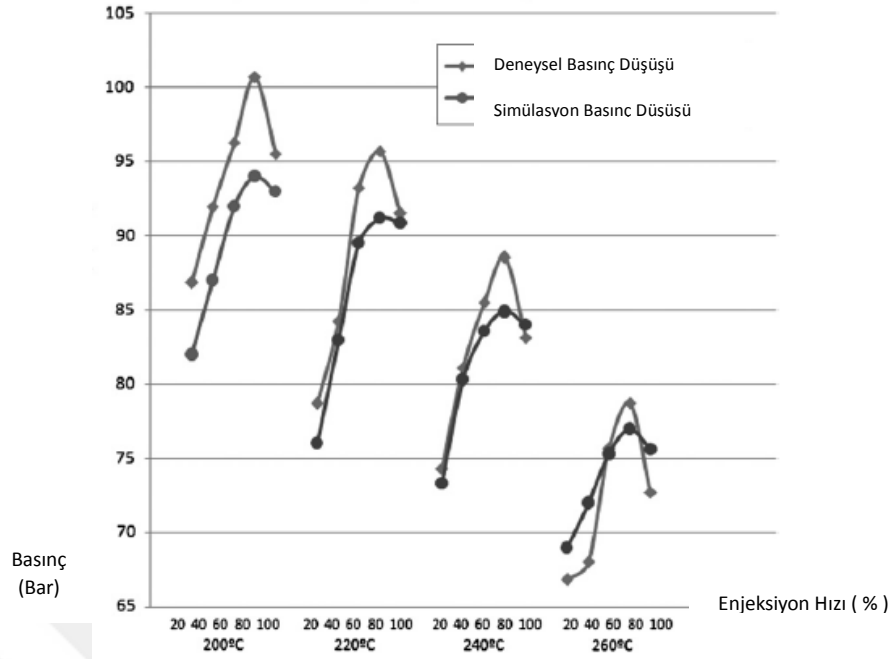
A	B	C	D	E	F
2.7994	3.99E-2	3.64E-2	-2.57E-2	-1.93E-3	-5.28E-5

Donmuş katman düzeltmesi yapıldıktan sonra basınç düşüş grafiklerine bakıldığında deneysel ve simülasyon eğrilerinin birbirine daha çok yaklaştığı ve eğrilerin daha dikleştiği görülmüştür [1].



Şekil 3.35. Deneysel simülasyon ve basınç düşüşü arasındaki karşılaştırma-katman düzeltmesi olmadan [1]

Donmuş katman düzeltmesi olmayan grafik incelendiğinde enjeksiyon hızlarının düşük yüzdelerinde deneysel basınç düşüşü değerleri simülasyon basınç düşüşü değerlerinin altında gözükmemektedir. Yüksek enjeksiyon hızlarında ise simülasyon basınç düşüşü değerleri deneysel basınç düşüşü değerlerinin altındadır. Donmuş katman etkisini en aza indirmek için enjeksiyon hızı ve eriyik sıcaklığı göz önüne alınırsa eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa donmuş tabaka kalınlığı azalacağından ve enjeksiyon işlemi ne kadar hızlı olursa eriyik malzemenin soğuma süresi farkları ortadan kalkacağından düzeltme faktörü katsayısı düşecektir. Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon sıcaklığı üzerine bu çıkarımlar sadece eriyik malzeme kalıp boşluğuna enjekte edildiği durum için yapılmıştır. Düzeltme metodolojisiyle birlikte deneysel ve simülasyonel değerler arasındaki fark yaklaşık olarak %2-5 arasında hata vermektedir ve donmuş katman etkisini grafiklerde en dik şekilde belirgin hale getiren işleme koşulları (düşük sıcaklık ve düşük enjeksiyon hızları) uygulandığında bile hata oranı %17 mertebelerinden %10 seviyelerine kadar iyileştirilmiştir [1].

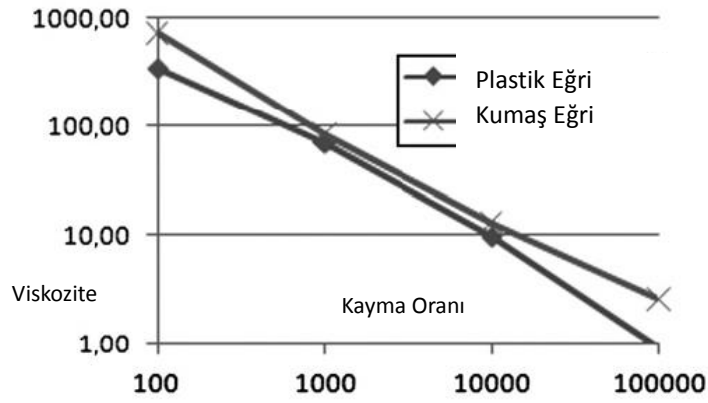


Şekil 3.36. Deneysel ve simülasyon basınç düşüşü arasındaki karşılaştırma-katman düzeltmesi ile [1]

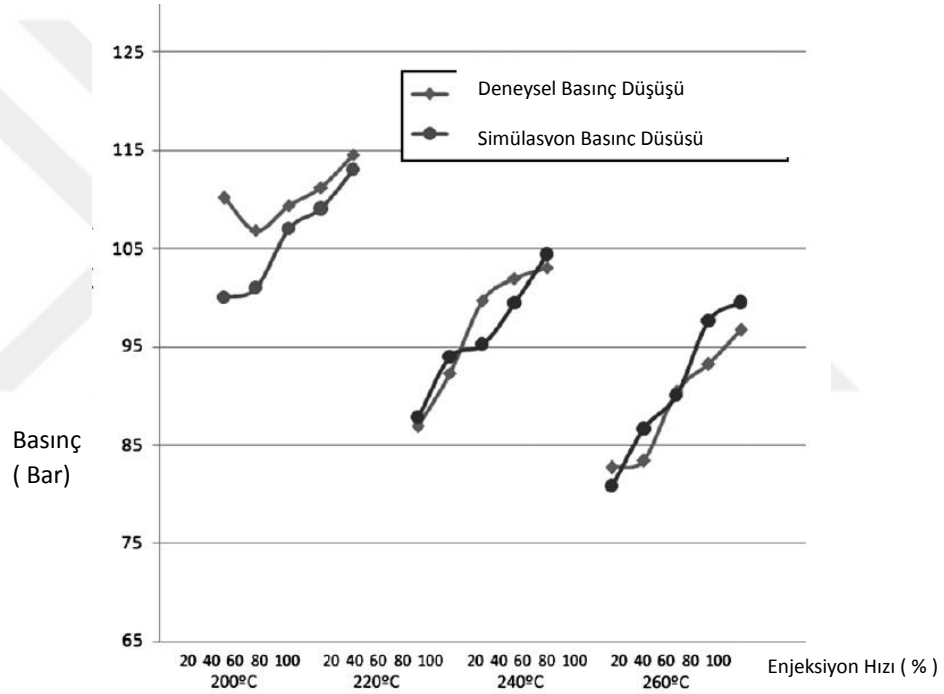
Grafik incelendiğinde donmuş katman düzeltmesi ile birlikte eğrilerin birbirine yakınlığı görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta yukarıdaki grafiklerin sadece eriyik malzeme olan PP malzemeye ait grafik değerleri olmasıdır. A. Martinez ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada candide kumaşın basınç düşüşünü hesaplamak üzere bu metodolojiye başvurmak zorunda kalmışlardır. Çünkü basınç düşüşleri deneysel olarak kabul edilemeyecek sonuçları ortaya çıkarmıştır [1].

Kumaşsız ve candide kumaş üzerine PP enjeksiyonu durumlarında ortaya çıkan polimer davranışlarının karşılaştırmalı incelemesini yapabilmek için simülasyonel ve deneysel basınç düşümü grafikleri elde edilmiştir.

Viskozite eğrileri arasındaki fark yaklaşık olarak %15 mertebelerindedir. Plastik viskozite, tekstil malzemesi üzerinde akan plastiğin viskozitesinden düşüktür. Bu grafik 260 °C sıcaklık değerleri için ölçülen değerlerdir. Bu sonuç kumaşla birlikte yapılan enjeksiyon işlemi için polimerin akmaya karşı gösterdiği direncin daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir [1].



Şekil 3.37. Geleneksel enjeksiyon viskoz eğrileri ile IMD candide olanlar arasındaki karşılaştırma [1]



Şekil 3.38. Kalıp içi dekorasyon candide kumaşı işlemi için deneysel ve simülasyon basınç düşüşü [1]

Kumaş üzerine yapılan bir diğer çalışmada Martinez ve ark. (2013) spiral bir kalıp vasıtasıyla, PP ve PC malzemelerinin kumaş yapıya vereceği zararı ve oluşan viskoz eğrilerin nasıl değiştiğini incelemiştir. Çalışmada seçilen eriyik malzemelerinin viskoz eğri davranışını belirgin şekilde göstermesi beklenmiştir. Çünkü poliolefin tekstil üzerinde akmakta zorlanmayan düşük veya orta viskozite değerlerine sahip bir polimerdir. PC ise poliolefine oranla yüksek viskoziteli olarak sayabileceğimiz bir polimerdir. Bu şekilde yüksek viskozite ve orta viskozite değerlerine sahip

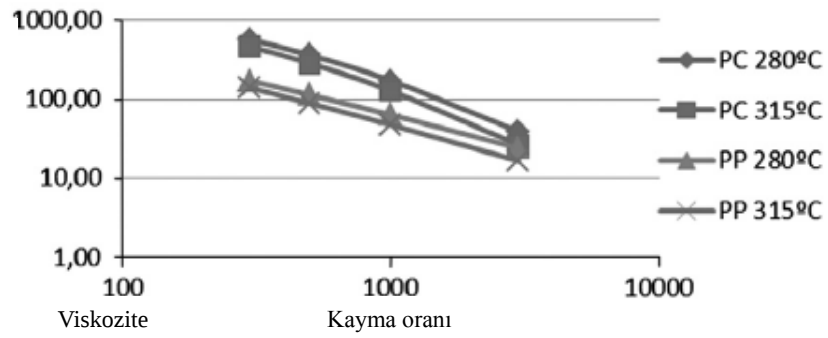
polimerlerin kumaş üzerinde akarken davranış farklarını gözlemlemek daha kolay hale gelmektedir [3].

Çalışmada kullanılan kumaş kalıp içi dekorasyona uygun üç katmandan oluşan falset adında bir kumaştır. Bu kumaşın en üst katmanı dekorasyon çalışmalarımızda estetiklik beklediğimiz kısımdır. Orta katman yani ara kat 3 mm kalınlığında gözenekli köpük malzeme Recticel Sf 646 D ve 130 g/m^2 yoğunluğunda koruyucu film adı verilen üçüncü katmandan oluşmaktadır [3].

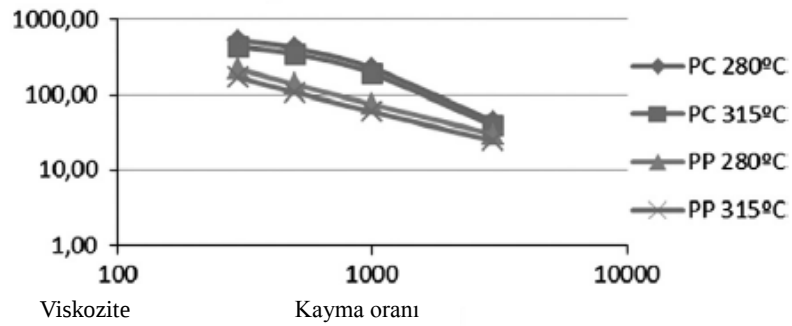


Şekil 3.39. FALSET kumaş görünümü [3]

PP ve PC malzemeleri çeşitli sıcaklık ve enjeksiyon hızlarında spiral kalıp ile kumaş üzerine ve kumaşı kullanılmadan kalıplandıklarında, sadece spiral kalıp üzerine enjekte edilen PP ve PC malzemelerinin viskozite farklarının, kumaş üzerine enjekte edilen PP ve PC malzemelerinin viskozite farklarına göre aynı kaldığı doğrulanabilir. Elde edilen grafiklerde PP malzemenin orta viskozite sınıfına ait malzeme kabulü ile PC malzemenin eğrisinin altında olması beklenir. Bu sonuç falset kumaş üzerine uygulandığında da benzer bir eğri göstermesi beklenmektedir [3].

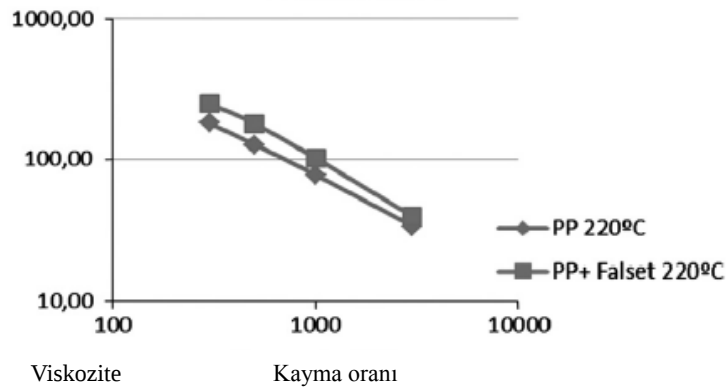


Şekil 3.40. PP ve PC malzemelerinin 280 °C ve 315 °C sıcaklığında viskoziteleri [3]

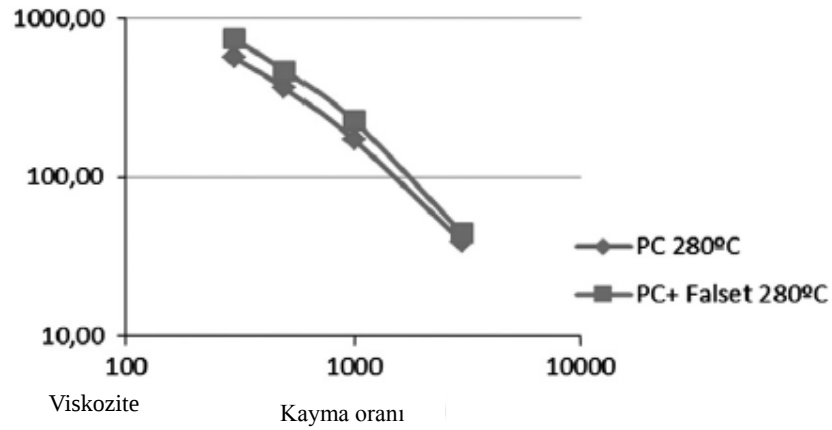


Şekil 3.41. PP+FALSET ve PC+FALSET malzemelerinin 280 °C ve 315 °C sıcaklığında viskoziteleri [3]

Çalışmada basınç sensörlerinden elde edilen ikinci dereceden Moldflow sabitleri de donmuş katman düzeltmesi yapılarak elde edilmiştir. Kumaş varlığının kalıp içerisine girmesi viskozite eğrilerini karşılaştırmalı durumda yukarıya çekmiştir.



Şekil 3.42. PP ve PP+FALSET için viskoziteleri [3]



Şekil 3.43. PC ve PC+FALSET için viskoziteleri [3]

Her iki durumda da kumaşın varlığı basınç düşüşünü artırmaktadır. Bu artış yaklaşık olarak %17' dir. PC malzeme PP malzemeye göre yaklaşık %70 daha fazla viskozudur ve kumaş üzerine enjekte yapıldığı zaman viskozite farkları geleneksel kalıplamadaki farka yakın olarak % 67-70 arasındadır [3].

3.2.6.2. Kumaş yapı katman kalınlığı

Yukardaki öngörülen bulgularda, malzemeler ve bunların çeşitli adlarda bulunan kumaşlarla birlikte ayrı ayrı enjekte edildiklerinde elde edilen donmuş katman düzeltmesi, basınç düşüşü, viskozite değişimleri referans alınmıştır. Kullanılan kumaşların kalınlığı kalıp üzerinde basınç ve sıcaklığı veya viskoziteyi nasıl etkilediği konularına değinilmemiştir. Bu konu üzerinde yine Martinez ve ark (2011) basınç düşüşü ve akış uzunluğu arasındaki ilişkiyi belirlemek için basınç sensörlü bir spiral kalıp ve farklı koruma tabakalarına sahip farklı kalitede ve köpük kalınlığına sahip üç kumaş ile bu durumu gözlemlemişlerdir [2].

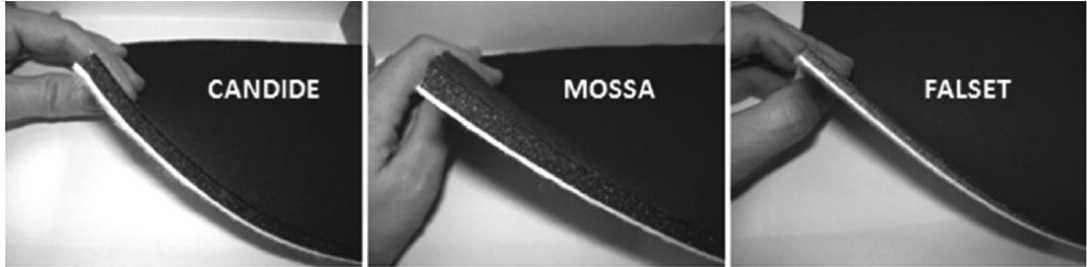
Martinez ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada kullanılan kumaşların yoğunluğu veya köpük tabakası kalınlığı dikkate alınarak spiral kalıp üzerinde kumaş katmanlarının kalıp içi oluşan basınç, viskozite ve kayma gerilmeleri hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Kullanılan üç kumaştan mossas ve falset kumaşın bariyer tabaka yoğunlukları aynı olup köpük kalınlıkları farklı, candida ve mossas kumaşlarının ise köpük tabakası kalınlıkları aynı fakat bariyer tabaka yoğunlukları

farklıdır. Böylelikle hem bariyer tabakanın etkisi hem de köpük katmanının oluşturacağı etki belirlenmek istenmiştir. Katman yapıları ve bariyer tabaka yoğunlukları Tablo 3.2.' de gösterilmiştir [2].

Çalışmada kullanılan kumaşlar üç farklı tiptedir. Bunlar CANDIDE, MOSSA ve FALSET adında kumaşlardır. Çalışmanın çıktıları, basınç düşüşü ile kumaş yapısının arasındaki değerlendirmeyi görmektir [2]. Tablo da değerler ile her tabakanın kalınlık değeri görülecektir.

Tablo 3.2. CANDIDE, MOSSA ve FALSET kumaşları [2]

Kumaş Adı	Köpük	Köpük Kalınlığı(mm)	Bariyer Film	Bariyer Tabaka Yoğunluğu (g/m^2)
CANDIDE	RECTICEL SF 646D	5	Texidel BPS150	150
MOSSA	RECTICEL SF 646D	5	Texidel BPS150	130
FALSET	RECTICEL SF 646D	3	Texidel BPS150	130



Şekil 3.44. Tekstillerin katmanlarının belirgin ifadesi [2]

Spiral plastiklerin enjeksiyon süresince sıcaklık değerlerinin seçimini tedariği sağlayan firmalar yapmaktadır. Bu sıcaklıklar 200, 220, 240 ve 260 °C dir. Fakat kumaş yapının zarar görmemesi için (eriyik malzemenin kullanılan kumaşı delip geçmemesi için) bu sıcaklık değerlerinin altında seçimler yapılmalıdır. Bu amaçla eriyik PP sıcaklık değerleri 190, 210 ve 230 °C olarak seçilir. Enjeksiyon yapıldıktan sonra kalınlık ölçümlerinin ardından sadece PP malzeme ile üzeri kumaş yapıyla kaplanmış PP kalınlıklarının farklı olması beklenir. Kalıp ayırım çizgisinde bulunan bulunan tekstil malzemesinin kalınlığı esas alınarak düzenleme yapılır. Bu nedenle

enjeksiyon kalıbı geleneksel kalıplamaya göre biraz daha açık tutularak kumaş sebebiyle ortaya çıkan hacim daralması telafi edilir [2].

Yapılan denemeler sonucunda kalıp içerisine kumaş yapının ilave edilmesiyle spiral kalıp üzerindeki genişlik ölçüleri değişmiştir. Bu değişimin ana faktörü kumaş yapıdır. Ölçümler sonucunda Falset kumaşı % 1,2-2,8, Mossa kumaşı %0,3-0,45 ve Candide kumaşı ise % 1,35-1,8 arasında değişiklik göstermiştir. Kumaş yapıların köpük kalınlıklarına baktığımızda, yoğunluğu düşük ve katman kalınlığı fazla olan köpüğün kullanıldığı kumaş yapıdaki genişlik daralmasının en düşük seviyede gerçekleştiği görülmektedir [2].

Tablo 3.3. 200 °C ve 220 °C sıcaklıkta sadece PP malzemenin basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi [2]

Sıcaklık °C	Enjeksiyon Hızı (%)	Basınç Düşüşü ΔP (Bar)	Debi Θ (cm ³ /s)	Kayma Hızı γ (1/s)	Viskozite η (Pa.s)
200	20	86,85	11,5	1377,8	64,5
	40	91,91	24,8	2876,2	33,8
	60	96,3	32	3576,7	29,3
	80	100,7	48	5222,4	21,6
	100	95,55	51,6	5367,2	20,8
220	20	78,67	11,6	902,8	90,8
	40	84,2	24	1808,1	50,1
	60	93,2	37,3	2737	37,7
	80	95,7	48	3409,1	32,1
	100	91,5	56	3856,7	27,9

Tablo 3.4. Falset kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi [2]

Sıcaklık °C	Enjeksiyon Hızı (%)	Basınç Düşüşü ΔP (Bar)	Debi Θ (cm ³ /s)	Kayma Hızı γ (1/s)	Viskozite η (Pa.s)
200	20	96,19	10,5	810,65	133,06
	40	103,76	20,5	1555,80	75,43
	60	110,58	30,5	2284,63	55,03
	80	113,60	40,3	2982,95	43,52
	100	115,12	49,7	3663,70	35,99
220	20	90,60	10,4	790,65	129,59
	40	99,22	20,7	1547,65	72,88
	60	103,01	29,3	2169,42	54,26
	80	105,28	43,1	3173,55	38,01
	100	108,30	54,1	3946,44	31,61

Falset kumaş değerlerine göre aynı enjeksiyon hızında farklı sıcaklık değerlerine bakılırsa viskozite değerinin artan sıcaklıkla birlikte düştüğü gözükmemektedir. Bu durum polimerlerin geleneksel kalıplamasına da uymaktadır.

Tablo 3.5. Mossa kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi [2]

Sıcaklık °C	Enjeksiyon Hızı (%)	Basınç Düşüşü ΔP (Bar)	Debi Θ (cm ³ /s)	Kayma Hızı γ (1/s)	Viskozite η (Pa.s)
200	20	103,10	9,7	748,30	154,51
	40	109,69	21,4	1595,06	78,39
	60	112,56	0,8	2265,65	56,96
	80	114,73	43,3	3158,79	41,81
	100	118,03	46,5	3372,21	40,44
220	20	95,067	10,4	793,99	134,84
	40	100,18	20,1	1490,70	76,85
	60	103,83	32,5	2361,76	50,77
	80	105,29	36,5	2601,38	47,15
	100	108,95	43,9	3110,54	40,95

Tablo 3.6. Candide kumaşın basınç düşüşü, kayma gerilmesi ve viskozitesi [2]

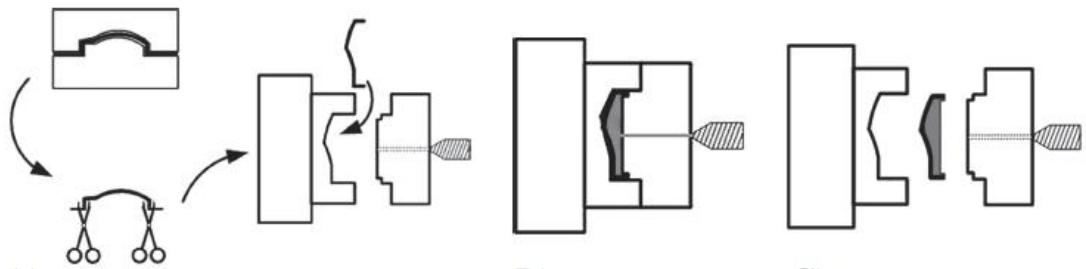
Sıcaklık °C	Enjeksiyon Hızı (%)	Basınç Düşüşü ΔP (Bar)	Debi Θ (cm ³ /s)	Kayma Hızı γ (1/s)	Viskozite η (Pa.s)
200	20	110,1	9,8	759,99	162,46
	40	106,8	24,7	1840,46	66,15
	60	109,35	32,3	2378,93	52,70
	80	111,2	40,6	2961,36	43,23
	100	114,5	46,5	3372,21	39,23
220	20	86,9	10,9	835,06	117,20
	40	92,3	21,5	1590,08	66,37
	60	99,7	32,5	2361,76	48,75
	80	101,9	46,9	3344,64	35,49
	100	103,05	59,9	4241,64	28,40

Bu tablolardaki değerler karşılaştırıldığında Candide ve Mossa kumaşlarının kayma gerilmesi ve viskozite değerleri yakınlık göstermektedir ve falset kumaşına göre viskozite değerleri daha büyüktür. Falset kumaşının aynı sıcaklık, enjeksiyon hızı baz alınarak viskozite değeri diğerlerine göre daha düşüktür. Kumaşlar arası bu farklılığın sebebi ara katman olan köpük yapısıdır. Köpük katmanı ne kadar küçükse tekstil üzerinde akan eriyiğin viskozitesi de o kadar küçük olmaktadır. Köpük katman kalınlıkları aynı olan Candide ve Mossa karşılaştırıldığında ise bariyer film tabaka yoğunluğu fazla olanın viskozite değeri daha yüksek bulunmuştur. Özet olarak kumaş yapıda köpük katmanı basınç düşüşünü ve viskoziteyi artırmaktadır. Tasarımcıların proses parametreleri değişikliklerinde bu önemli iki özelliği göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Böylelikle parça üzerinde ortaya çıkan çekme, çarpılma gibi yüzey kusurları engellenmiş olur [2].

3.2.6.3. Parça geometrisi etkisi

Kalıplamasını istediğimiz plastik parçaların et kalınlığı, duvar açıları, çıkma açıları, federler vb. geometrilere bağlı olan parametreler ürün üzerinde çarpılma, çöküntü, itici izleri, soğuk birleşme izleri gibi hatalar meydana getirebilir. Bu hataların en önemlilerinden birisi olan çarpılma, daha çok soğutma sistemine ve ürün geometrisine bağlı olarak üründe ortaya çıkan homojen olmayan daralmalar olarak tarif edilmekle beraber, proses parametrelerinin de çarpılma üzerinde önemli ölçüde etkisi olmaktadır. Proses parametrelerinin çarpılma üzerindeki etkisi yazılımlar sayesinde de görülebilmektedir. Böylelikle kalıp sıcaklığına bağlı çarpılma, malzeme sıcaklığına bağlı çarpılma, soğutma etkisine bağlı çarpılma gibi değerlendirme kriterleri ile akış analizinde çarpılmaya en çok etki eden proses parametresi belirlenebilmektedir.

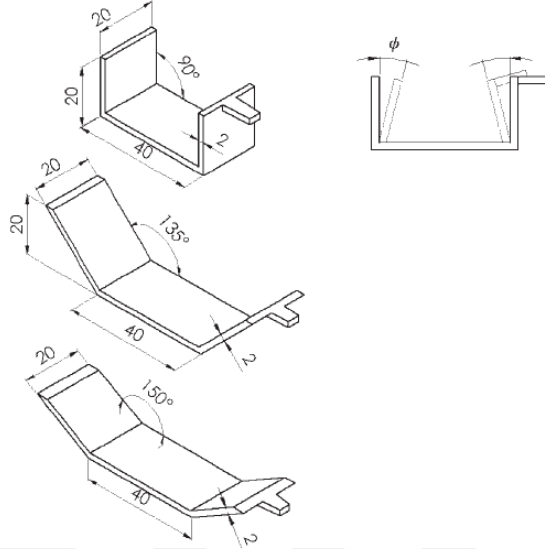
Literatürde böyle bir çalışma yapan D. Lee ve ark. (2013) [7] IMD tekniğini kullanarak ürün geometrisinin çarpılma üzerindeki etkisini görmek istemişlerdir. Bu çalışmayı yaparken hem deneysel veriler hem de yazılım desteği sağlanarak sayısal değerler incelenmiştir. U şekline sahip bir geometri belirlenmiş olup köşe açıları sırasıyla 90°, 135° ve 150° olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmada kumaş yapı olarak termoplastik film kullanılmıştır. İşlem adımları aşağıdaki gibidir. Uygulanan termoform ön işlemi adımları Şekil 3.45.' te verilmiştir.



Şekil 3.45. Kalıp içi dekorasyon işlem adımlarını gösteren şema [7]

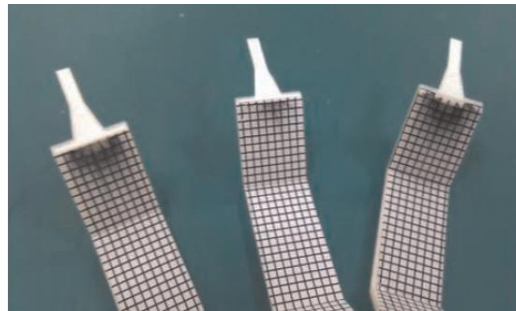
Çalışmada %20 cam elyaf takviyeli PET malzeme kullanılmıştır. Dekorasyon filmlerinin ikisinin de kalınlığı 250 μm ' dir. Çalışmada değerlendirme kriterleri

olarak köşe açısı, kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı ve maksimum enjeksiyon basıncı belirlenmiştir.



Şekil 3.46. Parça boyutları ve açı değerleri [7]

Malzeme sıcaklıkları 5 °C' lik adımlarla 270 °C' den 280 °C' ye, kalıp sıcaklıkları 10 °C'lik adımlarla 55 °C' den 75 °C' ye kadar değiştirilmiş, enjeksiyon basıncı ise 83, 100 ve 125 MPa değerlerinde tutulmuştur. Enjeksiyon debisi ise 97 cm³/s olarak sabit tutulmuştur. Yapılan enjeksiyon denemeleri sonucunda U şeklindeki plakaların termoplastik filmlerin yerleştirildiği kalıp yarımı tarafına doğru eğildiği görülmüştür. 90° köşe açısıyla kaplanmış U plakada en yüksek çarpılmayı gösterirken, 150° köşe açısına sahip plaka en düşük çarpılmayı göstermiştir. Film malzemesinin kalıp içerisine girmesiyle geleneksel kalıplamaya göre çarpılma değerleri daha da yükselmiştir.

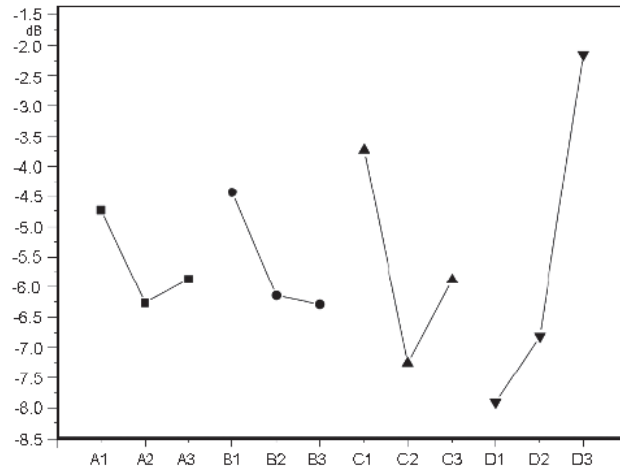


Şekil 3.47. Kalıp içi dekorasyon kalıp parçaları [7]

Seçilen değerlendirme kriterleri arasında çarpılma miktarı en düşük seviyede tutan parametre değerleri bir grafik vasıtasıyla desteklenmiştir. Bu grafikte minimum çarpılmanın görüldüğü optimal seviyeler A1, B1, C1 ve D3 noktalarıdır. A, B, C ve D noktaları sırasıyla eriyik malzeme sıcaklığı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve parça geometrisini göstermektedir. Optimal değer noktaları 270 °C eriyik sıcaklığı, 55 °C kalıp ön ısıtma sıcaklığı, 83 MPa enjeksiyon basıncı ve 150° parça duvarı açısıdır.

Tablo 3.7. Deneylerde kullanılan ortogonal metod sonuçları [7]

Eriyik Sıc. (°C)	Kalıp Sıc. (°C)	Enj. Basıncı (MPa)	Köşe Açısı	Örnek aç 1	Örnek aç 2	Örnek aç 3	Örnek aç 4	Örnek aç 5	S/N Faktör
270	55	83	90	2.00	1.70	1.50	1.00	1.50	-3.94
270	65	100	135	2.75	2.45	2.50	2.45	2.50	-8.70
270	75	125	150	1,25	1,50	1,25	1,25	1,15	-2,18
275	55	100	150	1,75	1,25	1,35	1,35	1,50	-3,23
275	65	125	90	3,15	2,70	3,25	2,75	2,75	-9,33
275	75	83	135	2,35	2,75	1,85	1,50	1,50	-6,23
280	55	125	135	2,25	2,25	2,25	1,50	1,75	-6,13
280	65	83	150	1,00	1,25	1,25	1,10	1,00	-1,03
280	75	100	90	3,50	3,75	3,25	2,85	3,25	-10,46



Şekil 3.48. Etki parametrelerini gösteren grafik [7]

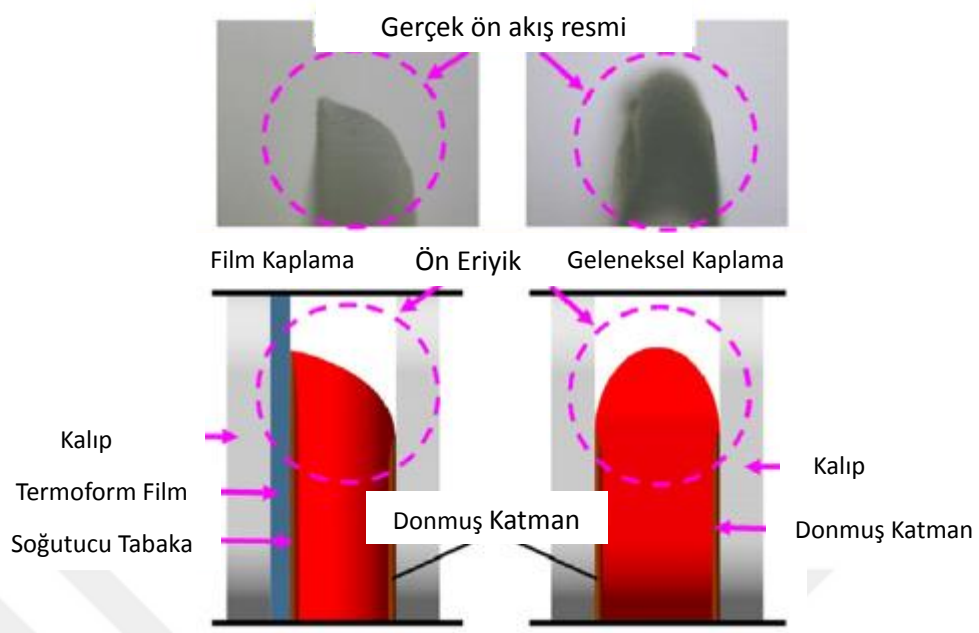
IMD film kalıplama için seçilen parametreler arasında çarpılmayı en çok etkileyenler parça duvar açısı ve enjeksiyon basıncıdır. Ardından sırasıyla kalıp sıcaklığı ve eriyik malzemenin sıcaklığı gelmektedir.

3.2.6.4. Kalıp sıcaklığı etkisi

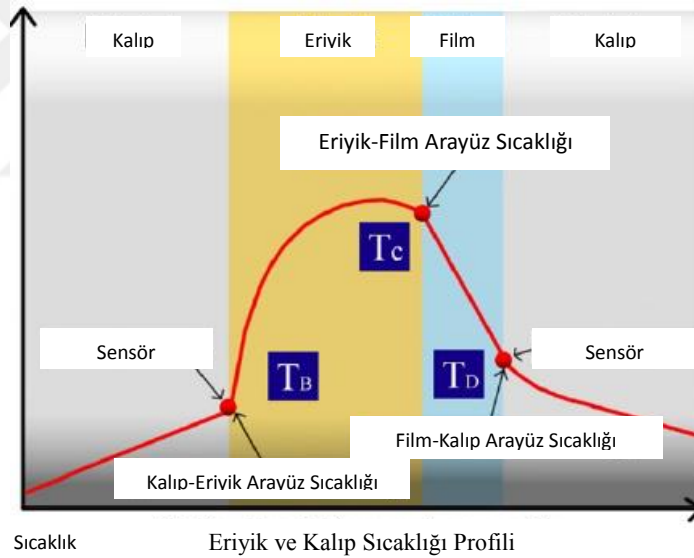
Kumaş veya termoform filmlerin IMD sistemiyle plastik parçaların üzerine işlenmesiyle kalıp içerisinde sıcaklık, basınç, viskozite, parça soğuması ve kalıp soğutması farklılıkları meydana gelmektedir. Bu parametrelerden biri de yüksek önem derecesine sahip olan kalıp sıcaklığıdır. Çünkü kalıbın içerisine film veya kumaş yapı yerleştirildiği zaman, hangi kalıp yarımına yerleştiriliyorsa o kalıp yarımında dengesiz ısı dağılımı oluşmaktadır. Bunun nedeni eriyik malzemenin bir kalıp yarımında direkt olarak çelik yüzeyle temas ederken diğer kalıp yarımında ise kumaş veya termoform ile temas etmesidir. Böylelikle dişi ve erkek çelik arasında kalıp sıcaklık farkı meydana gelecektir. Bununla birlikte geleneksel olarak kalıplanan bir parçadaki ön akış ilerleyişi ile IMD uygulanan bir kalıp içerisindeki ön akış ilerleyişi profili farklıdır. Çözüm olarak eklenen yapı tarafına yoğun soğutma sistemi tasarlanabilir. Isı iletim katsayısına bağlı olarak eklenen yapı tarafında ısı hapsolması şiddetli çarpılma, dengesiz ön akış ilerleyişi ve parça üzerinde çeşitli iç gerilmelere neden olabilir [8].

Hui-Li Chen ve ark (2013) [6] eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve film yapının katman kalınlığı üzerine yaptıkları çalışmada kalıp-polimer ve eriyik-film-kalıp ara yüzeylerinde oluşan farklı sıcaklık profillerini incelemeye çalışmışlardır. Beklenen sıcaklık profili eriyik-film arayüz sıcaklık değerinin diğer arayüz sıcaklıklarına göre daha yüksek seviyede olmasıdır.

Aşağıdaki asimetrik eriyik ve sıcaklık doğrultusunu gösteren grafikte T_B ile işaretlenen bölge geleneksel enjeksiyon kalıplama ile aynı kalıp sıcaklığına eşit olmaktadır. T_C eriyik ile termoform film arasındaki sıcaklığı, T_D ise sadece IMD işlemine ait olan kalıp ve termoform arayüz sıcaklığıdır [6].



Şekil 3.49. Filmden dolayı kaynaklanan simetrik olmayan ön akış ilerlemesi [8]

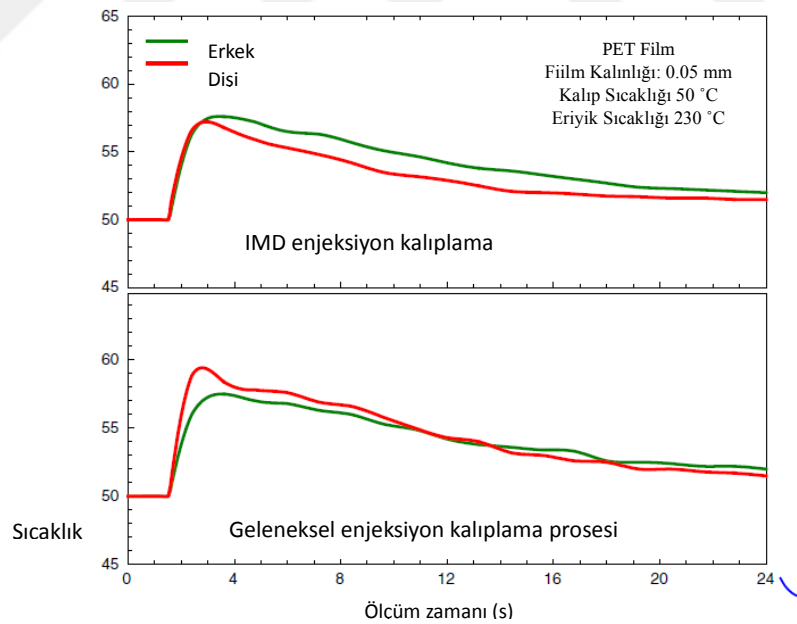


Şekil 3.50. Asimetrik eriyik ve sıcaklık doğrultusunun gösterimi [8]

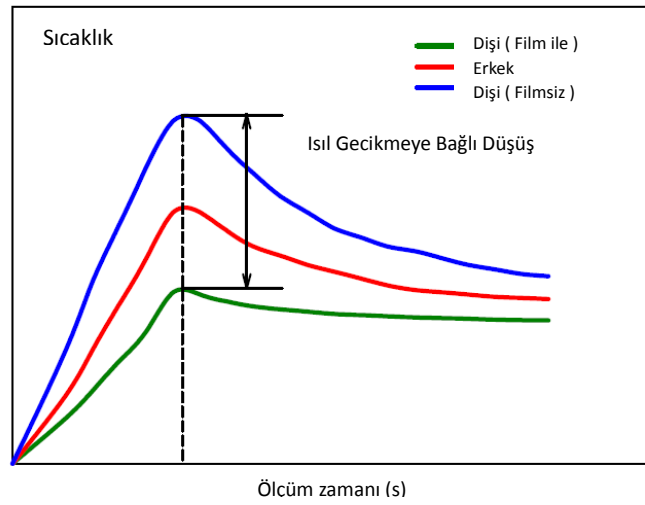
Kavite boşluğuna dik olarak ilerleyen simetrik olmayan sıcaklık profili kalıp içi dekorasyon çalışması için çok önemlidir. Bu amaçla Hui-Lui Chen ve ark (2013) [8] eklenen film tarafındaki kalıp sıcaklık farklarını ve ürün çarpılmasını araştırmak amacıyla Polipropilen malzeme üzerinde çalışmalar yapmışlar ve sayısal ve deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma yapılırken eriyik malzeme ve termoform malzeme arasındaki değişimleri incelemek için termal olarak simülasyon

ve analizleri de gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 0,125 ve 0,175 mm kalınlığa sahip PC filmleri ve yine 0,036 ve 0,05 mm kalınlığında PET filmler kullanılmıştır. Film yapılar kalıp içi dekorasyon sistemine uygun olarak belirlenmiş bir kalıp yarımına sabitlenmiştir. Kalıp sıcaklıklarını 10 °C artan adımlarla 40-60 °C arasında tutarken, eriyik sıcaklığını ise 30 °C artan adımlarla 200-260 °C arasında tutulmuştur. Kalıp içerisinde dişi ve erkek kalıp yarımına yerleştirilen sıcaklık sensörleriyle yukarıda asimetrik sıcaklık grafiğini elde etmeye çalışmışlardır.

Geleneksel enjeksiyon kalıplama işlemlerinde eriyik malzeme dişi veya erkek çeliğe temas ettiğinde kalıp sıcaklığı artmaktadır. Kalıp içi dekorasyon uygulamasında ise kumaş veya termoform film malzemesi ısı akışını geciktirmekte ve bu sebepten dolayı kalıp sıcaklığının artışı daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu durum kalıp içerisine kumaş yerleştirildikten sonra basınç düşüşünün daha fazla meydana gelmesine benzetilebilir. Ortaya çıkan bu yavaş ısı transferi “ısı geciktirmeye bağlı sıcaklık düşüşü” (Retardation Temperature Drop) olarak adlandırılacaktır [8].



Şekil 3.51. IMD ve geleneksel enjeksiyon kalıplama sırasında ortaya çıkan ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü [8]



Şekil 3.52. IMD ve geleneksel kalıplama arasında ortaya çıkan RTD farkı [8]

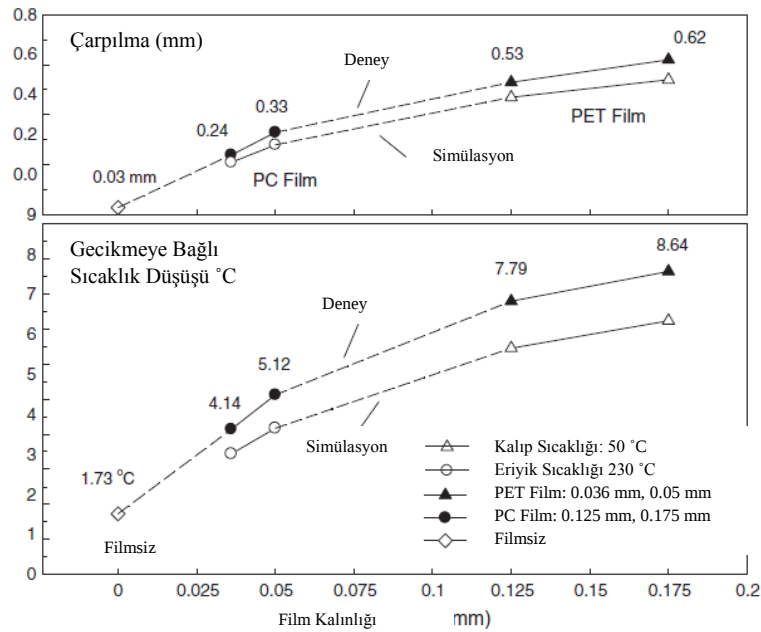
Önceki bölümlerde değinilen kumaş kalınlığına bağlı basınç düşüşüne benzer şekilde bu bölümde de film kalınlığına bağlı sıcaklık düşüşünün incelenmesi gerekmektedir.

Termoform film barındıran ve barındırmayan malzemeler için yapılan ölçümler sonucunda kalınlık arttıkça ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünün ve çarpılma değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. 230 °C eriyik sıcaklığı ve 50 °C kalıp sıcaklığı değerlerinde yapılan deneysel simülasyon değerleri Şekil 3.53'te verilmiştir [8].

Aşağıdaki grafikten elde edilebilecek çıkarımlar şunlardır. Kumaş kalınlığı gözletilmeksizin içi boşluklu simgeler filmsiz yapıları temsil ederken, içi dolu simgeler film eklenerek yapılan kalıp içi dekorasyon işlemini temsil etmektedir. Çarpılma değeri grafiği, film eklenen işlemde geleneksel kalıplamaya göre hem PET filmi için hem de PC filmi için değerlerin arttığını göstermektedir. Bu sonuç kumaş yapı için de geçerlidir. Isıl geciktirmeye bağlı sıcaklık düşüşü (RTD) grafiği PC ve PET filmleri için de yaklaşık 1 °C'lik bir artış ortaya çıktığını göstermektedir [8].

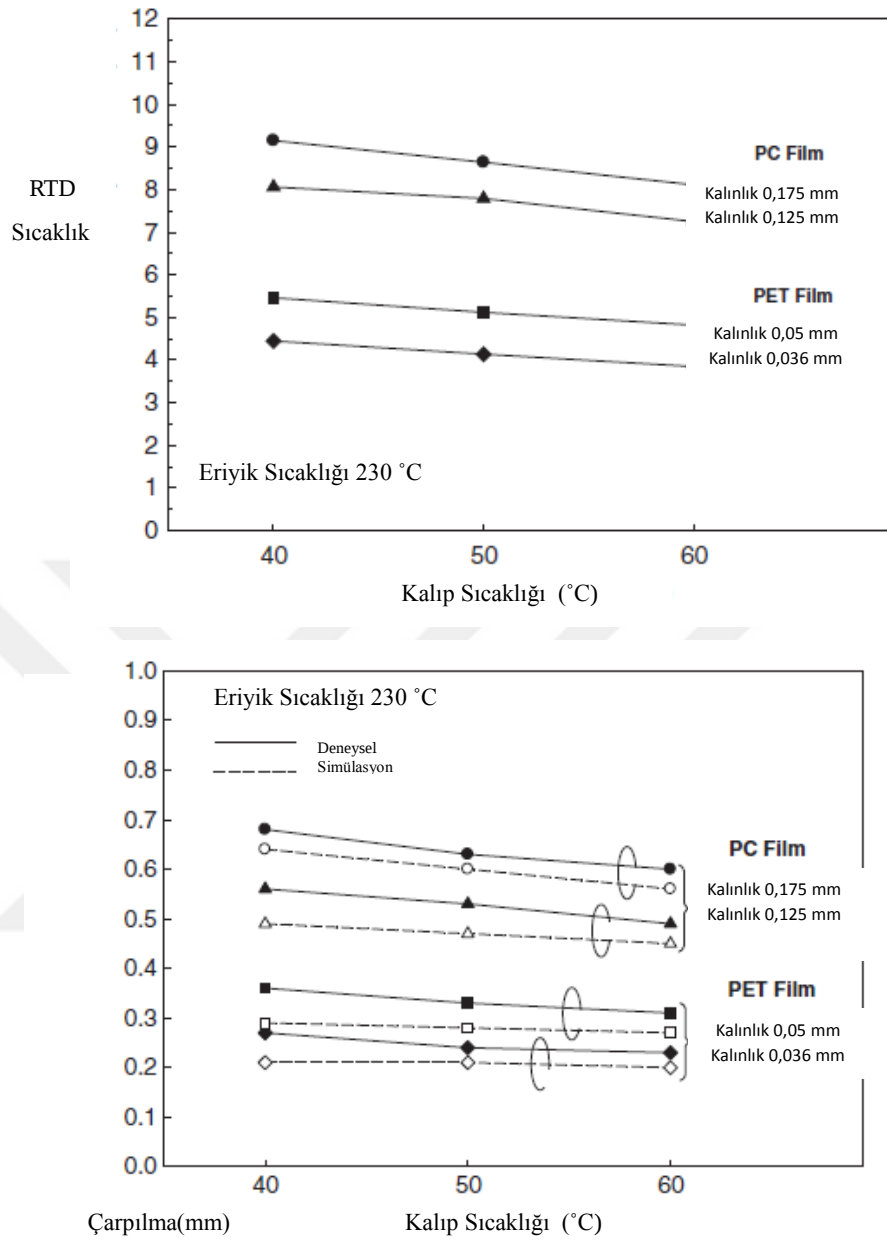
Hui-Li Chen ve ark. (2013) [8] yaptıkları çalışmada, eriyik sıcaklığı artışına ve film/kumaş kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı gecikme nedeniyle sıcaklık düşüşü ve çarpılma değerlerinin yükseleceği sonucuna ulaşmışlardır. Çünkü eriyik sıcaklığının artmasıyla birlikte kumaş yapının eklendiği taraftaki sıcaklık çıkışı daha

da zorlaşmakta ve soğuma süresi artmaktadır. Aynı şekilde, kalınlığın da artmasından dolayı ısı geçişi daha da zorlaşmakta ve ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü artmaktadır. Isı transferinin zorlaşması, asimetrik kalıp sıcaklıklarının oluşmasına ve çarpılma meydana gelmesine sebep olmaktadır. Dişi çelik soğutma sistemi etki ettiği alıştırma yüzeyini soğuturken erkek çeliğin soğutması ısı gecikmeden dolayı etkisiz kalmaktadır. Bu probleme yönelik soğutma sistemi tasarlanabilir (bu kısımda dişi çelik ve erkek çelik kısmı olarak adlandırılan terimler eklenen filmin veya kumaşın hangi tarafta olduğuna göre değişir).



Şekil 3.53. Farklı film kalınlıklarına bağlı olarak ısı gecikme sıcaklığı ve çarpılma değerleri [8]

Hui-Li Chen ve ark. [8] yaptıkları çalışmada eriyik sıcaklığı arttıkça RTD' nin arttığını ve PC filminde 7-10 °C ve PET filminde 3,5-6 °C arasında fark olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada PC filminin kalınlığı PET filmine göre daha kalın olduğu için ısı gecikme sıcaklığının daha fazla olması yönündeki tahmin doğru çıkmış ve PC filminin RTD'si daha büyük bulunmuştur. Aynı zamanda kalıp sıcaklığının etkisini araştırmak için artan sıcaklıkla birlikte çarpılma ve ısı gecikme kaynaklı sıcaklık düşüşü grafiği de elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığının artmasıyla birlikte ısı gecikmede ve çarpılmada düşüş gözlenmiştir.



Şekil 3.54. Çeşitli kalıp sıcaklıklarında ve film kanlılıklarında deneysel ve simülasyon sonuçlarının çarpılma ve RTD değerleri [8]

Elde edilen diğer sonuçlara göre film bulunan yapının, film bulunmayan yapıya göre daha büyük kristal boyutuna sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi eriyik polimerin soğuma seviyesini düşüren ısı transferindeki gecikme ve ısı gecikmeyle kristal boyutun artmasının RTD etkisini güçlendirmesidir [8].

Yapılan çalışmanın en önemli tarafı RTD sorununa çözüm üretmesidir. Bu amaçla Hui-Li Chen ve ark. (2013) [8] PC filmi üzerinde farklı kalıp yarımlı sıcaklıklarına

yönelik çalışma yürütmüşlerdir. Dişi kalıp sıcaklığının 50 °C, erkek kalıp sıcaklığının 65 °C, PC film kalınlığının 0,175 mm ve eriyik sıcaklığının 230 °C olarak uygulandığı bu çalışma sonucunda çarpılmanın önemli oranda azaldığını gözlemlemişlerdir. Deney ve simülasyon sonuçlarının 0,62 mm'den 0,29 mm'ye ve 0,54 mm'den 0,20 mm'ye azalma gösterdiğini görmüşlerdir. Özetle erkek çelik sıcaklığını 50 °C'den 65 °C'ye artırdıklarında çarpılma miktarı %53-63 oranlarında azalmıştır. Yüzdelik değerlerdeki %10 sapma miktarı deney ve simülasyon sonuçları farkıdır.

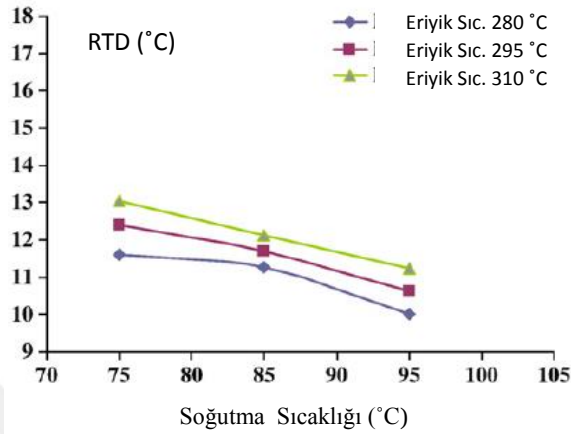
Deney ve simülasyon sonuçları kalıp sıcaklıkları farklı tutulduğunda çarpılma miktarının önemli derecede azaldığını, film kalınlıklarının artmasıyla ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü değerinin ve çarpılmanın arttığını, eriyik sıcaklığı arttıkça RTD' nin arttığını göstermiştir. Yeni tasarımlar yaparken bu parametre değişimleri göz önüne alınarak revizyon yapmak daha doğru sonuçlar doğuracaktır. Film kalınlığının 0,125 mm'den 0,175 mm'ye yükselmesi durumunda geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre 10 °C kadar kalıp sıcaklık farkı gözlemlenmiştir [8].

Kalıp içerisine eklenen film veya kumaş yapılar ısı gecikme kaynaklı sıcaklık düşüşü yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu sorunu çözmek için proses parametrelerinin etkisini araştırarak kalıplamaya en uygun şartların sağlanması gerekir. Eriyik malzeme-termoform film/kumaş arayüzünde biriken ısı soğutma sıcaklığındaki değişimlerle azaltılabilir.

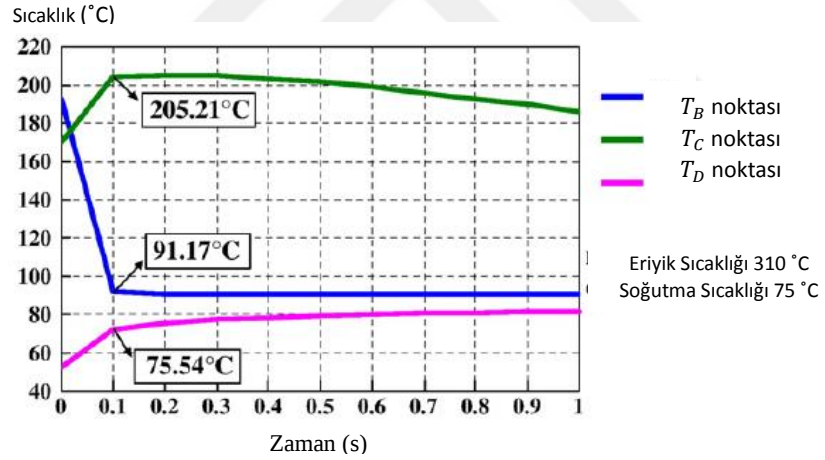
Shia Chung Chen ve ark. (2010) [6] PET ve PC filmleri üzerinde kalıp soğutma sıcaklığı etkisini araştırmak için deneyler yapmışlar ve artan soğutma sıcaklığı ile ısı gecikme kaynaklı sıcaklık düşüşünün azalacağını öngörmüşlerdir. PET filmine ait asimetrik sıcaklık grafiğine ısı sensörleri yardımıyla ulaşmışlardır. Yapılan çalışmada PET filmi için 75, 80, 85, 90 ve 95 °C soğutma sıcaklığı ve 280, 295 ve 310 °C eriyik sıcaklığı değerlerinde ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü değeri 10-13 °C arasında değişmiştir.

Temas arayüz sıcaklık grafiklerindeki değerler kullanılan termoform filmlerden bağımsız olarak incelenmiştir. Oysaki çelik ve plastik malzemelerin ısı iletkenlik

katsayıları parça soğutmada ne kadar etkiliyse, kullanılan termoform filmlerin de iletkenlik katsayıları da o kadar önemlidir. Eriyik malzemeden alınan ısı film yapı üzerinden kalıp çeliğine iletildiği için film yapının ısı iletkenlik katsayısı sıcaklık profili şemasında T_C sıcaklığı ile temsil edilmiştir [8].

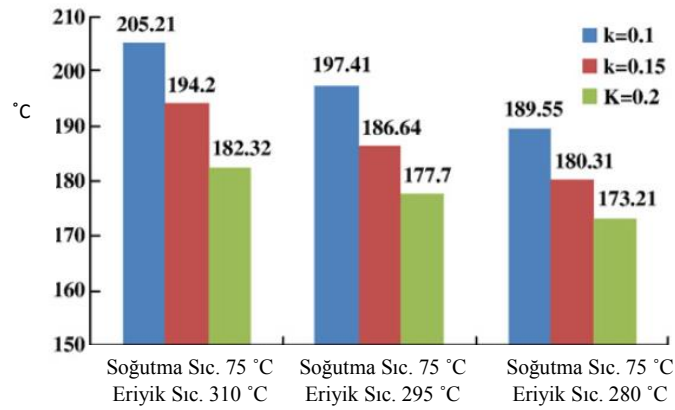


Şekil 3.55. PET filmi üzerinde soğutma sıcaklığının RTD'ye etkisi [6]



Şekil 3.56. Kalıp-Eriyik, Eriyik-Film ve Film-Kalıp arayüz sıcaklıklarının simülasyon sıcaklık profilleri [6]

Shia Chung Chen ve ark. (2010) [6] artan eriyik sıcaklıklarında ısı iletim katsayısı 0,1 W/ m-°C olan PC filminin iletkenliğini 1,5 ve 2 katına çıkardığında T_C arayüz sıcaklığındaki değişimleri gözlemlemişler ve aynı soğutma suyu sıcaklığında ısı iletim katsayısının artmasıyla birlikte T_C sıcaklığının düştüğünü tespit etmişlerdir. Kalıp içerisinde hapsolan ısıyı transfer etmek için başlıca çözümlerden birisi iletkenlik katsayısını artırmak olabilir.



Şekil 3.57. Çeşitli eriyik sıcaklıklarında ısı iletim katsayısına bağlı olarak temas-arayüz sıcaklık değişimleri [6]

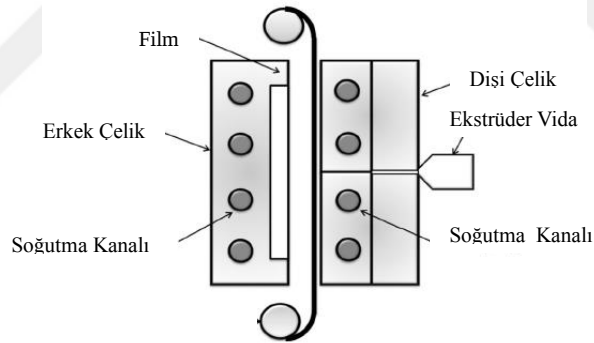
PC ve PET filmleriyle yapılan kalıplama ile geleneksel kalıplama karşılaştırıldığında, film yerleştirilmiş kalıp yarımı ile diğer kalıp yarımı arasında PC filmi için maksimum sıcaklık farkının 17,7 °C olduğu, PET filmi için ise en yüksek kalıp sıcaklık farkının 13 °C olduğu gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada PC film kalınlığı 0,175 mm'den 0,525 mm'ye yükseltildiğinde RTD'nin yaklaşık olarak 4 °C arttığı ve ısı iletkenlik değerinin 0,1 W/m°C'den 0,2 W/m°C'ye çıkması halinde T_C sıcaklığının 23 °C azaldığı gözlemlenmiştir.

3.2.6.5. Asimetrik soğutma sistemi etkisi

IMD teknikleriyle kumaşların veya termoform filmlerin polimerlerle birlikte enjeksiyon işlemleri hızlı bir şekilde tamamlanır. Birçok ara proses süreçleri ana proses içerisinde minimize edilerek ürün ortaya çıkma çevrimi kısaltılmaya ve maliyetler düşürülmeye çalışılır. Bu prosesler esnasında geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre kalıp içerisine yabancı bir parçanın (film, kumaş, metal) eklenmesi proses parametrelerinin belirli aşamalarında değişikliğe gidilmesini zorunlu kılar. Bunlardan biri de asimetrik soğutma sistemidir. Asimetrik soğutma sistemi adından da anlaşılacağı gibi simetrik olmayan soğutma sistemini anlatır. Asimetrik soğutma sistemi tanımımız soğutma kanallarını ifade etmemektedir. Çünkü neredeyse simetrik ve et kalınlığı aynı olmayan parçaların hepsi farklı kalıp yarımalarında farklı soğutma kanallarına sahiptir. Burada asimetrik soğutmada kasıt kalıp sıcaklığıdır. IMD tekniğinde kumaş veya termoform filmin belirlenen kalıp yarımına yerleştirilmesi,

yerleştirilen taraftaki ısının transferinin gecikmesi ve parçanın soğuma süresinin uzamasına, çarpılma ve yüzey çöküntüleri gibi hataların artmasına neden olur.

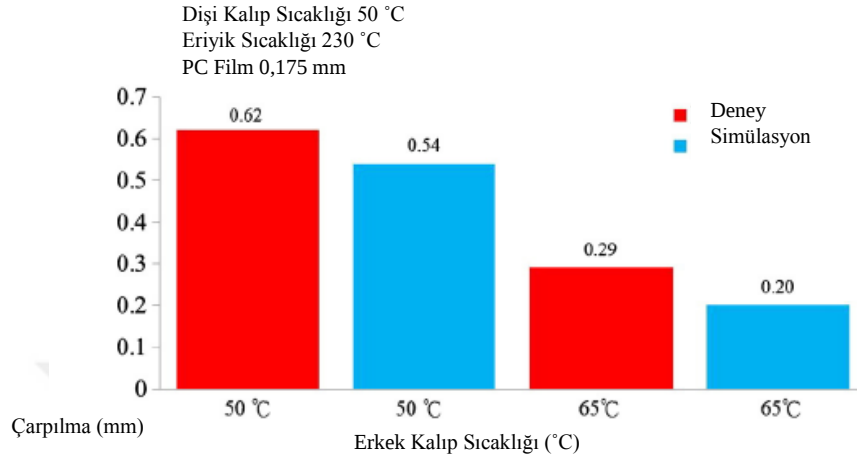
Bu amaçla Yu-Hsing Lin ve ark (2015) [4] farklı kalıp yarımı sıcaklıklarında parça üzerinde meydana gelen en büyük sorunlarından biri olan çarpılmayı araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kullanılan eriyik malzeme Globalee 7533 adlı Taiwan PP malzemedir. Kullanılan termoform film ise 0,175 mm kalınlığında PC filmidir. Deney için kullanılan kalıp P20 çelikten yapılmıştır. Enjeksiyonu gerçekleştirilen parça 100x100x1,2 mm boyutlarında kare bir plakadır. Eriyik sıcaklığı 230 °C’de sabitlenmiştir. Enjeksiyon işlemi iki farklı şekilde yürütülmüştür. Birincisi erkek ve dişi çeliklerin aynı kalıp sıcaklığına (50 °C) sahip olduğu durumdur. İkincisi ise asimetrik soğutma sistemi farkını ortaya koyabilecek erkek ve dişi çeliklerin farklı kalıp sıcaklıklarında olduğu işlemdir. Bu işlemde ise erkek çeliğin kalıp sıcaklığı 65 °C’ ye çıkarılırken dişi çelik kalıp sıcaklığı 50 °C’ de sabitlenmiştir.



Şekil 3.58. Farklı kalıp yarımalarını, soğutma kanalları ve termoform film [4]

Deneyde yapılan ölçümler sonucunda dişi ve erkek kalıp sıcaklığı sabit tutulan birinci enjeksiyon işlemi ve dişi kalıp sıcaklığı aynı tutulurken erkek kalıp sıcaklığı değiştirilerek yapılan ikinci enjeksiyon işlemi karşılaştırılmıştır. Deneysel veride çarpılma değeri birinci enjeksiyon işleminde 0,62 mm, ikinci enjeksiyon işleminde 0,29 mm değerine düşmüştür. Simülasyonda elde edilen çarpılma değerleri ise birinci enjeksiyon işleminde 0,54 mm iken, ikinci enjeksiyon işleminde 0,20 mm’ye düşmüştür. Kalıp yarımalarına asimetrik soğutma sistemi uygulandığında çarpılma değerlerinde gözle görülür bir azalma fark edilmektedir. Simülasyon verileri %63’ lük azalma gösterirken deneysel veriler % 53’ lük azalma göstermektedir. Tasarım

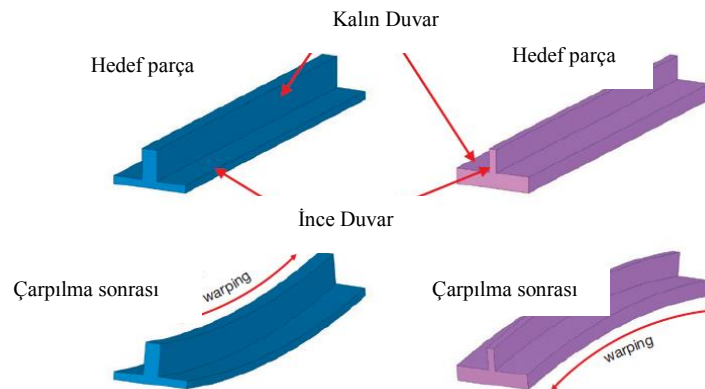
ve proses ayarlarında asimetrik soğutma sistemi kullanarak kalıp yarımları arasında ısı gecikmeden dolayı ortaya çıkan sıcaklık düşüşü ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kalite hataları minimize edilebilir [4].



Şekil 3.59. Simetrik Olmayan Soğutma Sistemi Sonucu Çarpılma Değerleri [4]

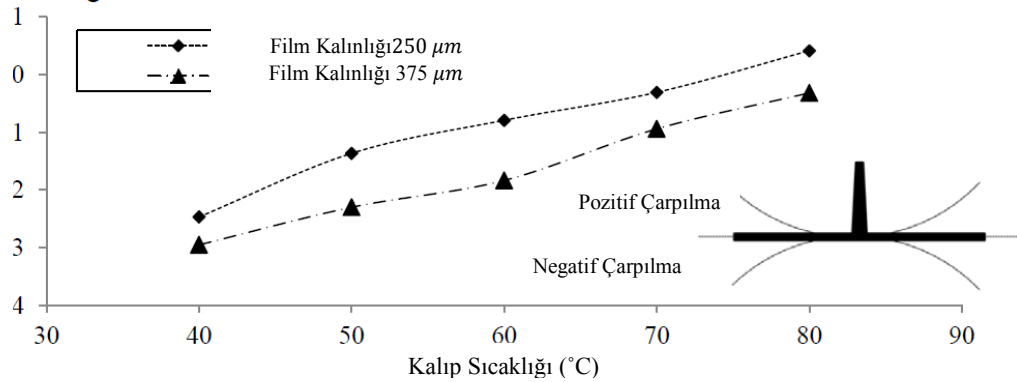
3.2.6.6. Çarpılma etkisi

Enjeksiyon kalıplamada soğutma kanalı kalitesine, parça geometrisine, eriyik sıcaklığına ve kalıp sıcaklığına bağlı olarak ürün üzerinde homojen olmayan boyutsal değişimler gözlenir. Kullanılan elemanın ısı iletim katsayısı düşükse ve ısıyı transfer edemiyorsa boyutsal değişimler daha şiddetli hale gelecektir. Önceki başlıklarda kalıp içerisinde kumaş veya film yapıdan dolayı hapsolan ısının geç transferi ve parça geometrisine bağlı olarak çarpılma konuları ele alınmıştır. Bu başlık altında ise yapılan deneysel çalışmalarla sadece çarpılmayı etkileyen faktörler incelenecektir.



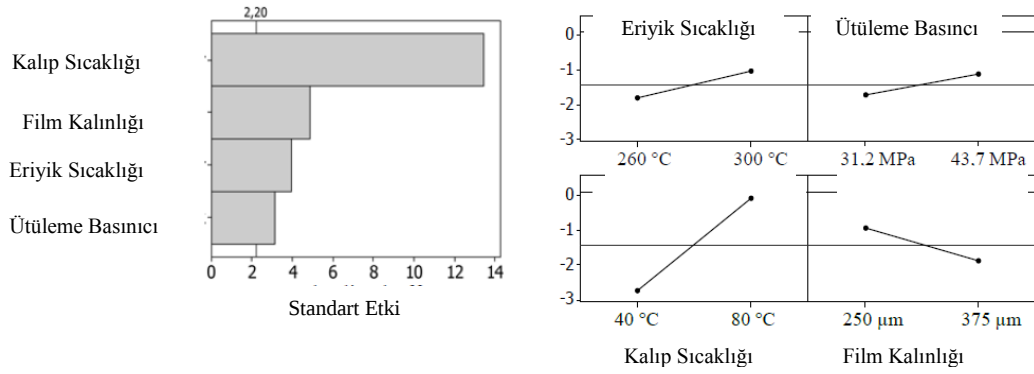
Şekil 3.60. Parçanın düşük et kalınlığı tarafına göre çarpılma durumu [23]

Çarpılma etkisini değerlendirmek için Woyan ve ark (2014) [5] 190 mm uzunluk ve 80 mm genişlikte dikdörtgen bir profil kullanmışlardır. Bu profillerin kalınlıkları 2 ve 3 mm'dir. 250 ve 375 μm kalınlığa sahip PC filmi kullanmışlardır. Farklı film kalınlıkları, film kalınlığı ve çarpılma arasında kıyaslama imkânı vermiştir. Kullanılan filmlerin eriyik sıcaklıkları 260, 270, 300 ve 310 °C şeklinde seçilerek eriyik sıcaklığına bağlı çarpılma değerleri elde edilmiştir. Aynı şekilde enjeksiyon sonrası ütüleme basıncı etkisini görmek için de ütüleme basınç değerlerini 25, 31.2, 37,5 ve 43,7 MPa olarak uygulanmıştır. Kalıp sıcaklığı etkisini araştırmak için sıcaklık aralığı 40-80 °C arasında tutulmuştur. Yapılan tüm denemelerin soğutma çevrimi süresi 10 s'dir. Yapılan çalışmada “çarpılma” terimi “olumlu çarpılma” ve “olumsuz çarpılma” olarak iki farklı şekilde adlandırılmaktadır. Olumlu çarpılma film eklenen tarafa doğru olan yönelimi, olumsuz çarpılma ise kapı yönündeki yönelimi göstermektedir [5].



Şekil 3.61. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak farklı kalınlıklardaki çarpılma değerleri ve olumlu ve olumsuz çarpılma şeması [5]

Değerlendirme kriterleri olarak seçilen parametrelerin etki katsayısını gösteren Pareto şemasına göre 2 mm kalınlığa sahip profile tüm faktörlerin çarpılma üzerinde yüksek bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Pareto şemasına göre yaklaşık olarak 13 katsayıya sahip kalıp sıcaklığı parametresi en etkili parametredir. Ardından film kalınlığı ve enjeksiyon sonrası basınç (ütüleme basıncı) gelmektedir [5].



Şekil 3.62. 2 mm kalınlığa sahip PC filmde çarpılmaya etki eden parametrelerin karşılaştırılması [5]

Parça geometrisi etkisi başlığında incelenen duvar açısı, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı parametrelerinde yine 250 µm sahip termoform film kullanıldığında en etkili parametre enjeksiyon basıncı ve duvar açısı bulunmuştu. Yapılan bu çalışmada ise kalıp sıcaklığının yaklaşık 13, film kalınlığının 5, eriyik sıcaklığının 3,5 ve ütuleme basıncının ise 3 katsayıya sahip olduğu görülmektedir. İki çalışma arasındaki en büyük fark olarak parça geometrisi etkisinde incelenen çalışmada basınç değerleri 83 MPa'dan 125 MPa'a kadar çıkmaktadır. İncelediğimiz çalışmada ise 25-43,7 MPa arasındadır. Etki parametresi buna bağlı olarak azalma göstermiştir.

3.2.7. Kalıp içi dekorasyonda kullanılan kumaş ve özellikleri

Geri enjeksiyon olarak adlandırılan sistemde kullanılan kumaşlar şekillendirilebilirlik, esneme oranı, ışığa karşı direnç ve yaşlanmaya karşı dayanıklılık gibi isteklere cevap vermelidir. Karmaşık yapılar devreye girdiği zaman kullanılan kumaşın esnekliği öne çıkar. Kalıp içi dekorasyonda kumaş kaplama için kullanılan dekoratif malzeme istenen esnekliklere ulaştığında iyi sonuçlar verir. Bu yüzden kumaş yapının uzayabilirlik, gelen yükü ve basıncı karşılama özellikleri çok önemlidir. Tablo 3.8'de düz bir kumaş yapının boyuna ve enine yönde uzama değerleri gösterilmiştir [20].

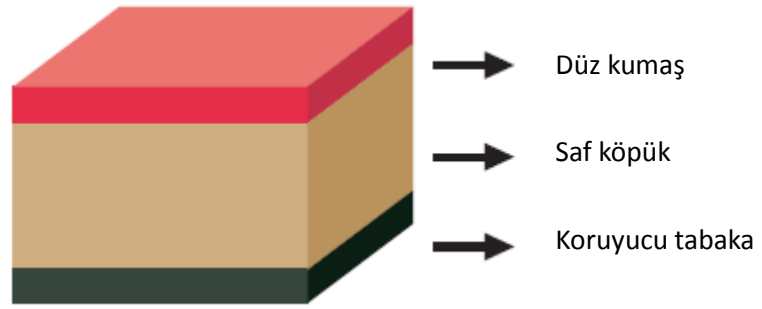
Mitzler ve ark (2003) Opel Corsa' nın kapı panelinde kullanılan kumaş yapıların enine ve boyuna gerilme değerlerini 25, 50 ve 100 N değerlerinde minimum %3 ve maksimum %8 uzama değerlerine vardığını göstermiştir [20].

Tablo 3.8. Kalıp içi kumaş kaplamada kullanılan yapıların minimum gerilme yüzdeleri [20]

Minimum Uzatılabilirlik Katsayısı		
	Boyuna yönde önerilen minimum gerilme değerleri	Enine yönde önerilen asgari germe değerleri
25 Newton	3,0 %	3,0 %
50 Newton	6,0 %	5,0 %
100 Newton	10,0 %	8,0 %

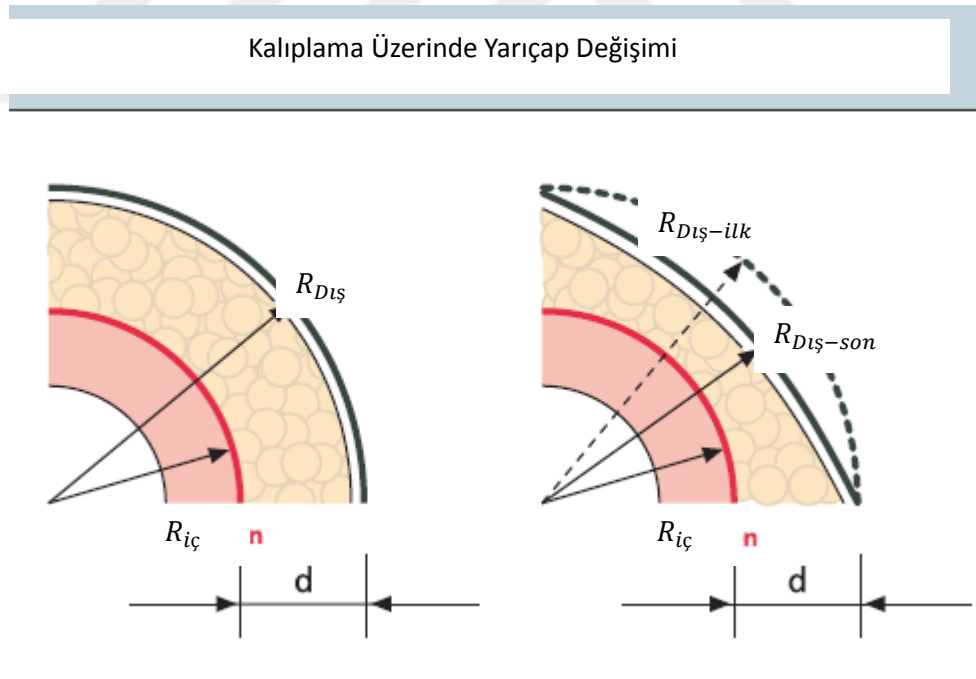
3.2.7.1. Kumaş yapıdaki özel gereksinimler

Otomotiv tedarikçisi olan Faurecia firması kalıp içi dekorasyon sistemini kullanarak Opel Corsa aracın kapı kaplamasını üretmek amacıyla Krauss-Maffei ile yaptığı anlaşma üzerine hassas dokunuş özelliklerine sahip bir kalıp tasarımı geliştirmiştir. Bu tasarımda kullanılan kumaş yapısı 2 ile 5 mm arasında bir kalınlığa sahip polyester ürethan köpük katmanına özel alevlendirme yöntemleriyle birleştirilmiştir. Kullanılan kumaş yapı 3 katmanlıdır. Görünür yüzeyden başlayarak dekoratif yüzey, köpük katmanı ve polimerle temas eden koruyucu bariyer film tabaka olarak sıralanabilir. En altta bulunan koruyucu bariyer film tabaka köpük tabakasını enjeksiyon sırasında gelen yüksek basınç ve sıcaklıktan korur. Koruyucu tabakanın olmaması durumunda eriyik malzeme direkt olarak köpük malzemeye penetre ederek yapıyı hasara uğratabilir ve çökme yapabilir. Ardından dekoratif yüzeye temas etmesine sebep olur ve bu durum kalıp içi kumaş kaplamanın en önemli hatalarındandır. Yapılan ön çalışmalar köpüğün yüksek basınçlara ve sıcaklıklara karşı direnç göstermesi için minimum 60 kg/m³ yoğunluğa sahip olması gerektiğini göstermiştir [20].



Şekil 3.63. Dekor malzemenin katmanları [20]

Temel yapıyı gösteren resimde geri kalıplama esnasında yerdeğiştirmeye uğrayan tabaka köpük tabakadır. Koruyucu tabaka ve dekoratif yüzeyin kalınlığında bir değişim olmamaktadır. Yapılan simülasyonlar sonucu 5 mm köpük kalınlığına sahip kumaş yapısının bükülmeye neden olduğu, 2 mm köpük kalınlığına sahip kumaşın ise bükülmeyeceği anlaşılmıştır [20].



Şekil 3.64. Enjeksiyon öncesi kumaş yapı kalınlığı (solda), enjeksiyon sonrası kumaş yapı kalınlığı (sağda) [20]

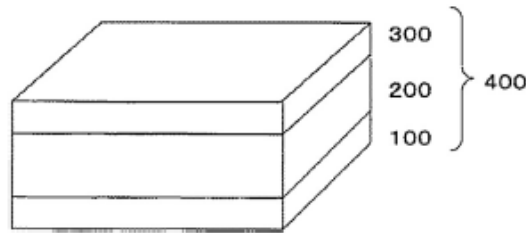
Opel Corsa iki farklı düz dokuma yapıya sahip kumaşa ‘Elba’ ve ‘Barcelona’ adını vermiş ve bu kumaşların üzerine PP malzemeyi geri enjeksiyon sistemiyle uygulamışlardır. ‘Arena’ olarak adlandırdıkları kumaş daha yüksek kaliteli ve boru

kesitine sahip bir kumaştır. Uyguladıkları kumaşların özellikleri Tablo 3.9'da verilmiştir [20].

Tablo 3.9. Opel Corsa kapı panelinde kullanılan üç farklı kumaşın özellikleri [20]

Kaplama malzemesi özellikleri					
Kaplama malzemesi türü			Düz dokuma kumaşı	Tüp biçimli kumaş	Düz dokuma kumaşı
Kaplama malzemesi	Birim alana düşen ağırlık	g/m ²	280 (+30/-15)	280 (+30/-15)	330 (+40/-20)
	Kalınlık	mm	1,2	1,5	1,2
Köpük	Ham yoğunluk	kg/m ³	60 (+/-4)	60 (+/-4)	60 (+/-4)
	Renk		Gri - Siyah	Gri	Gri
Dokusuz koruyucu katman	Ham yoğunluk	g/m ²	150	130	130
	Renk		Siyah	Siyah	Beyaz
Yapı	Birim alana düşen ağırlık (dokusuz hariç)	g/m ²	420 (+40/-20)	420 (+50/-35)	480 (+50/-25)
	Kalınlık	mm	3,0	3,8	3,5
Yumuşak dokunuş	Girinti derinliği GME 60246-A2* 'den adapte edilmiştir.	mm	0,2 - 0,6	0,5 - 1,0	0,2 - 0,6
	2mm girinti derinliğinde kuvvet	N	35 - 45	15 - 25	30 - 40

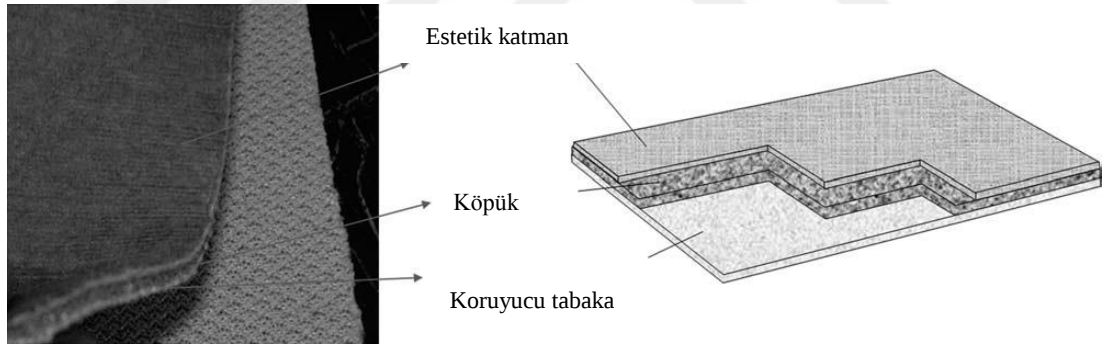
Faurecia geri enjeksiyon kalıplama aşamasında tüp biçimli kumaşın daha elastik, düz dokuma kumaşların ise daha sert davrandığını görmüştür. En önemli kazanımlardan biri de farklı uzama katsayılarına sahip üç farklı kumaşın aynı kalıp içerisinde geri enjeksiyonla işleme girebilme yeteneğinin görülmesidir. Diğer bir kazanım ise kompleks yapıya sahip geri enjeksiyon sistemi için özel hazırlanmış bir enjeksiyon makinesine ihtiyaç duyulmamasıdır. Faurecia standart yatay enjeksiyon makinelerini kullanarak geri enjeksiyonu başarıyla uygulamıştır [20].



Şekil 3.65. Bir araç için iç malzemenin kesit görüntüsü 100, Bitkisel elyaf mat; 200, Çapraz Bağlanmış PLA köpüğü; 300, biyobozunur kumaş tabakası; 400, Laminat [24]

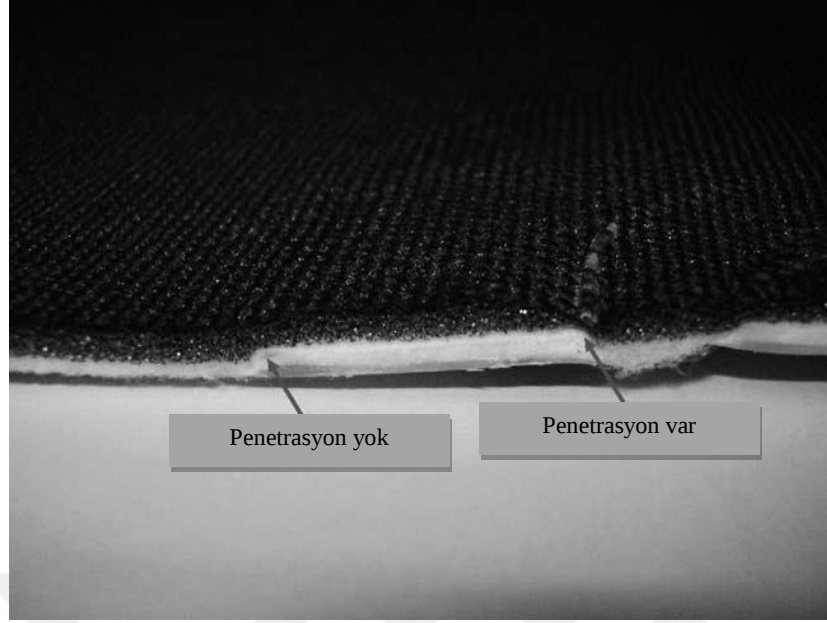
3.2.7.2. Kumaşın penetrasyonu

Penetrasyon kalıp içi kumaş kaplama yönteminde en dikkat çekici durumlardan birisidir. Aksi halde polimer eriyik yapıyı bozacak ve prosesin başında ürün üzerinde istenilmeyen en önemli hatalar meydana gelecektir. Penetrasyon tekstil üzerine plastik malzemenin enjekte edildiğinde ortaya çıkan bir hatadır. Penetrasyon olarak adlandırdığımız terim aslında plastik malzemenin kumaşa nüfuz ederek yapıyı bozması durumudur. Parçanın dekoratif tarafına geçerek estetiklik özelliğini kaybettirir. Enjekte yapılırken proses parametrelerinin yeniden optimize edilmesi gerekir. Ardarda enjeksiyon parametreleri değiştirilir ve deneme-yanılma yöntemiyle proses değişkenlerinin durumu belirlenir. Bu denemeler doğal olarak maliyete yansımaktadır. Ekonomiklik üzerine yapılan kalıp içi kumaş kaplama yöntemi amacı dışına çıkmış olur. Bunu engellemek için penetrasyon durumunu karakterize etmek çok önemlidir. Penetrasyon kumaş gerginliği, enjeksiyon basıncı ve eriyik sıcaklığı parametrelerinden etkilenmektedir [9].



Şekil 3.66. Kumaş yapının katmanları- IMD için [9]

Penetrasyon eriyik malzemenin kumaş yapısındaki bariyer film ve köpük katmanını geçerek dekoratif malzemeye ulaşmasıyla meydana gelir. Sızmalar genellikle kalıbın karmaşık geometrilili bölgelerinde ve kalıp kapandığında oluşan gergin noktalarda olur. Olağan miktardan fazla gerilme oluşturulursa gözenek büyüklülüğü artar ve penetrasyona neden olur. Kumaşın fazla gergin olduğu yerlerde yüksek basınç uygulanırsa dekoratif yüzeye eriyik girişi kesin olarak gerçekleşecektir [9].



Şekil 3.67. Dekoratif yüzeye penetre olmuş eriyik [9]

Martinez ve ark. (2011) [9] üç farklı kumaş yapıda penetrasyon tahminlerini yapmak için değişen gerginlik, enjeksiyon basıncı ve sıcaklık koşulları altında spiral kalıp üstünde çalışma yürütmüşlerdir. Gerginlik ölçümü için kumaşı kalıba klipslemek amacıyla kullanılan dört cımbız, bir vida sistemiyle kumaşın gerilmesini sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan malzeme Stamylan PHC-31 dir. Kullanılan enjeksiyon makinesi hidrolik kapama kuvveti oluşturan Mateu & Sole 55 tonluk sıkıştırma kuvveti sağlayan, 50 gr /s plastikleştirme kapasitesine sahip bir makinedir. Maksimum enjeksiyon basıncı 1735 bar'dır. Seçilen kumaş yapıları Şekil 3.67'deki gibi katman yapısına sahiptir. Deney süresince dolum fazı incelenmiş olup üç farklı tekstil için güvenli çalışma bölgesi grafikleri elde edilmiştir. Enjekte için eriyik malzeme sıcaklıkları 190, 210 ve 230 °C seçilmiştir. Makinenin enjeksiyon hızı tüm denemeler için maksimum enjeksiyon hızının %50'si olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon basınç değerleri 30, 40,50 bar sınırında kullanılmıştır [9].

3.2.7.3. Gerilme-penetrasyon ilişkisi

Çevrim öncesi ve sonrası birlikte olmak üzere kumaş üzerine gelen gerginlik teması üç farklı yoldan meydana gelir. Bunlardan birincisi kumaş tensörünün vidalarının sıkılmasıyla boyuna ve/veya enine elde edilen gerginliktir. İkincisi kalıbın

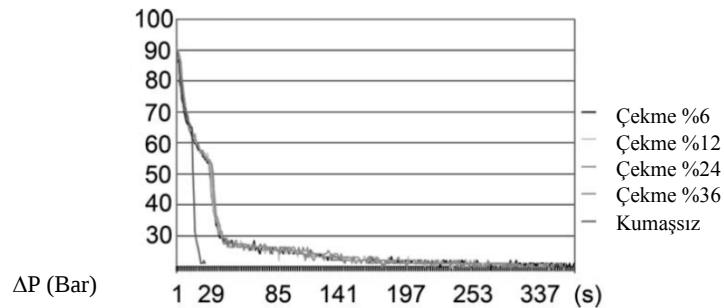
kapanmasıyla alıştırma yüzeyleri arasında sıkışan kumaşın kalıplamaya yönünde gerilmesidir. Üçüncüsü ise enjeksiyon başladıktan sonra kumaş yapının kavite boşluğuna yapışmasından dolayı oluşan gerginliktir [9].

İkinci gerilme yöntemi Martinez ve ark. (2011) [9] yaptığı çalışmada önemsizdir. Çünkü spiral kalıbın çelikleri üzerinde spiral şekillerinden dolayı çıkıntı oluşmamaktadır. Bu yüzden ikincil gerilme türü dikkate alınmamıştır. Kumaş çerçevesinden dolayı kaynaklanan ilk zorlanma çeşidi Tablo 3.10'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3.10. Kumaş tensör vidası dönüşleri nedeniyle tekstil deformasyonu [9]

Dönme Sayısı	Uzama	% çekme
5	7,5	3
10	15	6
20	30	11
30	45	17
40	60	22

Çalışmada güvenilirlik amaçlı kumaş gerginliğinin reolojik değerlerde kavite içerisinde oluşan basınç düşüşüne etkisi de araştırılmıştır. 190 °C sıcaklık, makine en yüksek enjeksiyonunun %25 i değerinde, 30 bar basınçta ve kumaş gerginliğini artırarak % 6 deformasyondan %36 ya kadar tekstil üzerine polimer enjekte edilmiştir. Sensörlerde oluşan değerler okunmuş ve elde edilen grafiklerde eğrilerin çakıştığı, kumaş gerginliğinin kalıp içerisindeki basınç kayıplarını etkilemediği görülmüştür [9].



Şekil 3.68. Birkaç farklı uzama değerleri için basınç düşüşü [9]

Viskoz eğrileri birbirine yakın olan Mossa ve Candide kumaşların penetrasyonu incelendiğinde bariyer film yoğunluğu düşük olan Mossa kumaşın penetrasyona enjeksiyon noktasından uzak bir bölgede izin verdiği, Candide adlı kumaşın ise spiral kaviteye giriş bölgesinde kapı lokasyonunda izin verdiği görülmüştür. Bunun nedeni koruyucu bariyer filmi yoğun olan kumaşın polimerin geçişine izin vermemesidir. Böylelikle Candide kumaşın Mossa kumaşa göre güvenli çalışma bölgesi daha geniştir. Diğer yandan Falset kumaşın güvenli çalışma bölgesi Mossa ve Candide arasındadır. Bariyer film yoğunluğu penetrasyonu karakterize edebilmemiz için karşılaştırmalı olarak Tablo 3.11’de verilmiştir. Böylelikle enjeksiyon öncesinde bariyer yoğunluğu yüksek kumaşlar seçmemiz çevrim sonrasında kalite aşamasında sorun yaşamamızı ortadan kaldıracaktır [9].

Tablo 3.11. Candide, Mossa ve Falset kumaşların penetrasyon karşılaştırması için film yoğunluğu [9]

Kumaş	Köpük	Köpük	Bariyer Film	Bariyer Film
		Kalınlığı (mm)		Yoğunluğu (gr/m ²)
Candide	RECTICEL SF 646 D	5	TEXIDEL BPS150	150
Mossa	RECTICEL SF 646 D	5	TEXIDEL BPS150	130
Falset	RECTICEL SF 646 D	3	TEXIDEL BPS150	130

Candide ve Mossa kumaşların köpük kalınlıklarının aynı olmasından dolayı viskoz eğrileri ve kalıp içerisinde oluşturacakları basınçlar da benzerdir. Falset kumaşın diğer kumaşlara göre köpük tabakasının düşük kalınlığa sahip olması kalıp içi basınçlarda daha düşük değerlerin çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bariyer film yoğunluklarının ise basınç üzerinde etkileri yoktur. Yapılan çalışma sonucu kumaş yapının yüzde uzama, basınç ve sıcaklık değerleri kullanılarak penetrasyon değerleri elde edilmiştir. Böylelikle kumaş yapıda dekoratif yüzeye temas eden polimerin o andaki proses parametreleri okunmuştur. Falset adlı kumaşın yüzde uzama, sıcaklık ve penetrasyon bilgileri Tablo 3.12’ de verilmiştir. Tabloda (–) ile işaretli sütun ve satırların kesişimi penetrasyon olmadığını, (+) ile işaretli bölgeler ise penetrasyon olduğunu göstermektedir [9].

Tablo 3.12. Falset kumaşın penetrasyon koşulları [9]

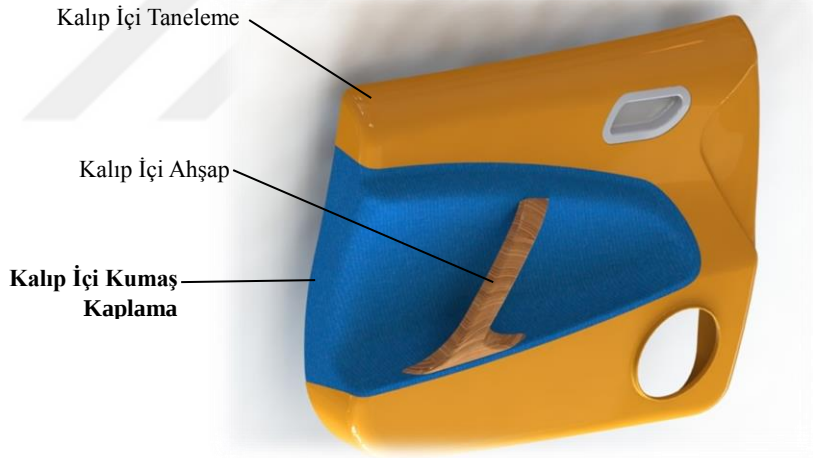
Kumaş Uzama				
Bar	0 %	12 %	24%	36%
190 °C				
30	-	-	+	+
40	-	+	+	+
50	-	+	+	+
210 °C				
30	-	-	+	+
40	-	+	+	+
50	-	+	+	+
230 °C				
30	-	+	+	+
40	-	+	+	+
50	+	+	+	+

Böylelikle bariyer tabakanın polimeri köpük tabakaya ve ardından dekoratif yüzeye ulaştırmada önemli bir etken olduğu, köpük katmanın ise enjeksiyon sırasında penetrasyonu ilişkilendirmediği sadece enjeksiyon basıncına etki ettiği gözlemlenmiştir. Kumaş gerdirme aparatının ise basınç değerlerinde bir fark yaratmadığı ortaya çıkmıştır [9].

BÖLÜM 4. TASARIM VE ANALİZ

4.1. Tasarım Çalışması ve Hesaplamalar

Bu bölümde kalıp içi kumaş kaplama alanında yoğun olarak çalışılmakta olan araç yan kapı iç panellerine yönelik bir kalıp tasarımı çalışması yapılmıştır. Tasarımı yapılacak yan kapı iç panelinin genel görünümü Şekil 3.69’da verilmiştir. Araç yan kapı iç panelleri genellikle kompleks halde kalıplanmaktadır. Kapı panelinin belirli bir kısmı farklı bir kalıp içi işlemi görürken, diğer kısımları farklı kalıp içi işlemlerine tabi olurlar.



Şekil 4.1. Tasarımı yapılacak yan kapı paneli

4.1.1. Malzeme seçimi

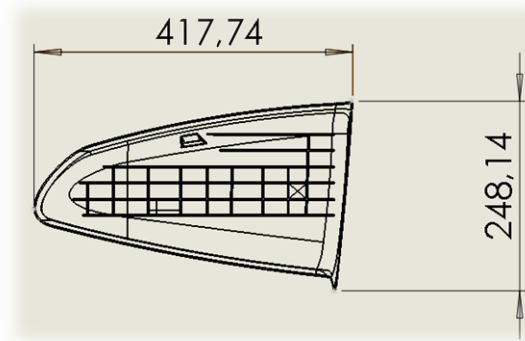
Genellikle araç yan kapı iç paneli malzemesi olarak PP seçilmiştir. Düşük basınç kalıplama teknikleriyle PP malzeme kullanarak tek bir işlemde kapı paneli üretilir [25]. Ayrıca PP malzemenin düşük ısı direnci, düşük eriyik sıcaklığı noktası, kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesi, düşük maliyeti ve düşük yoğunluğu kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sisteminde kumaş yapının gerektirdiği

özellikleri sağlamaktadır. Kumaş yapının dekoratif malzemesine zarar vermemesi için PP malzemenin çalışma sıcaklık aralıklarının en düşüğü olan 210 °C seçilmiştir.

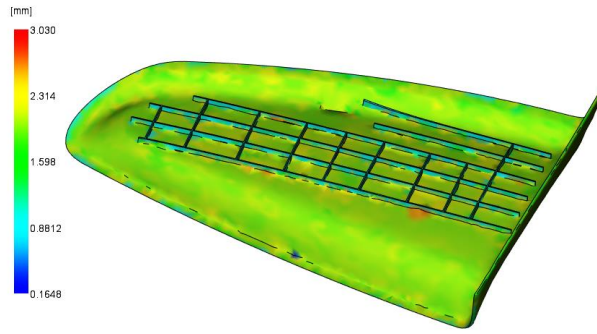
4.1.2. Nozül sayısı

Bu çalışmada tasarımı yapılan kalıbın erkek ve dişi plakaları geleneksel enjeksiyon kalıplarıyla farklılık göstermektedir. Çünkü kumaş yapı olarak istediğimiz parçanın dekoratif yüzüne ters taraftan sıcak yolluk sistemiyle enjeksiyon yapılması gerekmektedir. Bu yüzden parçamızın akış yoluna en uygun noktalarını belirlememiz gerekir.

Parçamızın tasarımında sıcak yolluk sistemi kullanmak basınç kayıplarını, malzeme ve enerji sarfiyatını, çevrim süresini azaltmasıyla birlikte, malzeme kavite içerisinde dolarken karşılaşılan ön akış formlarının birleşmesiyle oluşan soğuk birleşme izi olarak adlandırılan mukavemet azaltıcı etkiyi de azaltmaktadır. Parça geometrisine bağlı olarak akışın aldığı yolun uzunluğu ve kullanılan polimerik malzemenin özellikleri kaç adet kapı girişinin kullanılacağı konusunda bize yardımcı olur. Parçamızın geometrik özellikleri Şekil 3.70 ve 3.71’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Parça Ölçüleri(mm)



Şekil 4.3. Parçanın nominal duvar kalınlığı

Parça et kalınlığı 2 mm olduğundan, parça kalınlığını temsil eden renk yeşil-sarı arasında ortaya çıkmıştır.

Parçamızın ölçülerine göre eriyik girişinden itibaren katedilecek maksimum mesafe 417,74 mm dir. Seçilen polimerik malzeme Sabic PP PHC31-81’dir. İki parametreye bağlı olarak kullanacağımız kapı girişi sayısını standartlaştırılmış tablodan elde edebiliriz.

Malzeme	Akış Genişliğinin et kalınlığına oranı	Malzeme	Akış Genişliğinin et kalınlığına oranı
ABS	100–200	PET	200–350
ASA	180–230	PMMA	110–170
HDPE	200–270	POM	100–250
HIPS	250–340	PP	230–340 ←
LDPE	200–300	PPO	100–200
LLDPE	180–250	PPS	120–185
PA6	160–300	PS	150–200
PA66	180–300	PSU	60–120
PBT	140–220	SAN	170–200
PC	30–110		

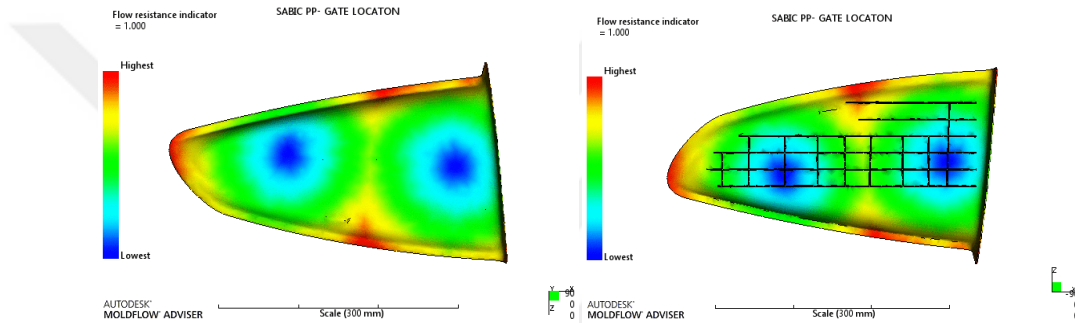
Şekil 4.4. Plastik eriyiklerin maksimum akış genişliklerinin et kalınlığına oranı [26]

Eriyiğin dolum esnasında aldığı mesafe L (mm) ve kalıplanacak olan parçamızın et kalınlığı t (mm) dir. Eriyik akış yolu uzunluğu ve parça et kalınlığına bağlı olarak elde edeceğimiz yaklaşık oran $\frac{L}{t} = \frac{417,74}{2} = 208,87$ dir. Kullanacağımız malzeme PP olduğuna göre tablodaki değerlerle tek akış kapısı yeterli olacaktır. Ancak dolum güvenilirliği ve basınç kayıplarını önlemek amacıyla ve kumaş üzerinde akış

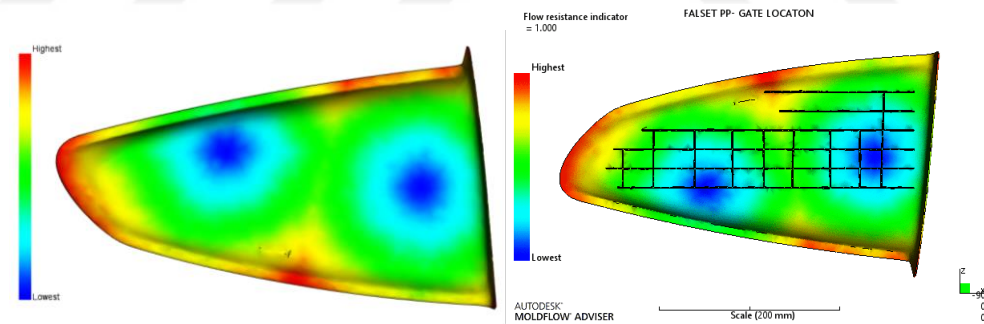
hareketleri esnasında viskozite artışından dolayı iki tane sıcak yolluk nozülü kullanarak akış yolunun kısaltılması yaklaşımı benimsenmiştir.

4.1.3. Eriyik girişi için uygun bölge

Akış analizi yapılırken Martinez ve ark. (2013) [3] 'nın yaptığı çalışmadaki Falset adlı kumaş üzerine enjekte edilen PP malzemenin reolojik değerleri esas alınmıştır. İkinci dereceden denklem sabitleri Moldflow üzerinde malzeme kütüphanesine eklenerek en uygun sıcak yolluk çapı bölgesi bulunmuştur.



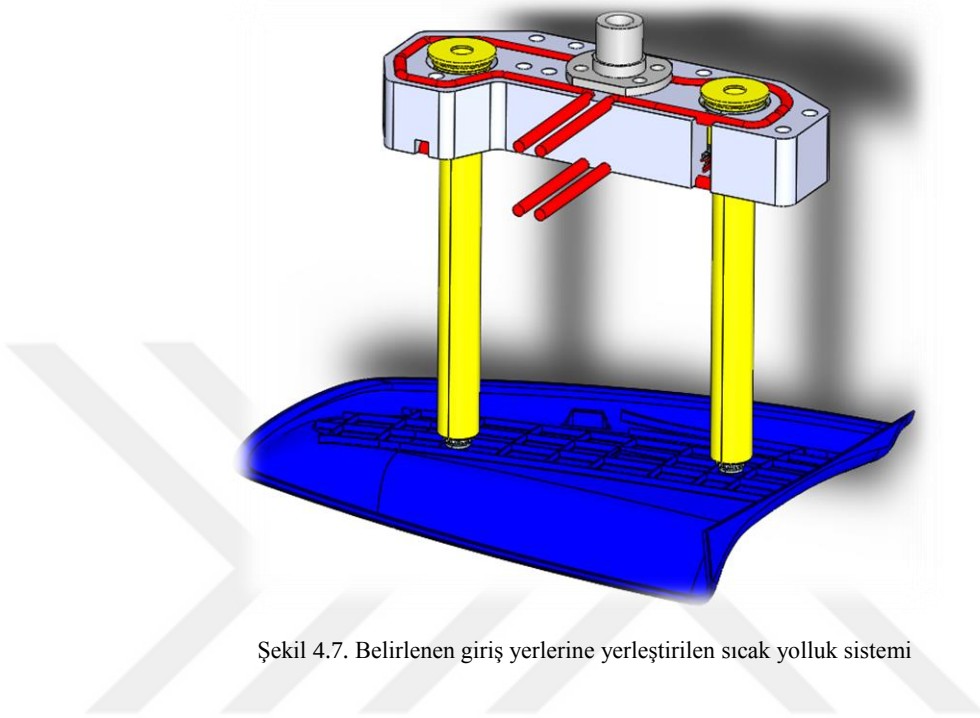
Şekil 4.5. Geleneksel enjeksiyon kalıplama için en uygun giriş yerleri



Şekil 4.6. Geri enjeksiyon sistemiyle kalıplama için en uygun giriş yerleri

Geleneksel enjeksiyon kalıplama ve geri enjeksiyon kalıplama için en iyi giriş yerleri karşılaştırıldığında seçilen iki sıcak yolluk için Falset adlı kumaşın analizinde parçanın sol tarafındaki giriş yeri reolojik davranışların değişmesi nedeniyle farklı çıkmıştır.

Parçamızın akış direncine karşı en uygun noktaları mavi renk temsil etmektedir. Bu yüzden Falset adlı kumaşa uygulanan ikinci akış analizinde mavi renk bölgelerinden sıcak yolluk nozüllerimizin akışa başlaması en uygun olacaktır.



Şekil 4.7. Belirlenen giriş yerlerine yerleştirilen sıcak yolluk sistemi

4.1.3.1. Nozül çapının belirlenmesi

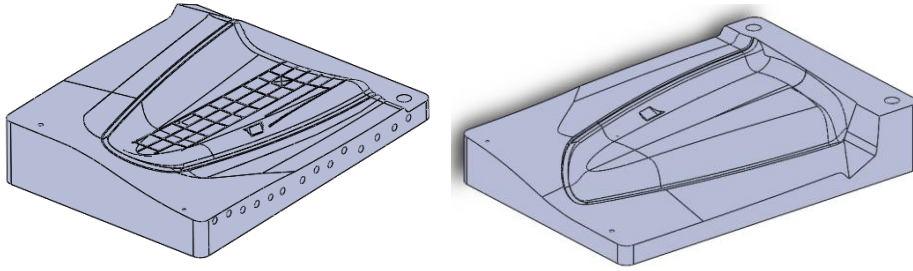
İki sıcak yolluk nozülü kullanımı kararı verildikten sonra nozül kapılarının boyutları belirlenmelidir. Patlama çapı olarak adlandırılan bu çap nozülün parçaya temas ettiği noktayı göstermektedir. Bu seçim ise parçanın gramajıyla ve kullanılan eriyik malzemesine bağlı olarak değişmektedir.

Akış analizi sonucunda parça kütle 157,41 g olarak belirlenmiştir. Kullanılan eriyik malzemesi polipropilen ve iki adet sıcak yolluk nozülü seçilmiştir. Buna bağlı olarak sıcak yolluk nozülü başına düşen parça gramajı $\frac{\text{Total parça ağırlığı}}{\text{Nozül sayısı}} = \frac{157,412}{2} = 78,71$ g dır. Şekil 4.8'deki yeşil grafik PP malzemeyi temsil etmektedir. Parça gramajı ile PP grafiği kesiştiği noktada sıcak yolluk patlama çapı Ø1,9 mm dir.



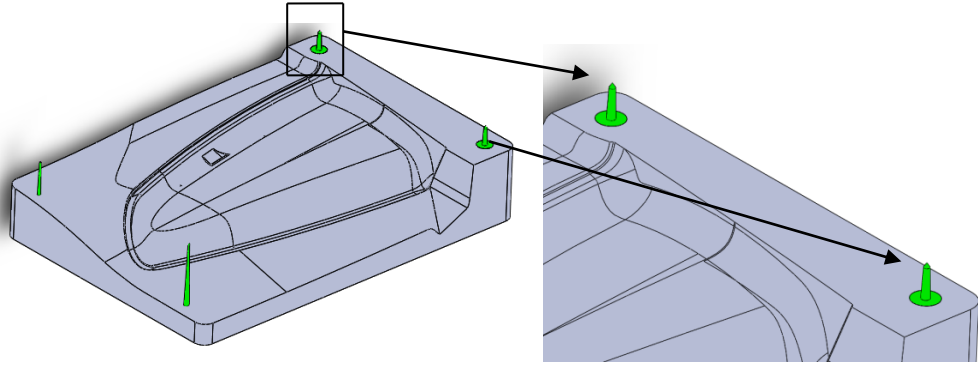
Şekil 4.8. Parça gramajı ve sıcak yolluk patlama çapı arasındaki bağıntı grafiği [27]

Sıcak yolluk sistemi valve gate sistemi kabulü ile tasarlanmıştır. Nozüllerin içerisindeki ince mil sayesinde hidrolik veya servo olarak nozüllerin akış esnasında kapıları açılır veya kapatılır.

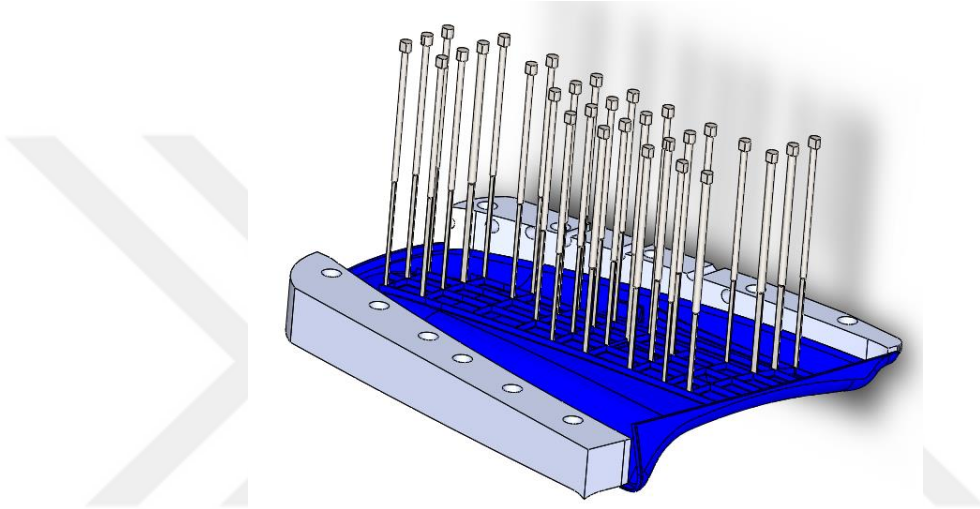


Şekil 4.9. Erkek çelik (solda), dişi çelik (sağda)

Kalıp çeliklerimizin boyutları 346.5 mm boyutlarında olup dekoratif kumaş çevrim sırasında dişi çelik klipslerine sabitlenecektir. Klipslere yerleştirilen kumaş, klipsler yardımıyla hem kalıp duvarları arasından düşmeyi engelleyecek hem de enjekte başladığında kalıp boşluğunda oluşan basınç nedeniyle kumaşın gerdirilmesine kolaylık sağlayacaktır. Kumaşın gerdirilmesi penetrasyon için önem arz etmektedir.



Şekil 4.10. Kumaş yapının sabitlendiği klipsler

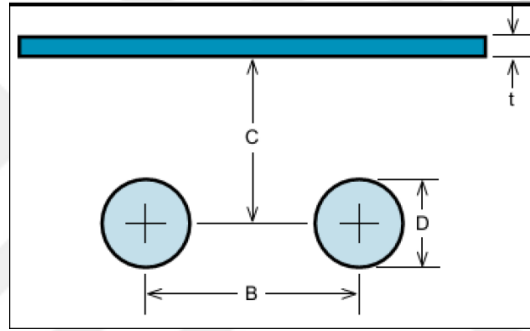


Şekil 4.11. Parçanın Lama ve bar iticileri

Parçanın enjeksiyon sonrasında itici sistemi hidrolik ünite ile sağlandığından dolayı sıyrıcı plaka ile aynı görevi yapan bar itici sistemi uygulanmıştır. Böylelikle parçanın ince cidarlarından sağ ve sol olmak üzere uniform olarak çıkması sağlanacak olup lokma olarak tasarlanması imalat açısından kalıp çatlamlarına karşı kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca hidrolik silindirin sıyrıcı plaka ağırlığını itmesi yerine sadece lokma yapıyı ilerletmesi istenecektir. Böylelikle hidrolik sistemden bekleyeceğimiz basınç değeri daha az bir seviyeye inecektir. Lama iticilerin profili ise üründeki feder genişlikleri kadar tasarlanmış olup üründe itici izi bırakmamak amacıyla feder bulunan yerlere soğutma sistemiyle çakışmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

4.1.3.2. Soğutma sistemi

Soğutma sistemi tasarımı ürün ve soğutma kanalı arasındaki mesafe, soğutma kanallarının kendi aralarındaki mesafe göz önüne alınarak tasarlanmaktadır. Genellikle parçanın et kalınlığına bağlı olarak kullanılan soğutma kanallarının çapları belirlenir. Kanal çapı belirlendikten sonra parça ile kanal merkezi arasındaki ve kanalların birbiri arasındaki mesafeler elde edilir. Bu şablonda tasarım yapılması ürün üzerindeki en ideal soğutma çevrimini elde etmemizi sağlayacaktır. Kalıp yapısı hamilli bir şekilde ise çelikler üzerinde tıkaçlar bulunur ve akışa yön vermek isteniyorsa soğutma kanalları arasına kör tapalar yerleştirilir.



Şekil 4.12. Ürün ve soğutma kanalları arasındaki mesafeler [28]

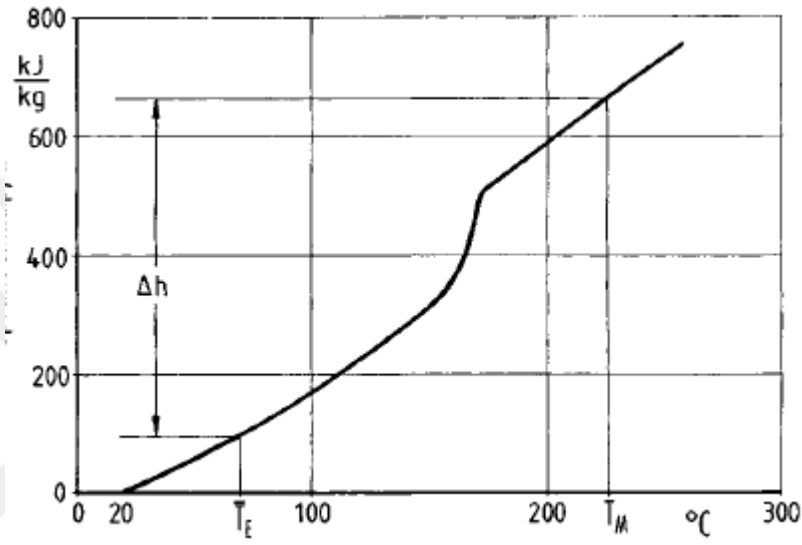
$D = 5 - 8 \text{ mm}$ için $t \leq 1,6 \text{ mm}$

$D = 8 - 11 \text{ mm}$ için $t \leq 3,2 \text{ mm}$

$D = 11 - 16 \text{ mm}$ için $t \leq 6,4 \text{ mm}$ olup t ürün et kalınlığını, D soğutma kanal çapını, B soğutma kanalları arasındaki mesafeyi ve C soğutma kanalı ile parça arasındaki mesafeyi temsil etmektedir [28]. Yaptığımız tasarımda ürün et kalınlığımız 2 mm olduğu için soğutma kanalı olarak $\varnothing 10 \text{ mm}$ seçtik. Soğutma kanalı çapımızı soğutma çevrimi içerisindeki ısı yükü hesaplarıyla doğruladık.

Q	Toplam ısı yükü (kCal/h)
Q_1	Doğal soğutmayla atılan ısı (kCal/h)
Q_2	Cebri soğutmayla atılan ısı (kCal/h)
$Gü$	Toplam ürün kütlesi (157,412 gr)
T_1	Çalışma sıcaklığı (210 °C)

T_2	Parçanın kalıptan çıkış sıcaklığı (65 °C)
T_k	Kalıp sıcaklığı (55 °C)
T_0	Ortam sıcaklığı (20 °C)
S	Kalıp yüzey alanı (m ²)
Δq	Entalpi farkı (kCal/kg)
n	Saatteki baskı adedi



Şekil 4.13. Polipropilen için Entalpi Değerleri [29]

4.1.3.3. Çevrim süresi

Akış analizi değerleri sonucu parçanın dolum zamanı 2,23 saniyedir. Ütölleme süresi olarak 10 saniye ve kalıp açılma süresi 5 saniye değerleri elde edilmiştir. Soğutma için gerekli süre (4.1) numaralı denklem [30] kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$t_s = \frac{h^2}{\alpha \pi^2} \ln \left(\frac{T_1 - T_k}{T_2 - T_k} \frac{4}{\pi} \right) \quad (4.1)$$

$$t_s = \frac{(2.10^{-3})^2}{8.15.10^{-8}.\pi^2} \ln \left(\frac{4}{\pi} \frac{210-55}{65-55} \right) = 14,8 \text{ s}$$

Bu denklemde t_s soğutma süresini(s), h parça et kalınlığını (mm), α termal yayınma katsayısını (m²/s), T_1 enjeksiyon esnasında eriyik malzemenin sıcaklığını, T_k kalıp

sıcaklığını, T_2 kalıp tasarımı yapılan parçanın soğutma fazı bittikten sonraki kalıptan çıkış sıcaklığını ifade etmektedir.

Enjeksiyon sonrası basınçta bekletme olarak adlandırdığımız ütüleme süresi soğutma süresinin içerisinde. Çünkü kalıplanacak parçanın ütülenmesi esnasında parça soğumaya devam etmektedir. Parçanın soğutma süresi belirlendikten sonra çevrim süresi (4.2) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$t_{\text{ç}} = t_d + t_s + t_{a/k} \quad (4.2)$$

$$t_{\text{ç}} = 2,23 + 14,81 + 5 = 22 \text{ s}$$

4.1.3.4. Isı yükü hesabı

Şekil 3.81 değerlerinden elde edilen verilere göre

$$T_1 = 210^\circ\text{C} \text{ için } q_1 = 600 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 65^\circ\text{C} \text{ için } q_2 = 50 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta q = (600 - 50) \cdot 0,239 = 131,45 \text{ kCal/kg}$$

Bir saatte enjeksiyon makinesinden elde edilen baskı sayısı (4.3) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir. n baskı sayısını, $t_{\text{ç}}$ ise çevrim süresini belirtmektedir.

$$n = h/t_{\text{ç}} \quad (4.3)$$

$$n = h/t_{\text{ç}} = \frac{3600}{22} = 164 \text{ baskı/h}$$

Soğutma için gerekli ısı yükü (4.4) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir. Q atılan ısı yükünü, $G_{\text{ü}}$ ürün kütlesini, Δq entalpi farkını ve n baskı sayısını ifade etmektedir.

$$Q = G_{\text{ü}} \cdot \Delta q \cdot n \quad (4.4)$$

$$Q = 157,41 \cdot 10^{-3} \cdot 131,45 \cdot 164 = 3393,5 \text{ kCal/h}$$

Cebri soğutmayla atılan ısı (4.5) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir. Q_1 doğal soğutmayla atılan ısıyı Q_2 ise cebri soğutmayla atılan ısıyı ifade etmektedir.

$$Q = \text{Doğal soğutma} + \text{Cebri Soğutma} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_2 = 0,85 \cdot Q = 0,85 \cdot 3393,5 = 2885 \text{ kCal/h} \quad (4.5)$$

4.1.3.5. Soğutma kanalı çapı

Q_2 Cebri soğutmayla atılması gereken ısı (2885 kCal/h)

d_k Soğutma kanalı çapı

v_{su} Su hızı (0,9 m/s)

ρ_{su} Suyun yoğunluğu (1000 kg/m³)

C_p Suyun özgül ısısı (1 kCal/kg °C)

T_g Su giriş sıcaklığı (10 °C)

T_{ϕ} Su çıkış sıcaklığı (25 °C)

Soğutma kanalı çapı (4.6) numaralı denklem [29] kullanılarak hesaplanabilir.

$$\frac{Q_2}{3600} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \cdot v_{su} \cdot \rho_{su} \cdot C_{su} \cdot (T_{\phi} - T_g) \quad (4.6)$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 2885}{3600 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 0,9 \cdot (25 - 10)}} = 8,7 \text{ mm dir.}$$

Soğutma kanalı çapının min. 8,7 mm olması gerekmektedir. Bu değer, daha önce seçtiğimiz $d_k=10$ mm değerinin uygun olduğunu göstermektedir.

4.1.3.6. Akış rejimi

Kalıp içerisinde etkili ısı transferi yaratmak için soğutma kanallarında akış hareketlerinin türbülanslı olması gerekir. Kavite içerisinde eriyik malzemenin hareketinin laminar davranış göstermesini isteriz. Buradan yapmamız gereken çıkarım; enjeksiyon süresi boyunca malzemenin laminar davranış sergilemesi ve soğutma esnasında soğutma kanalının türbülanslı akış sergilemesi gerektiğidir.

Re Reynold sayısı

v Su hızı (0,9 m/s)

v_{su} Suyun Kinematik Viskozitesi (0,8.10⁻⁶ m²/s)

Reynolds sayısı (4.7) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$Re = \frac{d_k \cdot v}{\nu_{su}} \quad (4.7)$$

$$Re = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 11250 > 4000$$

sonucu türbülanslı akış rejimini sağlamaktadır.

4.1.3.7. Soğutma kanalı boyu

T_{knl} Kanalın iç çeper sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{su-ort} Soğutma suyu ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$)

L Soğutma kanalı boyu (mm)

Q_2 Cebri sğutmayla atılan ısı (kCal/h)

Q_{su} Su debisi (m^3/h)

T_{knl} ve T_{su-ort} sıcaklıkları (4.8) ve (4.9) numaralı denklemler kullanılarak hesaplanabilir

$$T_{knl} = T_{\zeta} - 5 \quad (4.8)$$

$$T_{su-ort} = \frac{T_g + T_{\zeta}}{2} \quad (4.9)$$

$$T_{su-ort} = \frac{10 + 25}{2} = 17,5 \text{ } ^{\circ}C \text{ ortalama soğutma suyu sıcaklığıdır.}$$

$$T_{knl} = 25 - 5 = 20 \text{ } ^{\circ}C \text{ kanalın iç çeper sıcaklığıdır.}$$

Q_{su} su debisi (4.10) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_{su} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \cdot v_{su} \cdot 3600 \quad (4.10)$$

$$Q_{su} = \frac{\pi \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 0,9 \cdot 3600 = 0,254 \text{ } m^3/h \text{ su debisidir.}$$

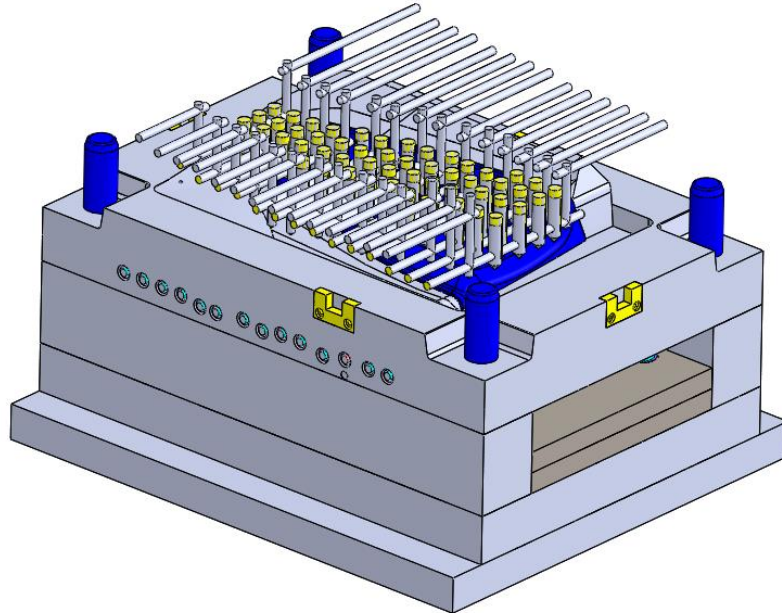
Soğutma kanalı boyu (4.11) numaralı denklem [31] kullanılarak hesaplanabilir.

$$L = \frac{Q_2 \cdot d_k}{3,53 \cdot Q_{su} \cdot (1 + 0,015 \cdot T_{su-ort}) \cdot (T_{knl} - T_{su-ort})} \quad (4.11)$$

$$L = \frac{2622,25 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{3,53 \cdot 0,254 \cdot (1 + (0,015 \cdot 17,5)) \cdot (20 - 17,5)} = 9,26 \text{ m}$$

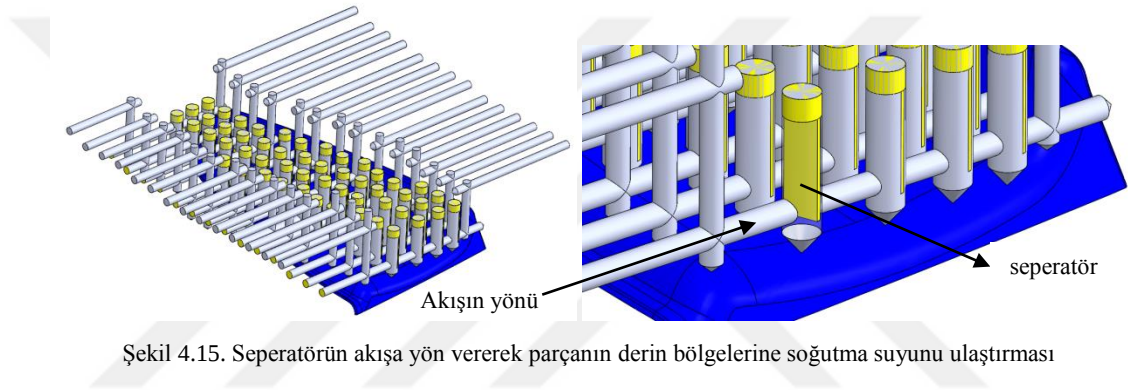
Dişi kalıp soğutma mesafesi 10,7 m olup min. gerekli kanal boyundan yaklaşık 1,5 metre daha uzun tasarlanmıştır. Bunun sebebi kumaş yerleştirilen tarafta ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünü kompanse etmek, kalıp çelikleri tıkamaları ve imalat işlemleri için kolaylık sağlayabilecek tasarım elde etmektir. Ayrıca kalıp hamilli olarak tasarlandığı için çeliklerin alt ve üst yüzeylerinden yapılan soğutma giriş uzunlukları aradaki mesafeyi artırmaktadır.

Erkek çelik tarafındaki soğutma boyu mesafesi ise 9,94 metredir. Burada da kalıp çeliklerinin işlenmesi ve soğutma suyuna yön verebilmek adına ve kalıp çeliklerinin tıkama işlemleri için yaklaşık olarak 0,68 metre kadar uzun tasarlanmıştır. Hem dişi hem erkek çelik tarafı için soğutma kanalı boyları gerekli minimum soğutma mesafemizden büyüktür. Bu hesaplamalara uygun olarak çizilen soğutma sistemi şemaları Şekil 3.82 ve 3.84'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Kumaş tarafına denk gelen dişi taraf soğutma sistemi tasarımı

Dişi tarafa seperatör yardımıyla daha etkin soğutma yapma gereği duyulur. Aslında kumaş yapının yerleştirildiği tarafa soğutma sisteminin daha etkin tasarlanması gerekir. Kumaş yapının katman kalınlığından dolayı dişi çelik deseni denilen ürünün alıştırmaya yüzeylerine değdiği noktalarda ısı hapsolür ve bundan dolayı ısı transferi gerçekleşmez. Literatürdeki çalışma 0,05 mm kalınlığında termoform filmlerin bile ortalama 3-4 °C kadar fark yarattığını göstermektedir [8]. Dolayısıyla, 3 mm köpük tabakaya sahip Falset adlı kumaş yapımız için asimetrik soğutma sistemi tasarımı gerekmektedir. Bu amaçla hapsolan ısıyı uzaklaştırmak için soğutma sistemi daha yoğun olarak kurgulanmıştır.



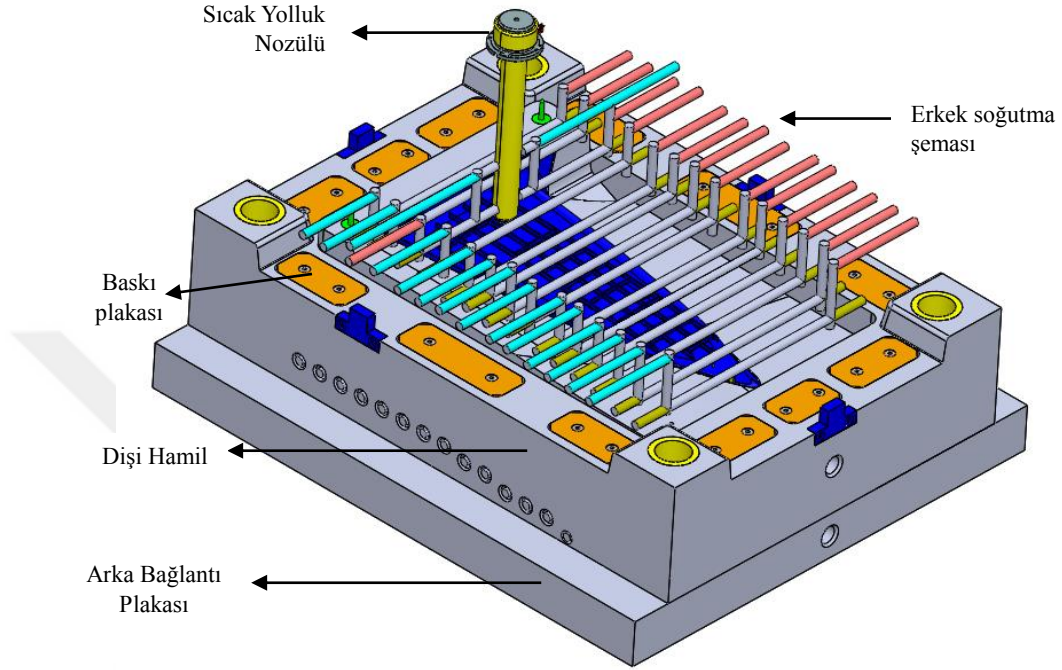
Şekil 4.15. Seperatörün akışa yön vererek parçanın derin bölgelerine soğutma suyunu ulaştırması

Kalıbın erkek tarafı yani sabit kalıp yarımında ise düz kanallarla soğutma sistemi hazırlanmıştır. Bu kısımda kumaş yapının en alt katmanında olan bariyer tabaka eriyik malzemeyeyle direkt temas halinde bulunduğu için ısı transferi problemi yaşanmaz. Parçanın feder noktaları referans alınarak soğutma kanalları ile ürün arasındaki mesafe ve kanallar arası mesafe standartlara uygun olarak tasarlanmıştır.

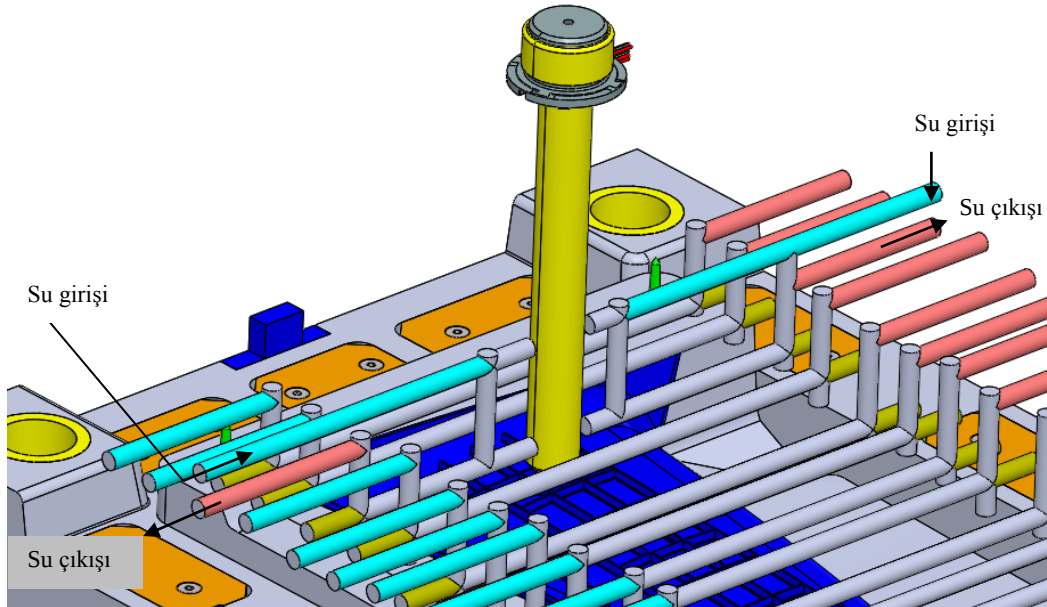
Erkek soğutma şemasındaki turkuaz renkli hatlar su girişlerini, pembe renkli hatlar ise su çıkışlarını göstermektedir. Çeliğin kumaş klipslerine yakın taraftaki altlı ve üstlü karşılıklı yüzlere denk gelen turkuaz ve pembe hatlar ise o bölgeye denk gelen sıcak yolluk nozülü nedeniyle aynı tarafta olan giriş ve çıkışları göstermektedir.

Ters enjeksiyon (geri enjeksiyon) sisteminde itici ünitesi makine ekstrüderi ile aynı tarafta olduğu için mengene strok hareketini hidrolik pistonlarla gerçekleştirir. Hidrolik sistemin hareketi itici plakası, geri döndürücü plaka, itici pimleri,

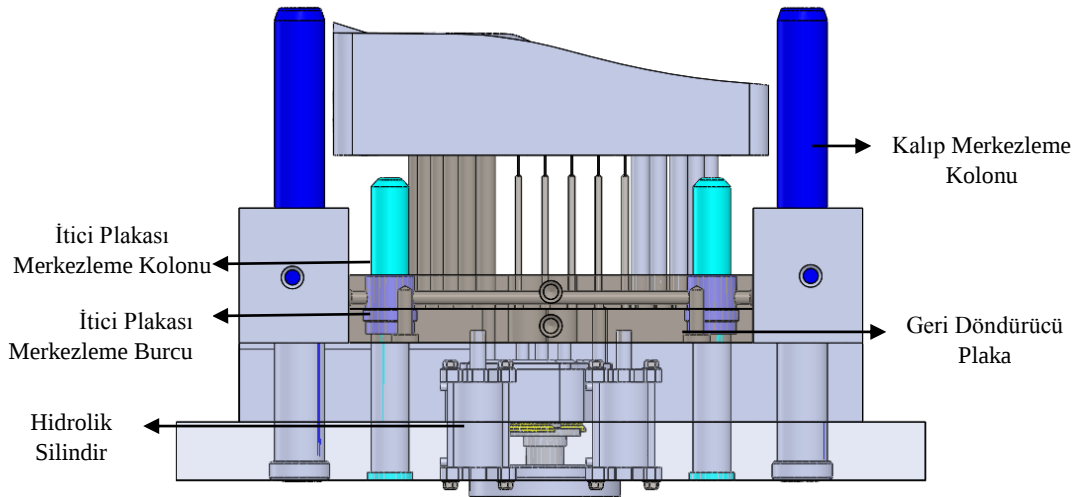
merkezeleme kolonları ve burcunu hareket ettirecek güce sahip olmalıdır. Hidrolik pistonun mili geri döndürücü plakaya diş çekilerek sabitlenir. Aynı zamanda itici plakasının stroku hidrolik pistonun strokuyla eşit olmalıdır.



Şekil 4.16. Dişi taraf ve erkek soğutma sistemi



Şekil 4.17. Soğutma suyu girişi ve çıkışı



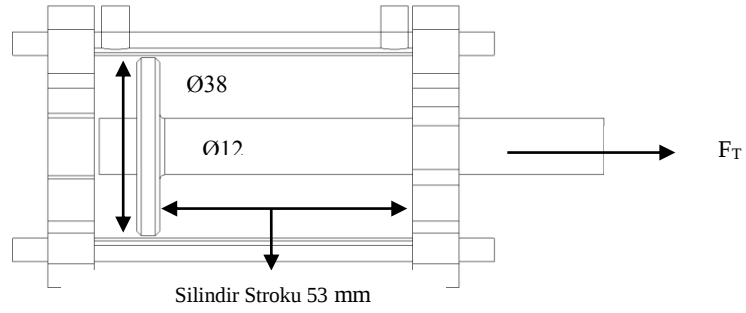
Şekil 4.18. Hidrolik silindir milinin geri döndürücü plakaya sabitlenmesi

4.1.3.8. Hidrolik silindir hesabı

Hidrolik silindirin itme kuvveti, itici sistemindeki tüm elemanların ataletini, sürtünme kuvvetlerini ve parçanın kalıptan çıkarılması için gerekli kuvveti karşılayacak değerde olmalıdır.

- Bar itici blokları ağırlıkları toplamı 5,9 kg (1.2311 malzeme ayna parlaklığı arandığı için seçilmiştir)
- Bar itici pimleri toplam ağırlığı 2,5 kg (C35 1.0501 malzeme ısıtıl işlem uygulanabilir orta karbonlu çelik-mil imalatında yaygın kullanılır.)
- Silindirik lama iticilerin toplam ağırlığı 504,81 g (1.6569 özel alaşımlı çelik malzeme seçilmiştir.)
- Plaka ağırlıkları toplamı 180 kg (AISI 1020 yüksek işlenebilirlik amacıyla seçilmiştir.)
- Merkezleme burçlarının toplam ağırlıkları 800 g (1.7131 malzeme-katalog bilgisi)
- İtici sistemindeki plaka ve parçaların ağırlıkları toplamı 188,7 kg'dır.

Tasarımda itici plakalarının strok hareketinin kasıtsız bir şekilde gerçekleştirilmesi için 4 adet hidrolik silindir kullanma kararı verilmiştir. Böylelikle hidrolik silindir gücü bu oranda azalacaktır.



Şekil 4.19. Tasarımı yapılan hidrolik silindirin ölçüleri ve gerekli kuvveti

Silindir çapı Ø38 mm

Rod çapı Ø12 mm

A_c çekme kuvveti etkisindeki alan (m^2)

b Parçanın, kalıp çeliğine gömülü olan kısmının genişliği (0,062 m)

F_T İtici silindirin uygulaması gereken kuvvet kuvvet (N)

F_1 Parça-Kalıp arası sürtünme direnci

F_2 İvmelenme Direnci

F_3 Pim-Kalıp Arası Sürtünme Direnci

P Kalıp açıldığı sırada, parça-kalıp duvarı arasındaki etkili olan yüzey basıncı ($0,5 \cdot 10^6$ Pa)

α İvme ($0,05$ m/s²)

L Parçanın çevre uzunluğu (1,33 m)

μ_1 Parça-kalıp duvarı arasındaki sürtünme katsayı (0,1)

μ_2 İtici pimler-Kalıp duvarı arasındaki sürtünme katsayısı (0,15)

m_i İtici sistemindeki hareketli tüm elemanların toplam kütlesi (189,7 kg)

İtici silindirinin uygulaması gereken kuvvet (4.12) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_T = 2 \cdot b \cdot L \cdot P \cdot \mu_1 + m \cdot a + m \cdot g \cdot \mu_2 \quad (4.12)$$

(4.12) numaralı denklemin kuvvet değeri itici sisteminin hareket etmesini sağlayacak kuvvete eşit olmalıdır. İtici sisteminin hareketini sağlayacak kuvvet F_T (4.13) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4.13)$$

$$F_T = 2.62 \cdot 10^{-3} \cdot 1.33 \cdot 0.5 \cdot 10^6 \cdot 0.1 + 189.7 \cdot 0.05 \cdot 189.7 \cdot 9.81 \cdot 0.15 = 8535 \text{ N}$$

Yukarıda hesaplanan itici sistemini ilerletecek olan kuvvet değeri, hidrolik silindirin gerekli kuvvetidir. Ancak 4 adet hidrolik silindir kullanımı tercih edildiği için itici silindirinin de gerekli kuvvet değerini bu oranda düşürecektir. (4.13) numaralı denklemde elde edilen değer 4 adet hidrolik sisteme paylaştırılarak her bir silindir için gerekli basınç değeri silindir pistonun yüzey alanı ile çarpılarak hesaplanabilir.

$$\frac{8535}{4} \text{ N} = P \cdot A_i = P \cdot \pi \cdot r^2 \text{ ve silindir çapı } 38 \text{ mm olduğuna göre}$$

$$P = \frac{2133.75}{\pi \cdot (19 \cdot 10^{-3})^2} = 18,81 \text{ bar}$$

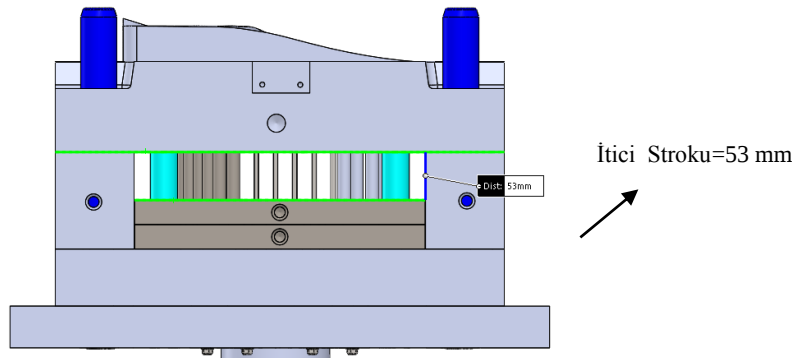
Aynı piston gücü silindirin geri hareketinde yani çeki kuvvetinde de geçerlidir. Ancak akışkanın teması bu sefer silindir ve piston mili arasında kalan alana etki edecektir. Bu yüzden formüldeki alan değeri değişmektedir. F_ϕ çeki kuvvetini (N), A_ϕ akışkanın etki ettiği alan ve P gücü göstermektedir. D silindir çapını (mm), d ise mil çapını temsil etmektedir. (d=12) Rod çapının geri hareketi boyunca etki altında kaldığı alan (4.14) numaralı denklemle hesaplanabilir.

$$A_\phi = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (4.14)$$

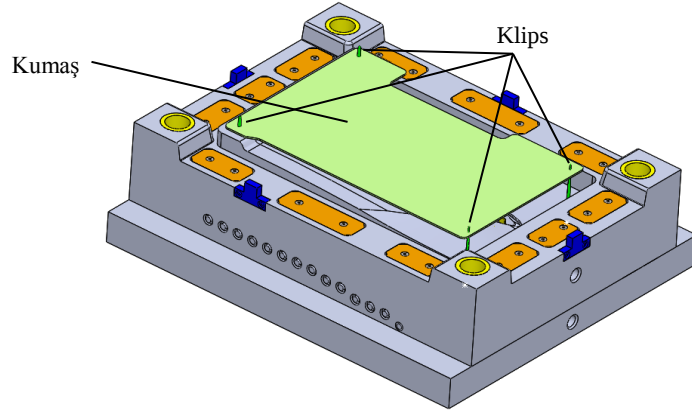
$$A_\phi = \frac{\pi}{4} ((38)^2 - (12)^2) = 1,02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_\phi = P \cdot A_\phi$$

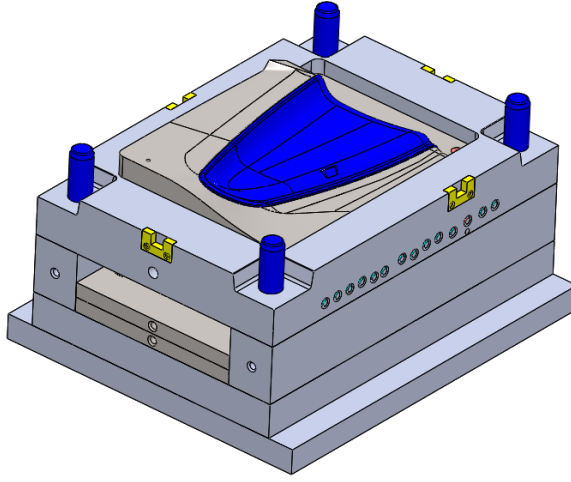
$$F_\phi = P \cdot A_\phi = 10^5 \cdot 18,81 \cdot 1,02 \cdot 10^{-3} = 1918,62 \text{ N}$$



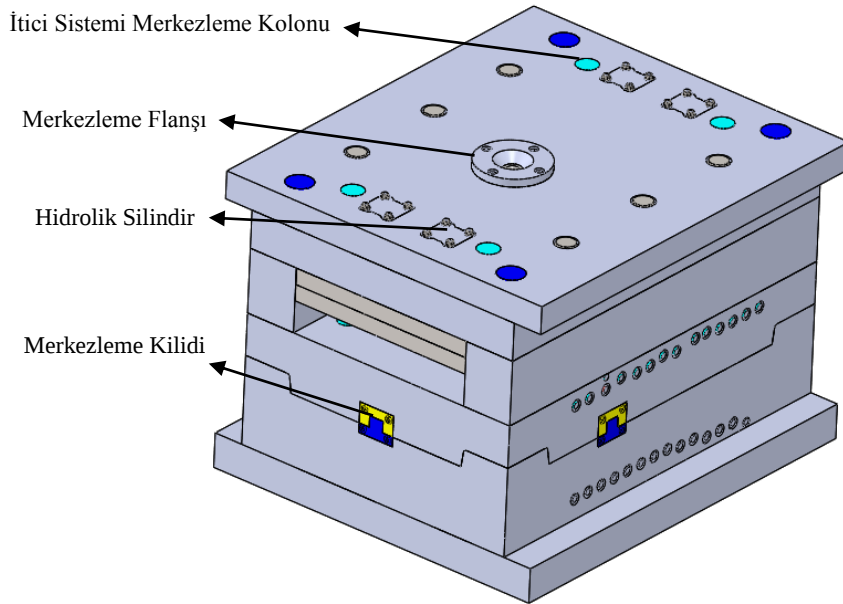
Şekil 4.20. İtici plakası ve erkek hamil arasındaki strok uzunluğu



Şekil 4.21. Kumaş yapının dışı kalıp tarafında sabitlendiği klipsler



Şekil 4.22. Kalıbın erkek tarafı



Şekil 4.23. Ters enjeksiyon kalıbının izometrik görünüşü

4.1.3.9. Makine verimi

η_m	Makine Verimi
$G_{\ddot{u}}$	Ürün Kütlesi (157,41 g)
G_{pl}	Plastisite oranı (Eritme kapasitesi) (30 kg/h)
n	Saatteki baskı adedi (164/h)

Makine verimi (4.15) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$\eta_m = \frac{G_{\ddot{u}} \cdot n}{G_{pl}} \quad (4.15)$$

$$\eta_m = \frac{157,412 \cdot 10^{-3} \cdot 164}{30} = 0,86$$

4.1.3.10. Sıcak yolluk sistemi hesabı

m	Manifold kütlesi (7,73 kg) (1.2312 malzeme seçilmiştir. 400 °C' ye kadar ısı dirence sahiptir)
c	Çeliğin özgül ısısı (0,48 kJ/kg°K)
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
t	Isıtma süresi (s)
T_0	Ortam Sıcaklığı (20 °C)
T_{ϕ}	Çalışma Sıcaklığı (210 °C)
η	verim (~0,6)
t	Manifold ısınma süresi (4 dk)

P Isıtıcı Gücü (kW) Manifoldu 4 dk'da 210 °C'ye getirmek için gerekli ısıtma gücü (4.16) numaralı denklem [32] kullanılarak hesaplanabilir.

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t \cdot \eta} \quad (4.16)$$

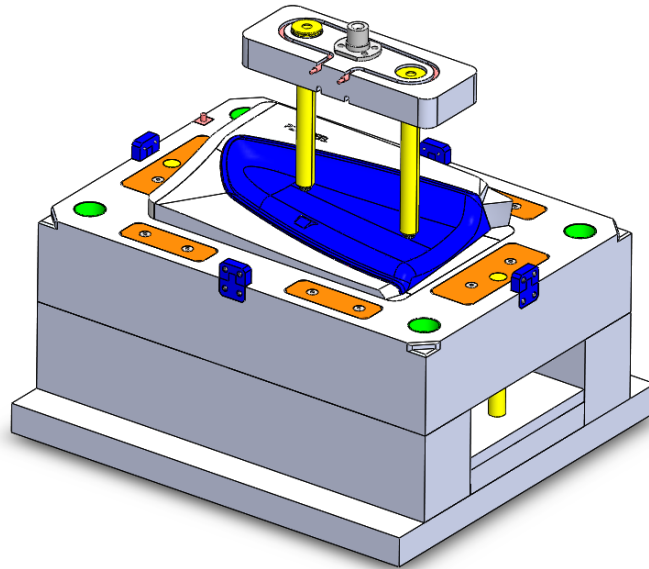
$$P = \frac{7,73 \cdot 0,48 \cdot (210 - 20)}{4 \cdot 60 \cdot 0,6} = 4,9 \text{ KW Sıcak yolluk sistemi ısıtıcı gücüdür.}$$

4.2. Akış Analizi Değerlendirmeleri ve Hesaplamaları

Akış analizini gerçekleştirmek bu tez çalışmasının ana amaçlarından biridir. Akış analizimiz geleneksel enjeksiyon ve kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. İki farklı akış analizi yapılarak geleneksel enjeksiyon kalıplama ile kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama arasında basınç düşüşleri, kalıp içi basınç farkları, çarpılma değerleri, soğuk birleşme izleri, parça dolum süreleri ve proses parametreleri açılarından karşılaştırma yapılmıştır. İlk olarak geleneksel enjeksiyon ve gerekliliklerine bağlı olarak sonuçlar irdelenecek, ardından kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon için gereklilik ve sonuçları irdelenecektir.

4.2.1. Geleneksel enjeksiyon proses parametreleri

En iyi dolum güvenilirliği için Autodesk Moldflow Adviser programının otomatik olarak belirlediği koşullar kabul edilmiştir. Geleneksel enjeksiyon kalıplamada ters enjeksiyon kalıbına göre sıcak yolluk nozüllerinin konumları dışı tarafta konumlandırılmıştır. Çünkü geleneksel enjeksiyon kalıplamada malzeme eriyik girişi itici sistemiyle zıt kalıp yarımında olması gerekir.



Şekil 4.24. Geleneksel enjeksiyon kalıp tasarımı

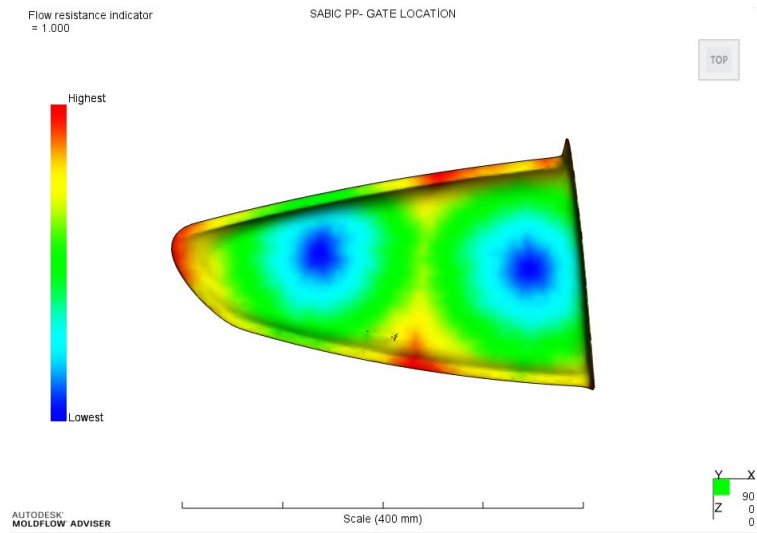
Tablo 4.1. Geleneksel enjeksiyon proses parametreleri

Eriyik malzeme	Eriyik Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Nozül Sayısı	Ütöleme Basıncı	Enjeksiyon Süresi	Maksimum Enj. Basıncı	Kalıp Açılma Süresi
Sabic PPPHC31-81	245 °C	40 °C	2	Enjeksiyon basıncının %80	Otomatik	180 MPa	5 s

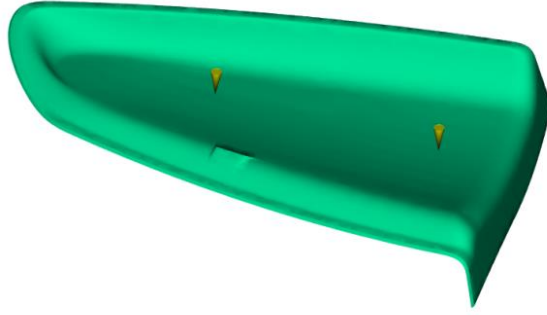
Eriyik malzeme seçiminde Martinez ve ark. (2013) yaptığı çalışmada kullanılan polimer seçilmiştir. Ters enjeksiyon kalıp akış analizinde Falset adlı kumaşın reolojik değerleri de bu çalışma üzerinden referans alınmıştır. Eriyik sıcaklığı 245 °C, kalıp sıcaklığı 40 °C, maksimum enjeksiyon basıncı 180 MPa, kalıp açılma süresi 5 s ve sıcak yolluk nozülü sayısı 2 adet olarak uygulanmıştır. Ütöleme basıncı olarak enjeksiyon basıncının %80'i, olarak seçilmiştir.

4.2.1.1. Giriş noktası

İlk olarak geleneksel enjeksiyon kalıplama için iki adet sıcak yolluk nozülüne en az direnç oluşturacak noktalar belirlenmiştir.



Şekil 4.25. Sıcak yolluk nozül memelerinin giriş yerleri

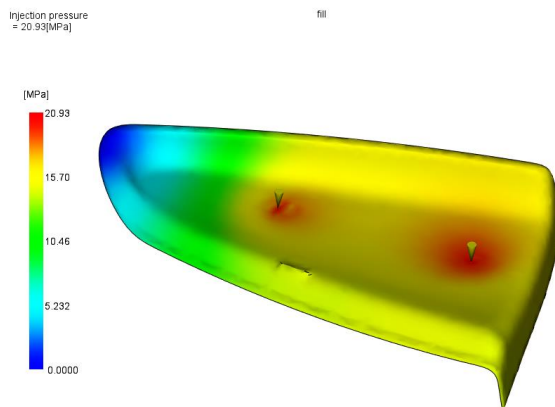


Şekil 4.26. Geleneksel enjeksiyon kalıplama için nozül giriş noktaları

En iyi giriş bölgeleri mavi renk ile temsil edilmektedir. Akış analizi için enjeksiyon noktaları olarak bu noktalar belirlenmiştir. Ardından mesh işlemleri ile analiz başlatılmıştır. Analiz sonuçları dolum, ütüleme ve çarpılma sonuçlarını içermektedir.

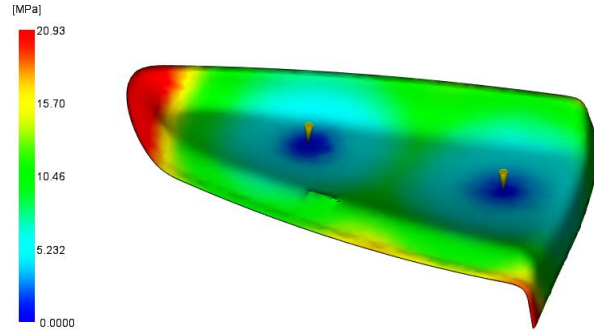
4.2.1.2. Enjeksiyon basıncı

Enjeksiyon basıncının en yüksek görüldüğü nokta kırmızı renk ile gösterilen sıcak yolluk memelerinin giriş noktasıdır. Bu noktada enjeksiyon basınç değeri 20,93 MPa'dır. Aynı zamanda bu noktalarda basınç kayıpları en düşüktür. Parça üzerinde enjeksiyon basıncının en az görüldüğü mavi bölgelerde ise basınç kayıpları en fazladır. Bu şekilden yapılması gereken en önemli çıkarım eriyik girişinin olduğu bölgelerde basınç en yüksek ancak basınç kaybı en az, enjeksiyon basıncının en düşük görüldüğü yerlerde ise basınç kaybı en fazladır. Bu çıkarımı destekleyen analiz sonucumuz aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Enjeksiyon basıncı

4.2.1.3. Basınç kayıpları

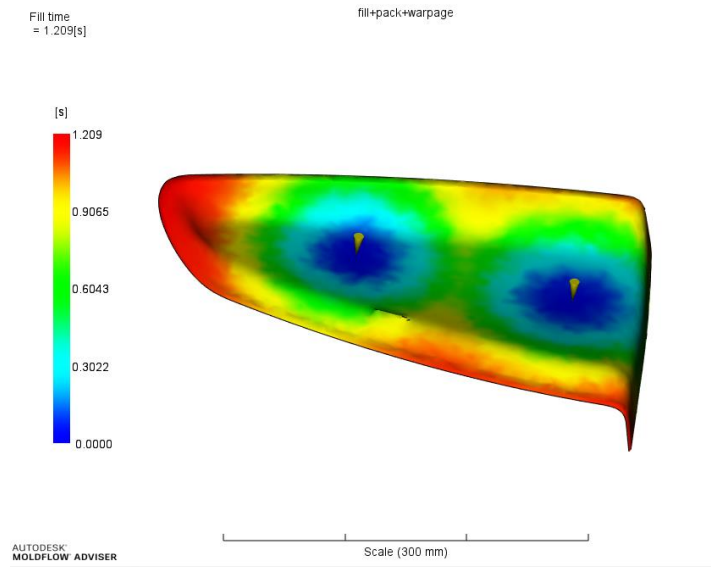


Şekil 4.28. Ürün üzerindeki basınç kayıpları

Şekil 4.28’de mavi renkle gösterilen bölgeler en az basınç kaybını, kırmızı ile gösterilen bölgeler ise en fazla basınç kaybını belirtmektedir. Parça üzerindeki maksimum basınç kaybı 20,93 MPa değerindedir. Parçamızın daralan bölgelerinde basınç kayıpları yüksektir.

4.2.1.4. Dolum süresi

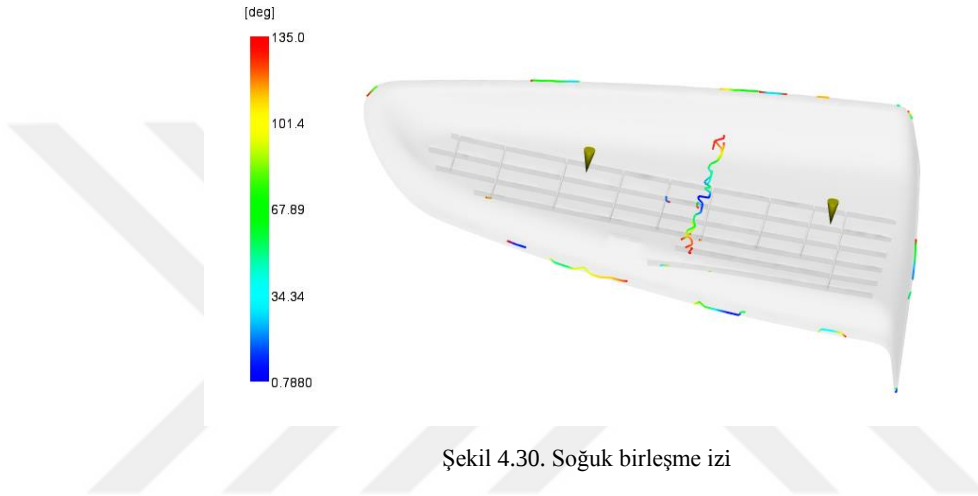
Parçamızın dolum süresi 1,209 saniyedir. Program üzerinde otomatik enjeksiyon süresi seçeneği seçili durumda iken makine enjeksiyon hızının maksimum değeri kullanılarak dolum yapılır.



Şekil 4.29. Dolum süresi

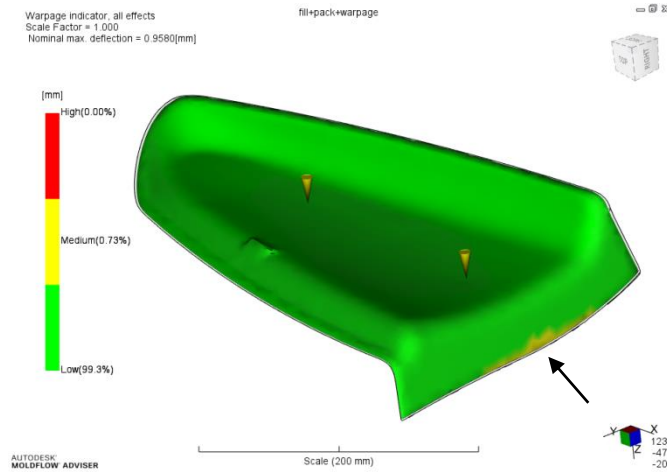
4.2.1.5. Soğuk birleşme izi

Soğuk birleşme izi parça üzerinde istenmeyen en büyük üretim hatalarından biridir. Soğuk birleşme izi iki veya daha fazla akış hattının dolum sırasında birleşmesi sonucu iz olarak oluşan ve mukavemet düşürücü etkiye sahip olan enjeksiyon sorunlarından biridir. Şekilde gösterilen yerlerde $0,78^\circ$ ile 135° arası soğuk birleşme izleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.30. Soğuk birleşme izi

4.2.1.6. Parça çarpılması



Şekil 4.31. Çarpılma

Parça üzerinde okla gösterilen sarı bölgede farklı çekme oranlarına bağlı olarak çarpılma meydana gelmektedir. Parçanın 0,958 deplasman değerinin %0,7'si kadar

çarpılma değeri ortaya çıktığı görülmektedir. Çarpılmaya etki eden faktörler arasında parça ve kalıp dizaynı, kalıp sıcaklığı, yetersiz soğuma süresi, ütüleme basıncı ve düşük enjeksiyon hızları gösterilir.

4.2.2. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon akış analizi

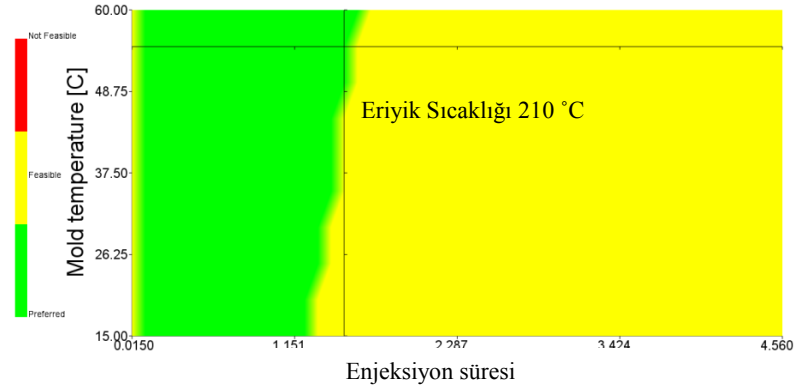
Kalıp tasarımını yaptığımız parçanın kumaş ile birlikte enjeksiyonunda akış hareketlerinin reolojik değerleri bilinmemektedir. Bu yüzden Martinez ve ark. (2013) Falset adındaki kumaş üzerine yaptıkları çalışmada elde ettikleri ikinci dereceden Moldflow sabitleri [3] kabulü yapılarak PP malzemenin akış hareketleri incelenmiştir.

Tablo 4.2 Malzeme kütüphanesine eklenen PP+Falset kumaşın ikinci dereceden denklem sabitleri [3]

A	B	C	D	E	F
13.205	-1.3881	-1.92E-3	2.53E-2	6.30E-4	-1.52E-5

4.2.2.1. Proses parametrelerinin belirlenmesi

Proses parametrelerini belirlerken polimer eriyiğinin en düşük sıcaklığı tercih edilmiştir. Sıcak eriyiğin enjeksiyon sırasında kumaş yapıyı bozması için, yüksek sıcaklıklardan kaçınmak amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmalardan çıkarımlarla, kalıp sıcaklığını artırarak çarpılma ve ısıl gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünü engellemek en uygun seçim olacaktır. Böylelikle proses parametrelerinin optimizasyonunu sağlayan Moldflow kalıplama penceresi ile en iyi kalıplama koşullarını görebilmekteyiz. Bu pencerede sarı alan ideal kalıplamayı, yeşil alan ise en uygun kalıplama koşullarını göstermektedir. En uygun kalıplama koşullarını elde etmek için yeşil alan içerisinde grafiğimizi elde etmeye çalıştık.



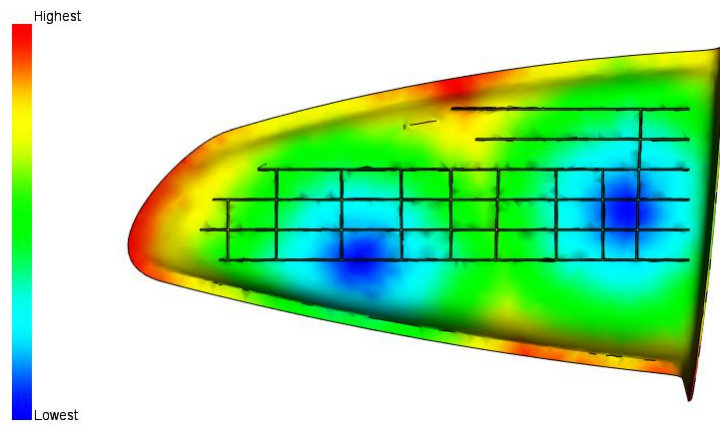
Şekil 4.32. Kalıplama Penceresi

Tablo 4.3. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon proses parametreleri

Eriyik Malzeme	Eriyik Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Nozül Sayısı	Ütüleme Basıncı	Enjeksiyon Süresi	Maksimum Enj. Basıncı	Kalıp Açılma Süresi
Sabice PPPHC3 1-81	210 °C	55 °C	2	Enjeksiyon basıncının %80	1,499 s	180 MPa	5 s

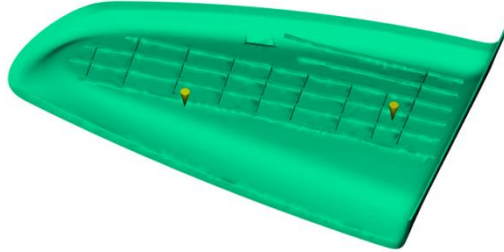
Eriyik sıcaklığı 210 °C, kalıp sıcaklığı 55°C, maksimum enjeksiyon basıncı 180 MPa, kalıp açılma süresi 5 saniye, 2 adet sıcak yolluk nozülü, ütüleme basıncı olarak enjeksiyon basıncının %80 'i, enjeksiyon süresi 1,499 s en uygun kalıplama koşulları olarak seçilmiştir.

4.2.2.2. Giriş noktası



Şekil 4.33. Sıcak yolluk nozül memelerinin giriş yerleri

En başta iki sıcak yolluk girişine sahip olan parçamızın en az akış direnciyle karşılaşacağı noktalar belirlenmiştir. Sıcak yolluk nozül memelerinin parçaya giriş noktaları belirlenen noktalara yerleştirilmiştir.

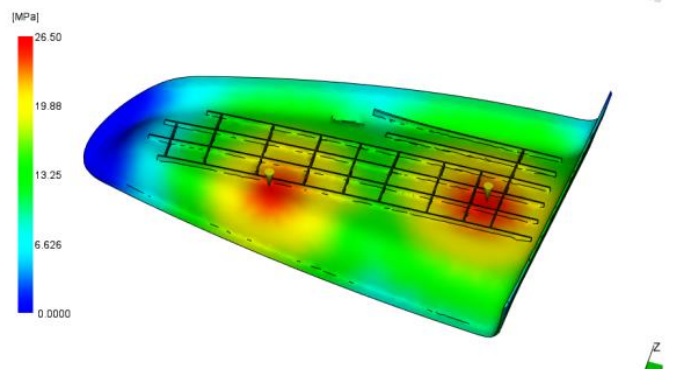


Şekil 4.34. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama için sıcak yolluk giriş noktaları

Akış analizinde mavi renk ile temsil edilen yerlerden sıcak yolluk girişleri yapılmaktadır. Bu noktalarda karşılaşılan akış direnci düşük olduğu için en güvenilir dolum bu konumlarda olmaktadır. Belirlenen giriş noktalarından analiz sonuçları dolum, ütüleme ve çarpılmalar incelenecektir.

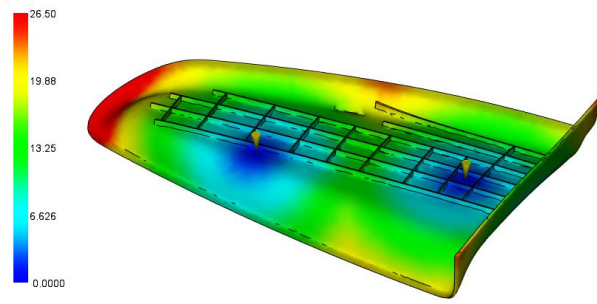
4.2.2.3. Enjeksiyon basıncı

Dolum sonu kavite içerisindeki maksimum basınç 26,5 MPa'dır. Kırmızı renkli bölgeler en yüksek basıncı, mavi renkteki bölgeler ise en düşük basıncı göstermektedir. Geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre basınç artışı beklentisi doğrulanmıştır. Çünkü kalıp içerisindeki basınç hem eriyiği hem de kumaş yapıyı kaviteye sıkıştırmak zorunda kalır. Kalıp içerisindeki basınç kumaş yapının eklenmesiyle 20,93 MPa değerinden 26,5 MPa değerine yükselmiştir.



Şekil 4.35. Enjeksiyon Basıncı

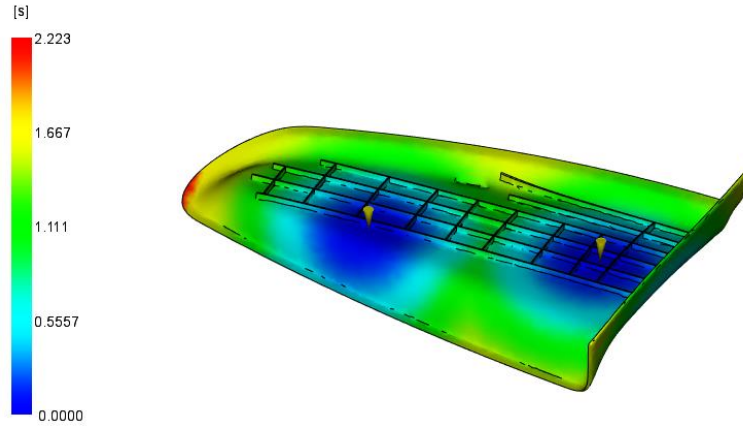
4.2.2.4. Basınç düşüşü



Şekil 4.36. Basınç düşüşü

Enjeksiyon basıncı grafiğine zıt olarak mavi renkteki bölgelerde basınç düşüşü en az, kırmızı renkli alanlar ise basınç düşüşünün en çok yaşandığı bölgelerdir. Kumaş yapının eklenmesiyle kalıp içerisindeki basınç düşüşü artmıştır. Basınç düşüşlerini minimize etmek için sıcak yolluk patlama çapı büyütülebilir, valve gate sistemleri daha etkin kullanılabilir veya akış uzunluğuna bağlı olarak nozül sayısı artırılabilir.

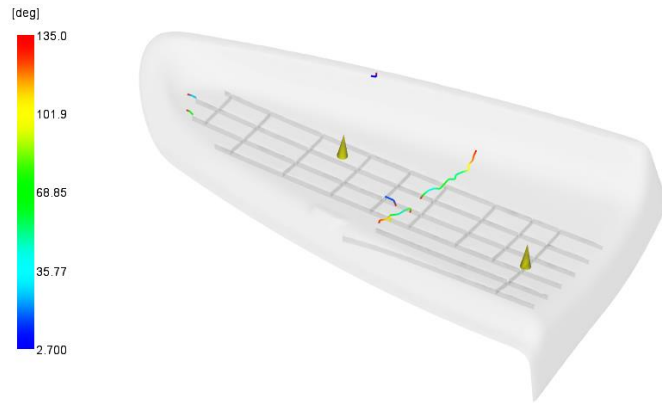
4.2.2.5. Dolum süresi



Şekil 4.37. Dolum süresi

Parça iki adet sıcak yolluk nozülü ile yaklaşık 2,23 s'de dolmaktadır. Bu süre kalıplama penceresindeki optimum değerlerle elde edilmiştir. Geleneksel enjeksiyon akış analizine göre dolum süresi 0,75 s daha fazladır.

4.2.2.6. Soğuk birleşme izi

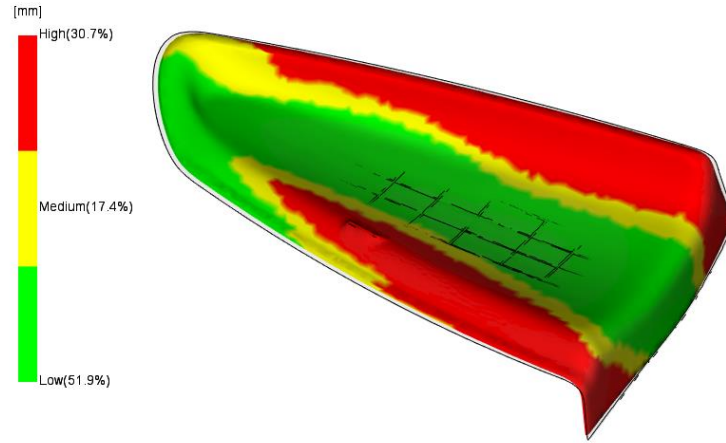


Şekil 4.38. Soğuk birleşme izi

Federlerin ait olduğu bölgeden akış analizi yapılmasına istinaden parçanın diğer dekoratif yüzünde oluşan soğuk birleşme izleri geleneksel enjeksiyon soğuk birleşme izlerine göre azalmıştır. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplamanın en büyük avantajlarından biri de parça üzerinde oluşan hataların kumaş vasıtasıyla gizlenmesidir. Ancak bu durum eriyik malzemenin dekoratif yüzeye penetrasyon gerçekleştirmemesi durumunda bir avantaj sağlar. Penetrasyon durumunu göz ardı edersek akış analizi sonucu oluşan soğuk birleşme izi kumaş yapının kaplanmasıyla birlikte kolaylıkla gizlenir. Ayrıca soğuk birleşme izlerinin parça üzerinde azalması kumaş yapının ön eriyiği enjeksiyon yönünde çekeceğinden dolayı kırışma ve katlanma durumlarını da azaltmaktadır. Diğer taraftan parçanın orta noktalarında oluşan soğuk birleşme izinden dolayı bu bölgelerde kumaşın kırışma riski artmaktadır.

4.2.2.7. Parça çarpılması

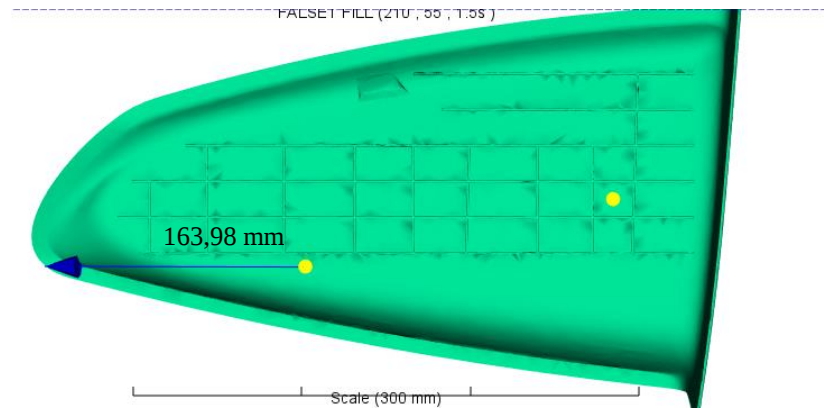
Geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre büyük oranda artış göstererek parçanın kırmızı bölgelerde 0,958 mm deplasman değerinin %30,7 si kadar çarpılma görülmektedir. Literatürdeki araştırma bulgularına göre ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünün kontrolü ve kalıp sıcaklığının artırılmasıyla veya asimetrik soğutma sistemi ile bu problem ortadan kaldırılabilir. Kullanılan kumaş yapının kalınlığı da çarpılma üzerinde oldukça etkilidir.



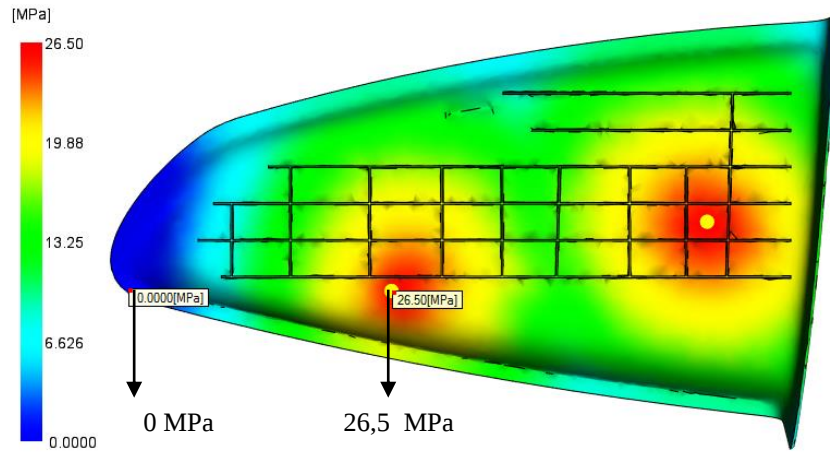
Şekil 4.39. Çarpılma

4.3. Teorik ve Analiz Basınç Düşüşlerinin Karşılaştırılması

Geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre oluşan basınç yükselmelerinin nedeni, kalıp içi basıncın sadece eriyik malzemeyi değil, aynı zamanda kumaş yapıyı da kavite duvarına doğru sıkıştırmasıdır. Bu hesaplama teorik olarak ifade edilen basınç düşüşü ile analiz sonucu ölçülen basınç düşüşü arasındaki farkı görebilmek adına yapılmıştır. Farkı görebilmek için kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon analizinde basınç değerlerini gösteren sonuç referans alınarak en düşük basınç değerini gösteren bölge ile en yüksek basınç değerini gösteren bölge incelenmiştir.

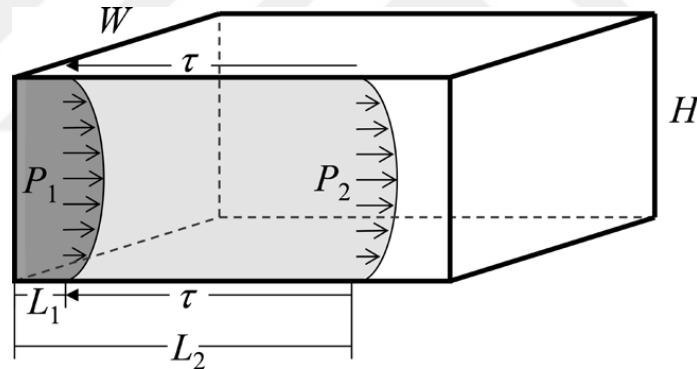


Şekil 4.40. Eriyik girişi ve en düşük basınç görülen bölge arasındaki mesafe



Şekil 4.41. Belirlenen noktadaki basınç değerleri

Referans alınan noktalar arasındaki mesafe 163,98 mm'dir. Bu noktalardaki basınç değerleri ise eriyik girişi noktasında 26,5 MPa, uç noktada ise 0 MPa dır. İki nokta arasındaki basınç düşüşü analiz sonucu olarak 26,5 MPa dır.



Şekil 4.42. Kavitedeki basınç ve kayma gerilmeleri [33]

Eriyik polimerin kavite içerisinde hareketi boyunca dengelenmesi gereken iki kuvvet vardır. Bunlardan ilki eriyik akış uzunluğu boyunca basınç düşüşüne bağlı olarak gelişen kuvvettir. İkincisi ise kavitenin çeperleri boyunca (alt ve üst yüzeyler boyunca) kayma gerilmesinden dolayı oluşan kuvvettir. Eriyik akış uzunluğu basınç düşüşü nedeniyle oluşan kuvvet (4.17) nolu denklem [33] ile hesaplanabilir. $F_{\Delta P}$ basınç düşüşüne bağlı olarak gelişen kuvveti (N), L_n akış uzunluğunu(mm), W akış derinliğini(mm), H akış yüksekliğini (mm) ifade etmektedir

$$F_{\Delta P} = P_2(WH) - P_1(WH) = (P_2 - P_1)(W.H) \quad (4.17)$$

Çeperler boyunca kayma gerilmesinden dolayı oluşan kuvvet (4.18) numaralı denklem [33] ile hesaplanabilir

$$F_{\tau} = 2\tau(L_2 - L_1)W \quad (4.18)$$

Polimer eriyik malzemesinin kavite içerisinde oluşturduğu basınç düşüşü sürekli akış modeli kabulü ile hareket denklemi yazılarak analiz edilmelidir. Sürekli akışın hareket denklemi için kuvvetlerin toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Sürekli akışın hareket denklemi (4.19) numaralı denklem [33] olarak ifade edilir.

$$\sum F = 0 \quad (4.19)$$

$(P_2 - P_1)(WH) = 2\tau(L_2 - L_1)W$ denklem eşitliğinden birim uzunluk başına basınç düşüşü (4.20) numaralı denklem ile ifade edilir.

$$\frac{dP}{dL} = \frac{2\tau}{H} \quad (4.20)$$

Analiz sonucunda bulunan kayma gerilmesi değeri $\tau=0,201$ MPa'dır.

Referans alınan noktalar arası mesafe $L=163,98$ mm dir.

Belirli akış mesafesi boyunca basınç düşüşü (4.21) numaralı denklem [33] ile hesaplanabilir.

$$\Delta P = \frac{dP}{dL} \cdot L \quad (4.21)$$

$$\Delta P = \frac{2\tau}{H} \cdot L = \frac{2 \cdot 201000}{2 \cdot 10^{-3}} = 201.0164 = 32,95 \text{ MPa}$$

Teorik basınç düşüşü $\Delta P_t=32,95$ MPa dır.

Analiz basınç düşüşü $\Delta P_a=26,5$ MPa dır.

Teorik ve analiz basınç düşüşü farkı

$$\Delta P_t - \Delta P_a = 32,95 - 26,5 = 6,45 \text{ MPa}$$

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Genel Bakış

- Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon prosesinin birçok proses adımlarını birleştirerek maliyet ve zaman açısından büyük avantajlar sağladığı görülmüştür. İş yükünü ortadan kaldırarak kompleks tasarımların gerektirdiği ikincil, üçüncül işlemleri ortadan kaldırarak tek bir işlem adımıyla istenilen ürünü elde etmek mümkündür .
- Kalıp içi kesim kullanılmamışsa cnc lazer kesim ve eksen robot kullanımı yüksek hassasiyete kesim ve malzeme tasarrufu sağlayacaktır.
- En büyük avantajlarından birisi bu sistem için yeni bir enjeksiyon sistemine gerek duyulmamasıdır. Geleneksel olarak kullanılan yatay enjeksiyon makinesine birkaç ekleme yaparak sistem çalıştırılabilir hale gelmektedir.
- Bir diğer avantajı kalıplama sonrası ortaya çıkan üretim hatalarını kumaş yapı yardımıyla gizleme imkanı vermesidir. Karmaşık proses parametreleri optimizasyonunda bu durum oldukça kolaylık ve esneklik sağlamaktadır.
- Geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre en büyük farklardan birisi hem itici sistemi hem de eriyik malzeme girişinin aynı tarafta olmasıdır. Aynı zamanda enjeksiyon makinesinin mengene ünitesi ekstrüder tarafında olmadığı için itici strok hareketini sağlayan hidrolik silindir mekanizması da buradadır. Kalıp tasarımı açısından bu bölgede kompleks bir yapının ortaya çıkması durumu söz konusu olur.

5.2. Proses Parametreleriyle İlgili Bulgular

- Kumaş yapının kalıp içerisine dahil olmasıyla birlikte dolum esnasında eriyik malzemenin akış hareketlerinin oldukça değiştiği görülmüştür.

Aralarındaki en büyük farkın basınç düşüşü olduğu ve bu farkın kalıp içerisine eklenen kumaş yapının kalıp duvarlarına sıkıştırma gereğinden dolayı olduğu anlaşılmıştır. Kumaşın kavite içerisine girmesiyle aynı kayma hızında daha yüksek viskozite değerlerine çıktığı anlaşılmıştır.

- Malzeme eriyik sıcaklığının kumaş yapıya zarar vermemesi için çalışma sıcaklıklarının dolum güvenilirliğini tehdit etmeyecek şekilde düşük noktalarda seçmek esastır.
- Kumaş yapının kalıp içerisine girmesiyle birlikte ısı transferinin zorlaştığı ve buna bağlı olarak ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü meydana geldiği görülmüştür. Eriyik ısısının, kumaş yerleştirilen bölgede hapsedildiği ve ürün üzerinde ciddi oranda çarpımalara neden olduğu anlaşılmıştır. Film ve kumaş kalınlığına bağlı olarak sıcaklık düşüşünün arttığı anlaşılmıştır.
- Kalıplama sonrası ürünün çarpılması üzerindeki en büyük etkili parametrelerinin enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı olduğu anlaşılmıştır.
- Kalıp sıcaklığının artmasıyla birlikte RTD'nin düştüğü ve ürün üzerindeki çarpılmanın azaldığı anlaşılmıştır.
- Asimetrik soğutma sistemiyle birlikte çarpılmanın ciddi oranlarda azaldığı anlaşılmıştır.
- Termoform filmlerin iletkenlik katsayılarının değişmesiyle birlikte temas arayüz sıcaklıklarında değişiklik olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden kumaş yapının ısı iletkenlik katsayısı ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünde çok önemlidir.

5.3. Kumaş Yapıyla İlgili Bulgular

- Katman yapısının üç kademeli olması gerektiği, ilk katmanın dekoratif bir yüzey için görünür tarafı temsil ettiği, ara köpük tabakanın basınca duyarlı olduğu ve en alt katmanın (bariyer tabakanın) ise penetrasyona duyarlı olduğu için kompozit bir yapı gerektirdiği görülmüştür.
- Kumaş yapının gerdirilmesi ve ön yük uygulanması mukavim yapının korunması için çok önemlidir. Kumaş elemanının mekanik özelliklerine bağlı

olarak plastik deformasyona uğratmayan ön yük seçmek oldukça önem arz etmektedir. Bu yapıya zarar verilmesi durumunda tüm prosesi hurda durumuna çeviren penetrasyon gerçekleşmiş olur.

- Kumaş yapıdaki köpük kalınlığının basınç düşüşünü artırdığı, penetrasyona etki etmediği ve kalıp içerisinde basınç yükselmelerine neden olduğu, bariyer tabakanın ise yoğunluğu yüksek olan kumaşın penetrasyonu engellemekte en iyi seçim olacağı anlaşılmıştır. Köpük yapının yoğunluğu en az 60 kg/m^3 olmalıdır.
- Kumaş gerdirme durumunun basınç farkı yaratmadığı anlaşılmıştır.

5.4. Tasarım İle İlgili Bulgular

- Kalıplaması yapılacak parçanın dekoratif yüzeyinde itici izi bırakmamak gerektiği için ters enjeksiyon kalıplama sistemi kullanılma zorunluluğu bulunmaktadır.
- Kumaş yapının enjeksiyon öncesinde kalıp içerisine sabitlenmesi için klips sistemi kurulması gerekmektedir.
- Basınç düşüşlerini engellemek ve kumaş yapıya zarar vermemek adına en düşük basınçta ve düşük eriyik sıcaklığında çalışmak çok önemlidir. Bu amaçla sıcak yolluk sistemleri ve sıcak yolluk sistemleriyle entegre çalışan valve gate sistemleri kullanılmalıdır.
- Isıl gecikmeye bağlı olarak zorlaşan ısı transferini iyileştirmek için kumaş yerleştirilen sabit kalıp yarımına homojen olmayan soğutma sistemi kurulması gerekmektedir.
- İtici sistemi hareketini sağlayan geri döndürücü plakaya bağlı hidrolik sistem kullanılmalıdır.
- Kumaş yapının eklenmesiyle birlikte artan kavite basıncı ve buna bağlı olarak yükselen makine kapama kuvveti için hamiller üzerindeki baskı plakaları artırılmalıdır.
- Tasarımı yapılacak parça kumaş yapıya uygulanan önyük ve önşekil vermeden dolayı yırtılmaları ve sızıntıları, enjeksiyon sonrasında oluşabilecek kumaş katlanmaları ve kırışıkları en aza indirmek, kalıp içi

basınçları homojen düzeylerde kontrol edebilmek adına uzun,ince ve üniform et kalınlığına sahip olmalıdır.

- Parça geometrisinde köşe açıları yüksek parçalarda çarpılma değerleri daha düşük olduğu saptanmıştır.

5.5. Analizle İlgili Bulgular

- Yapılan akış analizi değerlendirmeleri sonucu kumaş yapı reolojik değerleri girilen malzeme kullanılarak yapılan analizde geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre basınç artışı beklentisi doğru çıkmıştır. Kumaş yapının kavite içerisinde basınç artışına neden olduğu anlaşılmıştır.
- Geleneksel enjeksiyon kalıplamaya göre kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama sisteminde yüksek çarpılmalar meydana geldiği görülmüştür
- Teorik çalışma ve analiz çalışması sonuçları üzerinde yapılan değerlendirmelerde, teorik basınç değerinin analiz sonucu elde edilen değerden 6,45 MPa yüksek olduğu görülmüştür. Bu fark, teorik çalışma et kalınlığı sabit ve geometrisi düz bir parça kabulü üzerinden yapılırken, analiz edilen parçanın homojen olmayan et kalınlığı ve parabolik olarak ilerleyen parça geometrisine sahip olmasından ileri gelmektedir.

5.6. Sonuç Değerlendirme

Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyonla kalıplamaya yönelik olarak yapılan ve literatürdeki yer alan çalışmalar, termoform filmlerin ortaya çıkardığı en büyük sorunun ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü (RTD) olduğunu göstermektedir. Termoform yapının tek katmana sahip olmasına rağmen kalıp sıcaklıkları üzerindeki etkisi yüksektir. Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon kalıplama yönteminde ise katmanlar, polimerin değdiği noktadan itibaren sırasıyla penetrasyonu karakterize eden bariyer tabaka, kalıp içi basınç düşülerinde büyük role sahip olan köpük tabaka ve yumuşak dokunuş hissi yaratan dekoratif yüzeyden meydana gelmektedir. Yapıların toplam kalınları yaklaşık 3-4 mm mertebelerindedir. Bu yapıya bağlı olarak kumaş arkası enjeksiyon kalıplama yönteminde ısı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşünün daha çok olması beklenmektedir. Isı gecikmeye bağlı sıcaklık düşüşü

çarpılma değerlerini de çok etkilemektedir. Bu sorunu çözmek için asimetrik kalıp soğutma sistemlerinin kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sistemlerine uygulanabilirliği incelenmelidir.

Eriyik malzemenin kalıp içerisine dolumu sırasında kumaş üzerinde akış hareketleri bilinmediğinden dolayı üretim öncesi hataları öngörmek için kullanılan polimerin seçilen kumaş üzerindeki reolojik değerleri bilinmek zorundadır. Basınç artış ve çarpılma oranları iki durum arasında çok yüksektir.

Kumaş yapının kalıp içerisine dahil olmasıyla birlikte, homojen olmayan ısı transferini çözmek ve biriken ısıyı uzaklaştırmak için dişi ve erkek kalıba uygulanacak soğutma sistemleri araştırılmalıdır. Bu ısı yüklerini karşılamak enjeksiyon kalıplamada çok kullanılan derin soğutma sistemlerine benzemektedir.

Ürünün enjeksiyon sırasında karşılaşacağı yüksek basınçlar analiz programları ile simüle edilebilir. Ancak estetiklik açısından ve görsellik üzerinde büyük öneme sahip kumaş yapının kırılma ve katlanma durumlarını karakterize edecek proses parametreleri kesin olarak bilinmemektedir.

Kalıp tasarımlarında çapak oluşumunda büyük önem derecesine sahip kalıp ayırım çizgisi kumaş yapının kalıba eklenmesiyle çok daha büyük öneme sahip hale gelmektedir. Bu riski ortadan kaldırmak için enjeksiyon kalıp tasarımlarında yaygın olarak kullanılan baskı plakaları kumaş yerleştirilen kalıp yarımında oldukça fazla kullanılmalıdır. Bu plakalar kalıp kapandığında ezilme için kullanılmakta olup eşit toleranslarda işlendiği için kalıp yarımının alıştırma çizgisini eşit şekilde yakalamasını sağlamaktadır.

Kalıp içi kumaş arkası enjeksiyon sistemiyle parça üretimi için en iyi konfigürasyon; düşük eriyik sıcaklığı, yüksek kalıp sıcaklığı, asimetrik soğutma sistemi, düşük köpük kalınlığı, yoğun bariyer tabakası, yüksek iletim katsayısı (kumaş) ve üniform et kalınlığı şeklindedir.

KAYNAKLAR

- [1] A. Martinez, J. Castany, D. Mercado, Characterization of viscous response of a polymer during fabric IMD injection process by means a spiral mold, Elsevier Measurement 44 (2011) 1806-1818.
- [2] A. Martinez, J. Castany, J. Aisa, 2011, Characterization of in-mold decoration process and influence of the fabric characteristics in this process, Materials and Manufacturing Processes, 26:9, 1164-1172.
- [3] A. Martinez, J. Fuentelsaz, E. Sanchez, J. Aisa, Comparative analysis of polyolefins and polycarbonate rheological behavior when they are injected over fabric, Elsevier Measurement 46 (2013) 3488-3493.
- [4] Y-H. Lin, H-L. Chenb, S-C. Chen, Y-C. Lin, Effect of asymmetric cooling system on in-mold roller injection molded part warpage, Elsevier International Communications in Heat and Mass Transfer 61 (2015) 111-117.
- [5] F.Woyan, M.Koch, S. Schneidmadel, 2014, Process parameters affecting the quality of functionalized in-mold decoration injection molded composites, Ilmenau scientific colloquium Technische Universität Ilmenau, Germany.
- [6] S-C. Chen, H-M. Li, S-T. Huang, Y-C. Wang, Effect of decoration film on mold surface temperature during in-mold decoration injection molding process, Elsevier International Communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) 501-505.
- [7] D. Lee, W.-A. Chen, T.-W. Huang, S.-J. Liu, Factors influencing the warpage in in-mold decoration injection molded composites Intern. Polymer Processing 28 (2013) 2; 221-227
- [8] H-L. Chen, S-C. Chen, W-H. Liao, R-D. Chien, Y-T. Lin, Effects of insert film on asymmetric mold temperature and associated part warpage during in-mold decoration injection molding of PP parts, Elsevier International Communications in Heat and Mass Transfer 41 (2013) 34-40.
- [9] A.Martinez, J. Castany, F. Serraller, Method to characterization of the overmolded polymer penetration into the fabric, Polymer Engineering and Science 51 (2011) 1848-1857
- [10] J.C. Love and V. Goodship, 2002, In-Mould Decoration of Plastics, Rapra review report, 2, 3-9.

- [11] Rupert Gruber, Krauss Maffei Back Injection and Compression Molding with Sensitive Decor Materials DecoForm Technology Presentation.
- [12] <http://www.battenfeld.ru.>, Battenfeld Back Molding Technology Presentation, Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [13] V. Goodship, B. Middleton, R. Cherrington, Design and manufacture of plastic components for multifunctionality, Injection molding of thermoplastics, 8 (2016) 144-148.
- [14] E. Robert, Engineered fabrics in automotive interior applications, Miami Beach FL, (2004), Expanding The Limit of Polyolefin Textiles Budapest, Hungary.
- [15] W. Nesh, H. Pruner, 2013, Understanding Injection Molding, Special Design, Hanser Publications, 103-118, Cincinnati.
- [16] M-R. Kamal, A-I. Isayev, S-J. Liu, Injection molding technology and fundamentals book, Chapter 4 Non-Conventional Molding, 186, Hanser Publishers, Munich.
- [17] <http://www.engelglobal.com.>, Engel Tecomelt Technology Presentation Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [18] <http://www.grabcad.com.>, Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [19] <http://www.gktool.ch.>, Georg Kaufmann Formenbau Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [20] A. Vasilj, M. Schmidt, J. Mitzler, 2003, Cost-effectiveness: In-mould decoration on modified standard machines, Carl Hanser Verlag, Kunststoffe Plast Europe, 3/2003, 63-66
- [21] <http://www.turkcadcam.net.>, Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [22] J. Shoemaker, 2006, Moldflow Design Guide, A Resource for Plastics Engineers.
- [23] R. Dangel, 2016, Injection mould for beginners, Hanser Publications, Cincinnati.
- [24] M. Niaounakis, (2015), Biopolymers Applications and Trends, 1, 262.
- [25] W. Fung, M. Hardcastle, 2001, Textiles in automotive engineering, The Textile Institute Woodhead Publishing, 1, 215.

- [26] M-L. Wang, R-Y. Chang, C-H. (David) Hsu, 2018, Molding simulation theory and practice, Maximum Flow Length of Plastic Melt, 1, 59.
- [27] <http://www.hatsys.com>., Erişim Tarihi: 07.12.2019.
- [28] BAYER Engineering Polymers Part and Mold Design, pp. 155.
- [29] G. Menges, W. Michaeli, P. Mohren, 2000, How to make injection molds, pp. 284.
- [30] S-C. Chen, L-S. Turng, 2019, Advanced Injection Molding Technologies, pp. 15, Hanser Publications, Cincinnati.
- [31] A.O. Kaptı, E. Ertekin, U. Acun, 2018, Design and evaluation of a two-component 180°-2C-2x8 plastic injection mold, International Conference on Multidisciplinary, IMESET Dubai.
- [32] J-P. Beaumont, 2004, Runner and gating design handbook, Hanser Publisher, Munich, pp 190.
- [33] David O.Kazmer, 2016, Injection Mold Design Engineering, Hanser Publisher, Munich, 2, pp11.

ÖZGEÇMİŞ

Cihan Gergef, 1993' de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında İzzet Ünver Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Makine Tasarım ve İmalat Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenci olarak öğretim hayatına devam etmektedir.