

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SU DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON SİSTEMİ İLE
POLİMER KOMPOZİT SİLECEK KOLU ÜRETİMİ**

FATMA SONGÜL KARABIYIK

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SU DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON SİSTEMİ İLE POLİMER
KOMPOZİT SİLECEK KOLU ÜRETİMİ

FATMA SONGÜL KARABIYIK

Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Erol FEYZULLAHOĞLU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ekrem ALTUNCU
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 12.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünya çapında otomotiv sektöründe hızla yol alan hafifletme akımına ayak uydurabilmek ve yeni imalat teknolojilerini de dahil ederek, metalik hammadde ile imal edilen silecek koluna alternatif polimerik esaslı bir hammadde ile ön cam silecek kolu imalatı yapılmıştır. Bu çalışma ile tüm Dünya’da ilk defa polimer malzemeden ön cam silecek kolunun üretilmiş olması ile birlikte Türkiye’de su destekli enjeksiyon yöntemi de ilk defa deneyimlenmiştir.

Bu tezin temelini; Sanayi Bakanlığı, Teklas Kauçuk ve Kocaeli Üniversitesi ortak çalışması olan 00927.STZ.2011-1 numaralı SanTez projesi oluşturmaktadır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimi ve tecrübesi ile bana her konuda yol gösteren, yardımcı olan çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK’e sonsuz minnet ve şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Tüm çalışma boyunca bilgi, birikim, imalat alanı ve test çalışmaları için tüm imkanları paylaşan Teklas Kauçuk firmasına ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan, her türlü zorluk karşısında ayakta kalmamı sağlayan ve bana cesaret veren sevgili eşim Eren KARABIYIK’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Babam ve anneme...

Mayıs-2018

Fatma Songül KARABIYIK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. PLASTİKLERİN İMALAT YÖNTEMLERİ	4
1.1. Ekstrüzyon	6
1.2. Şişirmeyle Kalıplama	8
1.3. Termoforming	9
1.4. Rotasyon Kalıplama	11
1.5. Enjeksiyon Kalıplama	14
1.5.1. Enjeksiyon makinesi	14
1.5.2. Kalıp	18
1.5.3. Kontrol sistemi	21
1.5.4. Enjeksiyon çevriminin aşamaları	21
1.5.5. Enjeksiyon kalıplama proses parametreleri	24
1.5.6. Enjeksiyon hataları	26
1.5.7. Enjeksiyon kalıplama avantajları	28
1.5.8. Enjeksiyon kalıplama dezavantajları	29
2. AKIŞKAN DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ	30
2.1. Gaz Destekli Plastik Enjeksiyon	30
2.2. Su Destekli Plastik Enjeksiyon	34
2.2.1. Uygulama yöntemleri	35
2.2.2. Su destek makine donanımı	38
2.2.3. Proses parametreleri	41
2.2.4. Akışkan Davranışları	44
2.2.5. Proses parametrelerinin et kalınlığına etkisi	46
2.2.6. Proses parametrelerinin su parmağı (fingering) oluşumuna etkisi	50
2.2.7. Avantajları	52
2.2.8. Dezavantajları	53
2.2.9. Kullanım alanları	53
3. SİLECEK KOLU VE SİLECEK SİSTEMİ	55
4. MALZEME VE YÖNTEM	58
4.1. Malzeme	58
4.2. Kalıp ve Parça Tasarımı	60
4.3. Makine	60
4.3.1. Kurutma makinesi	60
4.3.2. Enjeksiyon makinesi	61
4.4. Silecek kolu performans testi	62
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Polimer, elastomer ve polimer kompozitler için şekillendirme ve form verme prosesleri.....	6
Şekil 1.2. Ekstrüdere ait şema.....	7
Şekil 1.3. Ekstrüzyon vidası	7
Şekil 1.4. Farklı tipte kalıp ve ekstrüzyon yapılmış ürün	8
Şekil 1.5. Ekstrüzyonlu şişirme kalıplama	8
Şekil 1.6. Enjeksiyonlu şişirme kalıplama	9
Şekil 1.7. Vakumla termoforming	10
Şekil 1.8. Basınçlı hava ile termoforming	10
Şekil 1.9. Mekanik sistem ile termoforming	11
Şekil 1.10. Rotasyon kalıplama.....	11
Şekil 1.11. Rotasyon kalıplama aşamaları	12
Şekil 1.12. Enjeksiyon makinesi kesiti.....	14
Şekil 1.13. Enjeksiyon ünitesi şeması	15
Şekil 1.14. Bir plastik enjeksiyon makinesinin mengene sistemi.....	16
Şekil 1.15. Açık kapama sistemi	17
Şekil 1.16. Bir enjeksiyon kalıbının yapısı	18
Şekil 1.17. Farklı tiplerde yolluk sistemleri.....	19
Şekil 1.18. Kalıp tasarım şeması.....	19
Şekil 1.19. Kalıbın kapanması.....	22
Şekil 1.20. Malzemenin kalıba dolması	23
Şekil 1.21. Enjeksiyon grubunun geri gelmesi.....	23
Şekil 1.22. Kalıbın açılıp parçanın dışarı atılması.....	24
Şekil 1.23. Enjeksiyon hatalarına ilişkin görseller	28
Şekil 2.1. Geleneksel enjeksiyon teknolojisinde çöküntü oluşumu ve gaz destekli enjeksiyonda gazın çöküntü üzerine etkisi.....	31
Şekil 2.2. Gaz destekli enjeksiyon şeması.....	32
Şekil 2.3. Gaz destekli enjeksiyon çevriminde kalıp içi basınç ve zaman grafiği	33
Şekil 2.4. Su destekli plastik enjeksiyon	35
Şekil 2.5. “Short-shot” yöntemi	36
Şekil 2.6. Geri itme (Push back) yöntemi	37
Şekil 2.7. Taşma (Overflow) yöntemi.....	37
Şekil 2.8. “Multifoam” yöntemi.....	38
Şekil 2.9. Su destekli enjeksiyon	39
Şekil 2.10. Battenfeld WE serisi basınç ünitesi.....	39
Şekil 2.11. Hareketli tip kontrol ünitesi	40
Şekil 2.12. Battenfeld basınç regülasyon ve kontrol modülü	40
Şekil 2.13. Nozul.....	41
Şekil 2.14. “Short shot” ebadının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi.....	42
Şekil 2.15. Eriyik sıcaklığının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi	42
Şekil 2.16. Su enjeksiyonu bekletme süresinin su nüfuziyet uzunluğuna etkisi.....	43
Şekil 2.17. Su basıncının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi	44

Şekil 2.18. Düzlemsel kalıp içinde su hareketi	44
Şekil 2.19. Farklı derinliklerde iki bölgeli düzlemsel kalıp içinde su hareketi.....	45
Şekil 2.20. Simetrik federli kalıp içinde suyun hareketi.....	46
Şekil 2.21. Merkezden kaçıklık ve et kalınlığı dağılımı	47
Şekil 2.22. Eriyik sıcaklığının ortalama et kalınlığına olan etkisi	48
Şekil 2.23. Kalıp sıcaklığının ortalama et kalınlığına olan etkisi.....	48
Şekil 2.24. Su basıncının ortalama et kalınlığına olan etkisi	49
Şekil 2.25. Bekletme süresinin ortalama et kalınlığına olan etkisi.....	50
Şekil 2.26. Federli bir parçanın şeması	50
Şekil 2.27. Su parmağı.....	51
Şekil 2.28. Proses parametrelerinin su parmağı yüzdesine etkisi	52
Şekil 2.29. Su destekli enjeksiyon uygulama örneği.....	53
Şekil 3.1. Mevcut silecek sistemi bileşenleri	55
Şekil 3.2. Silme sistemi ürün gamı	56
Şekil 4.1. Hammadde torbası	59
Şekil 4.2. Tanecik.....	59
Şekil 4.3. Kurutma makinesi.....	60
Şekil 4.4. Enjeksiyon makinesi	61
Şekil 5.1. Kovansiyonel enjeksiyon parça tasarımı	64
Şekil 5.2. Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen su enjeksiyon yöntemine göre tasarlanmış ön prototip silecek kolu	65
Şekil 5.3. Ön prototip parçanın montaj uygunluğu kontrolü	66
Şekil 5.4. Bilgisayar destekli parça tasarımı	66
Şekil 5.5. Silecek kolu tasarım görüntüsü.....	66
Şekil 5.6. Mekanizma kolu tasarım görüntüsü	67
Şekil 5.7. Silecek kolu mekanizması sistem tasarım görseli	67
Şekil 5.8. Silecek kolu içi, silecek suyu kanalı	68
Şekil 5.9. Silecek kolu alt kalıbı	69
Şekil 5.10. Silecek kolu montajlanmış kalıp tasarım görseli	69
Şekil 5.11. Silecek kolu kalıbı.....	70
Şekil 5.12. Mekanizma kolu kalıbı.....	71
Şekil 5.13. Su enjeksiyon ünitesi.....	71
Şekil 5.14. Müşteri şartnamesine göre görme ve silme alanı şeması	72
Şekil 5.15. Silecek kolu tasarımı	72
Şekil 5.16. Metalik ve polimerik silecek kolları alt parçaları	73
Şekil 5.17. Silecek suyu taşınan silecek kolu görseli.....	73
Şekil 6.1. Su destekli enjeksiyon esnasında kesit görüntüsü.....	74

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Polimerlerin ve polimer kompozitlerin form verme ve şekillendirme proseslerindeki genel karakteristikleri.....	5
Tablo 1.2. Mengene sistemlerinin avantajlarının ve dezavantajlarının karşılaştırılması.....	17
Tablo 1.3. Çeşitli polimerlerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları	20
Tablo 1.4. Enjeksiyon hataları ve olası nedenleri	26
Tablo 2.1. Gaz destekli enjeksiyon avantaj ve dezavantajları	33
Tablo 2.2. Gaz ve suyun ısı iletkenlik ve özgül ısı kapasitesi açısından değerlendirilmesi.....	34
Tablo 2.3. Su ve gaz enjeksiyon kalıplama proseslerinin karşılaştırılması	34
Tablo 2.4. Deney tasarımı.....	47
Tablo 4.1. Ultramid A3HG6 WIT hammadde özellikleri	58
Tablo 4.2. Proses parametreleri.....	61
Tablo 5.1. Ön cam silecek kolu tasarımı esnasında enjeksiyon yöntemlerinin kıyaslanması.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

atm	: Atmosfer basınç
cm	: Santimetre
cm ³ /10 dak	: Santimetreküp/10 dakika
cm ³ /s	: Santimetreküp/saniye
C _p	: Özgün ısı kapasitesi
J/kgK	: Joule/kilogram.Kelvin
kJ/m ²	: Kilojoule/metre-kare
kg/m ³	: Kilogram/metre-küp
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
N	: Newton
s	: Saniye
W/mK	: Watt/metre.Kelvin
°C	: Santigrat derece
Λ	: Isıl iletkenlik katsayısı

Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitrilbütadienstiren
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
D	: Diameter (Çap)
E	: Elastomer
F	: Force (Kuvvet)
H	: Height (Yükseklik)
L	: Length (Uzunluk)
PA6	: Poliamid6
PA66+%30GF	: %30 Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 66
PBT	: Polibütadienstiren
PBT+15%GF	: %15 Cam Elyaf Takviyeli Polibütadienstiren
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polietilenterafitalat
PLC	: Programmable Logic Control (Programlanabilir Mantık Kontrolü)
PP	: Polipropilen
PP+20%GF	: %20 Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen
PP+30%GF	: %30 Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen
PVC	: Polivinilkarbonat
TP	: Termoplastik
TS	: Termoset
V	: Velocity (Hız)
W	: Width (Genişlik)
WIT	: Water Assisted Injection (Su Destekli Enjeksiyon)

SU DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON SİSTEMİ İLE POLİMER KOMPOZİT SİLECEK KOLU ÜRETİMİ

ÖZET

Tüm Dünya’da eşdeğer kalite ve dayanımda olmasına karşın daha hafif ve daha ucuz ürün elde etme eğilimi hızla yol almaktadır. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşım ile, Dünya’da bir ilk olarak tüm araçların kullanımına yönelik; mevcut kullanımdaki metal silecek koluna da uygulanan standartlara uygun polimerik esaslı silecek kolu geliştirilmesi ve üretilmesi hedeflenmiştir. Bunun için, Türkiye’de ilk defa deneyimlenen su destekli enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Hem üretim metoduna hem de silecek kolu standartlarına uygun hammadde araştırması yapılmış ve cam elyaf takviyeli kompozit PA6.6 malzemesi tercih edilmiştir. CAD/CAM/CAE entegre Siemens NX yazılımı ile parça ve kalıp tasarımları yapılmıştır. Su destekli enjeksiyonda “full shot” metodu uygulanmıştır. En verimli proses parametrelerine erişmek için farklı parametre eşleşmeleri denenmiştir. Elde edilen ürüne müşteri şartnameleri ve uluslararası standartlara uygun olarak dış ortam koşullarına dayanım, cam elyaf dağılımı, et kalınlığı analizi, çekme dayanımı, fonksiyon testi gibi zorunlu ürün doğrulama testleri uygulanmıştır. Polimer silecek kolunun geliştirilmesi ile birlikte, metal silecek kolunda bulunan beş farklı alt parça ortadan kaldırılmıştır. Böylelikle montaj maliyeti ve parça maliyetinden tasarruf edilmiştir. Proses esnasında polimerin içinden geçen su, eriyiğin soğumasına yardımcı olmuştur. Bu, hem kalıp içindeki soğutma süresini ve toplam çevrim süresini kısaltmış hem de parça ağırlığını azaltmıştır. Bu çalışma ile parça başına kullanılan hammadde miktarı ve ürün ağırlığı; kalıp içinde soğutma süresi, montaj işçiliği süresi, toplam çevrim süresi ve ürün maliyeti azaltılmıştır. Çalışmanın yenilikçi noktalarından biri su destekli polimer enjeksiyon kalıplama ile birlikte silecek kolu içinde bulunan boş kanal yapısının oluşturulmasıdır. Diğer ise, silecek suyunun bu kanal vasıtasıyla ön cama iletilebilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Akışkan Destekli Enjeksiyon, İç Kanal, Polimer Kompozit Silecek Kolu, Su Destekli Enjeksiyon, Taşma Yöntemi.

PRODUCTION OF POLYMER COMPOSITE WIPER ARM VIA WATER ASSISTED PLASTIC INJECTION METHOD

ABSTRACT

Despite the equivalent quality and strength, the trend around the world towards lighter and cheaper products is on the way. In this study, with a similar approach, for the usage of all vehicles for the first time in the world; it was aimed to develop and produce a polymeric based wiper arm in accordance with the standards applied for the metal wiper arm, that is in present use. So that, water assisted injection molding method, which is experienced in Turkey for the first time was used. Water assisted injection molding method, which is experienced for the first time in Turkey, was used to produce this product. Raw material, which should be proper for both production method and wiper arm standards, had been investigated and afterwards glass fiber reinforced composite PA6.6 material was chosen. Part and mold designs were done via CAD/CAM/CAE integrated Siemens NX software. "Full shot" method was implemented for water assisted injection. Different kinds of parameter matchings were tried to reach most effective process parameters. Necessary validation tests like resistance to external conditions, fiber glass orientation, tensile strength, thickness analysis, functional test etc, were done according to customer requirements and international standards. Five different sub-parts on metal wiper arm were eliminated on the newly developed polymer wiper arm. Thus assembling cost and relatedly part costs were saved. Water was worked as an cooling element in melt polymer during injection process. This decreased both cooling time in mold and relatedly total cycle time, part weight. Raw material consumption and part weight, cooling time in mold, assembling cost, total cycle time and total cost pro part were decreased with the help of this study. One of the innovative points of this study is the inner channel structure, that is created in polymer wiper arm as a result of water assisted polymer injection molding. Other one is that, cleaning water can be transferred to windshield via channel in wiper arm.

Keywords: Fluid Assisted Injection, Inner Channel, Polymer Composite Wiper Arm, Water Assisted Injection, Full Shot Method.

GİRİŞ

Otomotiv, tüm dünyada oldukça söz sahibi ve her geçen gün kendini geliştiren bir sektördür. Artan rekabet sebebiyle, otomotiv firmaları yeni model araç üretmek yerine; mevcut model üzerinde müşteri beğenisini sağlayacak çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple sektörde daha kaliteli, daha güvenli ve daha dayanıklı; bununla birlikte maliyeti daha düşük araç üretme eğilimi bulunmaktadır. Sıralanan kriterleri elde etmek için izlenen yollardan biri de metal malzemeden imal edilmiş parçaların daha ucuz olmasına karşın, dayanımı benzer nitelikte olan polimer esaslı malzeme kullanılarak üretilmesidir [1].

Otomotiv sektöründeki gelişmelerin paralelinde, polimerlerin şekillendirilmesi ve polimer hammaddeden ürün elde edilmesi için kullanılan yöntemler de, sektörün ihtiyaçlarını karşılamak üzere hızla gelişmeye ve çeşitlenmeye devam etmektedir. Su destekli plastik enjeksiyonu bu doğrultuda geliştirilmiş en son yöntemlerden biridir. Özellikle içi boş (kanallı) parçaların pürüzsüz ve düzgün yüzey kalitesinde üretilmesi, yöntemi benzerlerine kıyasla alanında üstün tutmaktadır. Üretim esnasında meydana gelen firenin sifıra yakın olması, soğutma süresinde ve parça kalitesinde iyileşme sağlanabiliyor olması, maliyetlerde azalma sağlaması ve elde edilen ürünün mekanik özelliklerinin benzer imalat yöntemleri ile elde edilen ürünlerden daha iyi olması, yöntemi tercih edilir kılmaktadır [2, 3].

Araç iç güvenliği ve performansını etkileyen diğer birçok komponentin yanında; silecek sistemi güvenli bir sürüş için vazgeçilmez öğelerden biridir. Araç ön camında, bazı araçlarda arka camında da bulunan silecek kolu; silecek motorundan aldığı tahrik ile harekete geçerek, üzerine yapışık halde bulunan silecek lastiğinin cam üzerinde sürücünün görüşünü kısıtlayacak maddeleri süpürmesini sağlamaktadır. Görevini yerine getirmediğinde ise, sürücünün görüş alanında azalma ve kaybolma yaşanması ile birlikte olası irili ufaklı kazaların meydana gelmesi işten bile değildir. Bu sebeple, silecek kolunun birtakım mekanik ve fonksiyonel özellikleri sağlayabiliyor olması önemlidir.

Aynı zamanda Sanayi Bakanlığı desteği ile yürütülmüş olan su destekli enjeksiyon sistemi ile silecek kolu imalatı yüksek lisans tez çalışmasının öncelikli amacı;

Dünya’da hızla yol alan hafifletme akımına ayak uydurmak ve yeni imalat teknolojilerini de katarak, metalik hammadde ile imal edilen silecek koluna alternatif polimerik esaslı bir hammadde ile ön cam silecek kolu imal edebilmektir. Bu çalışma ile tüm Dünya’da ilk defa polimer malzemeden ön cam silecek kolunun üretilmiş olması ile birlikte Türkiye’de su destekli enjeksiyon yöntemi de ilk defa deneyimlenmiştir.

‘Su destekli plastik enjeksiyon sistemi ile polimer kompozit silecek kolu üretimi’ yüksek lisans tez çalışmasının amacı; piyasada bulunan metal sac veya haddelenmiş çubuktan imal edilen alt parçaların montajlanarak biraraya getirildiği silecek sistemi yerine, su destekli enjeksiyon yöntemi ile imal edilmiş polimer kompozit silecek kolunu geliştirmek ve sisteme entegre etmektir. Polimer kompozit silecek kolunun, metal silecek koluna kıyasla parça birim maliyeti ve ağırlığı açısından iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Boş bir iç kanala sahip olacak yeni nesil silecek koluna mevcutta olmayan ek bir fonksiyon daha eklenerek, cam silme suyunun silecek kolu içindeki kanaldan geçirilerek cama iletilmesi hedeflenmektedir.

Polimer malzemeden üretilen silecek kolunun, metal silecek koluna kıyasla ardıl kazanımlarından biri de herhangi bir kaza esnasındaki davranışdır. Bir yayaya çarpılması sonucu plastik bir silecek kolunun yayaya vereceği zarar hiç şüphesiz ki metal silecek kolunun verdiği zarardan daha az olacaktır. Veya aracın bir yere çarpması esnasında, metal silecek kolunun ön camı hasara uğratmasına ya da ön camı kırması sonucu araç içindekilere zarar vermesine, plastik silecek kolu engel olacaktır.

Yenilikçi bir yöntemi uygulamaya almadan önce, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmaları incelenerek çalışmaya başlanmıştır. Bölüm 1’de polimer hammadde kullanılarak mamul ve yarı mamul eldesi sağlanabilecek imalat yöntemleri için literatür araştırması yapılmıştır. Buradaki amaç imalat yöntemlerini tanıyabilmek ve birbiriyle ile kıyaslayabilmektir.

Hemen ardından Bölüm 2’de geleneksel yöntemlerin ihtiyaçlara göre geliştirilmesi ile keşfedilmiş yeni polimer imalat yöntemleri olan akışkan destekli plastik enjeksiyonu için detaylı literatür araştırmaları yapılmıştır. Bu bölümde, gaz destekli plastik enjeksiyonu ve su destekli plastik enjeksiyonu konusunda bilgiler edinilmiştir. Özellikle su destekli plastik enjeksiyonunda çalışma yapılan farklı hammadde türleri,

enjeksiyon hataları, parametre tasarımı, parametrelerin ürün kalitesi ve hataları üzerine etkileri detaylıca incelenmiştir.

Bölüm 3, tez konusunun da merkezinde bulunan silecek koluna ilişkin araştırma ve incelemelerin yapıldığı kısımdır. Bu kısımda, mevcutta bulunan metalik silecek kolu ve silecek sisteminin tanıtılması sağlanmıştır. Böylelikle, polimerik ön cam silecek kolu için çalışma zemini oluşturulmuştur.

İlk üç bölümde yapılan araştırmaların ardından, tez çalışmasında kullanılacak olan malzeme, uygulanacak olan yöntem, optimize edilmiş proses parametreleri ve çalışma çıktısının analiz edileceği yöntem Bölüm 4'te yer almaktadır.

Bölüm 5'te, yüksek lisans tezi çalışma takvimi boyunca yapılan tüm çalışmaları, bu çalışmaların çıktılarını ve çıktıların analizlerini içermektedir. Bu kısımda, çalışma boyunca alınması gereken kararları etkileyen kriterler ve kriterlere ilişkin yapılan değerlendirmeler anlatılmıştır.

Tüm çalışmaların neticesinde öncelikle, su destekli enjeksiyona ilişkin elde edilen deneyim ve geliştirilen ön cam silecek koluna ilişkin bilgiler Bölüm 6'da anlatılmıştır. Polimerik esaslı ön cam silecek kolunda, metalik silecek koluna kıyasla edinilen üstünlükler detaylıca anlatılmıştır. Bu kısmın sonunda ileriki çalışmalara ışık tutacak öneriler yer almaktadır.

1. PLASTİKLERİN İMALAT YÖNTEMLERİ

Birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri olan plastiklerin, şekillendirilme yöntemleri de çeşitlilik göstermektedir. Ürün kalitesi ile üretim verimliliğinin sürekli iyileştirilebilmesi, ve buna bağlı olarak parça birim maliyetinin azaltılabilmesi için; üretim yöntemleri de ihtiyaçları karşılayabilmek amacıyla geliştirilmeye devam etmektedir.

Bir plastik ürünün tasarlanması sürecinde, nerede kullanılacağına bağlı olarak, işlevsel kısımları da göz önünde tutularak; şekli, kesiti ve boyutsal özellikleri saptanır. Bu kriterler, üretim yöntemine karar verilmesine yardımcı olur.

Tasarlanan ürünlerin en az maliyetle üretilerek, en yüksek verimle kullanılabilmelerini de öncelikli olarak hangi yöntemle üretilecekleri belirlemektedir [1].

Termoplastiklerin işlenmesinde temel yöntemler şöyledir:

- Ekstrüzyon ve ekstrüzyon temelli yöntemler
- Enjeksiyon kalıplama
- Şişirme ile kalıplama
- Termoforming

Termosetlerin işlenmesinde temel yöntemler şöyledir:

- Kılıf içerisinde vakum ve basınçlı kalıplama
- Otoklav kalıplama
- Transfer ile kalıplama
- Reaksiyon ile enjeksiyonlu kalıplama
- El yatırması
- Lif sarma

- Pultrüzyon

Tablo 1.1’de, polimerlerin ve kompozit polimerlerin form verme ve şekillendirme proseslerindeki genel karakteristikleri görülmektedir.

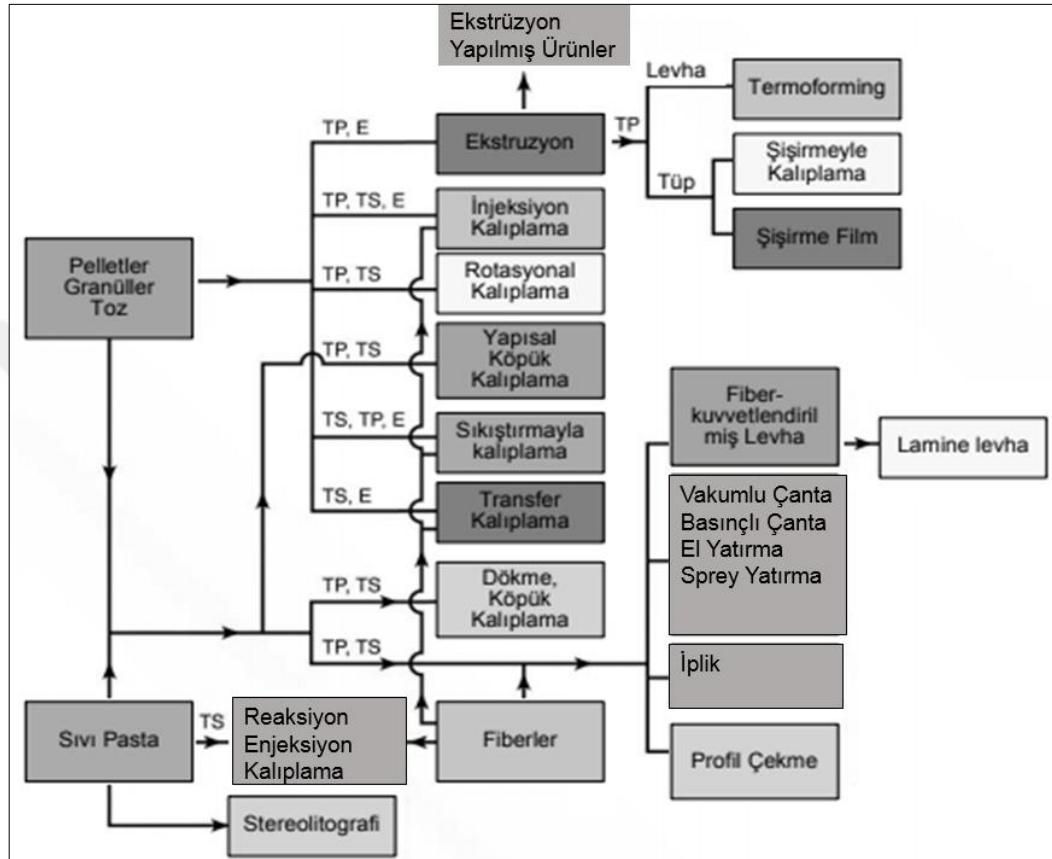
Tablo 1.1. Polimerlerin ve polimer kompozitlerin form verme ve şekillendirme proseslerindeki genel karakteristikleri [4]

Proses	Karakteristik
Ekstrüzyon	Sürekli, eşdağılımlı yapıda veya içi boş ve karmaşık kesitler; yüksek üretim adetleri; kıyasla düşük ekipman maliyeti; geniş toleranslar.
Yapısal köpük kalıplama	Rijitlik-ağırlık oranı yüksek olan büyük parçalar; enjeksiyon kalıplamaya oranla daha az maliyetleri ekipman maliyeti; düşük üretim adetleri.
Şişirmeyle kalıplama	İçi boşluklu, ince et kalınlığı olan parçalar ve çeşitli ebatlardaki şişeler; yüksek üretim adetleri; görece düşük ekipman maliyetleri.
Rotasyonel kalıplama	Büyük ve içi boşluklu, görece basit şekiller; görece düşük ekipman maliyetleri; görece düşük üretim adetleri.
Termoforming	Sığ veya görece derin boşluklar; düşük ekipman maliyetleri; orta üretim adetleri.
Sıkıştırmayla kalıplama	Basıncılı kalıplı döküm ile benzer parçalar; pahalı ekipman; orta üretim adetleri.
Transfer kalıplama	Sıkıştırmayla kalıplamaya göre çok daha karmaşık parçalar; yüksek ekipman maliyetleri; bir miktar hurda kaybı.
Döküm	Rijitlik ve esneklik ile basit veya karmaşık şekiller; düşük ekipman maliyetleri; düşük üretim adetleri.
Enjeksiyon kalıplama	Çeşitli ebatlarda karmaşık şekiller; ince et kalınlıkları; çok yüksek üretim adetleri; maliyetleri ekipman; yüksek ölçüsel kararlılık.

Termoset, termoplast ve elastomerlerin şekillendirilme yöntemlerine ait şema Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Yaygın kullanılan yöntemler şöyledir:

- Ekstrüzyon
- Şişirmeyle kalıplama

- Termoforming
- Rotasyon kalıplama
- Enjeksiyon kalıplama



Şekil 1.1. Polimer, elastomer ve polimer kompozitler için şekillendirme ve form verme prosesleri [4]

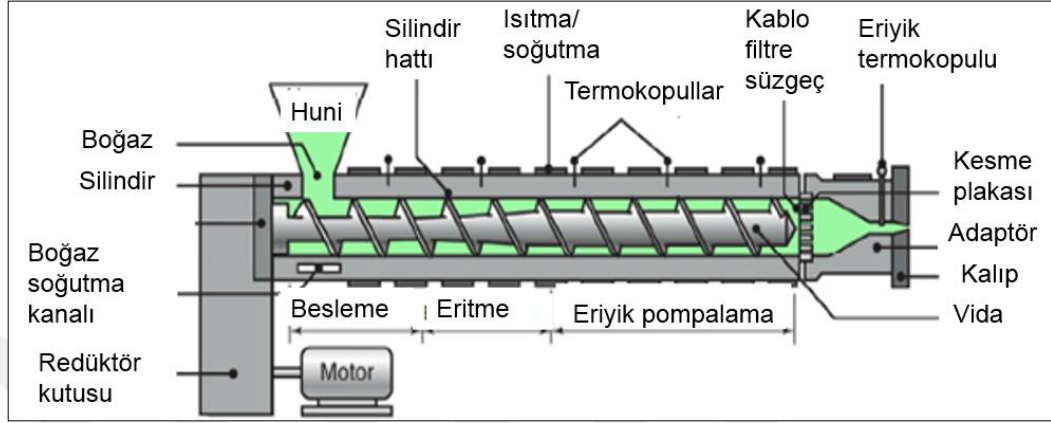
1.1. Ekstrüzyon

Kapalı bir bölmede bulunan malzeme, basınç uygulanması yoluyla; bir açıklıktan kalıba yönlendirilir. Bu esnada malzeme kalıp boşluğunun oluşturduğu şekilde, sabit kesitli sürekli bir ürüne dönüşür [5]. Ekstrüzyonun kullanım amaçlarına örnek olarak eritme, şekillendirme, reaksiyon oluşturma ve karıştırma verilebilir.

Silindir ve vida; ekstruder için önemli olan iki kısımdır [4, 5]. Şekil 1.2’de tipik bir vidalı ekstruder şeması bulunmaktadır.

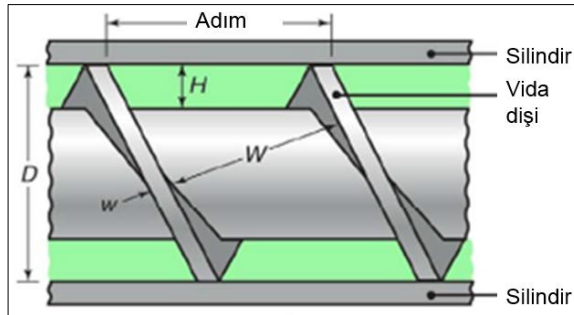
Ekstruder silindirine ait iç çap ölçüsü çoğunlukla 25-150 mm bandında; boy/çap oranı ise 10 ile 30 arasında değişkenlik gösterir. Elastomerlerde bu değerlerin düşük

olanları, termoplastiklerde ise yüksek olanları kullanılır. Şekil 1.2’de de gösterildiği gibi, beslenen malzeme vidanın da yardımıyla silindirin içinden ötelendikten sonra elektrikli ısıtıcılar sayesinde yumuşatılarak eritilir. Karıştırma ve mekanik zorlama ile oluşan ısı, eriyiğin ısınmasına katkıda bulunur [5].



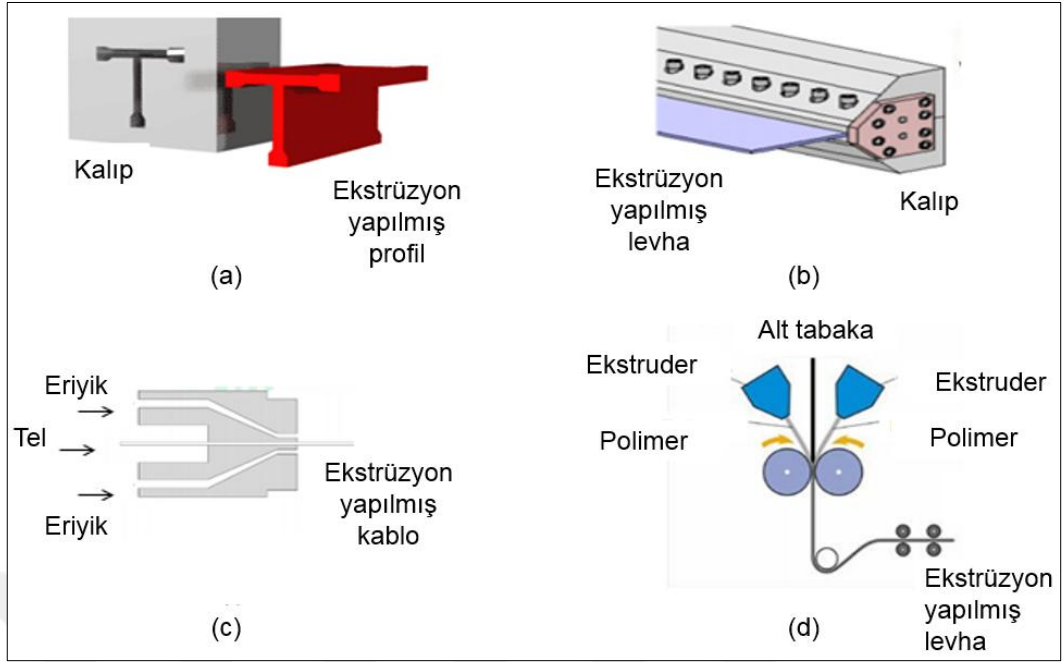
Şekil 1.2. Ekstrüdere ait şema [4]

Görevleri birbirinden farklı üç kısım ekstruder vidasını meydana getirir. İlk kısım olan besleme bölümünde, besleme hunisinden alınan hammadde ısıtılır ve eritme bölümüne transfer edilir. Eritme bölümünde hammadde akışkan hale dönüştürülür, karıştırılır ve basınç altında kalır. Eriyik pompalama bölümüne aktarılan akışkan homojenize edilmesinin ardından kalıp boşluğunun doldurulması için gerekli basınca getirilir. Ekstrüzyon vidasına ait geometri Şekil 1.3’te verilmektedir.



Şekil 1.3. Ekstrüzyon vidası [4]

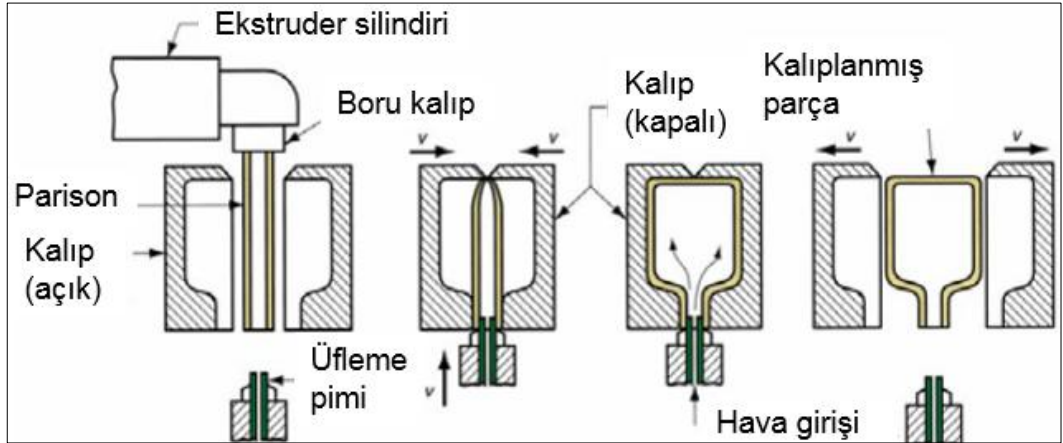
Sürekli bir proses olarak uygulanan ekstrüzyon yöntemiyle, elastomer ve termoplast malzemelerden; kaplı elektrik telleri, film ve levha, hortum, boru, profil, sürekli lifler vb ürünler daha sonradan istenilen boyda kesilme imkanı dahilinde üretilebilir [5]. Bu farklı şekillerdeki ürünleri elde edebilmek için gerekli olan kalıp (kafa) ve bu kafalardan çıkan ürün görselleri Şekil 1.4’te örneklenmiştir.



Şekil 1.4. Farklı tipte kalıp ve ekstrüzyon yapılmış ürün a) Profil [6], b) Levha [7], c) Kablo [7], d) Çift tabakalı levha [7]

1.2. Şişirmeyle Kalıplama

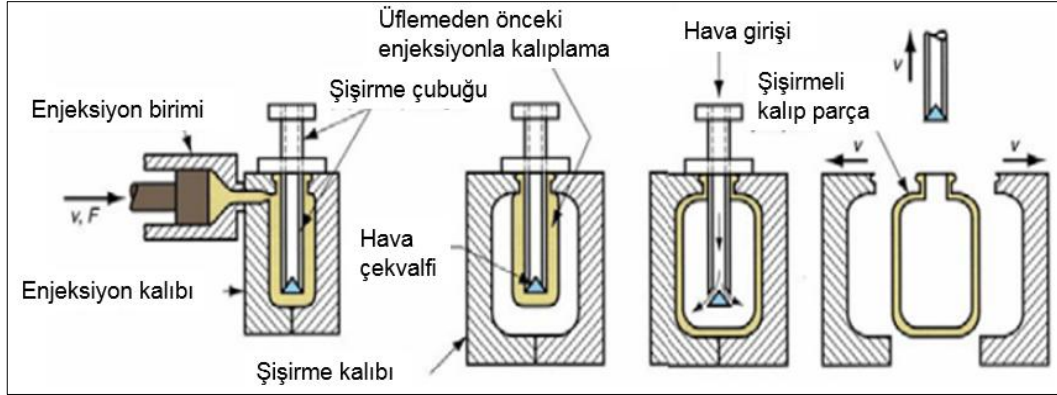
Şişirmeyle kalıplamada, yumuşak plastik şişirilerek, hava basıncının da yardımıyla bir kalıp boşluğuna doldurulması sağlanır.



Şekil 1.5. Ekstrüzyonlu şişirme kalıplama [5]

Ekstrüzyonlu şişirmeyle kalıplamada, Şekil 1.5'te görülebileceği gibi; Parison adındaki, büyük bir damlacık halindeki plastik, kalıp içine yerleştirilir ve kalıp kapandıktan sonra, Parison kalıbı kaplayana dek bir balon gibi şişirilir. Kalıp duvarı su ile soğutulur, böylece plastik hızlıca katılaşır ve şişe çıkartılır. Bu yöntem hızlı ve ucuzdur; aynı

zamanda ince cidarlı şişe imalatı yapılabilir. Ancak karmaşık yüzey geometrisi elde edilemez [8].



Şekil 1.6. Enjeksiyonlu şişirme kalıplama [5]

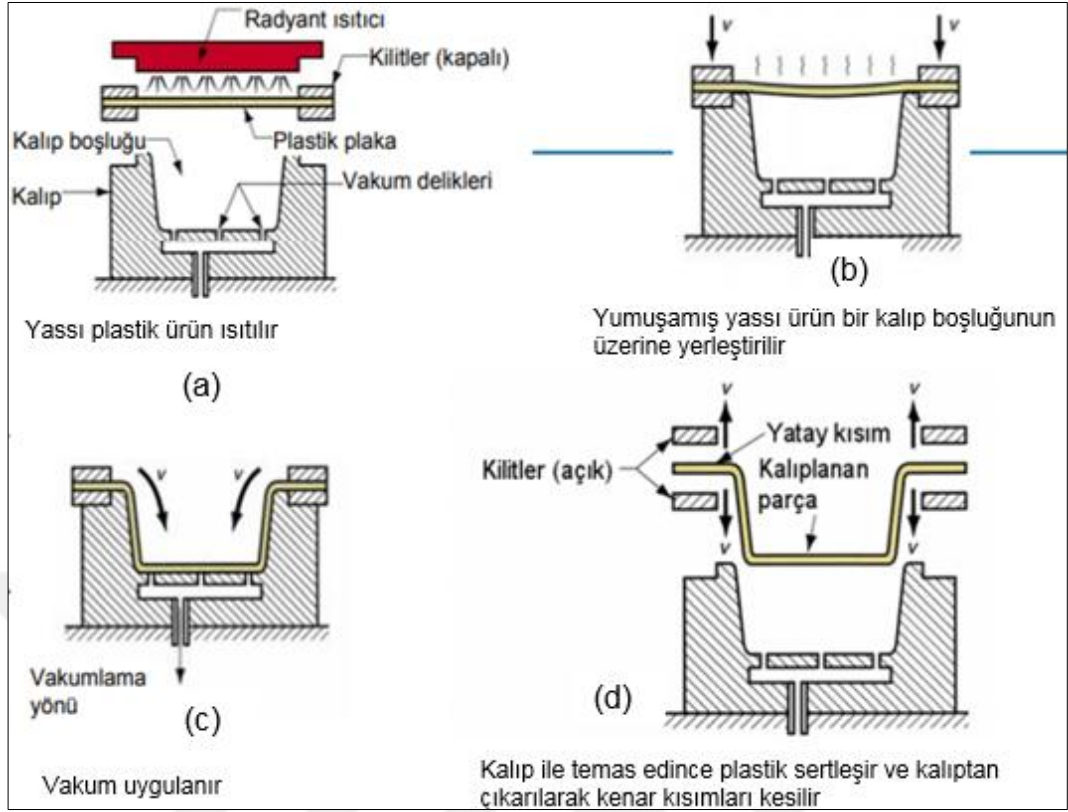
Şekil 1.6'da görülmekte olan enjeksiyonlu şişirme kalıplama yönteminde, malzeme gaz basıncına maruz kalarak kalıba enjekte edilir. Bu proses, şişe ve diğer içi boş cisimleri uniform, kalın ve düzgün cidarlı üretmek için çok daha kontrol edilebilir ve tekrar edilebilirdir. Yüzey kalitesi mükemmel olmasına karşın yavaştır ve ince cidarlı malzemelerin üretiminde tercih edilmez [8].

1.3. Termoforming

Çoğunlukla ekstrüzyon çıktı ürünü olan termoplastik levha veya film ısıtılarak yumuşatılır. Böylece kolay şekillenebilir duruma gelir ve bir kalıp yardımıyla istenilen biçime getirilir [5].

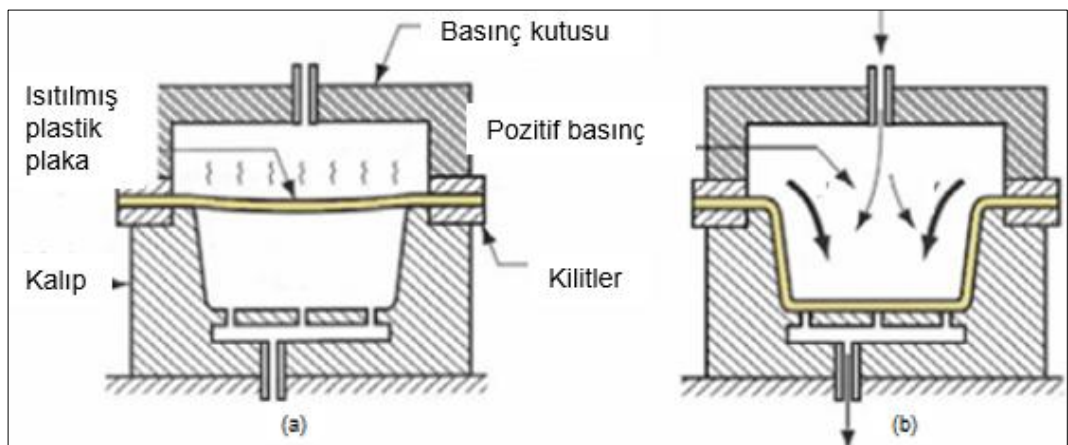
Kalıplama birkaç farklı yöntem ile sağlanabilir. Vakum ile şekillendirme yönteminde, Şekil 1.7'de de gösterildiği gibi, öncelikle plastik levhanın, ısıtıcılar ile 135-200°C'ye getirilmesi sağlanır. Yeterli ısıya erişen levha, kalıp üzerine konumlandırılmasının ardından vakum yardımıyla kalıbın yüzeyini sarar. Bu sayede, levha kalıbın şeklini almış olur. Bundan sonraki aşamada, soğutma işlemi yapılarak şeklin kalıcılığı sağlanır [7].

Nihai şeklini alan levhanın kalınlığı her bölgesinde aynı değildir. Dolayısıyla köşe bölgelerde incelme, kalıptaki derinliğin fazla olması sebebiyle yırtılma, desenli yüzey desen kaybı görülebilir. Vakum destekli termoformingde dişi kalıp (Şekil 1.7) haricinde, erkek kalıp da kullanılabilir.



Şekil 1.7. Vakumla termoforming [5]

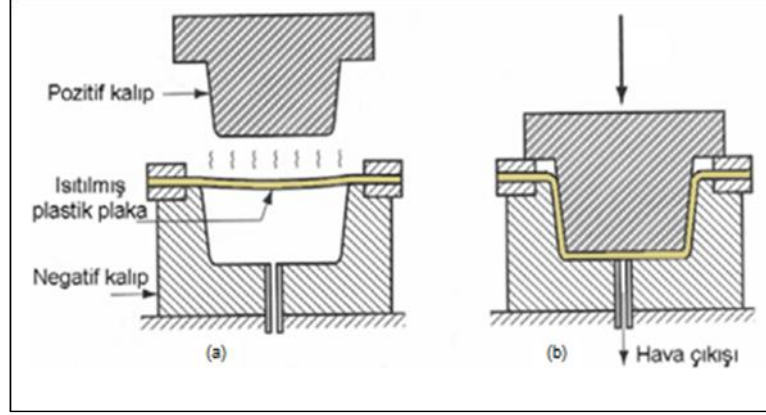
Termoformingde izlenen ikinci bir yöntem basınçlı hava ile şekillendirme. Şekil 1.8'de şematize edilen bu yöntem, vakumla şekillendirmenin tamtersidir. Isıtılmış levha, basınçlı hava (4-6 atm) yardımıyla kalıp üzerine basılır. Levha ile alt kalıp arasında kalan hava, havalandırma deliklerinden çıkış yapar [7].



Şekil 1.8. Basınçlı hava ile termoforming a) Yassı ürün kalıp boşluğunun üzerine yerleştirilir ve b) pozitif basınç, yassı ürünü kalıp boşluğu içine girmeye zorlar [5]

En son yöntemse, dişi ve erkek kalıp uygulanabilen, mekanik sistemdir. Şekil 1.9'da şematize edilmiş olan bu yöntemde, vakum veya basınçlı hava yoktur. Yalnızca üst

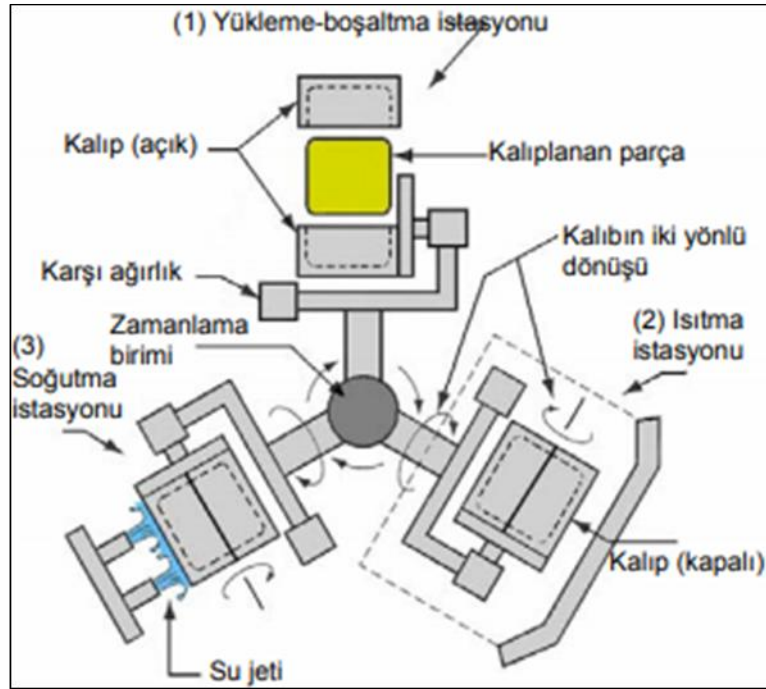
ve alt kalıp vardır. Bu işlemde levha ısıtılarak alt kalıba yerleştirilir. Üst kalıp aşağı doğru bastırılır. Ürün, hem üst kalıbın hem de alt kalıbın şeklini alır [7].



Şekil 1.9. Mekanik sistem ile termoforming a) Isıtılmış plaka negatif kalıbın üzerine yerleştirilir, b) Plakayı şekillendirmek üzere kalıp kapatılır [5]

1.4. Rotasyon Kalıplama

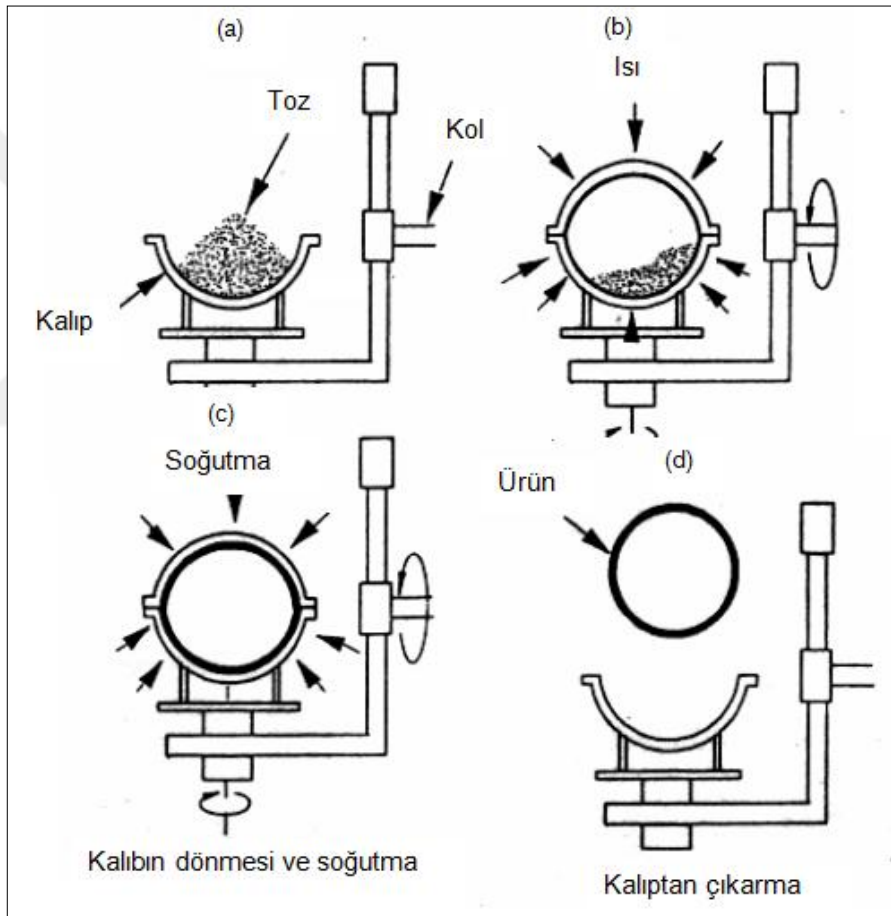
Arzu edilen büyüklüğe ve şekle sahip olan; yanısıra ek olmadan içi boş ve sağlam yapıdaki parçaların üretimi içim geliştirilmiş bir yöntem olan rotasyon kalıplamanın çevrim süresi diğer yöntemlere göre daha fazladır.



Şekil 1.10. Rotasyon kalıplama [5]

Şekil 1.10 ve Şekil 1.11’de şematize edildiği şekilde; yöntemde, toz veya sıvı haldeki ham malzeme karışımı belirlenen miktarda kalıp içine konur. Kalıp kapanır ve birbirlerine dik iki eksen etrafında döndürülmesi sağlanır. Döndürme esnasında, merkezkaç kuvvetleri etkisi altında malzeme, kalıp cidarına yayılır. Döndürme devam ederken kalıp da ısıtılır [5, 9].

Isıtma esnasında polimer ergir ve viskozitesi de düşer. Eğer kalıbın içinde termoplastik bir malzeme varsa erir; termoset bir malzeme varsa sertleşir. İşlem tamamlandıktan sonra, döner kalıp soğutulur ve parça kalıptan alınır. Bir sonraki çevrim için gerekli kalıp temizliği ve hazırlıklar yapılarak işlem devam eder [9].



Şekil 1.11. Rotasyon kalıplama aşamaları a) Tozun kalıba konulması ve kalıbın kapanması, b) Kalıbın iki eksende döndürülmesi ve ısıtılması, c) Kalıbın döndürülmesi ve soğutulması, d) Parçanın kalıptan çıkartılması [9]

Isıtma ve döndürme şekline göre iki ayrı rotasyon kalıplama metodu mevcuttur:

- "Rock'n roll " metodunda, direkt dışardan (çıplak alevle) ısı verilir ve bu esnada kalıbın bir açıyla ileri-geri titreşmesi sağlanır.

- İkinci metot olan sıcak havalı sistemlerde, kalıp; bir fırındayken birbirlerine dik iki eksen etrafında dönmesine olanak verilir.

Daha kısa sürede ısıtma sağlayan ve daha ekonomik olan rock'n roll'dür. Bununla birlikte, bu metotta kalıpların emniyet sebebiyle bir bir ve sırayla ısıtılmaları öngörülmüştür. Sıcak havalı sistemlerde ise, birden çok sayıda kalıp aynı anda kullanılabilir. Rotasyonda kullanılan kalıplar, basınç oluşmadığından, genellikle haddelenmiş çelik ürünleri veya alüminyum döküm ile elde edilir. Rock'n roll metodunda çoğunlukla basit; sıcak havalı sistemde ise karmaşık şekillerin üretimi gerçekleştirilir [9].

Rotasyon kalıplamanın en büyük avantajı, hammadde çeşidine bağlı olarak kontrollü soğutma ile kalıptan çıkarılan ürünün, ebatsal kararlılığa sahip olmasıdır. Ürün, gerilmeden yoksundur. Çeşitli renklerdeki farklı hammaddeler aynı anda kalıplanabilirler. Darbe dayanımı yüksek ve rijitliği arttırılmış bir parça elde edebilmek için, kalıplama birkaç aşama ile zenginleştirilebilir. Proses kaynaklı hurda malzeme en az seviyeye indirilmiştir. Yüksek basınçlarla imalat yapılmadığı gibi, kalıp maliyeti de paralelinde ucuzdur. Eğer ürüne çeşitli metal bağlantılar/aksesuarlar eklenmesi gerekiyorsa, proses esnasında kolaylıkla uygulanabilir. Üründe çapak vb oluşmaz. Ek olarak, ürün aşırı gerilim yüklemesi etkisinde olmadığı için, daha sonrasında da gerilim çatlaması gibi olumsuzluklar meydana gelmez. Parça et kalınlıkları, örneğin şişirme ile kalıplamada elde edilenden daha homojendir. Yalnızca köşe kısımlardaki et kalınlığı, geriye kalan diğer kısımlardan daha yüksektir, ki bu durumun da bir artı olduğunun belirtilmesi gereklidir. Bunun haricinde ek rotasyon kalıplama işlemiyle katmanlı ürünler de elde edilebilir [5, 9].

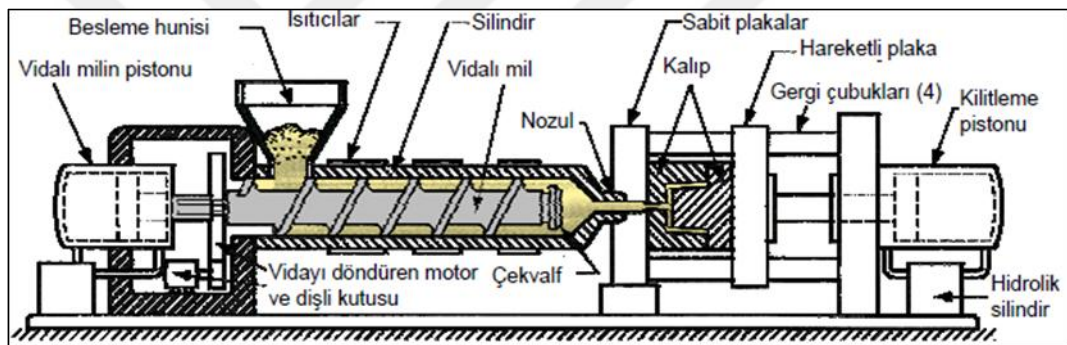
Yöntemin önde gelen dezavantajı; ısıtma ve soğutmanın yalnızca kalıp dışına uygulanmasından dolayı, bu süreler oldukça uzundur. Toz formunda kullanılabilen hammadde, diğer imalat yöntemlerinde kullanılan granüllere nazaran daha maliyetlidir. Çıktı mamülde yalnızca dış boyut ölçüleri hassasiyetle elde edilebilir. Proseslenebilecek olan polimer sayısı kısıtlıdır. Örneğin, PE için erime akış indeksi değeri yüksek; yani molekül ağırlığı nazaran küçük olanlar daha iyi sonuçlar verir. Yine PE'de, dallanmış çeşitler tercih edilir. Parçalarda delik vb gibi bazı detaylar, kalıplama sırasında elde edilemediği için, ürün oluştuktan sonra mekanik olarak işlenmesi gereklidir [5, 9].

1.5. Enjeksiyon Kalıplama

Püskürtmeli kalıplama ya da enjeksiyon kalıplama olarak da adlandırılan enjeksiyon yöntemi; plastik ürün imalatında kullanılan ve kullanım yaygınlığı gün geçtikçe diğerler imalat tekniklerine nazaran artış gösteren en önemli yöntemlerden biridir.

Bu yöntem, girdi hammaddeyi tek bir işlem ile istenilen biçimde kalıplanarak çıktı ürüne dönüştürebildiği ve çoğunlukla ürün için işlem sonrası ek işleme ihtiyaç duyulmadığı için seri üretimde tercih edilmektedir [10].

Şekil 1.12’de tipik bir makine şeması bulunan enjeksiyon prosesi kabaca; toz ya da tanecik halde bulunan hammaddenin, ısıtılmış bir silindir yardımıyla eriyik haline getirilmesi ve basınç uygulanarak kapalı kalıba enjekte edilmesi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.12. Enjeksiyon makinesi kesiti [5]

Enjeksiyon metodunda, istenilen biçimde ürün elde edilebilmesi için 3 ana unsurdan bahsetmek mümkündür:

1. Makine
2. Kalıp
3. Kontrol sistemi

1.5.1. Enjeksiyon makinesi

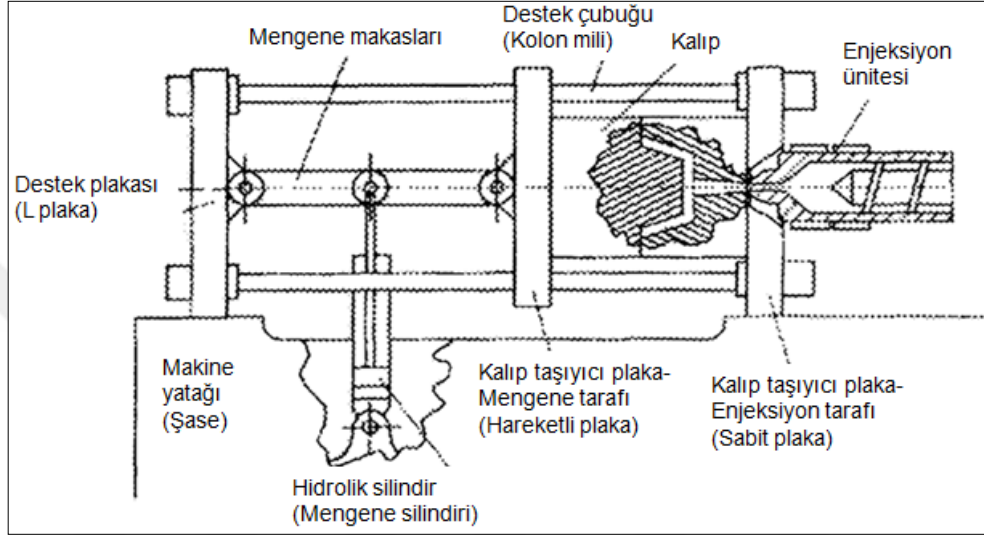
Enjeksiyon makinesi; enjeksiyon ünitesi ve mengene ünitesini içinde bulunduran bir sistemdir.

Enjeksiyon ünitesinin (Şekil 1.13) temel amacı, hammaddeyi eriyik haline getirmek ve kalıba iletmektir. Her baskıda aynı ağırlıkta ve eşdeğer kalitede parça elde edebilmek

Üretim teknolojilerinin gelişmeye başladığı ilk zamanlarda ham malzemenin silindirik duvarlarından ısı transferi yoluyla ısıtıldığı, pistonlu tip enjeksiyon makineleri kullanılmaktaydı. Günümüzde ise vidalı tip enjeksiyon üniteleri kullanılmaktadır. Bu tür üniteler aynı zamanda piston görevini de gören bir vida ile çalışır [11]. Vida dönerken aynı zamanda huniden ham malzemeyi alır. Vidanın dönme hareketi ile ileriye doğru itilen malzeme, vidanın maruz bıraktığı sürtünme ısı ve ocak ısıtıcılarından da aldığı ısı ile erimeye başlar [10].

Enjeksiyon makinesi ait diğer bir kısım da mengene (kilitleme) ünitesidir. Mengene ünitesinin başlıca görevleri; kalıbı kapamak, enjekte edilen eriyiğin ürün haline dönüşebilmesi için kalıbı kapalı tutmak ve ürünün çıkarılabilmesi için kalıbı açmaktır.

Tahriği çoğunlukla hidrolik olan mengene ünitesi, yatay bir prese benzer. Şekil 1.14'te gösterildiği şekilde, ana olarak; sabit bir plaka, hareketli bir plaka, L (destek) plakası ve hareketli plakanın hareketini sağlayan bir tahrik sisteminden oluşur. İki parçadan oluşan kalıbın bir parçası aksenal hareket eden hareketli plakaya, diğer parçası ise sabit plakaya monte edilir. L-plaka normalde hareketli olmayıp sadece farklı kalınlıklardaki kalıp ayarları için hareket ettirilir [10].



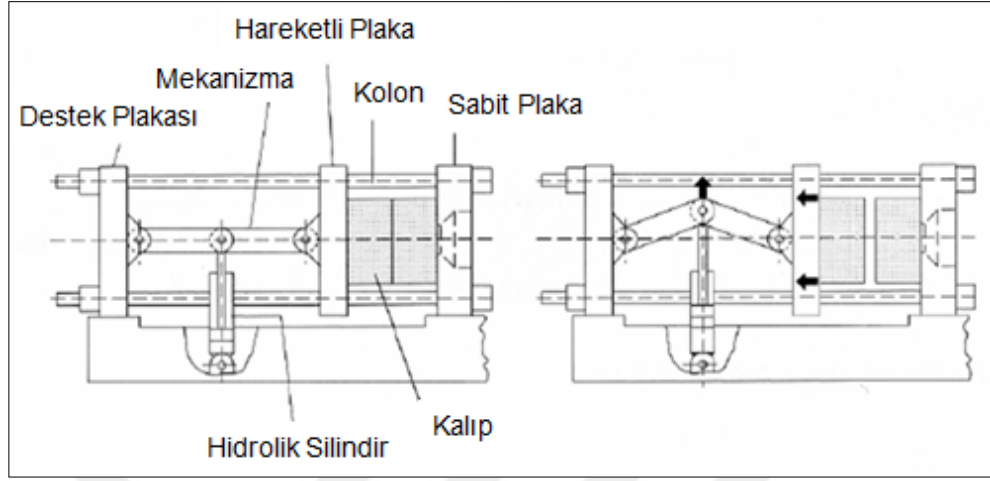
Şekil 1.14. Bir plastik enjeksiyon makinesinin mengene sistemi [10]

Mengene sistemi, gerekli kuvveti uygulayarak kalıbı kapalı tutabilmelidir, ki aksi halde çıktı üründe enjeksiyon hataları meydana gelebilir. Makine gücünü ve dolayısıyla büyüklüğünü belirleyen 'kalıp kapama kuvveti' karakteristiği, bu sebepten dolayı vardır. Genellikle 25 ile 5000 ton aralığındadır [10].

Kilitleme esnasında yeterli kuvvetin üretilebilmesi için uygulanan dört farklı sistem bulunmaktadır:

1. Mekanik kapama; hidrolik silindir ile kontrol edilen makaslı kolların kalıbın açılıp kapanmasını sağlayan sistemdir.
2. Hidrolik kapama; hidrolik bir silindirin kalıbı açıp kapatmak üzere direkt hareketli kalıp parçası üzerinde çalıştığı sistemdir. Bu sistem ile kalıp ayarının yapılması epey basittir. Keza kalıp ayarının yapılması esnasında, destek plakasını değiştirmeye gerek yoktur; pistonun konumunu değiştirmek yeterlidir.
3. Hidromekanik kapama (Şekil 1.15); hidrolik ve mekanik sistemlerin özelliklerine aynı anda sahip olan sistemdir. Hidromekanik kapama sisteminde

kilitleme kuvveti, küçük stroklu ve geniş etki alanına sahip bir hidrolik piston tarafından uygulanır. Böylece yağın gereksiz dolaşımı da önlenmiş olur.



Şekil 1.15. Açık kapama sistemi [11]

4. Açık kapama (Şekil 1.14); hidrolik mekanizma ile kumanda edilmesine rağmen teleskopik silindir yardımı ile kapatmanın yapıldığı, yüksek tonajlı enjeksiyon preslerinde kullanımı yaygınlaşmakta olan sistemdir [11].

Tablo 1.2. Mengene sistemlerinin avantajlarının ve dezavantajlarının karşılaştırılması [11]

Mengene Sistemleri	Mekanik	Hidrolik	Hidromekanik
Enerji ihtiyacı	+	-	+
Emniyet	+	+	+
Mengene plakalarının stabilitesi	-	+	+
Mengene plakalarının paralelliği	+	-	-
Mengene kilitleme kuvveti	+	+/-	+
Hareketlerin tekrarlanabilirliği	+	-	+
Kuvvetlerin tekrarlanabilirliği	-	+	+
Hız ayarlaması	-	+	-
Kapama zamanı	+	+	+
Açma kuvveti	+	-	-
Sağlamlık	+	-	-

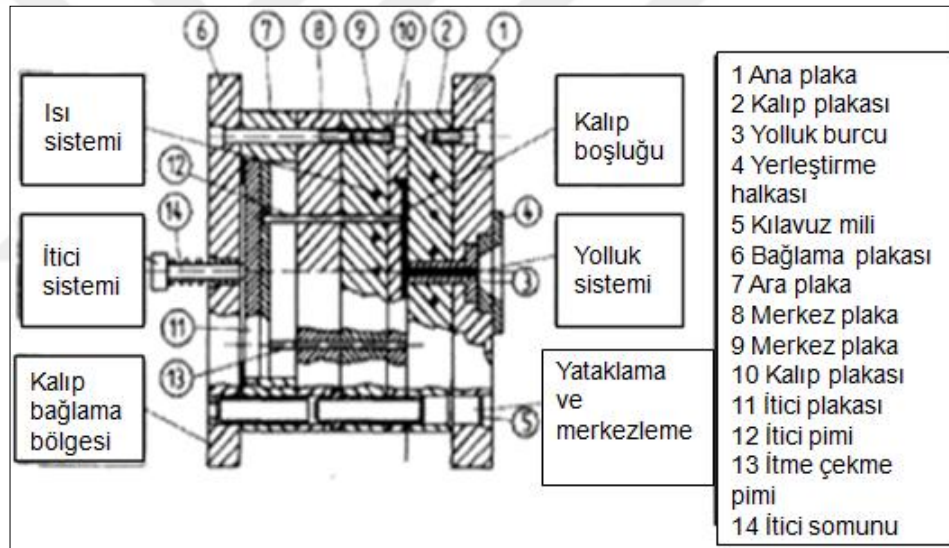
+: Avantaj, -: Dezavantaj; +/-: Hiçbiri

Enerji ihtiyacından, emniyete; mengene plakalarının pozisyonlarından, kilitleme kuvvetine pek çok karakteristik Tablo 1.2'de karşılaştırılmıştır.

1.5.2. Kalıp

Enjeksiyon kalıbı, iki veya daha fazla parçadan oluşmakta olup, enjeksiyon işlemi sürecinde en önemli yapıtaşlarından biridir. Bunun sebebi, kalıbın parçaya özgü olması ve baskının kalıba yapılmasıdır. Üretilmek istenen parçaya göre kalıbın yapısı ve malzemesi değişiklik göstermektedir.

Kalıbın temel görevleri; ergimiş malzemenin kalıp boşluklarında kolayca akışını sağlamak, ergimiş malzemeye son şeklini vermek ve nihai şeklini almış malzemeyi soğutarak ürün haline getirip uygun bir şekilde dışarı atmaktır. Şekil 1.16'da kalıp şematize edilmiştir.

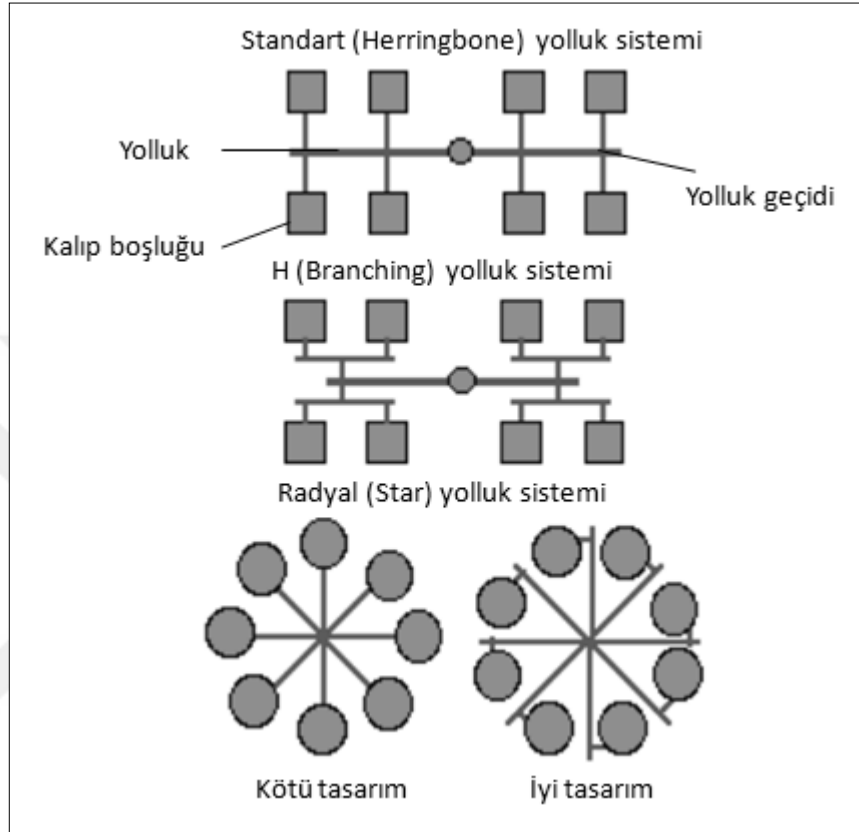


Şekil 1.16. Bir enjeksiyon kalıbının yapısı [10]

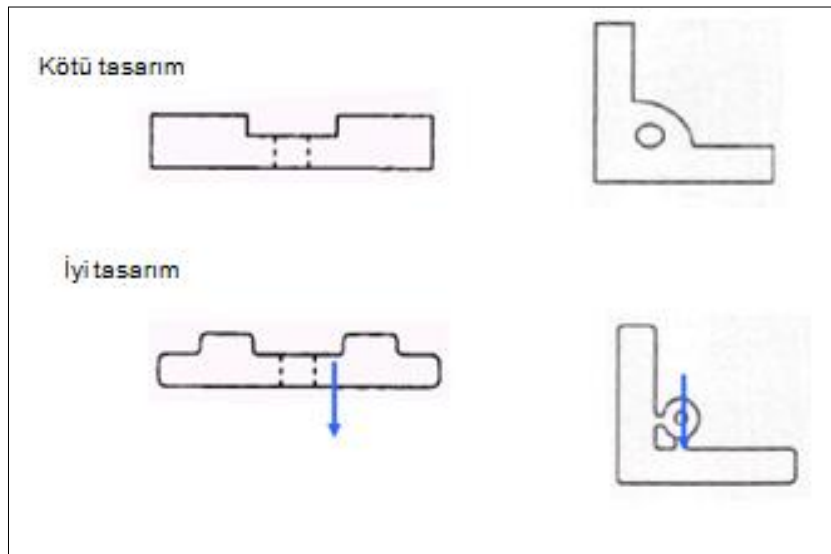
Bir kalıp temelde dört ana parçadan meydana gelir:

- Yolluk sistemi: Eriyik malzemeyi boşluklara dağıtır. Şekil 1.17'de farklı yapılarda yolluk sistemleri bulunmaktadır. Enjeksiyon boyunca, kalıba yüksek basınçta sıcak malzeme enjekte edilir. Çok boşluklu kalıplarda eriyiğin aynı zaman, ısı ve basınçta dolmasını sağlayacak tasarım yapılmalıdır. Aksi takdirde aynı baskıdan aynı kalitede parça elde edilemeyecektir [10]. Eriyiğin katılaşmasını engellemek için yolluk kanallarının çevresine ısıtıcılar yerleştirilir. Buna 'sıcak yolluk' adı verilir [5].

- Kalıp boşluğu: Sıcak eriyiğin içine enjekte edildiği kalıp boşluğu, parçaya nihai şeklini verir. Parçaya ait iç gerilmeler ve makro moleküllerin dağılımı, yolluk sistemi ve kalıp boşluğu ile doğrudan ilintilidir [10]. Şekil 1.18’de verilmiş olan kalıp tasarımları, gerilme yığılmalarının önlenmesi konusunda bilgi vermektedir.



Şekil 1.17. Farklı tiplerde yolluk sistemleri [9]



Şekil 1.18. Kalıp tasarım şeması [9]

- Isı sistemi: Bu sistemin görevi, kalıbı dolayısıyla içindeki malı soğutarak dışarı çıkışını sağlamaktır [10]. Kalıp cidarı sıcaklığı parça kalitesi, işlemin ekonomikliği ve boyut hassasiyeti ile soğuma zamanını belirler. Soğutma tasarımı çevrim süresini doğrudan etkileyen öncül parametrelerdendir. Çevrim süresinin uzaması ile ilintili olarak parça birim maliyeti de doğru orantıda değişecektir. Parçanın kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelmesine dek ısısı alınmalıdır. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir [13].

Plastik malzemelere ait enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları Tablo 1.3'te de görüldüğü üzere oldukça geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Dolayısıyla tasarımcı, malzeme özelliklerine göre soğutma sisteminin gösterebileceği davranışı da bilmelidir [10, 13].

Soğutma genellikle su ile sağlanır. Kireçli su, kalıbın uzun süreli çalışmasında soğutma kanallarında tıkanma problemi oluşturabilir. Bunun dışında kanal çeperini çevreleyen kireç tortusu, ısı transferinde olumsuz rol oynar. Kalıp çıkışında ısınan su kapalı bir çevrim ile soğutma kulesine geri döndürülerek sıcaklığı düşürülür ve soğumuş olarak tekrar kalıbın soğutma kanalları girişine gönderilir. ABS veya PC gibi bazı hammadeler için kullanılacak soğutma suyu, kalıbın sağlıklı çalışabilmesi için girmeden önce, bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklık belli bir seviyeye getirilir [13].

Çoğunlukla et kalınlığı az ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesi gerekmeyen kalıplama işlemlerinde, basınçlı havalı soğutma sistemi kullanılır [10, 13].

Tablo 1.3. Çeşitli polimerlerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları [13]

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polietilen	170-230	0-70
Polistiren	200-250	0-60
Poliamid (Naylon)	240-320	40-120
Akrilonitril-stiren	230-260	50-80
Polikarbonat	280-310	85-140
Poliasetal	180-230	70-130
Polipropilen	180-280	0-80
Akrilonitril-bütadien-stiren	180-240	50-120

- İtici sistemi: Ürün haline gelmiş malzemeyi kalıp dışına atar. İtici mekanizması otomatik itme ve yarı otomatik itme olarak iki farklı türde olabilir. Yarı otomatik itme sisteminde, operatöre ihtiyaç vardır. Otomatik itme sisteminde ise herhangi bir dış müdahaleye gerek duyulmaz. İtmedeki ana kanun, kalıp açıldığında ürünün itme olayının gerçekleşeceği tarafta kalmasıdır. Eğer ürüne yeterli ve doğru bir çıkış açısı verilirse, ürün istenilen tarafta kalcaktır. Bunu garanti altına almak için kalıbın gerekli bölgelerine ters açı (undercut) verilebilir [13].

1.5.3. Kontrol sistemi

Enjeksiyon makinelerinde farklı tipte kontrol sistemleri kullanılır. Bundan dolayı, proses esnasında kontrol ünitesinin ekranında görüntülenmesine ihtiyaç duyulan bazı fiziksel değerler vardır. Kontrol edilmesi gereken basınç, hız, konum ve sıcaklık gibi fiziksel değerler termokupul (thermocouple), basınç ve konum transduserleri gibi özel aletlerle tespit edilerek kontrol bilgisayarına gönderilir. Gerekli işlevler, gelen bilgiler ışığında kontrol sistemince yerine getirilir [10].

1.5.4. Enjeksiyon çevriminin aşamaları

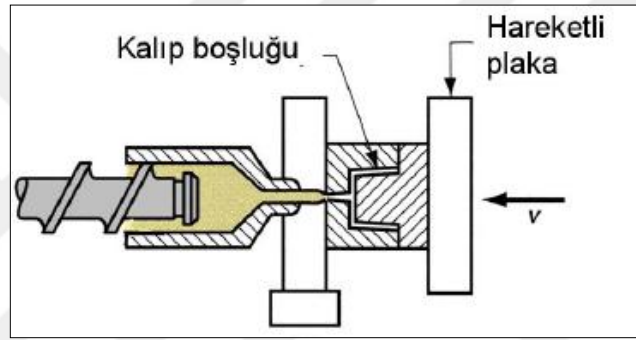
Enjeksiyonla kalıplama yöntemde amaç, kalıplanmak istenen malzemeyi homojen bir biçimde kalıplama sıcaklığına gelene dek ısıttıktan sonra, piston yardımıyla memeden ve sonrasında yolluk sisteminden geçirerek ısıtılmış olan kalıp boşluğuna basınç yardımıyla enjekte etmektir.

Tüm plastik malzemelere uygulanabilmekte olan bu yöntem, granül ya da toz halindeki malzemeyi; homojen biçimde ısıtan, birtakım katkıları homojen olarak karıştıran ve istenen biçime getiren en hızlı kalıplama metodudur. Bu sebeple plastik parçaların eldesinde en çok plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılmaktadır [13].

Parça geometrisi ve malzemenin karakteristiklerine ilaveten enjeksiyon yönteminin bir bütün olarak kendisi de parçanın ve parça özelliklerinin üzerinde büyük derecede etkisi vardır [11].

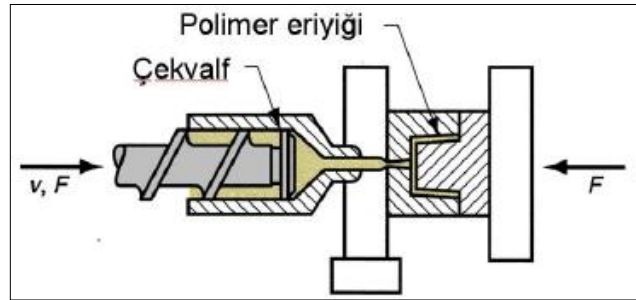
Enjeksiyon kalıplama yöntemini oluşturan her süreç, kısmen de olsa kendisinden gelen bir sonraki safhaya girerek etki edebilir [13]. Parça kalitesine de doğrudan etkisi olan yöntem kabaca şu şekildedir:

- İlk olarak cihaz, malzeme ve kalıp hazırlıkları yapılır. Eğer hammadde nemliyse kurutma işlemine tabi tutulur. Çoğunlukla 2 saatlik zaman dilimi içerisinde 60-70°C'de kurutma için yeterlidir. Dolgu veya renklendirme madde katkısı ihtiyacı varsa ilave edilir [9].
- Orta yumuşama sıcaklığındaki plastikler için kalıp sıcaklığının 50-70°C olması, üretimde iyi sonuç verir. Kalıp soğuk olmamalıdır [9].
- Granül hammadde, besleme hunisinden vidaya aktarılır [9].
- Çevrim, kalıbın yani mengenenin kapanması ile başlar [10]. Şekil 1.19'da kalıbın kapatılması şematize edilmiştir.



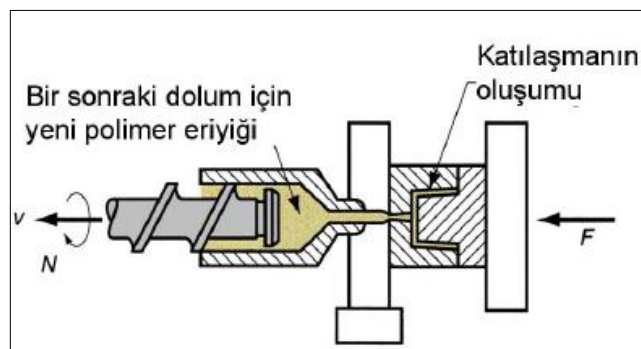
Şekil 1.19. Kalıbın kapanması [5]

- Enjeksiyon grubunun ileri gelmesi: Makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir [13].
- Malzemenin kalıba dolması Şekil 1.20'de gösterilmektedir. Enjeksiyon lülesi ile yolluk burcu temasının sağlanması ile birlikte, plastik ünitesi basıncı yükselmeye başlar ve böylece enjeksiyon operasyonu başlayabilir. Bu aşama, parça ebadına ve operasyon sırasına göre birkaç saniye kadar sürebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan şartlar, kalite açısından parçanın birtakım önemli karakteristiklerini etkiler. Ergimiş malzeme kalıp cidarıyla temas eder etmez soğuduğu için enjeksiyon safhası ile aynı anda başlar [11].
- Kalıba dolan plastik malzeme, soğuk kalıp duvarlarına değdiği anda, yani enjeksiyon işlemi başladığında soğuma meydana gelir [10].



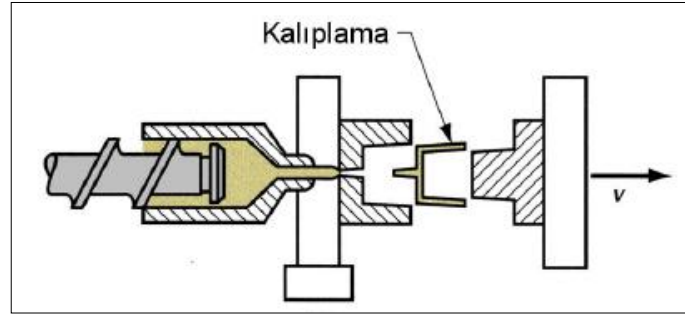
Şekil 1.20. Malzemenin kalıba dolması [5]

- Enjeksiyon safhasının ardından tutma (ütüleme) basıncı safhası başlar. Bu safha boyunca plastik ünite vidasının aksenal hareketi, yeterli malzemeyi kalıba sokmak için kalıp içinde soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi azaltmak için yavaşça gerçekleşir. Plastik ünitesi, enjeksiyon ve tutma süreçlerinde kalıp ile temas halinde olup parçanın boyut hassasiyeti, ağırlığı ve iç yapısı bu süreçte etkilendiğinden en önemli safhalardan biri olarak sayılır [13].
- Enjeksiyon grubunun geri gelmesi ve plastikasyon (Şekil 1.21) aşamasında, makine lülesi tutma basıncının uygulanmasının ardından geriye çekilir. Akabinde bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Fakat bu yalnızca makine lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması halinde olasıdır. Uygun seçilmiş bir makine ile üretim yapılıyorsa, kalıbın soğuması tamamlanmadan önce plastikleşme aşaması tamamlanmış olur. Uygun olmayan makine ile imalatla çevrim süresi plastikleşme performansındaki yetersizlikten dolayı artacaktır. Bu da birim parça maliyetinde artışa yol açar. Ürün, plastikleşme safhasının ardından yeterli mekanik kararlılık sağlanana dek soğutulur [13].



Şekil 1.21. Enjeksiyon grubunun geri gelmesi [5]

- Son safhada kalıp açılarak parça kalıptan çıkartılır (Şekil 1.22) ve sonrasında sıradaki çevrim başlar [13].



Şekil 1.22. Kalıbın açılıp parçanın dışarı atılması [5]

1.5.5. Enjeksiyon kalıplama proses parametreleri

Enjeksiyon prosesi de, parça geometrisi ve kullanılan hammaddenin spesifikasyonları ile birlikte ürünün özelliklerini etkilemektedir. Her ne kadar kalıp tasarımı kaynaklı hatalar kolaylıkla düzeltilemez ise de, proses parametreleri ile bazı sınırlarda azaltılabilmektedir. İyi kaliteye sahip bir ürünün üretilmesinde kalıp ile birlikte makina çalışma parametrelerine ve çevre şartlarına hâkim olmanın etkisi büyüktür. Plastik enjeksiyon sürecinde ürün kalitesini etkileyen parametreler belirtilmiştir:

Enjeksiyon hızı: Vidanın piston benzeri hareketinin sayesinde kalıbın dolma hızına denir. İnce kesitlere sahip bir parça üretmek için yüksek enjeksiyon hız ile plastik donmadan önce kalıbı doldurmak gereklidir. Ancak kalın kesitlere sahip parçalarda düşük enjeksiyon hızı ile daha iyi yüzey elde edilir. Açık ya da kapalı devre sistemi yardımıyla enjeksiyon hızı, kalıp doldurma sırasında programlanabilir [14].

Enjeksiyon zamanı: Malzemenin kalıba dolmaya başladığı an ile tutma basıncının uygulanmaya başladığı an arasındaki safhadır ve çoğunlukla hız kontrollü olarak gerçekleştirilir. Vidanın eriyiği kalıba itmek için kullandığı hız profili, 5 ile 10 basamak arasında değişir ve diğer işlem parametreleri gibi kalıba ve malzemeye göre ayarlanmalıdır. Süreçte çoğunlukla malzeme düşük hızla kalıba enjekte edilmeye başlar ve sonrasında zamanı kısaltmak adına hız artırılır. En son kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılarak işlem tamamlanır. Enjeksiyon hızı, kalıba herhangi bir zarar vermemek adına başlangıç ve bitişte düşük tutulur. Her malzeme, makina ve kalıba göre (yani ürün) bir optimum enjeksiyon zamanı aralığı mevcuttur ve özellikle ekonomik sebepler açısından bu zaman aralığı çok önemlidir [13].

Enjeksiyon basıncı: Kalıbın yüksek hızla doldurulması için yüksek basınç gereklidir. Ancak kalıbın dolmasının ardından yüksek basınç tercih edilmez. Çoğu enjeksiyon sürecinde ilk yüksek basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip eder. Oryantasyon

(plastığın akış yönünde moleküllerin yönlenmesi) oranının azaltılması gerektiğinden kalıp mümkün olduğu kadar hızlı doldurulmalıdır ve erimiş plastik soğutulurken sürtünmemelidir. Aksi takdirde plastik soğuk ve uzayarak akar ki bu da tercih edilen bir durum değildir [14].

Ütöleme basıncı ve zamanı: Enjeksiyon basıncının hemen arkasından, enjeksiyon memesi henüz kalıp ile temastayken ütöleme basıncı uygulanır. Ütöleme basıncının parçanın boyutsal hassasiyeti, ağırlığı ve iç yapısına etkisi önemli boyuttadır. Ütöleme basıncı aşamasında, düşük eksenel hızda ilerleyen vida; erimiş plastik malzemenin soğuk kalıp duvarlarına temas etmesinden dolayı hemen büzülme eğilimine girmeye başlamasını telafi edebilmek adına yeterli erimiş plastik malzemeyi, farklı basınç değerleriyle enjekte etmeye devam eder. Ütöleme basıncının uygulandığı zaman dilimine ütöleme zamanı denir. Ütöleme zamanı gereğinden az olduğu takdirde ütöleme basıncıyla birlikte kalıp içerisine giren ergimiş malzeme de az olacak ve kalıp içerisine giren ve soğuyarak büzülen malzemenin kalitesi düşecektir. Ütöleme zamanının daha uzun tutulmasıyla kalıp içerisine giren eriyik malzeme miktarı ve onun da etkisiyle ürünün kalitesi de artacaktır [13].

Eriyik sıcaklığı: Enjeksiyon makinasında ocak duvarlarından sert plastik granüllere ısı verildiği gibi vidanın dönmesi de ilave bir ısı sağladığından plastik bu şekilde ısıtılır. Ocak duvarları ile vidanın dönmesinden elde edilen ısı, eriyik ısıdır. Eğer sıcaklık düşük tutulursa kalıp içerisine gönderilmiş olan ergimiş plastik daha erken soğur ve kalıplanan parçanın kalitesi yetersiz olur. Eriyik ısının yüksek tutulması ile ergimiş plastik kalıp içerisinde daha geç soğur ve parça kalitesi artar. Bunun haricinde eriyik sıcaklıklarının parçaların yüzey görünümüne olan etkisi oldukça fazladır [13].

Kalıp sıcaklığı: Kalıp cidarı sıcaklığının, parçanın boyut hassasiyetine, kalitesine ve işlemin ekonomikliğine etkisi oldukça fazladır. Ayrıca bu sıcaklık, malzemenin ısısal karakteristiği dışında soğuma zamanını da etkilemektedir. Burada kalıp cidarı yüzeyinin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı olarak kabul edilmektedir [10, 13, 14].

Sıcak yolluklar ve sıcaklıkları: Sıcak yolluk sisteminde eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon silindirinden kalıp gözüne kadar olan mesafede sıcaklık ve basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan iletilmektedir [10, 13].

Mengene basıncı: Mengene uygun basınç değeri ile kalıbı kapalı tutarak çevrimin sürdürülmesini sağlaması önemlidir. Aksi takdirde parça üzerinde çapaklanmalar meydana gelecektir.

İtici ve sıyrıcı sistemler: Parça kalıp içerisinde hedeflenen soğuma işlemini tamamladıktan sonra iticiler ile yarı otomatik veya otomatik olarak kalıp yüzeyinden sıyrılır. İtici pimler ile yapılan bu işlemde itici pim izlerinin parça üzerinde oluşarak görsel veya yüzeyde çökme/delinme kalite hatalarına sebep olmayacak aralıklarda çalışmalıdır.

1.5.6. Enjeksiyon hataları

Bir parçada oluşan hata; makine, kalıp, enjeksiyon parametreleri, makine veya tasarım kaynaklı olabilir. Tablo 1.4'te enjeksiyon hataları ve olası nedenleri tablosunda da görülebileceği şekilde; çoğu enjeksiyon hatasını iyileştirebilmek için öncelikle proses parametrelerine müdahale edilir. Burada çoğunlukla tasarım, makine ve hammadde seçimlerinin başlangıç aşamasında uygun biçimde yapıldığı varsayımı ile ilerlenir.

Tablo 1.4. Enjeksiyon hataları ve olası nedenleri [9, 10, 13, 15, 16, 17]

Hata Tanımı	Olası Neden
Çapak	Yüksek enjeksiyon basıncı, Yüksek enjeksiyon hızı, Yüksek eriyik sıcaklığı, Yüksek kalıp sıcaklığı, Düşük mengene kapatma basıncı
Çarpılma Form bozukluğu	Aşırı ütüleme/sıkıştırma, Dengesiz kalıp doldurma
Çöküntü	Düşük ütüleme basıncı, Yüksek kalıp sıcaklığı, Yüksek eriyik sıcaklığı, Hatalı yolluk/kalıp tasarımı
Yüzeyde akış izleri	Düşük kalıp sıcaklığı, Düşük eriyik sıcaklığı, Düşük enjeksiyon basıncı, Hatalı yolluk/kalıp tasarımı
Eksik enjeksiyon	Tıkalı/yetersiz hava kanalı, Hatalı yolluk tasarımı, Düşük kalıp sıcaklığı, Düşük eriyik sıcaklığı
Yanık izleri	Yüksek enjeksiyon hızı, Yüksek ocak bekleme süresi, Hatalı yolluk tasarımı, Tıkalı/yetersiz hava kanalı

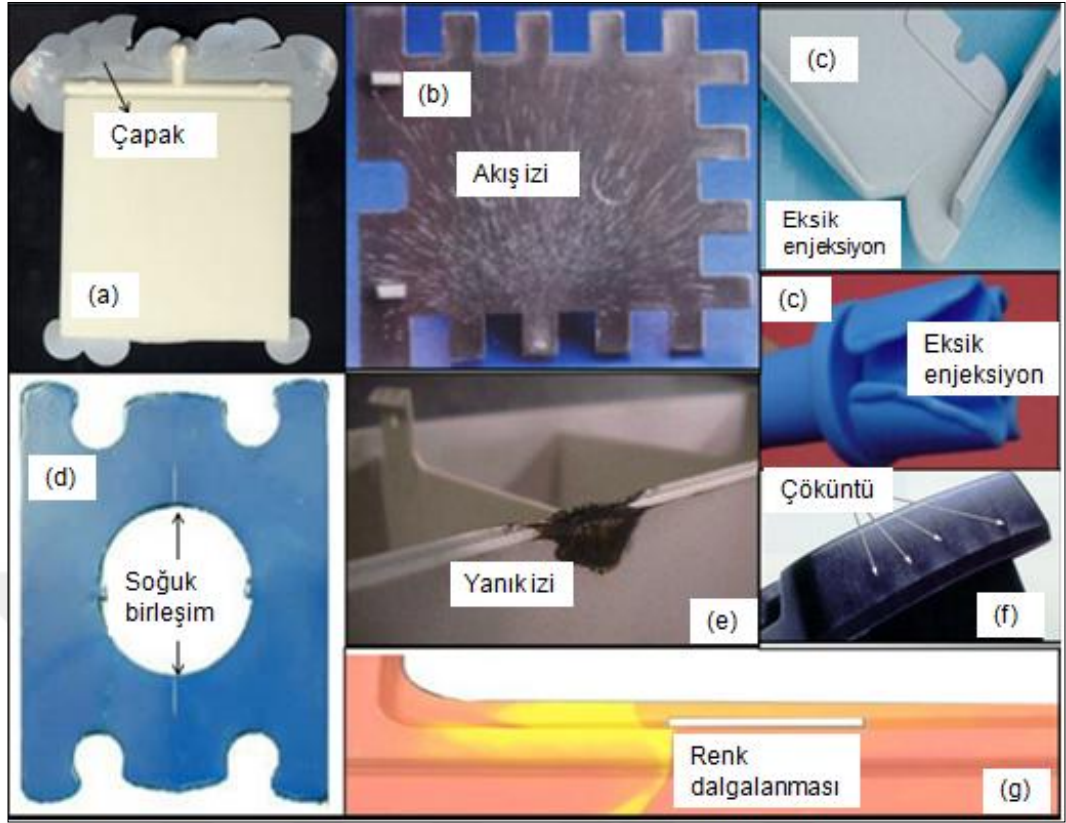
Tablo 1.4. (Devam) Enjeksiyon hataları ve olası nedenleri [9, 10, 13, 15, 16, 17]

Sararma	Yüksek kalıp sıcaklığı, Yüksek eriyik sıcaklığı
Siyah nokta	Temiz olmayan hammadde, Vidada fazla beklemiş eriyik
Kalıba yapışma	Yüksek kalıp sıcaklığı, Yüksek ütüleme basıncı, Hatalı kalıp tasarımı
İtici izleri	Yüksek itici baskısı
Katmanlaşma	Düşük ocak ısısı, Yüksek tutma basıncı ve süresi, Düşük vida hızı
Yüzeyde matlık	Yüksek enjeksiyon basıncı, Düşük ocak ısısı, Düşük vida hızı, Temiz olmayan kalıp yüzeyi, Düşük kalıp sıcaklığı, Kurutulmamış hammadde
Renk dalgalanması	Düşük vida hızı, Düşük eriyik sıcaklığı, Düşük enjeksiyon hızı, Hatalı kalıp tasarımı
Soğuk birleşim	Düşük eriyik sıcaklığı, Düşük kalıp sıcaklığı, Düşük ütüleme basıncı, Hatalı kalıp tasarımı, Hatalı parça tasarımı

Şekil 1.23'te Tablo 1.4'te açıklamalı olarak anlatılmış olan çeşitli enjeksiyon hatalarına ilişkin hatalı parça görselleri bulunmaktadır. Bu hataların bir kısmı, enjeksiyon sonra ek işlemler ile giderilebilirken; bir kısmına müdahale etmek mümkün değildir. Parçaların hurda edilmesi gerekir.

Bunların haricinde, kalıp kaynaklı; yolluk girişinde yüzey bozukluğu, yolluğun parçaya yapışması, kurt izleri (jetting) hataları sıkça görülen enjeksiyon hatalarıdır.

Ayrıca vida kayması ve arka arkaya hatalı baskıların/parçaların oluşması da makine kaynaklı hatalar olarak karşılaşılmaktadır.



Şekil 1.23. Enjeksiyon hatalarına ilişkin görseller a) Çapak, b) Akış izi, c) Eksik enjeksiyon, d) Soğutma birleşme izi, e) Yanık izi, f) Çöküntü, g) Renk dalgalanması [17]

1.5.7. Enjeksiyon kalıplama avantajları

- Hızlı bir şekilde ürün imal edilebilmesini sağlama,
- Yüksek hacimlerde ürün imal edilebilmesini sağlama,
- Diğer işlemlere göre düşük maliyetli olma,
- Otomasyona uygun olma,
- Hemen hemen hiç son işlem gerektirmeme,
- Çokça değişik yüzey, renk ve şekillerde ürün imal edilebilmesini sağlama,
- Seri üretim imkanı olmayan çok küçük parçaların dahi seri üretimlerinin yapılabilmesini sağlama,
- Malzeme kaybının çok az olmasını sağlama,

- Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin kullanılabilmesini sağlama,
- Düşük toleranslarda çalışılabilmesini sağlama,
- Kalıba metal veya ametallerin (insert) eklenerek enjeksiyon yapılabilmesini sağlama,
- Plastik malzemeye asbest, talk, karbon gibi dolgu maddeleri eklenerek daha düşük maliyetli enjeksiyon yapılabilmesini sağlama,
- İmal edilen ürünlerin iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlama [10].

1.5.8. Enjeksiyon kalıplama dezavantajları

- Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması,
- Kalıp fiyatlarının pahalı olması,
- Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması,
- İyi derecede işlem kontrolünün henüz tam anlamıyla sağlanamamış olması,
- Malzeme kontrolünün makine tarafından direkt ve sürekli olarak yapılamaması,
- Kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması [10].

2. AKIŞKAN DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ

Günümüzde artan müşteri beklentileri ile, termoplastik malzemelerin imalat teknikleri de beklentileri karşılayabilmek için hızla gelişmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak plastik enjeksiyon kalıplama yöntemleri de gelişimini/değişimini hızlandırmaktadır. Uçak sanayinden, otomotiv ve beyaz eşya sanayine kadar geniş bir perspektifte kullanım olanağı bulan termoplastik malzemelerde, hammadde ve imalat maliyetlerinin yüksek olması; hammadde maliyetlerini azaltan, parça kalitesini iyileştiren ve çevrim süresini kısaltan yenilikçi imalat teknolojilerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda araştırmacıların, geleneksel enjeksiyon yöntemlerindeki tasarım sınırlamalarını aşacak şekilde yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine odaklandığı görülmektedir [2].

Alışlagelmiş enjeksiyon yöntemlerinde, malzeme kalınlığı ve malzeme yığılmalarının bölgesel olarak artmasına neden olması, ürün kalitesini olumsuz yönde etkiler. Yanısıra araba farı gibi farklı geometrik yapıdaki termoplastik parçaların üretiminde geleneksel enjeksiyon yöntemleri; parçada çöküntü, gruplanacak parçalarda montajlamaya karşı uyumsuzluk ve parça yüzeyinde çapak gibi kalite problemlerine sebep olmaktadır. 70'li yılların başından itibaren, gelişim gösteren ve akışkan destekli üretim yöntemlerinin temelini oluşturan gaz yardımcı plastik enjeksiyonunun öncülüğünde; termoplastik parça imalatında, tasarımda esneklik ve üretim verimliliği sağladığı ve bu gelişimi su destekli plastik enjeksiyonu ile sürdürdüğü bilinmektedir [2].

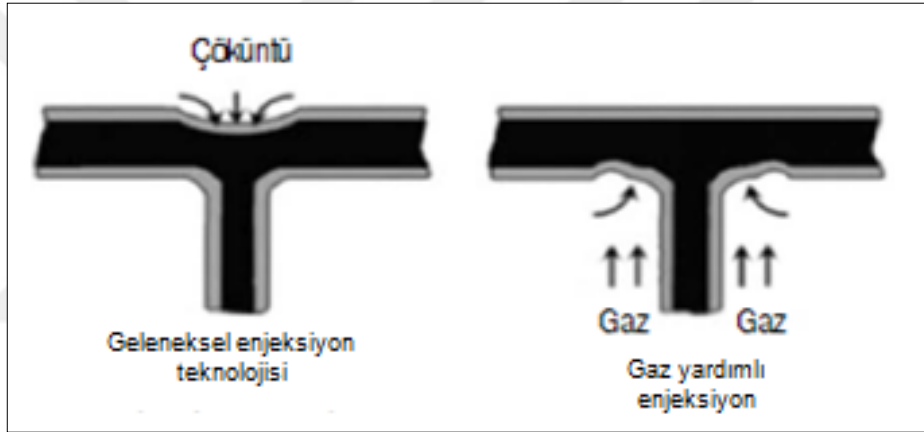
2.1. Gaz Destekli Plastik Enjeksiyon

Gaz destekli enjeksiyon; geleneksel enjeksiyon kalıplamada sıklıkla meydana gelen üretim problemleri ve ürün hatalarını azaltma veya ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir proses iyileştirmesidir. Klasik plastik enjeksiyon ile elde edilemeyecek parça tasarımı seçeneklerine bu yöntemle erişmek mümkündür. Gaz destekli plastik enjeksiyon veya gaz yardımı, isminden de anlaşılabilceği üzere; standart bir plastik enjeksiyon kalıplama prosesinin modifiye edilmiş versiyonudur.

Geliştirilmiş ürün tasarım seçenekleri, indirgenmiş çevrim süreleri, azaltılmış parça iç gerilimi, azaltılmış ürün ağırlığı, daha düşük makine tonajı ve tamamıyla iyileştirilmiş

kalıplama performansı ile standart enjeksiyon kalıplamaya oranla daha büyük verimlilik olanakları sunar [18].

Gaz destekli kalıplama yapılabilmesi için, enjeksiyon esnasında kalıbın içine basınçlı azot gazı gönderilir. Gaz giriş noktası ve akışı, bu tekniğin kullanıldığı enjeksiyon yöntemlerinde, parça et kalınlığına ve malzeme akışına etkisi olan en önemli iki etkidir. İyi çalışılmış bir tasarım ile doğru yerleştirilmiş gaz giriş noktası; basınçlı gazın plastiği sıkıştırmasını sağlar, malzemedeki çekmeyi engeller ve etli bölgelerde oluşması olası çöküntülerin azalmasına yardımcı olur. Gaz basıncı aynı zamanda tamamlama basıncı olarak da görev yapar [9]. Şekil 2.1’de geleneksel enjeksiyon yöntemi ve gaz destekli enjeksiyon yönteminde çöküntü oluşumu şematize edilmektedir.

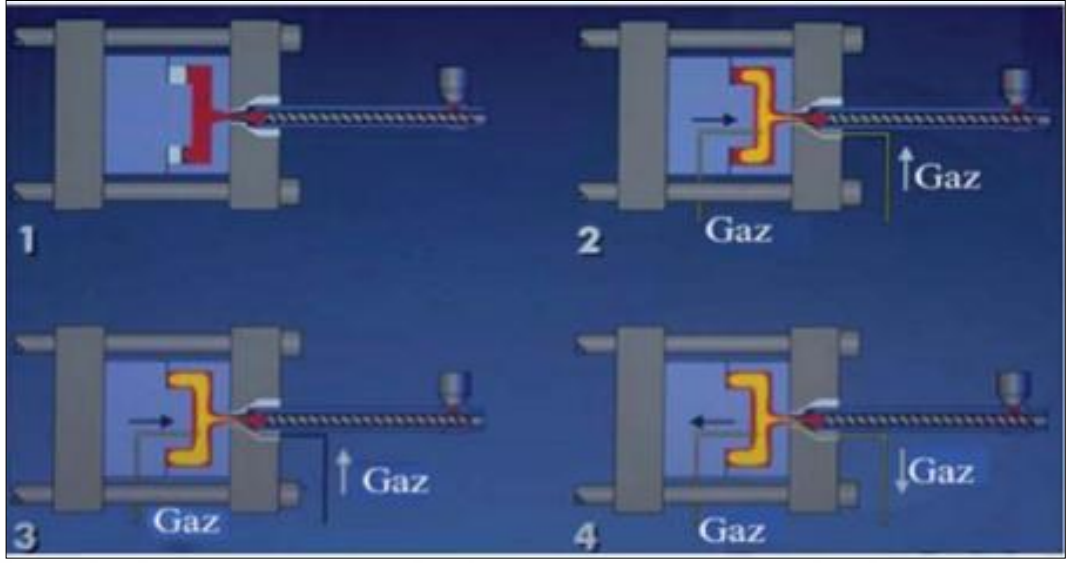


Şekil 2.1. Geleneksel enjeksiyon teknolojisinde çöküntü oluşumu ve gaz destekli enjeksiyonda gazın çöküntü üzerine etkisi [2]

Gaz destekli enjeksiyonda, genellikle azot ve seyrek olarak da karbondioksit gazı kullanılır. Azot gazı; ucuz, kolay elde edilebilir ve inert gaz olduğu için plastik endüstrisinde kullanılan standart bir gazdır [9].

Gaz destekli enjeksiyonun çalışma prensibi; henüz katılaşmamış olan plastik parçaya basınçlı azot ve/veya karbondioksit gazı gönderilerek parça içinde kontrollü boşluk oluşmasının sağlanması ve daha düşük basınçlarda kalıplama ile plastik parça üretimine dayanır [18].

Geleneksel enjeksiyon prosesinde kalıp boşlukları tamamen eriyik ile doldurularak ürün şekillendirilirken, gaz destekli enjeksiyonda ise gaz enjeksiyonu ile bu boşluklar serbest kalır. Hammaddenin boşluklara dolması engellenir ve böylelikle daha az hammadde kullanımı ve çevrim süresinin minimum düzeye indirilmesi sağlanır [18].



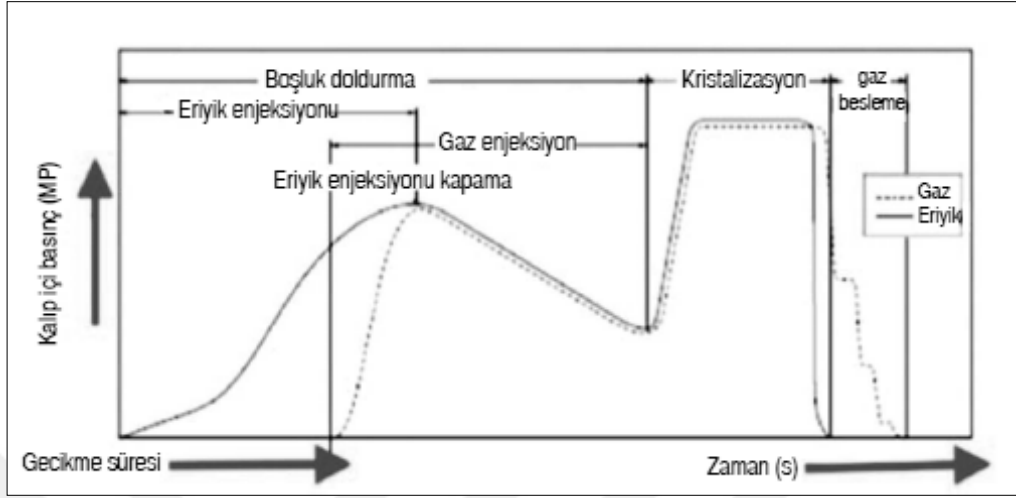
Şekil 2.2. Gaz destekli enjeksiyon şeması [19]

Farklı yöntemler de kullanılabileceği gibi gaz destekli enjeksiyonda, temel prensibin çevrim şeması Şekil 2.2'de görülmektedir.

1. Plastik enjeksiyon: Klasik enjeksiyonda olduğu gibi, öncelikle eriyiğin kalıp içine enjeksiyonu sağlanır.
2. Birincil gaz nüfuziyeti: Plastik enjeksiyonu tamamlandıktan sonra, kalıp boşluğuna enjekte edilen basınçlı gaz, henüz katılaşmamış olan malzeme içine doğru hareket eder. Basınç altında tutulan gaz, düşük direnç gösteren eriyiğin kalıp boşluğunu tamamen doldurmasını sağlar.
3. İkincil gaz nüfuziyeti: Basınçlı gaz, kalıp içerisinde önceden belirlenmiş bir süre bekletilir. Bu aşamada, bekleme süresinin belirlenmesi, parça kalınlığı ve soğutma fazı süresi açısından oldukça önemli roledir. Parçada, dış ortama çıktığında çarpılma parça hatası oluşmaması için, kalın kesitli parçalarda, özellikle soğutma fazı süresi daha uzun tutulur.
4. Gazın dışarı çıkarılması ve kalıbın soğutulması: Proses çevrim süresi tamamlanmadan gaz, tekrar kullanılmak üzere kalıptan geri çekilir ve depolanır. Gaz, tamamen plastik parçadan uzaklaştırıldığında parçanın kalıp içerisinde soğuması sağlanarak parça kalıptan çıkarılır [2].

Temelde klasik enjeksiyon ile farklılık göstermemekle birlikte, gaz enjeksiyonu için çevrimin içerisine gaz enjeksiyonu fonksiyonu da eklenerek enjeksiyon yapılmaktadır.

Şekil 2.3'te "short shot" yöntemi ile gerçekleşen gaz destekli enjeksiyonun kalıp içi basınç-zaman grafiği bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Gaz destekli enjeksiyon çevriminde kalıp içi basınç ve zaman grafiği [2]

Tablo 2.1'de gaz destekli enjeksiyonun, geleneksel enjeksiyon yöntemine kıyasla avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Gaz destekli enjeksiyon avantaj ve dezavantajları [2]

Avantajlar	Dezavantajlar
Tasarımda serbestlik	Ekstra ekipman maliyeti
Parçanın çekmesinde homojenlik	Gaz enjeksiyonu için özel meme tasarımı
Standart duvar kalınlığı	Gaz akım yönüne göre çekmede artış
Gaz ve/veya malzeme birikmesinden kaynaklanan çöküntülerde azalma	Geleneksel enjeksiyon kalıplama yöntemlerine göre malzeme seçiminde sınırlama
En uç noktayı bile rahatlıkla doldurabilme	
%40'a kadar hammadde kazancı	

2.2. Su Destekli Plastik Enjeksiyon

Su destekli enjeksiyonla kalıplama, içi boş parçaların kalıplanarak üretilmesinde en yeni yöntemdir. Temelde gaz destekli kalıplamayla benzerdir. Ancak su enjeksiyon teknolojisi parça içinde doğrudan soğutma gibi büyük bir üstünlüğe sahiptir. Tablo 2.2’de görülebileceği şekilde, suyun ısıl geçirgenliği gazdan 40 kat; ısı kapasitesi ise 4 kat daha büyüktür. Su enjeksiyon teknolojisinin soğutma yeteneği ile toplam parça çevrim süresi gaz enjeksiyonuna göre %25 oranında azaltılabilmektedir [20].

Tablo 2.2. Gaz ve suyun ısıl iletkenlik ve özgül ısı kapasitesi açısından değerlendirilmesi [19]

	Nitrojen 1 bar, 20°C	Su 1 bar, 20°C	
Isıl İletkenlik λ (W/m K)	0,0143	0,604	>Faktör 40
Özgün Isı Kapasitesi c_p (J/kg K)	1038	4182	<Faktör 4

Enjeksiyon esnasında su, eriyik polimerin içinde erimediği ve/veya polimerin içine karışmadığı için, gaz destekli enjeksiyonun aksine parçanın içinde meydana gelen köpüksüleşme oluşmaz. Ek olarak, su destekli enjeksiyon kalıplama, gaz destekli enjeksiyona göre; ince et kalınlığına sahip daha büyük parçalarda çok daha iyi bir proses yeteneği gösterir. Tablo 2.3’te gaz destekli enjeksiyon ile su destekli enjeksiyon karşılaştırması yer almaktadır [3].

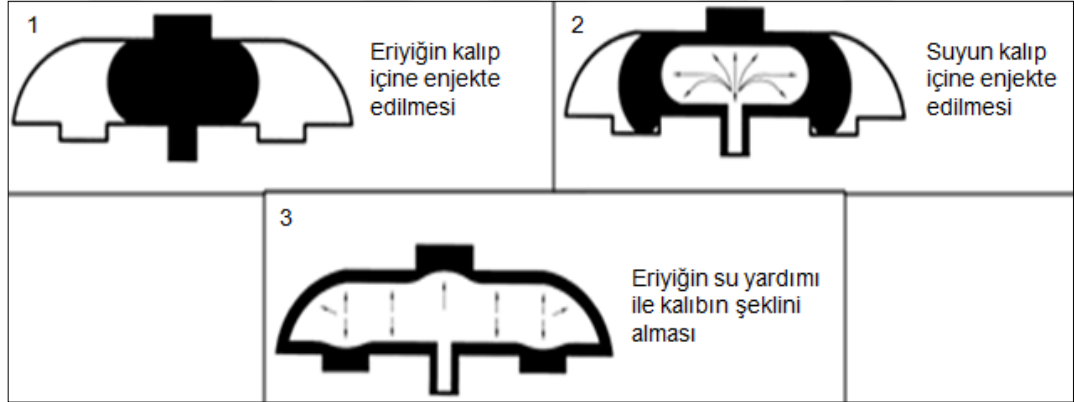
Tablo 2.3. Su ve gaz enjeksiyon kalıplama proseslerinin karşılaştırılması [3]

	Su	Gaz
Çevrim süresi	Kısa	Uzun
Ortalama maliyet	Düşük	Yüksek
İç köpüklenme	Hayır	Evet
Et kalınlığı	Dar	Geniş
Dış yüzey pürüzlülüğü	Düşük	Yüksek
Dış yüzey parlaklığı	Yüksek	Düşük
Parmak izi (Fingering)	Daha fazla	Daha az

Tablo 2.3. (Devam) Su ve gaz enjeksiyon kalıplama proseslerinin karşılaştırılması [3]

Asimetrik penetrasyon	Daha kararlı	Kararsız
Parmak izi (Fingering)	Daha fazla	Daha az
Asimetrik penetrasyon	Daha kararlı	Kararsız
Malzeme kristalinitesi	Düşük	Yüksek
Parça şeffaflığı	Yüksek	Düşük
İç yüzey (Yarı kristalin malzemeler)	Pürüzsüz	Daha az
İç yüzey (Amorf malzemeler)	Pürüzlü	Pürüzsüz

Şekil 2.4'te de şematize edildiği gibi; su destekli enjeksiyon kalıplama prosesinde, kalıp boşluğu polimer eriyiği ile doldurulup; ardından eriyiğin içine su enjekte edilerek istenilen şeklin ya da boşluğun oluşturulması sağlanır [3].



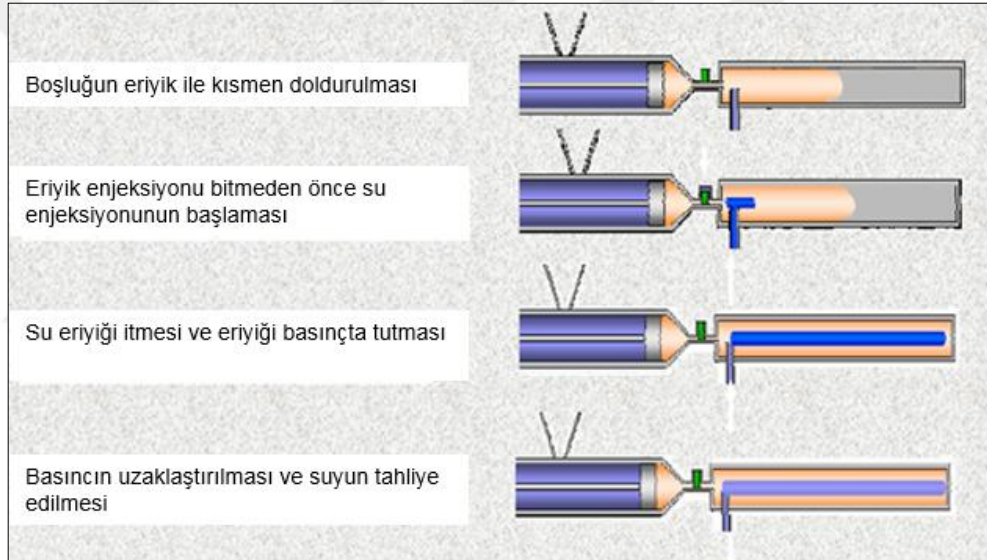
Şekil 2.4. Su destekli plastik enjeksiyon [3]

2.2.1. Uygulama yöntemleri

“Short-shot” yöntemi: Bubble veya blow up olarak da bilinir. Kalıp boşluğunun eriyik ile kısmen doldurulması ile başlar. Şekil 2.5'te gösterildiği şekilde, eriyik enjeksiyonu tamamlanmadan kalıba su enjekte edilir ve böylece kalıbın şeklini alması için su eriyik malzemeyi kalıp sonuna kadar iter. Eriyik enjekte edilen valf ve su akışına izin veren pim kapatılır. Su için bir tahliye valfi açılır ve parça içindeki suyun buradan tahliyesi sağlanır. Bu yöntem kalın parçaların imaline daha uygundur. Bu yöntemle malzeme israfı önlenmiş olur. Suyun giriş ve çıkış noktaları aynı civarda olabilir. Suyun, eriyiği

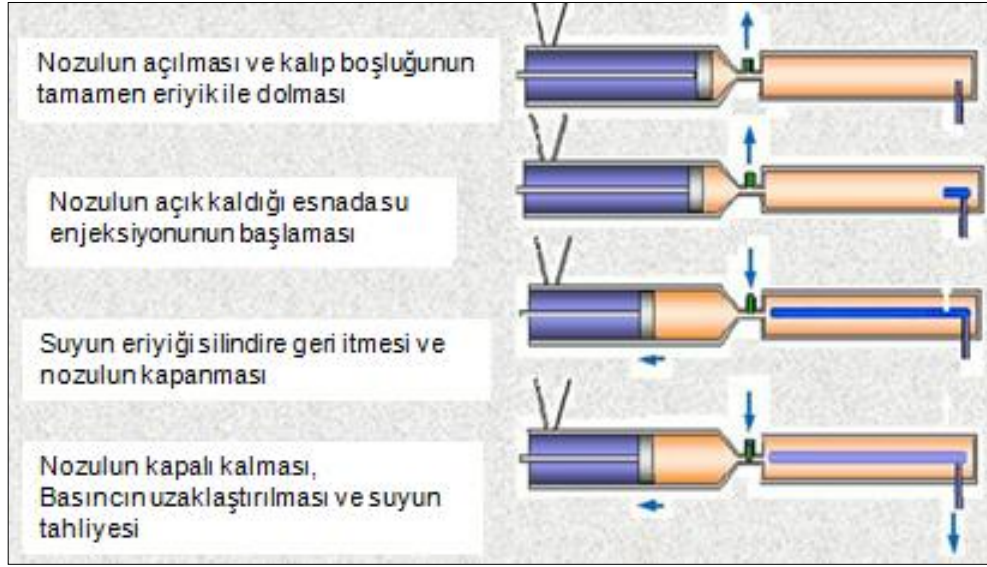
kalıbın sonuna kadar itebilmesi için su enjeksiyon basıncının eriyik basıncından daha yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca, bir “short-shot”ın sonundaki malzeme daha kalın bir bölüm oluşturması muhtemeldir. Bu sebeple çevrim süresi uzayabilir [20].

Bu yöntemde daha az malzeme sarfiyatı olmasından dolayı malzeme maliyeti de diğer yöntemlere göre daha azdır. Daha az kilitleme kuvveti uygulayarak çapaksız parça imalatı yapılabilir. Tek seferde birden fazla parça elde edebilmek amacıyla çok gözlü kalıp ile imalat yapılabilir. Bununla birlikte, malzeme mekanik özelliklerinde %10 ile %30 arasında kayıp yaşanır. Et kalınlığında da dalgalanma olası dezavantajlarındandır. Eriyik enjeksiyonundan su enjeksiyonuna geçiş esnasında, suyun parça yüzeyinde iz oluşturma ihtimali de yöntemin dezavantajı olarak gösterilebilir [22].



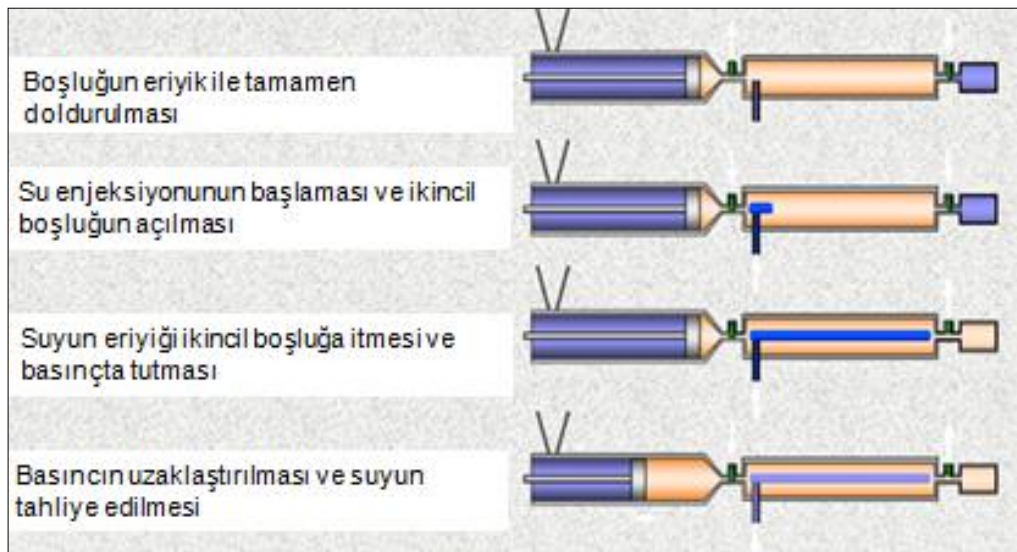
Şekil 2.5. “Short-shot” yöntemi [21]

Geri itme (Push back) yöntemi: Şekil 2.6’da gösterildiği şekilde, kalıp tamamen eriyik ile doldurulur. Kalıbın ucuna su tahliyesi için yerleştirilmiş pimin açılması eriyiği enjeksiyon ünitesine geri itmektedir. Bu yöntemin avantajı hurda malzeme oluşturmamasıdır. Dezavantaj olarak da, özel bir nozul ve malzemenin enjeksiyon ünitesine geri dönmesini yardım eden bir kontrol sistemine gereksinim olması söylenebilir. Suyun enjeksiyon ana boşluğuna girmemesine dikkat edilmelidir. Malzemenin sürekli ve belirlenen miktarının geri alındığının kontrolü her daim sağlanmalıdır. Geri dönen malzemenin sıcaklığı ve basıncı, kullanılmayı bekleyen malzemeden (eriyikten) farklı olması bir sonraki atışta proses değişkenliklerine sebep olabilir [20].



Şekil 2.6. Geri itme (Push back) yöntemi [21]

Taşma yöntemi: “Overflow”, “full shot” olarak da bilinen taşma yönteminde, Şekil 2.7’de gösterildiği şekilde, kalıp boşluğu tamamen eriyik ile doldurulur ve bir valf yardımıyla kapatılır. Ardından, kalıp içerisine suyun enjeksiyonu için ayrı bir pim açılır. Eş zamanlı olarak, kalıbın sonundaki valf yardımıyla ana kalıptan ikincil bir kalıba veya fazla malzeme boşluğu içine doğru yol açılır. Kalıp içine giren su, eriyiği hareket ettirir ve ikincil kalıba iter. Eriyiği tutmak ve saklamak için ikinci valf kapalıdır. Su, yerçekimi veya buharlaşma yoluyla dışarı atılabilir. Geleneksel kalıplamaya yakın bir kalıplama yöntemidir ancak daha geniş proses alanına sahiptir. Ayrıca “short-shot” yönteminden daha düşük su basıncına gereksinim duymaktadır [20].

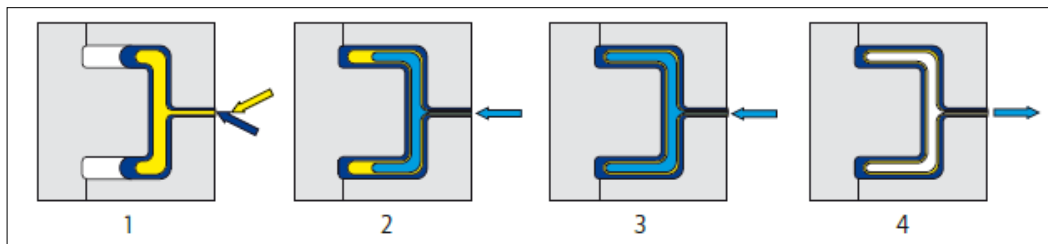


Şekil 2.7. Taşma (Overflow) yöntemi [21]

Bu yöntemle çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir. Yöntemin avantajlarından biri de kolay proses elde edilebilmesidir. Et kalınlığı homojen dağılım gösterir ve diğer yöntemlerde olduğu gibi, çok gözlü kalıp ile imalat yapılabilir. Yöntemin dezavantajı olarak aşırı çapaklı malzeme imalatı ile yüksek kalıp ve ekipman yatırımı gerekliliğidir [22].

Akıntı yöntemi: “Short-shot” ile taşma yöntemlerinin birleşimi olan akıntı yöntemi, daha geliştirilmiş soğutma için su doğrudan parçaya doğru yönlendirilir. Kalıp boşluğu, “short-shot”ta olduğu gibi kısmen doldurulur. Ardından su enjekte edilir ve böylece eriyik kalıbın sonuna dek itilir. Kalıbın sonunda bulunan özel valf açılır. Su eriyiğin içinden akarak bu valften geçer ve bir su devirdaim çevrimine doğru yol alır. Malzemeden kazanç ve yüksek soğutma kabiliyeti yöntemin en önde gelen avantajlarıdır. Parçanın uç kısmında meydana gelebilecek kusurlar dezavantajlarındandır. Ayrıca düşük basınçtan dolayı, kalıp iç yüzeyi ile parça dış yüzeyi arasında su sızıntıları meydana gelebilir [20].

“Multifoam” yöntemi: Parçanın dış yüzeyini elde etmek için gerekli görülen malzemenin, belirli bir miktarda enjekte edilmesinin ardından, iç yüzeyinde bulunacak olan malzeme enjekte edilir. Ancak, kalıp boşluğu tamamen doldurulmaz. Şekil 2.8’de gösterildiği şekilde; kalıp boşluğunun doldurulması suyun enjekte edilmesinden sonra gerçekleşir. Su basıncı, parça etkili biçimde soğuyana dek, aynı zamanda tutma basıncı olarak görev yapar. Kalıp açılmadan önce, su boşaltılır. “Multifoam” yöntemi, diğer yöntem ve tekniklerle kombine edilebilir [19].



Şekil 2.8. “Multifoam” yöntemi [19]

2.2.2. Su destek makine donanımı

Su destekli plastik enjeksiyon için geleneksel enjeksiyon makinelerine entegre edilen destek ünitelerine ihtiyaç vardır. Şekil 2.9’da su destek ünitesi entegre edilmiş bir enjeksiyon makinesi vardır.

Su destekli enjeksiyonda, prosesi kontrol altında tutabilmek için suyun sıcaklığı, basıncı, akış hızı vb bazı parametreler kontrol altında olmalıdır. Entegre ekipmanlarla bu parametreler kontrol edilebilir.

Modüler sistemde 4 ana ekipman bulunur [24]:



Şekil 2.9. Su destekli enjeksiyon [23]

1. Basınç ünitesi: İhtiyaç duyulan kaliteli enjeksiyon işleminin gerçekleştirilmesi için suyun yüksek basınca erişmesi gereklidir. Basınç ünitesi, suyun ihtiyaç duyulan basınç değerine erişmesini sağlar. Su ile bağlantılı olan tüm makine elemanları alçak basınç bölgesinde bakır veya yüksek basınç bölgesinde paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 2.10. Battenfeld WE serisi basınç ünitesi [24]

Şekil 2.10, Battenfeld WE serisi basınç ünitesi görselidir. Şekilden de görülebileceği gibi; ses yalıtımlı, rahat hareket edebilmesi için tekerleklerle desteklenmiş kompakt bir modüldür.

2. Kontrol ünitesi: Tıpkı bir plastik enjeksiyon kontrol ünitesi gibi, bu modül de su yardımı fonksiyonunu ayar ve kontrol etmek için gereklidir. Sabit veya hareketli tipleri bulunmaktadır. Şekil 2.11 hareketli tip kontrol ünitesine aittir.



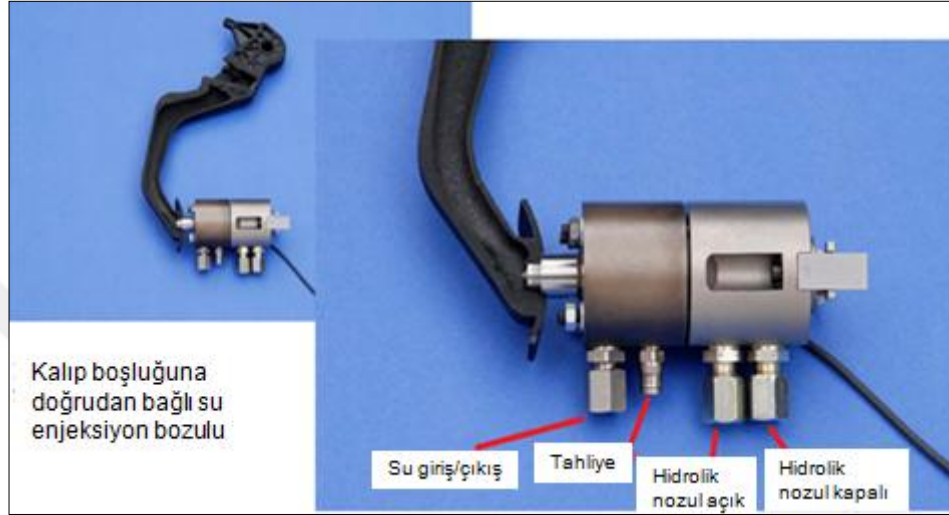
Şekil 2.11. Hareketli tip kontrol ünitesi [24]

3. Basınç regülasyon ve kontrol modülü: Parça kalitesinin sürekliliğinin sağlanması için her bir çevrimde aynı su basıncının oluşması gereklidir. Aynı zamanda çevrimin içinde de istenilen su basıncının aynı değerde korunması önemlidir. Bu sebeple, su basıncını kontrol eden basınç regülatörlerine ihtiyaç vardır. Şekil 2.12’de Battenfeld firmasına ait basınç regülatörü bulunmaktadır.



Şekil 2.12. Battenfeld basınç regülasyon ve kontrol modülü [24]

4. Su enjektör nozulu: Suyun kalıbın içine enjekte edilmesini ve enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra kalıbın içinden suyun geri çekilmesini sağlar. Pnömatik sistemlerde istenilen basınç değeri elde edilemediği için genellikle hidrolik sistem ile çalışır. Suyun geri çekilmesi, parça pozisyonu ve nozulün sabitlenme şekline göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.13'te su nozulu ve parça üzerindeki pozisyonlanması gösterilir.



Şekil 2.13. Nozul [24]

Bunun için kullanılan yöntemlerden biri yerçekimi yardımıyla olmaktadır. Eğer parçanın geometrisi ve nozulun kalıba sabitlenme pozisyonu uygun olursa; enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra suyun geri dönüşü yerçekimi kullanılarak basınç regülatör modülü tarafından sağlanabilir [19].

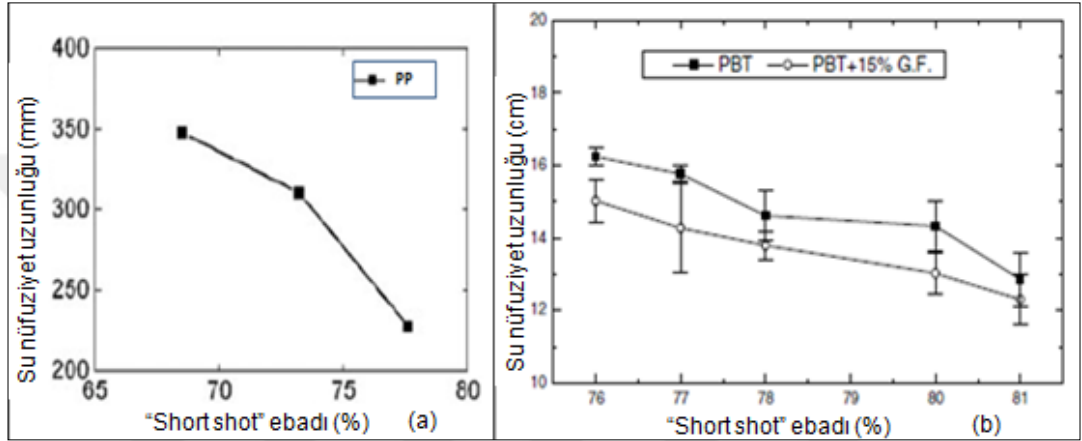
Diğer bir yöntem de suyun vakumlanarak geri çekilmesidir. Bu ve bunun gibi hava veya gaz kullanılarak suyun geri boşaltılması işlemleri uygulanabilir [19].

2.2.3. Proses parametreleri

Su destekli enjeksiyonda, su eriyik ile doğrudan temasta olduğu için; parçanın içten soğutulması, dışardan bir metal vasıtası ile soğutulmasından çok daha iyidir. Benzer yapıdaki plastik malzeme ve parça geometrisi ile karşılaştırma yapıldığında, gaz destekli yöntemle göre su destekli enjeksiyon çevrim süresinde %60-70 arasında azalma sağlayabilir. Çevrim süresindeki bu potansiyel düşüş, verimlilikte iyileştirme sağlar. Suyun sıkıştırılamaması, düşük maliyeti ve kolayca geri dönüştürülebilir olması proses için uygun bir ortam oluşturur [25].

Yöntemin avantajları ile birlikte, konvensiyonel enjeksiyona göre ek proses parametrelerinin oluşması, imalatı daha zorlu kılar. Eriyik miktarı, su basıncı, su sıcaklığı ve su enjeksiyonu bekletme süresi su ile ilintili proses parametreleridir [25, 26].

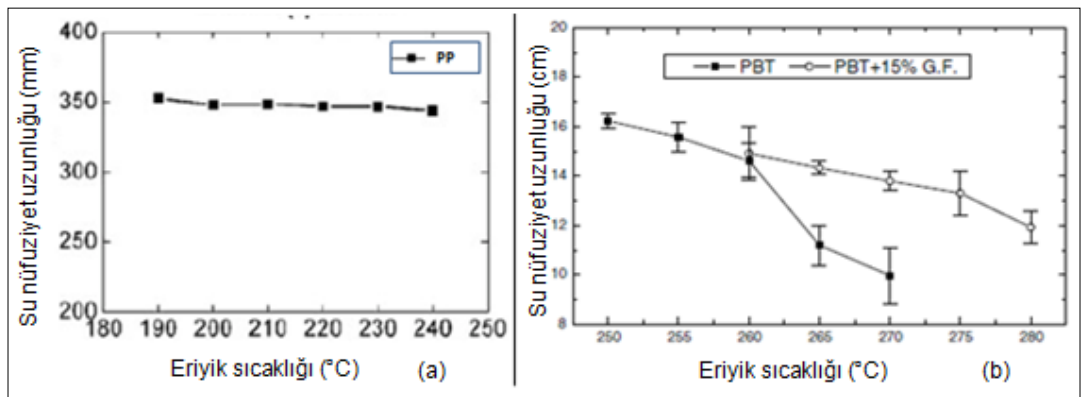
Daha fazla su basıncı, eriyiği kalıp duvarına sıkıştırılmasını sağlayabileceği için, su nüfuziyet uzunluğunun büyük olması gereklidir. Su nüfuziyet uzunluğunu maksimize ederek, parçada çekme, çöküntü vb oluşumu minimize edilebilir [25, 26].



Şekil 2.14. "Short shot" ebadının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi a) PP [25], b) PBT ve PBT + %15 GF [26]

Şekil 2.14'te gösterildiği şekilde, nüfuziyet uzunluğu short shot ebadının artması ile azalır. Bu durum, "short shot" ebadı artarken suyun azaltılması nedeniyle ortaya çıkar [25, 26].

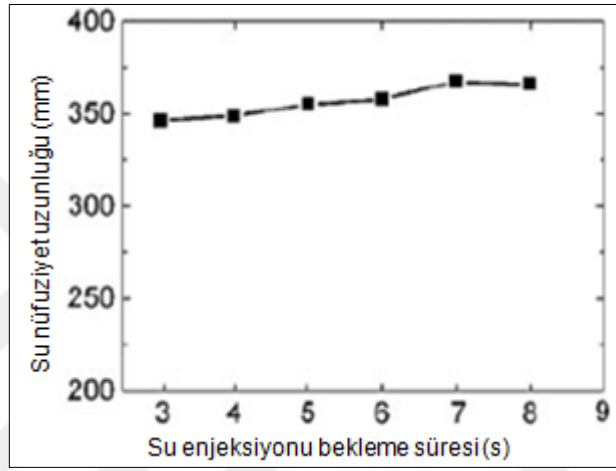
Şekil 2.15'te ise, eriyik sıcaklığı ile nüfuziyet uzunluğunun etkileşimi bulunmaktadır.



Şekil 2.15. Eriyik sıcaklığının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi a) PP [25], b) PBT ve PBT + %15 GF [26]

Polipropilen hammaddenin eriyik sıcaklığının artmasıyla, suyun nüfuziyet uzunluğunda belli belirsiz bir azalma oluşmaktadır. Bu etkileşim PBT’de çok daha belirgindir. PBT ve cam elyaf takviyeli kompozit PBT eriyik sıcaklıklarının artmasıyla, suyun nüfuziyet uzunluğu bariz bir düşüşe geçmektedir.

PBT’deki bu değişim, eritme sıcaklığındaki artışın, polimer eriyiğinin viskozitesini azaltmasından kaynaklanıyor olabilir. Malzemelerdeki daha düşük bir viskozite, suyun parça içerisinde daha fazla nüfuz etmesi yerine su kanalında birikmesine ve dolayısıyla istenmeyen boşlukların oluşumunda artışa sebep olur [26].

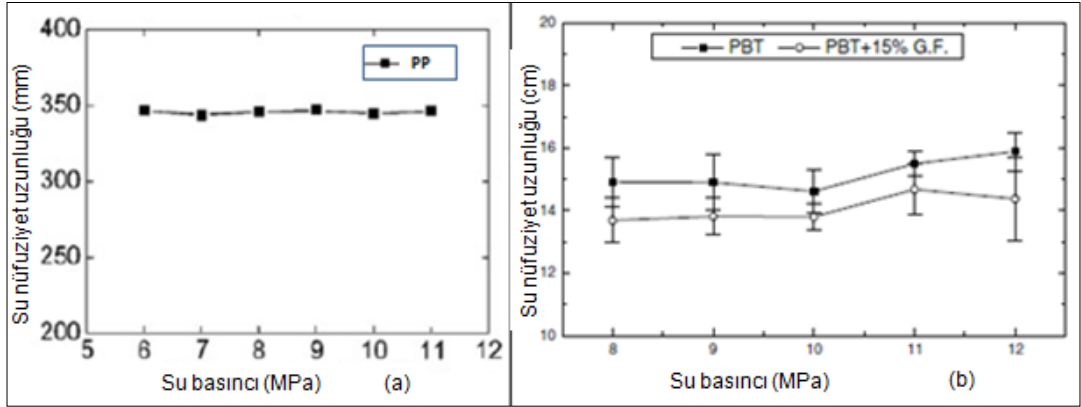


Şekil 2.16. Su enjeksiyonu bekletme süresinin su nüfuziyet uzunluğuna etkisi [25]

Su nüfuziyet uzunluğu, su enjeksiyonu bekletme süresinin artması ile bir miktar artış gösterir (Şekil 2.16). Bunun sebebi, bekletme süresindeki artışın soğutma süresini ve dolayısıyla eriyiğin katılaşmış kısmındaki et kalınlığını arttırmasıdır. Su kanalının başlangıcında bulunan kesidi azaltır ve suyun eriyiğin merkezine doğru nüfuz etmesine yardımcı olur [25].

Şekil 2.17’de görülebileceği şekilde, PP polimerinde su basıncının su nüfuziyet uzunluğunda çok küçük bir etkisi bulunurken; PBT ve cam elyaf takviyeli PBT polimerlerinde su basıncının su nüfuziyet uzunluğunda kıyaslanabilir etkisi vardır.

Burada iki olgudan bahsedilebilir: Bunların ilki, artan su basıncının eriyik polimerin yüksek viskozitesini yenmede yardımcı olması ve eriyiğin merkezine nüfuz etmesidir. İkincisi ise, daha yüksek basıncın suyu su kanalına yönlendirmesi ve boşluklu bölgede artış olması ve bağlantılı olarak su kanalı girişindeki kesidin büyümesidir [25, 26].



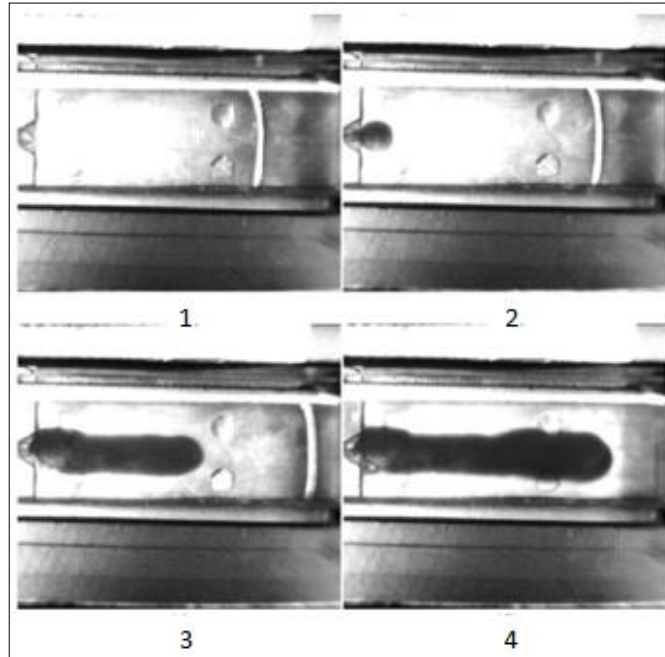
Şekil 2.17. Su basıncının su nüfuziyet uzunluğuna etkisi a) PP [25], b) PBT ve PBT + %15 GF [26]

2.2.4. Akışkan Davranışları

Su ve eriyik polimerin, enjeksiyon esnasında kalıbı doldurma davranışlarını incelemek için, Wu ve Liu tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

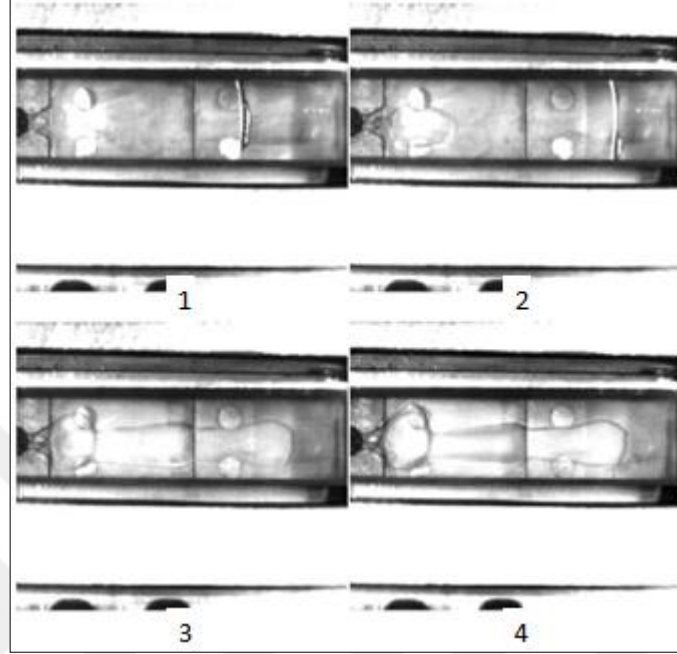
80 tonluk laboratuvar tipi bir enjeksiyon makinesinde polipropilen hammadde kullanılarak, yüksek hızlı video kamera ile su destekli plastik enjeksiyon esnasında su ve eriyik polimerin davranışları izlenmiştir (Şekil 2.18) [27].

Düzlemsel, iki farklı derinlikteki çift bölgeli düzlemsel ve simetrik su kanallı düzlemsel olmak üzere üç farklı şekilde dikdörtgen kalıp kullanılmıştır [27].



Şekil 2.18. Düzlemsel kalıp içinde su hareketi [27]

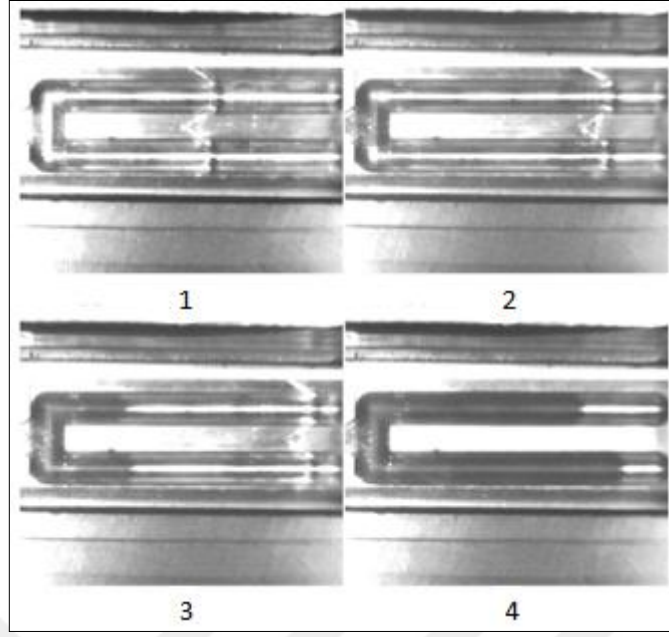
Suyun hareket ettiği yol boyunca bir boşluk oluşur. Su kalın bölgeden ince bölgeye doğru nüfuz ettiğinde, Şekil 2.19'daki gibi geçiş bölgesi yanındaki kalın bölgede su kabarcığı genişliğinde küçük bir genişleme gözlemlenir [27].



Şekil 2.19. Farklı derinliklerde iki bölgeli düzlemsel kalıp içinde su hareketi [27]

Düzlemsel kalıp yapısı, basıncın su kaynağı tarafından sağlanmasından dolayı avantajlıdır. Bununla birlikte, federsiz tasarımın bilinen en az iki farklı dezavantajı bulunur. İlki, suyun hareketi esnasında oluşan boşluk, parçanın rijitliğinde ciddi bir oranda azalmaya sebep olmasıdır. İkincisi ise, et kalınlığı geçiş bölgelerinde oluşan ek boşlukların geçiş hattındaki rijitliğin azalmasına sebep olmasıdır. Bu sebeple, su kanalı federleri, yalnızca suya nüfuziyeti boyunca kılavuzluk etmek için değil; aynı zamanda boşluklardan dolayı rijit yapıdaki azalmayı da dengelemek için gereklidir [27].

Şekil 2.20, su destekli enjeksiyon esnasında eriyik ve su nüfuziyetini göstermektedir. Su girişi, iki simetrik kanaldan simetrik olarak yapılır. Buna karşın, bir giriş diğerine öncelik eder ve bu durum zamanla artar. Sonucunda kalıp, simetrik kanallarda farklı su nüfuziyeti ile tamamen dolar.



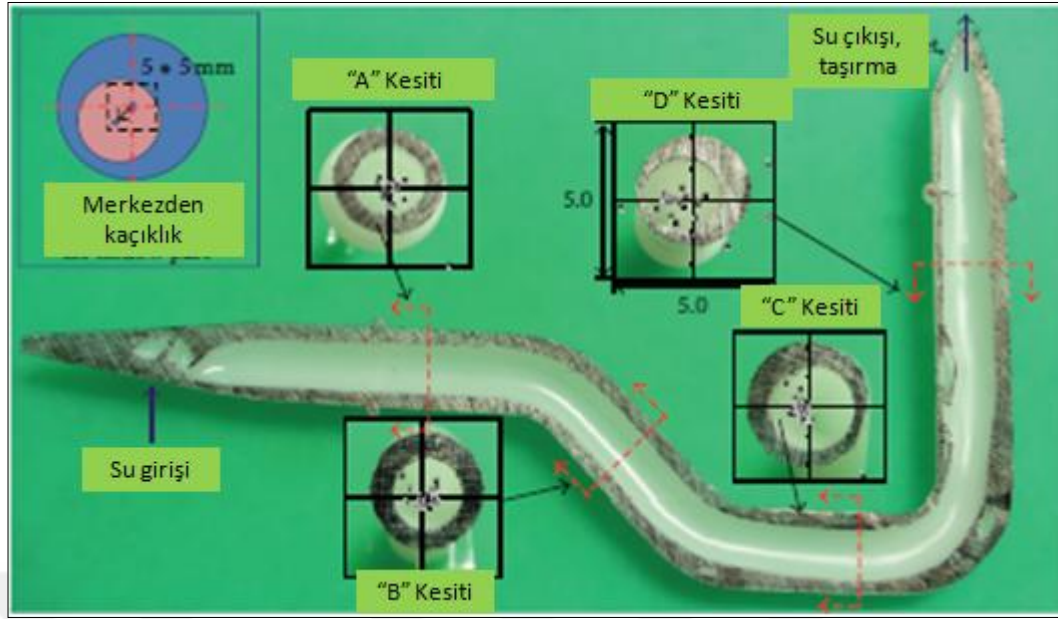
Şekil 2.20. Simetrik federli kalıp içinde suyun hareketi [27]

2.2.5. Proses parametrelerinin et kalınlığına etkisi

Özellikle boru-tüp gibi içi boşluklu ve fonksiyonelliği fazla olan üç boyutlu parçaların imalatı için son dönemlerde su destekli enjeksiyon ön plana çıkmaktadır. Buna karşın, enjekte edilen su ile polimerin arasındaki çeşitli reolojik etkileşimlerden dolayı, su destekli enjeksiyonda proses parametrelerinin optimizasyonu oldukça zordur.

Su destekli enjeksiyonda, suyun nozuldan geçmesi esnasında düzensiz akış meydana gelir. Ek olarak su, yüksek sıcaklıktaki eriyik polimerin içine enjekte edildiğinde kaynama etkisi de oluşur. Suyun düzensiz akışı ve kaynama etkisi uniform olmayan et kalınlığı, parça içinde enjeksiyon boşluklarının oluşması, parmaklanma, ürün sertliğinin ve dayanımının azalmasına sebep olan çift duvar oluşumu gibi çeşitli hatalara sebep olur [28].

Şekil 2.21 deneysel koşullarda imal edilmiş içi boşluklu parçanın kesitine aittir. Parçanın iç yüzeyi, suyun enjeksiyonu için nozulun açılması esnasında meydana gelen düzensiz akış sebebiyle uniform değildir. Suyun nozuldan kalıp içine geçişi esnasında, akış hızı ve basıncının ani değişimlerinden dolayı düzensiz su akışı meydana gelir. Bu düzensizlik, parçada enjeksiyon boşluklarının oluşmasına neden olur [28].



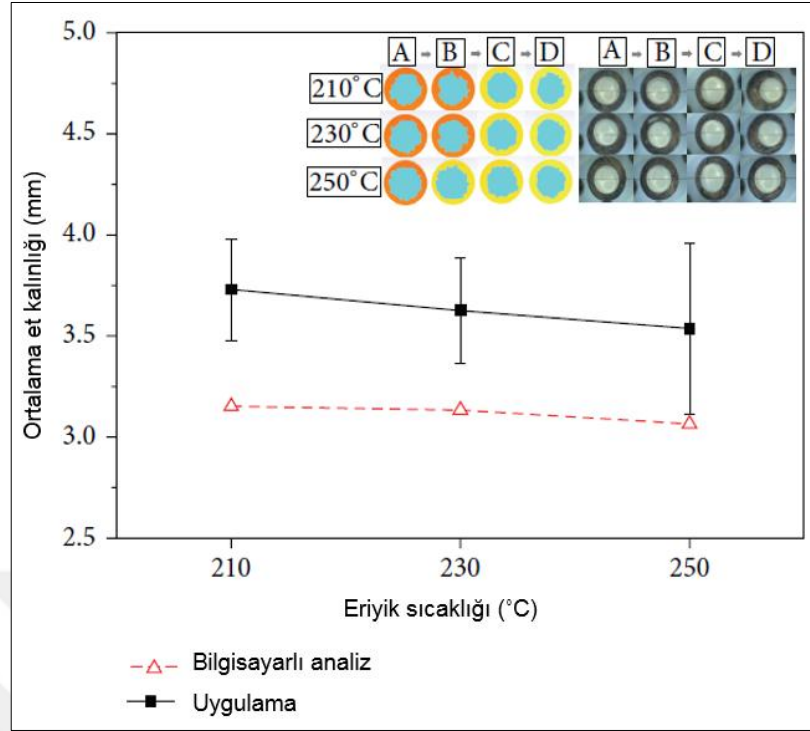
Şekil 2.21. Merkezden kaçıklık ve et kalınlığı dağılımı [28]

Park ve arkadaşları, proses parametrelerinin et kalınlığına olan etkisini incelemek üzere Tablo 2.4'teki deneyi tasarlamışlardır.

Şekil 2.22 farklı eriyik sıcaklıklarında et kalınlığındaki değişimi gösterir. Eriyik sıcaklığı düşerken et kalınlığı da düşer. Yüksek eriyik sıcaklığında suyun kaynama etkisi daha belirgindir. Bu da iç boşluk kesit formunda dağınık et kalınlığı oluşumuna sebep olur [28].

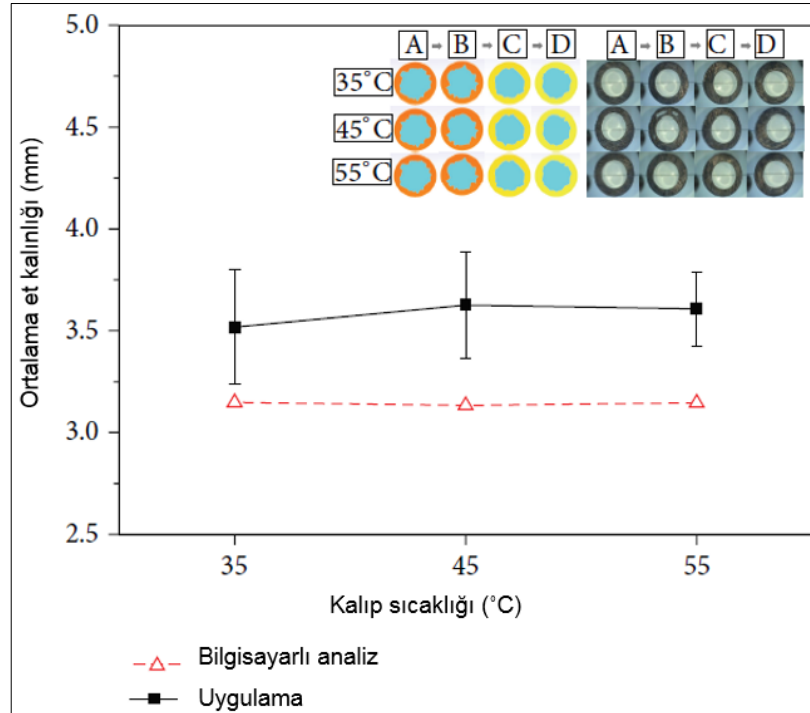
Tablo 2.4. Deney tasarımı [28]

Durum		Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Su Basıncı (MPa)	Bekletme Süresi (Saniye)
Eriyik Sıcaklığı (°C)	Düşük	210	45	4,5	2,5
	Orta	230			
	Yüksek	250			
Kalıp Sıcaklığı (°C)	Düşük	230	35	4,5	2,5
	Orta		45		
	Yüksek		55		
Su Basıncı (MPa)	Düşük	230	45	3,5	2,5
	Orta			4,5	
	Yüksek			5,5	
Bekletme Süresi (Saniye)	Düşük	230	45	4,5	0,5
	Orta				2,5
	Yüksek				4,5



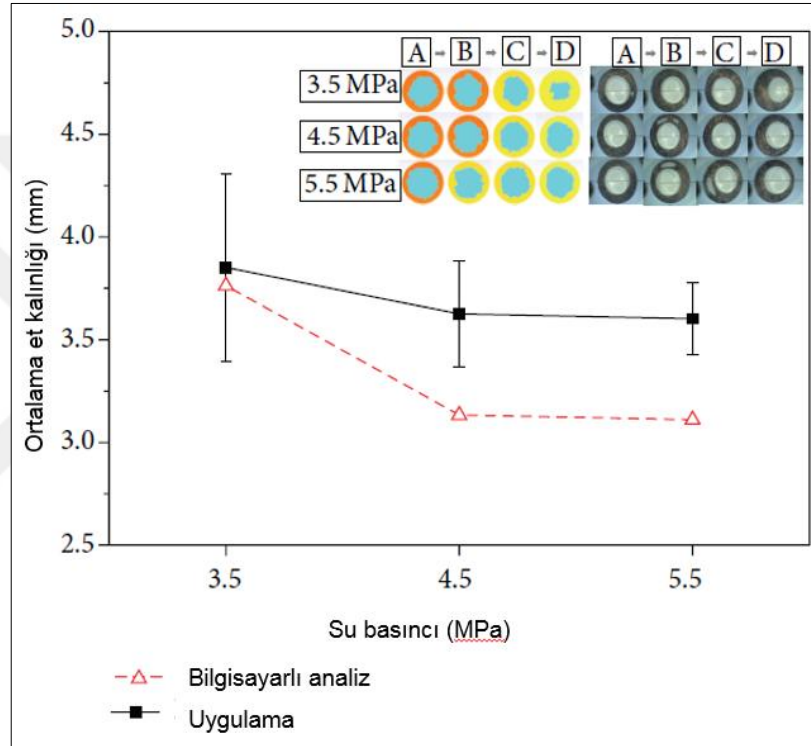
Şekil 2.22. Eriyik sıcaklığının ortalama et kalınlığına olan etkisi [28]

Hem bilgisayar destekli analiz hem de uygulama sonuçları göstermiştir ki (Şekil 2.23), kalıp sıcaklığı ile et kalınlığı arasında büyük bir etkileşim bulunmaz [28].



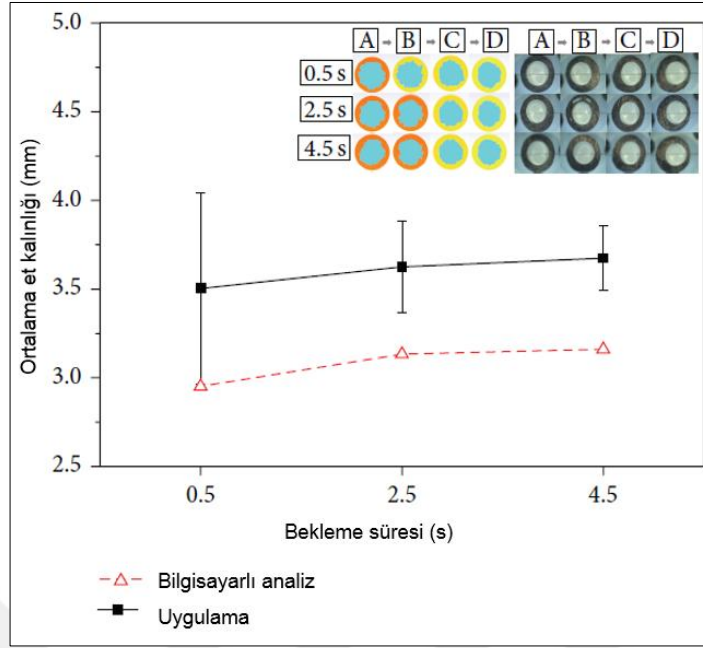
Şekil 2.23. Kalıp sıcaklığının ortalama et kalınlığına olan etkisi [28]

Şekil 2.24, su basıncı ile et kalınlığı arasındaki ilişkiyi tariflemektedir. Su destekli enjeksiyonda, suyun eriyiği ileri yönde itmesiyle boşluklu kesit elde edilir. Yanısıra, su basıncı boşluklu kesitteki et kalınlığına da etki eder. Eriyiğin akış hızı da su basıncı ile belirlenir. Eğer suyun basıncı düşerse, eriyiğin akış hızı düşer ve viskozite artacağı için akmaya dayanım artar. Diğer yandan, eğer su basıncı yükselirse, eriyiğin viskozite etkisi nedeniyle, akmaya dayanımı azalır. Bu nedenle su basıncındaki artış, daha ince boşluklu kesit oluşmasına ve su giriş bölgesindeki et kalınlığında sapmaya neden olur [28].



Şekil 2.24. Su basıncının ortalama et kalınlığına olan etkisi [28]

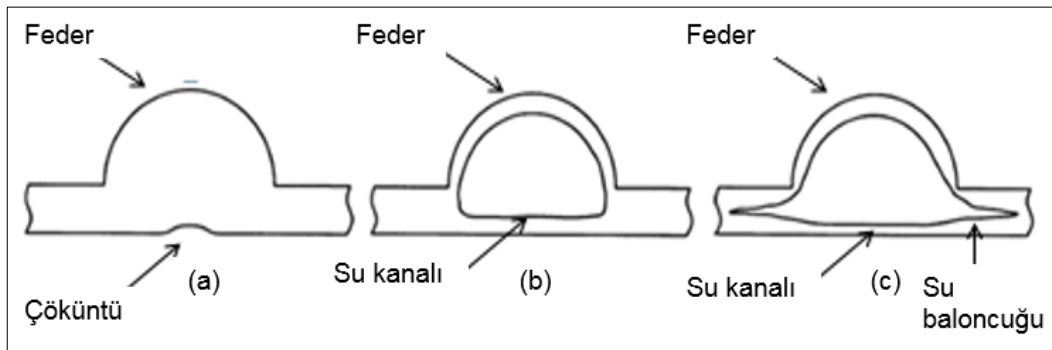
Eriyiğin kalıp içine dolmasının ardından, belirlenmiş bir bekleme süresi sonrası; donmuş kısımdan boşluklu kesit formunu elde etmek için su enjeksiyonu yapılır. Bekleme süresindeki artış ile, eriyiğin kalıp yüzeyi ile temas ettiği yüzeyde donma büyür ve böylece et kalınlığı artar [28]. Şekil 2.25'te su enjeksiyonu bekleme süresindeki gecikmenin et kalınlığını arttırdığı görülmektedir.



Şekil 2.25. Bekletme süresinin ortalama et kalınlığına olan etkisi [28]

2.2.6. Proses parametrelerinin su parmağı (fingering) oluşumuna etkisi

İnce, düzlemsel yapıdaki polimer kompozitler çoğunlukla federler ile kuvvetlendirilir. Bu federler, su destekli enjeksiyon kalıplamada aynı zamanda su kanalı görevi de yapar. Su destekli enjeksiyonda, polimer kompozit parça problemlerinden biri de 'su parmağı' (fingering) oluşumudur. Su parmağı, su baloncuklarının tasarlanan su kanalından dışarı nüfuz etmesi ve parmak şeklinde dallanmalar oluşturmalarıdır. Kuvvetli bir su parmağı, parça sertliğinde kayda değer azalmaya sebep olabilir [29, 30].



Şekil 2.26. Federli bir parçanın şeması a) Konvansiyel enjeksiyon, b) Su destekli enjeksiyon, c) Su parmağı oluşumu [29]

Kompozit bir parçanın su destekli enjeksiyon ile imal edilmesi, parça yüzeyinde feder kaynaklı çöküntü oluşumunun azaltılmasına yardımcı olur ve parçanın çarpılmasını

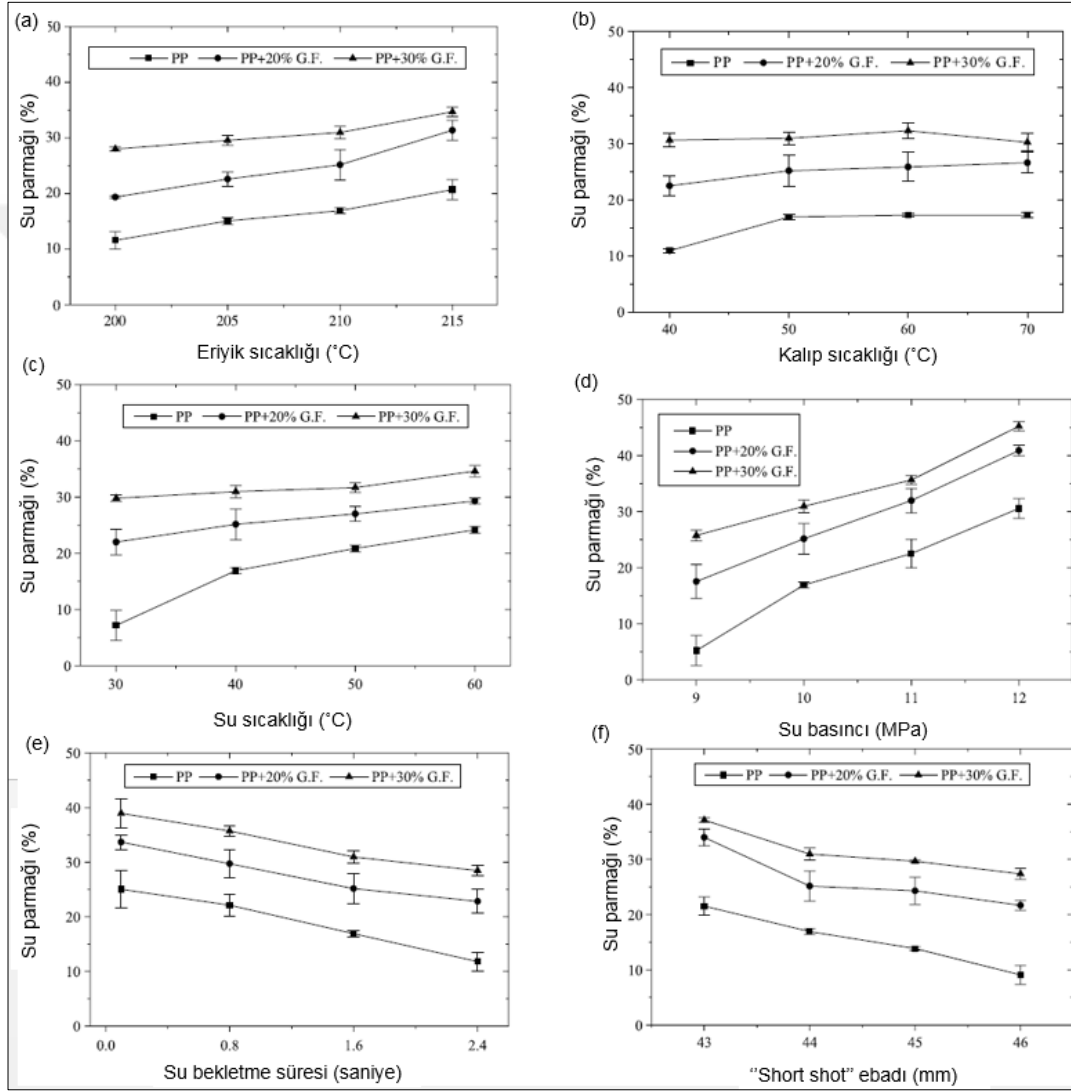
SU

ir.
uş
ran

Link style

Ek olarak, cam elyaf takviyeli parçada; takviyesiz parçaya göre daha fazla su parmağı oluşmaktadır. Cam elyaf oranı arttıkça, su parmağı oluşumu artmaktadır. Bu durum, hammaddenin takviye oranı arttıkça viskozitesinin de artmasından kaynaklanıyor olabilir.

Proses parametrelerinin yanısıra, destek federlerinin geometrisi de su parmağı oluşumunda etken rol oynar [29, 30].



Şekil 2.28. Proses parametrelerinin su parmağı yüzdesine etkisi [29]

2.2.7. Avantajları

- Alışlagelmiş enjeksiyondan farklı olarak, yalnızca kalıp metal yüzeyinden parça soğutma işlemi yapılmaz; su aynı eriyik içinde kanal oluştururken aynı zamanda

parçanın içten soğumasına da yardımcı olur. Çevrim içerisinde, soğutma için ayrılan süreden kazanç sağlanır.

- Eriyiği kalıp içerisinde hareket ettiren suyun da basıncı etkisiyle, daha düşük enjeksiyon basınçlarında proses yapılabilir.
- Gazın sıkıştırılmamasından dolayı enjeksiyon esnasında, eriyik içerisinde serbest halde dağılmasından kaynaklanan iç kabarcıklanma durumunun olmaması sebebiyle parça içi kanalda çok daha düzgün yüzey kalitesi elde edilebilir.
- Suyun eriyiği kalıbın duvarlarına doğru tüm yüzey alanlarında eşit kuvvetlerle itmesinden dolayı daha homojen bir et kalınlığı dağılımı elde edilir [26, 27, 31].

2.2.8. Dezavantajları

- Çelik kalıbın su ile temasından kaynaklı korozyon oluşumu gözlemlenebilir. Bu durumda kalıp ömrü hızlı tükenecektir [3]
- Bazı polimerlerin proseslenmesi bu yöntem için pek elverişli değildir [3].
- Prosesin sonunda suyun tahliye edilmesi için özel bir tahliye ünitesi gerekebilir [27].

2.2.9. Kullanım alanları

Şekil 2.29'da da görülebileceği şekilde, su destekli enjeksiyon kalıplama yöntemi özellikle işi boş parçaların kolayca üretimine uygundur:



Şekil 2.29. Su destekli enjeksiyon uygulama örneği

- Yağlar ve soğutucular için akışkan taşıma boruları
- Araç kapı tutacakları
- Fırın ve buzdolabı kapı tutacakları
- Testere vb araçların tutacakları
- Ofis mobilyaları
- Endüstriyel alanda yapı bileşenleri vb [32].

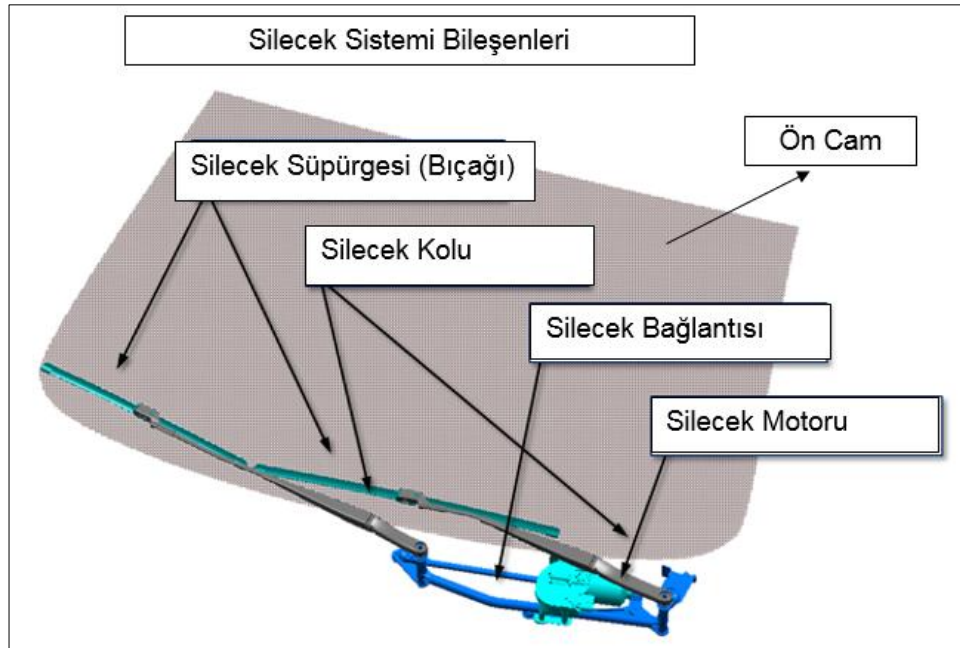


3. SİLECEK KOLU VE SİLECEK SİSTEMİ

Silecek sistemi, güvenli bir sürüş için araçta oldukça önemli bir unsurdur. Araç sürücüsünün takip ettiği yolu sağlıklı bir şekilde görebilmesi için görüşünü engelleyecek herhangi bir unsur bulunmamalıdır. Cam silecekleri, yağmurlu ve karlı günlerde güvenli ve konforlu olarak camdaki görüş alanının temizlenmesi için otomobillerin vazgeçilmez bileşenlerindendir. Bu amaçla araçlarda silecek sistemi kullanılmaktadır.

Şekil 3.1’de gösterildiği şekilde, bir araçtaki silecek sistemi 4 ana elemandan oluşmaktadır:

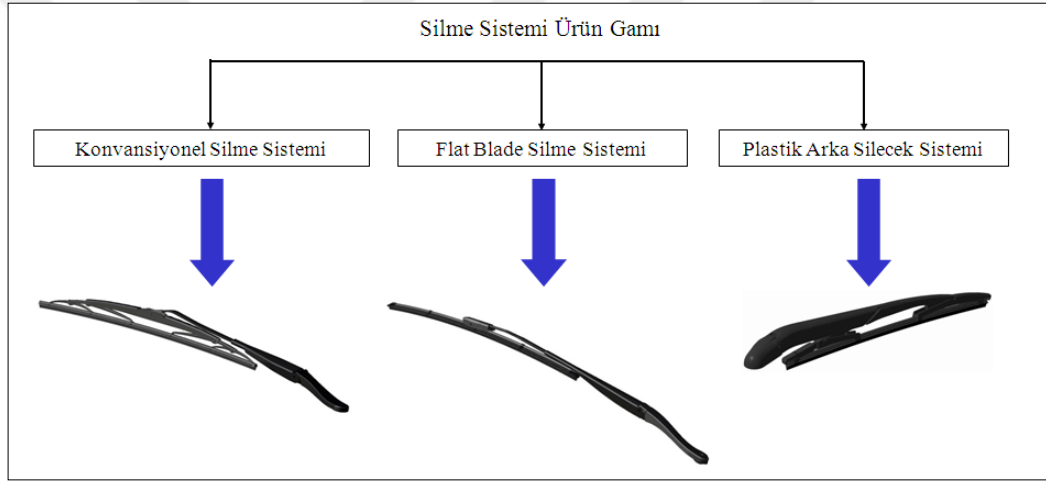
1. 2 adet silecek süpürgesi,
2. 2 adet silecek kolu,
3. Silecek bağlantı elemanları
4. 1 adet silecek motoru



Şekil 3.1. Mevcut silecek sistemi bileşenleri

Sürücünün araç içinden sileceği çalıştırma komutu vermesiyle birlikte, bir elektrik motoru olan silecek motoru çalışmaya başlar. Silecek motorundan elde edilen güç, silecek bağlantısı aracılığıyla silecek koluna aktarılır. Böylece silecek kolunun ucuna monte edilmiş silecek bıçağı ucundaki kauçuk eleman camın temizlenmesini sağlar. Tüm işlevleri yerine getirmesi üzere, mevcutta kullanılan farklı konstrüksiyondaki ürünler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Şekil 3.2’de şematize edilmiş olan konvansiyonel silme sistemi, en karmaşık konstrüksiyona sahip sistemdir. Metal malzemeden üretilmektedir. Birden fazla alt parçadan oluşmasından dolayı montaj operasyonu gereklidir. Hem tasarımındaki karmaşıklık hem de ek montaj işçilikleri dolayısıyla daha basit konstrüksiyonlu silecek sistemi geliştirilmiştir.



Şekil 3.2. Silme sistemi ürün gamı

‘Flat Blade’ silme sisteminin konstrüktif yapısı konvansiyonel silme sistemine göre daha basittir. Dolayısıyla, imalatı da konvansiyonel sisteme göre daha kolaydır. Alt parça sayısının azalması, montaj zamanı ve maliyetinden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Flat blade sisteminde de metal alt parçalar kullanılmaktadır.

Plastik arka silecek sistemi, ön camda kullanılan silecek sistemlerinden daha basit bir yapıya sahiptir. Yine ön camdaki silecek sistemlerinden daha küçük olduğu için konvansiyonel enjeksiyon yöntemi ile polimer malzemeden imal edilebilmektedir. Silme kalitesindeki beklenti, çoğunlukla ön cam sileceklerinden çok daha azdır.

Silecek kolu, güvenli ve konforlu bir sürüş için vazgeçilmez güvenlik unsurlarından biridir. Bu nedenledir ki silecek kolu, üzerinde iyileştirme ve geliştirmelerin yapılması faydalı olabilecek bir unsurdur. Bu bileşenin esas kullanım amacının dışında,

herhangi bir kaza anında sergilediği davranış da oldukça önemlidir. Metalik esaslı bir silecek kolunun kaza anında araç dışındaki bir yayaya ya da araç içindeki yolculara vereceği zarar, polimerik esaslı bir silecek kolunun aynı şahıslara vereceği zarardan çok daha fazladır.

‘Su destekli plastik enjeksiyon sistemi ile polimer kompozit silecek kolu üretimi’ yüksek lisans tezinin amacı; piyasada bulunan metal sac veya haddelenmiş çubuktan imal edilen alt parçaların montajlanarak biraraya getirildiği ön cam silecek sistemi yerine, su destekli enjeksiyon yöntemi ile imal edilmiş polimer kompozit ön cam silecek kolunu geliştirmek ve sisteme entegre etmektir. Polimer kompozit ön cam silecek kolunun, metal silecek kolundan parça birim maliyeti ve ağırlığı açısından iyileştirilmesi hedeflenmektedir. İç kanala sahip olacak yeni nesil ön cam silecek koluna mevcutta olmayan ek bir fonksiyon daha eklenerek, cam silme suyunun silecek kolu içindeki kanaldan geçirilerek cama iletilmesi hedeflenmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Çalışmanın merkezi, malzeme tercihidir. Mevcutta kullanılan metal silecek koluna alternatif ve geleceğe dönük olarak, metal silecek kolunun yerini alması hedeflenen, silecek kolu için polimer esaslı kompozit malzeme tercih edilmiştir.

Metalin mekanik dayanımı kadar iyi mekanik dayanıma sahip olan polimerik esaslı malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaçla, PBT/PET esaslı %30 cam elyaf katkılı hibrid karma, PBT esaslı %30 cam elyaf katkılı karma ve PA6 esaslı %30 cam elyaf katkılı karma olmak üzere üç farklı polimerik esaslı malzeme üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

Değerlendirmeler neticesinde BASF firmasına ait Ultramid ürününün A3HG6 WIT çeşidi tercih edilmiştir. Bu hammaddenin tercih edilmesinin sebebi, mekanik özellikleri başta olmak üzere; su destekli enjeksiyonda proseslenmek üzere özel olarak geliştirilmiş olmasıdır. Ultramid A3HG6 WIT, araçların soğutma çevrimlerinde bulunan soğutma suyu borularının imalatında aktif olarak kullanılmaktadır. Üretici tarafından hammaddeye ilişkin verilmiş olan reolojik, mekanik ve diğer bilgiler Tablo 4.1’de bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Ultramid A3HG6 WIT hammadde özellikleri

	Değer	Birim	Test Standardı
Reolojik Özellikler			
Erime akış indeksi, MVR (275°C, 5 kg)	8	cm ³ /10 dak	ISO 1133
Mekanik Özellikler			
Çekme Modülü	8700	MPa	ISO 527-1/-2
Kopmadaki gerilme	165	MPa	ISO 527-1/-2
Kopmadaki uzama	3	%	ISO 527-1/-2
Charpy darbe dayanımı (+23°C)	55	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy darbe dayanımı (-30°C)	50	kJ/m ²	ISO 179/1eU

Tablo 4.1. (Devam) Ultramid A3HG6 WIT hammadde özellikleri

Charpy çentik darbe dayanımı (+23°C)	6	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy çentik darbe dayanımı (-30°C)	5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Diğer Özellikler			
Yoğunluk	1370	kg/m ³	ISO 1183
Malzeme Özellikleri			
Viskozite	146	cm ³ /g	ISO 307, 1157,1628

Poliamid hammadde, Şekil 4.1’de gösterildiği şekilde; 25 kg’lık nem korumalı torbalarda tedarik edilmiştir.



Şekil 4.1. Hammadde torbası

Kendinden siyah boyalı hammadde, granür/tanecik haldedir. Şekil 4.2 hammadde görseline aittir.



Şekil 4.2. Tanecik

4.2. Kalıp ve Parça Tasarımı

İçi boş kanallı ön cam silecek kolu tasarımı bilgisayar ortamında bulunan simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir.

Hedef ürün doğrultusunda belirlenen ölçülerde kalıp tasarımı bilgisayar ortamında simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir. Su destekli enjeksiyon prosesi de göz önünde bulundurularak; su giriş noktaları, su kanalları ve su çıkış noktaları da kalıp tasarımı esnasında belirlenmiştir.

Tasarım çalışmalarında, CAD/CAM/CAE entegre Siemens NX yazılımı kullanılmıştır.

4.3. Makine

4.3.1. Kurutma makinesi

Her ne kadar hammadde nem geçirmez torbalarda tedarik edilmiş olsa dahi; enjeksiyon sonrası elde edilecek üründe hammadde içerisinde kalan nemden dolayı meydana gelebilecek olası hataları engellemek amacıyla, enjeksiyon prosesi hammadde kurutma işlemi uygulanmıştır.

Hammadde kurutma işlemi 80-90°C sıcaklık aralığında, minimum 4 saat yapılmıştır. Kurutma için kullanılan kuru hava kurutucusu Motan Luxor A serisidir. Şekil 4.3'te görseli bulunan ekipman ile saatte 160 m³ kuru hava akışı, PLC kontrolü ile sağlanabilmektedir.



Şekil 4.3. Kurutma makinesi

4.3.2. Enjeksiyon makinesi

Enjeksiyon işlemi için Engel marka Duo400 model makine kullanılmıştır. İki rijit dökme çelik plakalı 400 ton kapama kuvvetine sahip olan makinede, çift silindir bulunmaktadır. Her iki vidanın da boy/çap oranı 20'dir. Aşınmaya ve korozyona karşı dirençli silindirlerin çapları 80 ve 55 mm'dir.

Windows destekli, dokunmatik ekranlı kontrol ünitesi ile pekçok işlem kolaylıkla elde edilebilir niteliktedir. Akışkan ünitesi de entegre cihaz görseli Şekil 4.4'tedir.



Şekil 4.4. Enjeksiyon makinesi

Şekil 4.4'te görseli bulunan makine ile hem eriyik enjeksiyon prosesi hem de su enjeksiyon prosesi için proses parametreleri set değerleri oluşturulmuştur. Çalışmalar süresinde kullanılan ayar parametreleri değer aralıkları Tablo 4.2'dedir.

Tablo 4.2. Proses parametreleri

	En düşük	En yüksek	Birim
Vida Isıları			
Silindir sıcaklığı-1	250	300	°C
Silindir sıcaklığı-2	265	315	°C
Silindir sıcaklığı-3	265	315	°C
Silindir sıcaklığı-4	260	310	°C
Silindir sıcaklığı-5	260	310	°C
Silindir sıcaklığı-6	265	315	°C
Sıcak yolluk ısıları	270	320	°C

Tablo 4.2. (Devam) Proses parametreleri

Enjeksiyon Değerleri			
Hız-1	825	960	cm ³ /s
Basınç-1	725	875	bar
Hız-2	725	860	cm ³ /s
Basınç-2	625	775	bar
Ütüleme Değerleri			
Basınç	0	70	bar
Zaman	5	12	sn
Su Enjeksiyonu			
Bekletme zamanı	0,10	2,20	sn
Enjeksiyon basıncı	30	170	bar
Doldurma hızı	180	300	cm ³ /s
Enjeksiyon hacmi	140	270	cm ³

4.4. Silecek kolu performans testi

Potansiyel müşteri şartnameleri doğrultusunda, müşteri araçlarından örnekler alınarak montaj ve performans denemeleri yapılmıştır.

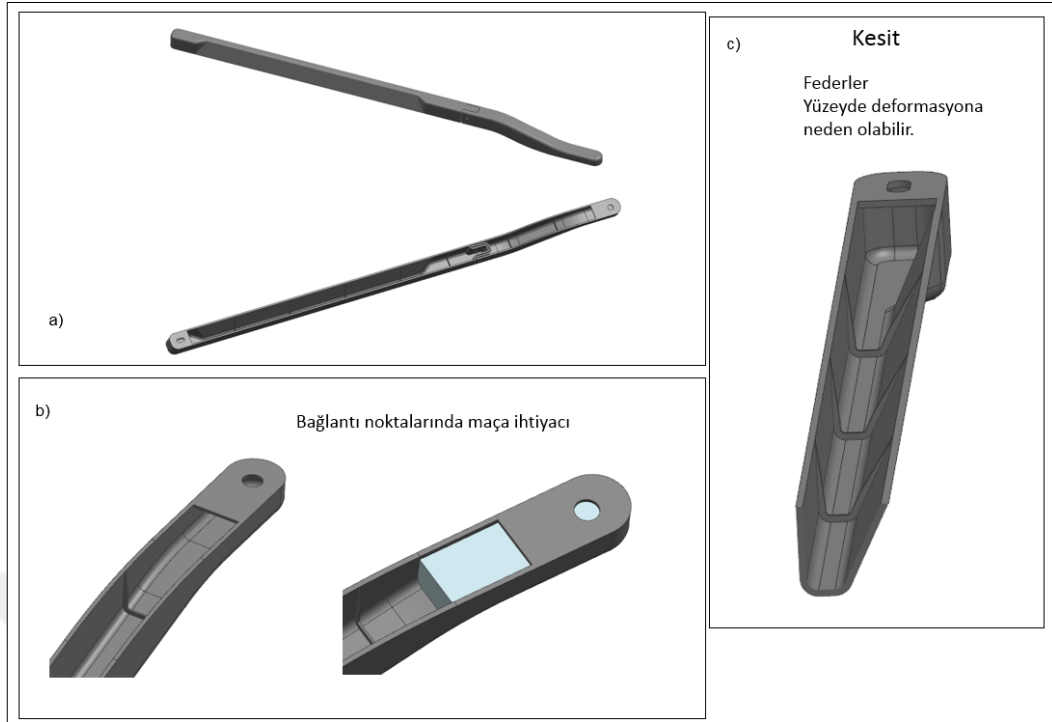
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

00927.STZ.2011-1 numaralı SanTez çalışmasının ilk iş pakedi kapsamında, hem literatür hem de parça tasarımına ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

Literatür incelemelerinde öne çıkan madde uygulanacak imalat yönteminin parça ile olan etkileşimini incelemek üzerinedir. Bölüm 1’de detaylıca tariflendiği üzere, polimerik malzemeleri şekillendirebilmek ve çeşitlendirebilmek için uygulamada olan birçok imalat yöntemi bulunmaktadır. Polimer ve kompozit polimer materyallerin proseslenmesinde öne çıkan; ekstrüzyon, yapısal köpük kalıplama, şişirme ile kalıplama, rotasyon kalıplama, termoforming, sıkıştırmayla kalıplama, transfer kalıplama, döküm ve enjeksiyon kalıplama yöntemlerinin bir kısmı değerlendirme dışı bırakılmıştır. Mevcut parça tasarımı, ürün kullanım yerine göre parça tasarımı ve ürün fonksiyonelliğine göre yapılan değerlendirme neticesinde, değerlendirmeye alınan imalat yöntemleri; konvansiyonel enjeksiyon ve akışkan destekli enjeksiyonlar olmuştur. Tablo 5.1’de olası imalat yöntemlerinin beklentilere göre kıyaslaması yapılmıştır.

Tablo 5.1. Ön cam silecek kolu tasarımı esnasında enjeksiyon yöntemlerinin kıyaslanması

	Konvansiyonel enjeksiyon	Gaz destekli enjeksiyon	Su destekli enjeksiyon
İçi boş kanal yapısı	Yok	Var	Var
İç kanal yüzey kalitesi	Yok	İyi	Çok iyi
Parça tasarım serbestliği	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Yüzey kalitesi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Çok gözlü kalıp	Var	Var	Var
Otomasyona uygunluk	Var	Var	Var
Maliyet	Orta	İyi	Çok iyi
Çevrim süresi	İyi	İyi	Çok iyi
Et kalınlığı dağılımı	İyi	İyi	Çok iyi
Parçada çekme	Orta	İyi	Çok iyi



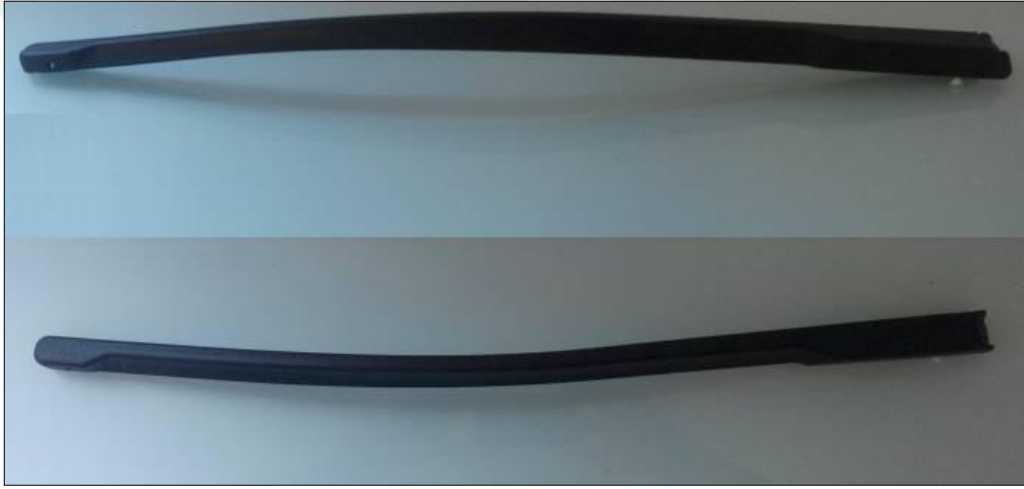
Şekil 5.1. Kovansiyonel enjeksiyon parça tasarımı a) Konvansiyonel enjeksiyon kullanılarak elde edilecek parça kanal yapısı, b) Bağlantı noktalarında maça gerekliliği, c) Feder yapısı

Konvansiyonel enjeksiyon ile imal edilecek parça ve kalıp tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi konvansiyonel enjeksiyonda içi boş kanallı yapı elde etmek mümkün değildir. Bu sebeple ürün U profil olacak şekilde tasarlanmıştır. PA6+%30 GF hammaddede her ne kadar kalıplama esnasında soğutuluyorsa da dış ortamda da çekmeye ve nihai şeklini almaya devam eder. Bu esnada kontrolsüz çekme/soğuma olması halinde U kesit zarar görerek Şekil 5.1'deki hali alacaktır. Bu sebeple U kanalın içine destekleyici bayrak federler eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca federler sileceğin mekanik dayanımını da arttıracaktır. Bununla birlikte enjeksiyon sonrasında feder bölgelerinde gerilim yığılmaları meydana gelerek parça yüzeyinde çöküntüye sebep olacağı öngörülmüştür. Kalıp tasarımı su destekli enjeksiyona göre daha basit olsa dahi Şekil 5.1'deki parçayı elde edebilmek için insert gibi ek kalıp ekipmanlarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu da kalıp maliyetlerinde artışa sebep olacaktır.

Piyasadan mevcut ürün tedarik edilerek yapılan kıyaslama çalışmalarında; metalik silecek kolunda kullanılan hammaddeye ilişkin mekanik dayanım, boyutları vb çalışmalar yapılmıştır. Yanısıra, ürün dayanım beklentileri üzerine de dış ortam koşullarına dayanım, iklimatik dayanım vb incelemeler yapılmıştır. Bu doğrultuda hem hammadde seçiminde hem de polimerik esaslı hammadde seçiminde etkili olacak bilgiler edinilmiştir.

Su destekli enjeksiyon Türkiye’de henüz bilinmeyen ve Dünya’da kullanımı hızla yaygınlaşan bir yöntem olduğu için; gerek makine imalatçılarından hem de hammadde tedarikçilerinden de destek alınmıştır. Gerek kıyaslama çalışması, gerek literatür incelemeleri gerekse tedarikçilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda; su destekli enjeksiyon için geliştirilmiş PA6.6+%30 GF malzeme karar verilmiştir.

Tasarım çalışmalarında girdi olabilecek bazı bilgiler kıyaslama çalışmaları ve literatür incelemeleri ile elde edilirken; yapısal tasarıma ilişkin bazı bilgilere erişebilmek için talaşlı imalat ile ön prototip parçalar elde edilmiştir. Bunun yapılmasının amacı, hem parça tasarımına ilişkin veriye sahip olabilmek hem de parçanın montajlanabilme kabiliyetini ön bir çalışma ile öğrenebilmektir. Şekil 5.2’de talaşlı imalat yöntemi ile elde edilmiş bir ön prototip parça görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.2. Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen su enjeksiyon yöntemine göre tasarlanmış ön prototip silecek kolu

Ön prototip parçanın, diğer laboratuvar testlerinden önce, montaj uygunluğunu kontrol etmenin yolu en az maliyetli ve pratik yöntemi Şekil 5.3’te gösterildiği şekilde araca monte etmektir. Ön prototip parça, potansiyel müşteri araçlarının birkaçında montaj kontrolüne tabi tutulmuştur.

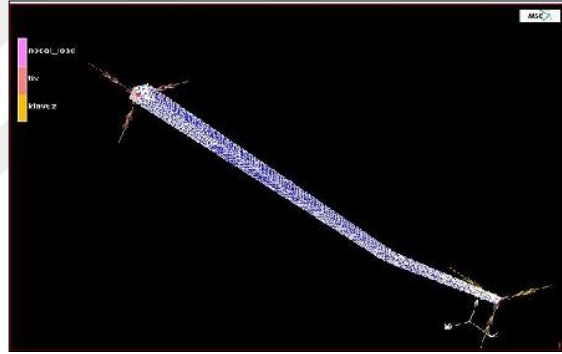
Montaj uygunluğu kontrolü ile birlikte, ön prototip parçada birtakım düzeltmeler ve tasarımsal değişiklikler yapıldıktan sonra ikinci iş pakedine geçilmiştir.

Ürün ve prosese ilişkin ihtiyaç olan bilgileri edindikten sonra gelen kısım ikinci iş pakedi olmuştur. Bu iş pakedinde, yapılan test ve denemeler ışığında parça tasarımı, kalıp tasarımı ve parametre tasarımı yapılmıştır.



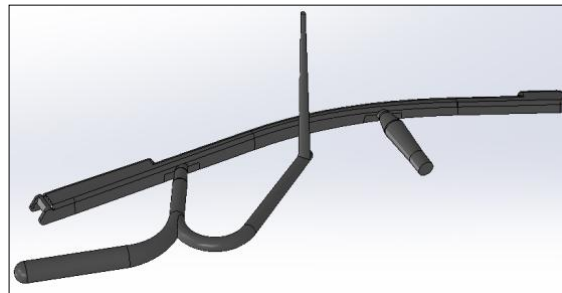
Şekil 5.3. Ön prototip parçanın montaj uygunluğu kontrolü

Parça tasarımları, ön prototip parçadan ve yapılan analizlerden elde edilen verilerin düşsel yetenekle birleştirilip bilgisayar ortamında simüle edilerek yapılmıştır. Simüle tasarım Şekil 5.4'te görselleştirilmiştir.



Şekil 5.4. Bilgisayar destekli parça tasarımı

Su destekli enjeksiyon teknolojisi ile parça üretimi oldukça ileri bir teknolojiye sahiptir. Plastik enjeksiyon, sanayide sık kullanılan bir imalat yöntemi olmasına karşın, su destekli enjeksiyonda parça tasarımı ayrıca bilgi ve tecrübe gerektirmektedir. Bu sebeple, en uygun parçayı geliştirebilmek adına, defalarca tekrarlarla yapılan tasarım çalışmaları neticesinde Şekil 5.5'te bulunan parça tasarımı elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Silecek kolu tasarım görüntüsü

Metalik esaslı silecek kolunun aksine, polimerik esaslı silecek kolunda montaj operasyonu olmayacağından, yalnızca araç gövdesine montaj için gerekli olan parça ve mekanizma kolu tasarımı da bu aşamada yapılmıştır. Şekil 5.6'da mekanizma kolu parçası tasarım görseli bulunmaktadır.



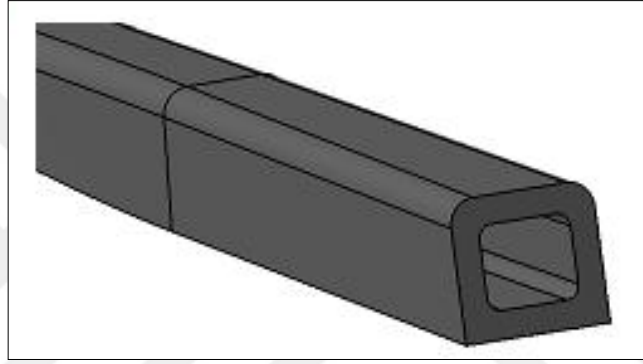
Şekil 5.6. Mekanizma kolu tasarım görüntüsü

Polimerik esaslı silecek kolunda, metalik esaslı silecek kolunun aksine montaj operasyonu olmayacaktır. Polimerik esaslı silecek kolunun araç gövdesine montajı esnasında ihtiyaç duyulacak bağlantının tasarımı da bu iş pakedi içerisinde. Mekanizma kolu da silecek kolu kadar gibi önemli bir göreve sahiptir. Silecek kolu ve silecek motoru arasındaki kuvvet iletimini üstlenecek olan bu parçanın da mekanik dayanımı ve yağ, su vb dış etkenlere karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Şekil 5.7'de su enjeksiyon yöntemi ile üretilmesi öngörülmüş silecek kolu mekanizması sistem tasarım görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.7. Silecek kolu mekanizması sistem tasarım görseli

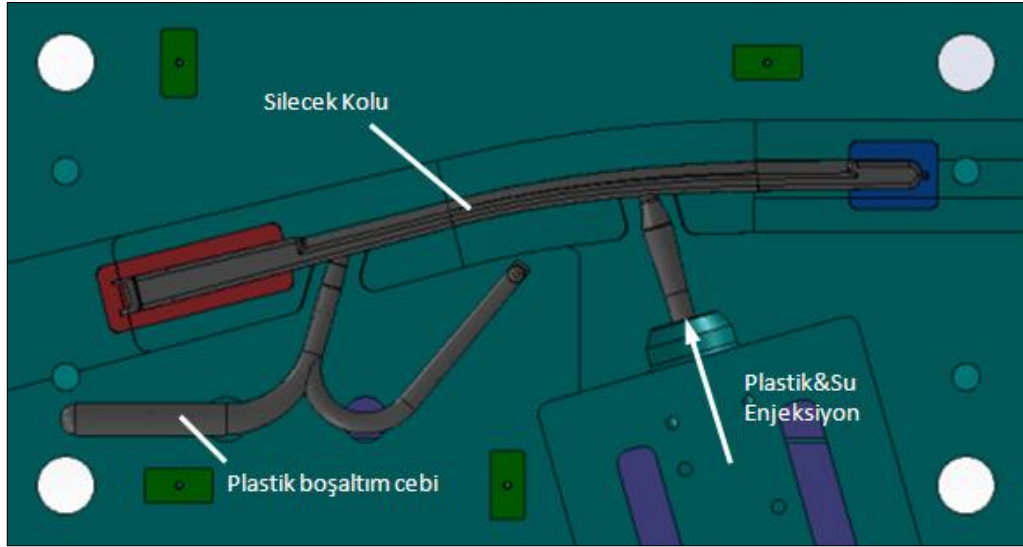
Eriyiğin enjeksiyonu akabinde kalıba enjekte edilen su vasıtasıyla, eriyik içinde içi boş kanal yapısı elde edilmiş olur. Su bu boş kanaldan geçerken parçayı soğutarak eriyiğin şekil alarak donmasına yardımcı olur. Su destekli enjeksiyon yöntemi ile imal edilmesi tasarlanan ön cam silecek kolunun içinde de içi boş kanal yapısı oluşacaktır. Metalik esaslı silecek kolundan farklı olmayan, polimerik esaslı silecek kolunun içindeki içi boş kanal atıl bırakılmayarak fonksiyon kazandırılması düşünülmüştür. Bir geliştirme çalışması neticesinde polimerik esaslı silecek kolu içerisindeki içi boş kanala; Dünya üzerinde, binek araç tipinde kullanılan herhangi bir silecekte olmayan bir özellik kazandırılması amaçlanmıştır. Şekil 5.8’de görülen boşluk kısmından silecek suyu iletim kanalının geçirilmesi tasarlanmıştır.



Şekil 5.8. Silecek kolu içi, silecek suyu kanalı

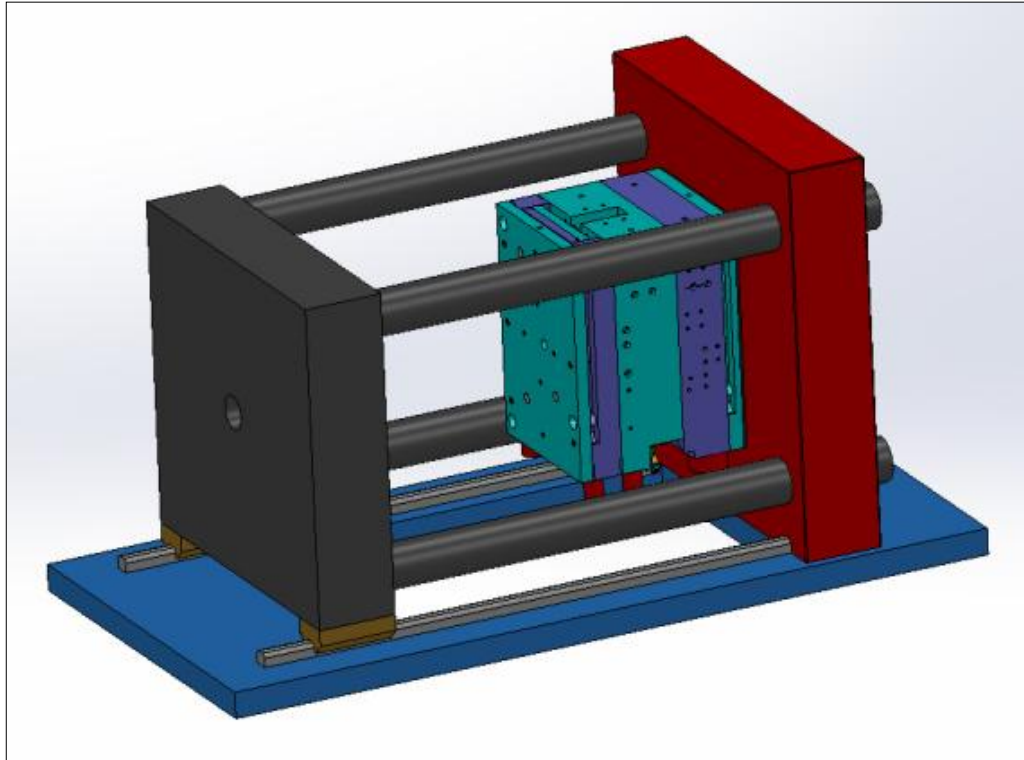
Parça ve mekanizma tasarımlarının tamamlanmasının ardından; ürünü imal etmek için gerekli olan kalıp tasarımları, yine aynı ürün tasarımında olduğu gibi bilgisayar destekli programlar vasıtasıyla yapılmıştır.

Şekil 5.9’da silecek kolu için tasarlanan su enjeksiyon alt kalıbı görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, ilk olarak polimer kompozit malzeme kalıp boşluğuna ok yönünde enjekte edilmektedir. Bu işlem sırasında, plastik boşaltım cebi olarak bilinen cep bir piston yardımıyla kapalı tutulmaktadır. Bu parçanın imalatında taşma, “over flow” veya “full shot” olarak bilinen su destekli enjeksiyon yönteminin uygulanması planlanmıştır. Polimer kompozit enjeksiyonunun hemen ardından aynı kanaldan yüksek basınçlı su enjekte edilmektedir. Enjekte edilen su yardımıyla kalıbı dolduran polimerin içindeki malzeme, plastik boşaltım cebindeki pistonun açılması ile birlikte bu bölgeye doğru itilmektedir. Böylece ürünün içi boşaltılarak hem malzemeden hem de ağırlıktan tasarruf edilmektedir.



Şekil 5.9. Silecek kolu alt kalıbı

Şekil 5.9’da gösterilen şekildeki alt kalıp ve ayrıca bulunan üst kalıp tasarımları tamamlandıktan sonra üstel bir bakış açısı ile kalıplar birleştirilmiş ve bilgisayar simülasyon programı ile kalıpların çalışması denenmiştir. Ayrıca pres aralığına uyumunu kontrol etmek amacıyla yine tasarım aşamasında, kalıbın montajlanmış görüntüsü de elde edilerek analiz edilmiştir. Şekil 5.10’da silecek kolu kalıbının makine pres aralığına montajlanması tasarımı görülmektedir.



Şekil 5.10. Silecek kolu montajlanmış kalıp tasarım görseli

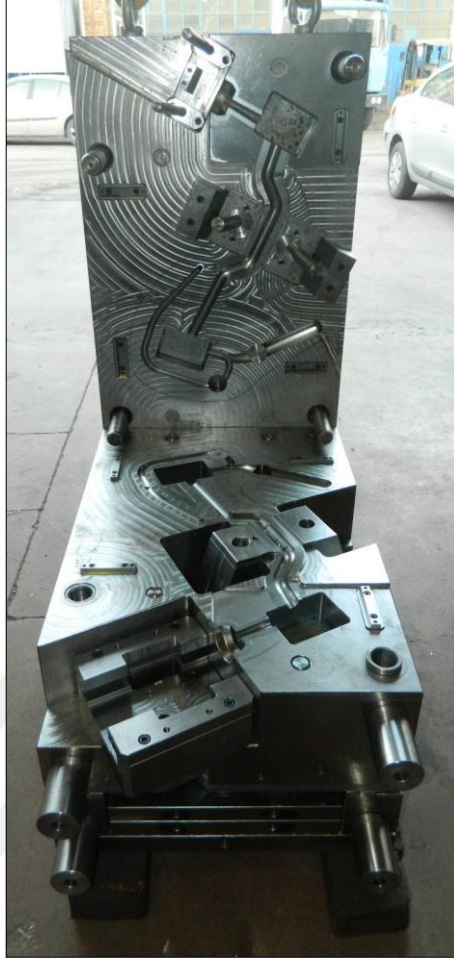
Parça tasarımlarının tamamlanarak kalıp tasarımlarının da bitirilmesinin ardından kalıp imalatı yapılmıştır. Bu kapsamda kalıp setleri, yalıtım plakaları, itici sistemleri vb ihtiyaç duyulan ekipmanlar tamamlanmıştır. Ürünün bağlı bulunduğu mekanizma içerisinde, çalışma şekli ve etkileşimde olduğu referanslar dikkate alınarak; belirlenen ölçü ve toleranslara uygun olarak kalıp elemanlarına son şekilleri verilmiştir. Montaj denemeleri ile birlikte, Şekil 5.11’de bulunan polimer kompozit silecek kolu ve Şekil 5.12’de bulunan mekanizma kolu parçalarının kalıp imalatları tamamlanmıştır.

Prototip kalıplar ile ilk etapta su enjeksiyon üniteleri kullanılmadan deneme numuneleri elde edilmiştir. Böylelikle ilk proses koşulları belirlenmiş ve kalıpların fonksiyonellikleri teyit edilmiştir. Su enjeksiyon ünitelerini içeren enjeksiyon makinası ile de proses gerçekleştirilerek, parça yüzey kalitesi ve boyutları mevcut ürünler ile incelenmiş ve müşteri şartnamesinde talep edilen ölçü ve özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Tablo 4.2’de verilmiş olan proses parametrelerinin uygunluğu da böylelikle teyit edilmiş ve parametreler seri imalatta kullanılmak üzere sabitlenmiştir.

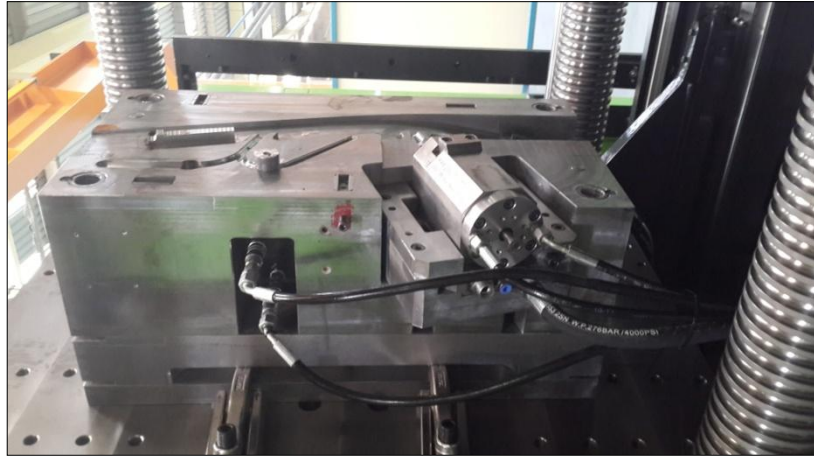
Üretim esnasında kullanılan su enjeksiyon ünitesi Şekil 5.13’te bulunmaktadır.



Şekil 5.11. Silecek kolu kalıbı

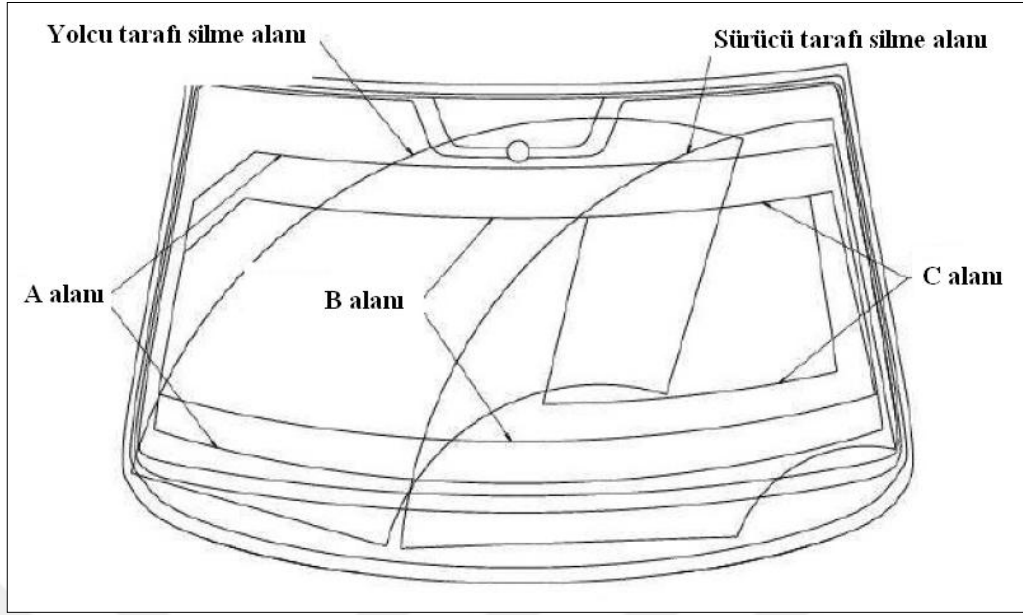


Şekil 5.12. Mekanizma kolu kalıbı



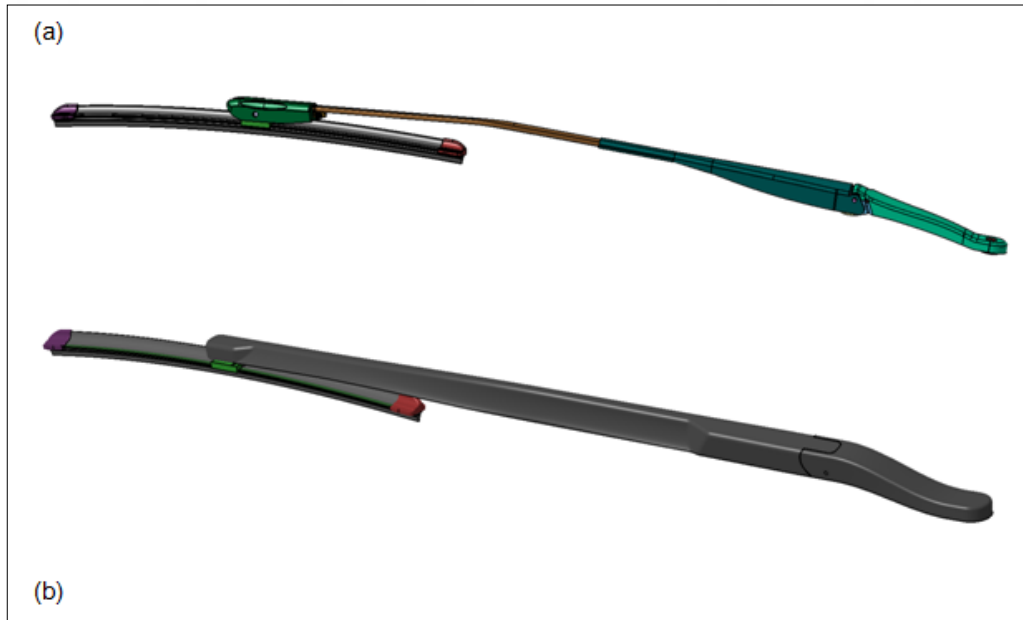
Şekil 5.13. Su enjeksiyon ünitesi

Nihayetinde elde edilen çıktı ürüne bazı dış ortam koşullarına dayanım, cam elyaf dağılımı, et kalınlığı analizi, çekme dayanımı, fonksiyon testi vb birçok validasyon testi uygulanmıştır.



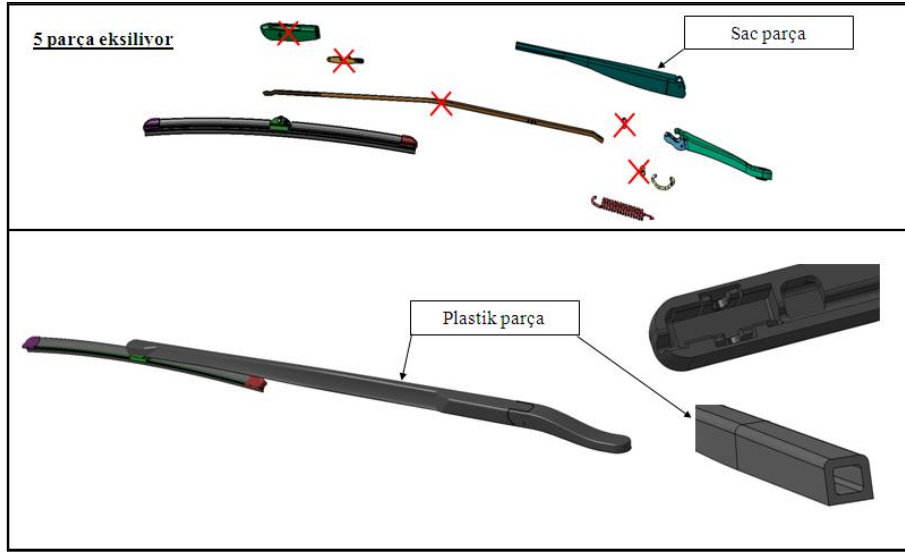
Şekil 5.14. Müşteri şartnamesine göre görme ve silme alanı şeması

Şekil 5.14'te bu testlerin yalnızca birine aittir. Müşteri şartnamesine göre, silme ve görme alanları testi bu şemada gösterildiği gibi test edilmektedir. Yine benzer bir yaklaşım ile farklı ortam koşulları oluşturularak sileceğin, örneğin 1000000+ çevrimde, dayanımı test edilmiştir.



Şekil 5.15. Silecek kolu tasarımı a) Metalik silecek kolu, b) Polimerik silecek kolu

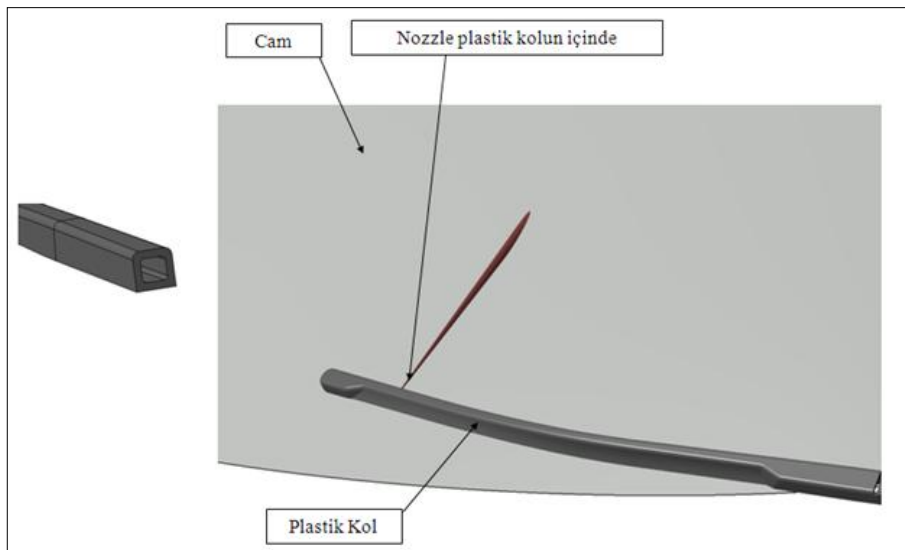
Şekil 5.15'te bulunan metalik silecek kolu ve polimerik silecek kolu arasındaki tasarım farklılığı, polimerik silecek kolu ile birlikte gelen tasarım iyileştirmesi ile birlikte; metalik silecek kolu alt parçalarında azaltma elde edilmiştir.



Şekil 5.16. Metalik ve polimerik silecek kolları alt parçaları

Şekil 5.16'da şematize edildiği gibi, metalik silecek kolunda halihazırda var olan 5 farklı alt parça, yeni tasarım ve su destekli enjeksiyon teknolojisi sayesinde ortadan kaldırılmıştır. Bu da hem alt parça imalatında meydana gelen ekstra maliyete hem de montajı esnasında meydana gelen ekstra maliyete karşı alınmış bir tedbir olarak tez çalışmasının kazanımlarında yerini almıştır.

Çalışma sonunda başlangıçta da tasarlandığı şekilde, kanalın iç boşluğundan faydalanmak ve bu boşluğa bir fonksiyonellik katabilmek için; yine silecek sistemi ile bağlantılı olan bir işlev oluşturulmuştur. Silecek kolu içerisindeki kanala Şekil 5.17'de görseli bulunan şekilde, Dünya'da binek araç tipinde kullanımda olmayan bir yolla silecek suyu transferi misyonu verilmiştir.

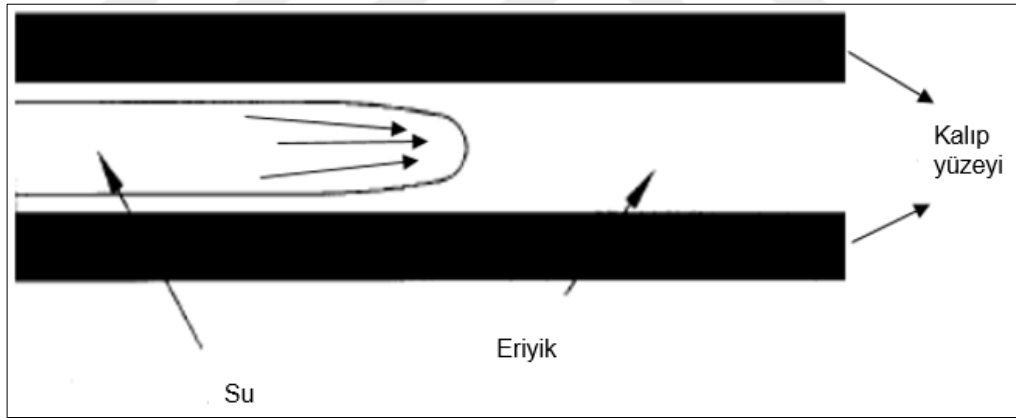


Şekil 5.17. Silecek suyu taşınan silecek kolu görseli

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su destekli plastik enjeksiyon sistemi ile polimer kompozit silecek kolu üretimi, Türkiye’de ilk defa ve Dünya’da da hızla yaygınlaşmakta olan su destekli plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak yapılan ürün tasarımı, kalıp tasarımı ve parametre tasarımı ile tam anlamıyla bir ürün ve proses geliştirme çalışması olmuştur.

Yapılan literatür incelemelerinde; kullanılan polimer kompozit hammaddeye (PA6.6+%30GF) ve imalat metoduna (Su destekli enjeksiyon) ilişkin çalışmalara erişmek mümkün olduysa dahi, üzerine geliştirme çalışması yapılan ürüne dair herhangi bir kaynak bulunamamıştır. İlk defa polimerik esaslı malzeme kullanılarak üretilmesi ve silecek kolu ürünü geliştirilmesi dışında, cam silme suyu iletim kanalı ve püskürtme nozulunu da üzerinde bulundurulmasıyla fonksiyonelliği arttırılan başka bir eşi olmayan bir ürün eldesi sağlanmıştır.



Şekil 6.1. Su destekli enjeksiyon esnasında kesit görüntüsü

Tez çalışması neticesinde elde edilen en büyük kazanım, ürünün kalıp içerisinde soğutulması olmuştur. Şekil 6.1’de görülebileceği şekilde su, kalıplama esnasında eriyik içinden geçerek yol almaktadır. Bu şekilde hem konvansiyonel enjeksiyonda olduğu gibi, kalıp dışında soğutma işlemi yapılırken hem de eriyik içinden geçen su aynı zamanda eriyiğin soğuyarak katılaşmasında yardımcı olmuştur. Bu şekilde ürünün istenilen şekli almasında ihtiyaç duyulan zaman dilimi azaltılmıştır. Çevrim süresinde % 25’ten fazla iyileşme elde edilmiştir.

Bölüm 2’de üzerinde durulduğu gibi eriyiğin kalıp içinde tanımlı bir basınç değerinde tutularak kalıbın şeklini alması sağlanır. Su destekli enjeksiyonda ise su eriyik içinde yol alırken aynı zamanda eriyiğin aklıp yüzeyine doğru sıkıştırılmasına yardımcı olmuştur. Böylelikle daha düşük enjeksiyon basıncı ile çevrimin tamamlanması sağlanmıştır.

İçi dolu parça eldesi sağlanabilen konvansiyonel yöntemlerin aksine su destekli enjeksiyonda parça iç hacmi boşluklu elde edilmiştir. Böylece hammadde sarfiyatında %50’ye yakın oranda azalma elde edilmiştir.

İçi boş kanallı yapı sayesinde parça toplam ağırlığında azalma elde edilmiştir. Bu kazancın ardıl faydası olarak araç toplam ağırlığında düşüş ile birlikte aracın yakıt sarfiyatında da düşüş olması beklenmektedir. Yanısıra egzoz emüsyonunda da fayda sağlanması beklenmektedir.

Suyun eriyiğe alttan baskı uygulayarak kalıp yüzeyine sıkıştırılması ile birlikte Bölüm 3’te detaylıca anlatılan parça yüzeyinde çöküntü gibi parça kalite hatalarının önüne geçilmiştir.

Yeni silecek kolu ve silecek sistemi tasarımı ile montajlanacak alt parçanın %50’sinden fazlası elimine edilmiştir. Bu hem montajlama maliyetinden hem de ürün elde edilmesi için gerekli olan toplam süreden %50’ye yakın oranda kazanç sağlanmıştır.

Herhangi bir proste ana imalattan sonra yapılan ek işlem (montaj vb) üründe kalite hatası veya hatalı işlem yapılmasına zemin oluşturmaktadır. Montaj operasyonundaki iyileşme hatalı ürün oluşma olasılığını da kısmen ortadan kaldırmıştır.

Yeni parça tasarımı su destekli enjeksiyona uygun olarak yapıldığı için parça boyunca homojen bir et kalınlığı dağılımı ve iyi bir iç yüzey kalitesi elde edilmiştir.

Polimer hammaddenin birim fiyatı metal hammaddeden daha fazladır. Metalik silecek koluna alternatif polimerik silecek kolu ile hammadde maliyetleri azaltılmıştır.

Tüm yapılan çalışmaların paralelinde silecek kolundaki ağırlığın azalması dolayısıyla silecek sisteminde bulunan ve silecek kolunun hareketini sağlayan elektrik motorunun yükü hafifletilerek verimlilik artırılabilir. Daha küçük bir elektrik motorunun tercih edilmesine dahi öncülük ederek araç toplam ağırlığında artı bir azalma ve bunun akabinde takip eden iyileştirmelere gidilmesine yardımcı olabilecektir.

Elde edilen ürün; görsel, boyutsal ve performans açısından müşteri beklentilerini karşılar niteliktedir. Metal hammaddeden polimerik kompozit hammaddeye geçilmesi, montaj işçilik süresinde azalma, parça imalat çevrim süresindeki azalma ile birlikte; mevcut ürüne göre %20-30 arasında maliyet iyileştirmesi sağlanmıştır. Uygulanan yöntemin faydalarından biri de proses kaynaklı hurdaların ve kayıpların en düşük seviyeye indirgenmesidir. Bu durum da yine tek seferde istenilen kalitede parçayı elde ederek, işletmelerin görünmez kayıplarından kalitesizlik maliyetlerinden kazanç elde edilmesi demektir.

Yine metal hammaddeden polimerik kompozit hammaddeye geçilmesi, içi boş kanallı parça imal edilmesi ile birlikte; mevcut ürüne göre %40 oranında ağırlıkta iyileştirme gözlemlenmiştir. Parça ağırlığından elde edilen kazanç ile birlikte, araç toplam ağırlığında düşüş; araç toplam ağırlığına bağlantılı olarak ise egzoz emüsyon değerlerinde ve araç yakıt maliyetlerinde azalma ardıl faydaları bulunmaktadır.

İleriye dönük olarak elde edilen ürün tasarımı, kalıp tasarımı, proses tasarımı, su destekli enjeksiyon yönteminin kullanımı bilgi ve tecrübeleri ile; benzer şekilde, otobüs, kamyon, iş makineleri gibi daha büyük silecek kollarının kullanıldığı araçlarda da benzer çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gldař A., Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ergimiş Plastik Akışının Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004, 155694.
- [2] Melikoęlu A.Y., Sayer S., Termoplastik Esaslı Malzemelerde Akışkan Destekli retim Yöntemlerinin İncelenmesi (GIT, WIT, PIT), *Mühendis ve Makina*, 2015, **56**(669), 48-57.
- [3] Liu S. J., Lin M. J., Wu Y. C., An Experimental Study of the Water-Assisted Injection Molding of Glass Fiber Filled Poly-Butylene-Terephthalate (PBT) Composites, *Composites Science and Technology*, DOI: 10.1016/j.compscitech.2006.09.016.
- [4] Kalpakjian S., Schmid S. R., *Manufacturing Engineering and Technology*, 6th ed., Prentice Hall, New York, 2010.
- [5] Vural M., Plastikler i Şekillendirme Yöntemleri, İT Makina Fakültesi, <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch13-Plastik%20isleme.pdf> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [6] <http://www.thewarren.org/GCSERevision/engineering/plastic%20forming.htm> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [7] Ay İ., Plastik Malzemeler, Balıkesir niversitesi, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/ex.ufleme.pdf> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [8] <https://www.starrapid.com/blog/the-top-7-ways-of-forming-plastics/> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [9] Eker A. A., Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri, Yıldız Teknik niversitesi, <https://www.starrapid.com/blog/the-top-7-ways-of-forming-plastics/> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [10] Akyüz . F., *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*, 2. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2001.
- [11] zbek İ., Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçiminde Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 338986.
- [12] Esenlik M., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm nerileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001, 104645.

- [13] Kayı Y., Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181891.
- [14] Turaçlı H., *Enjeksiyoncunun El Kitabı*, 2. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2003.
- [15] Turaçlı H., *Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri*, 2. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2003.
- [16] Topal M. M., Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Üründeki Kaynak Yeri Hatalarının Mukavemet Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2010, 271524.
- [17] Kaptı A. O., Üretim Hataları, Sakarya Üniversitesi, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66855/29490/10.%C3%BCretim_hatalar%C4%B1.pdf (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [18] <http://gaspins.com/PDFgallery.htm> (Ziyaret tarihi: 16.03.2018).
- [19] http://wb-bg.com/upload/manuals/Airmould_Aquamould_gb.pdf (Ziyaret tarihi: 16.03.2018)
- [20] Knights M., Water Injection Molding Makes Hollow Parts Faster and Lighter, *Plastics Technology*, 2002, **48**(4), 42-63.
- [21] Schepper B., Dörnhoff H., Brouws X., Aucott P., *Water Injection Technology*, Dupont, 2002.
- [22] Bozkurtlu M., *WIT-Su Enjeksiyon Teknolojisi Sunumu*, Teklas Kauçuk, 2009.
- [23] <https://www.ptonline.com/articles/water-injection-molding-makes-hollow-parts-faster-lighter> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [24] Roth W., Why Water- Assisted Injection Moulding?, Advantages and Disadvantages, http://www.battenfeld.ru/fileadmin/templates/docs/technologies/aquamould_presentation_en.pdf (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).
- [25] Huang H. X., Deng Z. W., Effects and Optimization of Processing Parameters in Water-Assisted Injection Molding, *Journal of Polymer Science*, DOI: 10.1002/app.27560.
- [26] Liu S. J., Lin M. J., Wu Y. C., An Experimental Study of the Water-Assisted Injection Molding of Glass Fiber Filled Poly-Butylene-Terephthalate (PBT) Composites, *Composites Science and Technology*, DOI: 10.1016/j.compscitech.2006.09.016.
- [27] Wu Y. C., Liu S. J., Flow Visualisation of Water Assisted Injection Moulding Process, *Plastics, Rubbers and Composites*, DOI: 10.1179/174328905X64731.

- [28] Park H., Cha B.S., Rhee B., Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Process Conditions on Residual Wall Thickness and Cooling and Surface Characteristics of Water-Assisted Injection Molded Hollow Products, *Advances in Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1155/2015/161938.
- [29] Liu S. J., Lin S. P., Study of 'Fingering' in Water Assisted Injection Molded Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, DOI: 10.1016/j.compositesa.2005.02.011.
- [30] Liu S. J., Lin S. P., Factors Affecting the Formation of Fingering in Water-Assisted Injection-Molded Thermoplastics, *Advances in Polymer Technology*, DOI: 10.1002/adv.20062.
- [31] Pötsch G., Walter M., *Injection Molding*, 2nd ed., Hanser, Münih, 2007.
- [32] <https://knowledge.ulprospector.com/1517/pe-water-assist-injection-molding/> (Ziyaret tarihi: 04.03.2018).

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kocaeli’de doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir. 2011 yılında özel sektörde başladığı kariyerine, 2016 yılından beri Mercedes Benz Türk A.Ş.’de Kalite Mühendisi olarak devam etmektedir.

