

TERMOPLASTİK ESASLI MALZEMELERDE AKIŞKAN DESTEKLİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ (GIT, WIT, PIT)

Arzu Yalçın Melikoğlu*

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İzmir
arzu.yalcin@gmail.com

Sami Sayer

Doç. Dr.,
Ege Üniversitesi,
Ege Meslek Yüksekokulu
Polimer Teknolojisi Bölümü, İzmir
sami.sayer@ege.edu.tr

ÖZ

Son yıllarda, termoplastik parça üretiminde; parça kalitesinin iyileştirilmesi, çevrim süresinin azaltılması, tasarımda serbestlik ve malzeme birleşme çizgilerinin azaltılmasına olanak sağlayan akışkan destekli üretim yöntemleri, yenilikçi teknolojiler olarak değerlendirilmektedir. Akışkan destekli üretim teknolojisinin temeli olan Gaz Destekli Enjeksiyon Teknolojisinde (GIT), henüz katılaşmamış olan plastik parçaya basınçlı N₂ (Azot) ve/veya CO₂ gazı gönderilerek parça içinde kontrollü boşluk oluşması sağlanırken, daha düşük basınçlarda kalıplama ile plastik parçanın üretimi gerçekleştirilir. Su Destekli Enjeksiyon Teknolojisinde (WIT) henüz katılaşmamış plastik parça içerisine basınçlı gaz yerine su gönderilerek parçanın içerden de hızlı bir şekilde soğuması sağlanmaktadır. Kılavuz Destekli Enjeksiyon Teknolojisinde (PIT) ise dirsekli plastik boruların sorunsuz üretimi gerçekleştirilmektedir. Akışkan destekli üretim yöntemlerinin hammadde kullanımında %40 oranında tasarruf sağladığı ve çevrim süresini ise %50 oranında kısalttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, termoplastik parça üretiminde GIT, WIT ve PIT'in incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gaz destekli enjeksiyon teknolojisi, su destekli enjeksiyon teknolojisi, kılavuz destekli enjeksiyon teknolojisi

INVESTIGATION OF MANUFACTURING PROCESSES OF FLUID-ASSISTED INJECTION MOULDING IN THERMOPLASTIC BASED MATERIALS

ABSTRACT

In recent years, in the production of thermoplastic parts, are viewed as an innovative technology since it improves the quality of parts, reduces cycle time, creates freedom of design and decreases mould lines. During the Gas-Assisted Injection Moulding (GAIM) process, which is the basis of fluid-assisted injection moulding technology pressurised N₂ (Nitrogen) and/or CO₂ gases are directed into the plastic fragment, which is not yet solidified and a controlled cavity is formed and a plastic fragment is produced with the moulding at lower pressures. Water-Assisted Injection Moulding (WIT), which pressurised water instead of gas into the plastic fragment, is provided cooling quickly the inside of the part. In the Projectile Injection Technology (PIT) also allows to produce smooth parts in the bent plastic pipes. Fluid-assisted Injection Moulding Techniques reduces the usage of material by 40% and the cycle time by 50%. In this study, GAIM, WIT, PIT in the production of thermoplastic parts are investigated.

Keywords: Gas-assisted injection moulding, water-assisted injection moulding, projectile injection technology

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 18.05.2015

Kabul tarihi : 11.09.2015

Melikoğlu, A. Y., Sayer, S. 2015. "Termoplastik Esaslı Malzemelerde Akışkan Destekli Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi (GIT, WIT, PIT)," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 669, s. 48-57.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan müşteri beklentileri, termoplastik esaslı malzemelerde üretim tekniklerini zorlamakta ve teknolojik gelişmelere paralel olarak plastik enjeksiyon kalıplama yöntemlerinin gelişimini/değişimini hızlandırmaktadır. Özellikle uçak sanayinden otomotiv ve beyaz eşya sanayine kadar geniş bir alanda kullanım olanağı bulan termoplastik esaslı malzemelerde, hammadde ve üretim maliyetlerinin yüksek olması, hammadde maliyetlerini azaltan, parça kalitesini iyileştiren ve çevrim süresini kısaltan yenilikçi işleme teknolojilerinin kullanımı zorunlu hale getirmiştir [1]. Literatürde yer alan çalışmalarda da araştırmacıların, geleneksel enjeksiyon yöntemlerindeki tasarım sınırlamalarını aşacak şekilde yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine odaklandığı görülmektedir.

Geleneksel enjeksiyon yöntemlerinin, malzeme kalınlığı ve malzeme yığılmalarının bölgesel olarak artmasına neden olması, ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca araba farı gibi farklı geometrik yapıdaki termoplastik parçaların üretiminde geleneksel enjeksiyon yöntemleri; parçada çöküntü, gruplanacak parçalarda uyumsuzluk ve parça yüzeyinde çapak gibi kalite problemlerine sebep olmaktadır. 70'li yılların başından itibaren, gelişim gösteren ve akışkan destekli üretim yöntemlerinin temelini oluşturan GIT'nin, termoplastik parça üretiminde, tasarımda esneklik ve üretim verimliliği sağladığı ve bu gelişimi Su Destekli Enjeksiyon Teknolojisinin (WIT) sürdürdüğü bilinmektedir. Son yıllarda ise otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan dirsekli plastik borularda kalite kayıplarını önlemek amacıyla GIT ve WIT revize edilerek, kalıp içine mermi şeklinde silindirik gövdeli ve paraboloid başlı ara ürün yerleştirilerek Kılavuz Destekli Enjeksiyon Teknolojisi (PIT) geliştirilmiştir [2, 3, 4].

Plastik parça işleme yöntemleri arasında GIT, daha düşük basınç altında termoplastik polimer ve termoplastik elastomerlerden parça üretiminde, malzeme birleşme çizgilerini azaltan, çekmeyi ve çöküntüyü engelleyen, çevrim süresini azaltan yenilikçi bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1).

GIT'te parça ve kalıp tasarımı; üründen beklenen sertlik, mukavemet gibi mekaniksel özelliklerin, parçada et kalınlığı, gaz basıncı veya malzeme birikmesinden kaynaklanan çöküntülerin azaltılmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Ayrıca GIT'te, hammaddenin termal ve reolojik özellikleri, gecikme süresi ve gaz profili gibi proses parametreleri, makinede gazın pozisyonu ve proses açısı, malzemenin geometrik kategorisi, parça tasarım kriterlerinin belirlenmesi açısından önemli parametreler olarak değerlendirilmektedir.

GIT, ilk defa 1971 yılında Alman mucit Ernest Mohrbach tarafından ayakkabı topuğu imalatında kullanılmıştır. Parça içinden basınçlı gaz verilerek geliştirilen GIT ile üretilen ayakkabı topuğunda malzeme yüzey kalitesinde iyileşme meydana geldiği ve çevrim süresinin kısaltıldığı görülmüştür. 1973 yılında Japonya'da Asahi Dow ise GIT'te gazın sıkıştırılmasını sağlayan ve aynı enjeksiyon memesi kullanılarak hem gaz hem de geleneksel enjeksiyon yapabilen bir makine ile patent başvurusu yapmıştır. 1975 yılında ise Alman Rohm GmbH firması adına Ernest Friedrich tarafından boru şeklindeki cam blokların imalatında GIT kullanılmış ve 1978 yılında A.B.D'de "Rohm" tekniği olarak patent alınmıştır. 1980'li yıllarda GIT, otomotiv sektöründe uygulama alanı bulmuş ve Detroit Plastik Molding (DPM) firması tarafından Volvo marka için krom kaplı parça üretiminde "Rohm" tekniği kullanılmıştır. "Rohm" tekniği ile çevrim süresinin, çekmenin ve hurda oluşumunun azaldığı bildirilmiştir. 2000'li yılların başında ise Amerika Birleşik Devletlerinden Alliance Gas System firmasının termoplastik ve termoset kompozit üretiminde GIT'ni kullanmaya başlamasıyla, GIT'nin termoplastik esaslı plastik parça üretiminde kullanımı yaygınlaşmıştır [5]. Aynı yıllarda termoplastik parça üretiminde WIT, Almanya'da Kunststoffverarbeitung (IKV) Enstitüsü tarafından geliştirilerek, 2001 yılında Düsseldorf'da düzenlenen K-fuarında enjeksiyon makine ve hammadde tedarikçilerinin bilgisine sunulmuştur. WIT uygulamaları endüstride çeşitli sektörler tarafından 2000'li yılların başından itibaren etkin olarak kullanılmaktadır. GIT ve WIT'in dirsekli boru şeklindeki plastik parçaların üretiminde yetersiz kalması ise PIT teknolojisinin gelişimini hızlandırmış ve 2013 yılında ilk endüstriyel uygulamaları araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir.



Şekil 1. GIT ile Üretilen Bazı Plastik Parçalar: a) Bilgisayar Kasası, b) Kapı Kolu, c) Araba Farı

2. GIT'TE PLASTİK PARÇA TASARIMI

2.1 GIT'te Plastik Parça Tasarımının Optimizasyonu-GIT Analizi

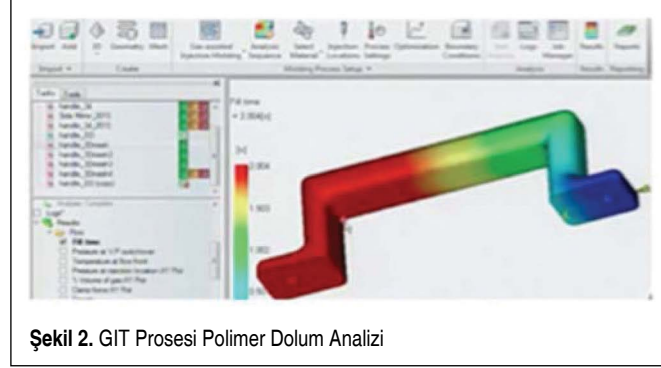
GIT, geleneksel enjeksiyon yöntemine nazaran oldukça kompleks bir prosedir. Termoplastik malzemeden GIT ile plastik parça üretiminde Tablo 1'de yer alan 5 önemli faktör, parça ve kalıp tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır. Plastik parça üretiminde hammaddenin işlenebilirliği ve reolojik özelliklerinin yanı sıra, parçanın geometrik kategorisi ve proses parametrelerinin önceden belirlenmesinin, GIT'te üretim hata kaynaklarının elimine edilmesi açısından önemli olduğu bilinmektedir [6].

Tablo 1. GIT'te Parça Tasarımını Etkileyen Faktörler

1	Hammaddenin Özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> • Reolojik özellikler • Termal özellikler
2	Parça	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrik kategorisi • Gaz enjeksiyon noktasının belirlenmesi • Parça tasarımı
3	Proses Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> • Gecikme süresi • Gaz süresi • Gaz profili • Kalıp sıcaklığı
4	Makina Verileri	<ul style="list-style-type: none"> • Gazın lokasyonu • Gaz profili • Proses açısı
5	Süreç Analizi	<ul style="list-style-type: none"> • Matematiksel modellemeler • Deneyler • Sonlu elemanlar metodu

Termoplastik esaslı hammadeden GIT ile parça üretimi için kalıp yapımı öncesinde, malzeme seçiminde, yolluk ve gaz giriş noktalarının belirlenmesinde GIT analizi yapılarak prosesin optimizasyonunun sağlanması gerekmektedir. GIT'te plastik parçaya ait kalıp tasarlanırken gaz kanalının düzeni; gaz kanallarının uzunluğuna, büyüklüğüne, şekline ve ayrıca gaz noktalarının konumuna bağlıdır. GIT'te plastik parça tasarımında çeşitli simülasyon programları parça tasarımı ve gaz kanallarının yerinin belirlenmesinde üreticilere yol gösterici olmaktadır (Şekil 2).

Kalıp üretimi öncesinde, üç boyutlu olarak tasarlanmış olan parçanın FEM ve kalıp dolum (Mould Flow) analizlerinden faydalanarak hammadde ve gaz giriş noktaları saptanarak proses optimizasyonu yapılmaktadır. Bu şekilde tasarlanan enjeksiyon kalıplarında GIT ile üretim sorunsuz olarak gerçekleşmektedir. Yapılan analizlerde enjeksiyon basınçlarının yanı sıra, gaz basıncı, gecikme süresi, malzeme sıcaklıkları, kalıp sıcaklıkları ve malzeme seçimi gerçekleştirilir. Tasarım aşamasında gaz giriş noktasının yanlış belirlenmesi, üretim

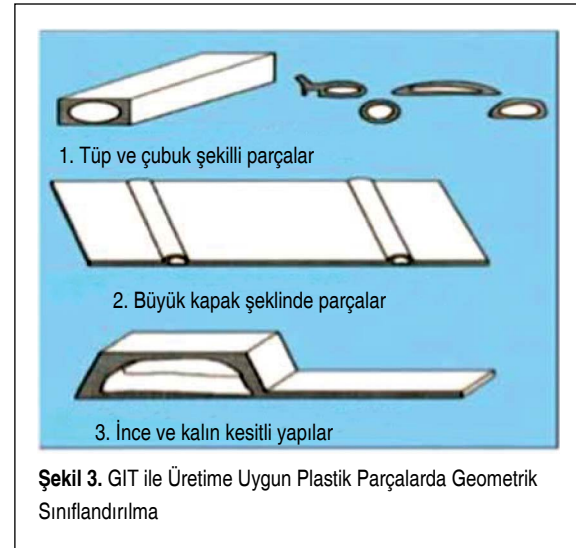


Şekil 2. GIT Prosesi Polimer Dolum Analizi

hatalarına, hammadde, maliyet ve işgücü kayıplarına neden olmaktadır. Gerek geleneksel kalıplama prosesinde, gerekse GIT'te kullanılan bu tür yazılımlar, enjeksiyon fazında polimerin davranışını ve gazın kalıp içerisindeki dağılımının tahmin edilmesine de olanak sağlamaktadır. Ayrıca GIT'te kalıp soğutma süresinin ayarlanmasına da imkan sağlayan bu programlar, hataların önceden belirlenmesi ve kalite kayıplarının önlenmesinde oldukça etkilidir [7].

2.1.1 GIT'te Geometrik Kategori-Ürün Grubu

GIT'te parça tasarlanırken parçanın geometrik kategorisinin belirlenmesi gereklidir. Şekil 3'te görüldüğü gibi GIT, 3 ana ürün grubunda uygulama alanı bulmaktadır [6].



Şekil 3. GIT ile Üretime Uygun Plastik Parçalarda Geometrik Sınıflandırılma

Tüp veya Çubuk Şekilli Parçalar: Şekil 4'te, GIT teknolojisi ile üretilen kapı kolunun enjeksiyon yöntemi ile kalıplamaya göre çevrim süresini %50 oranında azalttığı ve %20 oranında malzeme tasarrufu sağladığı bildirilmiştir [8, 9].

Büyük Kapak Şeklinde Yapılar: Bu parçalar çoğunlukla kabartma yapısında ve gaz kanallarının bir ağıza kombine edilmesi ile elde edilir. Örneğin yan paneller ve tıbbi cihazlar. GIT ile Şekil 5'te görülen malzeme üretiminde, daha rijit ve ince gaz kanalları sağlandığı bildirilmiştir [9].



Şekil 4. Kapı Kolu



Şekil 5. Mutfak Mobilyalarında Kullanılan Dönen Plaka



Şekil 6. Kamyon Ön Paneli

İnce ve Kalın Kesitli Yapılar: GIT, karmaşık ürünlerin tasarımında bağlantı görevini gören feder (takviye), tırnaklı geçme, vida yuvası gibi elemanların tek parçada ürüne entegre olması ve bölgesel malzeme yığılmalarını önlemek amacıyla kullanılır. GIT ile bu tür ürünlerde herhangi bir çöküntü işaretinin olmadığı ve daha sert bir malzeme elde edildiği bildirilmiştir. Örneğin laptop kapakları, makina montaj bölümleri, kalın çerçeve kesitli tablalar (Şekil6) [9].

2.2 Plastik Parçanın Yapısal Performansına GIT'nin Etkisi

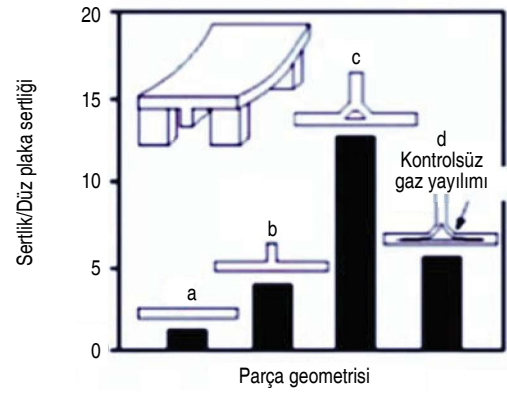
GIT'te hammaddenin tipi ve özellikleri, parça geometrisi ve uygulama yöntemi termoplastik parçada sertlik ve mukavemet gibi yapısal performansın belirlenmesinde etkilidir. GIT'nin parça geometrisi üzerindeki etkisi nedeniyle hem parçaya sertlik hem de mukavemet kazandırdığı bilinmektedir.

Parça Sertliği: Geleneksel enjeksiyon yöntemine nazaran

GIT kullanılarak uygun bir tasarım ve proses kontrolü ile daha yüksek rijitlik-ağırlık oranına sahip malzeme üretilmektedir. Özellikle az dolum yöntemi ile üretilen parçalarda ürünün sertlik özelliği iyileştirilmektedir. Örneğin GIT ile üretilen oluklu borularda %40 daha fazla sertlik sağlanırken, oluklu plakalarda bu oran %5 ile sınırlıdır.

Parça Mukavemeti: Düz parçalarda eğilmeyi azaltmak ve mekanik mukavemeti arttırmak amacıyla malzeme tipine ve parça kalınlığına bağlı olarak feder kullanılmaktadır. GIT teknolojisi ile üretilen feder destekli parçaların mukavemetinin geleneksel enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçaların mukavemetinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 7).

Geleneksel enjeksiyon uygulamalarında tasarım açısından feder ve parça kalınlığı arasında bir korelasyonun sağlanması gerekir. Feder kalınlığı, termoplastik parçalarda malzemenin amorf ve kısmi kristal olmasına göre değişmektedir. Amorf yapıli termoplastiklerde malzemenin çekme oranı düşük ol-



Şekil 7. Federin GIT'te Sertlik Üzerine Etkisi:

a) Federsiz, b) Feder Destekli Geleneksel Enjeksiyon, c) Feder Destekli GIT, d) Kalın Parçaları GIT

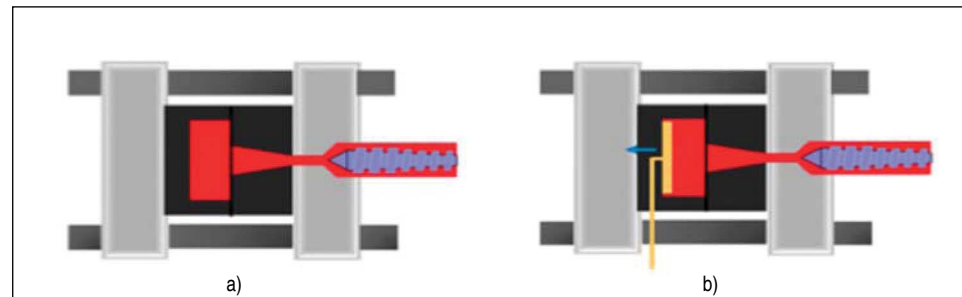
duğu için parça kalınlığının 0,7'si, kısmi kristal yapıli termoplastiklerde ise malzemenin çekme oranı daha fazla olduğu için parça kalınlığının 0,6'sı temel tasarım kriteri olarak bilinmektedir. Ayrıca kalın parçalarda aşırı çöküntü, parça mukavemetinde azalmaya neden olmaktadır [8].

2.3 GIT Uygulama Yöntemleri

Termoplastik esaslı parça üretiminde, Tablo 2'de belirtildiği gibi, gazın dolun ve uygulama esasına göre farklı gaz enjeksiyon teknikleri kullanılmaktadır.

Tablo 2. GIT Uygulama Yöntemleri

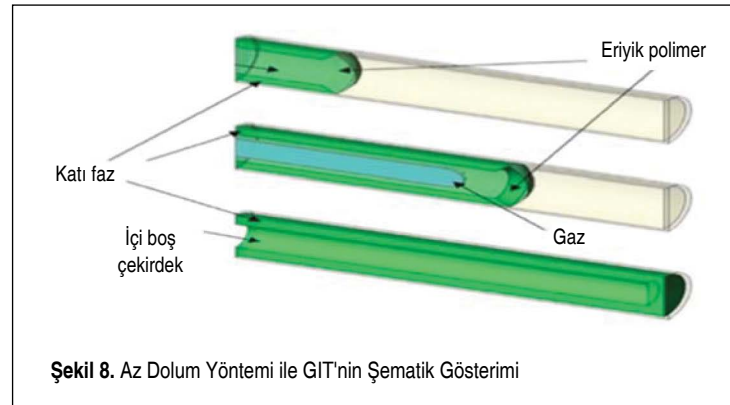
Gazın Dolun Esasına Göre	Gazın Uygulama Esasına Göre
Az Dolun Yöntemi	Dış GIT
Tam Dolun Yöntemi	İç GIT
Taşma Ceppli Tam Dolun Yöntemi	



Şekil 9. Dış GIT Şematik Gösterim: a) Eriyik Polimerin Doldurulması, b) Gaz Penetrasyonu

Gazın Dolun Esasına Göre;

Az Dolun Yöntemi: Plastik parça tasarımına bağlı olarak kalıp boşluğu %60 oranında eriyik plastik ile doldurulduktan sonra gaz enjekte edilir (Şekil 8).



Şekil 8. Az Dolun Yöntemi ile GIT'nin Şematik Gösterimi

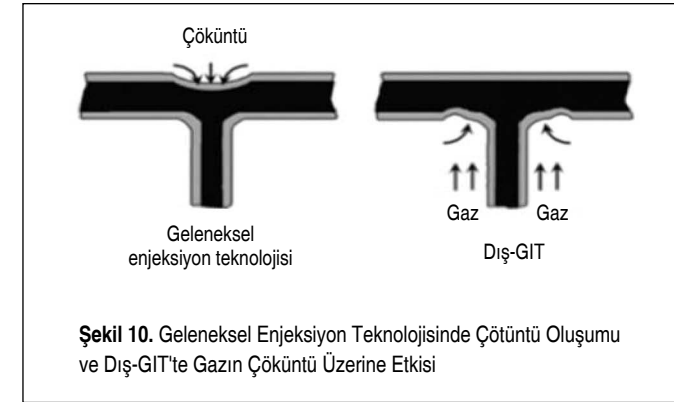
Tam Dolun Yöntemi: Klasik enjeksiyon uygulamasında tutma basıncı öncesi, eriyik plastiğin kalıp boşluğunu tam olarak doldurması sağlandıktan sonra gaz enjekte edilir.

Taşma Ceppli Tam Dolun Yöntemi: Eriyik plastiğin kalıp içine tam dolunu sağlandıktan sonra gaz enjekte edilir ve boşluklardan gazın taşması sağlanır.

Gazın Uygulama Esası:

Buna göre, gazın parça dışından verilmesi "Dış-GIT", gazın parça içinden verilmesi ise "İç-GIT" olarak adlandırılır. Şekil 8'de yer alan az dolun yöntemi, temelde bir İç-GIT uygulamasıdır. Dış-GIT'te, İç-GIT'te olduğu gibi kalıbın içine doğrudan gaz enjekte edilmez; kalıp tamamen eriyik polimer ile doldurduğunda kalıp duvarına gaz enjekte edilir ve basınç altında eriyik polimerin kalıbın duvarına doğru itilmesi sağlanır [6, 10].

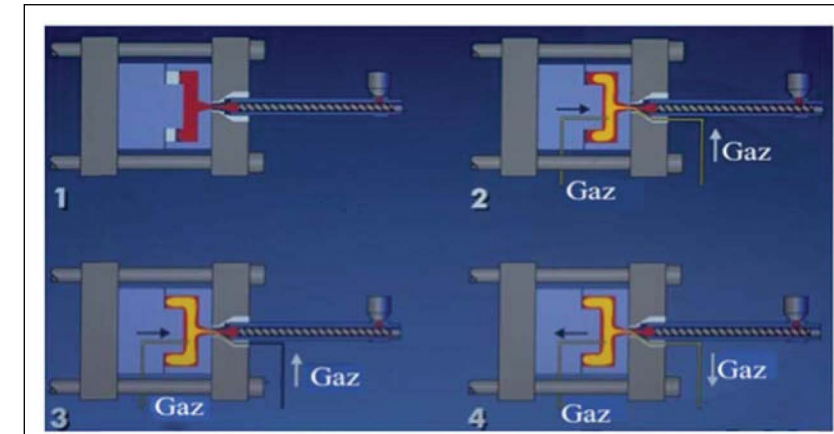
Dış-GIT uygulamaları, genellikle ince et kalınlığındaki parçalarda bölgesel malzeme yığılmasından dolayı oluşan çöküntüleri gidermek amacıyla kullanılır. Bu nedenle Dış-GIT uygulaması, parça kalitesinin iyileştirilmesi ve parça mukavemetinin artırılmasında geleneksel enjeksiyon teknolojisine göre daha avantajlı olarak kabul edilmektedir (Şekil 10) [11].



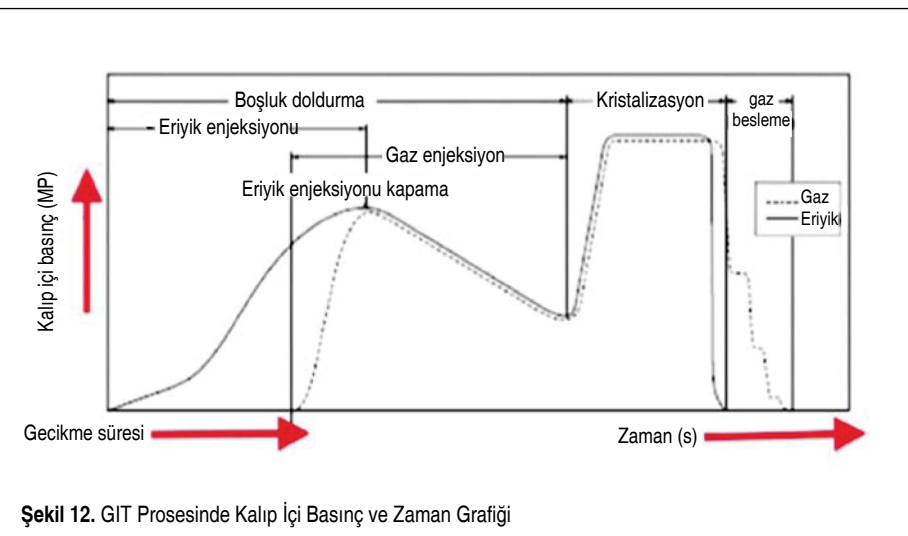
Şekil 10. Geleneksel Enjeksiyon Teknolojisinde Çöküntü Oluşumu ve Dış-GIT'te Gazın Çöküntü Üzerine Etkisi

2.4 GIT Çalışma Prensibi

GIT'in çalışma prensibi; henüz katılaşmamış olan plastik parçaya basınçlı N_2 (Azot) ve/veya CO_2 gazı gönderilerek parça içinde kontrollü boşluk oluşmasının sağlanması ve daha düşük basınçlarda kalıplama ile plastik parça üretimine dayanır.



Şekil 11. GIT'lerde 1) Plastik Enjeksiyon, 2) Birincil Gaz Penetrasyonu, (3) ikincil Gaz Penetrasyonu, (4) Gazın Dışarı Çıkarılması ve Kabin Soğutulması Aşamaları



Şekil 12. GIT Prosesinde Kalıp İçi Basınç ve Zaman Grafiği

İkincil Gaz Penetrasyonu: Basınçlı gaz, kalıp içerisinde bir süre bekletilir. Bu aşamada, gecikme süresinin belirlenmesi, parça kalınlığı ve soğutma fazı süresi açısından önemlidir ve kalın yüzeylerde, özellikle soğutma fazı süresi daha uzun tutulmaktadır.

Gazın Dışarı Çıkarılması ve Kalıbın Soğutulması: Proses çevrim süresi tamamlanmadan gaz, tekrar kullanılmak üzere depolanır. Gaz, tamamen plastik parçadan uzaklaştırıldığında parçanın kalıp içerisinde soğuması sağlanarak parça kalıptan çıkartılır [7, 12-14].

Şekil 12’de, az dolun yöntemi ile gerçekleşen kalıp içi basınç ve zaman grafiği yer almaktadır. Grafikte, kalıp boşluğunun dolun oranı, gaz geçikme süresi, ürünün nihai şekillenme aşamasında kalıp boşluğuna gönderilen ikincil gaz miktarı ve basınç değerlerinin çevrim süresi üzerindeki etkisi görülmektedir.

2.5 GIT’in Geleneksel Enjeksiyon Yöntemlerine Göre Avantajları/Dezavantajları

Gaz enjeksiyon prosesi termoplastik esaslı parça üretiminde, aşağıda maddeler halinde belirtilen süreçlerin ve tasarımların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

► İçi boş, kalın duvarlı, birbirine geçmiş vb. özel plastik parça tasarımlarında;

• Büyük çerçeveler, laptop kapakları ve çapraz kesitli parça tasarımına olanak sağlayarak üretim hatalarını engeller.

• Yüksek sertlik ve ağırlık oranlarına sahip yapılandırılmış bölgelerin oluşturulmasına katkı sağlar.

► GIT’te plastik parça üretiminin temel hedefi üretim süreci boyunca gerek hammadde, gerekse üretim maliyetlerini azaltmaktır. Bu kapsamda;

• Az dolun yöntemi ile düşük enjeksiyon basıncı ve çevrim süresinin kısaltılması,

Tablo 3. GIT’in Geleneksel Enjeksiyon Teknolojisine Göre Avantaj ve Dezavantajları

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 göçüklerde azalma	Geleneksel enjeksiyon kalıplama yöntemlerine göre malzeme seçiminde sınırlama
En uç noktayı bile rahatlıkla doldurabilme	
%40’a kadar hammadde kazancı	

• Geliştirilmiş parça estetiği ile yüzey görünümünün iyileştirilmesi ve azaltılmış ikincil işlemler,

• Plastik parçada gerilimin azaltılması sağlanarak çöküntünün engellenmesi sağlanır.

Geleneksel enjeksiyon kalıplama tekniğine göre GIT’in avantaj ve dezavantajları Tablo 3’te kısaca özetlenmiştir [5, 6].

3. SU DESTEKLİ ENJEKSİYON TEKNOLOJİSİ (WATER-ASSISTED INJECTION MOULDING/WIT)

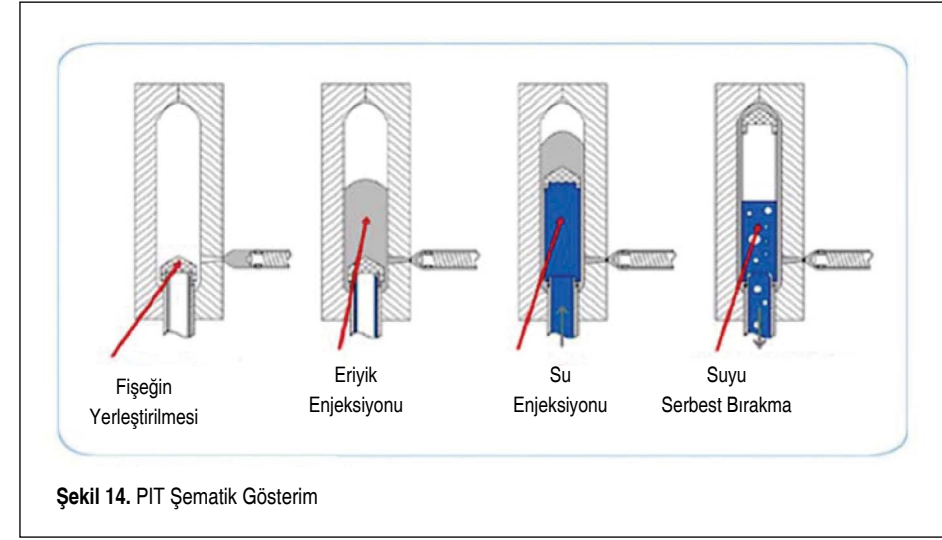
WIT, gerek tasarım kriterleri, gerekse üretim prosesi açısından temelde GIT ile aynıdır. WIT’in GIT’den farkı, prosede gaz yerine su kullanılmasıdır. Böylece plastiğin dışardan kalıp ile, içerden ise su ile soğutulması sağlanır. Bu yöntemde kalıp içinde malzeme soğumuş bile olsa, su, yüksek basınç oluşturduğu için parçada çöküntü minimum düzeydedir. Suyun ısı iletim katsayısının (H_2O : 0,06 W/mK) gazlara (N_2 : 0,026 W/m.K) göre yüksek olması, termoplastik parça üretiminde GIT’e göre çevrim süresini %50 oranında azaltmaktadır. Ayrıca daha ince et kalınlığına sahip parça üretimine de olanak sağlayan WIT’in (Şekil 13), parça yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu bilinmektedir [15-17].



Şekil 13. WIT ile Üretilmiş Soğutma Borusu

4. KILAVUZ DESTEKLİ ENJEKSİYON TEKNOLOJİSİ (PIT)

Akışkan destekli enjeksiyon uygulamalarının endüstride son 20 yıl içinde etkin bir kullanım alanı bulunduğu görülmektedir. Ancak kıvrımlı boru tiplerinin üretiminde GIT ve WIT gibi özel enjeksiyon teknolojilerinin de beklenen performans kriterlerini sağlayamaması, GIT ve WIT’in geliştirilmesini ve yeni endüstriyel tekniklerin araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Kıvrımlı boru şeklindeki ürünlerin dirsek bölgelerinde kesit daralması ve et kalınlığı farkından dolayı WIT teknolojisinde dirsek bölgesinde oluşan et kalınlığı, ürünün kalıp içinde so-



Şekil 14. PIT Şematik Gösterim

ğuma süresinin artmasına bağlı olarak çevrim süresinin uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca et kalınlıklarının fazla olduğu kısımda malzeme yığılmasından dolayı boşluk (lunker) oluşmaktadır. Bu durum, ürün kalitesini olumsuz olarak etkilemekte ve dirsek kısmında oluşan kesit daralması ise ürünün kullanım aşamasında akışkan verimini düşürmektedir.

Bu uygulamada akışkan desteği gaz ile sağlanıyorsa G-PIT, su ile sağlanıyor ise W-PIT olarak adlandırılmaktadır. PIT yönetimi ile gerçekleştirilen enjeksiyon uygulaması dört aşamadan oluşmaktadır. Şekil 14’te, PIT üretim aşamaları sembolik olarak gösterilmiştir. Birinci aşamada, kalıp açık konumda olup, kılavuz, manuel veya bir robot yardımı ile akışkan girişine yerleştirilir. İkinci aşamada ise daha önce matematiksel modelleme ile miktarı ve proses parametreleri belirlenmiş olan eriyik az dolun yöntemi ile kalıp boşluğuna gönderilir. Bu aşamada, kılavuzun etrafı da plastik malzeme ile doldurduğundan sızdırmazlık sağlanmış olur. Üçüncü aşamada ise optimize edilmiş geçikme zamanında ve basınçta akışkan, kalıp boşluğuna gönderilerek kılavuzun henüz katılaşmamış olan plastik içerisinde hareket etmesi sağlanarak ürün şekillendirilir. Dördüncü aşamada ise akışkan basınçları artırılarak ürünün



Şekil 15. GIT ile Üretilen Kapı Kolu

katılaşma sırasında son halini alması sağlanır ve daha sonra ürün içindeki akışkan emilerek geri kazanım deposunda toplanır [18].

5. AKIŞKAN DESTEKLİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ İLE İLGİLİ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

GIT’te üretilecek malzemenin geometrik kategorisi, hammaddenin erime sıcaklığı, kalıp ısı, gazın gecikme süresi, gaz basıncı ve enjeksiyon proses koşulları plastik parçanın görsel ve mekaniksel kalitesini etkileyen unsurlardır [2]. Nitekim, Lu ve arkadaşları [19] tarafından gerçekleştirilen çalış-

mada, GIT’te az dolun yöntemi ile üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) parçada, gaz basıncının ve gecikme süresinin kalite parametrelerinden gerilim giderme davranışı üzerindeki etkisinin önemli olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, 1sn’lik gecikme süresinde kristalinitenin 3sn’lik gecikme süresine göre daha yüksek olduğunu, kristalinitenin fazla, kristal boyutunun küçük olmasının gerilim gidermede en iyi sonucu verdiğini ve böylelikle plastik parçada kalite problemlerinin önüne geçilebileceğini bildirmişlerdir.

Alkon (Irvine-CA) laboratuvarlarında gerçekleştirilen bir çalışmada GIT, içi boş boru şeklinde uzun bir kapı kolu üretiminde kullanılmıştır (Şekil 15). Parçanın mekaniksel özelliklerin optimizasyonu için kalıp tasarımında dönme açısının hesaplanması önemlidir. Bu kapsamda çalışmada, parçanın et kalınlığının sap uzunluğu ve çevresi boyunca eşit olarak dağılması amacıyla dönme açısının geniş tutulduğu bildirilmiştir [6].

Bir başka çalışmada, dış gaz destekli GIT ile üretilen araba farında, gecikme süresinin ve tutma basıncının z-yönlü deformasyonda etkisi olduğu ve düşük gecikme süresinde z-yönlü

deformasyonun azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yüksek basınç ve düşük gecikme süresinin, parçada et kalınlığının homojen olarak dağılmasını sağladığı ve deformasyonu önlediği bildirilmiştir [10].

Hosseini ve arkadaşları [1], termoplastik elastomer kullanılarak üretilen mesane destek cihazına ait parçanın üretiminde GIT'in kullanımını ve GIT'nin parçanın mekanik performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmacılar tarafından,

zey sıcaklığı 165 °C ölçülürken, W-PIT yöntemi ile üretilen ürünlerin aynı bölgedeki yüzey sıcaklığının ise 116 °C olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar tarafından, üretimde sağlanan bu avantajın ürün çevrim süresinde de önemli tasarruf sağladığı bildirilmiştir.

GIT, WIT ve G-PIT / W-PIT üretim yöntemleri ile üretilmiş olan dairesel kesitli ürünlerin yüzey sıcaklıkları ve ürün profil kalınlıklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada ise G-PIT ve

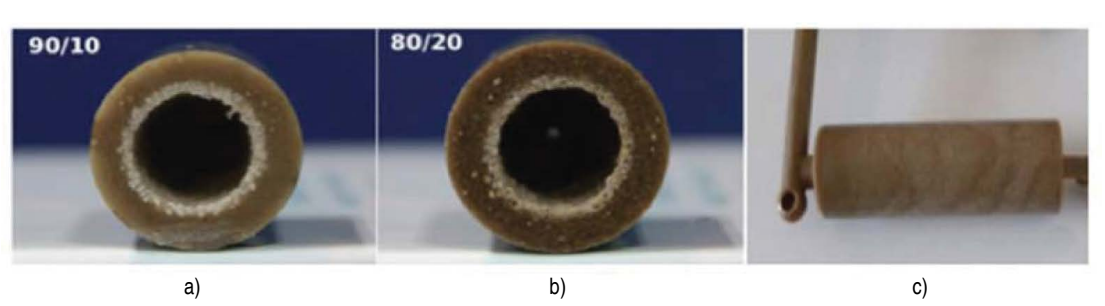
W-PIT yöntemleri ile gerçekleştirilen özel enjeksiyon prosesinde ürün et kalınlıklarının azaldığı, dolayısıyla malzeme tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir. G-PIT/ W-PIT'te ürün iç ve dış sıcaklıklarının geleneksel GIT ve WIT yöntemlerine göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu durumun, ürünün çevrim süresinde de ciddi oranda azalma meydana getirdiği bildirilmiştir (Şekil 18) [18].

6. SONUÇ

Termoplastik parça üretiminde, akışkan destekli üretim yöntemlerinden GIT, WIT ve PIT'in geleneksel kalıplama prosesine göre oldukça avantajlı olduğu literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. GIT'te düşük basınç altında çalışmanın gerilim gidermede etkili olduğu, gerilim giderme kuvvetini düşürerek çöküntü gibi kalite kayıplarını engellediği belirlenmiştir. Ayrıca GIT ile üretilen parçaların mekaniksel mukavemetleri, çarpma ve darbe dayanımları, geleneksel enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçalara nazaran daha yüksektir. Teknolojik gelişime paralel olarak, akışkan destekli üretim yöntemleri arasında GIT ve WIT'e alternatif olarak geliştirilen PIT'in, otomotiv sektörü tarafından yaygın olarak kullanılan dirsekli boru tiplerinin üretiminde kesit daralması ve et kalınlığı farkını ortadan kaldırdığı, ince et kalınlığına sahip parça üretimine imkan sağladığı belirlenmiştir. Termoplastik esaslı polimerlerden parça üretiminde akışkan destekli GIT, WIT ve PIT'nin yaygınlaşmasının, mevcut kaynakların tüketiminde tasarruf ve enerji verimliliğinin sağlanması, kalite kayıplarından kaynaklanan israfın önlenmesi ve çevrenin korunması açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Hosseini, A. M., Chotenovsky, D., Farrel, K., Farrel, A. S., Sparrey, C. J. 2014. "The Effects of Gas Assisted Injection Molding on the Mechanical Properties of Medical Grade Thermoplastic Elastomers," *Polymer Testing*, no. 38, p. 1-6.
- Jiang, S., Zheng, W., Zhang, J., Li, J. 2011. "Experimental Study on The Influence of Parameters on The Plastic Parts Quality of External Gas-Assisted Injection Molding," *Appl. Math. Inf. Sci.*, no. 3, p. 665-671.
- Li, C. T., Shin, J. W., Isayev, A. I. 2004. "Primary And Secondary Gas Penetration During Gas Assisted Injection Molding," *Polymer Engineering and Science*, no. 44 (5), p. 992-1002.
- Postawa, P., Stachowiak, T., Jaruga, T. 2010. "Influence of The Processing Conditions on The Dynamic Mechanical Properties of Gas Assisted Injection Moulded Parts," *International Scientific Journal published monthly by The World Academy of Materials and Manufacturing Engineering*, no. 44, p. 104-111.
- Plastics Technology. 2005. "Gas-Assisted Molding," <http://www.ptonline.com/articles/no-34---gas-assist-molding>, son erişim tarihi: 16.04.2015.
- Hansen, M. 2005. "Gas-Assist Injection Molding: An Innovative Medical Technology," *MDDI* 26, no. 8.
- Stachowiak, T., Jaruga, T. 2010. "Structure of Gas-Assisted Injection Moulded Parts," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, no. 38, p.139-145.
- Gas-Assisted Injection <http://webhotel2.tut.fi/projects/caeds/tekst/mould/>, son erişim tarihi: 16.04.2015.
- Gas-Assisted Injection. Molding-Battenfeld. <http://www.wittmann-group.com/injection-molding/process-technology/gas-and-water-injection-technology>, son erişim tarihi: 16.04.2015.
- Nian, S-C., Li, M-H., Huang, M-S. 2015. "Warp Control Of Headlight Lampshades Fabricated Using External Gas-Assisted Injection Molding," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, no. 86, p. 358-368.
- Lin, Y. C., Chen, S. C. 2010. "Gas-Packing Effects In External Gas-Assisted Injection," *Society of Plastics Engineers (SPE)*, 10.1002/spepro.003012.
- Dreyer, J. L. 2013. "Bubble Connection in Gas Assisted Injection Moulding," *EUROTEC*, p. 410-425.
- Marcilla, A., Odjo-Omoniyi, Ruiz-Feminia, R., Garcia-Quesada, J. C. 2006. "Simulation Of The Gas-Assisted Injection Molding Process Using A Mid-Plane Model Of A Contained-Channel Part," *Journal of Materials Processing Technology*, no. 178, p. 350-357.
- Zhou, H., Li, D. 2003. "Filling Simulation and Gas Penetration Modeling for Gas-Assisted Injection Molding," *Apply Mathematical Modelling*, no. 27, p. 849-860.
- Liu, S-J., Lin, M-J., Wu, Y-C. 2007. "An Experimental Study of The Water-Assisted Injection Molding of Glass Fiber Filled Poly-Butylene-Terephthalate (PBT) Composites," *Composites Science and Technology*, no. 67, p. 1415-1424.
- Liu, S-J., Chen, Y-S. 2003. "Water Assisted Injection Molding of Thermoplastic Materials: Effects of Processing Parameters," *Polymer Engineering and Science*, vol. 43, no.11, p. 1806-1817.
- Kunststoffe International. Com. 2005. Gas-Assist and Blow Moulding Combined in an Injection Mould, <http://www.kunststoffe.de/en/specialized-information/technology-report/artikel/gas-assist-and-blow-moulding-combined-in-an-injection-mould-629536.html?search.highlight=gas+assist+blow>, son erişim tarihi: 05.05.2015.
- Hopmann, C., Theunissen, M. 2013. "Prozesssicher mit Projectil," *Kunststoffe*, no.12, p. 62-66.
- Lu, Y., Y. W., Zhang, K., Yang, M. 2010. "Stress Relaxation Behavior of High Density Polyethylene (HDPE) Articles Molded By Gas-Assisted Injection Molding," *Polymer Testing*, no. 29, p. 866-871.
- Yam, R. C. M., Mak, D. M. T. 2014. "A Cleaner Production of Rice Husk-Blended Polypropylene Eco-Composite by Gas-Assisted Injection Moulding," *Journal of Cleaner Production*, no.67, p. 277-284.

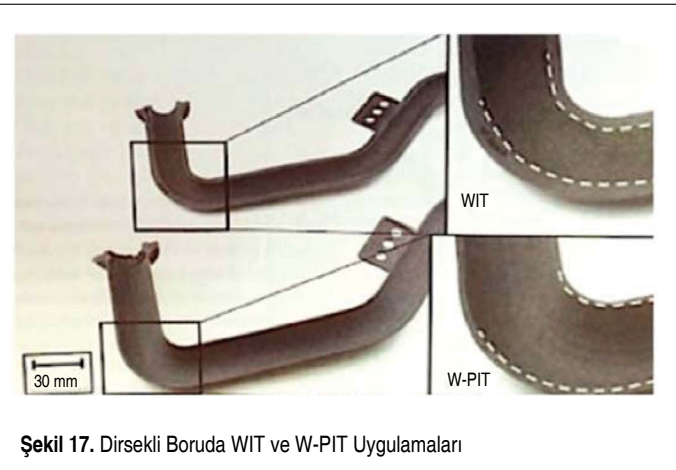


Şekil 16. GIT ile Üretilmiş Parça Örnekleri: a) %10 Pirinç Kabuğu + %90 PP'den Üretilmiş Parça, b) %20 Pirinç Kabuğu + %90 PP'den Üretilmiş Parça, c) Çevre Dostu Plastik Kopmotiz Parça

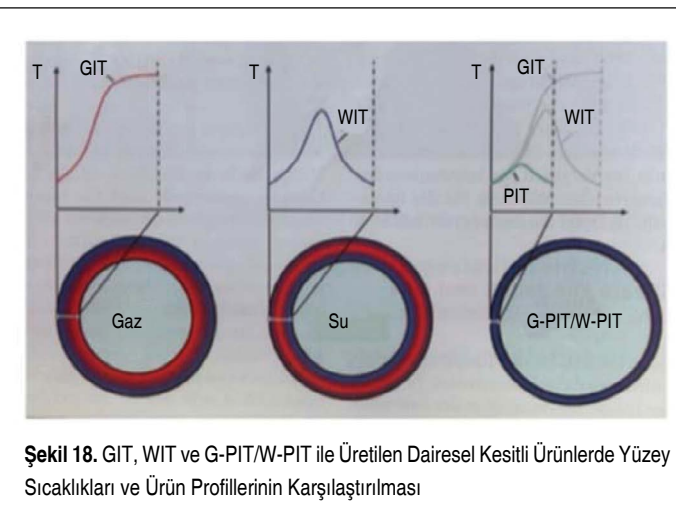
GIT'nin medikal alanda kullanılan termoplastik elastomerin parça üretimine uygun bir teknoloji olduğu ve geleneksel kalıplama yöntemine göre %37 oranında hammadde tasarrufu sağladığı bildirilmiştir. Çalışmada, GIT'nin malzeme sertliğini geliştirdiği; ancak elastikiyet üzerindeki etkisinin ise önemsiz olduğu bildirilmiştir.

Yam ve Mak [20] ise yaptıkları çalışmada, petrokimyasal bazlı polimerlerin kullanımını azaltmak için ve tarımsal atıklardan çevre dostu plastik kompozit üretiminde geleneksel enjeksiyon kalıplama prosesi ile GIT'nin performansını karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, pirinç kabuğu (%10-30) ile polipropilen (PP) plastik hammadde kullanarak GIT ile elde ettikleri dairesel kesitli örneklerde (Şekil 16) düşük enjeksiyon basıncı ve tutma basıncı ile %20 oranında enerji tasarrufu sağladıklarını bildirmişlerdir. Ayrıca GIT ile üretilen parçaların geleneksel enjeksiyon kalıplama prosesi ile üretilen parçaların ağırlığına nazaran %27-30 oranında hafif olduğu saptanmıştır.

Yapılan bir araştırma, %30 cam elyaf takviyeli PA 66 malzemeden elde edilen parça üretiminde WIT ve W-PIT teknolojileri karşılaştırılmıştır. W-PIT yöntemi ile yapılan üretimde dirsek bölgelerinde et kalınlıklarının eşit olduğu, WIT yöntemi ile gerçekleştirilen üretimde ise dirsek bölgesinde kısmi olarak malzeme yığılması olduğu gözlenmiştir. Şekil 17'de, WIT ve W-PIT üretim yöntemleri ile üretilen dirsek detayı verilmiştir. Bu çalışmada, 30 sn'lik soğutma süresi sonrasında (kalıptan çıkarken) parçaların yüzey sıcaklıkları ölçüldüğünde, yüzey sıcaklığında 40 K'ye varan bir fark olduğu gözlenmiştir. WIT yöntemi ile üretilen ürünlerin yüzey



Şekil 17. Dirsekli Boruda WIT ve W-PIT Uygulamaları



Şekil 18. GIT, WIT ve G-PIT/W-PIT ile Üretilen Dairesel Kesitli Ürünlerde Yüzey Sıcaklıkları ve Ürün Profillerinin Karşılaştırılması