KALIP BOŞLUĞU YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ERGİMİŞ PLASTİĞİN KALIP DOLUMU SIRASINDAKİ AKIŞ UZUNLUĞUNA ETKİLERİ

Murat ALTUNÇ
Evimetal Tasarım Merkezi
ORCID: 0009-0006-6154-2817

Onur YAMAN
Evimetal Tasarım Merkezi
ORCID: 0009-0007-8051-9951

Özay KEÇELİ
Evimetal Tasarım Merkezi
ORCID: 0009-0008-8182-2140

Abdulmecit GÜLDAŞ
Gazi Üniversitesi, Teknoloji, Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-1865-2272

ÖZET
Plastikler ucuz, kolay şekillendirilebilir, birçok kimyasallara karşı dayanıklı ve renklendirilebilir olması nedeniyle gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Termoplastikler ergitilip tekrar kullanılabildikleri için plastik türleri arasında an yaygın olarak kullanılan plastiklerdir. Termoplastik ürünlerin önemli bir çoğunluğu ise plastik enjeksiyon kalıpları ile üretilmektedir. Plastik enjeksiyon yöntemiyle kalıplamada ergimiş plastiğin kalıba dolumu, ütüleme ve soğuma safhası bir çevrimi oluşturan en temel süreçlerdir. Ergimiş plastiğin kalıba dolumu genellikle birkaç saniye sürmekle birlikte plastik parçanın şekli, boyutu ve yapısına bağlı olarak bir takım zorlukları da içermektedir. Ürüne şeklini veren kalıp boşluğunun işlenmesi sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü kalıplanan ürünün kalitesini, görünümünü ve ergimiş plastiğin kalıp içerisini akış uzunluğuna etkisi etkilemektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, kalıp içi yüzey pürüzlülüğünün akış uzunluğuna etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, kalıp boşluğunun artan yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak akış uzunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Bunun muhtemel sebebinin artan yüzey pürüzlülüğünün ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışı sırasında ergiyikten kalıp yüzeylerine geçen ısı miktarının artırdığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğünün artmasına bağlı olarak ergiyikten kalıp yüzeyine geçen ısı miktarının artmasının ergimiş plastiğin viskozitesini artırdığı ve akış uzunluğunu olumsuz etkilediği belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon kalıbı, Yüzey pürüzlülüğü, Akış uzunluğu.

THE EFFECTS OF MOLD CAVITY SURFACE ROUGHNESS ON FLOW LENGTH OF MOLTEN PLASTIC in PLASTIC INJECTION MOLDS

ABSTRACT
Plastics are increasingly used because they are inexpensive, easily shaped, resistant to many chemicals and can be colored. Thermoplastics are the most widely used plastics among plastic types because they can be melted and reused. A significant majority of thermoplastic products are produced with plastic injection molds. In plastic injection molding, filling, pack and hold, and cooling phases are the most basic processes that make up a cycle.

Filling of the molten plastic into the mold cavity usually takes a few seconds, but it also includes some difficulties depending on the shape, size and structure of the plastic part. The surface roughness that occurs during the machining of the mold cavity, which gives its shape to the product, affects the quality and appearance of the molded product and its effect on the flow length of the molten plastic into the mold. In this experimental study, the effects of cavity surface roughness on flow length were investigated. According to this study, it was determined that the flow length decreased due to the increasing surface roughness of the mold cavity. It is thought that the possible reason for this is that the increased surface roughness increases the amount of heat transferred from the melt to the mold surfaces during the flow of the molten plastic in the mold. As a result, it was determined that the increase in the amount of heat transferred from the melt to the mold surface due to the increase in surface roughness increases the viscosity of the molten plastic and negatively affects the flow length.
Keywords: Plastics injection mold, Surface roughness, Flow length.

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda önemli kullanım alanına sahip olan polimer malzemeler, ucuz, hafif, kolay şekillendirilebilmeleri ve çeşitli kimyasal maddelere olan dayanıklılıklarıyla öne çıkmaktadır. İçerisine katılan plastifiyanlar ve diğer katkı ve doldu maddeleriyle endüstrileşmiş plastik ürüne dönüşmektedirler. Polimerlerin içerisine plastikleştiriciler katılarak şekillenildiklerinde plastik olarak tanımlanırlar. Üretim aşamasında plastik kıvamına gelerek kolaylıkla bir kalıba enjekte edilebilir ve biçimlendirilebilirler [1].

Plastikler, ana zincirinde ağırlıklı olarak karbon bulunan ve makro molekül olarak tanımlanan uzun molekül zincirlerine sahiptir. Moleküller arasında çapraz bağlı ya da çapraz bağ bulunmayan olarak iki guruba ayrılmaktadır [1,2]. Çapraz bağ bulunmayan plastikler termoplastiklerdir. Seyrek ve düzensiz çapraz bağ varsa elastomer, sık ve düzenli ise termoset olarak tanımlanır.

Termoplastikler ısı karşısında tekrar tekrar ergitilip kullanılabilmekte olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Termoplastik ürünler ağırlıklı olarak kalıplanarak şelillendirilirler. Plastiklerin önemli bir kısmı enjeksiyon ve ekstrüzyon metodu ile şekillendirilmektedir [4,5]. Termoplastikler oda sıcaklığında genellikle katı ve rijit yapıda olup ergitildiklerinde viskoz akışkan haline dönerler. Kalıplanırken ergitilerek akışkan haline gelen plastik yüksek sıcaklık ve basınç altında kalıp içerisine gönderilir ve kalıpta soğuyarak kalıbın şeklini alması sağlanır. Metallere göre düşük sıcaklıklarda şekillendirildikleri için ve istenilen form verilebildiği için endüstrinin hemen hemen her aşamasında geleneksel malzemelerin yerini almaktadır [4]. Ayrıca mekanik özelliklerinin yetersiz kaldığı durumlarda güçlendirilirler takviye edilerek mekanik mukavemetleri artırılmaktadır [6-9]. Böylelikle geleneksel malzemelere göre rekabet avantajı elde etmektedirler [1,2].

Plastiklerin gelişimiyle birlikte, ham madde araştırmalarının yanı sıra kalıp üretimiyle ilgili gelişmeler de sağlanmıştır. Ürün kalitesi, enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, hızı ve kalıp sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır [9]. Bu parametreler, ürün kalitesini etkilemenin yanı sıra uygun parametreler kalıp parametreleri, soğutma vs seçilmediğinde maliyeti de artırabilir [10]. Kalıp üretiminde çalışanlar, plastik seçimi, kalıp parametreleri ve kalıpla ilgili diğer faktörleri de dikkate almak zorundadır. Ancak kalıp tasarımı ağırlıklı olarak ürünün şekline boyutuna ve plastik malzemesinin cinsine ve ürünün kalitesine bağlı olsa da biraz da tasarımcının tecrübesine bağlıdır. Yani tasarımcının kalıp tasarımında dikkate alması gereken parametrelerin yanında bazı unsurları tecrübeye dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu da bazen beraberinde denene yanılma yanılma yöntemine başvurmayı gerektirebilmektedir.

Kalıp üretimiyle ilgili yapılan gelişmeler, enjeksiyon kalıplama hızını artırdığı için plastiklerin maliyetini ve üretim hızını doğrudan etkilemiştir. Farklı kalıp yollukları kullanılarak yapılan kalıp üretiminde farklı yol profil seçenekleri bulunmaktadır. Tecrübeye dayalı olarak birçok kalıpta farklı yoluk profilleri kullanılmaktadır. Yoluk profili, dolma süresi ve ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğundan dikkatle seçilmesi gereken bir unsurdur [11-12]. Kalıp üzerindeki bu parametrelerin yanında ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akış davranışının da bilinmesi gerekmektedir [13]. Newtonian olmayan akış özelliği gösteren ergimiş plastik hem sıvıların hem de katıların akış özelliklerini bir arada gösteren viskoelastik davranış gösterirler [13-16]. Ergimiş plastik kalıp içerisinde basınç altında akmaya zorlanırken sürekli olarak deforme olmaya zorlanır.

Ergiyik, kalıp boşluğunda ilerlerken, kalıp duvarlarına temas ettiği andan itibaren ısısını kaybederek katılaşan bir katman oluşumuna sebep olmaktadır

Ergimiş plastik kalıp içerisinde akarken kalıp yüzeylerine temas eden ergimiş plastik akmaya zorlanırken temas ettiği yüzeyde kavma, yuvarlanma ve yapışma gibi birçok fiziksel durum ile karşı karşıya kalmaktadır. Uygulanan basınç karşısında molekül zincir yapısına da bağlı olarak moleküller birbiri üzerinde kaymakta ve deforme olmaktadır [13, 14]. Ergimiş plastik uygulanan basıncın etkisiyle akmaya karşı direnci yenerek akmaya başlar ve yüksek basınçlı alanlardan daha düşük basınçlı alanlara doğru hareket eder. Akış sırasında ergimiş plastiğin sıcaklığı kalıp yüzeyine göre daha yüksek olduğu için ergiyikten kalıp yüzeylerine ısı geçişi olmaktadır [13]. Akış sırasında ergiyik-kalıp yüzeyi arasındaki sürekli temastan dolayı ergiyikte zaman bağlı olarak ısısını kaybetmektedir. Yüksek sıcaklığı azalan ergimiş plastiğin sıcaklık kaybına bağlı olarak viskozitesi ve akışkanın yoğunluğu da artmaktadır. Artan viskozite ile birlikte akış daha da zorlaşmakta ve akışkanın kalıp içerisindeki akışı yavaşlamaktadır.

Yüksek sıcaklığa sahip ergimiş plastiğin akışı sırasında ergiyik ile kalıp yüzeyi arasındaki temastan dolayı ısı geçişi olmaktadır. Konveksiyonla gerçekleşen bu ısı geçişi sırasında akışkanın ısısı kalıp yüzeylerine aktarılmaktadır. Kalıp yüzeyleri kalıplanan ürüne şeklini veren yüzey olmasının yanında ayrıca ısı transfer yüzeyi olarak da işlev görmektedir. Kalıp tasarımcıları kalıplanan ürünün kalitesi ve görselliğine bağlı olarak kalıp yüzeylerine farklı işlem uygulayarak yüzey pürüzlülüğünü değiştirmektedir. Kalıp boşluğunun yüzey pürüzlülüğünün akışa etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak literatür incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün akış uzunluğa etkisinin olmadığını belirten uygulamalarda bulunmaktadır [17]. Hatta çalışmalarda yüzey pürüzlülüğünün artmasının akışı kolaylaştırdığı da belirtilmiştir. Ancak bu etkinin yüksek basıncın kullanıldığı deneysel çalışmalarda olduğu belirtilmelidir. Ergimiş plastik kalıp içerisinde akarken sıcak plastik, soğuk kalıp duvarlarına temas anında sıcaklığını kaybederek katılaşmaktadır. Kalıp içerisindeki akış bazen yuvarlanma şeklinde bazen de katılaşan katmanı da ilerleten kayma şeklinde gerçekleşmektedir. Yüksek basınç altında yapılan enjeksiyon işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün etkisinin az olduğu veya görülmediği çalışmalarda bu tip akış söz konusudur. Kalp yüzeylerine yapışan ve zamana bağlı olarak artan katman kalınlığı nedeniyle akışın gerçekleştiği kesit gittikçe daralmaktadır [18]. Daralan kesit nedeniyle akan plastik miktarı azalmakta veya durmaktadır. Böylelikle kalıp boşluğu ya tam dolmamakta ya da kalıbın dolabilmesi için sıcaklık veya basınç gibi enjeksiyon parametreleri artırılmaktadır. Bu da enerji sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır ve birim maliyeti ve toplam maliyeti etkilemektedir.

Enjeksiyon işlemi sırasında kullanılan enjeksiyon parametrelerinin de etkisinin oldukça önemli olduğu akış sırasında kalıp yüzeylerinin ısı transferi yüzeyi olması nedeniyle kalıp bolluğunun yüzey pürüzlülüğünün araştırılması kalıp tasarımcılarına ciddi manada yol gösterecektir.

Bu bağlamda, gerçekleştirilen bu çalışmada yüzey pürüzlülüğünün kalıp içerisindeki akışa etkisi incelenmiştir. Kısa basım (short shot) tekniği uygulanarak aynı şartlarda farklı boşluklardaki akış uzunlukları tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Plastik

Deneysel çalışmada akış uzunluğunun belirlenebilmesi için Borealis marka BE961MO kodlu Polipropilen malzeme kullanılmıştır. Kullanılan plastiğin özelliği Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Polipropilen malzemenin özellikleri

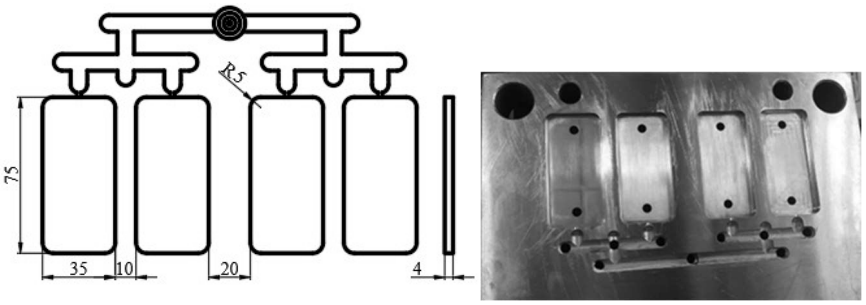
Üretici	Özgül ağırlık (g/cm³)	Eriyik sıcaklığı (°C)	Ergime akış İndeksi, (g/10dk) (230°C, ve 1,6 kg için)	Çekme oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)
Borealis	0.905	210-260	12	1.5-2.0	10-30

2.2. Enjeksiyon Makinesi

Plastikler, HAITIAN marka ve HTF86X seri numaralı enjeksiyon tezgahında basılmıştır. Deneylerde kullanılan enjeksiyon makinesi bir defada en fazla 250 gr. malzeme enjeksiyon kapasitesine sahiptir. Mengene kapama kuvveti 1200 kN, hidrolik itici kuvveti 31 kN, toplam ısıtıcı gücü 6 KW ve enjeksiyon basıncı 140 bar' dır. Elektronik kontrol paneline sahip olan enjeksiyon makinesi mekanik ve yarı otomatik olarak kontrol edilebilmekte olup, tüm enjeksiyon parametreleri kontrol panelinden ayarlanabilmektedir.

2.3. Enjeksiyon Kalıbı

Yapılan bu deneysel çalışma kapsamında Şekil 2.1'de görülen kalıp çekirdeği tasarlanmış ve üretilmiştir. Deney düzeneği tasarlanırken bu aşamada kesinleşmiş standart bulunmadığı için kalıp içinde spiral akışın belirlendiği ASTM D 3123 standardı referans alınmıştır. Kalıp plakaları Ç1045 malzemesi kullanılarak imalatı yapılmıştır. Her bir kalıp boşluğunun farklı yüzey pürüzlülüğü değerine sahip olabilmesi için işleme sonrası her birine ayrı ayrı ardıl işlem uygulanmıştır. Deney numunelerinin elde edileceği kalıp boşlukları Şekil 1'de görüldüğü gibi 35x75x4 mm boyutlarındadır. Kalıp plakaları CNC dik işleme merkezinde işlendikten sonra yüzeyler Çizelge 1'de görüldüğü gibi farklı boyutlardaki (mesh) zımpara ile yüzey işlemine tabi tutulmuştur. 4. boşluk ise 0,25 mikronluk elmas pasta kullanılarak kalıp boşluğu parlatılmıştır. Yüzeylerin Ra yüzey pürüzlülük değerleri profilometre ile ölçülmüştür.



Şekil 1. Kalıp yerleşim planı ve kalıp boşluğu boyutları

Çizelge 2. Kalıp boşluğu işleme metotları ve yüzey pürüzlülük değerleri

Kalıp boşluk numarası	İşlem tipi	Ra-Yüzey pürüzlülük değeri, µm
1	Parlatma (polisaj)	0,025
2	120 mesh zımpara	0,547
3	320 mesh zımpara	0,614
4	800 mesh zımpara	0,738

2.4. Enjeksiyon parametreler

Kalıp içi yüzey pürüzlülüğünün akışa etkilerinin incelendiği bu çalışmada enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı parametre olarak değiştirilmiştir (Çizelge 3). Deneyler kısa basım (short shot) olarak tanımlanan 0,5 saniye basım yapılarak ergimiş plastiğin kalıp çerisindeki akışış miktarı belirlenmiştir. Akışın yönü daime aşağıdan yukarıya doğru yapılarak basınç kesildiğinde malzemenin ilerlememesi sağlanmıştır.

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan enjeksiyon parametreleri

Deney Kodu	Basınç, P (Bar)	Sıcaklık, T (^oC)	Enj Hızı, V (cm^3/dak)
A	30	230	20
B	40	230	20
C	50	230	20
D	35	220	40
E	35	230	20
F	35	230	30
G	35	230	40

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Plastik parçaların yaklaşık üçte biri enjeksiyonla kalıplama metodu ile üretilmektedir. Plastik parçaya şeklini vere kalıp tasarımında ürünün boyutu, şekli, üretim miktarı, kalitesi gibi unsurların aynında plastik malzemenin cinsi ve enjeksiyon parametreleri de dikkate alınmaktadır. Enjeksiyon parametreleri kalıplama sırasında değiştirilebilen parametrelerdir. Plastik malzemesi ise müşteri veya tasarımcı tarafından belirlenmektedir. Ancak tasarım ve imalat bittikten sonar değiştirilmesi zor olan unsur kalıptır. Kalıp üzerinde değişim yapmak hem zaman kaybı hem de maliyet artışına sebep olmaktadır.

Plastik parçaya şeklini veren kalıp tasarım sonrası üretilirken üretim hassasiyeti ve yüzey kalitesi kalıplanan ürünün de kalitesini ve görünümünü belirlemektedir. Ancak enjeksiyon kalıbında kalıp boşluğu ergimiş plastiğin akışını da etkilemektedir. Ergimiş plastik kalıp boşluğuna yüksek basınç ve sıcaklık altında enjekte edilerek kalıplama gerçekleştirilmektedir. Ergimiş plastik malzemenin genellikle ergime sıcaklığının üstündeki bir sıcaklıkta enjeksiyon yapılmaktadır. Kalıp boşluğu dolduktan sonra ergiyik kalıp içerisinde soğuyarak katılaşmakta ve kalıbın şeklini almaktadır.

Ergimiş plastik kalıp içerisine enjeksiyon basıncı olarak tanımlanan bir itme basıncı ile itilmektedir. Ergimiş plastiğin sıcaklığı kalıp sıcaklığına göre yüksek olduğu için ergiyik kalıp boşluğunda ilerlerken kalıp yüzeylerine temas ettiği andan itibaren ısısını kaybetmektedir. Termoplastikler camsı geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda katı rejimde olduğu için ergiyik-kalıp yüzeyi temasından dolayı ara yüzeyde plastiğin sıcaklığı ani olarak düşmekte ve katılaşmaktadır.

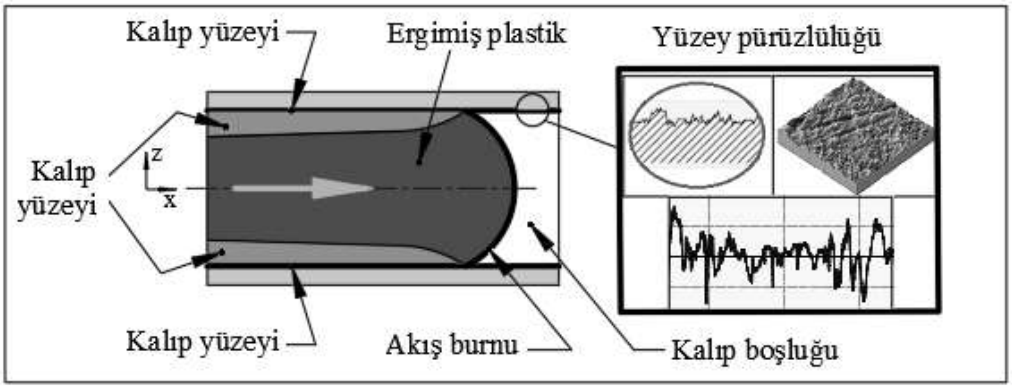
Kalıp içerisinde akış sırasında gerçekleşen bu ısı geçişine bağlı olarak plastik zamana bağlı olarak kalıp içerisinde ilerledikçe sıcaklığını kaybetmekte ve akışkanlığı da düşmektedir. Bu süreç nedeniyle bazen kalıp boşluğu dolmamakta ve eksik basınç veya hatalı basım gerçekleşmektedir. Enjeksiyon hatası olarak kabul edilen bu durum hatalı üretim olup maliyet artışına sebebiyet vermektedir.

Ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışı sırasında kalıp boşluğu yüzeyi ile ergiyik temasına bağlı ara yüzeydeki ısı transferinin ergimiş plastiğin akışını doğrudan etkilemektedir. Kalıplanan plastik parçanın görünümü ve yüzey kalitesi ağırlıklı olarak kalıp boşluğunun yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Bu nedenle hassas ve parlak bir yüzey istenildiğinde kalıp boşluğunun yüzey pürüzlülüğü hassaslaştırılmaktadır yani yüzey pürüzlülüğü düşürülmektedir. Bu işlem kalıp üretim süresini ve maliyeti de doğrudan etkileyen bir süreçtir. Ancak yüzey pürüzlülüğünün sadece kalıplana ürünün yüzey kalitesini belirlemenin ötesinde ergiyik-kalıp ara yüzeyindeki ısı geçişini ve akışkanın kalıp boşluğundaki ilerlemesini de etkilemektedir.

Kalıp boşluğu ve yüzeyler genellikle talaşlı imalat yöntemiyle işlenmektedir. Gerektiğinde ise erozyonla işleme metodu ile de işlenebilmektedir. Takım tezgahları ile yapılan işlemeden sonra yüzey hassasiyetini artırılması için ürüne şeklini veren kalıp boşluğu zımparalama ve parlatma gibi ikinci işlemlere tabi tutularak yüzey pürüzlülüğü azaltılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ergimiş plastik kalıp yüzeyi ara yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü olup aslında ısı geçişinin olduğu yüzeydir. Ayrıca akışkanın kalıp içerisinde ilerlerken temas ettiği yüzeydir. Bu nedenle bu yüzeyin yüzey pürüzlülük değeri önemlidir.

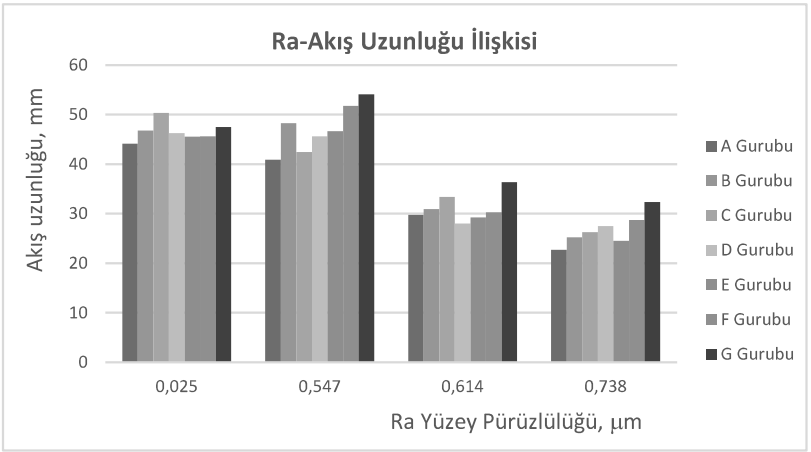
Ergimiş plastiğin sıcaklığı kalıp yüzeylerine göre oldukça yüksek olduğu için ısı akısı ergimiş plastikten kalıp yüzeylerine doğru gerçekleşmektedir. Akış sırasında gerçekleşen ısı geçişi konveksiyonla ısı taşınımı ve kondüksiyonla ısı taşınımının birlikte gerçekleşmekte olup her iki ısı transferi yönteminde de yüzey alını önemli parametredir. Yani ergyikten kalıp yüzeylerine geçen ısı hesaplanırken temas halindeki yüzey alanı transfer edilen ısı miktarını etkilemektedir.

Ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışı sırasında ergimiş plastik soğuk kalıp yüzeylerine temas ettiği bölgede sıcaklığını kaybederek sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığının altına düşmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi ergimiş plastiğin sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığının altına düştüğü anda katı bir tabaka haline gelmekte ve ara yüzeyde katılaşmış katman oluşmaktadır. Ergimiş plastiğin akışı sırasında katılaşan katman genellikle yüzey pürüzlüğünden daha kalın bir tabaka oluşturmakta ve zamana bağlı olarak gittikçe kalınlaşmaktadır. Kalıp içerisindeki akış sırasında akışkan bu pürüzlü yüzey üzerinde yuvarlanma gibi bir şekilde ilerlemektedir. Dolayısıyla pürüzlülükleri doldurarak ilerlemiş olmaktadır. Ancak dolum sırasında arkadan gelen itme basıncı neticesinde bazen yapışan akışkan veya temas halindeki akışkan moleküllerinin kayarak ilerlediği durumlarda gerçekleşmektedir.



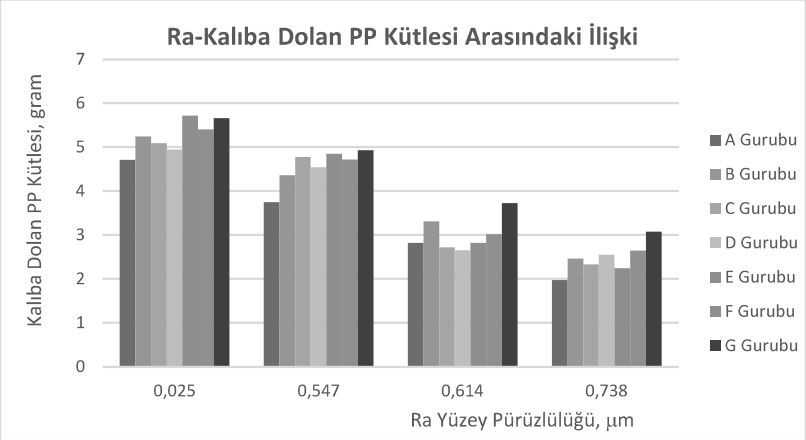
Şekil 1. Ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki yuvarlanmalı akışı ve yüzey pürüzlülüğü

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada kalıp boşluğundaki yüzey pürüzlülüğü ilişkisi incelenmiştir. Şekil 2'de verilen grafikte görüldüğü gibi Ra yüzey pürüzlülüğü akış uzunluğu grafiği verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi kalıp yüzey pürüzlülüğü arttıkça akış uzunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Dört farklı kalıp boşluğundaki yüzey pürüzlülük değerlerinin farklı olmasına bağlı olarak kısa basımlar yapılarak kalıp içerisindeki akış uzunluğunun tespit edildiği bu çalışmada uygulanan basınç nispeten düşüktür. Ayrıca 1 saniye basım yapılarak ergiyiğin kalıp boşluğuna dolması sağlanmıştır. Yüzey pürüzlülükleri haricinde eğriye kalan tüm şartların aynı olduğu dört faklı kalıp boşluğundaki akış uzunluğunun farklı olmasının sebebinin ergiyiğin temas ettiği bölgedeki Ra yüzey pürüzlülük değerinin farklı olmasından kaynaklandığı kanaatindeyiz. Yüzey pürüzlülüğünün farklı olmasının dolum miktarını olumsuz etkilemesi ısı transferi yüzeyinin artışından kaynaklanmakta olarak açıklanabilir.



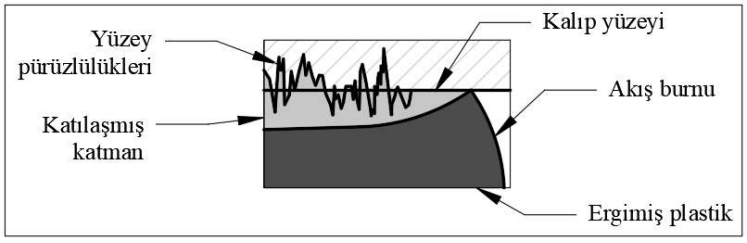
Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğüne bağlı akış uzunluğu grafiği

Kalıptaki akış uzunlukları ölçümü yapılırken kalıba dolan plastiği kütleleri de ölçülmüştür. 35x75x4 mm boyutlarındaki kalıp boşluklarına dolan plastik malzemesinin uzunlukları farklı olabilir ancak kütleleri de ölçülerek yanal ilerlemelerin etkisi de incelenmiştir. Uzunluklar aynı olsa bile 35 mm'lik genişlikteki yanal doğrultularda fark olma ihtimali araştırılmıştır. Ancak Şekil 3'te görüldüğü gibi akış uzunluğuna benzer durum gerçekleşmiştir. Kalıp boşluğuna dolan PP malzemesi artan yüzey pürüzlülüğüne balı olarak azalmıştır. Her iki grafikten de artan yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak akış uzunluğu ve boşluğa dolan PP kütlesinin azalmasında itici güç olan basıncın 30-50 bar mertebesinde kullanılıyor olması ve sadece kısa basımlar ile deneyler yapılarak uzunluk farkların incelenmiştir.



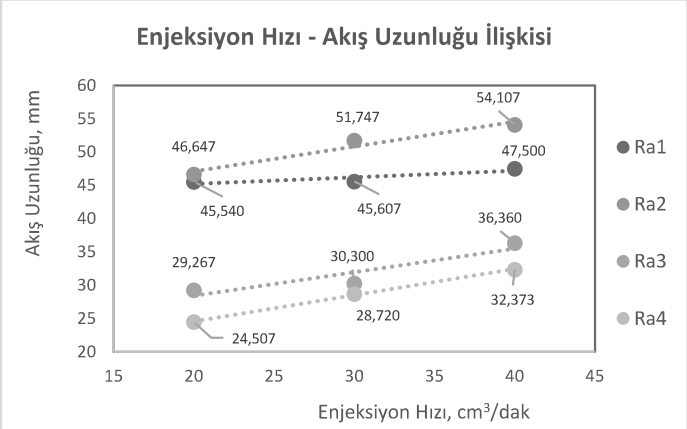
Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğüne bağlı boşluğa dolan PP kütlesi grafiği

Bu tip akış testlerinde kalıp içerisindeki akışının boşlukta ilerlemesi sırasında ergiyiğin kalıp yüzeyine temas ettiği anda katılaşarak katman oluşturması ve yüzey pürüzlülüklerini doldurarak ilerlemesi tespit edilmiştir (Şekil 4). İtici güç olan basıncın düşük ve sürekli olmaması nedeniyle akış fountain flow olarak tanımlanan yuvarlanmalı akış ve ilerleme şeklinde olduğu, katılaşan katmanın itici güç etkisi ile kayma şeklinde gerçekleşmediği kanaatindeyiz. Yüzey pürüzlülüğünü artması ısı geçişi için temas alanının artmasına sebep vermesinin yanında pürüzlülüklerin akış yününde anlık olarak bariyer görevi görerek akışı engellediğini düşünüyoruz. Ancak pürüzlülüklere akışkan dolup katılaştıktan sonra pürüzlülüğün bariyer görevi etkisinin olmayacağı ancak akış kanalı kesitinin daraldığı için kalıba dolan akış miktarının da azaldığı tespit edilmiştir.



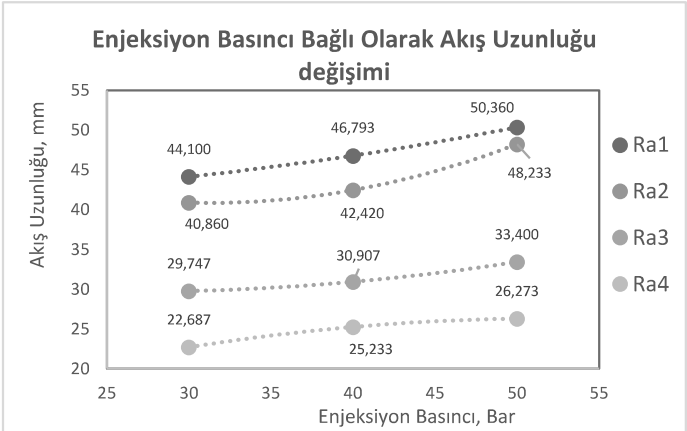
Şekil 4. Ergimiş plastiğin yüzey pürüzlülüğünü doldurarak ilerlemesi

Yüzey pürüzlülüğü akış uzunluğu ilişkisinin incelendiği deneysel çalışmada deneyler 20, 30 ve 40 cm^3/dak olarak üç farklı enjeksiyon hızlarında gerçekleştirilmiştir. Buna göre enjeksiyon hızı arttıkça kısa basım tekniğinde kalp boşluğuna dolan plastik malzeme miktarında doğrusal olarak artış olduğu görülmüştür (Şekil 5). Debiye karşılık gelen enj. Hızının artması birim zamanda kalıba enjekte edilen malzeme miktarını belirlediği için boşluğa dolan malzeme miktarındaki artış beklendiği gibi gerçekleşmiştir. Bu sonuç hem literatüre uygun olarak gerçekleşmiş hem de akış bilgisine uygundur.

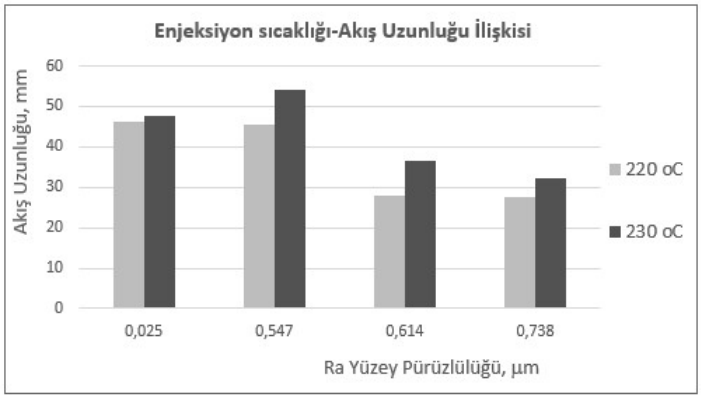


Şekil 5. Enjeksiyon sıcaklığına bağlı akış uzunluğu grafiği (P= 30 bar, T=230 ºC)

Deneysel çalışmalarda 30, 35, 40 ve 50 bar olmak üzere dört farklı basınç değerleri kullanılmıştır. Basınç artışının kalıp içerisindeki akışa etkisini inceleyebilmek enjeksiyon sıcaklığı ve enjeksiyon hızı sabit tutularak basıncın değeri artırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi 230 ºC enjeksiyon sıcaklığında ve V=20 cm^3/dak enjeksiyon hızında yapılan deneylerde artan basınca bağlı olarak akış uzunluğunun da arttığı tespit edilmiştir. Basıncın artmasının ergimiş plastiğin kalıp içerisine itilmene sebep olan itici gücü oluşturduğu için artan basınca bağlı olarak karşı uzunluğunun da artması beklenmektedir. Deneysel sonuçların literatüre uygun olarak gerçekleştiği görülmektedir. Kalıp içerisindeki akıştan enjeksiyon hızı kalıp dolum süresini etkilerken basıncın kalıp içirişindeki akış tipini etkilediği bilinmektedir. Basınç değerinin artması ile fountain flow olarak tanımlanan yuvarlanmalı akış veya dolum tipinin kayma mekanizmasına doğru evrilerek yüzeyde katılaşmış katmanın kayarak akış doğrultusunda ilerlemesine sebep olmaktadır. Bu bağlamda basıncın dolum süresini ve akış tipini etkilediği bilinmektedir. Ancak artan basınç miktarına bağlı olarak kalıp içerisindeki sıkışma miktarı da arttığı için kalıplanan ürünün yoğunluğunda da artış süz konusu olmaktadır. Bu da aynı ürün için daha fazla malzeme kullanılmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında kalıplanan ürün kalıptan çıkarıldıktan sonra çarpılma ve büzülme gibi istenmeyen etkiler oluştuğunda bej basıncı ve kalıp boşluğu dolduktan sonraki süreçte ütüleme basıncı olarak tanımlanan tutma basınçları safhasında basınç artırılabilir. Böylece, soğutma sistemi de kontrol altına alınarak eş zamanlı enjeksiyon parametreleri kullanılarak kalıplanan ürünün görünümü ve kalitesi artırılabilmektedir.



Şekil 6. Enjeksiyon basıncına bağlı akış uzunluğu grafiği (T=230 ºC, V=20 cm^3/dak)



Şekil 7. Enjeksiyon sıcaklığına bağlı akış uzunluğu grafiği (P=35 bar, V=40 cm^3/dak)

35 bar sabit basınç ve 40 cm^3/dak sabit enjeksiyon hızı altında yapılan deneylerde enjeksiyon sıcaklığına bağlı akış uzunluğu grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi artan sıcaklığı bağlı olarak akış uzunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak ergmiş plastiğin viskozitesi düşeceğinden dolayı akışkanlığı artmıştır. Viskozite azaldığı için itme basıncının etkisi ile birim zamanda alınan yol miktarı da artmıştır. Sıcaklığın etkisi ile artan akışkanlığın sonucu olarak ergimiş PP'nin kalıp içerisindeki akış uzunluğu da artmıştır. Bu sonuçta beklenilen doğrultuda gerçekleşmiş olup literatüre uygun olarak gelişmiştir.

4. SONUÇ

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaya göre kalıp boşluğundaki yüzey pürüzlülüğünün akış ve kalıbın dolması üzerinde etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü akışı olumsuz etkilemektedir ancak basınç değerleri artırıldığında yuvarlanmalı ve yapışarak ilerleyen akışın etkisi azalacağı için yüksek basınç altında yapılacak enjeksiyon işlemlerinde bu etkinin azalacağı düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü kalıplanan ürünün yüzey kalitesi ve görünümünü doğrudan etkilemektedir ancak düşük basınçlarda dolum süresini de olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Baur, E., Osswald, T.A., Rudolph, N., Plastıcs Handbook: The Resource for Plastics Engineers, 5th Edition, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2019

2. Charles E., Carraher Jr., Introduction to Polymer Chemistry, 4th Edition, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2017

3. Sunday A. Lawal, etc., "Nanofluids and Their Application in Carbon Fibre Reinforced Plastics: A Review of Properties, Preparation, and Usage", Arabian Journal of Chemistry, Volume 16, Issue 8, 2023,

4. Jean-François Agassant Etc., Polymer Processing: Principles and Modelling, Second Edition, Carl Hanser Verlag, Munich, 2017

5. Yang, Y., Chen, X., Lu, N., Gao, G., Injection Molding Process Control, Monitoring, and Optimization, Carl Hanser Verlag, Munich, 2016

6. Rajak,D.K., Pagar, D.D.,Menezes, P.L., Linul, E., "Fiber-reinforced polymer composites: manufacturing, properties, and applications", Polymers 11(10), pp 37, 2019

7. S.S.Yao, etc., Recent advances in carbon-fiber-reinforced thermoplastic composites: a review, Compos. B Eng., Vol. 142, pp. 241-250, 2018

8. Ahmad, H.,Markina, A.A., Porotnikov, M.V., Ahmad, F., A review of carbon fiber materials in automotive industry, International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE), Sevastopol, CRIMEA, 2020

9. GÜLDAŞ A., ALTUĞ M., Temel S., Mechanical properties of aluminum powder reinforced polypropylene, MATERIALS TESTING, cilt.59, sa.1, ss.86-93, 2017

10. Göktaş M.,Güldaş A., Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları için Soğutma Sıvısı Akış Stratejilerinin Karşılaştırılması, Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi, Cilt.24, Sayı.3, Sy.1249-1255, 2021

11. Menges, G., Mohren, P., 1983, "How To Make Injection Molding", Hanser Publication, Münich Vienna New York.

12. Buckleitner, E. V., 1995, "Plastics Mold Engineering Handbook", 5th Edition, Chapman & Han, An International Thomson Publishing Company, USA

13. Ozdemir A., Uluer O., Guldas A., Flow front advancement of molten thermoplastic materials during filling stage of a mold cavity, Polymer Testing, cilt.23, sa.8, ss.957-966, 2004

14. Léger, L., Hervet, H., Massey,G., Durliat, E., Wall slip in polymer melts, Journal of Physics: Condensed Matter, 9 (37), 1997

15. A.T. Osswald, Polymer Processing Fundamentals, Hanser/ Gardner Publications Inc, Cincinnati, 1998.

16. P.A. Rodgers, Pressure–volume–temperature relationship for polymeric liquids: a review of equations of state and their characteristics parameters for 56 polymers, Journal of Applied Polymer Science 48, 1061–1080, 1993

17. Michal Stanek and et all, Polymer Flow Influenced by Mold Cavity Surface Roughness, Manufacturıng Technology, Vol. 19, No: 2, 2019

18. O. Uluer, "The effect of the processing parameters on frozen layer formation in injection molding Enjeksiyonla kaliplamada işleme parametrelerinin katilaşmiş katman oluşumuna etkisi," Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol.23, No.1, Pp.249-255, 2008