

Plastik Enjeksiyon Üretim Bandında Kullanılan Kalıp ve Malzemeden Kaynaklı Meydana Gelen Üretim Hataları ve Giderme Yollarının Araştırılması

Yahya Taşgın*, Ali Gökör

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

*yahyatasgin@munzur.edu.tr^{ID}, ali.gokkoruk@gmail.com^{ID}

Makale gönderme tarihi: 17.04.2021, Makale kabul tarihi: 20.05.2021

Öz

Plastik enjeksiyon kalıplama, endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, enjeksiyon kalıpları ile istenilen şekil ve boyutlarda dikişsiz plastik ürünlerin kolayca üretilmesidir. Plastik ürünler kalıplama esnasında çok sayıda farklı parametreye maruz kalırlar. Bu yüzden, kalıplama parametrelerinin etkisini görebilerek doğru üretim yöntemleri oluşturmak amaçlanmaktadır. Bu çalışmada amaç; farklı özelliklerdeki malzemelerin, plastik enjeksiyon makineleri ile imalatı sırasında ortaya çıkabilecek imalat hatalarının daha önce tespit edilerek, hızlı ve doğru yöntemin belirlenmesi ve hataların minimuma indirilmesidir. Yapılan çalışma sonucunda kalıp içerisinde kalan havanın üretim aşamasında neden olduğu sorunlar, sıvı ham maddenin akışı sırasında oluşabilecek türbülanslardan kaynaklı sorunlar, akış yollarının çakıştığı bölgelerde meydana gelen sorunlar, özellikle ince kesitli parçalarda ürün eksilme nedenleri, parçanın dışı kalıba yapışması, çapaklı ürün, yüzeyde çöküntü olması, çarpılma ve boşluklar gibi problemler tespit edilerek çözüm yolları üretilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kalıp, plastik enjeksiyon, üretim hataları, polipropilen

The Investigation of Production Errors and Remedies Arising from the Mold and Material Used in the Plastic Injection Production Line

Abstract

Plastic injection molding is widely used in all areas of the industry. The most important reason for this is that seamless plastic products in desired shapes and sizes can be easily produced with injection molds. Plastic products are exposed to many different parameters during molding. Therefore, it is aimed to create correct production methods by seeing the effect of molding parameters. The purpose of this study was to determine the fast and correct method and minimizing the errors by detecting the manufacturing defects that may occur during the production of materials with different properties with plastic injection machines beforehand. As a result of this study, the problems caused by the air remaining in the mold during the production phase, the problems caused by the turbulence that may occur during the flow of the liquid raw material, the problems that occur in the areas where the flow paths overlap, the reasons for product loss, especially in thin-section parts, the adhesion of the part to the female mold, the product with burr, as well as problems such as distortion and gaps were determined and solutions were provided.

Keywords: Mold, plastic injection, production defects, polypropylene

GİRİŞ

Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı, maliyet hesabı ve imalatı seri üretim endüstrisinin en önemli alanlarından birini oluşturmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı, hata yapma olasılığı fazla olduğu kadar pahalı ve yorucu bir çalışmayı gerektirmektedir. Tasarımın el ile yapıldığı yöntem, genelde uygun sonuçlar vermemekte veya tasarımcının bilgi ve tecrübesinin ağırlık kazandığı

sonuçlarla yetinilmesi gerekmektedir. Son yıllarda bilgisayar destekli sistemler, imalatın, özellikle tasarım aşamasında büyük zorluklarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Kalıp tasarımının ve imalatının uzun süreler alması, bu alanda birçok çalışma yapılmasına da neden olmuştur. Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında, parça üzerinde bulunan unsurlar, kalıp maliyetini ve yapısını

etkilemektedir. Plastik enjeksiyon kalıplama (PIM) polimer işlemedeki en önemli parça üretme prosesi olup, düşük maliyetlerle karmaşık parçaların üretimi için uygun bir yöntemdir. Her gün bir çok ürün PIM endüstrisinin teknolojisiyle üretilerek güven vermektedir. PIM, altı aşamadan oluşan bir süreçtir: kitleme, doldurma, paketleme, soğutma, açma ve çıkarma. Tüm aşamalar birbirinden bağımsız değildir; uygunsuz sıkıştırma ayarı, başarısız bir doldurma aşamasına neden olabilir ve böylece genel sürecin performansını etkiler. Genellikle, bir PIM sürecinin performansı, parçaların nitelikleri gibi sonuçlara göre ölçülür, yani görünüm özellikleri, fonksiyonel özellikler ve verimlilik göstergeleridir (Kitayama ve ark.,2017; kuo ve ark.,2015; Li ve ark., 2018; Tian ve ark.,2017; Tsai ve ark.,2017; Zhao ve ark.,2015).

Fu ve ark. (1999), plastik parçaların üzerindeki unsurları tanımlayarak parçaların kalıplana bilirliğini belirlemeye yönelik bir çalışmalar yapmışlardır. Hui (1997), parçaların kalıplana bilirliğini belirlemek için geometrik bir yaklaşım sistemi geliştirmiştir. Plastik enjeksiyon kalıplarında, plastik malzemenin kalıp içerisinde akışının modellenmesi ve simülasyonu için de bir çok çalışma yapılmıştır (Nardin ve ark., 2002; Aisa ve ark., 2006).

Enjeksiyonla üretimde temel prensip, sıcak plastiği kalıp içerisine basınçla gönderip eriyiğin kalıp boşluğunun şeklini alarak soğuyup sertleşmesini beklemektir. Kalıp sıcaklığı, baskı süresini belirleyeceğinden önemlidir. Sıcak kalıpta ergimiş plastik, kolayca akmasına rağmen, ürünün soğuyup kalıptan dışarı atılabileceği sıcaklığa düşmesi uzun zaman almaktadır. Bunun tersi olarak, soğuk kalıpta ergimiş plastiğin soğuması çabuk olur ve kalıbı doldurmadan soğuyup sertleşir. Ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışına yönelik olarak yapılan çalışmalar bu iki durumun, en uygun baskı süresini elde etmede alt ve üst sınırları belirlemeye yardımcı olduğunu göstermektedir (Uluer ve ark., 2005).

Kalıp ısını belirlenen sıcaklıkta tutmak, genellikle kalıp içinde açılmış kanallarda su (veya başka sıvılar) dolaştırmakla sağlanır. Eriyik plastiğin ısı, soğutma süresince değişir. Soğutma sisteminin tasarımı, enjekte edilen plastik parçanın geometrik yapısına bağlıdır. Plastiklerin kalıplanmasında enjekte edilen eriyik çok sıcak olduğundan, hızlı ve

düzgün çekme sağlanmalıdır. Soğutma kanallarının konumu, ıyı en iyi taşıyabilecek konumda tasarlanmalıdır (Tang ve ark, 1997).

Prasad ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada, plastik enjeksiyon ile kalıplamada enjeksiyon süresine etki eden kalıp sıcaklığı, plastiğin erime sıcaklığı, plastiğin ağırlığı ve enjeksiyon basıncı gibi parametreleri MATLAB programında Levenberg Marquard algoritmasını kullanarak eğitmişlerdir. Eğitilen enjeksiyon süresinin gerçek uygulamadaki enjeksiyon süresi ile karşılaştırılması için MELTFLOW simülasyon programı kullanmışlardır. Levenberg Marquard algoritması kullanılarak eğitilen enjeksiyon süresi ile gerçek uygulamadaki enjeksiyon süresi arasındaki farkı görebilmek için farklı plastik malzemelerin kalıp boşluğuna dolma sürelerini hesaplamışlardır. Ağın ürettiği enjeksiyon sürelerinin gerçek uygulamadaki enjeksiyon sürelerine çok yakın sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Ergüney ve ark. (2005), akış uzunluğu ile kalıbın dolup dolmayacağı tahmin edildiğinden spiral kanallı bir kalıpta farklı enjeksiyon parametrelerinin (silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon debisi ve kalıp sıcaklığı) etkilerini araştırmak için plastiklerin akış uzunluklarını incelemişlerdir. Enjeksiyon parametrelerinin değerleri arttıkça akış uzunluğunun arttığını, en uzun akışın sırasıyla polistren (450 mm), polipropilen (428 mm), yüksek yoğunluklu polietilen (341 mm) ve düşük yoğunluklu polietilen (324 mm) de meydana geldiğini belirtmişlerdir. Çakır ve ark. (2001), I20–3 polietilen plastik ürünlerdeki çekme miktarını, enjeksiyon parametrelerini ve kalıp özelliklerinin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, katkı maddesi miktarı ve kalıplama süresinin plastik ürünlerde meydana gelen çekme miktarı oranları üzerindeki etkilerini inceleyerek, enjeksiyon basıncı ve kalıplama süresinin artması ile çekmenin azaldığını, katkı maddesi ve enjeksiyon sıcaklığının artmasıyla çekmenin arttığını tespit etmişlerdir. Oktem ve ark. (2007), plastik ürünlerin üretimi esnasında, çekme payı değişimine bağlı olarak, hata problemlerini azaltmak için optimizasyon tekniklerini içeren bir çalışma yapmışlardır. Moldflow analizi ile L27 ve L9 Taguchi ortogonal tasarımın temel dağılımlarından yararlanarak çarpılmaya ve çekmeye etki eden parametrelerin değişimlerini analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, ütüleme

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.915589

basıncının %58.03, ütüleme süresinin %23.03, enjeksiyon süresinin %15.17 ve soğutma süresinin %3.68 oranında çarpılmaya yol açtığını; ütüleme süresinin %84.054, ütüleme basıncının %7.83, enjeksiyon süresinin %5.528 ve soğutma süresinin %2.588 oranında da çekmeye yol açtığını tespit etmişlerdir.

Sadeghi (2000), plastik enjeksiyon kalıpları için yapay sinir ağlarıyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Ağ'a değişik plastik ürün malzemesi, enjeksiyon süresi, kalıp sıcaklığı ve erime sıcaklığı gibi değişkenler girilirken, bu değişkenlere bağlı olarak kalıp kalitesi, eriyik malzeme dolma süresi ve enjeksiyon basıncı gibi parametrelerin nasıl değiştiğini CAE yazılımını kullanarak hesaplamıştır. Ferreira ve ark. (2003), plastik enjeksiyon kalıpları için farklı soğutma sistemlerini geliştirmek ve kalıptaki problemleri azaltmak için algoritmik matris yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem ile plastik enjeksiyon kalıplarında oluşacak problemlerin önceden belirlenebildiğini ve gerekli değişiklikler yapılarak hatasız üretimin yapılabileceğini belirtmişlerdir. Shelesh-Nezhad ve ark. (1997), enjeksiyon kalıplarındaki kalıp parametrelerinin (Erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon süresi ve enjeksiyon basıncı) etkilerini tespit etmede akıllı sistemleri uygulamışlardır. Durum tabanlı çıkarsama (CBR) tekniğini ve hibrid uzman sistemi kullanarak optimum sınırlar içerisinde ergimiş plastiğin kalıp boşluğuna dolma uzunluğu ve bu uzunluktaki kalınlık değişimini incelemişlerdir. Buna bağlı olarak plastik enjeksiyon ile kalıplamada kalıp parametrelerine etki eden faktörler arasındaki ilişkiyi hesaplamışlardır.

MATERYAL VE METOT

Günümüzde kullanılan plastik parçaların üretimde kullanılan yöntemlerin başında plastik enjeksiyon yöntemi gelmektedir. Plastik enjeksiyon yöntemi ile hammaddesi Polipropilen(pp) olan granül halindeki plastik hammaddelerini ısı yardımıyla eriyik haline getirilerek, istenilen şekilde parçaların kalıplanması ve istenilen şekilde şekillendirilmesi işlemleridir.

Plastik enjeksiyon yöntemiyle, karışık yüksek hacimli parçaların hızlı bir yöntem ve seri bir üretim ile imal edilmesi, maliyet konusunda düşük, otomasyonlara uygun, istenilen renk seçeneği, imalat sırasında malzeme kaybı çok az olması, aynı makinelerde farklı kalıplar bağlanarak farklı ürünler

alınabilmesi özellikleri konusunda oldukça avantajlı bir yöntemdir. Elektirikli (Zhafir VE4500 450 ton) ve hidrolik (Haitian Ma4800 480 ton) olmak üzere plastik enjeksiyon makinaları üzerinde yaptığımız bu çalışmada; üretim esnasında ve öncesinde tespit ettiğimiz problemleri ve çözüm yolları aşağıda sıralanmıştır.

Plastik Enjeksiyon Makinalarında Kontrol Ünitelerinin Çalışma Şartlarının Belirlenmesi

Sıvı malzemenin ısı kontrolü ve kalıp içerisine malzemenin alım miktarının ayarlanması

Plastik enjeksiyon prosesine başlamadan önce hammadde firmasından alınan değerler ile sıcaklıkları ayarlamamız gerekmektedir. Alınan hammadde özelliklerini firmanın verileri incelenerek, enjeksiyon prosesi sırasındaki ocak ısıları istenilen dereceye getirilmektedir.

Enjeksiyon makinelerinin ocak büyüklüklerine göre gerekli adetlerde seramik rezistanslar ile malzeme eriyik hale getirilir. Her bir ısıtıcının olduğu bölgeye isim verilmektedir. Şekil 1.a'da görüldüğü üzere 5 bölgeden oluşmaktadır. Bölge ısıtıcılarında istenilen değeri set bölümüne yazılmaktadır. Max (-) ve max (+) ise verilen tolerans değerleridir. Gerçek satırında ise termokopulun ölçtüğü anlık değer gösterilmektedir. Bölge adları kalıba yakın olan tarafa bölge - 1 adı verilerek enjeksiyon ünitesine doğru sıralama ile giderek adlar verilmektedir. Yük huni denilen bölgede ise set istenilen değer girilir. Hammadde huniden ocağa doğru hareket edeceği için orada ısıdan dolayı erimemesi için sürekli su ile soğutma kanalları ile soğutma işlemi sağlanmaktadır. Eğer burada eriyik malzeme oluşur ise malzemenin vidaya akışı sağlanmaz.

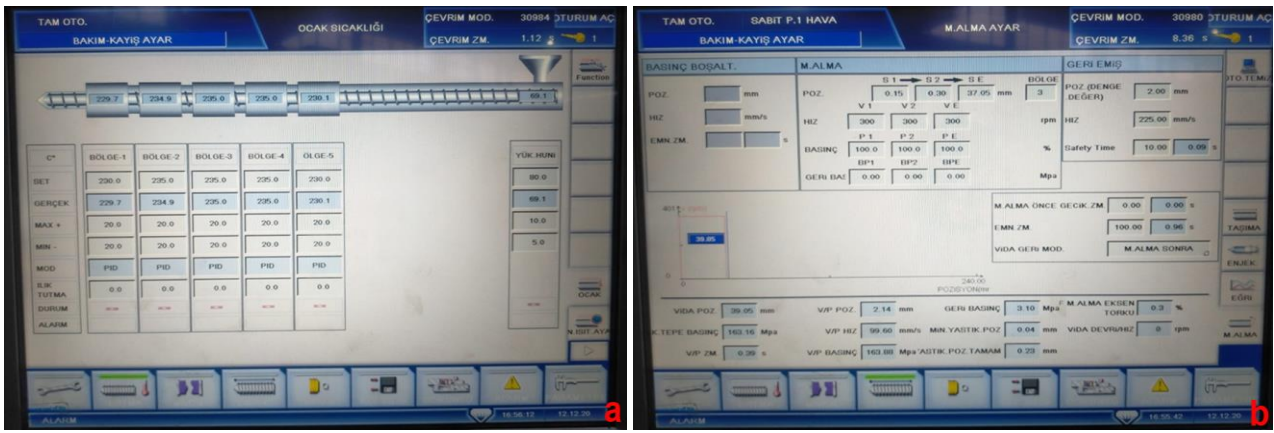
Enjeksiyon prosesinde malzeme alma sayfasında, ürün miktarı hesap edilen değerlerde girilerek prosese başlanır. Araştırmada hidrolik ve elektrikli makineler ile çalışmalar yaptık. Her makinenin ocak çapı ve mil boyutu farklı olduğundan dolayı mal alma sayısı değişiklik göstermektedir. Aynı ürünü farklı makinelerde çalıştırmızda; 450 tonluk elektrikli makinede ürün mal alma sayısı 199,4 iken 480 tonluk hidrolik makinede ise 153,2 ile çalışmaktayız. Eğer malzeme alma sayımız 153,2 olması gerekirken yüksek ise ürün çapaklı gelebilir ve dışı kalıpta kalması sık karşılaşılan bir sorun ortaya çıkmaktadır, mal alma

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589

sayımız 153,2 olması gerekirken sayımız düşük ise oluşan üründe eksikler mevcut olmaktadır.

Malzeme alma sayısı ayarlanırken, malzeme alma hızı ve basıncıda ayarlanmalıdır. Malzeme alma sayısı büyük ise daha düşük hız ve basınç ile ayarlanır. Üretilen malzemenin içine boya, kalsit vb. malzemeler katılıyorsa malzeme alma sayfasından geri basınç verilerek eritilmekte olan kovanın içinde malzeme karışımı istenilen oranda olmasını sağlamaktadır.

Malzeme alma sayfasında istenilen ürünün oluşması için gerekli mal değeri girilmektedir. Bölge kısmına yeterli adet girilir. Şekil 1 b'de görüldüğü üzere 3 girilmiştir. Bölgeler ise S1, S2 ve son değer SE olur. Küçük ürünlerde eşit şekilde mal alım sağlanırken büyük ürünlerde ise ocak ısıları yetişemediğinden ötürü mal alma daha yavaş yapılmaktadır. Malzeme alma yapılırken her bölgeye hız ve basınç verilmektedir. Geri basınç ise daha basınçlı ve daha iyi karışmasını sağlayarak ürünün homojen olmasına sebep olmaktadır.



Şekil 1. Plastik enjeksiyon makinesi a) Ocak ısı kontrol sayfası b) Malzeme alma kontrol sayfası

Kalıp açılma ve kapanma oran ve sürelerinin ayarlanması

Mengeneye bağlanan kalıp açılış pozisyonu gerektiği kadar açılmalıdır. Fazla açılma çevrim süresinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle minimum açılacak şekilde ayarlanmalıdır. Kapanış ve açılış hız ve basınçları ayarlamak önemlidir. İlk açılış hızı çok hızlı olmamalıdır. Yavaş açılarak yavaş kapanması istenir. Kapanırken ise basınç yüksek ve hız düşük olmalıdır. Eğer bu sistemde çalışılmaz kalıp hızlı açılır ise ürünün dışıde kaldığı görülmüştür. Hızlı kapanması durumunda ise dişi ve erkek kalıp yüzeylerinde çarpışmalar tespit edilmiştir. Kalıbın zarar görmemesi ve ürünün dışıde kalmaması için kapatma ve açılma hızları ve basınçları kademeli olarak ayarlanmalıdır.

Klp. Aç. Strok (kalıp açma değer alanına gelen) değeri dişi ve erkek kalıp arasında birbiri ile temas eden yüzeylerin arasındaki mesafenin kaç mm açılacağı değeri girilir. Mengene sayfası iki aşamada yapılır. Üst satırda gösterilen mengene kapatma

sayfası değerleri girilmektedir. Yüksek hız ve basınç ile harekete başlayan mengene kapanmaya yakın düşük basınç ve hız ile yavaşlar ve daha sonra yüksek basınç ve düşük hız ile kendini kitler. Elektrik ve hidrolik makinelerde işlem aynıdır. Mengene açma sayfasında ise bu işlem iki farklı şekilde oluşmaktadır. Şekil 2.a de hidrolik bir makine örnek verilmiştir. Mengene kapatma işlemi soldan sağa doğru olurken mengene açma işlemi ise sağdan sola doğru olmaktadır. Mengene ilk 6-7 mm pozisyonda olarak yavaş hız ve basınç ile açılır, daha sonra kademeli olarak pozisyonlar verilir. Bu pozisyonlar mengene açılma pozisyonu 450 mm olur ve daha sonra son pozisyonlara doğru hız ve basınçlar yavaşlatılır. Mengene sona doğru frenlemede vuruşu olmaması için. Sonra hızlar ve basınçlar artarak devam eder. İstenilen açılma pozisyonuna gelirken hızlar ve basınçlar tekrardan yavaşlatılır. Sebebi ise kendini frenlememesidir. Ama elektrikli makinelerde ise servo motorlar ile mengene açılımı sağlandığı için mengene açılımında ilk hız yavaş olur daha sonra istenilen pozisyona

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589

kadar son hız ile açılır ve her daim sabit değerde açılır.

Kalıp tonajının belirlenmesi

Mengeneye bağlanan kalıp çalışmadan önce kalıp ayarı yapılması gerekmektedir. Kalıp ayarı minimum tonaj ile yapılarak kalıba zarar azaltılır. Tonaj hesabı ile yaklaşık tonaj girilir. Eğer ürün çapağa kaçıyor ise kalıp tonajı düşük olabilir. Eğer üründe gaz var ise gaz kanalları gazı atamaz ve gazlı ürün gelebilir. Bazı makinelerde tonaj sayfası olup tonaj değeri girilirken, bazı makinelerde ise kalıp kapama sayfasında en son değerdeki basınç değerine girilen değer olarak almaktadır.

Şekil 2.b'de verilen kalıp kalınlığı ise kalıbın iki mengene arasında uzunluk değerine 5-10 mm daha fazla girilerek kalıp ayarı yapılmaktadır. Bu işlemlerin hepsi güvenlik tedbiridir.

Plastik enjeksiyon hızları ve basınçları kontrolü

Plastik enjeksiyon prosesinde eriyik malzeme kalıp içine doldurulurken enjeksiyon hızları ve basınçları önemli etkindir. Küçük parçalar üretilirken genelde yüksek hız ve basınç ile enjeksiyon yapılır. Büyük ve kalın parçalarda ise hızlar ve basınçlar düşük şekilde enjeksiyon yapılmaktadır. Enjeksiyon hız ve basınçlarının yanı sıra ütüleme işlemi bu aşamada yapılmaktadır. Ütüleme basınç ve hız verilerek belli aralıklarla yapılmaktadır. Kalın ve büyük parçalarda ütüleme çok önemli bir etkindir.

Şekil 3.a'da ilk satır eriyik malzemeyi kalıp içerisine kovanda bulunan eriyik malzeme millin hareketi ile kalıba hareket eder. Bu işlem yapılırken belli pozisyon aralıklarında belli basınç ve hızlar ile kalıba enjeksiyon yapılır. Kalıp içerisinde ilk madde geçişi kalın cidar ise malzemenin ilk bölümü dolana kadar hızlar ve basınçlar yavaş daha sonraki pozisyonda ise hız basınç yüksek verilir.

Ürünün kalıptan çıkışını sağlayan hava kontrol sistemi

Plastik enjeksiyon prosesi sırasında oluşan malzeme (ürün) kalıptan çıkarılması için itici ve hava pimleri kullanılmaktadır. Kalıbın dışıde kalmaması için dışı hava pimi mevcuttur. Erkek kalıpta ürün ise hava, sıyrıcı, maça ve hava pimleri ile düşürülmektedir. Üretim bandında bulunan ürünlerin kalıptan çıkarılmasında büyük kolaylık sağlar.

Şekil 3.b'de görülen her airblow havayı ifade eder. Kalıpta oluşan ürününün düşürülmesi için belli havalar vuruşları gereklidir. Sisteme ve kalıba uygun hava vuruş metodu seçilerek, belli pozisyonlarda belli saniyeler bekleyerek istenilen sürelerde hava vuruşu sağlanmalıdır.

Çevrim sisteminin kontrolü

Plastik enjeksiyon prosesi sırasında tüm hareketlerin hesabı yapılarak çevrim hesabı çıkarılmaktadır. Şekil 4'te bir parçanın üretim sırasında hangi hareketinde kaç saniyede işlem yaptığını belirtir. İşlem basamağının sonunda ise toplam net çevrimi verir.

Soğutma sistemleri

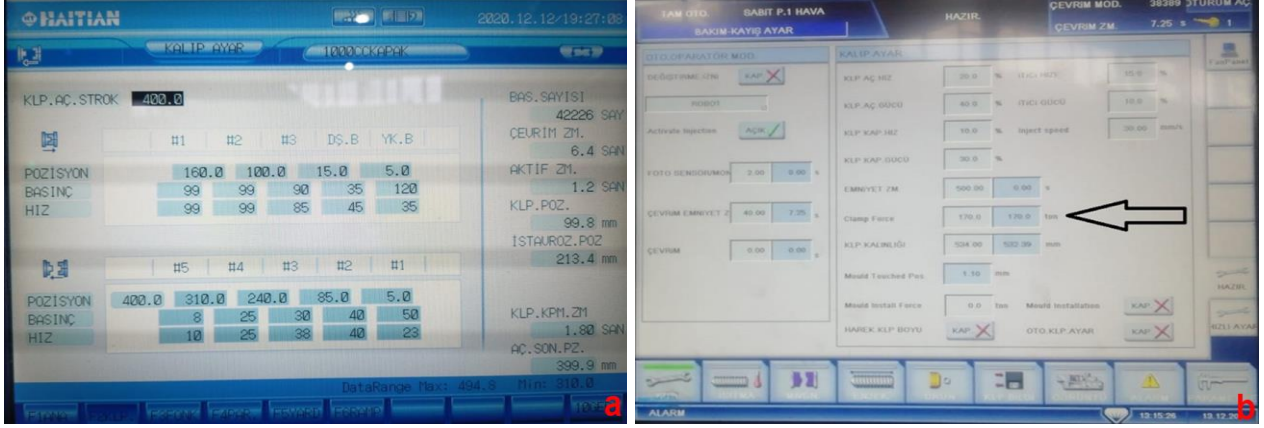
Plastik enjeksiyon imalatı yapan işletmeler genellikle iki farklı soğutma sistemi kullanmaktadırlar. Bu sistemler su soğutma kulesi ve chiller'dir. Kalıp içerisindeki eriyik malzemenin katılaşması için düşük derecede su soğutma sistemi chiller ile yapılırken, plastik enjeksiyon makilerin yağ soğutmaları için su soğutma kuleleri tercih edilmektedir. Şekil 5.a'da soğutma kulesine ait soğutma suyunun eksen başlıklarındaki sıcaklık değerleri verilmiştir.

Soğutma kuleleri, farklı amaç için işleyen endüstriyel tesislere, cihazları veya ürünü soğutmak için soğutma suyunu sağlayan yapılardır. Sistemde dolaşan soğutma sıvısının sistemden veya üründen aldığı ısıyı uzaklaştırmak için tercih edilir. İki ana başlıkta sınıflandırılır. Bunlardan ilki ıslak soğutma kulesi diğeri ise kuru soğutma kulesidir.

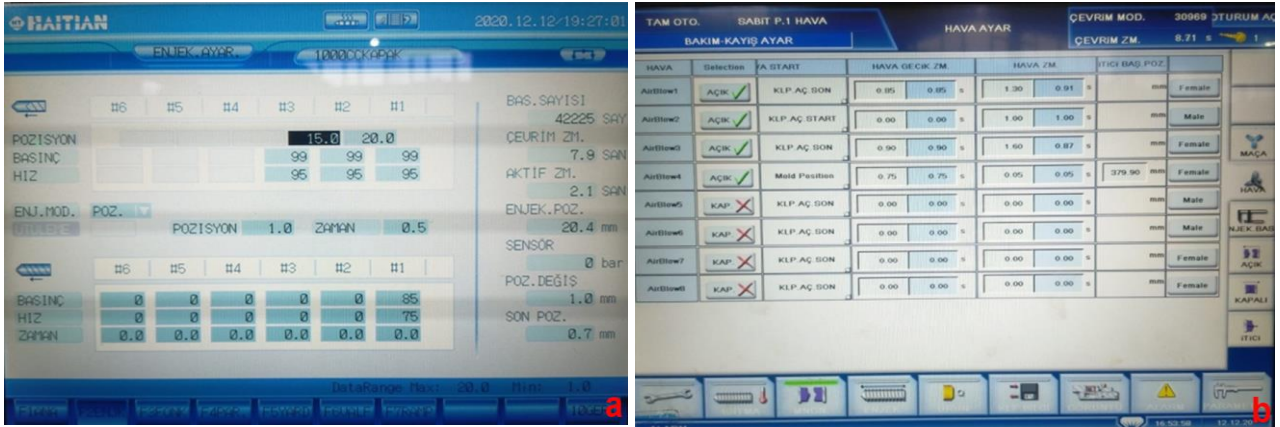
Islak soğutma kulesi buharlaşma mantığı ile çalışır. Kuru soğutma kulesi ise çevreyle etkileşime geçerek sıvının soğumasını hava yardımıyla yapmaktadır.

Kompresör, genleşme vanası, evaporatörden ve kondanser oluşan chiller soğutma sistemleri, kompresörde sıkıştırılan ve ısınan gazın kondanserde soğutulması ile çalışır. Ardından genleşme vanasından geçen gazın basıncı sayesinde ısı transferi gerçekleşir ve sıcaklık düşer. Evaporatörden geçerken soğutulması amaçlanan sıvıdaki ısıyı alır alçak basınçla kompresöre gaz halinde ulaşır ve yeniden sıkıştırılır. Chiller soğutma sistemine ait eksen başlıklarındaki su giriş çıkış sıcaklıkları Şekil 5.b'de verilmiştir.

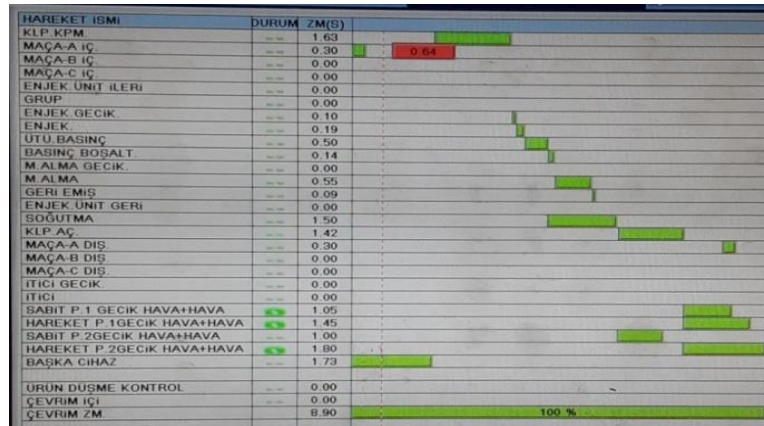
Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589



Şekil 2. Plastik enjeksiyon makinesi a) Mengene kontrol sayfası b) Kalıp tonaj kontrol sayfası

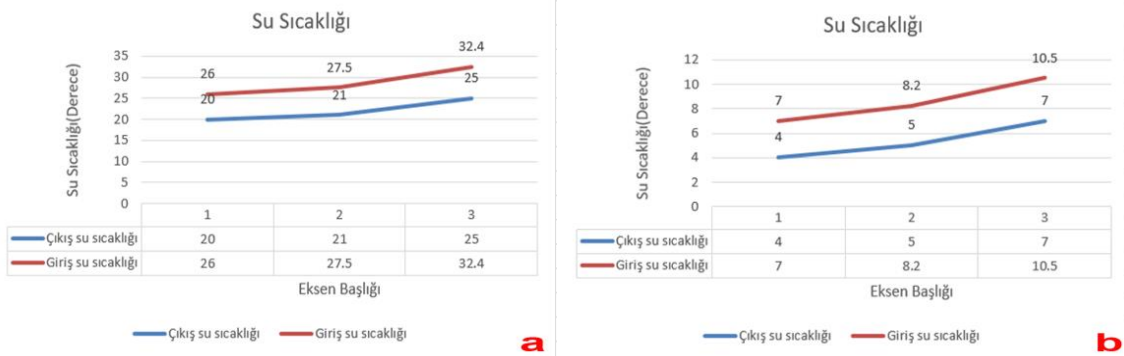


Şekil 3. Plastik enjeksiyon a) Hız ve basınç kontrol sayfası b) Hava kontrol sayfası



Şekil 4. Plastik enjeksiyon makinesi çevrim kontrol sayfası

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589



Şekil 5. a) Soğutma kulesi su giriş-çıkış sıcaklık grafiği b) Chiller soğutma sistemi su giriş-çıkış sıcaklık grafiği

BULGULAR VE TARTIŞMA

Plastik Enjeksiyon Prosesinde Tespit Edilen İmalat Hataları ve Çözüm yolları

Endüstride bir çok sistemin imalatında ve işletilmesinde hatalar olduğu gibi enjeksiyon sisteminde de imalat hataları bulunmaktadır (Kahraman ve Taşgım, 2019). Enjeksiyon sistemi kullanılarak oluşturulan parça imalatında oluşan hatalar işlem öncesi hammadde depolanmasının yanlış olmasından, işlem süresi boyunca oluşan hatalardan ve paketlenmeden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Üretim işlemi sırasında oluşan hatalar öncesi veya sonrasında oluşan hatalara göre daha karmaşık ve zor çözümlere sahip olabilir. İşlem sırasında muhtemel karşılaşılabılır hatalar; makine, kalıp, çalışma ortamının şartları, hammadde ve parça tasarımdan kaynaklı olduğu.

Enjeksiyon sisteminin düzgün ve optimum çalışması 3 ana şarta bağlıdır. Bunlar; basınç, sıcaklık ve zaman sabitleridir. Oluşan problemlerin birçoğunun ise bu sabitlerin kaymasından veya hatalı işlemlerden kaynaklandığı gözlenmiştir.

Malzemede yanık oluşumu

Kalıp içindeki boşluğu dolduran erimiş haldeki plastik malzeme yüzünden sıkışan hava kalıptan dışarı doğru tahliye edilmelidir. Eğer tahliye işlemi gerçekleşmez ise ve kalıp içinde hava kalırsa, kalıp içinin ulaştığı yüksek sıcaklıkları nedeniyle plastik malzeme ile arasında kimyasal reaksiyon oluşarak gazın yanmasına, bunun sonucunda da Şekil 6.a'da görüldüğü gibi yanık izine neden olduğu gözlenmiştir. Eğer gaz yanarsa yani dizel etkisi oluşursa oluşan parçada siyah veya hafif sarı izler oluşabilir. Normal şartlarda kalıp içinde sıkışan hava

itici pimler yardımıyla tahliye edilebilir. Yanık oluşmaması için sistemin elemanları düzenli periyotlar ile kontrol edilmelidir. Ayrıca yanık izini önlemek adına erimiş plastik malzeme sıcaklığı azaltılabilir ve parçanın keskin köşeleri yuvarlatılabilir. İşlemden oluşacak değişiklikler ürünün temiz ve kaliteli oluşmasına yardımcı olacaktır.

Akış izi hataları

Kalıp içindeki boşluğa doğru akan erimiş malzeme gittiği yolun kesit alanına göre hızında değişiklik yaşanır. Erimiş malzemenin yoluna parçanın şeklini değiştirecek farklı bir cisim çıktığında türbülans oluşur. Bu nedenle akış bölünür. Bir veya birden çok türbülans oluşturması oluşan parça üzerinde Şekil 6.b'de görüldüğü gibi akış izlerine neden olduğu gözlenmiştir. Erimiş malzeme sıcaklığı arttırmak veya enjeksiyon hızını yükseltmek akış izlerinin oluşmamasını sağlayabilir. Konik besleme yerine yolluk girişini yandan yapmak ya da tünel girişini kullanmak oluşacak akış izlerini azaltmanın farklı bir yoludur.

Birleşme noktalarındaki hatalar

Akış yollarının çakıştığı bölgelerde birleşme izleri gözlemlenmiş olup. Kalıpta eğer birden çok yolluk girişi bulunuyorsa, erimiş malzeme yollukların birleşmesi boyunca donduğu nokta varsa, Şekil 6.c'de görüldüğü gibi parçanın yüzeyinde uzun birleşme izleri tespit edilmiştir. Birleşme izleri görüntü bozukluğunun yanı sıra parçanın mekanik olarak bozulmasını sağlar. Parçanın mukavemetini azaltır.

Soğuk birleşme nedeniyle oluşan izleri azaltmak için enjeksiyon ve kalıp içi sıcaklığını

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589

arttırma ve enjeksiyon hızını arttırmak gereklidir. Enjeksiyon hızını belirli oranda artırılmalıdır,

Eksik üründen kaynaklı hatalar

Kalıp içine tam olarak dolması gereken malzemenin eksik kalması nedeniyle Şekil 6.d'de görüldüğü üzere üründe hatalar oluşmuştur. Kalıp içinde sıkışan hava basınç oluşturur. Bu oluşan basınç enjeksiyon sisteminde oluşan basınçtan büyük olursa erimiş haldeki plastik malzeme kalıp içine dolamaz ve oluşan üründe eksiklikler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Özellikle ince kesitli veya uzun boylu parçalarda gözlemlenen bir hatadır. Enjeksiyon basıncının artırılması çözüm olabilir ama yolluk girişi bölgesinde durmadan gerilme yaşatacağı için farklı hatalarla karşılaşma ihtimali yüksektir. Eksik ürün hatasından kurtulmak için enjeksiyon hızının artırılması en doğru yöntemdir. Kalıp sıcaklığının artırılması kullanılan yöntemlerden birisidir fakat maliyet artışı sağlar.

Parçanın dışı kalıptan ayrılmamasından kaynaklı hatalar

Üretilen parçanın, erkek ve dişi kalıp birbirinden ayrıldıktan sonra dişi kalıptan ayrılması gerekmektedir. Eğer kalıp ürün çıkış açıları yetersizse veya çıkıntı kenarlarında parlatma eksik yapılmış ise ürünün kalıptan ayrılmasında Şekil 6.e'de görülen sorunlar gözlemlenmiştir. Parçaların iyi parlatılması ve açılarının uygun oluşturması hatanın önüne geçmiştir.

Çapaklı ürün oluşum hataları

Kalıp nedeniyle üründe çapak oluşur (Şekil 6.f). Kalıp birleşmesi uygun olmalı ve aşınma olmamalıdır. Enjeksiyon sisteminde oluşan yüksek basınç sistemin kalıp kapanma kuvvetinden büyük olmamalıdır. Eğer bu şartlara sağlanmazsa oluşan üründe çapaklar gözlenmiştir. İş gücü artırılması ile çapaklar elle temizlenebilir fakat bu maliyet ve zaman açısından zarar uğratmaktadır.

Yüzeyde çöküntü oluşması hataları

Üretilen parça, tam anlamıyla soğutulmadan kalıptan erken ayrıldığında Şekil 6.g'de görüldüğü gibi çöküntüler gözlemlenmiştir. Soğuması zor olduğu için daha çok kalın etli parçalarda

gözlemlenir. Oluşan çökme hatası enjeksiyon veya malzemeden kaynaklı değildir. Tutma basıncının yetersizliği ve süresinin az olmasından dolayı çökmelerde basınç ve süre artırılırsa çökmelerin önüne geçilebilir fakat bu durumun parçada kalıp içi basıncın artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Çarpılma hataları

Kalıbın yeterince soğumaması halinde üretilen malzeme kalıptan çıkartılırken çarpılmaya uğrayabilir. Yetersiz ve az süreli soğutma üretilen parçada çarpılma neden olmuştur. Üretilen plastik parçanın hammaddesinin çarpılma değerlerine göre soğutma derecesi ayarlanmalıdır.

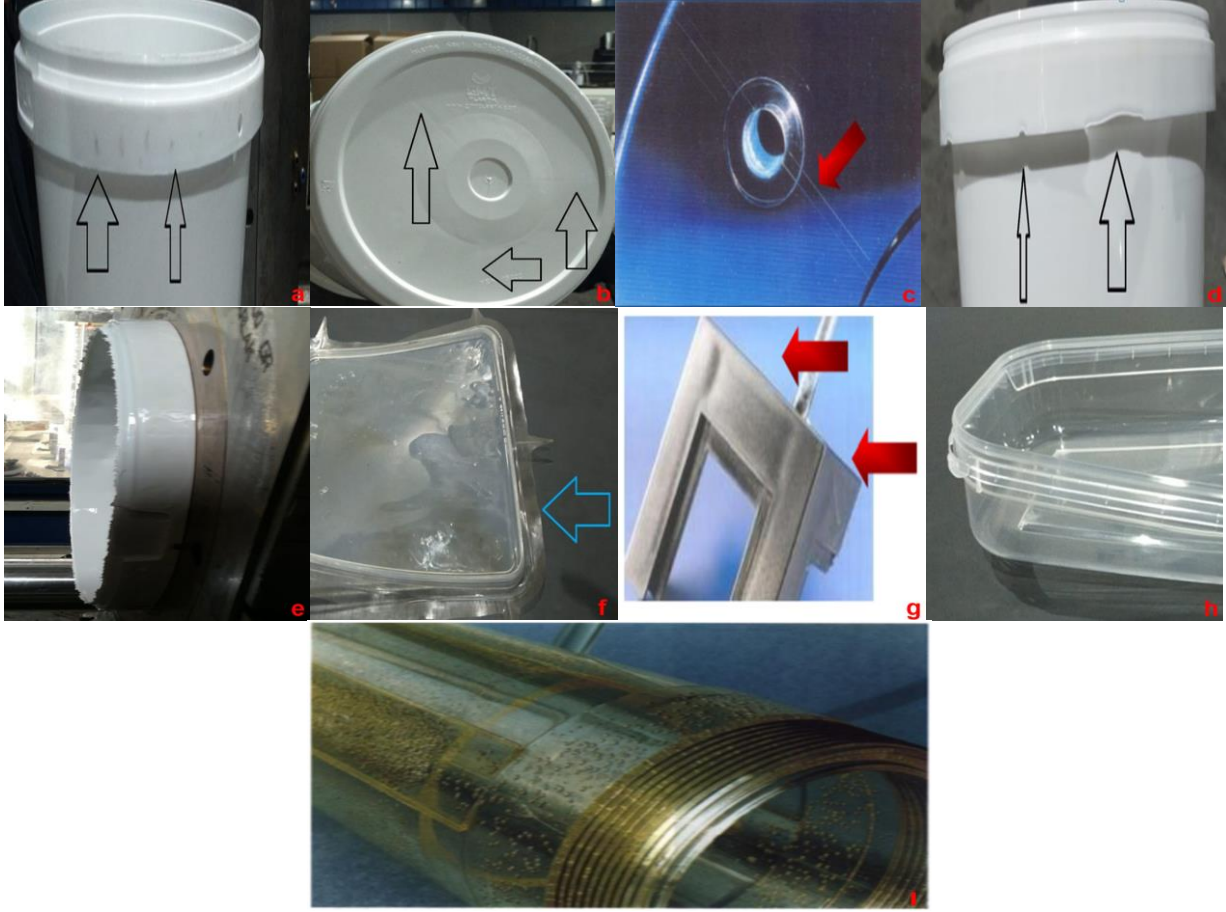
Ürünü tasarlarken farklı derinlik ve et kalınlıkları olursa, ince taraf kalın tarafa nazaran daha çabuk soğumaya başlar. Bu nedenle parça içinde iç gerilmelere neden olmaktadır. İç gerilmeler Şekil 6.h'de görüldüğü gibi çarpılmaya yol açmıştır. Çarpılma olmaması için ince bölümler desteklenir. Ayrıca yüksek enjeksiyon basıncının engellenmesi ve kalıp içi sıcaklığın artırılması çarpılmayı azaltmıştır.

Hızlı akış izi hataları

Enjeksiyondan çıkan erimiş plastik malzemenin akış hızının, olması gerekenden fazla olması durumunda kalıp içine yolluk girişinden fışkırdığı görülmüştür. Malzeme kalıp içinde düzensiz bir şekilde yayılır. Kendisinden sonra kalıbın içine gelen plastik erimiş malzeme ile heterojen bir yapı oluşturur. Bu hatanın oluşmaması için yolluk giriş konumlarının uygun tasarıma sahip olması gereklidir. Fan yolluk girişi kullanılması çözüm olacaktır.

Hava boşluğu oluşum hataları

Viskozitesi fazla olan erimiş plastik malzemenin kullanıldığı parçalarda kalıp içindeki boşluğa sıkışan gaz hacim kaplar ve boşluk oluşturur (Şekil 6.I). Kesit alanı kalın olan yerdeki çekme hareketi, tutma basıncından büyük olduğu için oluşan parçada hava boşlukları oluşmuştur. Boşluk oluşmasını engellemek için tutma basıncını artırabiliriz veya proses süresi uzun tutulmalıdır.



Şekil 6. a) Yanık izi oluşan parça b) Akış izi oluşan parça c) Soğuk birleşme izleri d) Eksik ürün e) Dişi kalıpta kalan ürün f) Çapaklı ürün g) Parça yüzeyindeki çöküntü h) Çarpılmış ürün I) Vakum boşluklu parça

SONUÇ

Yaptığımız çalışmalar sonucu plastik parça imalatında karşılaşılan sorunlar ve hatalar genellikle hammadde, parça tasarımı, makine ayarları, kalıp imalatı ve çalışma prosesi sonucunda meydana çıktığı gözlemlenmiştir. Bazı hataları fark etmek çözümleri hemen ulaşılabilmesinin aksine bazı hataların hangi nedenle meydana geldiğinin tespiti zaman alabilmektedir. En önemli unsur plastik enjeksiyon prosesi sırasında hatanın doğru tespit edilmesidir. Doğru tespit edilen hatalarda zamandan ve işçilikten kazanç elde edilmektedir. İmalat sırasında hangi hataların hangi parametreler ile çözülebileceği tespit edilerek belirlenmelidir. Eğer oluşan hatalar kalıptan kaynaklı ise, bu sorunların çözülmesi için zaman maliyeti verecektir. Kalıp tekrardan onarılarak yeni hal alarak deneme sürecinde geçirecektir. Bu nedenle parça tasarımı önemli etkidir. Parça tasarımı sırasında plastik

enjeksiyon analizi programı kullanarak oluşacak hatalar azaltılabilmektedir.

Plastik enjeksiyon prosesi parça tasarımı ile başlar. Tasarlanan parçaya kalıp tasarım yapılarak kalıp üretilir. Üretilen kalıp enjeksiyon makinesine bağlanır. Kalıp bağlandıktan sonra ise enjeksiyon makinesi kontrol ekranında makine ayarları yapılmaktadır. Enjeksiyon ayarlarından sonra proses devam ederek eriyik malzemeye meme yoluyla kalıba yön alarak istenilen parça elde edilmektedir. Plastik enjeksiyon prosesi ile seri ve hızlı üretim mümkündür. Genellikle enjeksiyon makineleri robotlar ile ortak çalışma sağlayarak güvenilir bir ürün elde ederek kalıp ve makinenin güvenliğini sağlamaktadır.

- Malzemede yanık oluşumu, kalıp içerisinde hava kalarak yüksek basınç etkisiyle reaksiyona girmesinden kaynaklı olup, itici pimlerle havayı çıkartmak gerekir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.915589

- Akış izi ve birleşme noktalarındaki hataları enjeksiyon hızını yükselterek gidere biliriz.
- Parça kalıpta kalıyorsa kalıbın çıkış açıları yada yüzey parlaklığı yeterli değil demektir.
- Kalıpların birleşme yerlerinde aşınma olması yada ürünün tam katılaşmadan kalıptan çıkarılması ürünün çapaklı, çarpılmış ve yüzeyinde çöküntülü çıkmasına neden olmaktadır.

Üretim esnasında oluşan sorunların geç fark etme durumunda ise büyük masraf ve zararlar mevcut olmaktadır. Proses ilk başladığı zaman hata olmayan makineler belli süre çalıştıktan sonra hatalar meydana gelebildiği görülmüştür. Bu nedenle proses işlemine başlamadan önce ayarlar yapılırken karşılaşılabileceğimiz hataları önlemek için dikkatli olunması ve prosesin takip edilmesi gerekmektedir.

Plastik enjeksiyon prosesi sırasında en verimli sonuç ile parça üretiminde en iyi kalitenin yakalanması için günümüzde mevcut olan plastik enjeksiyon analizi programlarının parça tasarımıyla başlayıp istenilen ürünün imalatına kadar geçen zamanda mantıklı bir şekilde kullanılarak güvenilir ve istenilen özellikte üretim sağlanabileceği görülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aisa, J. C., Javierre, J.A., Serna, D. (2006). An example of simulation tools use for large injection moulds design: The CONTENURTM 2400l solid waste container. *Journal of Materials Processing Technology*, 1759, 15–19.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.006>
- Çakır, Y., Özdemir, A. ve Gültaş, A. (2001). Plastik ürünlerde çekme miktarına etki eden enjeksiyon parametrelerinin incelenmesi, *Teknoloji Dergisi*, Sayı 1–2, 19–29.
- Ergüney, S., Karataş, Ç. ve Sarıtaş, S. (2005). Ticari plastiklerin kalıpta akış boylarının incelenmesi, *Gazi*

- Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, Cilt 20, No 3, 297–303.
- Ferreira, J.C, Mateus, A. (2003). Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding. *Journal of Material Processing Technology*, 142, 508–516.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00650-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00650-2)
- Fu, M.W., Fuh, J.Y.H., Nee, A.Y.C. (1999). Undercut feature recognition in an injection mould design system. *Computer-Aided Design*, 31, 777-790.
[https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(99\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(99)00070-6)
- Hui, K.C. (1997). Geometric aspects of the mouldability of parts. *Computer-Aided Design*, 29, 197-208.
[https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(96\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00064-4)
- Kahraman, G., Taşgın, Y. (2019). Hidroelektrik santrallerde generatör stator sargı arızaları ve çözüm yöntemleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*. (10), 641-646. 10.24012/dumf.451184
- Kitayama S, Miyakawa H, Takano M, Aiba S (2017) Multiobjective optimization of injection molding process parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel. *Int J Adv Manuf Technol* 88:1735–1744.
<https://doi.org/10.1007/s00170-016-8904-x>
- Kuo C, Dewantoro G, Huang C (2015) Optimization of injectionmolded light guide plate with microstructures by using reciprocal comparisons. *J Intell Manuf* 26:677–690. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0826-y>
- Li J, Laghari RA (2018) A review on machining and optimization of particle-reinforced metal matrix composites. *Int J Adv Manuf Technol*. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2837-5>
- Nardin, B., Kuzman, K., Kampus, Z. (2002). Injection moulding simulation results as an input to the injection moulding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131, 310-314.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00734-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00734-3)
- Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, I. (2007). Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Materials and Design*, 28, 1271–1278.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.12.013>
- Prasad, K.D.V, Y., Eric.C.W, C. (1999). A neural network system for prediction of process parameters in pressure die casting. *Journal of Material Processing Technology*, 89–90 (1999) 583–590.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00071-0)
- Sadeghi, B.H.M. (2000). A BP- neural network predictor model for plastic injection molding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 103, 411–416.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00498-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00498-2)
- Shelesh-Nezhad, K., Siores, E. (1997). An intelligent system for plastic injection molding process design.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.915589

- Journal of Materials Processing Technology, 63, 458–462.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(96\)02664-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(96)02664-7)
- Tang, L.Q., Chassapis, C., Manoochehri, S. (1997). Optimal cooling system design for multicavity injection molding. Finite Element in Analysis and Design, 26, 229-251.
[https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(96\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(96)00083-2)
- Tian M, Gong X, Yin L, Li H, Ming W, Zhang Z, Chen J (2017) Multi-objective optimization of injection molding process parameters in two stages for multiple quality characteristics and energy efficiency using Taguchi method and NSGA-II. Int J Adv Manuf Technol 89:241–254. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9065-7>
- Tsai K, Luo H (2017) An inverse model for injection molding of optical lens using artificial neural network coupled with genetic algorithm. J Intell Manuf 28:473–487. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0999-z>
- Uluer, O., Gültaş, A., Özdemir, A. (2005). Ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki gerçek akış davranışının gözlenmesi için kalıp tasarımı ve imalatı. Teknoloji, 8, 181-189.
- Zhao J, Cheng G, Ruan S, Li Z (2015) Multi-objective optimization design of injection molding process parameters based on the improved efficient global optimization algorithm and non-dominated sorting-based genetic algorithm. Int J Adv Manuf Technol 78:1813–1826. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6770-y>