



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Plastik enjeksiyon kalıplamada şekil uyumlu soğutma kanalları için soğutma sıvısı akış stratejilerinin karşılaştırılması

Comparison of coolant flow strategies for conformal cooling channels in plastic injection molding

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa GÖKTAŞ¹, Abdulmecit GÜLDAŞ²

ORCID¹: 0000-0001-8742-9114

ORCID²: 0000-0002-1865-2272

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Göktaş M., Gültaş A., “Plastik enjeksiyon kalıplamada şekil uyumlu soğutma kanalları için soğutma sıvısı akış stratejilerinin karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1249-1255, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.639637

Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları için Soğutma Sıvısı Akış Stratejilerinin Karşılaştırılması

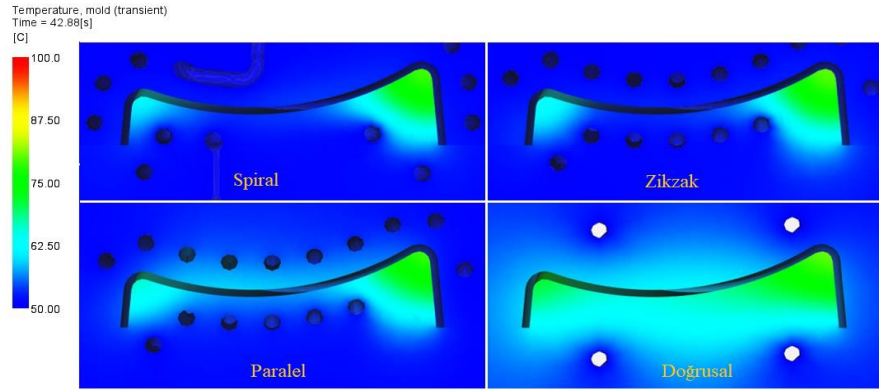
Comparison of Coolant Flow Strategies for Conformal Cooling Channels in Plastic Injection Molding

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ *Spiral, zikzak ve paralel akış stratejilerine sahip şekil uyumlu soğutma kanalları / Conformal cooling channels with spiral, zig-zag and parallel flow strategies*
- ❖ *Soğutma süresinin kısaltılması ve çarpılmaların azaltılması / Shortening the cooling time and reducing the warpage*

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplarında şekil uyumlu soğutma kanalı tasarımında kullanılan soğutma sıvısı akış stratejilerinin soğutma süresi ve çarpılma olan etkileri incelenmiştir. / In this study, the effects of the cooling fluid flow strategies used in the conformal cooling channel design in plastic injection molds on cooling time and distortion were investigated.



Şekil. 7. 43. saniyedeki kalıp sıcaklık dağılımları / Figure. 7. Mold temperature distributions at 43th second

Amaç (Aim)

Şekil uyumlu soğutma kanalları için en uygun akış stratejisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to determine the most appropriate flow strategy for conformal cooling channels.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı akış stratejilerine sahip soğutma kanalları öncelikle sayısal olarak analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır. / Cooling channels with different flow strategies were first analyzed numerically and the obtained results were experimentally verified.

Özgünlük (Originality)

Spiral, zikzak ve paralel şekiluyumlu kanalların kullanımı / Use of spiral, zig-zag and parallel conformal channels

Bulgular (Findings)

Doğrusal kanal yerine şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile soğutma süresi %51 ve çarpılma miktarı %25 seviyesine kadar düşüş sağlanmıştır. / With the using of conformal cooling channels instead of a linear channel, the cooling time has been reduced by 51% and the amount of warpage by 25%.

Sonuç (Conclusion)

En kısa çevrim süresi spiral formulu kanalda, en düşük çarpılma ise zikzak formulu kanalda elde edilmiştir. / The shortest cycle time was obtained with the spiral channel and the lowest distortion was obtained with the zigzag channel.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları için Soğutma Sıvısı Akış Stratejilerinin Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa GÖKTAŞ^{1*}, Abdulmecit GÜLDAŞ²

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 29.10.2019 ; Kabul/Accepted : 16.04.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 29.04.2021)

ÖZ

Plastik enjeksiyon kalıplamada üretim hızının artırılması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla daha etkin soğutmanın gerçekleştirilebilmesi için şekil uyumlu soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada sistematik bir tasarım metodu ile tasarlanmış spiral, zikzak ve paralel akış hatlarına sahip şekil uyumlu ve düz soğutma kanallarının plastik enjeksiyon kalıplarındaki soğutma etkinlikleri incelenmiştir. Bu amaçla sayısal olarak soğuma ve çarpılma analizleri yapılarak tasarlanan soğutma kanallarının çevrim süresine ve plastik parça üzerindeki çarpılmaya etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Doğrusal kanal yerine şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile soğutma süresi %51 ve çarpılma miktarı %25 seviyesine kadar düşüş sağlanmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanalları arasında en kısa çevrim süresi spiral formulu kanalda, en düşük çarpılma ise zikzak formulu kanalda elde edilmiştir. Spiral ve doğrusal formulu soğutma kanalına sahip plastik enjeksiyon kalıpları imal edilerek baskı denemeleri yapılmış ve elde edilen deneysel sonuçlar analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Şekil uyumlu soğutma kanalları, plastik parçalarda çarpılma, soğutma süresi.

Comparison of Coolant Flow Strategies for Conformal Cooling Channels in Plastic Injection Molding

ABSTRACT

In order to increase the production speed and improve product quality in plastic injection molding, more efficient cooling is required for conformal cooling channels. In this study, the cooling efficiency of the conformal channels with spiral, zigzag and parallel flow strategies designed by a systematic design method and straight cooling channels in plastic injection molds were investigated. For this purpose, numerical cooling and warp analyzes were performed and the effects of cooling channels on the cycle time and warpage on the plastic part were determined. With the use of a conformal cooling channels instead of a linear channel, the cooling time has been reduced by up to 51% and the amount of distortion up to 25%. The shortest cycle time was obtained in the spiral-shaped channel and the lowest warpage was obtained with the zigzag-shaped channel. Plastic injection molds with spiral and linear cooling channels were manufactured, production tests were made and the experimental results obtained were compared with the analysis results. It has been observed that the numerical and experimental results are compatible with each other.

Keywords: Conformal cooling channels, plastic part warping, cooling time.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Plastik malzemeleri ürün haline dönüştürmek için kullanılan en yaygın üretim yöntemlerinden birisi de plastik enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Bu yöntemde ergiyik haldeki plastik malzeme, üretilmek istenen ürün geometrisine uygun boşluğu bulunan, genellikle çelik malzemeden üretilmiş bir kalıp içerisine enjeksiyon yapılmaktadır. Kalıp içerisindeki ergiyik malzeme, üzerindeki ısıyı kalıba aktararak soğur ve katılaşır. Plastik malzeme sıcaklığının camsı geçiş sıcaklığının altına inmesiyle geometrisini koruyabilecek sertliğe ulaşır ve kalıp açılarak ürün dışarıya çıkarılır. Bu üretim yöntemindeki en kritik safhalardan birisi soğutma işlemidir. Toplam üretim süresindeki en büyük pay

soğutma süresine aittir [1]. Bu nedenle soğutma süresi üretim hızını belirleyen en önemli parametredir.

Soğutma işleminin kısa olmasının yanında soğutma sisteminden beklenen bir diğer özellik ise eş sıcaklık dağılımıdır. Yani soğutma işlemi gerçekleştirilirken eriyik malzemenin tüm bölgelerinin eşit hızda soğuması ve katılaşması istenir. Aksi takdirde plastik parça üzerinde çarpılma ve kalıntı gerilmeler oluşacağından ürün kalitesi olumsuz yönde etkilenecektir [2]. Plastik enjeksiyon kalıplamada istenilen ürün kalitesinin sağlanabilmesi için düzgün bir sıcaklık dağılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Verimli ve etkin bir soğutma sisteminden hem hızlı soğutması hem de eş sıcaklık dağılımı sağlanması beklenmektedir [3-5].

Plastik enjeksiyon kalıplarının soğutulmasında geleneksel olarak kullanılan soğutma yöntemi, plastik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mustafagoktas@gazi.edu.tr

enjeksiyon kalıbının matkapla delinmesiyle elde edilen soğutma kanallarından soğuk su geçirilmesi ile gerçekleştirilen soğutma işlemidir [6, 7]. Silindirik ve doğrusal olan bu kanallar kalıp boşluğuna yakın olan bölgelerden geçmektedir. Düzlemsel yüzeylere sahip kalıp boşluğunu düzgün bir şekilde takip edebilirken eğimli yüzeylerden oluşan kalıp boşluklarına olan uzaklık bazı bölgelerde azalırken diğer bölgelerde artmaktadır [8, 9]. Bunu sonucunda eş sıcaklık dağılımını elde etmek güçleşmekte ve ürün kalitesi düşmektedir. Belirtilen bu sorunun çözümü için şekil uyumlu soğutma kanalları kullanılmaktadır [10-13]. Şekil uyumlu soğutma kanalları plastik parçanın geometrisine uygun olarak tasarlanırlar ve kalıp boşluğunu belirli bir mesafe uzaklıkta düzgün bir şekilde takip ederler. Şekil uyumlu soğutma kanallarının tercihinde ise doğrusal olmayan bu kanalların kalıp bloğu içerisinde nasıl oluşturulacağı problemi ön plana çıkmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanallarının nasıl tasarlanacağı ve bu kanalların kalıp üzerinde nasıl oluşturulacağı konusu üzerinde araştırmaların devam ettiği güncel bir konudur [14-17].

Şekil uyumlu soğutma kanallarının kalıp bloğu içerisinde oluşturulması için farklı yöntemler denenmiştir. Bunu için yapılan bir çalışmada kalıp plakasının arka yüzeyi frezeleme işlemiyle şekil uyumlu kanalların iş parçası formuna uygun bir şekilde boşaltılarak elde edilmeye çalışılmıştır [18-21]. Bu sayede soğutma kanallarının kalıp boşluğunu sabit uzaklıkta takip etmesi sağlanmıştır.

Yapılan bir başka çalışmada şekil uyumlu soğutma kanallarının katmanlı üretim yöntemi ile üretilebilirliği araştırılmıştır [22]. Kalıp plakası katmanlara bölünerek ayrı plakalar halinde üretilmiş ve sert lehimleme ile birleştirilmiştir [23-26].

Bir diğer yöntemde metal biriktirme ile şekil uyumlu soğutma kanalına sahip plastik enjeksiyon kalıbı imal edilmiştir [27]. Çok hassas olmayan bu yöntem ile daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmeye çalışılmıştır.

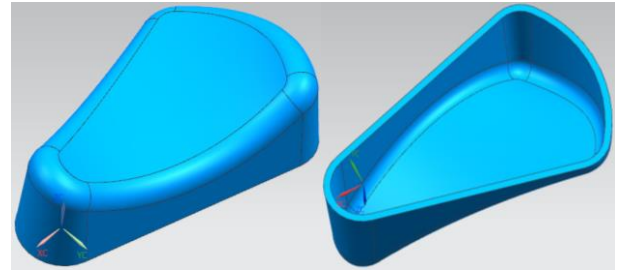
Metal lazer sinterleme teknolojileri sayesinde şekil uyumlu soğutma kanalları bulunan plastik enjeksiyon kalıplarının üretimi mümkün hale gelmiştir. Gittikçe yaygınlaşan bu yöntem soğutma kanallarının tasarımında tasarımcının elini kolaylaştırmaktadır [28]. Bununla beraber metal lazer sinterleme yöntemi ile üretilen malzeme gözenekli bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı plastik enjeksiyon kalıpları için beklenen mekanik özellikler tam olarak karşılanamamaktadır. Gözenekli yapının ortaya çıkardığı diğer bir olumsuzluk ise ısıl iletkenliğin düşük oluşudur. Gözeneklerin ısıl iletkenliği düşük olan hava ile dolu olması kalıp üzerindeki ısı transferini güçleştirmektedir. Gittikçe ucuzlayan metal lazer sinterleme yöntemi ile ilgili malzeme iyileştirme çalışmaları yoğun bir şekilde devam etmekle beraber henüz kalıp üretimi için tatmin edici seviyede değildir [29,30].

Şekil uyumlu soğutma kanallarının üretilebilirliğine yönelik üretim yöntemleri sürekli gelişmektedir. Ancak şekil uyumlu soğutma kanallarının tam olarak nasıl tasarlanacağı netlik kazanmamıştır. Mevcut durumda

şekil uyumlu soğutma kanallarının tasarımı tasarımcıların tecrübeleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu konuyla ilgili yaptığımız önceki çalışmalarımızda şekil uyumlu soğutma kanallarının tasarımına yönelik sistematik bir tasarım metodu geliştirilmiştir [31, 32]. Ayrıca spiral formda şekil uyumlu soğutma kanalı bulunan plastik enjeksiyon kalıbı üretilerek soğutma verimliliği deneysel olarak incelenmiştir [33]. Bu çalışmada ise soğutma suyunun akış stratejisinin soğutma verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla zikzak, spiral ve paralel akış stratejilerine sahip şekil uyumlu soğutma kanalları tasarlanmıştır. Tasarlanan kanallar kullanılarak yapılan sayısal analizlerle hem soğutma süresi hem de plastik parça üzerindeki çarpılma miktarı üzerindeki değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Sayısal sonuçların doğrulanabilmesi için ayrıca deneysel bir çalışma yapılmıştır. Tasarlanan kanal tiplerinden sadece spiral ve doğrusal kanallara sahip plastik enjeksiyon kalıpları imal edilerek baskı denemeleri yapılmıştır. Böylece kalıp tasarımcıları için soğutma kanalı tasarımında tercih edilecek akış stratejisi hakkında bir ön fikir sunulmuştur.

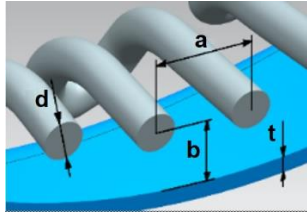
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

Sayısal analiz çalışması için dış hatlarını düz soğutma kanallarının uyumlu bir şekilde takip edemeyeceği, eğimli yüzeylerden oluşan bir plastik parçanın Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yazılımı ile tasarımı yapılmıştır (Şekil 1). Plastik parçanın boyutları 151 mm × 96 mm × 42 mm'dir. Et kalınlığı her yerde sabit 3,5 mm'dir. Plastik parçanın yan yüzeylerine 5°'lik eğim açısı verilmiştir. Plastik parça için ABS (Akrilonitril Butadien Stiren) malzemesi seçilmiştir.



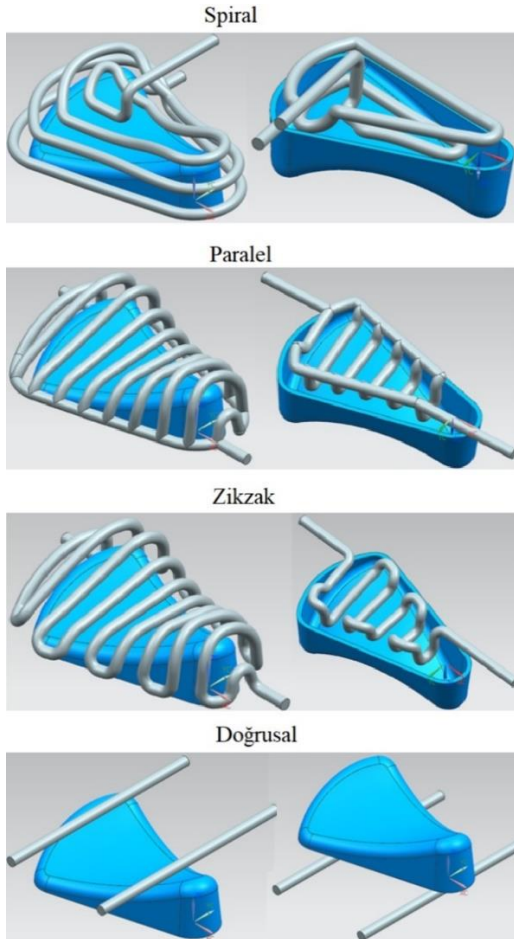
Şekil 1. Tasarlanan plastik parçanın 3B görünümü (The 3D view of designed plastic part)

Soğutma kanalları boyutları plastik parçanın et kalınlığına bağlı olarak belirlenmiştir [30]. $t=3,5$ mm et kalınlığı için kanal çapı $d=8$ mm, kanalların merkezleri arasındaki mesafe $a=20$ mm ve kanal merkezi ile kalıp yüzeyi arasındaki mesafe $b=12$ mm olacak şekilde kanal tasarımı yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Soğutma kanalı kesiti ve boyutlarının şematik görünümü (The schematic view of cooling channel section and dimensions)

Şekil uyumlu soğutma kanalları tasarlanırken kanallar arasındaki mesafe ve kanal kalıp yüzeyi arasındaki mesafenin sabit tutulduğu sistematik bir tasarım yöntemi kullanılmıştır [31]. Ofset yüzeyleri ve arakesit eğrilerinin kullanıldığı bu yöntem ile spiral, zikzak ve paralel soğutma kanalları tasarlanmıştır (Şekil 3). Ayrıca kıyaslama amacıyla geleneksel soğutma yönteminde kullanılan doğrusal soğutma kanallarının da tasarımı yapılmıştır.



Şekil 3. Farklı akış stratejileri ile tasarlanmış soğutma kanalı türleri (The cooling channel types that designed with different flow strategies)

Sayısal analizler Moldflow yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Dolum, ütüleme, çarpılma ve soğuma

analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Malzemelerin fiziksel özellikleri (Physical specifications of materials)

Malzeme	Yoğunluk Kg/m ³	Özgül Isı J/Kg-K	Isıl İletkenlik W/m K
Çelik (Kalıp)	7800	460	29
ABS (Plastik)	1054	2400	0,18
Su (Soğutma sıvısı)	998	4180	0,643

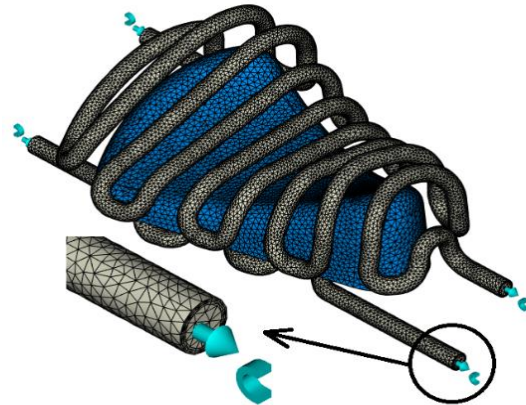
Sayısal analizlerde kullanılan sınır koşulları Tablo 2’de gösterilmiştir. Ergiyik haldeki plastik malzeme, kendi şeklini koruyabileceği çıkarma sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Plastik malzemenin tüm bölgelerinde çıkarma sıcaklığına eriştiği süre soğutma süresi olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Sınır koşulları (Boundary conditions)

Enjeksiyon sıcaklığı	240 °C
Çıkarma sıcaklığı	90 °C
Kalıp sıcaklığı	60 °C
Soğutma suyu sıcaklığı	50 °C
Soğutma suyu debisi	3 lt/dk
Kalıp açık kalma süresi	5 s

Yapılan analiz sonuçlarında soğuma süresi, çevrim süresi ve plastik parça üzerindeki çarpılma miktarlarına bakılmıştır. Her bir kanal türü için soğuma süresi ayrı ayrı belirlenmiştir. Tüm kanal türlerinin sayılabacağı sıcaklık dağılımına göre oluşacak çarpılma miktarları da ayrı ayrı belirlenmiştir.

Sayısal analizde kullanılan mesh yapısı Şekil 4’te gösterilmektedir. Plastik parça için 200545 adet eleman kullanılırken kanal türleri için kullanılan eleman sayısı 450000-850000 aralığında, kalıp için kullanılan eleman sayısı ise 660000-760000 aralığındadır.

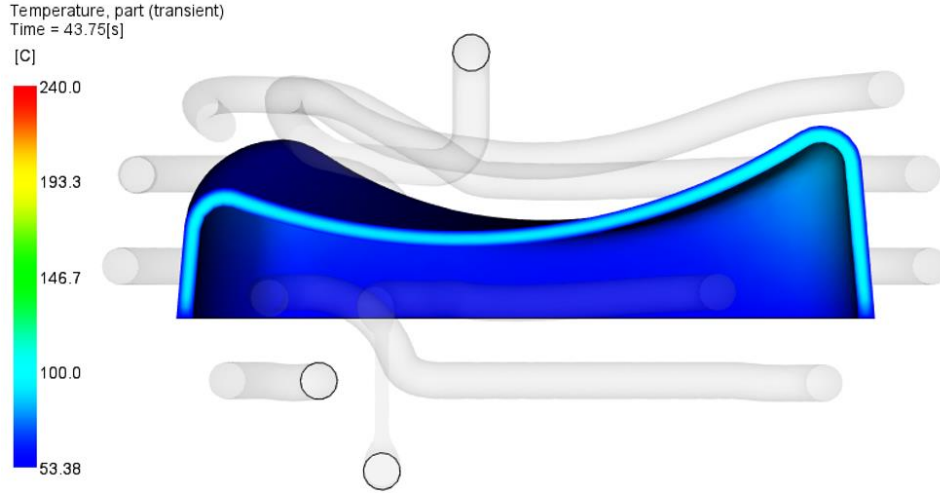


Şekil 4. Sayısal analizlerde kullanılan sayısal ağ yapısı (Mesh structure used in numerical analysis)

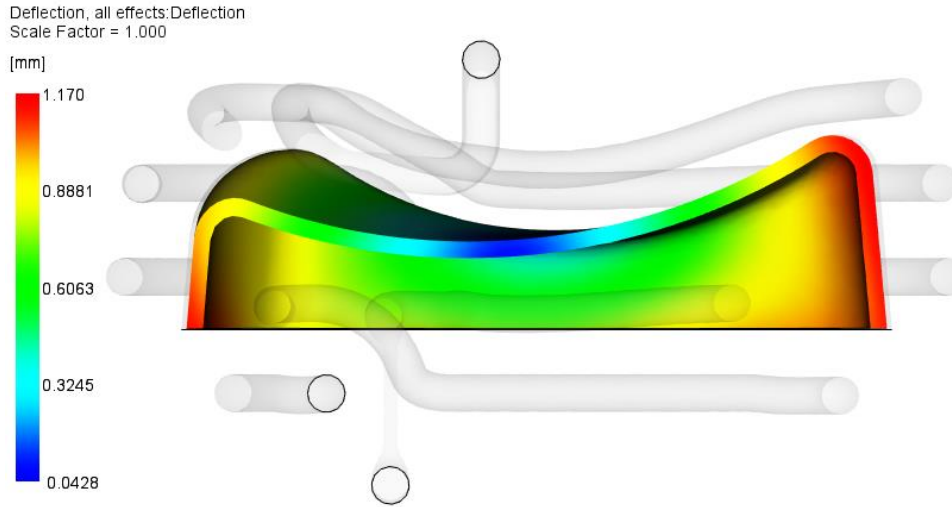
3. BULGULAR (RESULTS)

Yapılan sayısal analizler sonucunda farklı akış stratejilerine sahip soğutma kanalları ile gerçekleştirilen soğutma süreleri ve sonucunda nasıl bir sıcaklık dağılımı elde edileceği belirlenmiştir. Şekil 5'te Şekil uyumlu

spiral soğutma kanalı ile 43,75 s sonundaki sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Plastik parçanın tüm bölgelerinde sıcaklık 90 °C'nin altına inmiştir. Şekil uyumlu spiral kanal ile soğutma işleminden sonra plastik parça üzerinde oluşan çarpılma miktarı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Şekil uyumlu spiral soğutma kanalı ile elde edilen sıcaklık dağılımı (Temperature distribution obtained by conformal spiral cooling channel)



Şekil 6. Şekil uyumlu spiral soğutma kanalı kullanımı ile oluşan çarpılma (Warpage caused by the use of conformal spiral cooling channel)

Tüm kanal türleri için yapılan analizlerin ve deneylerin sonucunda belirlenen soğutma ve çevrim süreleri ile çarpılma miktarları Tablo 3'te gösterilmiştir. Analiz sonuçları arasında en kısa soğutma süresi (43,75 s) spiral kanal kullanımı ile elde edilirken en düşük çarpılma miktarı (1,13 mm) ise zikzak formulu kanal ile elde edilmiştir. En uzun soğutma süresi (94,34 s) ve en yüksek çarpılma (1,55 mm) doğrusal soğutma kanalı kullanımında belirlenmiştir. Deneme baskılarında doğrusal ve spiral kanallarla elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında şekil uyumlu kanal kullanımı ile çevrim ve soğutma süreleri önemli ölçüde kısalmıştır. Çevrim süresinde yaklaşık %16 oranında kısalma

sağlanırken soğutma süresinde yaklaşık olarak %22 oranında bir kısalma söz konusudur.

Çizelge 3. Soğutma, çevrim süreleri ve çarpılma miktarları (Cooling, cycle times and warpages)

Soğutma Kanalı	Soğutma Süresi, s	Çevrim Süresi	Çarpılma Miktarı, mm
Doğrusal	94,34	99,34	1,55
Spiral	43,75	48,75	1,17
Zikzak	44,31	49,31	1,13
Paralel	50,67	55,67	1,19
Doğrusal (deneysel)	32	44	1,24
Spiral (deneysel)	25	37	1,16

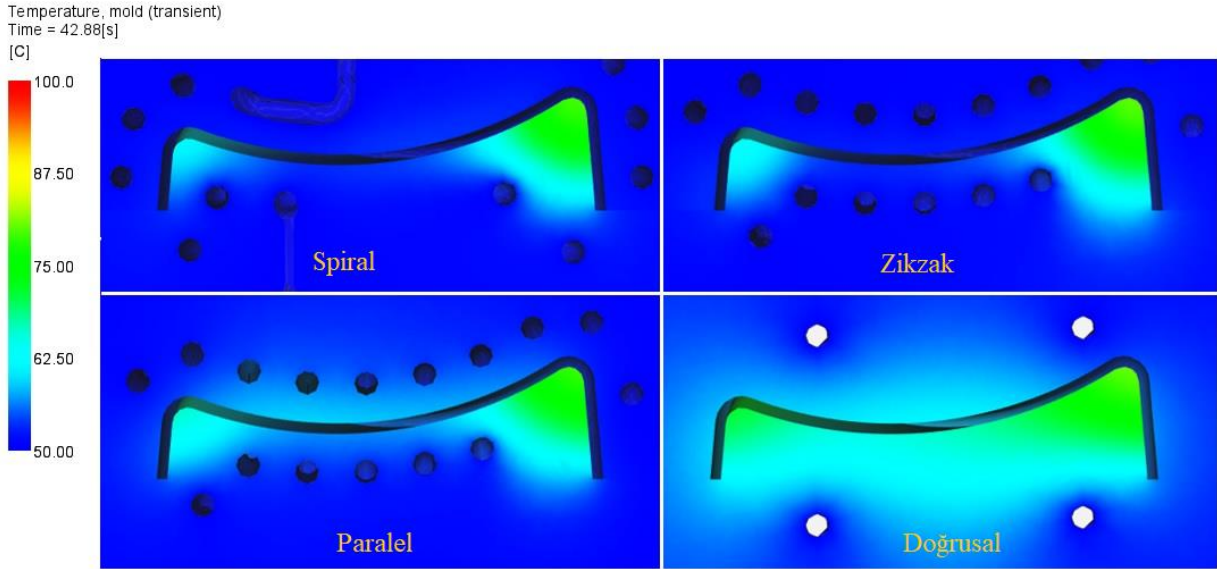
Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirleri ile uyumluluk göstermekle beraber her iki sonuçta da şekil uyumlu soğutma kanalları doğrusal kanallardan daha etkin bir soğutma sağlamıştır. Ayrıca soğutma analizlerinde elde edilen çarpılma sonuçları da deneysel sonuçlarla uyumludur. Analiz sonuçlarında olduğu gibi deneysel sonuçlarda da şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile plastik parça üzerindeki çarpılma miktarı azalmıştır.

Şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanım amacı plastik enjeksiyon kalıplama işleminin daha etkili bir soğutma yapılarak üretim hızının artırılmasıdır. Bunun yanında ürün kalitesinin olumsuz etkilenmemesi de beklenmektedir. Yapılan çalışma sonunda elde edilen değerler şekil uyumlu kanalların soğutma verimini iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca üretilen plastik parça üzerindeki çarpılmaların da azalması sağlanmış ve ürün kalitesi iyileştirilmiştir. Şekil uyumlu kanal tasarımında kanalların kalıp boşluğu çevresinde hangi akış stratejisi ile dolaştığında soğutma ve çarpılma üzerinde nasıl bir

etkinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Spiral, zikzak ve paralel akış stratejileri birbirleri ile karşılaştırılmış ve kalıp tasarımcıları için ön fikir niteliğinde öneri sağlanmıştır.

Tüm kanal türleri için 43. saniyedeki kalıp sıcaklık dağılımları Şekil 7’de gösterildiği gibidir. Şekil uyumlu kanal kullanımı ile daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu da kalıp boşluğu içerisindeki ergiyik plastiğin tüm bölgelerde eşit bir hızda soğumasını sağlayacaktır. Eş soğuma hızı, plastik parça üzerinde oluşabilecek çarpılma ve kalıntı gerilmelerin oluşumunun önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Soğutma kanallarının yaşanmadığı, iç bükey, dar bölgeler ortalamaya göre daha yüksek sıcaklığa sahiptir. Kanal ve yüzey arası mesafenin sabit olarak korunması nedeniyle kanallar köşe bölgelere yeterince yaklaşmamış ve bu bölgelerdeki ısı transferi daha düşük seviyede kalmıştır.



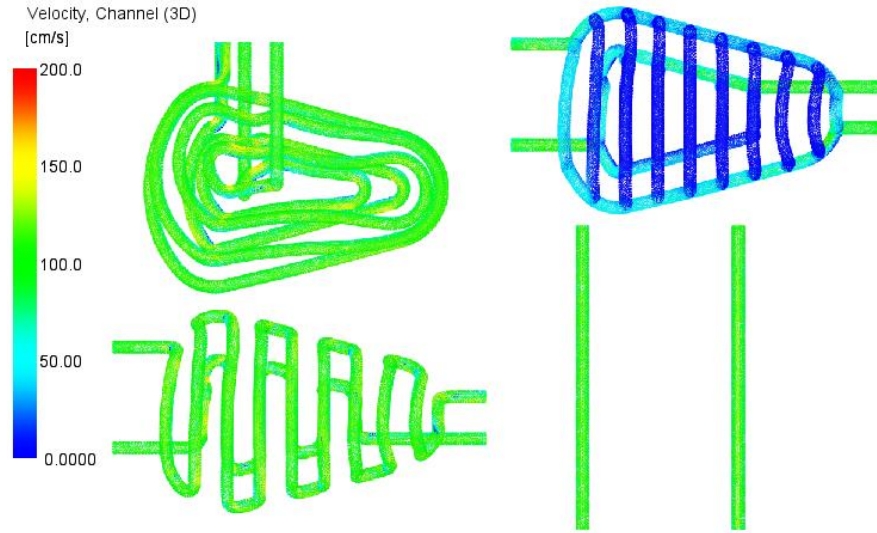
Şekil 7. 43. saniyedeki kalıp sıcaklık dağılımları (Mold temperature distributions at 43th second)

YYYElde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla da paralellik göstermektedir. Beklendiği gibi şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanımıyla soğutma ve beraberinde çevrim süreleri kısalmış ve çarpılma miktarlarında düşüş sağlanmıştır [35-38].

Soğutma kanalı içinden geçen soğutma sıvısının hız dağılımları Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil uyumlu paralel kanalda akış kollara ayrıldığından akış hızı önemli ölçüde düşmüştür. Akış hızının düşmesiyle kanal içindeki akışkanın ısı soğurma kabiliyeti azaldığı için soğutma hızı da azalmıştır. Kullanılan akış stratejisi kanal içindeki soğutma akış hızının kontrol edilebilirliğini de etkilemektedir. Akış hızının tüm bölgelerde eşit olması, kalıp üzerinde eş sıcaklık dağılımının sağlanabilmesi için önemlidir.

4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma verimliliğini artırmak için kullanılan spiral, zikzak ve paralel akış stratejilerine göre tasarlanmış soğut kanallarının soğutma performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca doğrusal soğutma kanalı için de bir kıyaslama yapılmıştır. Dört farklı akış stratejine göre hazırlanan modeller kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda soğuma süreleri ve plastik parça üzerindeki çarpılma miktarları belirlenmiştir. Spiral ve doğrusal soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıpları üretilerek deneme baskıları yapılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları ile deney sonuçları uyumlu olmakla beraber şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile beraber soğutma süresi kısalırken çarpılma miktarları da azalmıştır.



Şekil 8. Soğutma suyu üzerindeki hız dağılımları (Velocity distributions on coolant)

Şekil uyumlu kanallarla gerçekleştirilen analizlerde soğutma süresi doğrusal kanala göre önemli ölçüde kısalmıştır. Soğutma süresi, doğrusal kanala göre spiral kanal kullanımı ile %51 oranında, zikzak kanal kullanımı ile %50 oranında ve paralel kanal kullanımı ile %44 oranında kısalmıştır. Deneysel soğutma sonuçlarına göre spiral soğutma kanalı sayesinde çevrim süresi %16 oranında kısalmıştır. Çarpılma miktarları ise doğrusal kanala göre spiral kanal kullanımı ile %25, zikzak kanal kullanımı ile %27 ve paralel kanal kullanımı ile %23 oranında azalmıştır. Deneysel çarpılma sonuçlarda ise spiral soğutma kanalı doğrusal kanaldan %6 oranında düşüş sağlamıştır. Üretim hızının artırılması yönünden spiral kanal, ürün kalitesinin iyileştirilmesi yönünden ise zikzak soğutma kanalı daha iyi sonuçlar vermiştir. Paralel akış stratejisi ile üretilen soğutma kanalında akış birden fazla kola ayrıldığı için kanal içindeki soğutucunun hız dağılımı kontrol edilememektedir. Bu nedenle paralel kanalın soğutma verimliliği düşmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırmaya sağladığı destekten dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne (BAP) teşekkür ederiz. (Proje Numarası: 07/2018-08).

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mustafa GÖKTAŞ: Tasarım, sayısal hesapama ve deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Perofrmed the design, numerical computations and experiments and analyse the results. Wrote the manuscript.

Abdulmecit GÜLDAŞ: Tasarım, sayısal hesapama ve deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Perofrmed the design, numerical computations and experiments and analyse the results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Qiao H., "A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding", *International journal of mechanical sciences*, 48(4): 430-439, (2006).
- [2] Hassan H., Regnier N., Lebot C., Pujos C. and Defaye G., "Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding", *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9): 1786-1791, (2009).
- [3] Dimla D. E., Camilotto M. and Miani. F., "Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 164: 1294-1300, (2005).
- [4] Yadegari M., Masoumi H. and Gheisari M., "Optimization of cooling channels in plastic injection molding", *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(8): 5777-5780, (2016).
- [5] Zhou H. and Li D., "Mold cooling simulation of the pressing process in TV panel production", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13(3): 273-285, (2005).
- [6] Wang G. L., Zhao G. Q. and Wang X. X., "Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding", *Materials & Design*, 59: 310-322, (2014).
- [7] Li C. G., Li C. L., Liu Y. and Huang Y., "A new C-space method to automate the layout design of injection mould cooling system", *Computer-Aided Design*, 44(9): 811-823, (2012).
- [8] Kovács J. G. and Sikló B., "Investigation of cooling effect at corners in injection molding", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(10): 1330-1334, (2011).

- [9] Altaf K., Raghavan V. R. and Rani A. M. A., "Comparative thermal analysis of circular and profiled cooling channels for injection mold tools", *Journal of Applied Sciences*, 11(11): 2068-2071, (2011).
- [10] Saifullah A. B. M., Masood S. H. and Sbarski I., "New cooling channel design for injection moulding", *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1:1-4, (2009).
- [11] Khan M., Afaq S. K., Khan N. U. and Ahmad S., "Cycle time reduction in injection molding process by selection of robust cooling channel design", *ISRN Mechanical Engineering*, 2014:1-8, (2014).
- [12] Kitayama S., Tamada K., Takano M. and Aiba S., "Numerical and experimental investigation on process parameters optimization in plastic injection molding for weldlines reduction and clamping force minimization", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(5-8): 2087-2098, (2018).
- [13] Lu C. T., Chen C. H. and Tseng S. C., "Application of conformal cooling to reduce cooling time and warpage of a U-shaped plate", *AIP Conference Proceedings*, 2065(1): 030007, (2019).
- [14] Singraur, Deepika S., Bhushan T. Patil and Vasim A. Shaikh. "Defect Minimization of an Injection Molded Plastic Component Using Conformal Cooling Channels", *Materials Science Forum, Trans Tech Publications Ltd*, Vol. 1019: 205-210, (2021).
- [15] Marin, F., de Souza, A. F., Ahrens, C. H. and de Lacalle, L. N. L., "A new hybrid process combining machining and selective laser melting to manufacture an advanced concept of conformal cooling channels for plastic injection molds", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16, (2021).
- [16] Purav, Advait C., Deepika S. Singraur, and D. S. S. Sudhakar. "Investigations into performance of conventional and conformal cooling channels of a plastic injection mold", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing*, 1070:1, 012122, (2021).
- [17] Kuo, Chil-Chyuan, and Jia-Qi Wu. "Development of a low-cost epoxy resin mold with high cooling efficiency", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-22, (2021).
- [18] Rahim S. Z. A., Sharif S., Zain A. M., Nasir S. M. and Mohd Saad R., "Improving the quality and productivity of molded parts with a new design of conformal cooling channels for the injection molding process", *Advances in polymer technology*, 35(1): 21524, (2016).
- [19] Dang X. P. and Park H. S., "Design of U-shape milled groove conformal cooling channels for plastic injection mold", *International Journal of precision engineering and manufacturing*, 12(1): 73-84, (2011).
- [20] Ferreira J. C. and Mateus A., "Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding", *Journal of Materials Processing Technology*, 142(2): 508-516, (2003).
- [21] Sun Y. F., Lee K. S. and Nee A. Y. C., "Design and FEM analysis of the milled groove insert method for cooling of plastic injection moulds", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(9-10): 715-726, (2004).
- [22] Ahari H., Khajepour A. and Bedi S., "Laminated injection mould with conformal cooling channels: optimization, fabrication and testing", *Journal of Machinery Manufacturing and Automation*, 2(2): 16-24, (2013).
- [23] Bryden B. G. and Pashby I. R., "Hot platen brazing to produce laminated steel tooling", *Journal of Materials Processing Technology*, 110(2): 206-210, (2001).
- [24] Esmati K., Omidvar H., Jelokhani J. and Naderi M., "Study on the microstructure and mechanical properties of diffusion brazing joint of C17200 Copper Beryllium alloy", *Materials & Design*, 53: 766-773, (2014).
- [25] Bryden B. G., Pashby I. R., Wimpenny D. I. and Adams C., "Laminated steel tooling in the aerospace industry", *Materials & Design*, 21(4): 403-408, (2000).
- [26] Yoo S. and Walczyk D. F., "A preliminary study of sealing and heat transfer performance of conformal channels and cooling fins in laminated tooling", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129(2): 388-399, (2007).
- [27] Eiamsa-Ard K. and Wannissorn K., "Conformal bubbler cooling for molds by metal deposition process", *Computer-Aided Design*, 69: 126-133, (2015).
- [28] Shinde M. S. and Ashtankar K. M., "Additive manufacturing-assisted conformal cooling channels in mold manufacturing processes", *Adv. Mech. Eng.*, 9(5): 1687814017699764, (2017).
- [29] Åsberg M., Fredriksson G., Hatami S., Fredriksson W. and Krakhmalev P., "Influence of post treatment on microstructure, porosity and mechanical properties of additive manufactured H13 tool steel", *Materials Science and Engineering: A*, 742: 584-589, (2019).
- [30] Jahan S. A., Wu T., Zhang Y., Zhang J., Tovar A. and Elmounayri H., "Thermo-mechanical design optimization of conformal cooling channels using design of experiments approach", *Procedia Manufacturing*, 10: 898-911, (2017).
- [31] Gökteş M., Güldeş A. and Bayraktar Ö., "Cooling of plastic injection moulds using design adaptive cooling canals", *International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016)*, Sarajevo, 1987-1993, (2016).
- [32] Güldeş A. and Gökteş M., "Comparison of straight, spiral conformal and zig-zag conformal cooling channels in plastic injection molds", *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019)*, Ankara, 4(1): 395-399, (2019).
- [33] Güldeş A. and Gökteş M., "Production of Plastic Injection Molds with Conformal Cooling Channels by Laminated Brazing Method", *Gazi University Journal of Science*, 33(3): 780-789, (2020).
- [34] Jahan S. A. and El-Mounayri H., "Optimal conformal cooling channels in 3D printed dies for plastic injection molding", *Procedia Manufacturing*, 5: 888-900, (2016).
- [35] Wang, Y., Yu, K.-M., and Wang, C.C., "Spiral and conformal cooling in plastic injection molding", *Computer-Aided Design*, 63: 1-11, (2015).
- [36] Park, H. S., Dang, X. P., Nguyen, D. S. and Kumar, S., "Design of advanced injection mold to increase cooling efficiency", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 7(2): 319-328, (2020).
- [37] Marin, F., de Miranda, J.R. and Souza, A.F., "Study of the design of cooling channels for polymers injection molds", *Polymer Engineering & Science*, 58(4): 552-559, (2018).
- [38] Chung, C.-Y., "Integrated optimum layout of conformal cooling channels and optimal injection molding process parameters for optical lenses", *Applied Sciences*, 9(20): 4341, (2019).