

# Plastik Enjeksiyon Kalıpları İçin Bilgisayar Destekli Soğutma Sistemi Tasarımı

## Computer Aided Design of The Cooling System for Plastic Injection Molds

Hakan GÜRÜN<sup>a</sup>, Ahmet ÖZDEMİR<sup>a,\*</sup> ve Tunahan ACAR<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara

<sup>b</sup> Sapanca Çok Programlı Lisesi, Makine Bölümü, 54600, Sakarya

Geliş Tarihi/Received : 28.10.2008, Kabul Tarihi/Accepted : 24.02.2009

### ÖZET

Plastik enjeksiyon kalıplarının ve soğutma sisteminin tasarımı, hem ürünün boyut, biçim ve kalitesini, hem de çevrim zamanını ve kalıbın maliyetini doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplarının ve soğutma sisteminin katı model olarak tasarımı, mümkün olduğu kadar kullanıcı etkileşiminden uzak olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan program, kalıp çekirdeklerinin üç farklı tipte soğutma sistemine, farklı göz yerleşimlerine ve parça sayılarına bağlı olarak tasarımının yapılmasına izin vermektedir. Program akışında, AutoCAD 2007 paket programının yanında Visual LISP ve VBA (Visual BASIC for Application) dilleri de kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yürütülen deneysel uygulamaları ile plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında hız, esneklik ve tasarım güvenilirliğinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler :** *Bilgisayar destekli tasarım, Enjeksiyon kalıbı tasarımı, Soğutma sistemi tasarımı.*

### ABSTRACT

The design of plastic injection molds and their cooling systems affect both the dimension, the shape, the quality of a plastic part and the cycle time of process and the cost of mold. In this study, the solid model design of a plastic injection mold and the design of cooling system were possibly carried out without the designer interaction. Developed program permitted the use of three types of the cooling system and the different cavity orientations and the multiple plastic part placement into the mold cores. The program which was developed by using Visual LISP language and the VBA (Visual BASIC for Application) modules, was applied in the AutoCAD software domain. Trial studies were presented that the solid model design of plastic injection molds and the cooling systems increased the reliability, the flexibility and the speed of the design.

**Keywords :** *Computer aided design, Injection mold design, Design of cooling system.*

### 1. 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 gerek-

mektedir. Son yıllarda bilgisayar destekli sistemler, imalatın, özellikle tasarım aşamasında büyük zorluklarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Kalıp tasarımının ve imalatının uzun süreler alması, bu alanda bir çok çalışma yapılmasına da neden olmuştur. Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında, parça üzerinde bulunan unsurlar, kalıp maliyetini ve yapısını etkilemektedir. Fu ve arkadaşları (1999), plastik parçaların üzerindeki unsurları tanımlayarak parçaların kalıplanabilirliğini belirlemeye yönelik bir çalışma-

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address: ahmetoz@gazi.edu.tr (A. Özdemir)

lar yapmışlardır. Hui (1997), parçaların kalıplanabilirliğini belirlemek için geometrik bir yaklaşım sistemi geliştirmiştir. Plastik enjeksiyon kalıplarında, plastik malzemenin kalıp içerisinde akışının modellenmesi ve simülasyonu için de birçok çalışma yapılmıştır (Nardin v.d., 2002; Aisa v.d., 2006). Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı, kalıp maliyetini artırmakta ve önemli ölçüde zaman kayıplarına neden olmaktadır. Kalıp tasarımlarının bilgisayar destekli olarak oluşturulması bir zorunluluk haline gelmiştir (Kong v.d., 2003; Priyadarshi v.d., 2004). Tasarım için bilgisayar kullanımının en büyük yararı, analiz ve yeniden tasarım aşamalarında çok büyük zaman tasarrufu sağlamasıdır. Analiz sonuçlarına göre, tasarım geri çağrılabilir ve değiştirilebilir. Çok sayıda tekrar, daha önce uygulanabilir olmadığı halde, bilgisayarla uygulanabilir hale gelmiştir. Bu sayede, daha az maliyetle daha iyi tasarım elde edilebilmektedir (Lou v.d., 2004).

Enjeksiyonla üretimde temel prensip, sıcak plastiği kalıp içerisine basınçla gönderip ergiyiğin 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 v.d., 2005).

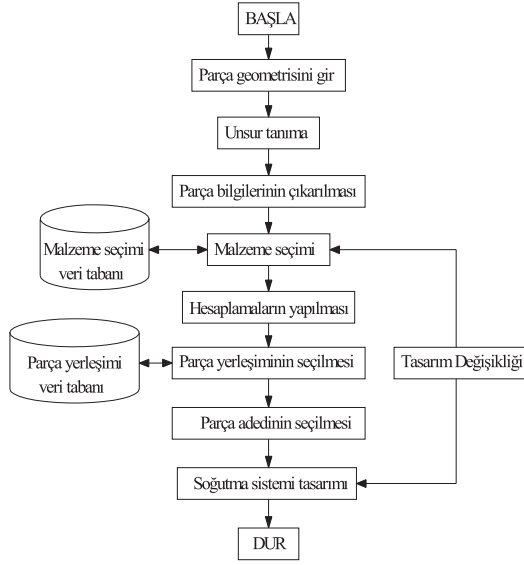
Kalıp ısısını belirlenen sıcaklıkta tutmak, genellikle kalıp içinde açılmış kanallarda su (veya başka sıvılar) dolaştırmakla sağlanır. Ergiyik plastiğin ısı, soğutma süresince değişir. Soğutma sisteminin tasarımı, enjekte edilen plastik parçanın geometrik yapısına bağlıdır. Plastiklerin kalıplanmasında enjekte edilen ergiyik çok sıcak olduğundan, hızlı ve düzgün çekme sağlanmalıdır. Soğutma kanallarının konumu, ısıyı en iyi taşıyabilecek konumda tasarlanmalıdır (Tang v.d., 1997). Literatürde uygun soğutma sistemlerinin bilgisayar destekli tasarımına yönelik bir çok çalışma da yapılmıştır. Xu ve arkadaşları (2001), plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma kanallarının en uygun yerleşimine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Li (2001), soğutma sistemi için bilgi tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Lin (2002), serbest şekilli bir plastik ürün için en uygun soğutma sistemi tasarımını sinir ağıları yöntemi-

ni kullanarak oluşturmuştur. Li ve arkadaşları (2005), plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin otomatik yerleşimine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Li ve Zhou (2005) bir TV panelinin enjeksiyonla üretilmesi için gerekli olan soğutma sisteminin simülasyonunu bilgisayar destekli olarak oluşturmuşlardır. Qiao (2005; 2006) soğutma sistemlerinin bilgisayar destekli olarak analizlerinin ve simülasyonlarının yapılması için çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışmalar, kalıp tasarımı öncesinde tasarım için gerekli parametrelerin elde edilmesini sağlayarak, tasarım aşamasındaki zaman kayıplarını en aza indirmektedir.

## 2. PROGRAMIN TANITILMASI

Hazırlanan program; kalıp tasarımı, soğutma sistemi tasarımı ve hesaplamalar olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Programda, tasarımcıdan alınan bilgiler, programda yaptırılan hesaplamalar ve okutulan tablo değerlerine göre önce parça yerleşimini oluşturmakta, daha sonra ise katı modelleme tekniği ile kalıp plakalarının ve soğutma kanallarının tasarımını gerçekleştirmektedir. Programın çalıştırılması sırasında önce parça yerleşimini yaptırmak bir zorunluluktur. Bunu nedeni ise, hazırlanan programın kalıbın katı model olarak tasarımını parça yerleşimine göre yapmasıdır.

Kalıp tasarımı programının hazırlık aşamasında ve programın oluşturulması sırasında kullanılan bilgiler, formülasyonlar ve tablo değerleri, plastik enjeksiyon kalıplılığı ile ilgili referanslardan faydalanılarak hazırlanmış ve program içerisinde kullanılmıştır (Crawford, 1998; Pye, 1989; Osswald, 1998; Kennedy, 1995). AutoCAD paket programında VisualLISP programlama dili kullanılarak tasarımcı tarafından katı modelleme tekniği ile çizilen parçanın bilgileri okutulmuştur. Parçanın kalınlığı, alanı, hacmi, koordinatları ve diğer özellikleri buradan program içerisindeki değişkenlere aktarılmıştır. Yardımcı diyalog kutuları ve formlar AutoCAD altında çalışan VBA programlama dilinde hazırlanmıştır. Hazırlanan diyalog kutuları ve formlar yardımıyla tasarımcıya programın kullanılması sırasında kolaylık sağlanmakla birlikte, tasarımcının verdiği bilgilerin de VisualLISP'teki programa aktarılması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan programın çalışması sırasında gerekli olan tablo değerleri ise yazı (text) modunda ".DAT" uzantılı olarak yazılmış ve kaydedilmiştir. VisualLISP'te yapılan programda gerekli tablo değerleri bu dosyalardan okutularak elde edilen değerlere göre hesaplamalar, yine VisualLISP'te yaptırılmıştır. Hazırlanan programının akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Soğutma sistemi tasarımı programı akış şeması

## 2. 1. Programın Yapısı

Kalıp ve soğutma sistemi tasarımı için hazırlanan bilgisayar programına "SOGUTUCU" adı verilmiştir. Program, bir adet "DAT" uzantılı, altı adet "LSP" uzantılı, bir adet "DVB" uzantılı ve bir adet "MNU" uzantılı olarak geliştirilen alt programların ve veri dosyalarının, AutoCAD ortamında birbirleriyle etkileşimli bir şekilde çalışması ile elde edilmiştir.

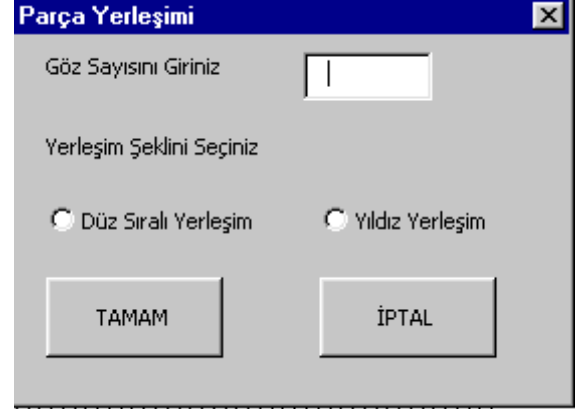
## 2. 2. Parça Geometrisinin Girilmesi

Kalıp tasarımının doğru yapılabilmesi için, kalıbı tasarlanacak olan plastik parçanın doğru ve hatasız biçimde çizilmiş olması büyük önem taşımaktadır. Kalıplama şekli ve konumu dikkate alınarak parça katı modelleme tekniği kullanılarak çizilmelidir. Kullanıcı plastik enjeksiyon kalıplarında üretilebilecek her türlü şekli girebilir. Program, parçanın şekli, kalınlığı, hacmi v.b. verileri çizim ortamında parça üzerinden çıkarmaktadır. Hazırlanan program, sadece düzlemsel kalıp ayırma hattına sahip plastik parçaların tasarımına yöneliktir. Programda, kalıp ayırma hattı, girilen parçanın geometrik özellikleri, parça içindeki boşluklar ve çıkıntılar dikkate alınarak, kullanıcı etkileşimi olmaksızın belirlenmektedir. Yapılan çizimin kaydedilmesi daha sonradan tasarım üzerinde yapılacak değişiklikler için kolaylık sağlayacaktır.

## 2. 3. Parça Yerleşimi

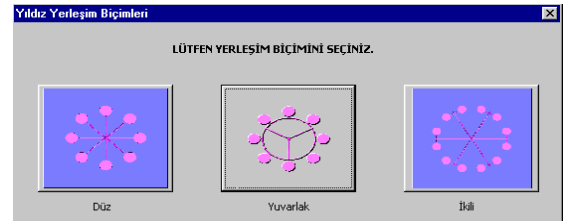
Kalıbı tasarlanan parçanın, kalıp çekirdeklerini oluşturan bloklar içinde nasıl yer alacağı parça yerleşimi ile belirlenir. Parça yerleşimi diyalog

kutusunda, bir kalıplamada kaç ürün elde edileceği ve ürünlerin dışı plaka üzerindeki yerleşim şekli girilmelidir. Programda düz sıralı yerleşim ve yıldız yerleşim olmak üzere iki farklı yerleşim planı bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Parça yerleşimi diyalog kutusu.

Ayrıca, tasarımcılar yıldız yerleşimde Şekil 3'te görüldüğü gibi üç değişik alt seçenekten birini tercih edebilmektedir.

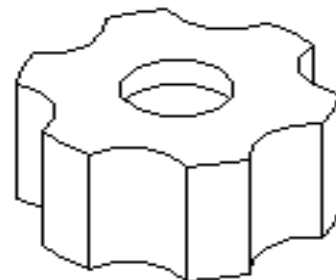


Şekil 3. Yıldız yerleşim biçimleri diyalog kutusu.

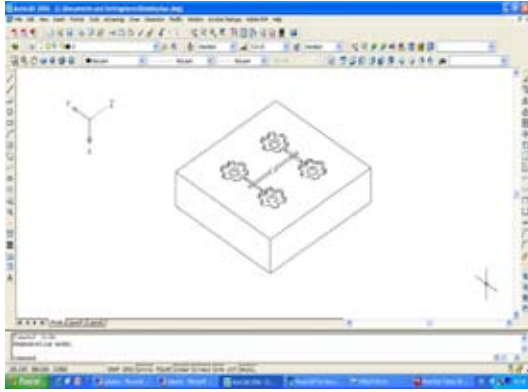
Düz yerleşimde sırasıyla 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 parça için yerleşim yapılabilirken, yıldız yerleşimde düz ve yuvarlak için 2'den 20'ye kadar bütün tam sayı değerlerinde, ikili tasarım için ise 2'den 20'ye kadar çift tam sayı değerlerinde yerleşim yapılabilir.

## 2. 4. Çekirdek Plakanın Tasarımı

Dışı plakanın tasarımı, kalıbın temelini ve hazırlanan programın ana hedefini oluşturmaktadır. Dışı plaka boyutları kalıplanacak parçanın şekline göre (Şekil 4), seçilen plastik malzemenin çekme oranlarını da hesaba katılarak, kullanıcı katkısı ve etkileşimi olmaksızın oluşturulmaktadır (Şekil 5).



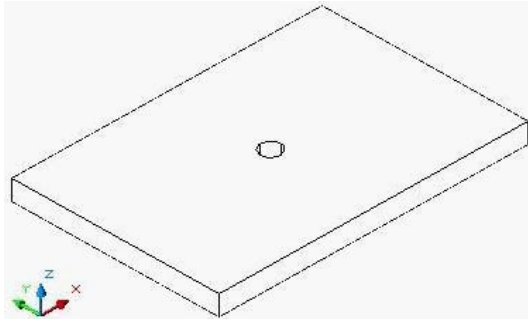
**Şekil 4. Kalıbı tasarlanacak olan ürünün katı model olarak tasarımı.**



**Şekil 5. Dişi plakanın tasarlanması.**

## 2. 5. Üst Plakanın Tasarımı

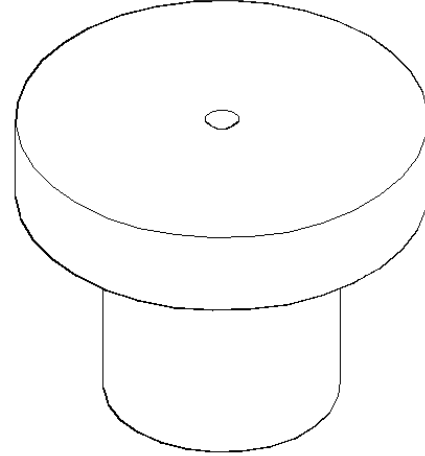
Üst plakanın boyutlarını program, dişi kalıp boyutlarına göre tayin etmektedir. Kenar mesafeleri, üst plakanın yüksekliği yine parçanın şekline göre program tarafından hesaplanmaktadır. Program bu hesaplamaları dikkate alarak üst plakanın çizimini gerçekleştirmektedir (Şekil 6).



**Şekil 6. Üst plakanın tasarlanması.**

## 2. 6. Yolluk Burcu Tasarımı

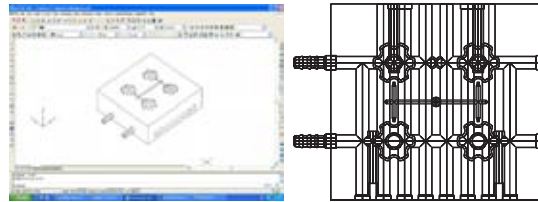
Programda, kalıbın doldurulması esnasında eriyik plastiğe ilk kılavuzluk eden eleman olan yolluk burcunun tasarımı, parçanın şekline ve boyutlarına göre program tarafından hesaplanmaktadır. Ölçüleri dişi plakadan alınan (Şekil 7) yolluk burcunun deliğine üst kısmından altına doğru plastiğin akışını kolaylaştırmak ve katılaştıran plastiği çıkarabilmek için 1°'lik bir eğim verilmiştir.



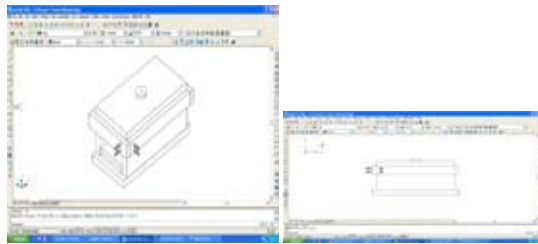
**Şekil 7. Yolluk burcu.**

## 3. SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI

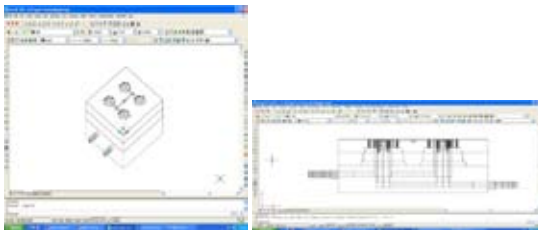
Programda soğutma kanallarının tasarımında, düz soğutma kanalları (Şekil 8), su ceketi soğutma kanalı (Şekil 9) ve dalgıç tipi soğutma kanalı (Şekil 10) olmak üzere üç değişik yöntem tercih edilebilmektedir. Her üç yöntemde de soğutma kanallarının boyutları, plastik parça ölçüleri ve gözlerin kalıp içerisindeki yerleşim biçimi dikkate alınarak program tarafından hesaplanmaktadır. Soğutma sistemi, yapılan bu hesaplamalar sonunda kalıp bloğu içerisine yerleştirilmektedir.



**Şekil 8. Düz soğutma kanalı.**



**Şekil 9. Su ceketi soğutma kanalı.**

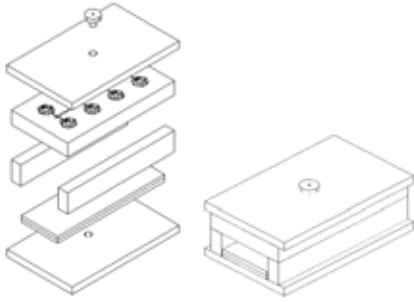


**Şekil 10. Dalgıç tipi soğutma kanalı.**

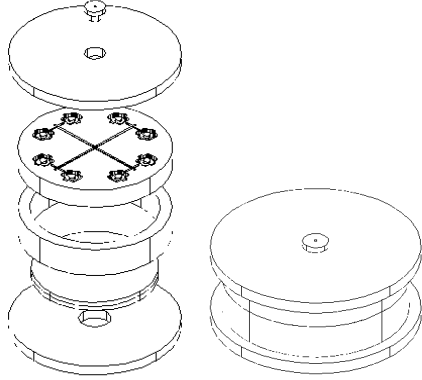
#### 4. TASARLANAN KALIBIN GÖRÜNTÜLENMESİ

Hazırlanan görüntüleme menüsü yardımıyla tasarımcı oluşturulan kalıp tasarımında komple kalıp setini veya tek tek kalıp elemanlarını AutoCAD ortamında sunulan grafik ekranlarında görüntüleyebilir.

Hazırlanan programda oluşturulan komple kalıp setinin düz yerleşimi için görüntüsü Şekil 11'de, yıldız yerleşimi için görüntüsü ise Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 11. Kalıbın düz yerleşim için program tarafından oluşturulan katı modeli.



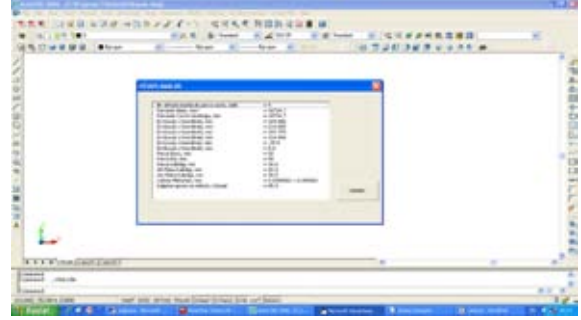
Şekil 12. Kalıbın yıldız yerleşim için program tarafından oluşturulan katı modeli.

#### 5. HESAPLAMALAR

Kullanıcının seçimine bağlı olarak, parçanın alanı, çevre uzunluğu, koordinatları, çekme miktarı, soğutma zamanı, soğutma kanallarından bir saatte geçmesi gereken su miktarı, dışı plaka kalınlığı, üst plakanın kalınlığı, bir defada basılacak parça sayısı ve yolluk burcu gibi değerler hesaplanmakta ve programda açılan VERIYAZ.DAT isimli dosyaya kaydedilmektedir. Ayrıca, komple kalıp setinin ağırlığı ve ağırlık merkezi AutoCAD içerisinde *massprop* komutu ile hesaplanarak VERIYAZ.DAT dosyasına kaydedilmiştir. Kalıp setinin ağırlığının ve ağırlık merkezinin bilin-

mesi, kalıp setinin taşınması sırasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Komple kalıp setinin ağırlığı bütün kalıp elemanlarının demir (Fe) olduğu varsayılarak hesaplanmıştır

Yapılan tasarım ile ilgili hesaplamaların görüntülenmesi Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Yapılan tasarım ile ilgili hesaplamaların sunum penceresi.

#### 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Geliştirilen program, plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında, soğutma sistemi tasarımına ve kalıba ait hesaplamalara ayrılan zamanı en aza indirmek amacıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan program, tasarımcıya kolaylık sağlamakta, hata yapma ihtimalini en aza düşürmekte, kalıp tasarımını daha kolay, tekrarlanabilir ve esnek olarak yapabilmektedir. Program sayesinde plastik enjeksiyon kalıpları konusunda çok az bilgiye sahip tasarımcıların dahi kalıp tasarımını ve soğutma sistemini gerçekleştirebilmesi sağlanmıştır.

Hazırlanan programda, ürünün ve kalıbın katı modelinin tasarlandığı AutoCAD paket programlarının yanında, VBA ve VisualLISP programlama dilleri de kullanılmıştır. Tasarımcının AutoCAD paket programında katı model olarak çizdiği parça için kalıp tasarımı, AutoCAD paket programı altında çalışan VisualLISP programlama dilinde yapılan programlar ve VBA programlama dilinde oluşturulan diyalog kutuları yardımıyla çizim ekranına dökülerek oluşturulmuştur. Program kişisel bilgisayarlara uyumludur ve çalıştırılabilmesi için AutoCAD paket programının bilgisayarda yüklü olması yeterlidir. Program bu yönü ile küçük ve orta ölçekli sanayiye de hitap etmektedir.

Hazırlanan SOGUTUCU programında zaman kaybını önlemek ve hata yapma olasılığını azaltmak amacıyla parça geometrisi daha önceden katı model olarak çizilen parça üzerinden okutularak programa aktarılmıştır. Parçanın kalınlığı ve boyutları buradan okutulan verilerden alınarak programda kullanılmıştır. Hazırlanan prog-

ramda bütün kalıp elemanlarının tasarımı ve grafik ekranda görüntülenmesi gerçekleştirilmiştir.

Programda, yan maçalar ve düzlemsel olmayan kalıp açılma çizgileri dikkate alınmamıştır. Bu çalışmanın devamı olarak, yan maçalı kalıplara ve

düzlemsel olmayan kalıp açılma çizgilerine göre kalıp tasarımı gerçekleştirilebilir. Programda kalıp tasarımı üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan üç boyutlu kalıp tasarımının, iki boyutlu ve ölçülendirilmiş imalat resimlerinin çıkarılabilmesi için bir çalışma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aisa, J. C., Javierre, J.A., Serna, D. 2006. An example of simulation tools use for large injection moulds design: The CONTENUR™ 2400I solid waste container. *Journal of Materials Processing Technology*. (1759), 15–19.
- Crawford, R.J. 1998. *Plastics Engineering 3<sup>rd</sup> Edition* 278-306 s. Pergamon Pres, Oxford.
- 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.
- Hui, K.C. 1997. Geometric aspects of the mouldability of parts. *Computer-Aided Design*. (29), 197-208.
- Kennedy, P. 1995. *Flow Analysis of Injection Molds* 1-40 s. Hanser/Gardner Publications Inc. Munich.
- Kong, L., Fuh, J.Y.H., Lee, K.S., Liu, X.L., Ling, L.S., Zhang, Y.F., Nee, A.Y.C. 2003. A Windows-native 3D plastic injection mold design system. *Journal of Materials Processing Technology*. (139), 81-89.
- Li, C.L. 2001. A future-based approach to injection mold cooling system design, *Computer Aided Design*. (33), 1073-1090.
- Li, C.L., Li, C.G., Mok, A.C.K. 2005. "Automatic layout design of plastic injection mould cooling system". *Computer-Aided Design*. (37), 645-662.
- Li, D., Zhou, H. 2005. Mold cooling simulation of the pressing process in TV panel production. *Simulation Modelling Practice and Theory*. (13), 273-285.
- Lin, J.C. 2002. Optimum cooling system design of a free-form injection mold using an abductive network. *Journal of Materials Processing Technology*. (120), 226–236.
- Lou, Z., Jiang, H., Ruan, X. 2004. Development of an integrated knowledge-based system for mold-base design. *Journal of Materials Processing Technology*. (150), 194-199.
- 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.
- Osswald, T.A. 1998. *Polymer Processing Fundamentals* 117-139 s. Hanser/Gardner Publications Inc. Munich.
- Priyadarshi, A.K., Gupta, S.K. 2004. Geometric algorithms for automated design of multi-piece permanent molds. *Computer-Aided Design*. (36), 241-260.
- Pye, R.G.W. 1989. *Injection Mould Design* 180-218 s. Longman Singapore Publishers, Singapore.
- Qiao, H. 2005. Transient mold cooling analysis using BEM with the time-dependent fundamental solution. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. (32), 315–322.
- Qiao, H. 2006. A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding. *International Journal of Mechanical Sciences*. (48), 430-439.
- 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.
- Uluer, O., Gültaş, A., Özdemir, A. 2005. Ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki gerçek akış davranışının gözlenmesi için kalıp tasarımı ve imalatı. *Teknoloji*. (8), 181-189.
- Xu, X., Sachs, E., Allep, S. 2001. The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling. *Polymer Engineering and Science*. 41 (7), 1265-1279.