

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA
SOĞUTMA KANALLARININ EN UYGUN
KONUMUNUN BELİRLENMESİ

MAHMUT EKERSULAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA
SOĞUTMA KANALLARININ EN UYGUN
KONUMUNUN BELİRLENMESİ

Mahmut EKERSULAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE
2007



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Mahmut EKERSULAR'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim kurulu'nun 08.03.2007 tarih 2007/13 Sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

:Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

(Tez Danışmanı)

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararı.

ÖZET

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA SOĞUTMA KANALLARININ EN UYGUN KONUMUNUN BELİRLENMESİ

Mahmut EKERSULAR

Bu çalışmada ürünün homojen soğuması esas alınarak, soğutma sistemindeki sıcaklık sapma miktarını minimum yapan ve soğutma kanallarının konumunu otomatik olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilebilir, parametrik ve unsur tabanlı BDT yazılımlarına edinilmiş tecrübe ve bilgi birikimlerinin kullanıcının kullanımına sunmak amacıyla geliştirilen komutlar eklenmiştir. Ürünü soğutan soğutma kanalları arasındaki farklı mesafelerde ve farklı hesaplama sıklıklarında sıcaklık değişimleri otomatik olarak hesaplanmıştır.

Minimum değerinde soğutma kanallarının kalıp boşluğu üzerindeki soğutma etkisini homojen olduğu sıcaklık sapma oranı adında bir katsayı geliştirilmiştir. Soğutma kanalları ve kalıp oyuğu arasındaki sıcaklık dağılımları sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmıştır.

BDT programında verilen kısıtlamalar çerçevesinde otomatik olarak oluşturulan soğutma kanallarının konumu, sıcaklık sapma oranının minimum olduğu soğutma kanal koordinatlarıyla güncellenmesi sağlanmıştır.

İki farklı malzeme için, soğutma kanalları çapı sabit ve değişken olmak üzere toplam 43'er adet analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucu çıkan homojen soğuma değerleri ve döngü zamanlarına regresyon analiziyle modeller geliştirilmiştir. Bu modeller döngü zamanının ve homojen soğumanın önem derecelerine göre soğutma kanallarının geometrik değişkenleri optimize edilmiştir.

Geliştirilebilir bilgisayar destekli tasarım programı olarak CATIA V5, programın ara yüzü ve veri tabanının CATIA V5 içinde değişken olarak kullanılması için VBA ve her bir noktanın sıcaklık denklemi, bu denklemlerin çözümü için MATLAB kullanılmıştır.

SUMMARY

DETERMINATION OF OPTIMUM COOLING CHANNEL POSITION IN PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESS

Mahmut EKERSULAR

In this work, an interface has been developed in existing CAD software based on uniform cooling of injection molding product. The interface automatically designs cooling channel positions while minimizing temperature variations.

In the software, some commands based on knowledge and experience of designers and mold makers were created to help users. Required energy for cooling of the product and temperature variations in different positions of cooling system design was calculated automatically.

A coefficient was determined to minimizing the cooling temperature variations on the product. Lesser coefficient value indicates uniform cooling of the product.

In the frame of software constraints, obtained cooling channel positions were updated in the CAD software. According to observation, further distance between product and cooling channel positions indicates uniform cooling tendency and longer cycle time. Uniform cooling is not only a criterion but also cycle time is the other important criterion. So an optimization algorithm was created for this relation between them.

86 analyses are done of two materials which cooling channels are constant and variable. Consequently in these analyses models are developed with regression of loop times and uniform cooling variable. Geometric variables of cooling channels optimized according to degree of importance of uniform cooling and loop times in these models.

In this study, used programs that exist in the market are CATIA V5 for modeling 3D, VBA for creating interface forms and manage this relations between CATIA and interface. Also Matlab software has been used to create temperature equations, solve these equations and find optimal cooling channel positions.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında beni araştırmaya yönlendiren değerli hocalarım Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK ve Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN'a, önerileriyle bana yol gösteren Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya, bugünlere gelmemde emeği geçen değerli hocalarımdan Eyup BAĞÇI ve Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, değerli arkadaşım Murat DAL'a, manevi destekte bulunan ev arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
 1. GİRİŞ	 1
 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	 3
 3. KURAMSAL TEMELLER	 8
3.1. Isı Geçişi	8
3.1.1. İletim İle Isı Geçişi Ve Fourier Isı İletim Kanunu	9
3.1.1.1 Isı iletim katsayısı	10
3.1.1.2. Isı Geçişi Problemlerinde Yapılabilecek Kabuller	12
3.2. Sonlu Farklar Yöntemi ile Isı İletimine Sayısal Çözümler	13
3.2.1. Sürekli Rejimde Formülasyon Ve Çözüm	13
3.3. Plastikler	22
3.3.1. Plastiklerin Tanımlanması	22
3.3.2. Plastiklerin Elde Edilmeleri ve Genel Özellikleri	22
3.3.3. Plastiklerin Sınıflandırılması	25
3.3.3.1. Termoset Malzemeler	26
3.3.3.2. Termoplastikler	26
3.4. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi	27
3.4.1. Genel Bilgi	27
3.4.2 Kalıp	27
3.4.2.1 Yolluk Sistemi	29

3.4.2.2. Kalıp Boşluğu	30
3.4.2.3. İtici Sistemi	31
3.4.2.4. Soğutma Sistemi	31
3.4.3. Enjeksiyon Makinesi	32
3.4.3.1. Vidalı plastik ünitesi	32
3.4.3.2. Kilitleme Ünitesi	33
3.4.3.3. Kontrol Ünitesi	34
3.4.4 Enjeksiyon Yönteminin Safhaları	34
3.5. Unsur Tabanlı Modelleme Sistemi	37
3.5.1. Parametrik Modelleme	38
3.5.1.1. Veri Yapısı	39
3.5.1.2. CSG Ağaç Yapısı	39
3.5.1.3. B-Rep veri Yapısı	41
3.6. Düzlemde Koordinat dönüşüm metotları	44
3.6.1 Konum değiştirme	45
3.6.2. İki boyutlu ölçeklendirme	56
3.6.3 İki Boyutlu Döndürme	46
 4. PASTİK KALIPLARIN SOĞUTULMASI	 47
4.1. Hesaplama Yöntemi	48
4.1.1. Genel hesaplama	48
4.1.2. Analitik ısı hesaplama	48
4.2. Soğutma	50
4.2.1. Parçalara Ayırarak Soğutma	51
4.2.2. Homojenlik	51
4.2.3 . Soğutma Oranı	53
4.2.4. Su İle Soğutma	53
4.2.4.1. Kalıp içerisinden Gececek Su Miktarı	53
4.2.5. Kalıp Soğuma Zamanı	54
4.3. Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı	57
4.3.1. Soğutma Kanalı ile Kalıp Oyuğu Arasındaki Mesafe	57
4.3.2. Soğutma Kanalları Arasındaki Mesafe	57
4.3.3. Soğutma Kanallarının Çapı	57

5. PROGRAM ÇALIŞMASI	58
5.1. Programın Amacı	58
5.2. Programın Yapısı	58
5.3. Yöntem	60
5.4. Programın Sınırları	61
5.5. Program Akış Şeması	62
5.6. Veri Yapısı	62
5.7. Uygulama Çalışması	63
5.7.1. Parça Geometrisinin Modellenmesi	63
5.7.2. Veri Tabanıyla İlişkilendirme ve Soğutma Parametrelerinin Girilmesi	63
5.7.3. Kalıp Çeliğinin Oluşturulması	65
5.8. Homojen Soğutma Kanalları	66
5.9. Sonuç Verileri	68
5.10. Matlab PDE Toolbarı ile Yapılan Sıcaklık Dağılım Yazılımı Çalışmasının Karşılaştırılması	74
6. SOĞUTMA KANALI MATEMATİKSEL MODELİ VE OPTİMİZASYONU	77
6.1. Plastik Malzeme Seçimi	77
6.2. Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	78
6.2.1. Polipropilen	78
6.2.2. Alçak Yoğunluklu Polietilen	78
6.3. Regresyon Analizi	82
6.4. Soğutma Kanalı Optimizasyonu	87
6.4.1. Polietilen Ürün İmalatı için Sabit Soğutma Kanal Çapında	88
6.4.2. Polipropilen Ürün İmalatı için Sabit Soğutma Kanal Çapında	88
6.4.1. Polietilen Ürün İmalatı için Değişken Soğutma Kanal Çapında	89
6.4.2. Polipropilen Ürün İmalatı için Değişken Soğutma Kanal Çapında	89
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	99

EKLER

EK-1. Matlab Dilinde Homojen Sıcaklık Dağılımı Soğutma Kanal Koordinatlarının Programı

EK-2. VBA Programı Kodları

EK-3 VBA’da Yapılan Catia V5 Programında Çalışan Programın Formları

EK-4 MINITAB Regresyon ve Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuç Çıktıları

EK-5 Soğutma Sistemi Geometrik Değişkenleri Optimizasyonu İterasyon Değerleri

EK-6 Örnek Uygulama Soğutma Kanalı 1 ve 2 Arasındaki Sıcaklıklıklar

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q_x	:Birim zamanda geçen ısı miktarı.
A_y	:Isı geçişi yönüne dik yüzey alanı.
K_s	: Isı iletim katsayısı.
$\frac{dT}{dx}$	:Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı.
Q_c	:Kalıpta oluşan toplam ısı miktarı.
H	:Yok edilmesi gereken toplam ısı miktarı.
q	:Plastik ergime ısı miktarı.
C_p	:Plastik madde özgül sıcaklık katsayısı
M_p	:Kalıplanacak plastik madde miktarı.
M_s	:Kalıp içerisinde geçmesi gereken su miktarı.
T_p	:Plastik maddenin kalıplama sıcaklığı.
T_M	:Kalıp sıcaklığı.
T_{SC}	:Suyun kalıp içerisinde çıkış sıcaklığı.
T_{SG}	:Suyun kalıp içerisine giriş sıcaklığı.
R	: Isı transferi randımanı katsayısı.
t_{sp}	: soğuma zamanı.
S	: parça et kalınlığı.
a	: ısı genleşmesi.
T_M	: çalışma sıcaklığı.
T_w	: kalıp duvar sıcaklığı.
T_D	: Ürünün çıkarıldığı sıradaki ortalama sıcaklığı.
LDPE	:Alçak Yoğunluklu Polietilen.
HDPE	:Yüksek Yoğunluklu Polietilen.
PP	:Polipropilen.
ABS	:Akrinonitril Butadien Stiren.
PA 66	:Polyamid 66.
PVC	:Polivinil klorür.
T_{ort}	:Sıcaklık ortalaması.
T_{Sapma}	:Sıcaklık standart sapması.

T_{fark}	:Sıcaklık değişim miktarı.
M_e	:Sıcaklık sapma oranı.
A	: Soğutma kanalları arası mesafe.
D	:Soğutma kanal çapı.
B	:Soğutma kanalının ürüne mesafesi.
U	:Homojenlik değeri.
Z	:Döngü zamanı.
K_Z	:Döngü zamanı önem katsayısı.
K_U	:Homojen soğuma önem katsayısı.
CSG	:Katı model geometrisi.
CSG	:Bilgisayar destekli tasarım.
VBA	:Visual BASIC Application.
BDT	:Bilgisayar Destekli Tasarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. İletim, taşınım ve ışıınım ile ısı geçiş şekilleri	9
3.2. Bir boyutlu ısı iletimi	9
3.3. Sonlu farklar kafesi	14
3.4. Konveksiyon sınır şartı	17
3.5. Köşe için konveksiyon sınır şartı	18
3.6. Yalıtılmış sınır şartı	19
3.7. Eğri sınırlar	20
3.8. Bir plastik enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi	28
3.9. Yolluk sisteminin elemanları	29
3.10. Vidalı Plastik Ünitesi	33
3.11. Kısıtlamaları değiştirerek şekli düzenleme	38
3.12. CSG ağacı yapısı örneği	40
3.13. Verilerin kaydedildiği katı model örneği	43
3.14. Bir yüzeyi çeşitli sınırlar ile ele almanın bir metodu	43
3.15. İki boyutlu döndürme	46
4.1. Parçaların köşelerinin soğuması	47
4.2. Soğutma sisteminin analitik hesaplanması	49
4.3. Soğutma kanalı ve homojenlik durumu	50
4.4. Parçalara ayırarak soğutma sonucunda soğutma sisteminin geometrisi	51
4.5. Kalıpta oluşan ısı akış profili	52
4.6. Soğutma zamanının ürünün et kalınlığına bağlı olarak değişimi	56
5.1. Soğutma sistemi araç kutusu	58
5.2. Soğutma Formu	59
5.3. Uygulama Akış Şeması	62
5.4. Uygulama Parça Geometrisi	63
5.5. Soğutma kanalları ilk dağılımı ve numaralandırılması	65
5.6. Otomatik modellenen kalıp çeliği ve soğutma kanalları 3 boyutlu modeli	66
5.7. 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasın da, ürüne 6 mm mesafedeki,	

0.5 ve 1mm aralıklarla hesaplanmış, sıcaklık sapma oranları farklı iterasyonlardaki değerleri	67
5.8. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık dağılımı	69
5.9. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık dağılımı	69
5.10. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık hatları	70
5.11. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık hatları	70
5.12. Üründen 2 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar	71
5.13. Üründen 9.5 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar	71
5.14. 0.5 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı mesafe ve farklı iterasyonlardaki sıcaklık sapma oranı değerleri	73
5.15. Matlab PDE Toolbox ile karşılaştırılması yapılacak geometri ve sınır şartları	74
5.16. Yazılımla karşılaştırma parçası Matlab PDE Toolbox'ındaki mesh görüntüsü	75
5.17. Karşılaştırma parçası Matlab PDE Toolbox'ındaki sıcaklık dağılımı	76
5.18. Karşılaştırma parçasının Matlab PDE Toolbox çözümü sıcaklık değeri ile yapılan programın 0.5 mm hesaplama sıklığında sıcaklık değerleri	76
6.1. Soğutma kanalı geometrik değişkenleri	77
6.2. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkisinin sabit çapta yüzdelik dağılımı	86
6.3. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkisinin değişken çapta yüzdelik dağılımı	86
6.4. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin homojen soğumaya etkisinin yüzdelik dağılımı	87
6.5. Polipropilen değişken çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri	90
6.6. Polipropilen sabit çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri	90
6.7. Polietilen değişken çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri	91
6.8. Polietilen sabit çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri	91
6.9. Regresyon Modeli ve analiz programı döngü zamanı karşılaştırılması	92
6.10. MoldFlow analiz programı mesh görüntüsü	92

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Isıyı en iyi ileten bazı metallerin 25 °C taki ısı iletim katsayıları	11
3.2. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayılarının mertebeleri	11
3.3. Bazı polimerik malzemelerin termal özellikleri	26
3.4. B-rep gösterimini kaydeden üç tablo	41
5.1. Örnek uygulamadaki soğutma girdileri	64
5.2. 0.5 mm hesaplama sıklığında, sıcaklık sapma oranının minimum olduğu soğutma kanalı koordinatları ve ilk dağılım koordinatları	67
5.3. Örnek uygulamadaki 1. ve 2. soğutma kanalı arasındaki matris boyutları	68
5.4. 0.5 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyon ve farklı uzaklıklardaki soğutma verileri	72
6.1. Polipropilenin özellikleri	78
6.2. Alçak yoğunluklu polietilen özellikleri	79
6.3. Polipropilen için yapılan analizlerin soğutma kanalı geometrik değişkenleri	79
6.4. Alçak yoğunluklu polietilen için yapılan analizlerin soğutma kanalı geometrik değişkenler	80
6.5. Yapılan analizlerin sıcaklık sapma oranları ve döngü zamanları (a)	81
6.6. Yapılan analizlerin sıcaklık sapma oranları ve döngü zamanları (b)	82
6.7. Soğutma sistemi geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkileri	85
6.8. Soğutma sistemi geometrik değişkenlerinin homojen soğumaya etkileri	85

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada plastik kalıplama teknolojisi gün geçtikçe büyük bir hızla gelişmektedir. Plastik sektörünün gelişmesi ve plastikler üzerine yapılan araştırmaların çoğalmasıyla birlikte hem maliyet hem de fiziksel açıdan, plastik metallere göre tercih edilir bir hale gelmiştir.

Bu çalışmada amaç, soğutma kanallarının ürün üzerindeki soğutma etkisi en homojen olacak şekilde, soğutma kanallarının modellenmesini gerçekleştirmektir. Ayrıca, döngü zamanı ve homojen soğuma değerini, soğutma kanalı geometrik değişkenleriyle optimize etmek ve geometrik değişkenlerin döngü zamanı, ve homojen soğuma üzerindeki ağırlıklarını bulmaktır.

Uygunsuz şekilde tasarlanmış soğutma sistemi, küçük parçalarda iç gerilmelere ince duvarlı büyük parçalarda çarpıklığa ve hatta çatlaklara bile sebep olabilir. Bununla beraber uygunsuz soğutma çevrim süresini artırarak maliyeti de yükseltir.

Birkaç soğutma kanalı seri bağlandığında soğuyan ortamın sıcaklığı artan uzunlukla doğru orantılı olarak artar. Bu da kalıp oyuğunda sıcaklık farklarına sebep olur. Eğer soğutma kanalları çok kaviteli kalıplarda birkaç kavite içinde seri bağlanırsa, parçalar arasında önemli boyutsal farklılıkların oluşması tehlikesi de vardır. Genelde soğutma kanallarının paralel bağlanması seri bağlamadan daha avantajlıdır. Paralel bağlama daha homojen kalıp sıcaklığı sağlar [Menges, 1993].

Kalıp soğutma sisteminin görevlerinden biri de kalıp boşluğundaki sıcaklık dağılımını homojen olmasını sağlamaktır. Soğutma kanallarının duvara olan uzaklıklarının eşit olmaması, kalıp duvarı sıcaklıklarının her yerde aynı olmamasına neden olmaktadır. Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna olan uzaklıklarının artması ve birbirine olan uzaklıklarının azalması, sıcaklık profilinin daha homojen olmasını sağlar.

Baskı süresinde, en uzun süre soğutma süresidir. Bundan dolayı bu sürenin mümkün olduğunca kısa tutulması ve soğutmanın homojen olması gereklidir. Bu sürenin uzun olmasının bir nedeni ise, polimerin ısı iletkenliğinin düşük olmasıdır. Bundan dolayı soğutma süresinin kısa tutulması bakımından parçaların ince yapılması gerekir.

Kalıp soğutma sisteminin kalıp duvarında yaklaşık homojen bir sıcaklık profilinin oluşumunu sağlayacak şekilde tasarlanması çok önemlidir. Kalıp duvarında oluşan ısının homojen olmasını etkileyen en önemli etken soğutma kanallarının kalıp boşluğuna ve birbirlerine olan uzaklıklarıdır [Akyüz, 1998].

Gerçekleştirilen çalışmada, bilgisayar destekli tasarım programlarının parametrik yapısıyla uyumlu amaç doğrultusunda, yeni komutlar hazırlanmıştır. Plastik enjeksiyon kalıbı tasarımında, soğutma sisteminin ürün üzerindeki soğutma etkisinin en homojen olduğu soğutma kanalları koordinatları bulunmuştur. Soğutma kanalı otomatik olarak bilgisayar destekli tasarım programına modellendirilmesi sağlanmıştır. Örnek uygulama parçası modellenmesi bilgisayar destekli tasarım programı CATIA V5 programında, programın yönetimi ve bilgisayar destekli tasarım programıyla ilişkilendirme VBA'da, denklem takımlarının oluşturulması ve çözülmesi MATLAB de yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Üretilcek plastik parçaların arzu edilen kalite ve özellikte olabilmesi için, kalıbı imal etmeden önce kalıplanacak ürünün malzemesinin, ürünün kullanım amacına yönelik kısıtlamalarının, kalıplama metodunun, enjeksiyon tezgahının, kalıp tasarımı ve yapımını içeren bilgilerin öncelikle bilinmesi gerekmekte ve sonra kalıp parametre değerlerinin basılacak ürün için optimumunun bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla kalıp tasarım aşamasında kalıbın verimliliği ve ürün kalitesi için çeşitli analizler yapılmaktadır. Bu analizlerin sonuç çıktıları genellikle soğutma sistemiyle ilişkilidir.

Li (2001) yaptığı çalışmada, soğutma sisteminin tasarımı, analiz ve optimize edilmeden önce bir ilk tasarım gerekmekte olduğu vurgulamıştır. Bu çalışmayı vurgulanan ilk tasarım problemine bir çözüm yaklaşımı olarak sunmuştur. Kompleks şekilli plastik parça, ürünü temsil eden daha basit şekilli parçalara ayrılmıştır. Her bir parçanın soğutma sistemi öncelikle elde edilmiştir. Daha sonra bunlar bütün parçanın soğutma sistemi olacak şekilde toplanmıştır. Belirli özelliklerdeki parçalar için soğutma sistemi tasarımı için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu yaklaşımdaki tasarım örnekleri c-mold tarafından analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak yaklaşımın doğruluğu araştırılmıştır.

Henz ve arkadaşları (1996) tarafından, polimer malzeme kombinasyonuyla dört tasarım için, kalıplama ve simülasyon denemeleri C-COOL V. 3.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu denemelerin her biri için kızılötesi düzlemsel yüzey sıcaklık dağılımları ölçümleri alınmıştır. Bu deneysel datalar tahmin edilen datalarla karşılaştırıldığında hassas sonuçlar gözlemlenmiştir.

Dimla ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada, soğutma ve ısıtma kanallarının en uygun ve etkili tasarımı için sonlu elemanlar analizi ve ısı transfer analizi yapmışlardır. Enjeksiyon kalıplama için uygun bir parçanın üç boyutlu modeli yapılmış ve daha sonra kullanılmak üzere dişi ve erkek kalıp yarımları çıkartılmıştır. Bu kalıp yarımları sonlu elemanlar analizinde en iyi giriş konumu ve soğutma kanalları konumunun belirlemede kullanılmıştır. Sanal modeller üzerinde yapılan analizler göstermiştir ki döngü zamanını azaltmaktaki en önemli etken soğutma kanallarıdır. Bu yüzden minimize ve optimize edilmesi zorunlu olduğu vurgulanmıştır.

Gao ve arkadaşları (1996) yaptıkları çalışmada, soğutma aşamasında kalıp basıncının kontrolü için soğutma kontrol sistemi tasarlamışlardır. Soğutma süresince kalıp basıncındaki değişiklikleri tanımlamak için alternatif değişkenler belirlenmiştir. En uygun kontrol değişkeni olarak kontrollü basınç soğutma süresi tanımlanmıştır. Kontrollü basınç soğutma süresi dinamikleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve soğutma sıcaklığı ile ilişkisi araştırılmıştır. Kontrollü basınç soğutma süresi için bir kontrol sistemi tasarlanmış ve soğutma süresince olan kalıp basıncı kontrolü için uygulanmıştır.

Ko-sang, (1999) yaptığı çalışmada, kalıplama sonrası ürün üzerinde oluşan kalıcı gerilmeleri ve çekme miktarını araştırmıştır. Enjeksiyon işlemi sırasında kalıp duvarlarının özdeş soğutulamaması, kalıp boşluğundaki sıvıdan katı fazına geçen plastiğin farklı sıcaklıklara sahip olmasına sebep olmaktadır. Farklı sıcaklık dağılımından dolayı kalıp boşluğunda farklı basınçlar oluşmaktadır. Özdeş olmayan basınç, sıcaklık dağılımları ve soğutmanın; ürünün kalıptan çıktıktan sonraki kalıcı gerilmelere, geometrik bozulmalara ve çekme miktarına (büzülme) etkileri araştırılmıştır. Enjeksiyon işleminin teorik olarak sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanmış bir program ile analiz edildiği bu çalışmada, elde edilen değerler ile deney sonuçlarının çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, giriş sayısı ve konumunun kalıcı gerilmeyi ve çekme miktarının etkilediği, giriş sayısı arttıkça gerilmelerin arttığı yapılan çalışmada vurgulanmıştır.

Park ve arkadaşlarının (1998) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıpları soğutma sisteminin performansını geliştirmek için bilgisayar destekli optimum tasarım sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem soğutma süresi ve parça sıcaklığının ağırlık kombinasyonunu minimize edilerekten yapılmıştır. Tasarım hassaslık analiz formülleri ve özel sınır integralları kullanılarak optimum tasarımı elde etmek için, Conmin algoritması uygulanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak, soğutucu giriş sıcaklığı ve her bir soğutma kanalındaki hacimsel akış oranı, konumu ve çapı alınmıştır. Üç farklı optimizasyon stratejisi önerilmiştir. Üç örnek problem çözülmüş ve optimizasyon prosedürünün faydalı olduğu gösterilmiştir.

Wang ve arkadaşları (1996) plastiğin enjekte edilmesi ile soğumaya başlaması ve soğuyup kalıptan çıkarılmasına kadar geçen sürede çekme miktarını araştırmışlardır. Ultrasonik ve kızılötesi ışınlarla plastiğin akması ve kalıp boşluğuna dolması bilgisayar ekranına aktarılarak izlenmiştir. Ayrıca kalıp üzerinde muhtelif yerlere yerleştirilen basınç ve sıcaklık transdüserleri ile de sıcaklık ve basınç dağılımları

incelenmiştir. Plastiğin kalıp boşluğuna tam dolması safhasından sonra, katılaşmaya başlaması ve ürünün çıkarılması arasında geçen sürede, plastiğin kalıp duvarına temasının üç aşamada olduğu tespit edilmiştir. Bunlar; tam temas, bölgesel temas ve tam ayrılma olarak sıralanmaktadır.

Qiao (2005) yaptığı çalışmada, ürünün kalitesini ve verimliliğini etkileyen en önemli unsurun plastik enjeksiyon kalıpcılığında soğutma sistem tasarımı olduğunu vurgulamıştır. Soğutma sisteminin optimum tasarımını geliştirmek için tasarımcının tecrübesini ve konveksiyonel soğutma sistemindeki deneme yanılma yöntemine dayanmakta olan bilgisayar destekli bir yaklaşım şematize edilmiştir. Soğutma sistemi tasarımı için Sınır eleman metodu, soğutma analizleri, optimizasyon problem formülleri ve Davidon–Fletcher–Powell hibrid optimizasyon metotları proseslerine yer verilmiştir. Bu metotların soğutma sistem tasarımı için etkili ve pratik olduğunu göstermiştir.

Tang ve arkadaşları (1996) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama prosesi boyunca bir kalıp içerisindeki üç boyutlu ısı transfer simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Soğutma analizleri, soğutma kanal tasarımına yardımcı olmak dolayısıyla parçanın çarpıklık ve büzülme değerleri için gerekliliği vurgulanmıştır. Kalıptaki ve ürünlerdeki sıcaklık dağılımları sürekli olarak galerkin sonlu elemanlar metodu kullanılarak hesaplanmıştır. İlk olarak üzerinde delik olan bir plakanın üretimi için tasarlanmış bir enjeksiyon kalıbında uygulanmıştır. Daha sonra metot otomotiv plastik parçalarında uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Gayatri ve arkadaşları (2000) "Bir enjeksiyon kalıplama takımında, sıcaklık ve kalıcı gerilmeler" adıyla, bir çalışma yapmışlardır. Son yıllarda plastikler fabrikaların mühendislik çalışmalarında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Plastiklerin geniş kullanımı bilgisayar destekli imalat ve bilgisayar destekli tasarımda hızlı gelişmeler göstermiştir. Enjeksiyon kalıplarının tasarım ve imalatında sağlam ve dayanıklı kalıp dökümleri ile kalıplama hataları en aza indirgenmiştir. Ayrıca bu yöntemle, kalıplama zamanı hiç ön kalıp çalışması yapılmaksızın bulunabilir. Termal analizler neticesinde enjeksiyon kalıpları için bir bilgisayar destekli tasarım programı geliştirilmiştir. Zor noktalardaki yüzeyler içinde sıcaklıklar bilinebilir. Soğutma kanalı tasarımı da optimize edilebilir. Ayrıca gerilmeler ve yüzeylerdeki çekmeler için de sıcaklık profilleri çalışılmıştır. Böylece kalıp tasarımını yaparken malzeme sarfiyatını minimuma indiren ve bir modüler kalıp tasarımı imalatı içinde çok kullanışlı olan bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Park ve Ahn (2004) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama işlemi için optimum tasarım deney tasarımı ve nümerik analizler kullanılarak incelenmiştir. Deney tasarımları kalıp ve proses tasarımları için sürekli olarak uygulanmış ve çift yönlü bir hareket olarak düşünülmüştür. Nümerik analizler ise kalıp parametreleri için deney tasarımlarının bir çıktısı olan yolluk spesifikasyonları ve soğutma kanalları konfigürasyonları kabul edilmiştir. Optimum plastik parametrelerini belirlemek için çeşitli koşullar altında deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak kalite ve ürün verimliliği geliştirilmiştir. Hassas elektronik parçaların enjeksiyonla kalıplanmasının başarılı bir şekilde yapılması için uygulanmıştır.

Tang ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplamadaki çarpık test numuneleri ve termal analizleri yapmak için, teknik, teori ve metotlar plastik enjeksiyon kalıbında ihtiyaç duyulan şekilde sunmuşlardır. Kalıp tasarımı Bilgisayar destekli tasarım programı Unigraphics'de yapılmış ve termal artık gerilme analizleri ise sonlu elemanlar analiz programı Lusas Analyst 13.1 de yapılmıştır. Bu yazılım plastik enjeksiyon kalıplama süresince olan sıcaklık değişkenleri ve model için sıcaklık dağılımındaki kontrol eğrilerini vermektedir. Sonuçlar göstermiştir ki çarpıklık mümkün olduğunca soğutma kanallarına yakın yerlerde oluşmuştur. Buradan soğutmanın farklı bölgelerdeki çarpıklık etkileri araştırılmıştır.

Qiao (2005) yaptığı çalışmada, ürünün kalitesi ve verimliliği soğutma sistem tasarımına bağlı olduğu ve kalıp soğutma analizlerinin amacı soğutma sistem tasarımını geliştirmek ve kalıp duvarı boyunca olan sıcaklık profilini tanımlamak olduğunu vurgulamıştır. Sınır eleman metodu kullanılarak tam geçişli bir soğutma analiz formülü geliştirilmiştir. Daha sonra T şekilli bir plastik parça için bu yaklaşım uygulanmıştır. Sonlu elemanlar metoduyla yapılan bir çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Liang ve Ness (1996) "Enjeksiyon kalıplarının soğutma zamanının hesaplanması" adıyla bir çalışma yapmışlardır. Enjeksiyon kalıplarında polimer erimesinin soğutma zamanı, kalıplama işleminin toplam zamanından biraz daha kısadır. Çünkü soğutma işleminin ekonomik değeri daha önemlidir. Araştırma içerisinde enjeksiyon kalıpları polimer erimesi, soğutma zamanı, kağıt üzerinde eleştirilmiştir. Sonuçta soğutma zamanının hesabı için literatürde bulunan formüllerin doğruluğu ispatlanmıştır.

Chen ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada, amorf polimerlerdeki artık gerilmeler modeli sonlu farklar metodu kullanarak çözümüştür. İlk aşamadaki hızlı

değişkenler yarı nümerik prosedür adapte edilerekten soğutma aşamasınca olan termal artık gerilme modelindeki artan integral hesabı hesaplanmıştır.

Tang ve arkadaşları (1997) yaptıkları çalışmada, çok kaviteli enjeksiyon kalıplarının optimum soğutma sistemi tasarım için bir metot sunmuştur. Enjeksiyon kalıbı ve parça taslağı tasarlandıktan sonra bu metot soğutma sisteminin taslağını optimize eder. Optimizasyon değişkenleri ise soğutma kanallarının ölçüsü konumu ve soğutucunun akış oranı alınmıştır. Kalıp soğutma tasarımı nonlinear kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak modellenmiştir. Bu problem için Amaç fonksiyonu bu tüm kavitelere sıcaklık değerlerinin ve parçanın ortalama sıcaklığının bir fonksiyonunu minimize etmek olarak düşünülmüştür. Bu kısıtlamalı optimizasyon problemi Powell conjugate direction ve penaltı fonksiyon metodu kullanarak çözülmüştür. Amaç fonksiyonu sonlu elemanlar analizi kullanarak hesaplanmıştır.

Dubay ve Bell (1998) yaptıkları çalışmada, plastik parça imalatında soğutma süresinin tahmin edilmesi ve soğutma sıcaklık dağılımı parça kalitesi ve ürün maliyetini için önemi vurgulanmıştır. Burada silindirik şekilli plastik parçalar için enjeksiyon kalıbının soğutma zamanı araştırılmıştır. Nümerik bir metot formülize edilmiştir. Bu formül polimer sıcaklığına tamamen bağlı olan bir enerji denklemidir. Bu nümerik metottan elde edilen soğutma süresi deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlar olduğu gözlenmiştir. Bu modelle tahmin edilen soğutma süresi sabit polimer özellikleri kullanan enerji denkleminde elde edilen soğutma süresinden oldukça kısa olduğu görülmüştür. En iyi soğutma süresi Ballman ve Shusman tarafından kullanılan ve parça kalınlığı 3mm modelle elde edildiği vurgulanmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Isı Geçişi

Isı geçişi, sıcaklık farkından dolayı sistem ve çevresi, yada maddeler arasında meydana gelen enerji akışını araştıran bir bilimdir. Madde alış verişi olmaksızın sadece sıcaklık farkından dolayı meydana gelen bu enerji geçişi, ısı geçişi olarak tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanunun sonucuna göre; ısı sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru kendiliğinden akar. Termodinamik, bu ısı geçişinin nasıl ve ne hızda olduğunu açıklamaz. Çünkü termodinamikte zaman bir değişken olarak ele alınmaz. Termodinamik denge durumundaki sistemler ile ilgilenir. Geçen ısı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ama meydana getirdiği tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir.

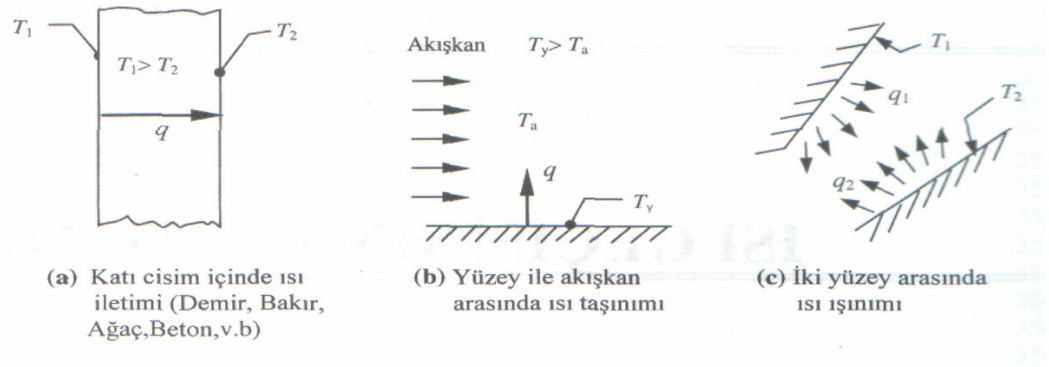
Isı geçişi bilim dalı, termodinamiğin birinci ve ikinci, kütlenin korunumu ve Newton'un ikinci hareket kanunlarına ilave üç özel kanun yardımı ile, ısı geçişi olayının yapısını inceleyerek, ısı geçişini etkileyen büyüklükleri belirler ve bu büyüklükler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade eder. Çözüm yöntemi olarak da analitik, sayısal, deneysel ve benzeşim yöntemlerini kullanır. Isı geçişi üç şekilde meydana gelmektedir.

Bunlar;

- 1. Isı iletimi (Kondüksiyon)**
- 2. Isı taşınımı (Konveksiyon)**
- 3. Isı ışıınımı (Radyasyon)**

Herhangi bir ısı geçişi olayı; bu üç şeklin birisi ile, herhangi ikisi ile yada üçü ile birlikte meydana gelebilir. Genel olarak katı cisimlerde, ısı enerjisinin serbest elektron hareketiyle bir molekülden yada atomdan diğerine geçmesi ile meydana gelen ısı geçişine ısı iletimi, sıvı ve gazlarda ısı enerjisinin, moleküllerin hareketleri sonucu nakledilmesi ile oluşan ısı geçişine ısı taşınımı ve katıların, sıvıların ve gazların ısı enerjisini elektro manyetik dalgalar şeklinde yayınladıkları veya yuttukları ısı geçiş şekline de ısı ışıınımı denir. Şekil 3.1.a'da gösterildiği gibi, yüzey sıcaklıkları farklı katı

cisim içinde iletimle ısı geçişi, (b)' de sıcaklıkları farklı yüzey ve akışkan arasında taşınım ile ısı geçişi ve (c)' de iki yüzey arasında ışınlama ile ısı geçişi meydana gelmektedir.

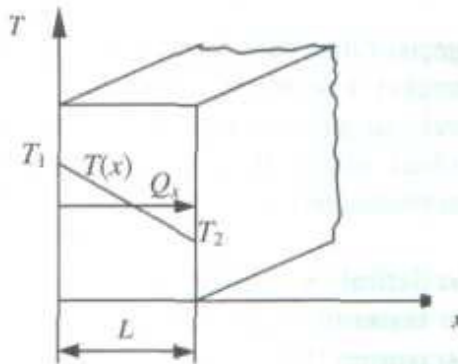


Şekil 3.1. İletim, taşınım ve ışınlama ile ısı geçiş şekilleri.

3.1.1. İletim İle Isı Geçişi Ve Fourier Isı İletim Kanunu

Bir cisim içinde sıcaklık basamağı meydana geldiğinde, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru enerji akışı meydana gelir. Bu cisim katı, sıvı ve gaz olabilir. Sıvı ve gazlarda atom ve moleküllerin hareket etmeksizin bir birbirlerine teması sonucu sıcaklık farkından dolayı, ısı enerjisinin geçmesi de ısı iletimi ile gerçekleşmektedir. İletim ile geçen ısı enerjisini ilk ifade eden J. B. Fourier olduğundan, bu ifadeye Fourier ısı iletim kanunu denir. Bu kanuna göre, Şekil 3.2'deki gibi, içinde sıcaklık değişimi olan bir boyutlu bir levha göz önüne alındığında, birim alandan iletim ile geçen ısı miktarı, ısıнын geçiş yönündeki sıcaklık gradyanı ile orantılıdır. Buna göre,

$$\frac{Q_x}{A_y} \approx \frac{dT}{dx} \text{ olur. Orantı sabiti konulduğunda}$$



Şekil 3.2. Bir boyutlu ısı iletimi.

$$Q_x = -k_s A_y \frac{dT}{dx} \quad (3.1.)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntı ilk olarak 1822'de Fransız bilim adamı J.B. Fourier tarafından bulunduğu için, Fourier ısı iletim kanunu adını alır. Bu formülde:

Q_x :Birim zamanda geçen ısı miktarı, [W]

A_y :Isı geçişi yönüne dik yüzey alanı, [m²]

K_s :Isı iletim katsayısı, [W/m²K]

$\frac{dT}{dx}$:Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı, [K/m]

(-) :Eksi işareti ısı geçişi düşük sıcaklığın yönüne doğru olduğundan geçen ısı miktarı Q_x 'i pozitif yapmak için konulmuştur.

3.1.1.1. Isı iletim katsayısı

Isı iletim katsayısı (k), birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyinden birim zamanda, cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde geçen ısı miktarıdır. Isı iletim katsayısı her madde için farklı değerlerde olup, malzemenin bileşimine, gözenekli olup olmamasına, malzeme içindeki neme, ısının geçtiği yöne ve benzeri fiziksel ve metalurjik etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Bir cismin ısı iletim katsayısının, her yönde aynı olduğu cisimlere izotrop cisim denir. Isı iletim katsayısının birimi SI birim sisteminde [W/mK] dir. Uygulamalarda [kcal/mh°C] birimi de kullanılmaktadır. 1 kcal/mh°C, 1,163 W/mK' e eşittir. Maddelerin fiziksel ve metalurjik özelliklerinin, ısı iletim katsayısına etkileri için aşağıdakiler söylenebilir.

- Saf metallerde ısı iletim katsayısı sıcaklık arttıkça azalır.
- Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar.
- Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk ve sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı artar.
- Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından dolayı ısı iletim katsayısı artmaktadır.
- Sıvılarda sıcaklık arttıkça, çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte bazı sıvılarınki artmaktadır. Suyun ısı iletim katsayısı, suyun sıcaklığı yaklaşık 140°C'a ısıtılınca kadar artmakta daha sonra azalmaya başlamaktadır.
- Saf bir maddenin ısı iletim katsayısı, eğer içerisine başka bir bileşen ilave

edilirse azalır.

- Nem, genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayısını artırır.

Isı iletim katsayısı arttıkça ısı geçişi artmaktadır. Isı geçişinin iyi olmasının istenildiği durumlarda ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler, ısı geçişinin azaltılması istenildiği durumlarda ise, ısı iletim katsayısı küçük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin (cam yünü, strapor, cüruf yünü v.b.) ısı iletim katsayıları yaklaşık 0,03 ile 0,08 W/mK arasındadır. Örneğin cam yününün ısı iletim katsayısı 0,045 W/mK dir. Isıyı en iyi ileten metallerin ısı iletim katsayıları Tablo 3.1’de verilmiştir. Örneğin saf demirin $k=10$ W/mK, kazan sacının $k=52$ W/mK dir. Tablo 3.2’de kıyaslama yapabilmek için gazların, sıvıların ve katıların ısı iletim katsayılarının yaklaşık mertebeleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Isıyı en iyi ileten bazı metallerin 25 °C taki ısı iletim katsayıları.

Metaller	k (W/mK)
Gümüş	410
Saf bakır	395
Ticari bakır	372
Altın	310
Alüminyum	229

Tablo 3.2’den anlaşıldığı gibi ısıyı en çok saf metaller iletmekte bunlardan sonra alaşımlar, sıvı metaller, su, yağlar ve gazlar gelmektedir. Görüldüğü gibi gazlar ısıyı en az ileten maddelerdir. Buradaki sıvı metaller, sodyum ve potasyum gibi alkali metallerin sıvı fazlarını içermektedir.

Tablo 3.2. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayılarının mertebeleri.

Maddeler	Isı iletim katsayısı k, (W/mK)
Gazlar	0,002-0,2
Yağlar	0,1 - 1
Su	0,5 - 0,7
Sıvı metaller	10 – 100
Katılar (metal olmayan)	0,03 - 3
Katılar (alaşımlar)	20 -200

3.1.1.2. Isı Geçişi Problemlerinde Yapılabilecek Kabuller

Çoğu zaman, ısı geçişine birçok değişken etki ettiğinden, problemin çözümünü tam olarak yapmak hemen hemen imkansızdır. Bu gibi durumlarda bazı kabuller yapıp, problem basite indirgenerek çözülür. Bu kabuller bilgi ve tecrübeye göre yapılmalıdır.

Başlıca yapılabilecek kabuller aşağıda belirtilmiştir:

- 1) Cismin termofiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı,
- 2) Isı geçişinin kaç boyutlu olduğu; Örneğin;
 - Bir boyutlu
 - İki boyutlu
 - Üç boyutlu
- 3) Cismin içinde sıcaklık dağılımının olup olmadığı,
- 4) Cismin geometrisinin belirlenmesi; Örneğin;
 - Düzlem duvar (levha)
 - Silindirik yüzeyler
 - Küresel yüzeyler
- 5) Isı geçişinin zamana bağlı olup olmadığı; Örneğin;
 - Sabit rejim hali (Devamlı rejim, Kararlı rejim)
 - Zamana bağlı rejim hali (Geçici rejim, Kararsız rejim)
- 6) Cismin içinde ısı üretiminin olup olmadığı hal [Halıcı, 2001].

3.2. Sonlu Farklar Yöntemi ile Isı İletimine Sayısal Çözümler

Pratikte rastlanan endüstriyel problemlerde katı cismin şekli ve sınır şartları bazen karmaşık olabilir ve analitik çözümlerin uygulanmasına imkan tanımaz. Örneğin, bir türbin kanatçığının sınırları koordinat eksenlerine paralel olmadığından belli analitik yöntemler ile sıcaklık dağılımını bulmak için tam bir çözüm verilemez. Böyle bir durumda, katı cisim idealize edip mevcut analitik yöntemlerden birisi uygulanarak problemin çözümü mümkün olabilir. Katı cismin şekil ve sınır şartlarının karmaşık olduğu durumlarda, ısı iletimi problemlerini çözmek için yaklaşım yöntemleri kullanılır. Karmaşık şekilli katı cisimlerde ısı iletimi problemlerinin etüdü için en uygun yöntem sonlu farklar yöntemidir. Makine elemanlarının bir çoğu karmaşık geometrilere sahiptir. Bu elemanlar içerisinde ısıl gerilmelerin hesabı, önce sıcaklık dağılımının bulunması ile mümkündür. Bilgisayarların kullanmasıyla, sonlu farklar yöntemi ile çözümlerin önemini artırmıştır.

3.2.1. Sürekli Rejimde Formülasyon Ve Çözüm

Diferansiyel Denklem : Isı iletimi problemlerinin sonlu farklar yöntemi ile formülasyonunda temel prensip, sürekli sıcaklık dağılımını gösteren diferansiyel denklemi, katı cisim içerisinde belirli noktalarda sıcaklık dağılımını sağlayan sonlu farklar denklemi cinsinden yazmaktadır. İki boyutlu kartezyen sistemlerde:

Katı cisim içerisinde Şekil 3.3'de gösterildiği gibi x ve y yönünde bir kafes meydana getirilir.

İki boyutlu ısı iletiminin sürekli rejimde diferansiyel denklemi $\nabla^2 = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$ genel denkleminde;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3.2)$$

olarak yazılır. Bu denklemi sonlu farklar cinsinden yazabilmek için bazı yöntemler vardır. Bunlardan bir tanesi türevlerin (sıcaklık basamaklarının) ayrı ayrı sonlu farklar cinsinden ifade edilmesidir. Şekil 3.3.(b)'de gösterilen m,n noktasında $\frac{dT}{dx}$ türevi, ileri sonlu fark cinsinden;

$$\frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{T(x + \Delta x, y) - T(x, y)}{\Delta x} \quad (3.3.)$$

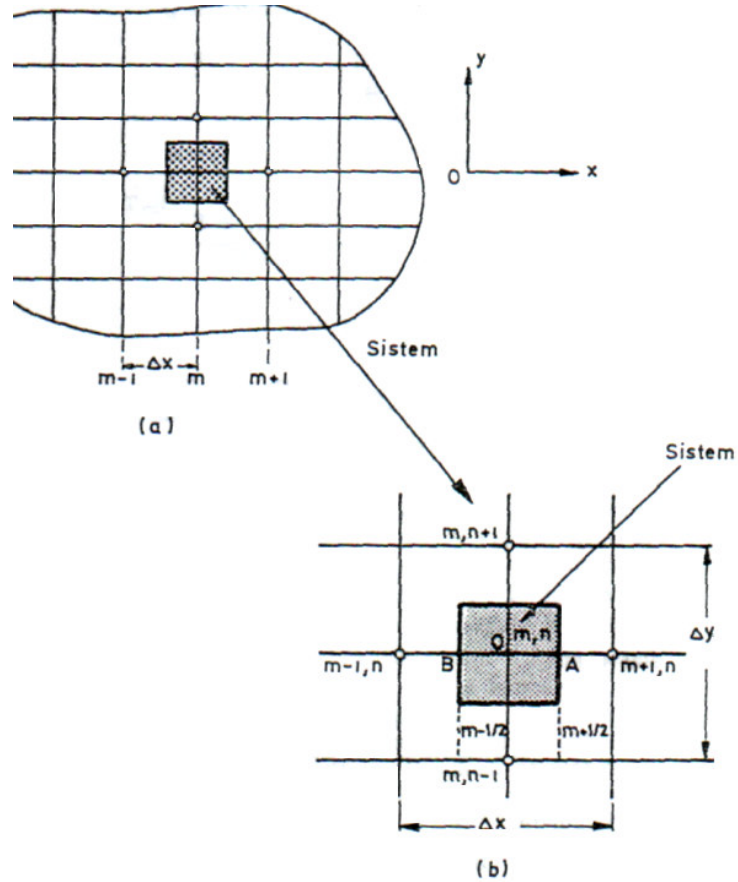
olarak yazılır. Şekil 3.3.b'de görüleceği gibi, x istikametinde Δx artımlarının sayısını m, y istikametinde Δy artımlarının sayısını da n ile gösterirsek (3.3) türevi

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m+1/2,n} \approx \frac{T(x + \Delta x, y) - T(x, y)}{\Delta x} = \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} \quad (3.4.)$$

ve geri fark cinsinden ise

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m-1/2,n} \approx \frac{T_{m,n} - T_{m-1,n}}{\Delta x} \quad (3.5)$$

olarak yazılabilir.



Şekil 3.3. Sonlu farklar kafesi.

İkinci türevin tarifinden, $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ ise merkezi fark cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{1}{\Delta x} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m+1/2,n} - \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{m-1/2,n} \right] \quad (3.6)$$

(3.4) ve (3.5) değerleri (3.6) ifadesinde yerlerine konursa;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{m+1,n} - 2T_{m,n} + T_{m-1,n}}{(\Delta x)^2} \quad (3.7)$$

elde edilir. Benzer şekilde,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \approx \frac{T_{m,n+1} - 2T_{m,n} + T_{m,n-1}}{(\Delta y)^2} \quad (3.8)$$

yazılır. Hesapları kolaylaştırmak için $\Delta x = \Delta y$ seçilir. Eşitlik (3.7) ve (3.8) ifadeleri eşitlik (3.2) diferansiyel denkleminde yerlerine konursa ve $\Delta x = \Delta y$ seçilirse;

$$T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n-1} + T_{m,n+1} - 4T_{m,n} = 0 \quad (3.9)$$

elde edilir.

(3.9)'daki sonlu farklar yöntemi, sıcaklığın x, y, z ve zamanın fonksiyonu olması halinde de uygulanır.

Problemin fiziki yönünü öğretmesi bakımından, boyutları $\Delta x, \Delta y, b$ olan sisteme, genel ve özel kanunları uygulanarak (3.9) denklemi tekrar elde edilebilir.

İçerisinde ısı üretimi olmayan Şekil 3.3.b'de gösterilen hacimsel elemana, termodinamiğin birinci kanununu $\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$ Fourier ısı iletimi kanunu ile beraber uygulanır; örnek olarak, m, n noktası ile m, n-1 noktası arasında ısı iletimi için, Fourier ısı iletimi Kanunundan;

$$Q = \lambda \Delta y b \frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta x} \text{ yazılır. Diğer üç nokta için de benzer ifadeler yardımı}$$

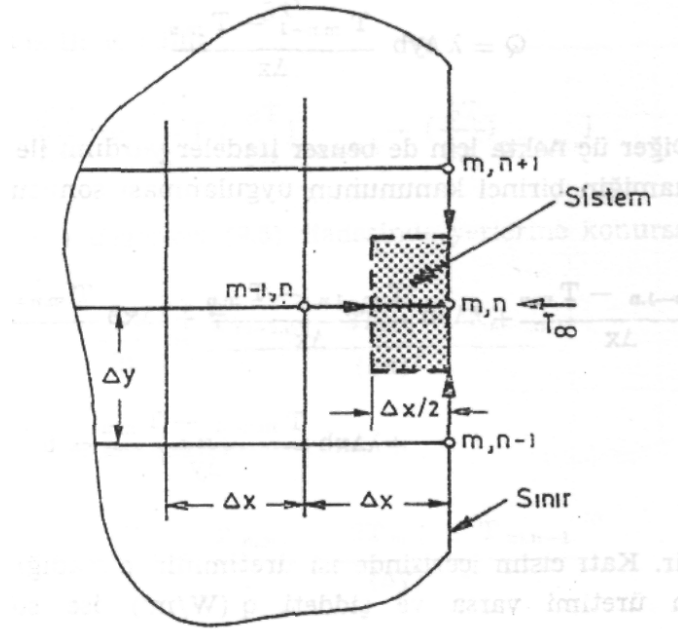
ile elemana termodinamiğin birinci kanununu uygulanması sonucu;

$$\begin{aligned} & \lambda \Delta y b \frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} + \lambda \Delta y b \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} + \lambda \Delta x b \frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta y} \\ & + \lambda \Delta x b \frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta y} = 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

elde edilir. Katı cisim içerisinde ısı üretiminin olmadığı varsayılır. Isı üretimi varsa ve şiddeti q (W/m^3) ise sol tarafa q , Δx , Δy , b terimlerinin ilavesi gerekir.

Katı cismin homojen ve izotropik olduğu, $\Delta x = \Delta y$, ve $b = 1$ varsayılırsa (3.10) ifadesinden (3.9) ifadesi tekrar elde edilir. Kafes içerisinde her kesim noktası için (3.9) denklemi tekrar yazılır. Problem, elde edilen bu denklem takımının aşağıda belirtilecek sınır şartları altında çözümüdür. Analitik çözüm ile, sayısal çözüm arasındaki esas fark, birincisinde sıcaklığın katı cisim içerisinde her noktada, ikincisinde ise yalnız seçilmiş noktalarda, yani kafes içerisinde kesim noktalarında geçerli olmasıdır.

Sınır şartları: İki boyutlu sistem için (3.9)'daki denklem katı cismin içerisinde, kafesin her kesim noktası için geçerlidir. Sınırlara yaklaştıkça, sınır sıcaklıklarının hesabı için sınır şartlarının bilinmesi gerekir. Şimdi sınır şartlarının sonlu farklar cinsinden nasıl yazılacağı incelenirse:



Şekil 3.4. Konveksiyon sınır şartı.

a) Akışkan sıcaklığının ve film katsayısının verilmiş olduğu sınır: Şekil 3.4’de verilmiş olan sisteme termodinamiğin birinci kanununu, Fourier ısı iletimi ve Newton’un soğuma özel kanunları ile beraber uygulanırsa;

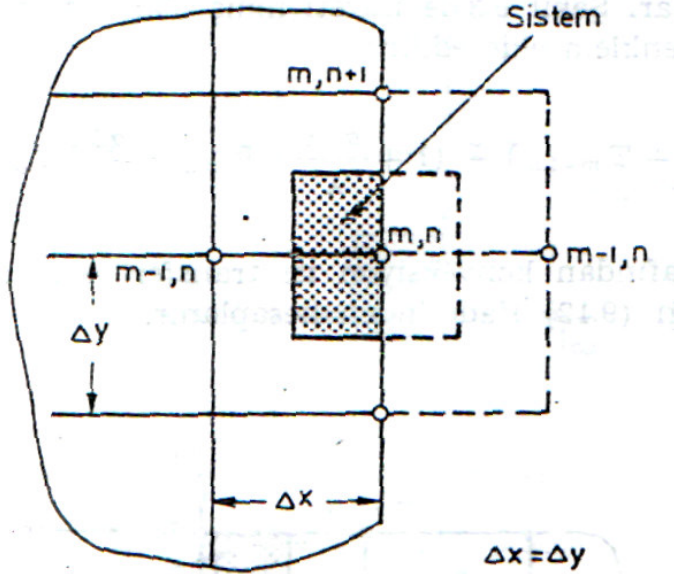
$$\begin{aligned} \lambda \Delta y b \frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} + \lambda \frac{\Delta x}{2} b \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta y} \\ + \lambda \frac{\Delta x}{2} b \frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta y} + \alpha b \Delta y (T_{\infty} - T_{m,n}) = 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

elde edilir, b, katı cismin üçüncü boyuttaki uzunluğunu göstermektedir. Eğer $\Delta x = \Delta y$, $b = 1$ ve katı cismi homojen ve izotropik kabul edilirse (3.11) denklemi;

$$\frac{1}{2} (2T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}) + \frac{\alpha \Delta x}{\lambda} T_{\infty} - T_{m,n} \left(\frac{\alpha \Delta x}{\lambda} + 2 \right) = 0 \quad (3.12)$$

olur. (3.12) denklemi, belirtildiği gibi ancak düzlem bir yüzeyde konveksiyon sınır şartı olduğu zaman uygulanır ve $T_{m,n}$ yüzey sıcaklığı bu ifadeden hesaplanır. Eğer Şekil 3.5’de gösterildiği gibi sınır bir köşeden ibaret ise, termodinamiğin birinci kanunu ile

noktasında simetriğinin bulunduğu varsayılır. O zaman denklem (3.10) dan (3.14) denklemi doğrudan doğruya da yazılabilir.



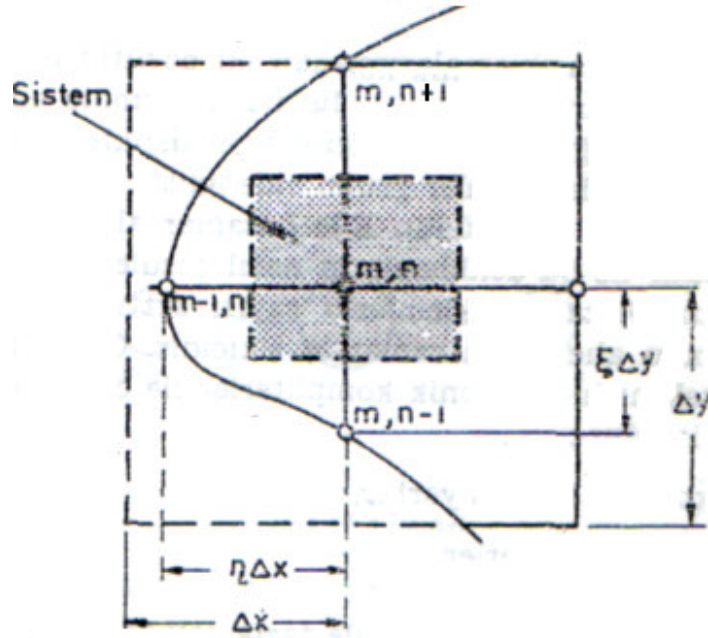
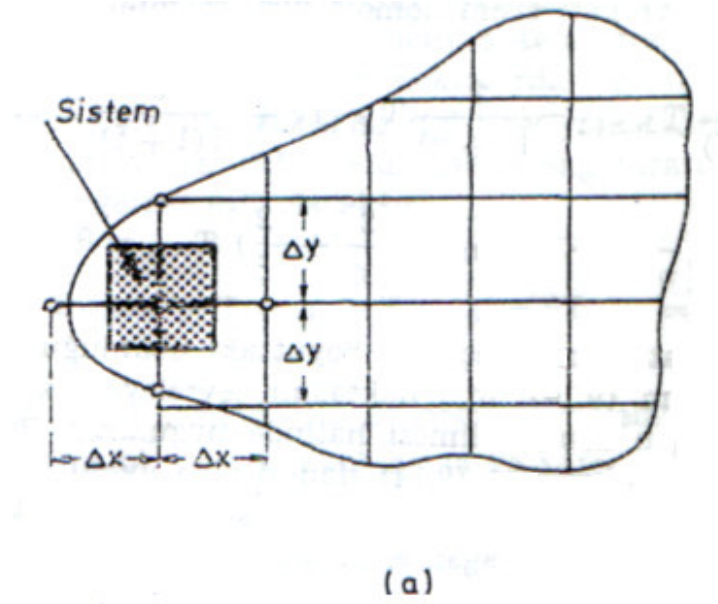
Şekil 3.6. Yalıtılmış sınır şartı.

d) Sınır ısı akısı: Sınırdaki ısı akısı verilmiş ise (3.11) denkleminde son terim yerine $q_w b \Delta y$ yazılır. Burada q_w sınırdaki verilmiş ısı akısıdır.

e) Eğri sınırlar : Sonlu - farklar yönteminin esas faydası karmaşık geometrik şekilleri, hata katı cisimler içerisinde sıcaklık dağılımının bulunmasında kullanılabilmesidir. Eğer katı cismin sınır yüzeyleri koordinat eksenlerine paralel ise ve sınır şartları basit sınır şartları ise, o zaman analitik yöntemlerle sıcaklık dağılımı bulunur. Fakat Şekil 3.7’de gösterilen bir katı cisim için analitik yöntem ile sıcaklık dağılımını bulmak imkansızdır. Böyle bir durumda eğri kenarlı kareleri düz kenarlı karelere yaklaştırarak bundan önceki yazılan denklemler yazılabilir. Fakat gerçek sınır için daha doğru bir çözüm aşağıdaki şekilde elde edilir.

İki boyutlu ısı iletimi varsayımı ile (3.9) denklemi katı cismin iç noktaları için geçerlidir. Fakat sınıra yakın olan noktalar için yeni denklemler elde etmek gerekir. Şekil 3.7’de verilmiş olan örnek, yöntemin prensibini göstermesi bakımından yeterlidir. Şekil 3.7b’de sınıra yakın m,n noktası etrafındaki bölge gösterilmiştir. Sınır üzerinde

her noktada sıcaklığın verildiği varsayılırsa: Boyutları $\left(\frac{\Delta x}{2} + \frac{\eta \Delta x}{2}\right)$ ve $\left(\frac{\Delta y}{2} + \frac{\xi \Delta y}{2}\right)$ olan elemana termodinamiğin birinci kanunu ve Fourier ısı iletim kanununu uygulanırsa:



Şekil 3.7. Eğri sınırlar.

$$\lambda \frac{(1+\eta)\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta y} \right) + \frac{\lambda(1+\eta)\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\xi\Delta y} \right) \\ + \lambda \frac{(1+\xi)\Delta y}{2} \left(\frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\eta\Delta x} \right) + \frac{\lambda(1+\xi)\Delta y}{2} \left(\frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta y} \right) = 0$$

eğer $\Delta x = \Delta y$ ve katı cisim homojen ve izotropik ise

$$\frac{2}{(1+\xi)}T_{m,n+1} + \frac{2}{(1+\eta)}T_{m+1,n} + \frac{2}{\xi(1+\xi)}T_{m,n-1} + \frac{2}{\eta(\eta+1)}T_{m-1,n} - \left(\frac{2}{\eta} + \frac{2}{\xi} \right)T_{m,n} = 0 \quad (3.15)$$

elde edilir. Katı cismin üçüncü boyuttaki uzunluğu birim kabul edilmiştir. Denklem (3.15), m,n noktasını çevreleyen iki kolun, eğri sınır tarafından kısa kesilmesi halinde uygulanır. Bu kollardan yalnız birisi kısa kesilirse (3.15) ifadesi yine uygulanır; fakat burada $\xi = 1$ dir. $\eta = 1$ ve $\xi = 1$ ise (3.15) denkleminde denklem (3.9) elde edilir [Kakaç, 1998].

3.3. Plastikler

Oldukça yeni olan plastikler, günümüzde gerek miktar gerekse çeşit bakımından büyük gelişme göstermektedirler. Hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına, iyi bir yüzey kalitesine ve görünüşe sahip polimerler, makine, uçak, elektrik, elektronik, ev aletlerî gibi sanayinin hemen hemen bütün dallarında gün geçtikçe daha çok kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, tekstil, mobilya ve inşatlarda, kaplama ve sentetik yapıştırıcı olarak kırtasiye ve ambalaj malzemesi yapımında ve diğer birçok alanlarda ucuzluk, dayanıklılık ve kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı çok kullanılmaktadır. Ayrıca insanların dokuları ve organları arasında plastikten yapılan yapay doku ve organlar gittikçe daha çok kullanılmaktadır [Akkurt,1991].

3.3.1. Plastiklerin Tanımlanması

Moleküllerin kullanılmasına dayanan, ısı ve basınç etkisiyle kalıba dökülerek, fişkırtılarak veya akıtılma yollarıyla biçimlendirilebilen yapay organik maddelerdir.

3.3.2. Plastiklerin Elde Edilmeleri ve Genel Özellikleri

Daha çok petrol, belirli ölçüde de kömür ve diğer kaynaklara dayalı olan plastik üretiminde tepkime yürüdükçe, başlangıç maddelerinin özellikleri bu süreçte yavaş yavaş değişir. Polimerleşme sona erince de başlangıç maddelerinden tamamen farklı yeni bir ürün oluşur. Örnek olarak etilen gazından katı bir plastik olan polietilenin elde edilmesi gösterilebilir [Yaşar,2001].

Plastikler en son ortaya çıkan malzeme gruplarından olmasına rağmen, günlük hayatımıza en fazla giren malzemelerden birisidir. Kısa sürede yaygınlaşmalarının ve ekonomik önem kazanmalarının nedeni olarak plastiklerin özelliklerinin ve çeşitlerinin çok geniş bir aralıkta değişmesi gösterilebilir.

Plastiklerin tipik özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Özgül ağırlıkları azdır.
- Çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptirler.
- Kolay şekil verilebilir ve kolay işlenebilirler.
- Katkı maddeleri ile özellikleri değiştirilebilir.
- Isı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür.
- Saydamdırlar.
- Korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar.
- Yeniden işlenip kullanılır hale getirilebilirler.
- Ucuz bir şekilde üretilebilirler [Akyüz, 2001].

Plastiklerin genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

a) Plastiklerin Görünüşü : Plastiklerin çoğu renksizdir. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Pigmentlerle opak görünüş elde edildiği gibi, çözünür organik boyalarla-şeffaf bir görünüş de elde edilebilir.

b) Plastiklerin Yüzey Sertliği : Plastik malzemelerin bir dezavantajı, yüzeylerinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncinin az olmasıdır. Plastikler cam, seramik ve metallere göre daha az serttirler. Opak, renklendirilmiş plastikler, yüzeyi boya ile kaplanmış plastiklerden daha serttir.

c) Plastiklerin Yoğunluğu : Plastik malzemelerin yoğunlukları, diğer çoğu malzemelerin yoğunluklarından daha azdır. Plastiklerin yoğunluğu $0,8\sim 2,5 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Bundan dolayı ağırlığın önemli olduğu yerlerde plastikler kullanılmaktadır.

d) Isısal Özellikler : Çoğu plastikler geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama gösterirler. Plastiklerin önemli bir ısısal özelliği ısı iletkenliğidir. Genellikle plastiklerin ısı iletkenliği düşüktür. Plastiklerin ısı iletkenliklerinin düşük olmasından dolayı, sürtünme veya tekrarlanan gerilmelerin sebep olduğu sıcaklık büyümesi, malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısı ı yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı azaltmak için, plastik malzemelere katkı maddeleri

ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları veya çeşitli elyaflar, katkılı plastiklerin ısı iletkenlikleri en az 10 kat daha yüksektir. Genellikle termoplastikler yük uygulanmadığı zaman (kendi ağırlıkları altında) 65-120°C da, bazı çeşitleri ise 260°C gibi yüksek sıcaklıklarda bozulurlar. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda düşük bir yük altında kullanılmalıdırlar. Termosetler daha sert ve ısıya daha dayanıklıdırlar. Sıcaklık artarsa belirli bir sıcaklığa kadar sert kalırlar fakat yüksek sıcaklıklarda kömürleşir bozulurlar. Genellikle termosetler 150°C~230°C arasındaki sıcaklığa devamlı maruz kalabilirler. Bazı özel termoset çeşitleri 260°C ye kadar dayanabilir. Asbest ve cam dolgu gibi dolgu malzemeleri plastiklerin ısı iletkenliklerini artırır.

e) Kimyasal Özellikler : Plastikler, metal malzemelere göre kimyasal alanlara daha dayanıklıdırlar. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler, örneğin polietilen ve polipropilen asit depolama kabı imalinde kullanılmaktadır. Termoplastiklerin çoğu organik solventlerin etkisi altında çözünme veya şişme gösterirler ve kuvvetli asit veya alkalilerden kimyasal olarak etkilenirler.

Termosetler, termoplastiklere göre kimyasal çevreye daha az duyarlıdırlar. Kimyasal çevre ile birlikte gerilmenin etkisi, plastik malzemenin yüzeyinde gerilmenin konsantre olduğu zayıf bölgeler oluşturur. Örneğin, eğilme ve benzeri gerilmeler malzeme yüzeyinde çatlaklara sebep olur. Kimyasal madde bir çatlak içine sızar ve kimyasal etki yaparak bozunmayı başlatır.

Polimerlerin kimyasal dirençleri reaktif maddenin cinsine ve konsantrasyonuna, polimerik yapıya, sıcaklığa, uygulanan gerilmeye, yüzey pürüzlüğüne ve morfolojisine bağlıdır. Kısa süreli polimer kimyasal çevre etkileşimleri, çekme deneyleriyle ve uzun süreli etkileşimler ise sürünme deneyleriyle belirlenirler.

f) Alevlenme (yanma) Özellikleri : Plastikler alev karşı çok hassastırlar. Genellikle termoplastiklerin çoğu alevle veya aşırı ısı ile temas ettikten sonra kullanılmaz hale gelirler. Bir çok plastik, alev uzaklaştırıldıktan sonra yanmaya devam etmez. Bir plastik malzemenin alevlenme kabiliyeti ölçülebilir, fakat genellikle bu özellik yanmanın özel şartları ile ilgili birçok faktöre bağlıdır.

Örneğin, plastikleştirici ihtiva etmeyen, katı PVC, alev uzaklaştırıldığında kendi kendini söndürür. Halbuki plastikleştiricisiz köpük PVC havada yanmaya devam eder.

g) Hava Etkisiyle Bozulma: Polimerlerin zamanla yıpranmasına malzemenin kimyasal bozulması neden olmaktadır. Bu olay bir veya birçok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Bunların, arasında en önemli olanlar termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal faktörlerdir. Hava etkisiyle plastiklerin yıpranması; radyasyon, uçan parçacıkların meydana getirdiği aşınma, yağmur veya dolu erozyonu, ve hava kirliliğinin kimyasal etkisinin bir neticesidir. Genelde iklim şartları plastiğin görünüşünü değiştirir, özellikle renginin solmasına veya bozulmasına neden olur

h) Elektriksel Özellikler: Elektriksel özellik bakımından en önemli faktör elektriksel iletkenliktir. Genelde plastiklerin elektrik iletkenlikleri zayıftır.

Polimeri yapısında zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirini kuvvetli etkilemesi, yüksek kristalinite ve yönlenme olayları, elektronların serbest hareketlerini engellemekte ve plastiklerin düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır. Elektrik iletkenliğini ifade etmek için bunun tersi olan elektrik direnç terimi de kullanılmaktadır [Akkurt,1991].

3.3.3. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastik malzemeler termoset ve termoplastik olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

Termoset malzemeler sıcaklık ve basınç uygulamak suretiyle kullanılırlar. Malzeme kalıplandıktan sonra tekrar eski haline getirilemez. Termoplastikler ise kalıplandıktan sonra eski haline getirilebilir.

Kimyasal reaksiyon, malzemenin kalıplanması esnasında veya diğer işlemlerde sertleşir ve bu sertleşme artık sabitleşmiştir. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklıdır. Termoset plastikler kimyasal değişime uğradığı zaman bir daha kalıplama amaçlarında kullanılamazlar.

3.3.3.1. Termoset Malzemeler

Termoset plastikler geri dönüşümü olmayan, yani kalıplama esnasında kimyasal değişime uğrayarak özelliğini kaybeden plastiklerdir.

3.3.3.2. Termoplastikler

Bu malzemeler ısıtıldığı zaman kalıplanabilme ve soğutulduğu zaman da katılaşabilme yeteneğine sahiptirler. Termoset malzemelerde olduğu gibi kalıplama sırasında kimyasal bir değişikliğe uğramazlar. Kimyasal yapısı değişmez sadece fiziksel değişikliğe uğrar. Bu sebeple malzeme, toz haline getirilmek için tekrar öğütülebilir, ısıtılabilir ve kalıplanabilir [Erci,1985].

Tablo 3.3. Bazı Polimerik Malzemelerin Termal Özellikleri.

Polimer	Özgül Isı (kJ/kg.K)	İletkenlik (W/m*K)	Yoğunluk (gr/cm ³)
ABS	1,40	0,12	1,07
ASETAL	1,45	0,23	1,42
SELÜLOZ ASETAL	1,51	0,25	1,28
PA 66	1,67	0,25	1,14
POLİKARBONAT	1,26	0,19	1,21
POLİETİLEN YÜKSEK Y.	2,30	0,49	0,96
POLİETİLEN ALÇAK Y.	2,30	0,34	0,92
AKRİLİK	1,47	0,2	1,18
POLİPROPİLEN	1,93	0,14	0,91
POLİSTREN	1,34	0,12	1,06
PVC	1,00	0,25	1,41

Bir parçanın kalınlığına, o parçadan istenilen mukavemete göre karar verilir. Tablo 3.3'deki polimerik ve polimerik olmayan malzemelerin termal özellikleri verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere metaller, cam ve katkı maddeleri polimerlerin özellikleri ile karşılaştırıldığında polimerlerin özgül ısısı yüksektir.

Genelde cam fiber, toz katkı maddeleri termoplastiğin çekme kuvvetini, sertliğini ve boyutsal dengesini gerçekleştirmek için katılır. Bunun sonucu olarak da karışım yapılmış kompozit plastiklerin ısı kapasitesi de ana plastikten daha düşüktür. Erime sıcaklığı biraz yüksektir. Fakat bu karışımların ısı ihtiyaçları daha azdır. Daha da önemlisi, soğuma esnasında daha az ısının geri alınacak olmasıdır [Turaçlı, 2000].

3.4. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

3.4.1. Genel Bilgi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi plastik parçaların üretiminde en önemli yöntemdir. Bu yöntem, ham maddeyi tek bir işlem sonucunda mamule dönüştürebildiği için kütle üretimine uygundur. Çoğu durumlarda bitirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.

Yöntemin önemli bir avantajı da karmaşık geometrilere sahip parçaların otomatik hale getirilmiş bir işlemle tek bir aşamada elde edilebilmesidir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş parçalar günlük yaşamımızda oyuncak, otomotiv, beyaz eşya ve elektronik sektörlerindeki uygulamalarıyla bir çok yerde karşımıza çıkmaktadır.

Yöntemin en önemli elemanları kalıp ve enjeksiyon makinasıdır. Kalıp makina tarafından kapatılan en az iki parçadan meydana gelir. Her kalıp plastik malzemenin içine dolduğu ve parçanın son şeklinin verildiği bir kalıp boşluğuna sahiptir. Makina ise plastik ünitesi ve kilitleme ünitesi ve kontrol ünitesi olarak üç temel kısımdan oluşur.

3.4.2 Kalıp

Kalıp, enjeksiyon kalıplama işleminin kilit elemanıdır. Bir veya daha fazla kalıplama boşluğuna sahip olan kalıp her parça geometrisine göre ayrı olarak yapılmalıdır. Bir enjeksiyon kalıbının yerine getirmesi gerekenler aşağıda belirtilmiştir:

- Ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna veya boşluklarına iletmek
- Ergimiş malzemeye parçanın son şeklini vermek
- Ergimiş malzemeyi soğutmak
- Bitmiş parçayı kalıptan çıkartmak.

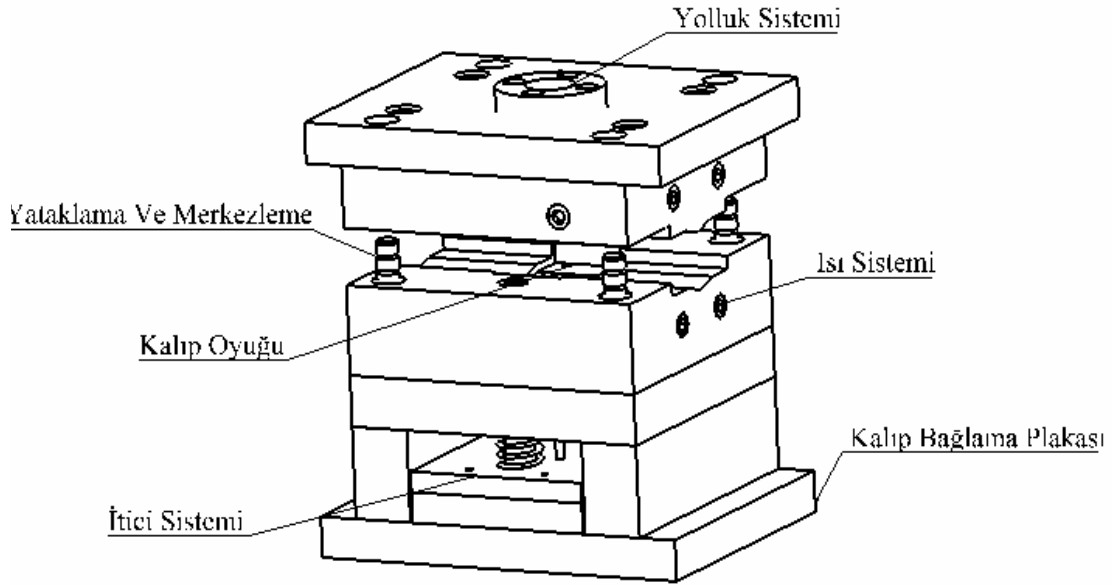
Kalıbın yukarıda sayılan işlemleri yapan fonksiyonel grupları ise şunlardır:

- Yolluk sistemi
- Kalıp boşluğu
- Soğutma sistemi
- İtici Sistemi

Bu fonksiyonel kısımlardan ayrı olarak kalıbın işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için ek gereksinimler vardır. Kalıp, enjeksiyon makinasının plakalarına bağlanabilmelidir. Hem kalıp taşıyıcı plakalarının kapanmasını kolaylaştırmak, hem de plastik ünitesindeki silindirin ergimiş malzemeyi kalıp içine gönderen kısmının kalıbın girişine tam olarak oturmasını sağlamak için, kalıbın hareketli veya sabit tarafında merkezleme elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu merkezlemeyi, sabit kalıp tarafında merkezleme burcu ve kalıp üzerindeki merkezleme elemanları yapar.

Kalıplanan parçayı şekillendirmenin yanı sıra kalıbın önemli bir görevi daha vardır. Bu görev üretilen parçanın kalıptan çıkabilmesidir. Bu ise kalıbın kolayca açılan, tam ve doğru olarak kapanabilen en az iki kısımdan meydana gelmesi ile mümkündür. Bunun için kalıp parçaları birbirlerine göre kılavuzlanmalıdır.

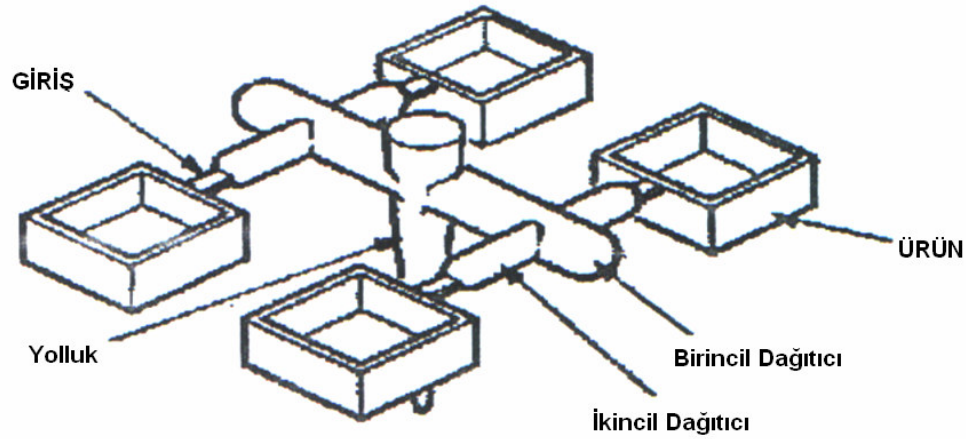
Parça geometrileri değişiklik gösterdiği için kalıp tasarımları da çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Şekil 3.8’de bir enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi ve ana elemanları yer almaktadır.



Şekil 3.8. Bir plastik enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi.

3.4.2.1 Yolluk Sistemi

Yolluk sisteminin görevi plastik ünitesinden gelen ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna aktarmak veya eğer birden fazla kalıp boşluğu varsa bunlara dağıtmaktır. Şekil 3.9’da yolluk sisteminin elemanları görülmektedir.



Şekil 3.9. Yolluk sisteminin elemanları.

Enjeksiyon işlemi suresince plastik ünitesinin lülesi kalıbın giriş kanalı ile kapalı bir şekilde temas halindedir ve ergimiş sıcak malzemeyi kalıp girişinin içine basar. Birden fazla kalıp boşluğunun olduğu durumlarda, ergimiş malzeme ana yolluk kanalına ulaşır ve buradan da yolluklar ve kalıp boşluğu girişleri ile kalıp boşluklarına dolar. Kalıp boşluğu girişleri yolluklar ile kalıp boşluğunu çok küçük bir kesit ile birbirlerine bağlar. Bu kesitin küçük olmasının bir sebebi kalıplama işlemi sonucunda yolluklar parçadan ayrılırken kalan izin küçük olmasını sağlamak, bir diğer ise yolluklardan akarken, soğuyan ergimiş malzemenin sürtünmeyi arttırmak suretiyle bir miktar daha ısınmasını sağlamaktır.

Birden fazla kalıp boşluğunun olduğu kalıplarda yolluk sistemi, bütün kalıp boşluklarının aynı sıcaklık ve basınçta aynı anda dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi takdirde bir çevrimde üretilen parçalar farklı kalite ve özelliklerde olabilecektir.

Giriş, birleşme hatlarının oluşmasını önleyecek veya minimize edecek şekilde yerleştirilmelidir. Birleşme hatları, kalıp boşluğunun birden fazla girişle

doldurulmasıyla veya akışın etrafından dolaşmak zorunda kaldığı engeller olduğunda meydana gelir. Eğer birleşme iyi olmazsa sonuçta birleşme hatları boyunca görünüşü bozan izler ve mekanik özelliklerde bir kötüleşme söz konusu olur. Malzemede soğuma sırasında çekme meydana geleceği için eğer mümkünse girişin kalıplanan parçanın cidar kalınlığı en büyük olan bölgesine konulmasına dikkat edilmelidir. Çekmeleri kompanze edebilmek için enjeksiyondan sonraki safhada kalıp boşluğunun her yerine ilave ergimiş malzeme gönderilmelidir. Bununla beraber bu işlem sadece malzeme tamamen katılaştığı sürece yapılabilir. Bu yüzden kalın cidarlı bölgeler en son katılaştığından enjeksiyondan sonraki safhada en uzun süre buradan ergimiş malzeme kalıp içine aktarılabilir. Bu yüzden de girişler buralara konumlandırılmalıdır.

Diğer göz önüne alınması gereken bir nokta da girişten akan ergimiş malzemenin akma yönüdür. Ergimiş malzeme direk kalıp boşluğunun içine açık bir hüzmeye şeklinde doldurulmamalı, bunun yerine girişteki enjeksiyon noktasının tam karşısında bir duvar olacak şekilde veya akış, bir duvar boyunca olacak şekilde doldurulmalıdır. Eğer açık bir hüzmeye şeklinde malzeme girişi olacak olursa parçanın yüzeyinde görünür izler meydana gelir.

3.4.2.2. Kalıp Boşluğu

Kalıp boşluğu ergimiş malzemeyi yayar, onu şekillendirir ve kalıplanması istenen parçanın son şekline gelmesini sağlar. Kalıp boşluğu kalıplanması istenen parçanın negatif şeklinden ibarettir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalar genellikle girintilerden oluşan karmaşık şekilli parçalardır. Bu girintilerin bir kısmı ancak maçalar ile oluşturulabilir. Bu tür durumlarda kalıp boşluğu kalıp kapandığında kalıplanacak parçanın geometrisini oluşturan ve maça olarak adlandırılan hareketli kalıp duvarlarından meydana gelir. Bu şekilde doğrusal veya dönerek hareket eden maçalar parçanın kalıptan çıkması için gereklidir.

Üretilen parçanın özellikleri hem kalıp tasarımına hem de işlem koşullarına bağlıdır. Yolluk sistemindeki ve kalıp boşluğundaki akma işlemi, parçadaki iç gerilmelerin olduğu kadar polimer makromoleküllerinin oryantasyonunu da etkiler. Kavite içinde meydana gelen tüm bu olaylar parça kalitesini ve özelliklerini etkiler.

3.4.2.3. İtici Sistemi

Bitmiş parçanın kalıptan çıkabilmesi için kalıp en az iki parçadan meydana gelir. Bunun için, kalıp açılma çizgisi veya ayırma yüzeyi adı verilen bir hat boyunca açılır. Bitmiş parça, açılmış kalıp içerisinden elle alınabilir ya da bir itici sistemi ile çıkartılabilir. Geometriye bağlı olarak iticiler pim veya halka şeklinde, kalıp içine yerleştirilmiş olup, kalıp açıldıktan sonra ileri doğru itilirler.

Bir enjeksiyon kalıbının her iki yarısı kapanmak zorunda olduğu için birbirlerini tam olarak karşılamalıdır. Kalıp yarılarının doğru şekilde kapanmasını sağlamak için bir veya birden fazla kalıp elemanı kullanılır. Kalıp yarıları ergimiş malzemenin basınç altında kalıptan dışarı çıkmaması için sıkı şekilde kapanmalıdır. Ancak diğer taraftan da kalıp boşluğu içindeki hava da, ergimiş malzeme kalıp boşluğu içinde akarken dışarı çıkabilmelidir. Eğer bitmiş parça maçalarla elde edilecek girintilere sahipse kalıptan çıkarılması çok daha zordur. Bu durumda parça, kalıp ikiden fazla hareketli parçadan yapılmışsa kalıptan çıkarılabilir.

3.4.2.4. Soğutma Sistemi

Soğutma sisteminin görevi, ergimiş malzemenin katılaşıp kalıptan çıkmasını sağlamaktır. Soğutma işlemi hem parça kalitesini hem de soğuma zamanını etkilediği için çok önemlidir.

Termoplastiklerde ergimiş malzeme 200-300 °C arasındaki ergime sıcaklığından 50~110°C sıcaklığına soğutulmalıdır.

Malzemenin ergime sıcaklığından kalıptan çıkma sıcaklığına soğuması için geçen süre olan soğuma süresi, enjeksiyon işlemi çevrimi içinde büyük bir yer tutar ve bu nedenle de işlemin üretim maliyetlerine etkisi çok büyüktür.

Termoplastikler için kısa soğuma zamanları, parçanın kalıptan çıkma sıcaklığının yüksek olması kadar, düşük ergime ve kalıp duvarı sıcaklıklarının mümkün olduğu kadar yüksek olmasına da bağlıdır. Yine de üretilecek parçanın kalitesi bu sıcaklıklar için belirli sınırlar koyar. Bu sınırlamalar şunlardır;

- Düşük ergime sıcaklıkları kalıp boşluğunun dolması esnasında meydana gelen basınç kayıplarını artırır ve birleşme hatlarının düşük kalitede olmasına neden olur.

- Düşük kalıp duvarı sıcaklıkları parçanın yüzey kalitesinin bozulmasına yol açar.

- Eğer parçanın kalıptan çıkma sıcaklığı çok yüksek ise, itici pimler parçada plastik deformasyona yol açabilir.

Soğutma sisteminden beklenen diğer bir özellik kalıp boşluğu içinde homojen duvar sıcaklığını sağlayabilmesidir.

Homojen soğutmanın anlamı soğutucunun girdiği ve çıktığı yerler arasında meydana gelen kalıp duvar sıcaklığı farkının minimum olmasıdır. Kalıp duvarı ile soğutma kanalları arasındaki homojen olmayan mesafelerden kaynaklanan kalıp duvarındaki sıcaklık farkları başka sorunlara da yol açabilir.

Soğuma zamanı en yüksek kalıp duvarı sıcaklığına göre saptandığından ve dahası kalıp duvarı sıcaklık farkları parçada kaliteyi düşüren çarpılmalara yol açacağından sabit duvar sıcaklığının elde edilmesi gereklidir.

Kalıp, soğutma sistemi tarafından soğutulur. Termoplastik kalıplar genellikle su ile soğutulurlar. Konvansiyonel sulu soğutma sistemleri 14~140°C arasında kullanılırlar ve eğer daha yüksek kalıp duvarı sıcaklıkları gerekli ise yağ kullanılmalıdır.

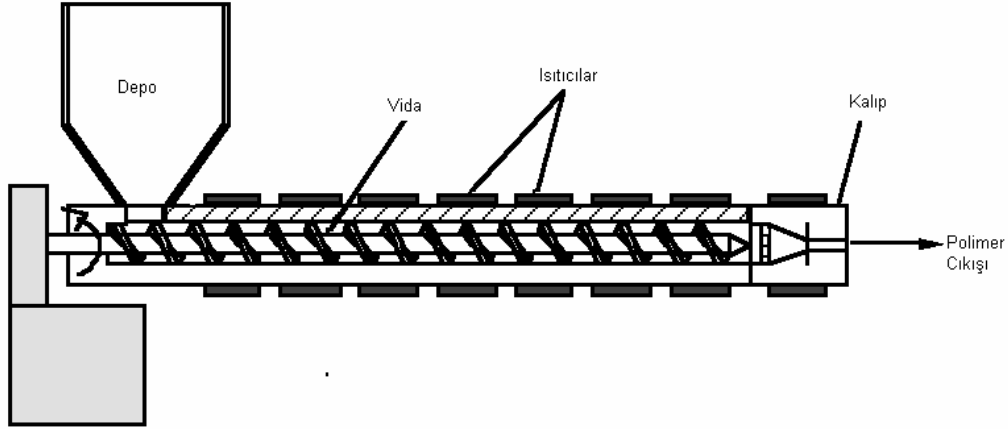
3.4.3. Enjeksiyon Makinesi

Makinenin ana kısımları:

3.4.3.1. Vidalı plastik ünitesi

Makine gövdesi üzerine yerleştirilen plastik ünitesi yukarıda bahsedilen şekilde hareket edebilir. Makine lülesi ve kalıbı ana girişi enjeksiyon safhası ve enjeksiyondan sonraki safha da temas halinde olmak zorundadırlar.

Plastik ünitesinin lülesinin ana kalıp girişini çok fazla ısıtmasını engellemek, soğutulan kalıbın da ısıtılan lüleyi soğutmasının önüne geçmek için, bu parçalar mümkün olduğu kadar aynı tutulmalıdırlar. Eğer lüle çok fazla soğursa, malzeme katılaşacak ve plastik ünitesini bloke edecektir.



Şekil 3.10. Vidalı Plastik Ünitesi.

3.4.3.2. Kilitleme Ünitesi

Bir enjeksiyon makinasının kilitleme ünitesi

- Kalıbı kapatmalı
- Enjeksiyon basıncına karşı kalıbı sıkı bir şekilde kapalı tutmalı
- Parçanın kalıptan çıkabilmesi için kalıbı açmalıdır.

Kilitleme ünitesi yatay bir pres olarak düşünülebilir. Bu ünite aşağıdaki kısımlardan oluşur;

- Sabit destek plakası
- Hareketli kalıp taşıyıcı plakası (Kilitleme tarafında)
- Sabit kalıp taşıyıcı plakası (Enjeksiyon lülesi tarafında)
- Hareketli tarafı hareket ettiren tahrik sistemi (Kilitleme tarafında)

İki ana parçadan oluşan kalıbın bir yarısı enjeksiyon lülesi tarafındaki taşıyıcı plakaya bağlanırken, diğer yarısı aksel olarak hareket eden hareketli kalıp taşıyıcısına bağlanır. Sabit destek plakası makina gövdesine bağlanmıştır ve sadece makina boyutları farklı kalıpların bağlanırken ayarlanabilmesi için aksel olarak hareket edebilir.

Enjeksiyon süresince kalıp boşluğu içindeki basınç çok yüksektir ve bu basınç kalıbı açmaya çalışır. Bu açılmanın ve iki kalıp yarısı arasındaki boşluğa malzemenin akması ile oluşabilecek ve parçada ilave işlem yapılmasını gerektirebilecek çapak gibi

sonuçlarının önüne geçebilmek için, kilitleme ünitesi kalıbı yeterli büyüklükte bir kuvvetle kapalı tutmak zorundadır. Enjeksiyon makinasının bu kilitleme kuvveti, makina büyüklüğünü tanımlayan karakteristik bir değerdir. Enjeksiyon makinalarının kilitleme kuvvetleri 25-5000 ton arasında veya daha fazla olabilmektedir.

3.4.3.3. Kontrol Ünitesi

Enjeksiyon makinası kalıplama işleminin doğru olmasını sağlamak için, ciddi kontrol elemanlarını içeren büyük bir kontrol sistemine sahiptir. Aşağıdaki fiziksel değerler işlem süresince izlenmek zorundadır.

- Plastik ünitesinin ve kalıbın sıcaklığı,
- Plastik ünitesinin, vidanın ve kalıbın konumları,
- Enjeksiyon süresince vidanın, kapanma süresince de kalıbın hızları,
- Enjeksiyondan sonraki bekleme safhasındaki basınç, kilitleme ünitesi için ise doğru kilitleme kuvveti.

Kontrol sistemi sadece bu değerleri izlemek değil aynı zamanda tüm çevrimi koordine etmek zorundadır.

Modern makinalarda bu işlemler elektronik elemanlar yardımıyla yapılmaktadır. Sıcaklık, konum, hız ve basınç gibi kontrol edilen büyüklükler termokupl, deplasman ve basınç transdüserleri gibi özel sensörlerle kaydedilir. Bu sinyaller daha sonra ana bilgisayarın anlayabileceği şekle çevrilir ve ana bilgisayara okutulur. Bu temel girdilere göre kontrol programı belirli işlemleri yaparak işlemi kontrol altında tutar. Örneğin plastik ünitesinin sıcaklığı çok düşük ise ısıtıcı elemanlara enerji gönderir veya eğer vida durma pozisyonuna gelmişse bir kontrol valfine kumanda ederek vidanın dönmesini durdurur.

3.4.4 Enjeksiyon Yönteminin Safhaları

Parçanın geometrisine ve malzemenin karakteristiklerine ek olarak enjeksiyon yönteminin bir bütün olarak kendisi de parçanın ve parça özelliklerinin üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aşağıda enjeksiyon yönteminin tamamını oluşturan safhalardan kısaca bahsedilmiştir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki sayfayı da kapsayan çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için bu safhalar kısaca anlatılmıştır.

1. Çevrim kalıbın kapanması ile başlar.
2. Makinanın plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makina enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.
3. Makina enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz, plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar, artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar, kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler.
4. Ergimiş malzeme kavite duvarı ile temas eder etmez soğuduğu için enjeksiyon safhası ile aynı anda başlar.
5. Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının eksenel hareketi, kavite içine soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi kompanize etmek için, yeteri kadar malzemeyi kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve iç yapısını etkilemesi açısından, yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.
6. Tutma basıncı safhasından sonra makina lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makina lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinede, plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçanın cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinanın plastikleşme performansı yeterli değilse, çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim

maliyetleri artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur.

7. Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar.

Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makina ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir [Alkaya,1998].

3.5. Unsur Tabanlı Modelleme Sistemi

Unsur tabanlı modelleme tasarımcıya modeli benzer şekil parçalarını kullanarak oluşturma imkanı sağlar. Bir katı model, eleman şekil varlıkları (noktalar, kenarlar ve yüzeyler, v.b.) hakkındaki bilgiye ek olarak şekil parçaları hakkındaki bilgiyi de dikkate alarak oluşturulur. Örnek olarak tasarımcı belirli bir yere belirli ölçülerde delik yap diyerek veya belirli bir yerde belirli bir ölçüde kesme yap şeklinde komutlar kullanarak işlev gerçekleştirebilir. Ve sonuçta ortaya çıkan katı model deliğin ve pahın nerede ve hangi ölçülerde olduğu hakkındaki bilgiyi içerir. Şekil parçaları unsur olarak adlandırılır ve bu unsurları kullanan modelleme aktivitesi unsur tabanlı modelleme olarak adlandırılır. Katı modelleme sistemlerinde desteklenen unsurlar topluluğu onun çoğu yaygın uygulamaları tarafından tanımlanabilir.

Çoğu unsur tabanlı modelleme sistemleri tarafından desteklenen popüler unsurlar, pah kırma, delik, kavis, cep ve benzeri gibi işleme unsurlarıdır. Bir delik matkaplama vasıtasıyla delinir, ve bir cep frezelemeyle oluşturulur. Bu yüzden işleme unsurların biçim, ölçü ve konum bilgisi ile bir teşebbüs bir katı modelden otomatik olarak işleme planlarını yürüterek yapılabilir.

Unsur tabanlı modellemede bir problem vardır ki o da bu modelleme sistemlerinin çoğu uygulamalar için bütün gerekli olan unsurları destekleyememesidir. Daha önce değinildiği gibi, her uygulama farklı unsurların ayarlanmasını zorunlu tutabilir. Bu problemi kavrayabilmek için çoğu unsur tabanlı modelleme sistemleri gerektiğinde unsur tanımlanabilecek bir dil destekler. Bir unsur tanımlandığında unsurların ölçüleri belirtilmiş parametreler tanımlanmalıdır. Parametrelere farklı değerler atayarak çeşitli ölçülerdeki ilkel unsurların oluşturulabilmesi gibi, parametrelerini değiştirerek farklı ölçülerde unsurlar oluşturulabilir. Parametrelere farklı değerler atayarak farklı boyutlarda modeller oluşturmak parametrik modellemenin bir tipidir.

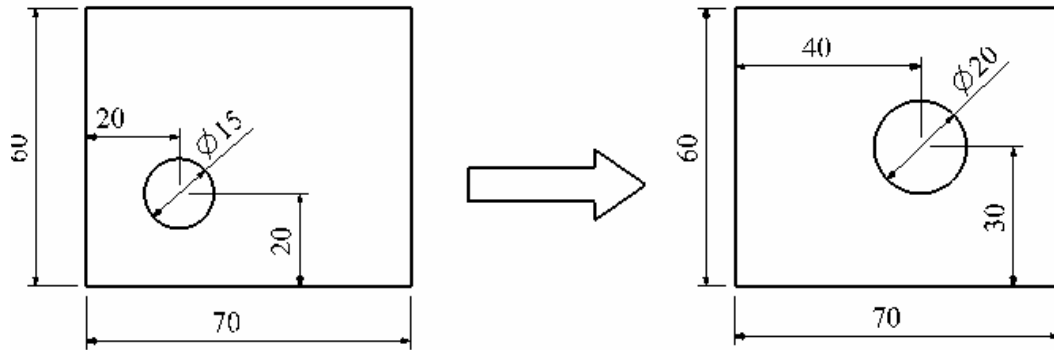
3.5.1. Parametrik Modelleme

Parametrik modellemede tasarımcı şekli, onun elemanları üzerinde bazı geometrik kısıtlamalar ve ölçülendirme değerleri kullanarak oluşturur. Geometrik kısıtlamalar, elemanlar arasındaki ilişkiyi tanımlar. Örnek olarak; iki yüzey birbirine paralel, iki kenar bir düzlem boyunca, bir eğri çizgi diğer düz çizgiye teğet v.b. gibi. Ölçü verisi sadece şekle saptanmış ölçülendirme bilgisini içermez, bunun yanında ölçüler

arasındaki ilişkiyi de kapsar. Bu ilişkiler matematiksel eşitliklerin bir formu içinde tasarımcı tarafından sağlanmıştır. Böylece parametrik modelleme ölçü değerlerinden ve onların ilişkilerinden türetilmiş geometrik kısıtlamaları açıklayan eşitliği çözerek bir şekli inşa eder.

Parametrik modelleme sistemlerinde bir şekil, aşağıda belirtilen aşamalarda yapılır:

1. İlk önce kaba taslak olarak iki boyutlu bilgi girilir.
2. Geometrik kısıtlamalar ve ölçülendirme bilgisi, birbiriyle etkileşimli olarak girilir.
3. Girilen geometrik kısıtlamalar ve ölçülendirme verisi için iki boyutlu şekil yeniden yapılandırılır.
4. İstenilen ölçülerde ve şekilde model elde edilinceye kadar gerek geometrik kısıtlamalar ve/veya gerekse ölçülendirmelerde bir takım değişiklikler yapılarak 2. ve 3. adımlar tekrar edilir. Bu adım Şekil 3.11’de gösterilmiştir.
5. Daha sonra iki boyutlu şekil üç boyutlu model hali oluşturulur. Derinlik için veya çevirme açısı için kullanılan değer ölçülendirme bilgisi olabilir, ve böylece oluşturulmuş üç boyutlu model üzerinde istenildiği takdirde kolayca değişiklikler yapılabilir.



Şekil 3.11. Kısıtlamaları değiştirerek şekli düzenleme.

Parametrik modelleme sistemlerindeki adımlar, geometrik kısıtlamalar, ölçülendirme verisi ve/veya ölçülendirme ilişkisi kullanımı sayesinde modelin elemanlarını direk olarak değiştirmeye gerek duymadan modeli değiştirmeyi mümkün kılar. Bu nedenle tasarımcı, modelin elemanlarının detaylarını ve tasarımın fonksiyonel

görünüşleri üzerindeki konsantrasyonlarını göz önünde bulundurmadan, birçok tasarım alternatifi kullanabilir.

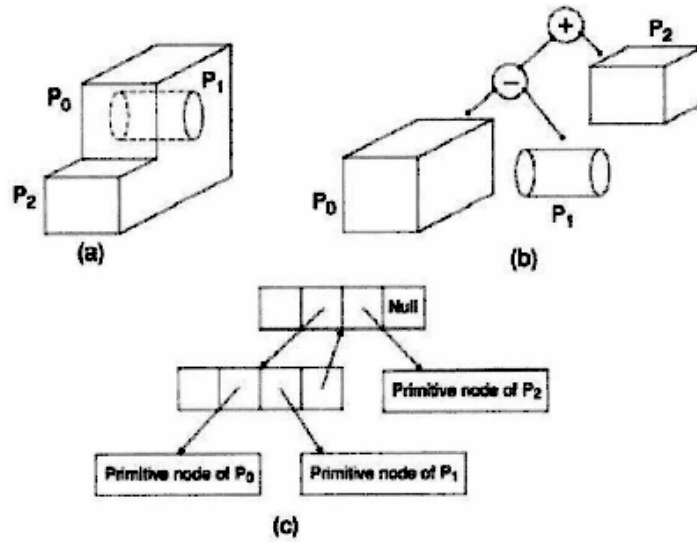
Parametrik modelleme sisteminin iki tipi şu esasa dayanmıştır ki, onlar ölçülendirmelerin ve onların oluşturduğu geometrik kısıtlamaları tanımlayan eşitlikleri çözerler. Bir çeşidi eşitlikleri ardışık olarak çözerlerken diğer tipi ise eşzamanlı olarak çözer. Evvelki tip ile kısıtlamaların dizileri üzerine dayanan şekil değişimleri atanmıştır. Sonrakinde ise aynı şekil, kısıtlamaların dizilerinden farklı olarak elde edilmiştir, fakat tesbit edilmiş kısıtlamaların uyumsuzluğu sorun çıkarabilir.

3.5.1.1. Veri Yapısı

Bir katı modeli tanımlamak için ihtiyaç duyulan veri yapıları kaydedilme şekillerine göre üç tipte sınıflandırılabilirler. İlk yapı şekli ilkel unsurların aritmetiksel operasyonlarının geçmişini bir ağaç içine kaydeder. Bu geçmiş geliştirici katı model geometrisi (CSG) temsil eder ve ağaç, CSG ağacı olarak adlandırılır. İkinci yapı katı model için sınır bilgilerini (noktalar, kenarlar, yüzeyler ve onların nasıl birbiriyle birleştikleri hakkındaki bilgiyi v.b.) kaydeder. Katı modeli tanımlamak için kullanılan bu yol sınır gösterimi olarak ve onun veri yapısı da B-Rep veri yapısı olarak adlandırılır. B-Rep veri yapılarının bir çok çeşidi bağlanabilirlik bilgisini geliştiren ana rolü oynar. Üçüncü yapı ise katı modeli, örneğin küp gibi sade bir katı modelin bütünü gibi kaydeder. Bu yolla tanımlanmış katı model ayrılmış model olarak adlandırılır. Bir çok muhtemel ayrılmış model, kullanılabilmesine rağmen sade katı modelin seçimine göre hiç bir ayrılmış model gerçek bir katı model olarak tanımlanamaz.

3.5.1.2. CSG Ağaç Yapısı

Şekil 3.12.b’de gösterildiği, onu aritmetiksel operasyon geçmişi binary ağacına planlanabilir. Ağaç Şekil 3.12.c’deki gibi birbiriyle ilişkili veri elemanları şeklinde de gösterilebilir.



Şekil 3.12. CSG ağacı yapısı örneği.

Bir CSG ağacı veri yapısının şu avantajları vardır.

- Veri yapısı basittir ve öz verileri kaydeder. Böylece verilerin yönetimi kolaydır.
- CSG ağacına kaydedilen katı model her zaman geçerli bir katı modeldir. Geçerli katı model demek, içerideki ve dışarıdaki bölgeleri açık bir şekilde tanımlanmış bir model demektir. Gereksiz bir modele örnek olarak destek kenarları ile model olmasıdır. Bu durumda içeri ve dışarının görüş kanısı köşe noktalarındaki destek kenarlarının nereye eklenmiş olduğu pek açık değildir.
- Bir katı modelin CSG gösterimi her zaman uygun bir B-Rep'e dönüştürülebilir. Böylece CSG ağaç tasviri B-Rep uygulamaları için yazılmış programlarla arayüz olabilir.
- Parametrik modelleme birleştirilmiş ilkel unsurların parametre değerleri değiştirilerek kolayca uygulanabilir.

Bunların yanında CSG ağaç yapılarının şu dezavantajları da vardır;

- CSG ağaç yapısı aritmetiksel operasyonlarını uygulamanın geçmişini kaydettiğinden dolayı modelleme işleminde sadece aritmetiksel operasyonlarına izin verilebilir. Sadece aritmetiksel operasyonları ile modellenecek şeklin derecesi katı bir şekilde sınırlandırılmıştır. Dahası, uygun bölgesel değişiklik fonksiyonları kaldırma ve yuvarlatma gibi kullanılamaz.

- Sınır yüzeylerindeki, onların kenarlarını ve bunların arasındaki bağlanabilirlik bilgisini CSG ağaç gösteriminden işleyebilmek için çok fazla işleme zamanı gerektirir. Dolayısıyla, bu sınır bilgisini zorunlu tutmaktadır. Bundan dolayı CSG ağaç gösterimi katıların etkili bir şekilde oluşturulmasının ve gösterilmesinin uygun olmadığı düşünülür.
- Bütün bu dezavantajlardan dolayı katı CSG ağaç gösterimine dayanan katı modelleme sınır gösterimine uygun bir şekilde eşlik etmeye meyleder. Bu kombinasyon iki gösterim arasındaki uyumu ve kararlılığı desteklediğinden dolayı hibrid gösterimi olarak tabir edilir.

3.5.1.3. B-Rep veri Yapısı

Katı modeli sınırlarını birleştiren temel elemanlar noktalar, kenarlar, ve yüzeylerdir. Böylece bir B-Rep veri yapısı bu varlıkları onların nasıl bağlandıkları hakkındaki bilgi ile birlikte kaydeder. Basit veri yapılarından bir tanesi Tablo 3.4’de üç parçada gösterilmiştir. Yüzey tablosu her yüzey için sınır kenarlarının bir listesini kaydeder. Katı modele dışarıdan bakıldığında her yüzey için kenar dizileri saat yönünün tersine üzerinden geçerek verilmiştir. İstikrarlı bir şekilde kenarları listelemeye her yüzey katı modelin içinde ve dışında ne olduğu hakkındaki bilgi ile birlikte kaydedilebilir. Yüzeyler hakkında verilen bilgiden katı modelin içerisinde veya dışarısında olan herhangi bir noktanın nerede konumlandığı anlaşılır. Sınır gösterimi Tablo 3.4’de kaydedildiği durumlarda köşe noktaları, kenarlar ve yüzeyler Şekil 3.13’de gösterildiği gibi geometrik modelleme sistemi tarafından rasgele numaralandırılmıştır.

Tablo 3.4. B-rep gösterimini kaydeden üç tablo.

Face Table		Edge Table		Vertex Table	
Face	Edges	Edge	Vertices	Vertex	Coordinates
F ₁	E ₁ , E ₃ , E ₆	E ₁	V ₁ , V ₂	V ₁	x ₁ , y ₁ , z ₁
F ₂	E ₂ , E ₆ , E ₇	E ₂	V ₂ , V ₃	V ₂	x ₂ , y ₂ , z ₂
F ₃	E ₃ , E ₇ , E ₈	E ₃	V ₃ , V ₄	V ₃	x ₃ , y ₃ , z ₃
F ₄	E ₄ , E ₈ , E ₅	E ₄	V ₄ , V ₁	V ₄	x ₄ , y ₄ , z ₄
F ₅	E ₁ , E ₂ , E ₃ , E ₄	E ₅	V ₁ , V ₅	V ₅	x ₅ , y ₅ , z ₅
		E ₆	V ₂ , V ₅	V ₆	x ₆ , y ₆ , z ₆
		E ₇	V ₃ , V ₅		
		E ₈	V ₄ , V ₅		

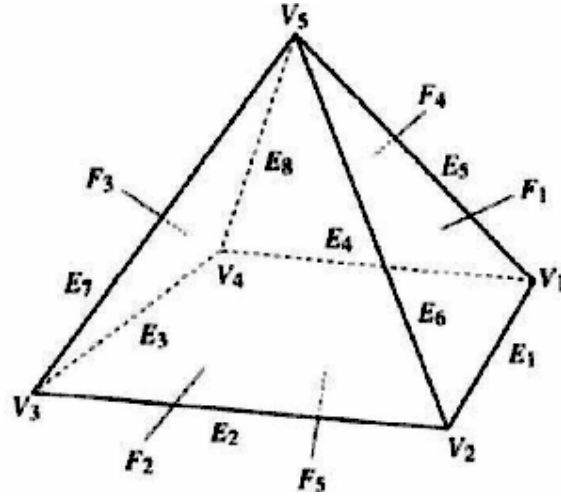
Kenar tablosundaki her sıra her kenarın sonlarındaki kesişme noktalarını kaydeder. Ve kesişme nokta tablosu çizgilerin x,y ve z koordinatlarını kaydeder. Bu koordinatlar genellikle katı modele eklenmiş gövde koordinat sistemine uygun olarak tanımlanmıştır. Eğer yüzey tablosu ihmal edilirse bu aynı veri yapısı tel-model örgü modelleme sistemiyle oluşturulmuş modelleri kaydetmek için kullanılabilir. Eğer noktalar için iki boyutlu koordinat sistemi sağlandı ise, tel model örgü modelleme sistemi için veri yapısı bilgisayar destekli teknik resimleme sistemlerinin veri yapısının temel gövdesi olarak da kullanılabilir.

Veri yapısı çok basit ve özlü görünmesine rağmen şu dezavantajlardan dolayı ayrıntılı katı modelleme sistemlerinde kullanılmaz.

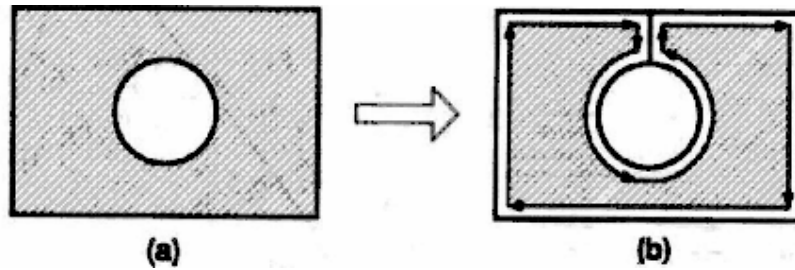
- Veri yapısı basit olarak düzlemsel çok düzlemleri kaydedebilmek için tasarlanmıştır. Eğer eğri yüzeyleri ve eğri kenarları bulunan bir katı model kaydedilecekse, yüzey tablosunun ve kenar tablosunun her sırası yüzey eşitliğini ve eğri eşitliğini içermesi için değiştirilmelidir. Yüzey eşitlikleri bir yüzey noktalarından türetildiği için düzlemsel yüzeyler için yüzey eşitliklerinin kaydedilmesine gerek yoktur.
- İç ve dış sınırlarıyla bir yüzey Şekil 3.14.a'da gösterildiği gibi yüzey tablosuna kaydedilemez, çünkü o bir tek liste yerine kenarların bir çok listesini zorunlu tutar. Öyle yüzeylerle karşılaşılır, örnek olarak boydan boya bir delik yapılmış bir katı modelin modellenmesi. Bu durumun basit bir davranışı Şekil 3.14.b'de gösterildiği gibi iç ve dış sınırlara bir kenar ekleyerek bağlamak olabilir. Bu yolda iki kenar listesi bir listeye birleştirilebilir. Bu bağlanan kenar köprü kenar olarak adlandırılır, ve birleştirilmiş listede iki kez görünür.
- Tablo 3.4'de gösterildiği gibi yüzeyler için kenarların sayısı farklı olabilir. Dahası, her yüzey için zorunlu olan sütun sayısı (her kenar için bir tane) önceden tanımlanamaz, çünkü onlar modelleme ilerlemesi gibi değişebilir. Bu yüzden yüzey tablosu kabul edildikten sonra sütun sayısı bir değişken olarak belirlenmelidir. Fakat yinede değişken büyüklükleri yürütmek sıkıntıya sebep olabilirler.
- Üç tabloya kaydedilen bilgiden sadece bağlantı bilgisini çıkarmak kullanışsız olabilir. Katı modelin sınır tasviri üç tablo tarafından verildi ise, bir kenarı iki yüzeye paylaştırmının araştırılmasının durumunu göz önünde bulundurulur. Bu

iş için, verilen kenarın kaydedildiği satırları tanımlamak için bütün yüzey tablosu aranacaktır. Şimdi bir bütün kenarlara paylaştırılan kesişme noktasının aranmasının durumunu göz önünde bulundurulur. Bu iş için ise, verilen kesişme noktalarıyla birlikte satırları tanımlamak için bütün kenar tablosu aranacaktır.

Böyle problemlerle karşılaşmadan katı modelin sınır gösterimini kaydetmek için iki tip veri yapısı kullanılabilir. Onlar yarı kenar veri yapısı ve kanatlı kenar veri yapısıdır [Şenalp,2004].



Şekil 3.13. Verilerin kaydedildiği katı model örneği.



Şekil 3.14. Bir yüzeyi çeşitli sınırlar ile ele almanın bir metodu.

3.6. Düzlemde Koordinat dönüşüm metotları

Bilgisayar grafiklerinde dönüşüm işlemi olarak adlandırılan üç temel işlem vardır. Bunlar:

1) Konum Değiştirme

- X ekseninde konum değiştirme
- Y ekseninde konum değiştirme
- Z ekseninde konum değiştirme

2) Ölçeklendirme

- Büyültme
- Küçültme

3) Döndürme

- X ekseninde döndürme
- Y ekseninde döndürme
- Z ekseninde döndürme

Bu üç temel işlemler ayrı ayrı veya arka arkaya kullanılarak tüm dönüşümler gerçekleştirilir.

Bunun için matematiksel hesaplamalara ihtiyaç duyulur. Bilgisayar grafiklerinde nesne uzayı terimi bizim anladığımız gerçek dünyada nesnelerin gerçek koordinatlarını tanımlamak için kullanılır. Aynı nesnenin bilgisayar ekranında tanımlanması içinde ekran uzayı terimi kullanılır. Nesneler dönüşüm işlemlerinin bir arada kullanılmasıyla nesne uzayından iki boyutlu ekran uzayına tanımlanırlar. Yine geometrik hesaplamalar kullanılarak üç boyutlu resimlerin animasyonu iki boyutlu ekran üzerinde gerçekleştirilir.

Bir çok bilgisayar grafik uygulamalarında dönüşüm işlemleri yaygın olarak kullanılır. Robotların simülasyonu, eklemlili figürlerin animasyonu gibi, homojen koordinatlar matrisi olarak isimlendirilen matematiksel gösterim, matris çarpımları gibi bütün dönüşüm işlemlerinin yapılmasına imkan tanır. Bu metotla üç boyutlu döndürme işlemini anlatmak için 3*3 matrise 4. Kolon ve satır eklenir. Aynı matrisle konum değiştirme de yapılabilir. Bir noktanın koordinatlarının gösterilmesinde $p(x,y,z,w)$ veya iki boyutluda $p(x,y,w)$ kullanılır.

3.6.1 Konum değiştirme

İki boyutlu konum değiştirme $P(x,y)$ noktasının koordinat değerlerine T_x, T_y konum değiştirme değerleri eklenerek gerçekleştirilir. T_x x eksenini yönünde, T_y y eksenini yönünde P noktasının hareketini belirtir.

Bu işlem:

$$P_X' = P_X * T_X, \quad P_Y' = P_Y * T_Y \quad (3.16.)$$

Aynı işlemler homojen koordinatlar matrisi şeklinde aşağıdaki gibi gösterilir.

$$P'(x, y, 1) = P(x, y, 1) * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix} \quad (3.17.)$$

T konum değiştirme matrisini gösterirse:

$$P' = P * T \quad (3.18.)$$

olur.

3.6.2. İki boyutlu leklendirme

Bir resim x,y koordinat ekseninde boyutlarının ölçeklendirilmesi için resmi oluşturan bütün noktalar aynı ölçeklendirme katsayıları S_x, S_y ile sırasıyla çarpılmalıdır.

$$P_{1X}' = P_{1X} * S_X, \quad P_{1Y}' = P_{1Y} * S_Y \quad (3.19.)$$

matris formunda yazarsak

$$P_1'(x, y, 1) = P_1(x, y, 1) * \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.20.)$$

Kısa formda yazmak istersek:

$$P' = P * S \quad (3.21.)$$

S ölçeklendirme matrisini göstermektedir.

3.6.3 İki Boyutlu Döndürme

Orijindeki bir noktanın iki boyutlu döndürme işlemleri, dönme açılarının sinüs ve kosinüs değerlerinin kullanılmasıyla yapılır. Eğer bir P (x, y) noktası orijinden saat yönünün tersi yönde α açısı ile döndürülürse aşağıdaki eşitlikler yazılabilir. Bu durum Şekil 3.15’de gösterilmiştir.

$$P'_x = P_x * \cos \alpha - P_y * \sin \alpha, \quad P'_y = P_x * \sin \alpha + P_y * \cos \alpha \quad (3.22.)$$

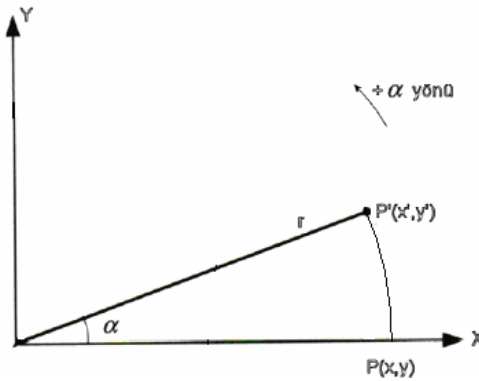
Veya matris şeklinde yazarsak :

$$P'(x, y, 1) = P(x, y, 1) * \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23.)$$

R döndürme matrisi ise :

$$P' = P * R \quad (3.24.)$$

Şeklinde bir ifade yazılabilir.

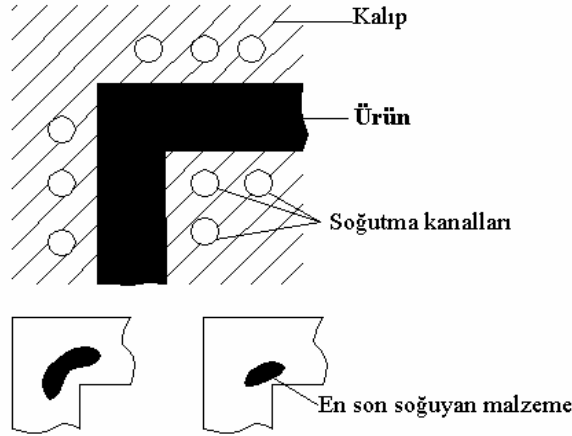


Şekil 3.15. İki boyutlu döndürme.

4.PLASTİK KALIPLARIN SOĞUTULMASI

Hızlı soğutmada, baskı içinde dahili gerilim oluşur ve boyutsal dengeyi bozar. Eğer oluşan bu problemler kabul edilemez boyutlarda ise, kalıp sıcaklığı yüksek olmalıdır veya yavaş soğutulmalıdır. Bu durum isteniyorsa, soğutma zamanı uzun tutulmalıdır.

Kalıbı soğutmak kalıp boşluğunun köşeleri gibi keskin hatlarında daha zordur. Çünkü buralarda ısı transferi oldukça yavaştır. Bu da ürünün köşelerinde yamulma meydana gelme ihtimalinin daha büyük olduğu anlamına gelir. Parça soğurken, soğutmanın daha iyi olduğu dış köşeleri iç köşelere göre daha erken soğur ve donar. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi parça köşesindeki son soğuyan malzeme, et kalınlığının ortasına değil içine yakın bölgededir. Tutma basınçları safhasına rağmen bu bölgede çekme olması ne istenmeyen gerilmeler oluşması ihtimali yüksektir. İç bölgedeki soğutma kanallarının sayısını arttırıp daha iyi bir ısıtma ısı transferi bu problemi çözebilir [Akyüz, 1998].



Şekil 4.1. Parçaların köşelerinin soğuması.

Parçanın iç gerilimi az olması istenirse yağda yavaş soğutma yapılır. Herhangi bir hesaplama yapmadan önce üretim esnasında kullanılan kalıp sıcaklığını hesaba katmamak akıllıca bir iştir. Pratikte ürünlerde et kalınlıkları farklılık gösterir. Soğutma süresini belirlemek için parçanın kalın kısmına göre tahmin yapılır.

4.1. Hesaplama Yöntemi

4.1.1. Genel hesaplama

Tamamen deneysel sonuçlara dayalı hesaplama yapılması istenmezse, soğutma sisteminin ısı tasarımı için öncelikli olarak basit bir analitik hesaplama kullanılabilmektedir. Bu bağlamda, kalıplama işlemi bir plaka olarak farz edilerek işlem yapılabilmektedir. Buda kısa zamanda hesaplama imkanını sağlamaktadır.

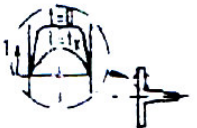
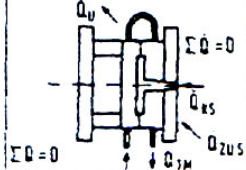
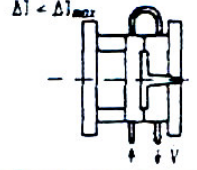
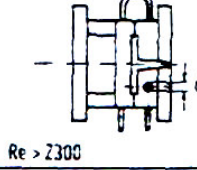
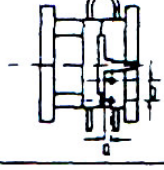
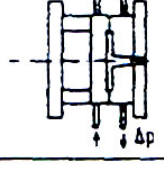
4.1.2. Analitik ısı hesaplama

Analitik ısı hesaplama adımlara ayrılarak bölünebilmektedir. Verilen kalıp boşluğu sıcaklığına göre, ergiyeğin soğuma zamanı, toplam soğuma zamanını belirlemektedir. Hesaplamalarla bulunan en uzun zamanının kullanılması uygun olmaktadır. Isı dengesi ile akışkanla atılması gereken ısı hesaplanabilmektedir. Bunun dışında, kalıp ısının değişimi çevreden etkilenmektedir. Çevreden dolayı olan ısı değişimi, kalıbın dış boyutları ile ilgilidir. Isıl denge ile, ısı değiştirme sisteminin operasyon değeri hakkında bilgi sağlanabildiği gibi, soğutma kanalları boyunca olan tasarım problemleri de belirlenebilmektedir. Kristal yapıya sahip malzemeler kalıplanırken, yüksek ısı akışıyla soğutulmalıdır. Bu durumda birkaç soğutma devresinin kullanılması avantaj sağlayabilmektedir. Yüksek ısı akışının sağlanabilmesi için soğutucu akışkanın debisi de yüksek olmalıdır.

Düşük ısı akışları için akışkanın debisi de düşük olmalıdır, kanal kesitleri ortak olmalıdır ve bu durumda da zaten laminar akış gerçekleşmektedir. Yüksek ısı akışında soğutma suyunun girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkı oldukça fazladır.

Soğutma kanallarının konumu, ısıyı en iyi taşıyabilecek konumda tasarlanmalıdır. Bunun için gerekli hesaplamalar şu ön şartlarla yapılabilir;

- Soğutma hatasının ve kanallar arası mesafelerin hesaplanmasının belirlenmesi.
- Kanalin kalıplama yüzeyinden uzaklığının belirlenmesi.
- Soğutma kanalının toplam uzunluğunun belirlenmesi.
- Debinin ve kanallar arası mesafenin hesaplanarak belirlenmesi.

Tasarım adımları		Kriter
1 Soğutma zamanının hesabı		§ Minimum soğuma zamanı
2 Isı akışının dengesi		§ Soğutma için gerekli ısı akışı
3 Akışkanın debisi		§ Soğutma kanalı boyunca homojen sıcaklık
4 Soğutma kanalının çapı		§ Türbülanslı akış
5 Soğutma kanalının konumu		§ Isı akışı § Homojenlik
6 Basınç düşmesinin hesabı		§ Isı değişim sisteminin seçimi § Soğutma kanalının çapı veya debinin düzeltilmesi

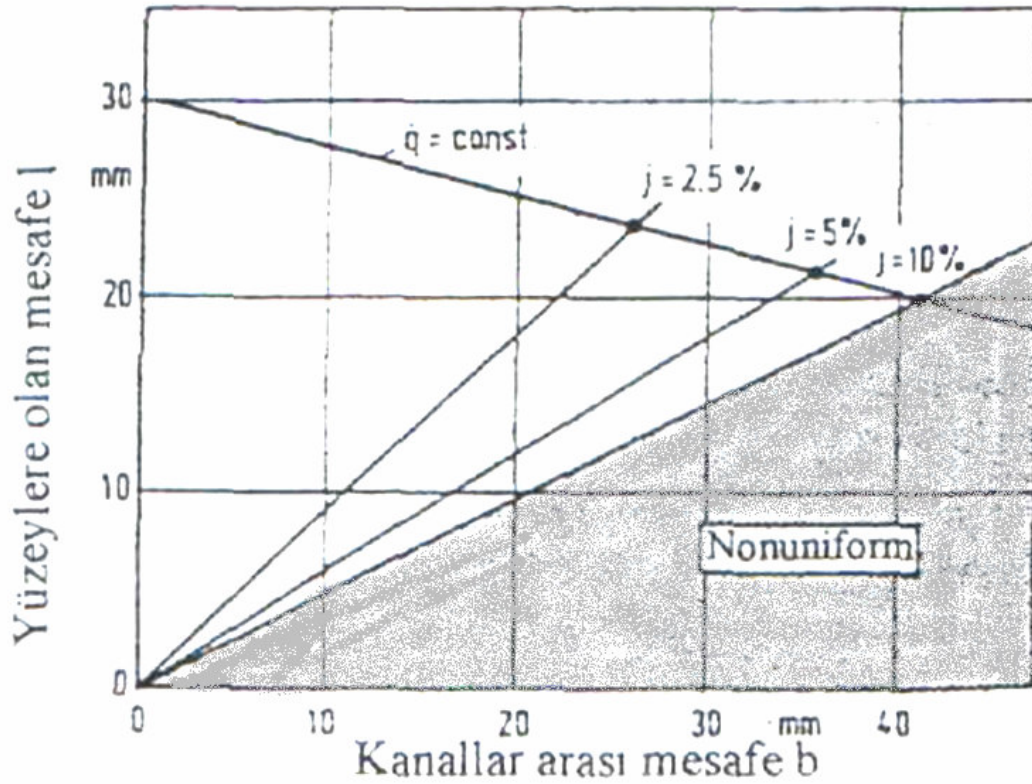
Şekil 4.2. Soğutma sisteminin analitik hesaplanması.

4.2. Soğutma

Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna olan uzaklıklarının artması ve birbirlerine olan uzaklıklarının azalması, sıcaklık profilinin daha homojen olmasını sağlar [Akyüz, 1998].

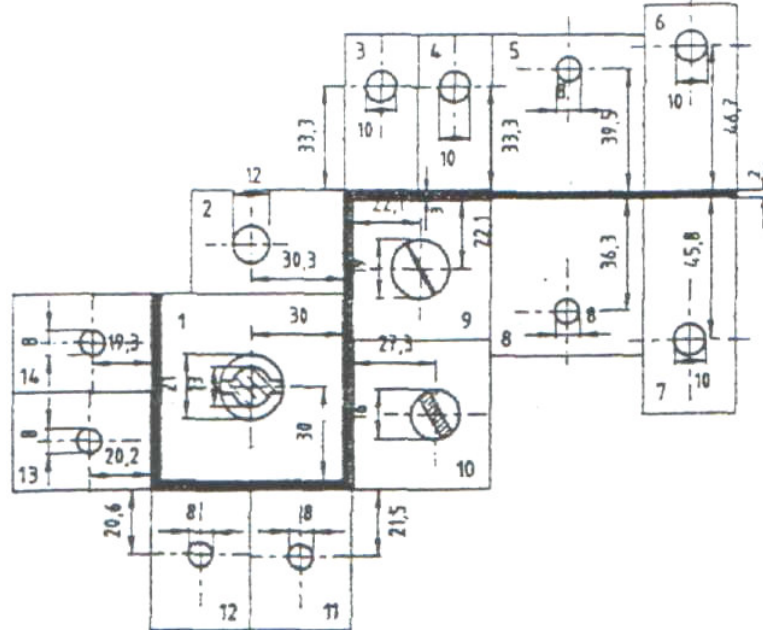
Soğutma kanalları aralarındaki mesafe (b) ve yüzeylere olan uzaklığın (l), soğutma hatası (j) ile bir fonksiyonu Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Şekilde taralı alan homojen olmayan soğutmayı göstermektedir ve kalıplarda istenmeyen bir durumdur.

Analitik hesaplamalarda, kalıplama işlemi basit bir plakaya indirgenmelidir. Bu plaka esas kalıplama geometrisi ile aynı hacimde ve aynı yüzey alanına sahip olmalıdır. Böylelikle kalıbın iç yüzey alanı küçük parçacıklara ayrılabilir ve her bir parçanın genişliği, hesaplanan soğutma kanalları arasındaki mesafeye eşit alınabilir.



Şekil 4.3. Soğutma kanalı ve homojenlik durumu.

Soğutma kanallarının konumu ile, soğutucu kanalların toplam uzunluğu, köşelerin sayısı, dirseklerin sayısı, tıkaçların sayısı da belirlenebilmektedir.



Şekil 4.4. Parçalara ayırarak soğutma sonucunda soğutma sisteminin geometrisi.

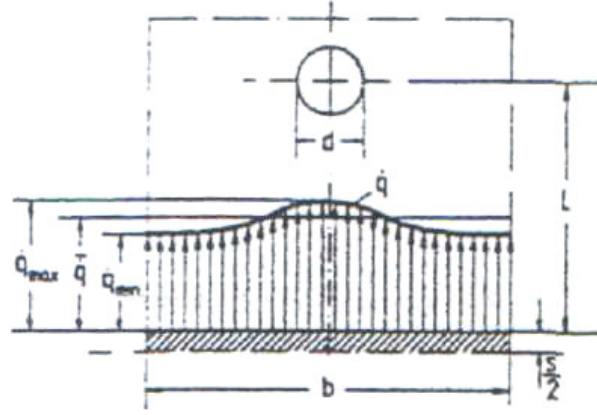
4.2.1. Parçalara Ayırarak Soğutma

Bu metotla, Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, soğutma sisteminin kritik bölgesi bulunabilmekte ve bu metot tüm kalıba uyarlanabilmektedir. Hesaplama işlemi içinde basit bir bilgisayar programı yazılabilmektedir.

4.2.2. Homojenlik

Kalıp soğutma sisteminin çevrim süresine dolayısıyla tüm işlemin verimliliğine etkisi büyüktür. Bu sistem homojen soğumayı ve yeterli soğuma verimini yani kalıp içindeki sıcak malzemenin en hızlı şekilde soğumasını sağlamalıdır.

Isı transfer ortamının kalıp duvarında yaklaşık homojen bir sıcaklık profilinin oluşumunu sağlayacak şekil de tasarlanması çok önemlidir. Kalıp duvarlarında oluşan sıcaklığın homojen olmasını etkileyen en önemli neden ise soğutma kanallarının kalıp boşluğuna ve biri birine olan uzaklıklarıdır (Şekil 4.5.). Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna olan uzaklıklarının artması ve birbirlerine olan uzaklıklarının azalması, sıcaklık profilinin daha homojen olmasını sağlar.



Şekil 4.5. Kalıpta oluşan ısı akış profili.

Soğutma kanalları arasında kalan kalıplama bölgeleri, soğutma kanalının karşısında kalan (q_{max}) bölgelere göre daha kötü soğutulmaktadır. Soğutmanın homojenliği soğutma hatası (j) ile belirlenir. Bu soğutma hatası aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$j = \frac{\dot{q}_{max} - \dot{q}_{min}}{\dot{q}} \quad [\%] \quad (4.1)$$

Her bir soğutma kanalı için ayrı soğutma hatası için,

$$j = 2.4 \cdot B_i^{0.22} \cdot \left(\frac{b}{a} \right)^{2.8 \left[\ln \left(\frac{b}{l} \right) \right]} \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılabilmektedir. Burada B_i , biot sayısıdır ve aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$B_i = \frac{\alpha \cdot d_c}{k_M} \quad (4.3)$$

Soğutma hatası kristal plastiklerde %2,5-5 ve amorf plastiklerde %5-10 arasında gerçekleşmektedir [Tunahan, 2002].

4.2.3 . Soğutma Oranı:

Soğutma oranı, kalıp içindeki baskıdan kalıba akan ısı miktarına bağlıdır. Isı akışı soğuyan polimerin dokunması ile oluşur. Plastiğin soğutma oranı, kalıp sıcaklığına ve baskının kalınlığına bağlıdır. Baskının sıcaklığı soğuma sürecinde azaldığından, basit sabit bir ısı akışı bu çeşit ısı iletimi için kullanılamaz.

4.2.4. Su İle Soğutma :

Bütün enjeksiyon kalıplarında özellikle termoplastik kullanılan yerlerde, kalıbın içine malzeme gönderildikten sonra sertleşmesini sağlamak için soğutulması gerekir. baskıdan kalıba enjekte edilen ısı, kalıptan uzaklaştırılmalıdır. Bu, kalıp içine uygun şekilde yerleştirilmiş, soğutma kanallarından su geçirmek suretiyle yapılır.

4.2.4.1. Kalıp içerisinden Geçecek Su Miktarı:

Su ile soğutmalı kalıplama işlemlerinde, kalıplanacak plastik miktarına bağlı olarak kalıp içerisinden geçmesi gereken su miktarı aşağıdaki formüllerle bulunur.

Kalıpta oluşan toplam ısı miktarı;

$$Q_C = M_P [C_p (T_P - T_M) + q] \quad \text{kalori/saat} \quad (4.4.)$$

Yok edilmesi gereken toplam ısı miktarı;

$$H = R x M_S (T_{SC} - T_{SG}) \quad \text{kalori/saat} \quad (4.5.)$$

Soğutmanın gerçekleşebilmesi için kalıp içerisinden geçen su miktarı, kalıpta oluşan toplam ısı miktarı (Q_c) ile yok edilmesi gereken ısı miktarı (H) birbirine eşitlenir [Uzun, 1984].

Buna göre; $Q_C = H$ veya

$$M_P [C_p (T_P - T_M) + q] = R.M_S (T_{SC} - T_{SG}) \quad (4.6.)$$

eşitliği yazılabilir.

Bu iki eşitlikten yararlanılarak bir saatte kalıplanması gereken plastik madde miktarı ve kalıp içerisinden geçmesi gereken su miktarı bulunur.

Bir saatte kalıplanabilecek plastik madde miktarı;

$$M_p = \frac{H}{C_p(T_p - T_M) + q} \quad \text{kg} \quad (4.7.)$$

Bir saatte kalıp içerisinden geçmesi gereken su miktarı;

$$M_s = \frac{Q_c}{K(T_{SC} - T_{SG})} \quad \text{kg / saat} \quad (4.8.)$$

Formüllerde uygulanan semboller ve birimleri;

Q_c = Kalıpta oluşan toplam ısı miktarı, kalori/saat

H = Yok edilmesi gereken toplam ısı miktarı, kalori/saat

q = Plastik ergime ısı miktarı, kalori/saat

C_p = Plastik madde özgül sıcaklık katsayısı,

M_p = Kalıplanacak plastik madde miktarı, kg/saat

M_s = Kalıp içerisinden geçmesi gereken su miktarı, kg/saat

T_p = Plastik maddenin kalıplama sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

T_M = Kalıp sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

T_{SC} = Suyun kalıp içerisinden çıkış sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

T_{SG} = Suyun kalıp içerisine giriş sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

R = Hacim kalıplarında ısı transferi randımanı veya ısı yok etme katsayısıdır [Uzun, 1984].

4.2.5. Kalıp Soğuma Zamanı

Kalıp ısı kontrol sisteminin görevi kalıbı dolayısıyla içindeki ürünü soğutarak (çapraz bağlı malzemeler yani termosetler ve elastomerler için ısıtarak, termoplastikler

için soğutarak) dışarı çıkışını sağlamaktır. Bu ısı kontrol sistemi hem ürün kalitesini, hem de parça soğuma zamanını etkilediği için büyük önem arz etmektedir.

Termoplastik malzemeler için kısa soğuma zamanı;

- Parçayı yüksek sıcaklıklarda kalıptan çıkarma ile veya,
- Düşük çalışma sıcaklıkları ile veya,
- Düşük kalıp sıcaklıkları ile sağlanabilir.

Bu arada bu sıcaklıkların işleme ve ürün kalitesine etkileri:

- Parçayı yüksek sıcaklıklarda kalıptan çıkarma, itici pimlerin parçanın şeklini bozmasına sebep olabilir.
- Düşük çalışma sıcaklıkları, malzeme boşluğa enjekte edilirken meydana gelen basınç kayıplarını artırır ve birleşme çizgilerinin kalitesini düşürebilir.
- Düşük kalıp duvarı sıcaklıkları, ürünün yüzey kalitesini kötüleştirir.

Bir plakayı çalışma sıcaklığından kalıptan çıkarılma sıcaklığına kadar soğutmak için gerekli en kısa teorik zaman, aşağıdaki formülle bulunur.

$$t_{sp} = \frac{S^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_M - T_W}{T_D - T_W} \right) \quad (4.9.)$$

Burada t_{sp} : soğuma zamanı,
 S : parça et kalınlığı,
 a : ısı genleşmesi,
 T_M : çalışma sıcaklığı,
 T_W : kalıp duvar sıcaklığı,
 T_D : ürünün çıkarıldığı sıradaki ortalama sıcaklığıdır.

Silindirik bir parça için ise en kısa soğuma zamanı:

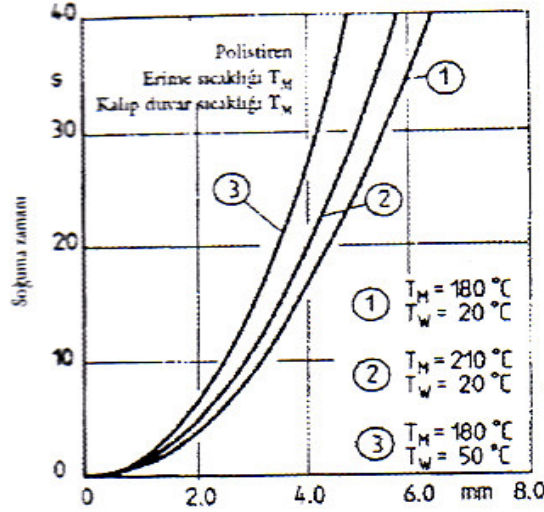
$$t_{sp} = \frac{D^2}{23.14a} \ln \left(0.692 \frac{T_M - T_W}{T_D - T_W} \right) \quad (4.10)$$

şeklinde olur. Burada t_{ss} soğuma zamanı, D silindirin çapıdır.

Parça et kalınlığının soğuma zamanını belirlemedeki büyük etkisi eşitlik (4.9)'dan açıkça görülmektedir. Eşitlikte t_{sp} , s^2 ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Buna bağlı

olarak, gerekli soğuma zamanını belirlemede aşağıdaki eşitlik de sıklıkla kullanılmaktadır.

$$t_{sp} = (2 \sim 3)s^2 \quad (4.11.)$$



Şekil 4.6. Soğuma zamanının ürünün et kalınlığına bağlı olarak değişimi.

Gerekli soğuma zamanının en yüksek kalıp boşluğu duvar sıcaklığına bağlı olması, duvar sıcaklığının her bölgede sabit olmasını gerektirir. Zaten duvar sıcaklığı farkları yani değişik duvar sıcaklıkları, ürünün deforme olmasına, kalitesinin düşmesine neden olur.

Yarı kristal termoplastiklerle çalışırken kalıpta oluşan sıcaklık profilinin homojen olması amorf termoplastiklere oranla daha büyük önem taşır. Bunun sebebi, yarı kristal termoplastiklerin PVT özelliklerinden dolayı daha ciddi yoğunluk değişmelerine maruz kalmaları ve böylece daha çok çekme ve yamulma yapabilmeleridir.

Şekil 4.6'da hem çalışma sıcaklığındaki hem de kalıp duvarı sıcaklığındaki 30°C'lik artışların, ürünü kalıptan çıkarma sıcaklığı sabit kalmak şartıyla, soğuma zamanına etkileri görülmektedir [Akyüz, 1998].

Kalıp soğutma sisteminin çevrim süresine dolayısıyla tüm işlemin verimliliğine etkisi büyüktür. Bu sistem kalıp içindeki sıcak malzemenin hem en homojen hem de en hızlı şekilde soğumasını sağlamalı, yani sistemin soğuma verimi ihtiyaçlara cevap verebilecek kadar yüksek olmalıdır.

4.3. Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı

4.3.1. Soğutma Kanalı ile Kalıp Oyuğu Arasındaki Mesafe

Boşluk ne kadar büyük olursa kalıp oyuğunda sıcaklık o kadar homojen olur ve sıcaklık yüzeyde o kadar fazla artar. Bu bükülmede parçaların mekanik özelliklerinde ve o kalıp doldurmada pozitif avantajlar sağlar. Mesafe ne kadar küçük olursa ısı o kadar hızlı alınır ve devir süresi o kadar kısa olur.

4.3.2. Soğutma Kanalları Arasındaki Mesafe

Soğutma kanalları arasındaki mesafe ne kadar küçük olursa kalıp sıcaklığı o kadar homojen olur. Eğer soğutma kanalları arasında daha büyük mesafeler gerekirse, kaviteden uzaklığı ve kanal çapı da artırmak gerekmektedir.

4.3.3. Soğutma Kanallarının Çapı

Eğer soğutma kanalları arasındaki mesafe tasarım ile belirlendiyse, kanal çapı en az bu mesafenin üçte biri olmalıdır [Menges, 1993].

5. PROGRAM ÇALIŞMASI

5.1. Programın Amacı

Bu programda soğutma kanallarının kalıp duvar sıcaklığı üzerindeki etkisini homojen olmasını sağlamak amacıyla, geliştirilebilir BDT programlarından CATIA V5 programına tam parametrik ve unsur tabanlı modül eklenmiştir.



Şekil 5.1. Soğutma sistemi araç kutusu.

5.2. Programın Yapısı

CATIA V5 programının arayüzü ve parametrik yapısıyla bütünleşmiş bir yazılım yapılmıştır. Bu yazılım Şekil 5.1'deki komutları içermektedir.

Sınır şartları bilinen alan içindeki her bir nokta için sıcaklık denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklem takımlarının oluşturulması ve çözülmesi işlemi ek-1'de verilen MATLAB programında yapılmıştır. Oluşturulan bu denklemler belirli sınır şartlarıyla çözülmektedir. Çözüm sonucu bulunan koordinatlar dosyaya kaydedilmektedir.

Şekil 5.1'deki araç kutusunda, soldan sağa doğru parametre girişi, kalıp soğutma, soğutma güncelleme komutları bulunmaktadır. Parametre girişi komutunun yönlendirdiği formlar ek-3'te verilmiştir.

- **Parametre Girişi**

Bu komut ile kalıp malzemesi, ürün malzemesi, soğutma sıvısı ve enjeksiyon makinesi önceden oluşturulan veri tabanından seçilmektedir. Veri tabanı haricinde bir değer tanımlanabilmektedir.

- **Kalıp soğutma**

Bu komut Şekil 5.2'deki formu aktif etmektedir. Bu formada kalıp çeliğinin ürününden hangi eksenlerde ve hangi yönlerde ne kadar kapsaması gerekmekte ise kalıp çeliği boyutlandırması kısmına bu değerler girilir.

Kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, soğutma oranı, soğutma sıvısı sıcaklığı değerleri, parametre girişi komutu altındaki formlardan seçilen veya girilen değerlerdir. Cismin ağırlığı, ürünün iz düşüm dış sınır boyu hesaplanmaktadır.

Soğutma kanal çapı kullanıcı tarafından girilmektedir. Soğutma kanal çapı girilen değere göre tavsiye edilen soğutma kanalları arası mesafe, soğutma kanallarının ürüne mesafesi eş zamanlı olarak yazılmaktadır. Isı değerlerinin ne kadar sık mesafelerde hesaplanması yeterli ise sıcaklık tarama sıklığı kısmına yazılmalıdır.

Kalıp Çeliği boyutlandırması (mm)		
+X	40	+Y
+Y	40	+Z
+Z	30	-X
-X	30	-Y
-Y	30	-Z
-Z	30	

Kalıp Sıcaklığı	75	C
Eriyik Sıcaklığı	265	C
Soğutma Oranı	0.33	C/s
Soğutma sıvısı sıcaklığı	25	C
Delik Çapı	10	mm
Ağırlık	0.110297	kg
Sıcaklık tarama sıklığı	0.25	mm
Minimum Maksimum		
Delikler arası mesafe	25	35
Ürüne Uzaklık	15	25
Kac delikle soğutulacak	14	
Ürün sınırı boyu	271.9429	mm
Sıcaklık farkı minimize edilecek hattın ürüne uzaklığı	2	mm
1 kg ürünü soğutmak için gerekli enerji (joule)	42357.0200381405	

Soğut

Şekil 5.2. Soğutma Formu

Ürün kaç soğutma kanalı ile soğutulması gerekiyorsa Şekil 5.2'deki forma girilmelidir. Şekil 5.5'de uygulama parçası için 12 girildiği görülmektedir.

Sıcaklık dağılım dengesi aradığımız mesafe Şekil 5.2'deki forma kullanıcı tarafından girilmektedir. Soğutma kanallarını en homojen soğutma konumu üründen mümkün olduğu kadar uzaktadır. Çünkü üründen soğutma kanalına yaklaştıkça, soğutma kanalının sabit hat üzerindeki soğutma etkisi daha fazla değişkenlik göstermektedir.

Şekil 5.2'deki formda hesaplanan veya veri tabanından alınan her değer değiştirilebilmektedir. Dolayısıyla, soğutma kanalları koordinatlarının farklı işlem değerlerindeki dağılım değerlerine bakılabilmektedir.

- **Soğutma Güncelleme**

Şekil 5.1'deki bu komut ile soğutma kanalı koordinatları, sıcaklık sapma oranının minimum olduğu koordinatlarla değiştirilmektedir. Dolayısıyla en homojen soğuma sağlanmaktadır.

5.3. Yöntem

Plastik enjeksiyon kalıplarında, soğutma kanallarının, ürünü en homojen şekilde soğutmasını sağlayacak şekilde, soğutma kanallarını modellemektir.

Soğutma kanallarının ürün üzerindeki soğutma etkisinin ne kadar homojen olduğu bilinmelidir. Sıcaklık değerlerinin standart sapması homojenlik için bir kriter olarak görünmektedir. Fakat standart sapma değerinin ne kadar büyük veya ne kadar küçük olduğunu anlamak için, değerlerin değişim aralığı ve ortalamalarıyla ilişkilendirilmelidir. Bu doğrultuda sıcaklık sapma oranı adında bir katsayı geliştirilmiştir. Bu katsayı (5.4)'de verilmiştir.

Sıcaklık değişimlerini minimize etmek için ürün soğutma kanalları doğrultusundaki dış sınırının iz düşümü alınmıştır. Bu iz düşüme homojen olması isenilen mesafe (hat) üzerindeki eşit aralıklardaki noktaların sıcaklık değerlerinin sıcaklık sapma oranı değeri minimum edilmesi gerekmektedir.

Sıcaklık ortalaması:
$$T_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (5.1.)$$

Sıcaklık standart sapması:
$$T_{Ssapma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - T_{ort})^2} \quad (5.2.)$$

Sıcaklık değişim miktarı:
$$T_{fark} = (T_{max} - T_{min}) \quad (5.3.)$$

Sıcaklık sapma oranı:
$$M_e = \frac{T_{Ssapma} \cdot T_{fark}}{T_{ort}} \quad (5.4.)$$

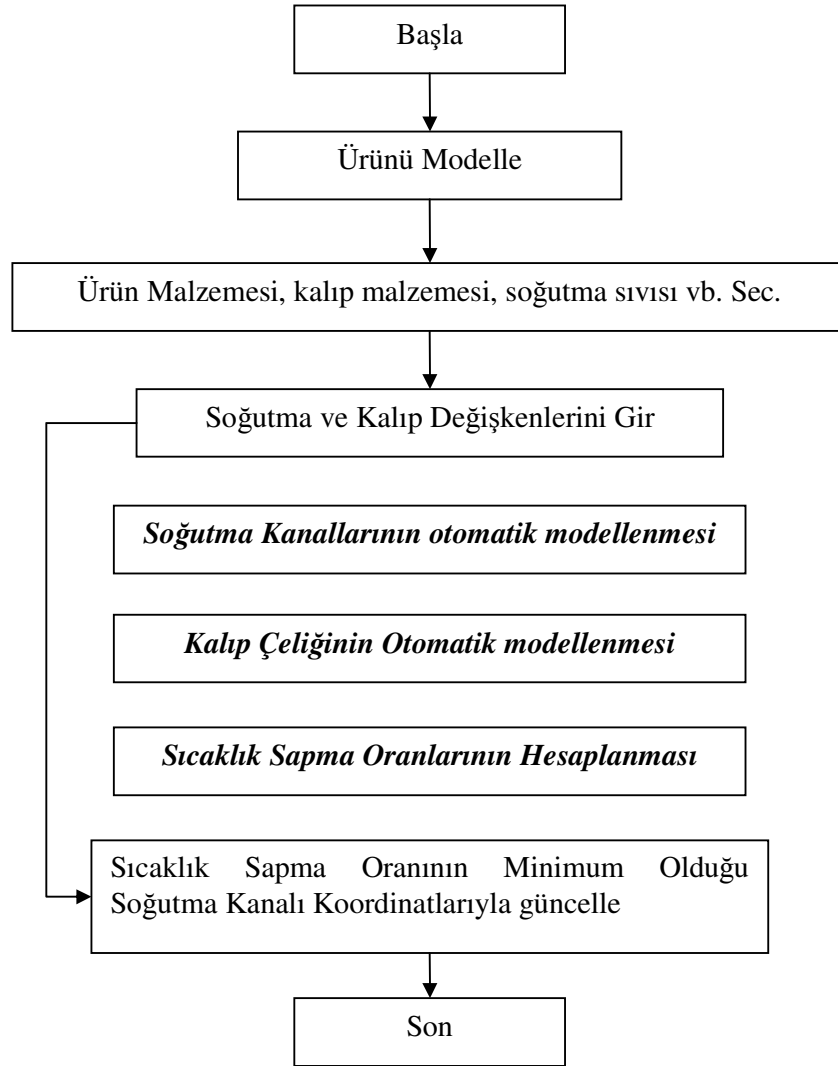
Formül 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'teki T değerleri üründen sabit uzaklıktaki sıcaklık değerlerinin, n ise ürüne sabit uzaklıkta ürün paraleli doğrultusundaki, verilen hesaplama sıklığı aralığındaki nokta sayısını temsil etmektedir.

5.4. Programın Sınırları

Ürünün dış sınır iz düşüm sınırları alınmıştır. Bu sınırın homojen soğutulması esas alınmıştır. Ürünün farklı derinliklerdeki kesitinin ürün iz düşümü olarak oluşan sınırdan uzaklaştıkça soğutmanın homojenliği değişmektedir. Ürünün soğutma kanallarına farklı noktalardan dik kesen düzlemlerin kesitlerinin çok fazla değişken olmaması gerekmektedir. Eğer bu kesitler çok değişken ise programın ürünün bütün bölgesini verimli soğutması için bölgesel olarak birden fazla çalıştırılmalıdır.

5.5. Program Akış Şeması

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi soğutma kanallarının homojen soğutma sağlayacak şekilde modellenmesi oldukça az aşamada gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.3. Uygulama Akış Şeması.

5.6. Veri Yapısı

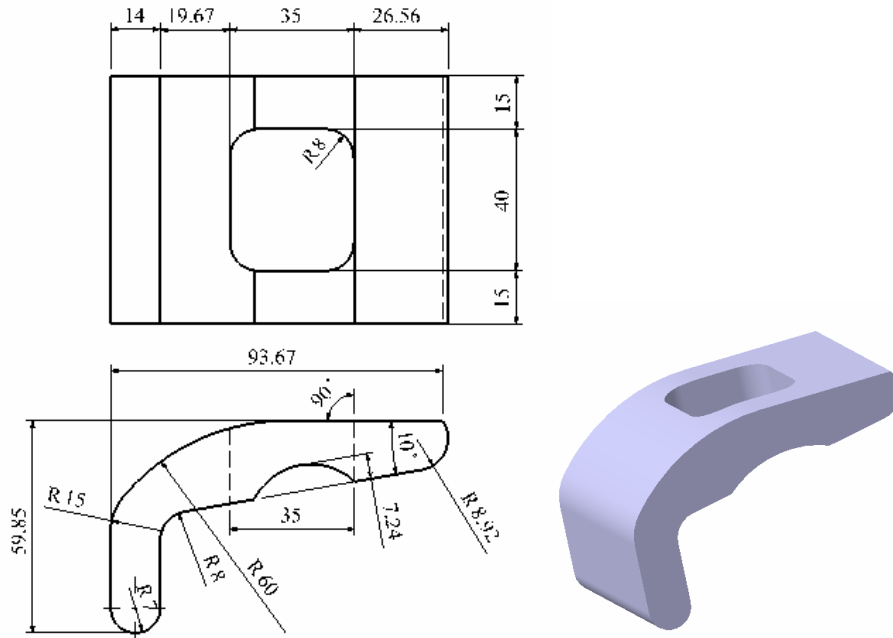
Enjeksiyon malzemesi, enjeksiyon makinesi, kalıp malzemesi, soğutma sıvısı değişkenlerinin bulunduğu veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanına Microsoft Excel aracılığıyla yeni plastik malzeme, kalıp malzemesi, enjeksiyon makinesi, soğutma sıvısı eklenebilmektedir. Veri tabanına ilk bağlantı, parametre girişi komutuyla gerçekleştirilmektedir. Veri tabanı ile BDT programı ilişkilendirildikten sonra,

parametre girişi formundaki butonların yönlendirdiği formlara, değişkenler kaydedilebilmektedir. Bu formlarda veri tabanından alınmış değerler değiştirilebilir. Bu değişiklikler veri tabanını değiştirmemektedir. Fakat, soğutma sisteminin modellendiği katı model dosyasına veriler değişken olarak kaydedilmektedir. Dolayısıyla programı çalıştırdığımızda veri tabanında değişmeler olmamakta verilen değişkenler katı model dosyasında işlem görmektedir.

5.7. Uygulama alışması

Homojen soğuması hedeflenen ürünün modellenmesi, her hangi bir BDT programında yapılabilir. Yapılan modelin soğutma kanallarının modellenmesi için CATIA V5 programında katı olacak şekilde her hangi bir formatta transfer edilmelidir. Transfer edilen katı model ve soğutma parametreleri girilmesiyle kısıtlar doğrultusunda, soğutma kanalları ürünü en homojen soğutacak şekilde yazılım tarafından modellenmektedir.

5.7.1. Parça Geometrisinin Modellenmesi



şekil 5.4. Uygulama Parça Geometrisi

5.7.2. Veri Tabanıyla İlişkilendirme ve Soğutma Parametrelerinin Girilmesi

Soğutma sistemi araç kutusunun parametre girişi butonuyla veri tabanı ilişkilendirilir. Dosyada daha önceden parametre girişi yapılmadığından dolayı veri tabanı ile ilişkilendirildi ve varsayılan ilk veriler atandı.

Tablo 5.1'deki değerler soğutma parametresi olarak girilmiştir. Bu değerlere göre homojen soğumayı salayan, soğutma kanalları koordinatları aranmıştır.

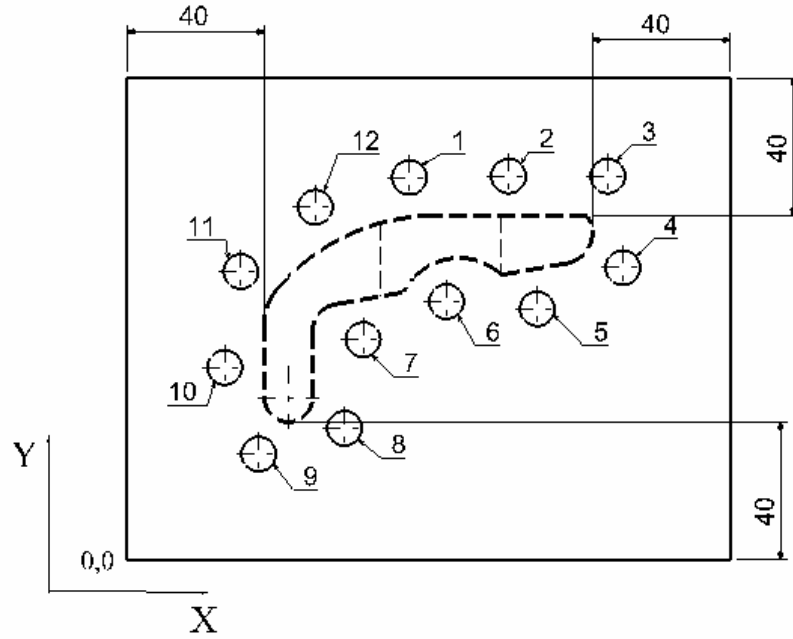
Tablo 5.1. Örnek uygulamadaki soğutma girdileri.

+x	40 mm
-x	40 mm
+y	40 mm
-y	40 mm
+z	40 mm
-z	40 mm
Kalıp Sıcaklığı	75 °C
Eriyik Sıcaklığı	200 °C
Soğutma Oranı	0.33
Soğutma Sıvısı Sıcaklığı	25 °C
Soğutucu Delik Çapı	10 mm
Ürünün Ağırlığı	0.1102978 kg
Sıcaklık Hesaplama Sıklığı	0.5 mm ve 1 mm
Soğutucu Delikler Arası Minimum Mesafe	25 mm
Soğutucu Delikler Arası Maksimum Mesafe	35 mm
Soğutucu Deliklerin Ürüne Olan Minimum Mesafesi	15 mm
Soğutucu Deliklerin Ürüne Olan Maksimum Mesafesi	25 mm
Soğutma Kanal Adet	12
Sıcaklık Farkı Minimize Edilecek Hattın Ürüne Uzaklığı	6 mm
Ürün Sınır Boyu	271.9 mm

Bundan sonraki bütün grafikler, tablolar, yukarıdaki girdilerle örnek uygulama parçası için hesaplanmıştır. Tablo 5.1'deki sarı zeminde gösterilen değişkenler veri tabanından okunmuştur.

5.7.3. Kalıp Çeliğinin Oluşturulması

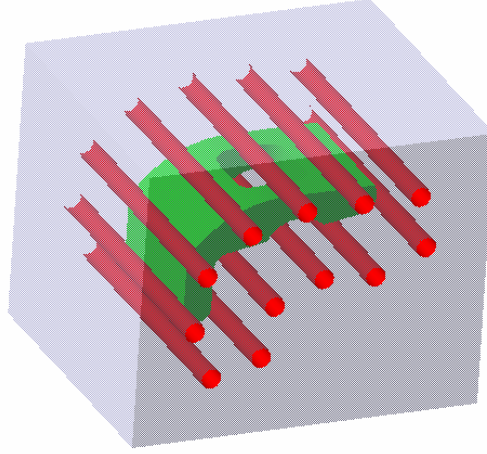
Kalıp çeliğinin boyutlandırılması esnasında, kalıbın dış yüzeyin ürüne olan mesafesi her bir eksen ve doğrultuda, en az, ürün ile soğutma kanalı arası, soğutma kanalı çapı ve soğutma kanalının kalıp dış yüzeyine olan mesafelerin toplamı kadar olmalıdır.



Şekil 5.5. Soğutma kanalları ilk dağılımı ve numaralandırılması.

Şekil 5.5'te soğutma kanalları +X, -X, +Y, -Y yönlerinde üründen 40 mm uzaklıkta otomatik olarak modellenmiştir. Burada girilen 40mm, soğutma kanallarının kalıp malzemesi içinde kalacağı kadar bir ölçüdür. Otomatik modellenen soğutma kanalları numaralandırılmıştır. Otomatik ilk modellemede, soğutma kanallarının ürüne olan mesafesi soğutma kanallarının bu yöndeki alt limit ile üst limitinin ortasıdır. Bu değerler Tablo 5.1'de görüldüğü gibi 15mm ve 25mm'dir.

Bundan sonraki açıklamalarda soğutma kanalları nosu resimdeki soğutma kanallarındaki numaralandırmayı ifade etmektedir.



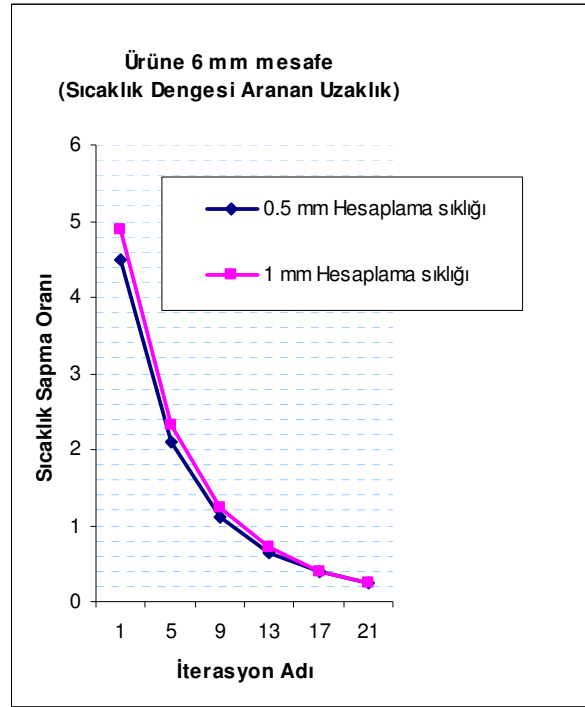
Şekil 5.6. Otomatik modellenen kalıp çeliği ve soğutma kanalları 3 boyutlu modeli.

Otomatik soğutma kanalı modellenmesi aşamasından sonra, yapılan ısı dağılım programı çalıştırılmıştır. Çalıştırılan program, sıcaklık dengesi aradığımız mesafedeki en düşük sıcaklık sapma oranının bulunduğu iterasyonun ürettiği soğutma kanal koordinatını dosyaya kaydetmiştir.

CATIA V5'e eklenen soğutma araç kutusundaki “soğutma güncelle” komutuna basıldığı an soğutma kanalları hesaplanan soğutma kanalı koordinatlarına güncellenmektedir.

5.8. Homojen Soğutma Kanalları

Tablo 5.3'te görüldüğü gibi sıcaklık hesaplama sıklığı oranlarının karesi oranında denklem sayısı oluşmaktadır. Hesaplama zamanı açısından sıcaklık tarama değeri yeterli mesafede olmalıdır. Şekil 5.7'de 0.5mm ile 1mm arasındaki üründen 6mm uzaklıktaki iterasyonlarla sıcaklık sapma oranlarının değişimi görülmektedir. Şekil 5.7'den anlaşıldığı gibi bu ürün için 1mm hesaplama sıklığı ile 0.5mm hesaplama sıklığının çözümü aynı iterasyona ve değerlere götürmektedir.



Şekil 5.7. 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasın da, ürüne 6 mm mesafedeki, 0.5 ve 1mm aralıklarla hesaplanmış, sıcaklık sapma oranları farklı iterasyonlardaki değerleri.

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, 0.5 mm hesaplama sıklığıyla 1 mm hesaplama sıklığı arasında sıcaklık sapma oranları yakındır. Yapılan çalışmada üründen 6mm uzaklıktaki sıcaklık sapma oranını minimum yapan F iterasyonu olduğu görülmüştür.

Tablo 5.2. 0.5 mm hesaplama sıklığında, sıcaklık sapma oranının minimum olduğu soğutma kanalı koordinatları ve ilk dağılım koordinatları.

Soğutma Kanalı No	İlk dağılım koordinatları		Homojen Soğutma Dağılımı	
	X Koordinatı	Y Koordinatı	X Koordinatı	Y Koordinatı
1	70.05	119.02	76,19	123,8
2	111.11	119.85	111,49	124,85
3	144.21	119.85	146,84	124,85
4	154.77	89.65	160,18	93,01
5	133.39	66.77	141,84	64,65
6	101.25	62.42	107,44	57,04
7	74.04	56.23	79	48,09
8	64.14	26.14	62,34	18,92
9	33.16	23.82	28,81	20,68
10	20	52.22	15	51,44
11	23.88	84.7	19,03	86,18
12	47.19	107.72	43,41	111,25

Soğutma kanalları ile ürün arasındaki sıcaklık dağılımını hesaplanmıştır. Tablo 5.3’de nokta adeti ve denklem adeti görülmektedir. Ürün paraleli doğrultusundaki nokta sayısı ve ürün dikeyi doğrultusundaki nokta sayısının çarpımı kadar denklem oluşmaktadır. Denklem sayısına göre ise çözüm matrisinin boyutu değişmektedir. 0.5mm hesaplama sıklığında 4200x4200 boyutunda çözüm matrisi, 1 mm hesaplama sıklığında 1050x1050 boyutunda çözüm matrisi oluşmaktadır. Çözüm matrisinin boyutu doğrudan hesaplama zamanına etki etmektedir. Çok fazla sayıda iterasyon yapılmasıyla soğutma kanalları konumu bulunduğundan, hesaplama sıklığı çok küçük olmamalıdır. Hesaplama sıklığı değeri, sıcaklık profilini yansıtmayacak kadar da büyük olmamalıdır.

Tablo 5.3. Örnek uygulamadaki 1. ve 2. soğutma kanalı arasındaki matris boyutları.

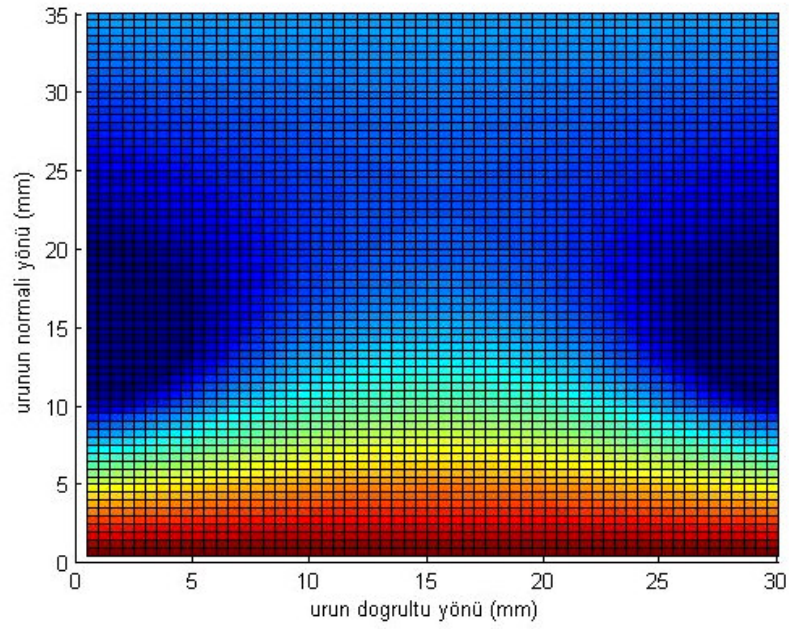
Hesaplama Sıklığı	Ürün Paraleli doğrultusundaki nokta sayısı	Ürün Dikeyi doğrultusundaki nokta sayısı	Nokta adeti (denklem adeti)	Çözüm matrisi	Yapılan İterasyon adeti
0.5 mm	60	70	4200	4200x4200	21
1 mm	30	35	1050	1050x1050	21

5.9. Sonuç Verileri

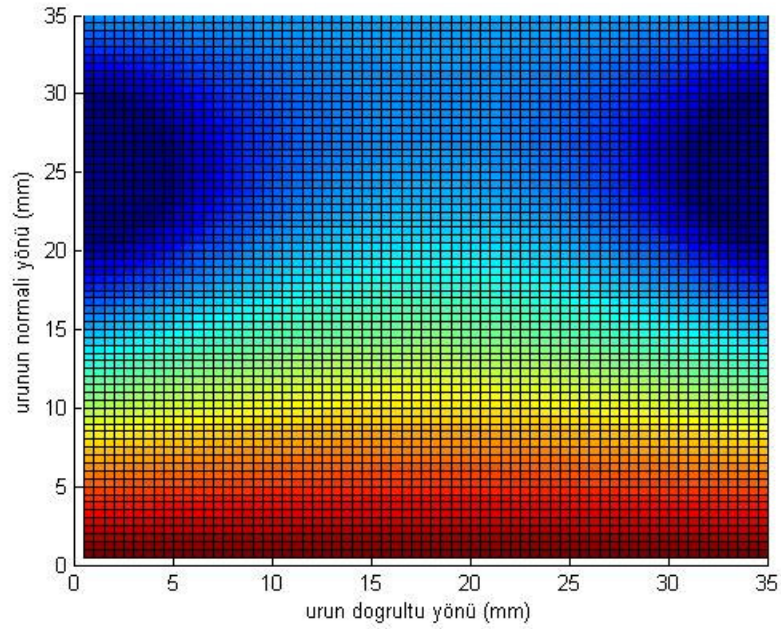
Her yapılan iterasyonda ardışık soğutma kanalları ile ürün arasındaki sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.8’de 0.5 mm hesaplama sıklığında, soğutma kanalı 1 ve soğutma kanalı 2 arasındaki ilk iterasyondaki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Şekil 5.8’de 0.5 mm hesaplama sıklığında, soğutma kanalı 1 ve soğutma kanalı 2 arasındaki 21. iterasyondaki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Diğer ara iterasyonlardaki sıcaklık dağılımı ve 1 mm hesaplama sıklıklarındaki sıcaklık dağılımları ek-6’da verilmiştir.

Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve ek-6’daki sıcaklık dağılım şekillerindeki, maksimum sıcaklık; eriyik sıcaklığı (200°C), minimum sıcaklık; soğutma kanalları sıcaklığıdır (25°C). En kırmızı renk maksimum sıcaklık değerini, en mavi sıcaklık ise minimum sıcaklığı göstermektedir. Bu renk dağılımından sıcaklığın değişmesi gözlenmektedir. Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve ek-6’daki sıcaklık değişmelerinin gözlemlenmesi sonucu soğutma kanalı üründen uzaklaştıkça sıcaklık değişimi azalmakta olduğu anlaşılmıştır. Yani

soğutma kanalları üründen uzaklaştıkça homojen soğutma gerçekleşmektedir. Dolayısıyla homojen soğutma için soğutma kanalları koordinatları Şekil 5.2’de girilen ürüne maksimum mesafe değeri tasarım değişkeni olarak bulunmaktadır.

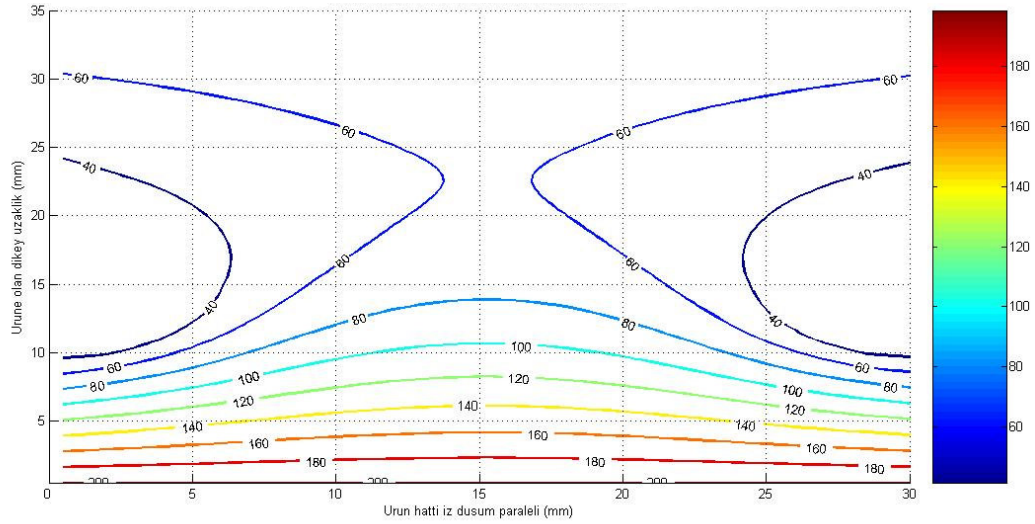


Şekil 5.8. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık dağılımı.

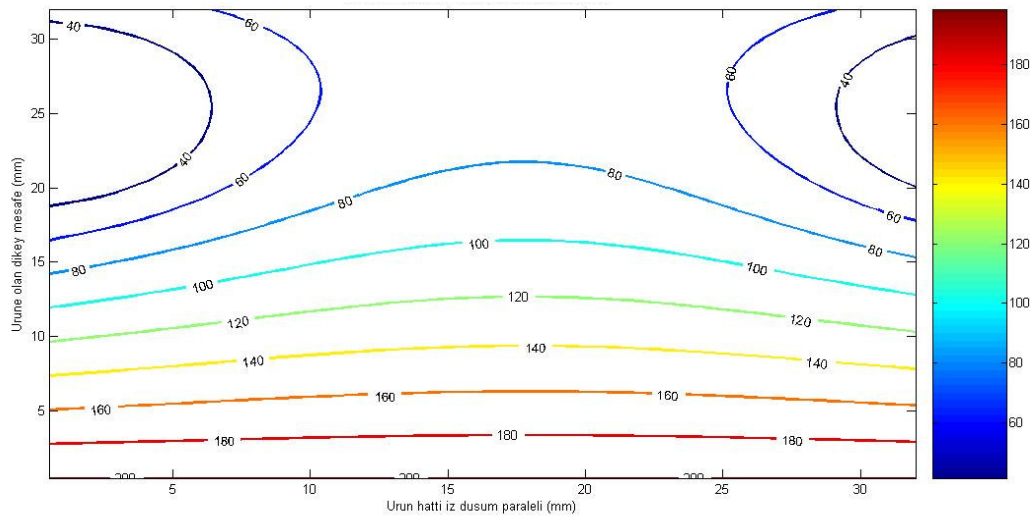


Şekil 5.9. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık dağılımı.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de sırasıyla 1. ve 21. iterasyonlardaki, 0.5mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalı ile ürün arasındaki noktalar için sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.10’de soğutma kanalları ürüne 15mm, Şekil 5.11’de ise 25mm alınmıştır ve sıcaklık eğrileri hesaplanmıştır. 0.5mm hesaplama sıklığındaki diğer iterasyonların sıcaklık eğrileri ve 1mm hesaplama sıklığındaki sıcaklık eğrileri ek-6’da verilmiştir.

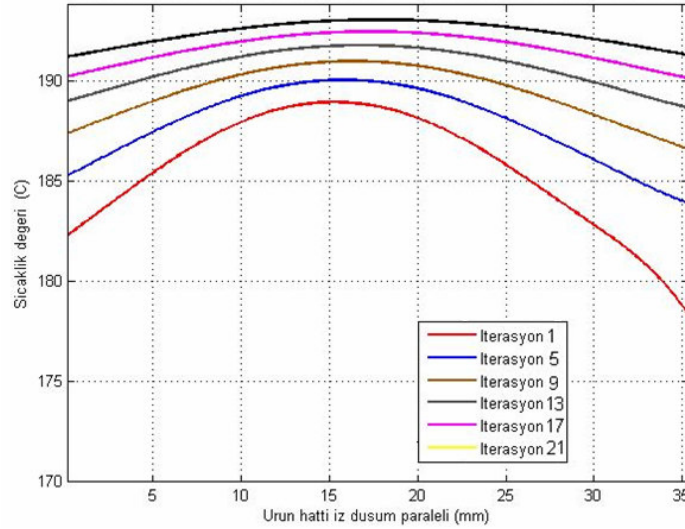


Şekil 5.10. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık hatları.

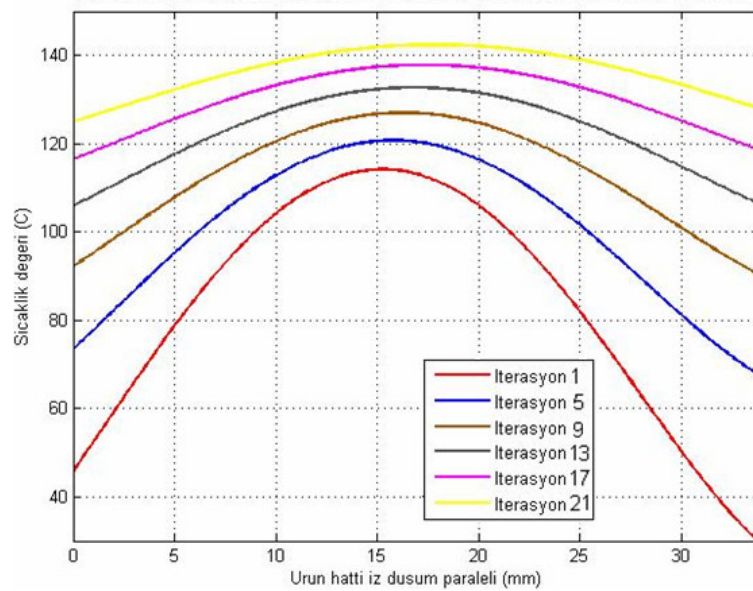


Şekil 5.11. 0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık hatları.

Şekil 5.12’de ve Şekil 5.13’de sırasıyla üründen 2mm ve 9.5mm uzaklıkta, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklık profilleri görülmektedir. Bu profillerde, üründen uzak mesafelerde sıcaklık değişiminin en az olduğu anlaşılmıştır. Yani en homojen soğumanın 21. iterasyon olduğu tekrar gözlemlenmiştir. 0.5 mm hesaplama sıklığındaki ürüne farklı uzaklıktaki mesafelerde sıcaklık profili grafikleri ve 1mm hesaplama sıklığındaki sıcaklık profilleri ek-6’da verilmiştir.



Şekil 5.12. Üründen 2 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



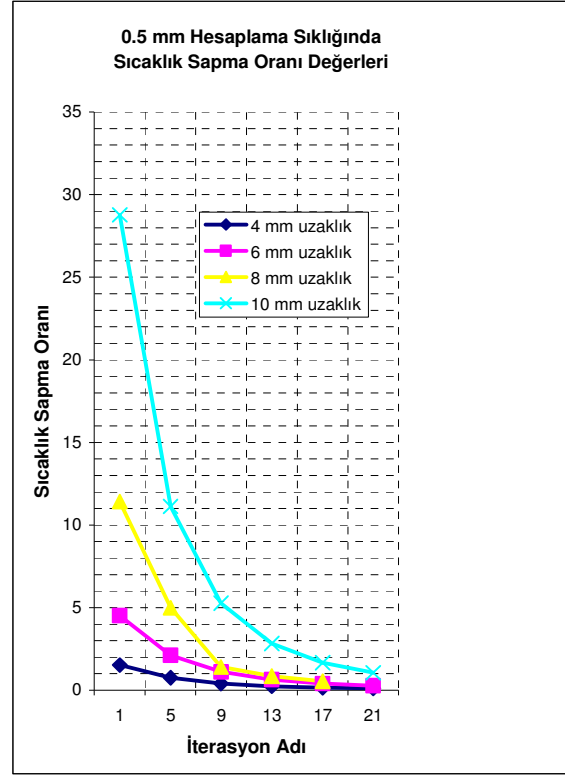
Şekil 5.13. Üründen 9.5 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.

Tablo 5.4’de 0.5 mm hesaplama sıklığında farklı iterasyonlardaki, ürüne eşil uzaklıklardaki bazı noktaların sıcaklık dağılım aralıkları, standart sapması, aritmetik ortalaması ve sıcaklık sapma oranı verilmiştir. Şekil 5.4’deki tablonun 1mm hesaplama sıklığında hesaplanmış ek-6’da verilmiştir.

Tablo 5.4. 0.5 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyon ve farklı uzaklıklardaki soğutma verileri.

	Urune Uzaklık	Minumum Sıcaklık	Maksimum Sıcaklık	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Sıcaklık Sapma Oranı
İterasyon 1	4	130	156,47	8,38	146,60	1,51
	6	95	136,15	13,19	120,73	4,50
	8	60	117,57	19,00	95,80	11,42
	10	25	101,27	27,09	71,80	28,77
İterasyon 5	4	141,67	160,66	5,96	153,61	0,74
	6	112,5	141,98	9,32	131,00	2,10
	8	83,33	124,52	13,19	109,09	4,98
	10	54,17	108,71	17,97	88,07	11,13
İterasyon 9	4	150	164,25	4,45	158,99	0,40
	6	125	147,08	6,92	138,90	1,10
	8	100	130,78	9,72	119,33	2,51
	10	75	115,68	13,01	100,44	5,27
İterasyon 13	4	156,25	167,34	3,46	163,26	0,23
	6	134,37	151,52	5,36	145,20	0,63
	8	112,5	136,35	7,47	127,52	1,40
	10	90,63	122,05	9,92	110,36	2,82
İterasyon 17	4	161,11	170,01	2,77	166,74	0,15
	6	141,67	155,40	4,28	150,35	0,39
	8	122,22	141,27	5,95	134,25	0,84
	10	102,78	127,82	7,84	118,55	1,66
İterasyon 21	4	165	172,33	2,28	169,65	0,10
	6	147,5	158,80	3,51	154,66	0,26
	8	130	145,64	4,87	139,89	0,54
	10	112,5	133	6,40	125,44	1,05

Şekil 5.14'deki grafiklerde 0.5mm hesaplama sıklığındaki, 1 ve 2 nolu soğutma kanalı arasında, farklı iterasyonlarda oluşan sıcaklık değerlerinden, elde edilen sıcaklık sapma oranları verilmiştir. Aynı grafiğin 1mm hesaplama sıklığı için grafiği ise ek-6'da verilmiştir.



Şekil 5.14. 0.5 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı mesafe ve farklı iterasyonlardaki sıcaklık sapma oranı değerleri.

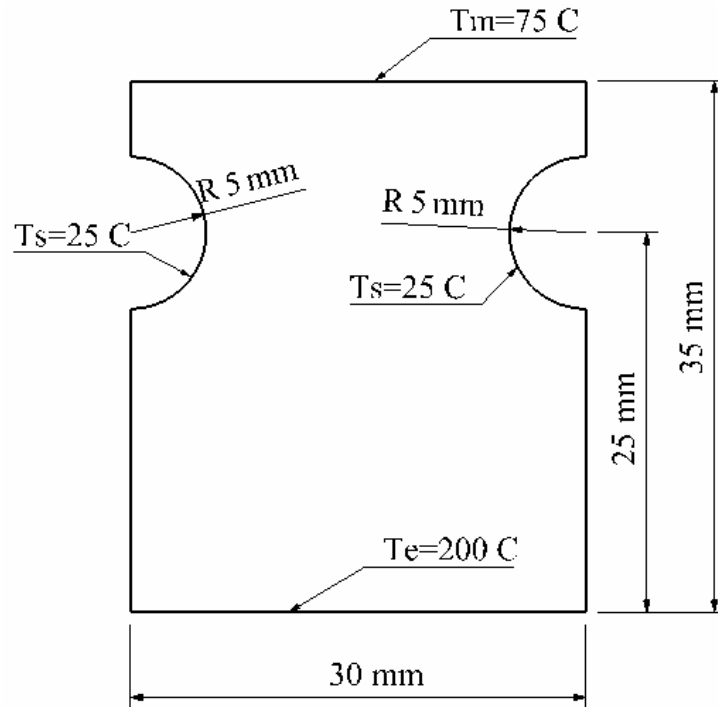
5.10. Matlab PDE Toolbarı ile Yapılan Sıcaklık Dağılımı Yazılımı Çalışmasının Karşılaştırılması

Plastik enjeksiyon soğutma sisteminin homojen soğumasını sağlamak için geliştirilen programın doğru sonuç verdiğini görmek için MATLAB PDE toolbarındaki ısı iletim problemi çözülmüştür.

Şekil 5.15’de sınır şartları verilen geometri çözdürülmüştür. Sınır şartları sağ ve sol dikey kenarlar sıcaklık değişimi lineer kabul edilmiştir.

Yazılımdan elde edilen sıcaklık değerleri, 200°C sıcaklıktaki kenara 3, 5 ve 7mm uzaklıktaki hatlar üzerinden alınmıştır.

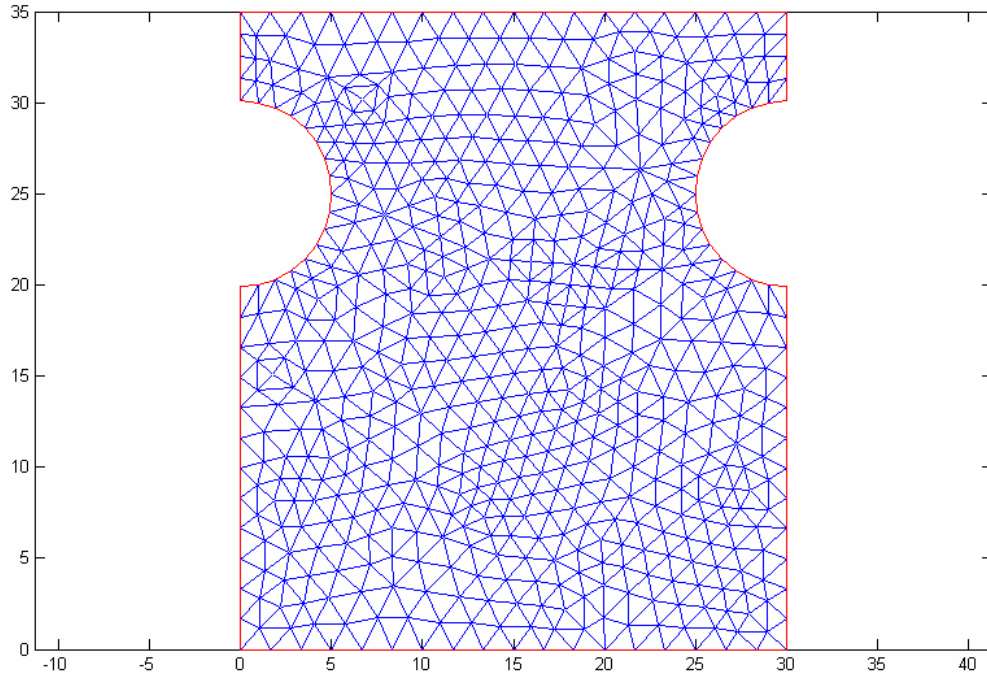
Yapılan yazılımın doğruluğunun kontrolü için yapılan bu karşılaştırmada, geometri ve sınır şartları, plastik enjeksiyon soğutma sisteminde olabilecek boyutlarda seçilmiştir.



Şekil 5.15. Matlab PDE Toolbox ile karşılaştırılması yapılacak geometri ve sınır şartları.

Şekil 5.15’de sınır şartları yetersiz görünmektedir. Dolayısıyla aynı geometrinin yan yana yeteri miktarda yerleştirilip dış sınır sıcaklık değerleri verilerekten çözdürülmüştür.

MATLAB PDE’de çizilen geometrinin mesh yoğunluğu Şekil 5.16’da görülmektedir. Mesh yoğunluğu görsel olarak yeteri boyutta seçilmiştir.

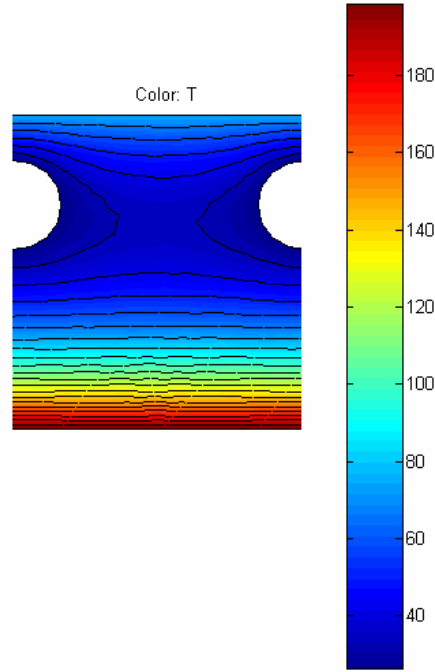


Şekil 5.16. Yazılımla karşılaştırma parçası Matlab PDE Toolbox’ındaki mesh görüntüsü.

MATLAB PDE toolbarında çözdürülen sıcaklık dağılımı Şekil 5.17’de verilmiştir. Sıcaklık dağılımında görülen sıcaklık profilini kırık hatlardan oluşmaktadır. Bu mesh yoğunluğu ile ilgilidir.

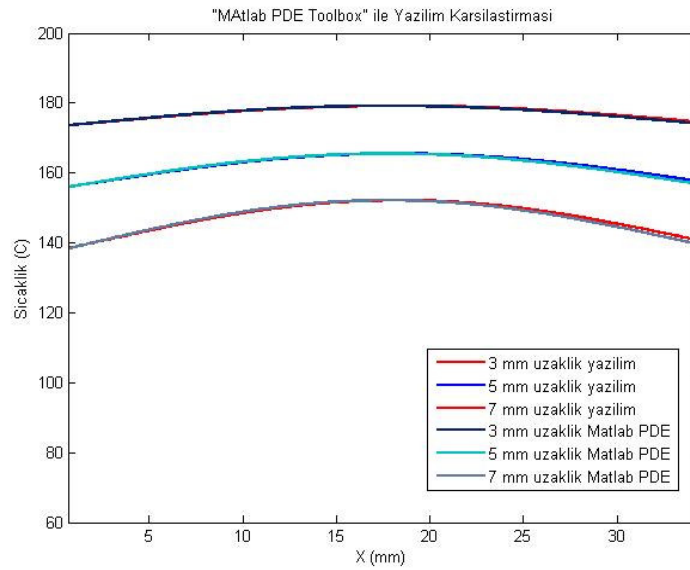
Daha sağlıklı karşılaştırmak için yapılan yazılımın hesaplama sıklığı 0.5mm olarak çözdürülmüştür.

MATLAB PDE’de yapılan analizin sıcaklık çıktısı mesh elemanın sıcaklık değeridir.



Şekil 5.17. Karşılaştırma parçası Matlab PDE Toolbox'ındaki sıcaklık dağılımı.

Yapılan yazılımda sıcaklık değerleri, çözümü iki boyutta her iki ekseninde eşit uzaklıklarda değişen noktalarda hesaplanmıştır. Dolayısıyla sıcaklık grafiklerini karşılaştırmak için eğri uydurmak gerekmektedir. Matlab ve yapılan yazılımın sıcaklık değerlerinin karşılaştırması Şekil 5.18'de görülmektedir. Eğrilerin derecesi düşürülünce yapılan yazılım ile MATLAB PDE sıcaklık grafiğinin örtüştüğü görülmüştür.



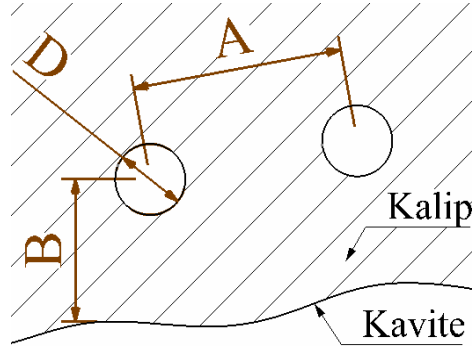
Şekil 5.18. Karşılaştırma parçasının Matlab PDE Toolbox çözümü sıcaklık değeri ile yapılan programın 0.5 mm hesaplama sıklığında sıcaklık değerleri.

6. SOĞUTMA KANALI MATEMATİKSEL MODELİ VE OPTİMİZASYONU

Bu optimizasyon çalışmasında, plastik enjeksiyon soğutma sistemi soğutma kanallarının homojen soğuma ve döngü zamanının Şekil 6.1’de görülen geometrik değişkenlerle değişimi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu oluşan sıcaklık sapma oranı ve döngü zamanlarına lineer modeller bulunmuştur.

6.1. Plastik Malzeme Seçimi

Optimizasyon çalışmasında iki değişik malzeme üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu malzemeler; polipropilen (PP) ve alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) olarak seçilmiştir. Polipropilenin genel özellikleri Tablo 6.1’de, LDPE’nin genel özellikleri Tablo 6.2’de verilmiştir. Bu malzemelerin dünya üzerinde kullanım oranlarına bakıldığında %31 kullanım oranı ile polietilen ilk sırada, %14 kullanım ile polipropilen ikinci sırada en çok kullanılan plastikler sınıfına girmektedir [Arıcı, 2005].



Şekil 6.1. Soğutma kanalı geometrik değişkenleri.

$$A=2D\sim4D \quad (6.1.)$$

$$B=0.8A\sim1.5A \quad (6.2.)$$

Şekil 6.1’deki geometrik değişkenler Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 verilen değerlerle polipropilen ve alçak yoğunluklu polietilen için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu bulunan döngü zamanı ve sıcaklık sapma oranları Tablo 6.5 ve Tablo 6.6’da verilmiştir.

6.2. Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

6.2.1. Polipropilen

- Aile adı: Polipropilen
- Aile kısaltması: PP
- Ticari adı: Moplen RM6100
- İmalatçı firma: Basel Poliolefinler
- Malzeme yapısı: Kristalli

Tablo 6.1. Polipropilenin özellikleri.

Özellik	Birim	Değer
İşlem Sıcaklığı	°C	200-300
Kalıp Derecesi	°C	5-50
Çekme	%	0,6-2,0
Özgül Ağırlık	Gr/cm ³	0,89-0,91
Kuruma Derecesi	°C	80-100
Kuruma Süresi	Saat	0,5-10
Gerilim Kuvveti	N/mm	20-37
Bilya Baskı Sertliği	N/mm	35-80
Yumuşama Isısı	°C	100
Özgül Sıcaklık	Kj / kg K	1,80
Gerilim Elastik Modülü	N/mm	500-1800
Sıcaklık İletimi	W/m K	0,17

6.2.2. Alçak Yoğunluklu Polietilen

- Aile adı: Alçak Yoğunluklu Polietilen
- Aile kısaltması: LDPE
- Ticari adı: Polietilen – L 2034G
- İmalatçı firma: Idemitsu Petrochemical Co. Ltd.
- Malzeme yapısı: Kristalli

Tablo 6.2. Alçak yoğunluklu polietilen özellikleri.

Özellik	Birim	Değer
İşlem Sıcaklığı	°C	170-270
Kalıp Derecesi	°C	5-60
Çekme	%	1-3
Özgül Ağırlık	Gr/cm ³	0,91-0,93
Kuruma Derecesi	°C	70-100
Kuruma Süresi	Saat	0,5-10
Gerilim Kuvveti	N/mm	8-33
Bilya Baskı Sertliği	N/mm	30
Yumuşama Isısı	°C	60-70
Özgül Sıcaklık	Kj / kg K	2,1-2,5
Gerilim Elastik Modülü	N/mm	150-800
Sıcaklık İletimi	W/m K	0,32-0,4

Tablo 6.3. Polipropilen için yapılan analizlerin soğutma kanalı geometrik değişkenleri.

Analiz No	A (mm)	B (mm)	D (mm)
PP1	25	12	6
PP2	25	12	8
PP3	25	12	10
PP4	25	17	6
PP5	25	17	8
PP6	25	17	10
PP7	25	22	6
PP8	25	22	8
PP9	25	22	10
PP10	30	12	6
PP11	30	12	8
PP12	30	12	10
PP13	30	17	6
PP14	30	17	8
PP15	30	17	10
PP16	30	22	6
PP17	30	22	8
PP18	30	22	10
PP19	35	12	6
PP20	35	12	8
PP21	35	12	10
PP22	35	17	6
PP23	35	17	8
PP24	35	17	10
PP25	35	22	6
PP26	35	22	8
PP27	35	22	10

Analiz No	A (mm)	B (mm)	D (mm)
PP28	24	12	10
PP29	24	16	10
PP30	24	21	10
PP31	24	25	10
PP32	28	12	10
PP33	28	16	10
PP34	28	21	10
PP35	28	25	10
PP36	32	12	10
PP37	32	16	10
PP38	32	21	10
PP39	32	25	10
PP40	36	12	10
PP41	36	16	10
PP42	36	21	10
PP43	36	25	10

Tablo 6.4. Alçak yoğunluklu polietilen için yapılan analizlerin soğutma kanalı geometrik değişkenleri.

Analiz No	A (mm)	B (mm)	D (mm)
PE1	25	12	6
PE2	25	12	8
PE3	25	12	10
PE4	25	17	6
PE5	25	17	8
PE6	25	17	10
PE7	25	22	6
PE8	25	22	8
PE9	25	22	10
PE10	30	12	6
PE11	30	12	8
PE12	30	12	10
PE13	30	17	6
PE14	30	17	8
PE15	30	17	10
PE16	30	22	6
PE17	30	22	8
PE18	30	22	10
PE19	35	12	6
PE20	35	12	8
PE21	35	12	10
PE22	35	17	6
PE23	35	17	8
PE24	35	17	10
PE25	35	22	6
PE26	35	22	8
PE27	35	22	10

Analiz No	A (mm)	B (mm)	D (mm)
PE28	24	12	10
PE29	24	16	10
PE30	24	21	10
PE31	24	25	10
PE32	28	12	10
PE33	28	16	10
PE34	28	21	10
PE35	28	25	10
PE36	32	12	10
PE37	32	16	10
PE38	32	21	10
PE39	32	25	10
PE40	36	12	10
PE41	36	16	10
PE42	36	21	10
PE43	36	25	10

Tablo 6.5. Yapılan analizlerin sıcaklık sapma oranları ve döngü zamanları (a).

Analiz Adı	Sıcaklık Sapma Oranı (U)	Döngü Zamanı (Z) (sn)
PE1	0,0645	83,41
PE2	0,0341	83,22
PE3	0,0262	82,93
PE4	0,0529	84,78
PE5	0,0306	84,60
PE6	0,0267	84,40
PE7	0,0393	86,30
PE8	0,022	85,98
PE9	0,0189	85,76
PE10	0,0886	83,74
PE11	0,0453	83,60
PE12	0,0322	83,23
PE13	0,0758	85,22
PE14	0,0426	84,82
PE15	0,0345	84,60
PE16	0,058	86,53
PE17	0,032	86,35
PE18	0,0257	86,00
PE19	0,1134	84,14
PE20	0,0596	83,94
PE21	0,0404	83,51
PE22	0,0987	85,53
PE23	0,0563	85,31
PE24	0,043	84,82
PE25	0,0775	86,94
PE26	0,0435	86,68
PE27	0,0331	86,24

Analiz Adı	Sıcaklık Sapma Oranı (U)	Döngü Zamanı (Z) (sn)
PP1	0,0645	52,37
PP2	0,0341	52,07
PP3	0,0262	51,89
PP4	0,0529	52,66
PP5	0,0306	52,4
PP6	0,0267	52,58
PP7	0,0393	53,5
PP8	0,022	53,38
PP9	0,0189	53,3
PP10	0,0886	52,2
PP11	0,0453	52,1
PP12	0,0322	52
PP13	0,0758	53,03
PP14	0,0426	52,9
PP15	0,0345	52,7
PP16	0,058	54
PP17	0,032	53,8
PP18	0,0257	53,63
PP19	0,1134	52,74
PP20	0,0596	52,6
PP21	0,0404	52,45
PP22	0,0987	53,32
PP23	0,0563	53
PP24	0,043	52,62
PP25	0,0775	54,13
PP26	0,0435	53,93
PP27	0,0331	53,67

Tablo 6.6. Yapılan analizlerin sıcaklık sapma oranları ve döngü zamanları (b).

Analiz Adı	Sıcaklık Sapma Oranı (U)	Döngü Zamanı (Z)
PE28	0,0252	82,86
PE29	0,0266	83,8
PE30	0,0189	85,1
PE31	0,0142	86,3
PE32	0,0295	83
PE33	0,0327	84,24
PE34	0,0245	85,39
PE35	0,0187	86,31
PE36	0,0351	83,38
PE37	0,0392	84,47
PE38	0,0304	85,82
PE39	0,0237	86,83
PE40	0,0423	83,5
PE41	0,0464	84,18
PE42	0,0367	86,01
PE43	0,0291	87,1

Analiz Adı	Sıcaklık Sapma Oranı (U)	Döngü Zamanı (Z)
PP28	0,0252	51,77
PP29	0,0266	52,2
PP30	0,0189	53,06
PP31	0,0142	53,58
PP32	0,0295	52,08
PP33	0,0327	52,82
PP34	0,0245	53,45
PP35	0,0187	53,85
PP36	0,0351	52,38
PP37	0,0392	52,75
PP38	0,0304	53,16
PP39	0,0237	53,65
PP40	0,0423	52,14
PP41	0,0464	52,87
PP42	0,0367	53,5
PP43	0,0291	54

6.3. Regresyon Analizi

Regresyon analizi; matematik, finans, ekonomi, tıp gibi bilim dallarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Regresyon analizinin temelinde; bir olayı değerlendirirken hangi olayların etkisinde olduğunu araştırılması vardır. Bu olaylar bir veya birden çok olabilir. Faktörlerden dolayı veya direkt etkileniyor olabilir.

Regresyon analizi yapılırken gözlem değerlerinin ve etkilenen olayların bir matematiksel gösterimle, yani bir fonksiyon yardımıyla ifade edilmesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir.

Regresyon analizi incelenirken, genellikle konusunu oluşturan, etkilendiği olaylara değişkenler adı verilir. Bu değişkenlerin yer alacağı matematiksel model incelenir. Değişken, belirli bir zaman aralığı göz önüne alınıp, o zaman aralığında kütleyi oluşturan belli birimdeki olayları içeren örneklerdir. Sayılabilir ve ölçülebilir nitelikte olmalıdır.

Regresyon modeli kullanırken öncelikle ilgilenilen olaylarla ilgili olarak bir sebep-sonuç ilişkisinin bulunması gerekmektedir. Sebep-sonuç ilişkisi, regresyon modeli kurulurken bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak anlatılmaktadır. Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde yer alan değişkenler, bir bağımlı değişkenden ve bir veya birden çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenlerle kurulacak modeller, bir değişkenli olarak ele alınırsa, çoklu regresyon modeli konusunu oluşturmaktadır [Arıcı, 2005].

Basit doğrusal regresyon : $Y = a + bX_1 + e_i$

Çoklu regresyon modeli : $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + ... + e_i$

Y : Bağımlı değişken

$X_1, X_2, X_3, ...$: Bağımsız değişkenler

a,b,c,d,... : Katsayılar

e_i : Hata terimi

Bu çalışmada, iki malzeme, değişken ve sabit çapta soğutma kanalları için regresyon analizi yapılarak model oluşturulmuştur. Bu modeller optimizasyon problemi içinde kullanılmıştır. Sonuçların düzgünlüğü regresyon analizinden elde edilecek olan “R-sqr” değerine göre belirlenmiştir. R-sqr değeri %80’den büyükse yeterli model olduğu kabul edilmiştir.

POLİPROPİLEN

a) Sabit soğutma kanal çapı

Moldflow'da yapılan PP28'den PP43'e kadar yapılan analiz sonuçlarına göre Minitab'da elde edilen regresyon analizi modelleri:

$$U = -0.0045 + 0.00175A - 0.00051B - 0.000016AB$$

$$Z = 48.9 + 0.0557A + 0.164B - 0.00117AB$$

Elde edilir.

Elde edilen R-sqr değeri zaman için 95%, homojen soğuma için 89.4% bulunmuştur.

Regresyon analizi sonuçları ek-4'te verilmiştir.

a) Değişken soğutma kanal çapı

Moldflow'da yapılan PP1'den PP27'e kadar yapılan analiz sonuçlarına göre Minitab'da elde edilen regresyon analizi modelleri:

$$U = -0.0407 + 0.00949A - 0.00495B + 0.00127D - 0.000049AB - 0.000735AD$$

$$Z = 48.5 + 0.0888A + 0.135B + 0.086D + 0.00030AB - 0.00575AD$$

Elde edilir.

Elde edilen R-sqr değeri zaman için 95.2%, homojen soğuma için 93.2% bulunmuştur.

Regresyon analizi sonuçları ek-4'te verilmiştir.

2) ALÇAK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN

a) Sabit soğutma kanal çapı

Moldflow'da yapılan PE28'den PE43'e kadar yapılan analiz sonuçlarına göre Minitab'da elde edilen regresyon analizi modelleri:

$$U = -0.0045 + 0.00175A - 0.00051B - 0.000016AB$$

$$Z = 79.3 + 0.0204A + 0.202B + 0.00219AB$$

Elde edilir.

Elde edilen R-sqr değeri zaman için 99%, homojen soğuma için 89.4% bulunmuştur.

Regresyon analizi sonuçları ek-4'te verilmiştir.

a) Değişken soğutma kanal çapı

Moldflow'da yapılan PE1'den PE27'e kadar yapılan analiz sonuçlarına göre Minitab'da elde edilen regresyon analizi modelleri:

$$U = -0.0407 + 0.00949A - 0.00495B + 0.00127D - 0.000049AB - 0.000735AD$$

$$Z = 77.6 + 0.118A + 0.309B + 0.0396D - 0.0007AB - 0.00533AD - 0.00125BD$$

Elde edilir.

Elde edilen R-sqr değeri zaman için 93.2%, homojen soğuma için 99.8% bulunmuştur.

Regresyon analizi sonuçları ek-4'te verilmiştir.

Elde edilen modellerin katsayısına bakılırsa üretilecek olan malzeme değişince döngü zamanı modelinin katsayılarında oransal olarak büyük farklılıklar gözlenmiştir.

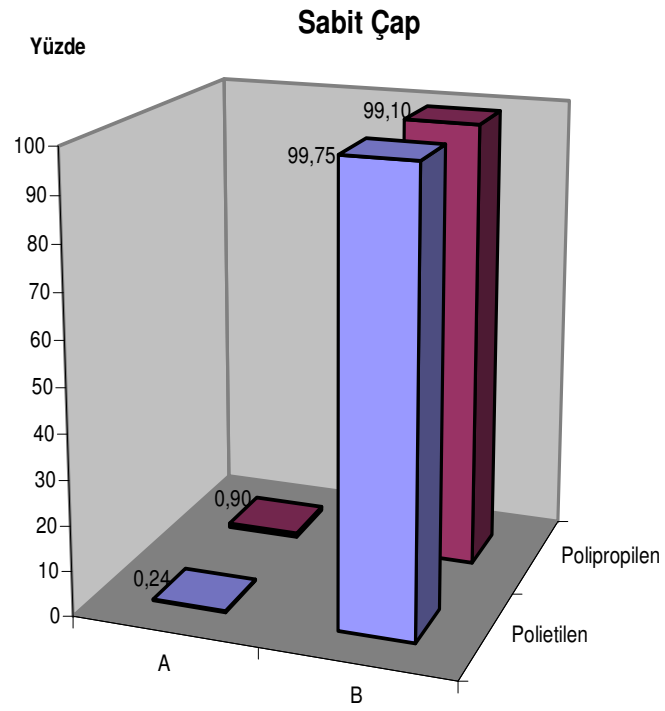
Yukarıda elde edilen modellerin regresyon analizi ve her bir model için modeli oluşturan değişkenlerin model etkisi tek yönlü varyans analiz ile elde edilmiştir ve ek-4 te verilmiştir. Varyans analizine göre elde edilen soğutma sistemi geometrik değişkenlerinin döngü zamanı ve homojen soğuma üzerindeki etkileri Tablo 6.7 ve Tablo 6.8'de verilmiştir. Bu etkilerin yüzdelik değerleri ise Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Soğutma sistemi geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkileri.

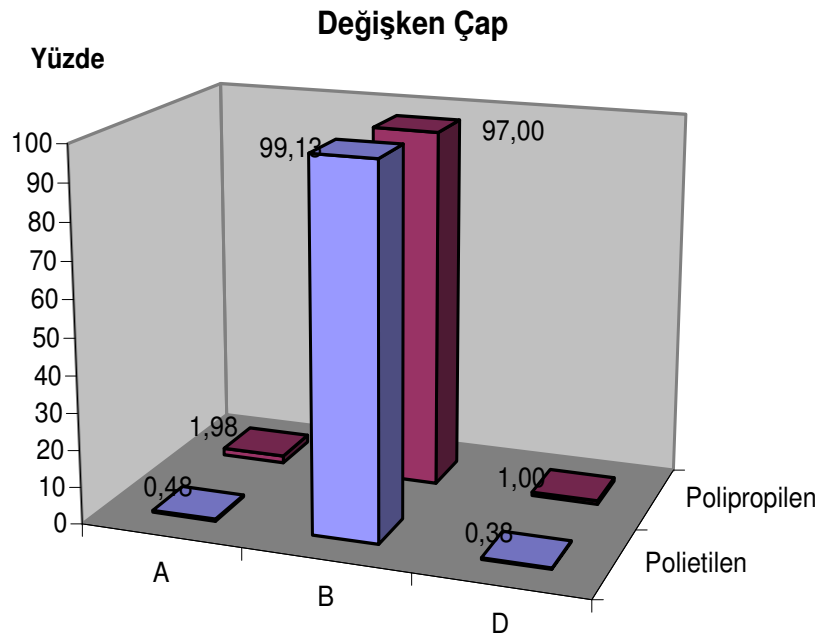
		A	B	D
POLİETİLEN	Sabit Çap	0,18	74,55	-
	Değişken Çap	0,6	124,22	0,48
POLİPROPİLEN	Sabit Çap	0,32	35,38	-
	Değişken Çap	1,19	58,26	0,6

Tablo 6.8. Soğutma sistemi geometrik değişkenlerinin homojen soğumaya etkileri.

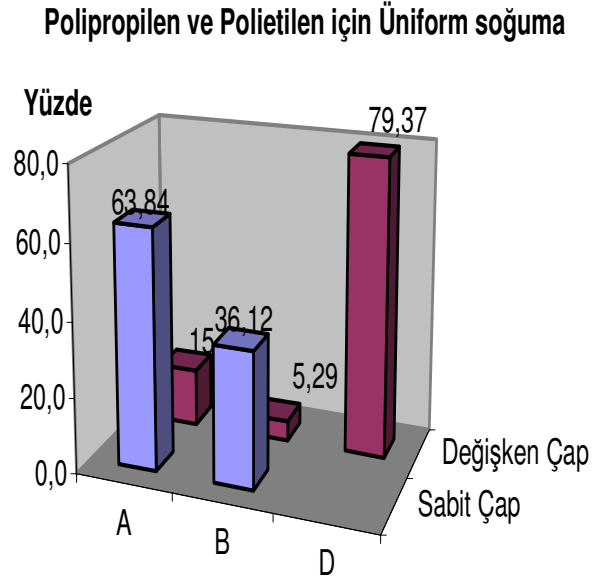
	A	B	D
Sabit Çap	5,25	2,97	-
Değişken Çap	3,54	1,22	18,31



Şekil 6.2. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkisinin sabit çapta yüzdelik dağılımı.



Şekil 6.3. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin döngü zamanına etkisinin değişken çapta yüzdelik dağılımı.



Şekil 6.4. Soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin homojen soğumaya etkisinin yüzdelik dağılımı.

6.4. Soğutma Kanalı Optimizasyonu

Optimizasyon algoritmaları için Simulated annealing metodu kullanılmıştır. Bu metod, termodinamik ve metalurji alanlarındaki kavramlardan ilham almıştır.: “Erimiş malzemelerin yavaşça soğutulduğunda katılaştıktan sonra daha kararlı, daha sağlam olacağı” tezine dayanır. Soğuma sırasındaki sıcaklık değişkenlere, enerji değeri amaç fonksiyonuna karşı gelecek şekilde dönüşümler yapılır [Kurtaran, 2005].

Aşağıda tanımlanan optimizasyon probleminin iterasyon geçmişi polipropilen değişken soğutma kanal çapı Şekil 6.5’te, polipropilen sabit soğutma kanal çapı Şekil 6.6’da, polietilen değişken soğutma kanal çapı Şekil 6.7’de, polietilen sabit soğutma kanal çapı Şekil 6.8’de verilmiştir.

A,B,D değerleri ise döngü zamanın ve homojen soğuma fonksiyonlarının değişkenleridir.

Bu optimizasyon problemlerinde 49’ar iterasyon yaptırılmış ve polietilen ve polipropilen için değişken ve sabit soğutma kanal çapı olmak üzere optimum A,B,D değerleri bulunmuştur. Optimizasyon iterasyon geçmişi ek-5’de verilmiştir.

K_Z =Döngü zamanı önem katsayısı

K_U =Homojen soğuma önem katsayısı

U =Sıcaklık sapma oranı

Z =Döngü Zamanı

Sabit Değerler

$D=6\text{mm}, 8\text{mm}$ veya 10mm

$K_Z=8$ $K_U=4$ uygulama çalışması için alınan değerdir.

Optimizasyon kısıtlamalar:

$$2D < A < 4D$$

$$0.8A < B < 1.5A$$

Amaç Fonksiyonu

$$F_{\min} = \frac{K_Z \left(\frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \right)}{K_U \left(1 - \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} \right)}$$

6.4.1. Polietilen Ürün İmalatı için Sabit Soğutma Kanal Çapında

Yukarıda regresyon analizi ile polietilen malzeme ve sabit soğutma kanal çapında bulunan A, B ve D 'ye bağlı U ve Z fonksiyonları yukarıdaki optimizasyon kısıtlamaları ile amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

$$U = -0.0045 + 0.00175A - 0.00051B - 0.000016AB$$

$$Z = 79.3 + 0.0204A + 0.202B + 0.00219AB$$

$$F_{\min} = 27.56 \quad A=20 \quad B=30 \quad D=10$$

Değerleri bulunmuştur.

6.4.2. Polipropilen Ürün İmalatı için Sabit Soğutma Kanal Çapında

Yukarıda regresyon analizi ile polipropilen malzeme ve sabit soğutma kanal çapında bulunan A, B ve D 'ye bağlı U ve Z fonksiyonları yukarıdaki optimizasyon kısıtlamaları ile amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

$$U = -0.0045 + 0.00175A - 0.00051B - 0.000016AB$$

$$Z = 48.9 + 0.0557A + 0.164B - 0.00117AB$$

$$F_{\min} = 0.43 \quad A=20.34 \quad B=16.7 \quad D=10$$

Değerleri bulunmuştur.

6.4.1. Polietilen Ürün İmalatı için Değişken Soğutma Kanal Çapında

Yukarıda regresyon analizi ile polietilen malzeme ve değişken soğutma kanal çapında bulunan A,B ve D'ye bağlı U ve Z fonksiyonları yukarıdaki optimizasyon kısıtlamaları ile amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

D=6mm, 8mm veya 10mm

$$U = -0.0407 + 0.00949A - 0.00495B + 0.00127D - 0.000049AB - 0.000735AD$$

$$Z = 77.6 + 0.118A + 0.309B + 0.0396D - 0.0007AB - 0.00533AD - 0.00125BD$$

$$F_{\min}=8.64$$

$$A=5$$

$$B=52.48$$

$$D=10$$

Değerleri bulunmuştur.

6.4.2. Polipropilen Ürün İmalatı için Değişken Soğutma Kanal Çapında

Yukarıda regresyon analizi ile polipropilen malzeme ve değişken soğutma kanal çapında bulunan A,B ve D'ye bağlı U ve Z fonksiyonları yukarıdaki optimizasyon kısıtlamaları ile amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

D=6mm, 8mm veya 10mm

$$U = -0.0407 + 0.00949A - 0.00495B + 0.00127D - 0.000049AB - 0.000735AD$$

$$Z = 48.5 + 0.0888A + 0.135B + 0.086D + 0.00030AB - 0.00575AD$$

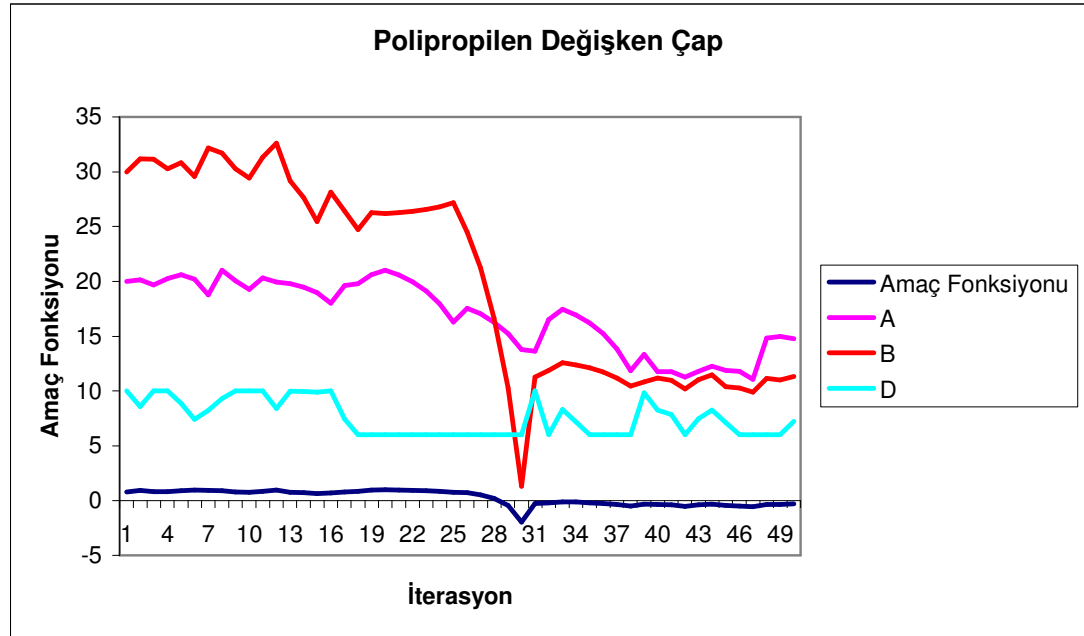
$$F_{\min}=-0.35$$

$$A=13.39$$

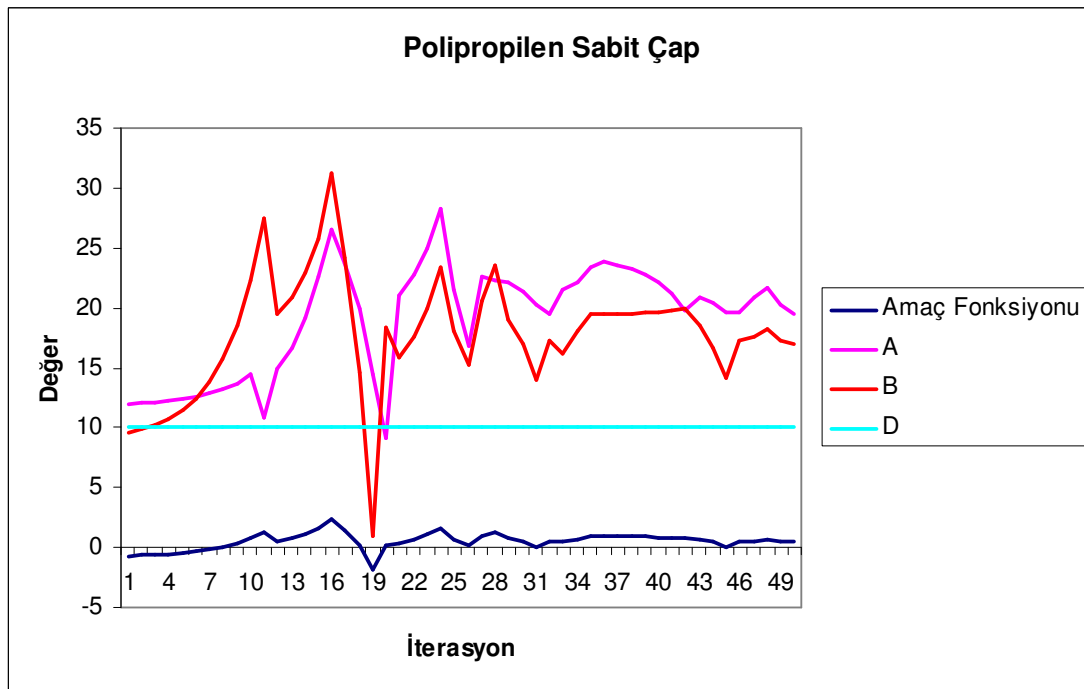
$$B=11.19$$

$$D=6$$

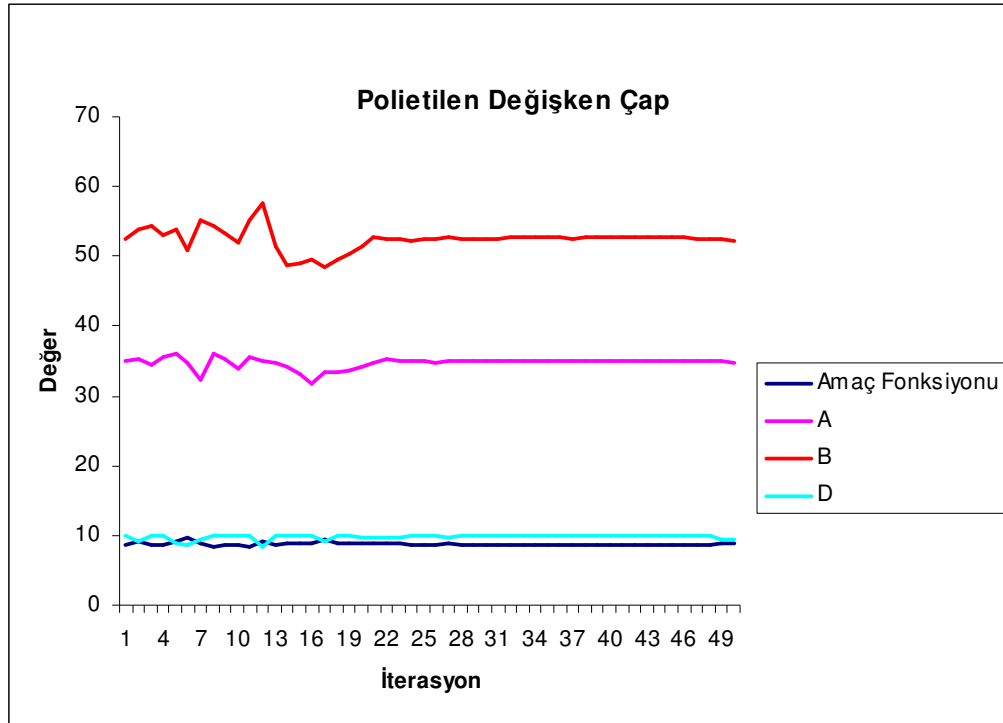
Değerleri bulunmuştur.



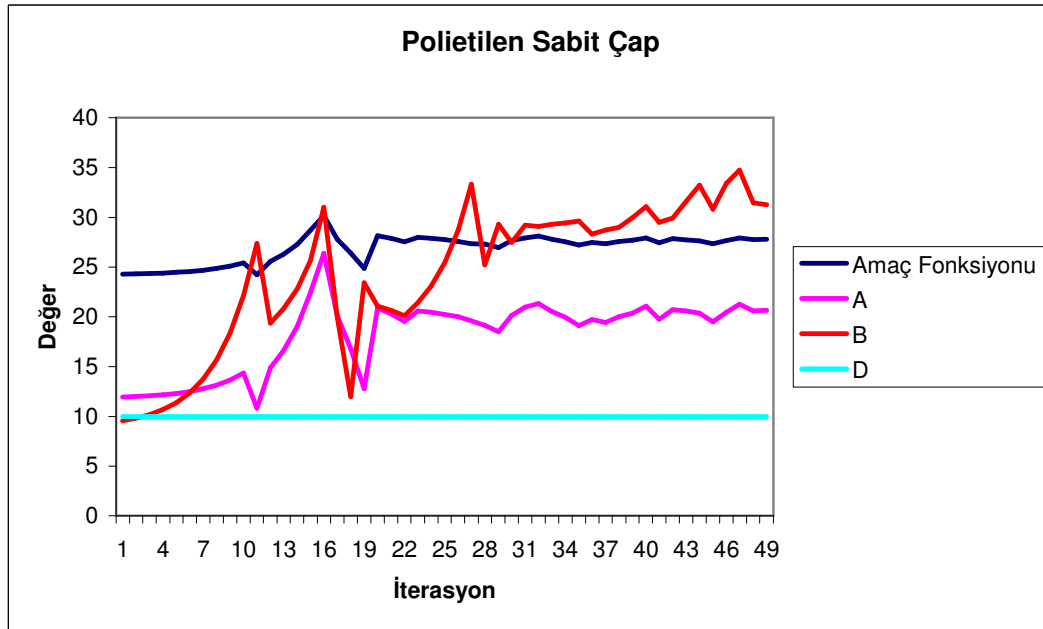
Şekil 6.5. Polipropilen değişken çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri.



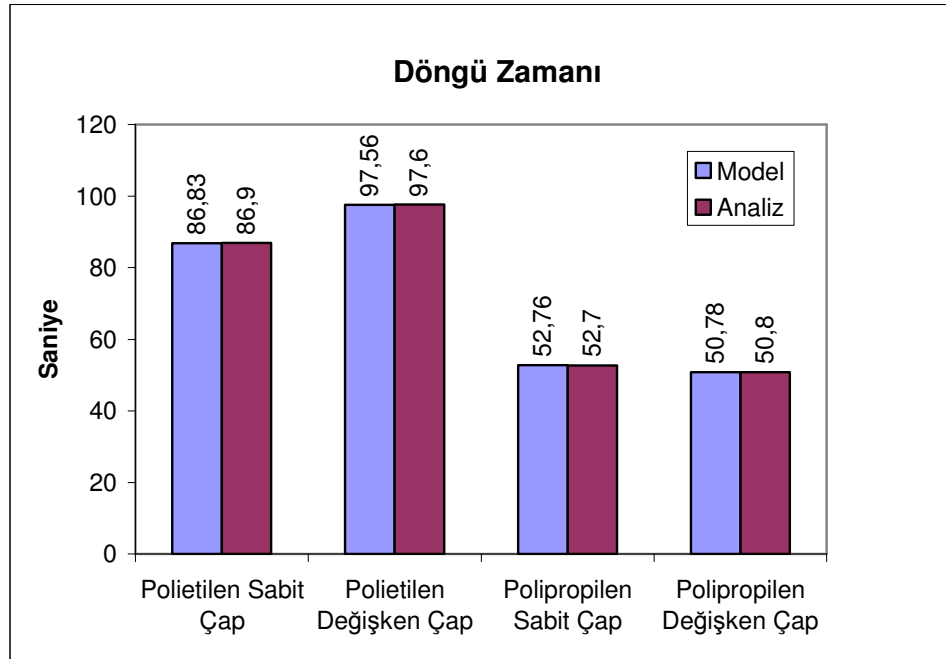
Şekil 6.6. Polipropilen sabit çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri.



Şekil 6.7. Polietilen değişken çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri.

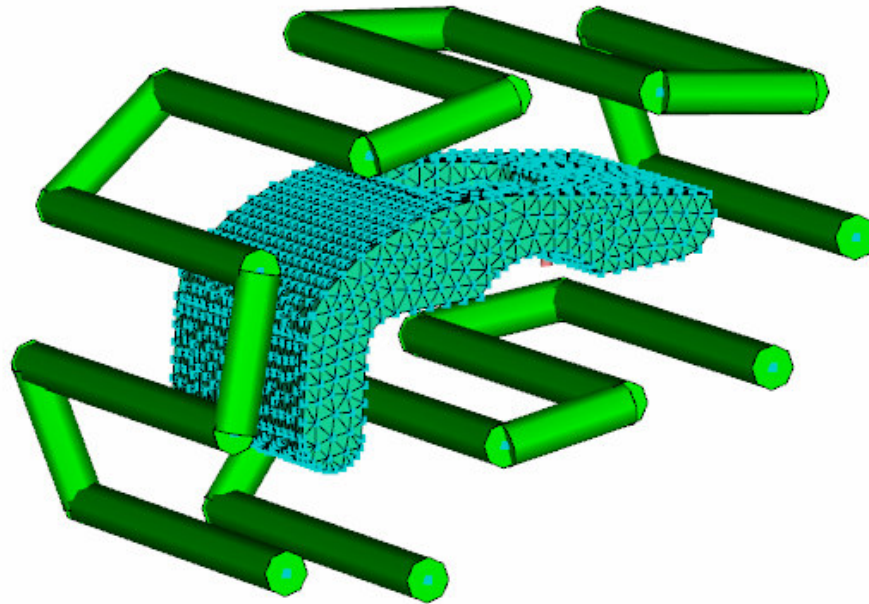


Şekil 6.8. Polietilen sabit çapta optimizasyon amaç fonksiyonu iterasyon değerleri.



Şekil 6.9. Regresyon Modeli ve analiz programı döngü zamanı karşılaştırılması.

Şekil 6.9’da görüldüğü gibi regresyon analizi ile elde edilen modellerle yapılan optimizasyon sonucu çıkan geometrik değişkenlerle analiz programıyla yaklaşık aynı sonucu vermiştir. Şekil 6.10’da analiz programı mesh görüntüsü verilmiştir.



6.10. MoldFlow analiz programı mesh görüntüsü

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kalıp duvar sıcaklığının homojen soğuması amaçlanarak BDT programlarından CATIA V5 programına soğutma kanallarının koordinatlarının kullanıcı etkileşimi olmadan modellenmesi, soğutma sistemi için geçen tasarım zamanının azaltılması sağlanmıştır.

Parametrik ve unsur tabanlı BDT programlarına yenilik katma boyutunda bilimsel çalışma ve bilgilerin komutlaştırılabilirliği gösterilmiştir.

Kalıp malzemesinin her bir eksen ve doğrultudaki üründen uzaklık değerlerini girilmesiyle, ürünün uzayda kapladığı minimum dikdörtgenler prizması bulunmuştur. Kalıp çeliğinin kullanıcı etkileşimi olmadan parametrik olarak oluşturulmuştur.

Soğutma kanalı ile ürün arasında verilen hesaplama sıklığı kadar sıklıkta noktalara bölünmüş ve her bir nokta için sıcaklık denklemi oluşturulmuş oluşturulan bu denklem takımı çözülmüştür. Gözlemler sonucunda görülmüştür ki soğutma kanalları üründen uzaklaştıkça ürünün soğuması homojenleşme eğilimi sergilemiştir. Moldflow’da yapılan analizler göstermiştir ki, homojen soğuma sağladıkça döngü zamanının arttığı görülmüştür. Bundan dolayı ürünü soğutmak için tek kriter homojen soğuma değil de homojen soğuma ve döngü zamanı arasında bir ilişki kurulması gerektiği kanısına varılmıştır.

Uygulama parçasının ilk iki delik için kalıp sıcaklığı 75°C (soğutma kanalında soğutma kanal çapı kadar ürüne zıt doğrultudaki uzaklıktaki sıcaklık değeri), kalıp duvar sıcaklığı 200°C, soğutma sıvısı sıcaklığı 25°C, 1 mm ve 0.5 mm hesaplama sıklıklarında sıcaklık dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

Üründen belli bir mesafe uzaklıkta sıcaklık sapmasını ifade edebilecek sıcaklık sapma oranı adında bir katsayı geliştirilmiştir. Sıcaklık sapma oranının minimum değeri sıcaklık farkındaki değişmelerin minimum olduğu soğutma kanal koordinatlarını göstermektedir.

Bölüm 5’te birinci ve ikinci soğutma kanalı arasındaki sıcaklık değişim grafikleri verilmiştir. Sıcaklık sapma oranı üründen 6mm uzaklıkta minimize edilerekten soğutma kanalları koordinatları bulunmuştur. Sıcaklık hesaplama sıklığı 0.5 mm ile 1 mm

arasındaki sıcaklık değerlerinde farklar gözlenmiştir. Aynı tasarım aynı soğutma kanal koordinatlarında her bir koordinatın 0.5mm ile 1mm hesaplama sıklığı sonucu bulunan sıcaklık değerlerinin oranının 1 yakın olduğu görülmüştür. Nokta sayısı kadar denklem olduğu ve nokta sayısı adetine bağlı olarak (nxn) çözüm matrisi olduğu için hesaplama zamanı açısından 1 mm hesaplama sıklığının yeterli ve ideal olduğu görülmüştür.

Geliştirilen programın veri tabanı mevcut olan plastik enjeksiyon analiz programlarındaki kalıp malzemesi, enjeksiyon malzemesi, soğutma sıvısı, enjeksiyon makinesi değişkenlerini içermektedir. Yapılan programın geliştirilebilir bir program olan CATIA V5 programının parametrik ve unsur tabanlı yapısına adapte edilmiştir. Enjeksiyon kalıpcılığında bilinen ve kullanılan bütün değişkenler tasarım aşamasında, oluşturulabilecek yeni formlarda, modüllerde, değişken olarak kullanılabilecek şekilde yapılmıştır.

Üründen belli bir mesafe üzerindeki sıcaklık değişmelerinin minimum olduğu soğutma kanalı koordinatı araştırılmıştır.

BDT programında verilen kısıtlamalar çerçevesinde otomatik olarak oluşturulan soğutma kanallarının konumu, sıcaklık sapma oranının minimum olduğu soğutma kanal koordinatlarıyla güncellenmesi sağlanmıştır. Bölüm 5 teki grafiklerden de anlaşılacağı gibi soğutma kanalı üründen uzaklaştıkça soğutma kanalının ürün üzerindeki soğutma etkisinin homojenlik eğilimi sergilediği görülmüştür. Soğutma kanalı ürün üzerinden uzaklaştıkça döngü zamanı arttığı bilinmektedir. Bundan dolayı ürün üzerindeki sıcaklık değişmelerini ve döngü zamanının birlikte optimize edilmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

Moldflow'da yapılan analiz sonuçları göstermiştir ki döngü zamanı polietilen ve polipropilen arasında farklılıklar olmaktadır. Dolayısıyla döngü zamanı modeli üründen ürüne farklılık göstermektedir. Bölüm 6'da polietilen ve polipropilen için yapılan analizleri sonucunda oluşan döngü zamanı ve homojen soğuma değerlerine regresyon analiziyle modeller geliştirilmiştir. Bu modeller homojen soğuma ve döngü zamanının önem derecesine göre soğutma kanalı geometrik değişkenlerinin bulunması için amaç fonksiyonu geliştirilmiş ve optimize edilmiştir.

Regresyon analiz ile oluşturulan modellere tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda döngü zamanına en çok etki eden geometrik değişkenin soğutma kanalının ürüne olan uzaklığı olduğu görülmüştür.

Ürün CATIA V5 paket programında, araformlar ve program akış kontrolü VBA'da, denklem takımının oluşturulması ve çözülmesi MATLAB'de, döngü zamanının bulunması MOLDFLOW'da yapılan analizlerde, analiz ve hesaplanan değerlere model uydurma ise MINITAB'ta gerçekleştirilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda,

- 1) Üretilen parçaların soğutma kanal doğrultusuna dik düzlemlerdeki ürün kesitinin genellikle değişken olmasından dolayı delinmesi gereken soğutma kanallarının açılı olması gerekmektedir. Açılı Soğutma kanallarının şartları ve açi miktarları bulunabilir.
- 2) Sonlu farklar yöntemiyle bir an için sıcaklık dağılımı bulunması yerine farklı sıcaklık anlarında sıcaklık dağılımları hesaplanabilir ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin tamamı kullanılarak sıcaklık sapma oranı değeri bulunabilir.
- 3) Homojen soğumanın çarpılma, çökme, kaynak bölgesi gibi. ürün sonuçlarıyla ilişkisi kurulabilir.
- 4) Ürünün her zaman homojen soğumasının sağlandığı bir soğutma sistemi yazılımı yapılabilir. Bu yazılımda soğutma kanalları delik değilde ürün formunun ofset görüntüsünden oluşan, dolayısıyla her bir kalıp çeliğini iki parçadan oluşan soğutma sistemi geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Li C. L., A Feature-Based Approach to Injection Mould Cooling System Design, Computer Aided Design, V. 33, Pp 1073-1090, 2001.
- [2] Henz J. A., Himasekhar K., Design Sensitivities of Mold Cooling CAE Software: an Experimental Verification, Advances in Polymer Tecnology, V. 15, Pp 1-16, 1996.
- [3] Dimla D. E., Camilotto M. and Miani F., Design and Optimisation of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tools,, Journal of Materials Processing Technology, V. 164-165, Pp 1294-1300, 2005.
- [4] Gao F., Patterson W. I. and Kamal M. R., Cavity Pressure During Control the Cooling Stage in Termoplastic Injection Molding, Polymer Engineering and Science, V. 36, Pp 2467-2476, 1996.
- [5] Lee, Ko-Sang, In-Plane Deformation Analysis of Plastic Parts in The Injection Moulding Process, Journal of Materials Processing Technology, V. 3, Pp. 11-20, 1999.
- [6] Park S. J. and Kwon T. H., Optimal Cooling System Design for the Injection Molding Process, Polymer Engineering and Science, V. 38, Pp. 1450-1462, 1998.
- [7] Wang R., Prystay M., Hetu J. F., Gap Between Mold and Part Andits Effect on Cooling of Injection Molded Plastics, Antect'96, V. 1, Pp. 1049-1053, 1996.
- [8] Qiao H., A Systematic Computer-Aided Approach to Cooling System Optimal Design in Plastic Injection Molding, International Journal of Mechanical Sciences, V. 48, Pp. 430-439, 2006.
- [9] Li Q. Tang, Pochiraju Kishore, Chassapis Constantin and Manoochehri Souran, Three-Dimensional Transient Mold Cooling Analysis Based on Galerkin Finite Element Formulation With a Matrix-Free Conjugate Gradient Technique, International Journal For Numerical Methods in Engineering, V. 39, Pp. 3049-3064, 1996.
- [10] Kansal Gayatri, Rau P. N. and Atrea S. K., Study: Temparature and Residual Stress in and Injection Moulded Gear, Journal of Materials Processing Technology, V. 108, Pp. 328-337, 2001.

- [11] Park Keun, Ahn Jong-Ho, Design of Experiment Considering Two-Way Interactions and its Application to Injection Molding Processes With Numerical Analysis, Journal of Materials Processing Technology, V.146, Pp.221-227, 2004.
- [12] Tang S.H., Kong Y. M., Sapuan S. M., Samin R., Sulaiman S., Design and Thermal Analysis of Plastic Injection Mould, Journal of Materials Processing Technology, V. 171, Pp. 259-267, 2006.
- [13] Qiao H., Transient Mold Cooling Analysis Using BEM With the Time-Dependent Fundamental Solution, International Communications in Heat and Mass Transfer, V. 32, Pp. 315-322, 2005.
- [14] Liang J. Z. and Ness J. N., The Calculation of Cooling Time in Injection Moulding, Journal of Materials Processing Technology, V. 57, Pp. 62-64, 1996.
- [15] Chen X., Lam Y. C., Li d. Q., Analysis of Thermal Residual Stress in Plastic Injection Molding, Journal of Materials Processing Technology, V. 101, Pp. 275-280, 2000.
- [16] Tang Li Q., Chassapis Constantin, Manoochehri Souran, Optimal Cooling System Design for Multi-Cavity Injection Molding, Finite Elements in Analysis and Design, V. 26, Pp. 229-251, 1997.
- [17] Dubay Rickey and Bell adam C., An Experimental Comparison of Cooling Time for Cylindrical Plastic Components Using Heat Conduction Models in The Non-Conservative and Conservative Forms, Polymer Engineering and Science, V. 38, Pp. 1048-1059, 1998.
- [18] Halıcı, F., Gündüz, M., Örneklerle Isı Geçişi, Burak Ofset, Sakarya, 2001.
- [19] Kakaç S., Isı Transferine Giriş-I, Tıp&Teknik Yayıncılık, Ankara, 1998.
- [20] Doç. Dr. Akkurt Selma, Plastik Malzeme Bilgisi, Birsan Yayıncılık, İstanbul, 1991.
- [21] Yaşar Hikmet, Plastik Dünyası, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 142/2, Ankara, 2001.
- [22] Akyüz Ö. Faruk, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev Yayınları, İstanbul, 2001.
- [23] Ceylan Latif, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği, Lisans Tezi, Ankara, 2000.
- [24] Şenalp, Z., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Destekli Tasarım Dersi Dökümanları, Kocaeli, 2004.

- [25] Alkaya, A. R., Plastik Enjeksiyon Kalıpları, Yüksek. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [26] Tunahan, A., Plastik Enjeksiyon Kalıpları İçin Bilgisayar Destekli Soğutma Sistemi Tasarımı, yüksek. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [27] Akyüz, Ö.F, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev Yayınları, İstanbul, 1998.
- [28] Turaçlı, H., Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2000.
- [29] Turaçlı, H., Enjeksiyoncunun El Kitabı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2000.
- [30] Uzun, İ., Hacim Kalıpcılığı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1984.
- [31] Erci, G., Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, M.E.B. Etüt ve Programlama Dairesi Yayınları, Ankara, 1985.
- [32] Menges, G., Mohren, P., How to Make Injection Molds, Newyork, 1993.
- [33] Arıcı, İ., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Çökmeye Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek. Lisans Tezi, Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005.
- [34] Kurtaran, H., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Optimizasyon Teorisi ve Uygulamaları, Ders Dökümanları, Kocaeli, 2005.
- [35] CATIA V5R14.
- [36] MATLAB 7.0.
- [37] Visual BASIC Application.
- [38] MOLDFLOW 4.0.
- [39] MINITAB 14.

ÖZGEÇMİŞ

12.08.1980'de Kahramanmaraş'ta doğan Mahmut Ekersular 1998 yılında Kahramanmaraş Endüstri Meslek Lisesi CNC Bölümü'nden mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı'nı başarıyla bitirdi. 2003 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı'na kayıt oldu. Lisans 4. sınıftan bu güne çeşitli firmalarda Özel Makine İmalatı, Kalıp, CAD/CAM ve Endüstriyel Tasarım alanlarında çalışmıştır.

EK - 1

**MATLAB DİLİNDE HOMOJEN SICAKLIK DAĞILIMI
SOĞUTMA KANAL KOORDİNATLARININ PROGRAMI**

```

clear;
clc
verial=fopen('c:\isidosyasi1','rt')
gelenveriler=fscanf(verial,'%f',Inf)
verikapat=fclose(verial)
delikcapi=gelenveriler(1);
deliksayisi=gelenveriler(2);
sogutucusicakligi=gelenveriler(3);
eriyiksicakligi=gelenveriler(4);
kalipsicakligi=gelenveriler(5);
sicakliksikligi=gelenveriler(6);
maksimumurun=gelenveriler(7);
minumumurun=gelenveriler(8);
homojenmesafe=gelenveriler(9);
offsetadeti=gelenveriler(10);
verial=fopen('c:\offsetboyolari','rt')
offsetboy=fscanf(verial,'%f',Inf)
verikapat=fclose(verial)
sonucenkucuk=5000;
ustlimit=round((maksimumurun+delikcapi)/sicakliksikligi)*sicakliksikligi
minumumurun=round(minumumurun/sicakliksikligi)*sicakliksikligi;
maksimumurun=round(maksimumurun/sicakliksikligi)*sicakliksikligi;
homojenmesafe=round(homojenmesafe/sicakliksikligi)*sicakliksikligi;
for analizadeti=1:offsetadeti+1
yatayboy(analizadeti)=round(offsetboy(analizadeti)/deliksayisi/sicakliksikligi)*sicaklik
sikligi;
matrissatirsayisi=round((ustlimit/sicakliksikligi)*(yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi))
cozummatrisi=eye(matrissatirsayisi);
for yataydoldur= 1:yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi
for dikeydoldur= 1:ustlimit/sicakliksikligi
sicaklikmatrisi(dikeydoldur,yataydoldur)=0;
yatayaktif=yataydoldur*sicakliksikligi;
dikeyaktif=dikeydoldur*sicakliksikligi;
deliksagyatay=yatayboy(analizadeti);

```

```

delikdikey=minumurun+(analizadeti-1)* sicakliksikligi;
soldelikmesafe=((yatayaktif).^2+(delikdikey-dikeyaktif).^2).^0.5;
sagdelikmesafe=((deliksagyatay-yatayaktif).^2+(delikdikey-dikeyaktif).^2).^0.5;
if dikeydoldur==ustlimit/sicakliksikligi
    sicaklikmatrisi(dikeydoldur,yataydoldur)= kalipsicakligi;
end
if soldelikmesafe<delikcapi/2
    sicaklikmatrisi(dikeydoldur,yataydoldur)=sogutucusicakligi;
end
if sagdelikmesafe<delikcapi/2
    sicaklikmatrisi(dikeydoldur,yataydoldur)=sogutucusicakligi;
end
if dikeydoldur==1
    sicaklikmatrisi(dikeydoldur,yataydoldur)= eriyiksicakligi;
end
end
end
degerno=0;
for sat= 1:ustlimit/sicakliksikligi
    for sut=1:yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi
        degerno=degerno+1;
        isideger(degerno,1)=-sicaklikmatrisi(sat,sut);
    end
end
[isisatir,an]=size(isideger);
for hh=1:isisatir
    if isideger(hh,1)==0
        cozummatrisi(hh,hh)=-4;
    end
    if isideger(hh,1)~=0
        cozummatrisi(hh,hh)=-1;
    end
end
end

```

```

for
nom=yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi+1:yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi:yatay
boy(analizadeti)/sicakliksikligi*(ustlimit/sicakliksikligi-1)+1 %a12
if cozummatrisi(nom,nom)==-4
cozummatrisi(nom,nom)=-2;
cozummatrisi(nom,nom-yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
cozummatrisi(nom,nom+yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
end
end
for
nom=2*yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi:yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi:yatay
boy(analizadeti)/sicakliksikligi*(ustlimit/sicakliksikligi-1) %a13
if cozummatrisi(nom,nom)==-4
cozummatrisi(nom,nom)=-2;
cozummatrisi(nom,nom-yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
cozummatrisi(nom,nom+yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
end
end
for hh=yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi+2:isisatir -
yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi-1
if cozummatrisi(hh,hh)==-4
cozummatrisi(hh,hh-yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
cozummatrisi(hh,hh+yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)=1;
cozummatrisi(hh,hh-1)=1;
cozummatrisi(hh,hh+1)=1;
end
end
cozumsonuc=cozummatrisi\isideger;
for hh=yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi+1:isisatir-
yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi
isisutunno=mod(hh,yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi);
isisatirno=(hh-isisutunno)/(yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi)+1;
if isisutunno~=0
sicaklikmatrisi(isisatirno,isisutunno)=cozumsonuc(hh,1);

```

```

end
end
for dd=1:ustlimit/sicakliksikligi
for ff=1:yatayboy(analizadeti)/sicakliksikligi-1
x(dd,ff)=ff*sicakliksikligi;
y(dd,ff)=dd*sicakliksikligi;
sonucsicaklik(dd,ff)=sicaklikmatrisi(dd,ff);
if dd==homojenmesafe/sicakliksikligi
integraly(ff)=sonucsicaklik(dd,ff);
integralx(ff)=ff*sicakliksikligi;
end
end
end
egriuydurma=polyfit(integralx,integraly,6);
integralxi=linspace(0,1,101);
integralyi=polyval(egriuydurma,integralxi);
enson=std(integralyi)/mean(integralyi)*(max(integralyi)-min(integralyi));
if enson<sonucenkucuk
sonucenkucuk=enson;
enkucukanaliz=analizadeti;
end
if analizadeti==offsetadeti
offsetboy(offsetadeti+1)=offsetboy(enkucukanaliz);
kayitifade=fopen('c:\uzaklik','wt');
fprintf(kayitifade,'%f',enkucukanaliz*sicakliksikligi+minumurun-sicakliksikligi);
fclose(kayitifade);
end
clear deliksagyatay dikeyaktif dikeydoldur ff hh isideger isisatir isisatirno isisutunno
nom sagdelikmesafe sicaklikmatrisi;
clear soldelikmesafe sut yatayaktif yatayboy yataydoldur dd an sat cozummatrisi
cozumsonuc degerno delikdikey sat egriuydurma;
echo off
clear sonucsicaklik x y enson integralx integraly integralxi integralyi;
end

```

EK - 2

VBA PROGRAMI KODLARI

VERİ TABANINA BAĞLAMA VE İLK KAYIT

Sub CATMain()

Dim partDocument1 As PartDocument

Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument

Dim part1 As Part

Set part1 = partDocument1.Part

Dim product1 As Product

Set product1 = partDocument1.GetItem("Part1")

Dim parametresogutma As Parameters

Set parametresogutma = part1.Parameters

Dim enjmakpiys As StrParam

Dim enjemakurtc As StrParam

Dim ktlgmakine As StrParam

Dim makikayt As StrParam

Dim strokmak As RealParam

Dim kapsmaks As RealParam

Dim capextr As RealParam

Dim hidrobasnc As RealParam

Dim basnenj As RealParam

Dim piycelik As StrParam

Dim urtcelik As StrParam

Dim kynkcelik As StrParam

Dim kayitcelik As StrParam

Dim clkynlgluk As RealParam

Dim ozgulcelik As RealParam

Dim iletkencelk As RealParam

Dim celikelast As RealParam

Dim poscelik As RealParam

Dim sgtcpiyasa As StrParam

Dim urtesogutuc As StrParam

Dim kynksgtc As StrParam

Dim kytsogutuc As StrParam

Dim ygnlsgtc As RealParam

Dim isiozgul As RealParam

Dim viskossgetc As RealParam
Dim iletksgetc As RealParam
Dim ygneriyik As RealParam
Dim yognkati As RealParam
Dim b5c As RealParam
Dim b6c As RealParam
Dim b1mc As RealParam
Dim b2mc As RealParam
Dim b3mc As RealParam
Dim b4mc As RealParam
Dim b1sc As RealParam
Dim b2sc As RealParam
Dim b3sc As RealParam
Dim b4sc As RealParam
Dim b7c As RealParam
Dim b8c As RealParam
Dim b9c As RealParam
Dim e1c As RealParam
Dim e2c As RealParam
Dim poissonxyc As RealParam
Dim poissonyzc As RealParam
Dim shearm_c As RealParam
Dim alfa1_c As RealParam
Dim alfa2_c As RealParam
Dim yuzeykalips As RealParam
Dim sickalipm As RealParam
Dim sic_min_kalipy As RealParam
Dim yusey_sic_mk As RealParam
Dim sicminkalip As RealParam
Dim maksickal As RealParam
Dim sicenjc As RealParam
Dim sicisi1 As RealParam
Dim sicisi2 As RealParam
Dim sicisi3 As RealParam

```

Dim sicisi4 As RealParam
Dim malozgulisi1 As RealParam
Dim malozgulisi2 As RealParam
Dim malozgulisi3 As RealParam
Dim malozgulisi4 As RealParam
Dim oransogtm1 As RealParam
Dim oransogtm2 As RealParam
Dim oransogtm3 As RealParam
Dim oransogtm4 As RealParam
Dim sicisikat1 As RealParam
Dim sicisikat2 As RealParam
Dim sicisikat3 As RealParam
Dim sicisikat4 As RealParam
Dim iletiisi1 As RealParam
Dim iletiisi2 As RealParam
Dim iletiisi3 As RealParam
Dim iletiisi4 As RealParam
Dim orankatsog1 As RealParam
Dim orankatsog2 As RealParam
Dim orankatsog3 As RealParam
Dim orankatsog4 As RealParam
Dim adipysmal As StrParam
Dim snfplsmalzeme As StrParam
Dim urtcplast As StrParam
Dim kodurtfrmplsk As StrParam
Dim kaytarhplast As StrParam
Dim verinoplast As StrParam
Dim drkgrmplst As StrParam
Dim delikcapi As RealParam
Dim deliklerarasi As RealParam
Dim uruneuzaklik As RealParam
Dim deliksayisi As IntParam
Set enjmakpiys = parametresogutma.CreateString("Enjeksiyon Piyasa Adi", "Enjeksiyon
    Adi")

```

```

Set enjemakurtc = parametresogutma.CreateString("Uretici Firma", "Uretici Firma")
Set ktlgmakine = parametresogutma.CreateString("Katalog Adi", "Katalog Adi")
Set makikayt = parametresogutma.CreateString("Makine Kayit", "Kayit Tarihi")
Set strokmak = parametresogutma.CreateReal("Makine Stroku", 25#)
Set kapsmaks = parametresogutma.CreateReal("Maksimum Hacim Kapasitesi", 25#)
Set capextr = parametresogutma.CreateReal("Vida Capi", 25#)
Set hidrobasc = parametresogutma.CreateReal("Maksimum Hidrolik Basinci", 25#)
Set basnenj = parametresogutma.CreateReal("Maksimum Enjeksiyon Basinci", 25#)
Set piycelik = parametresogutma.CreateString("Celik Piyasa Adi", "Celik Piyasa adi")
Set urtccecelik = parametresogutma.CreateString("Celik Uretici Firma", "Celik uretici
    Firma")
Set kynkcelik = parametresogutma.CreateString("Celik Kaynak", "Celik Kaynak")
Set kayitcelik = parametresogutma.CreateString("Celik Kayit", "Celik Kayit")
Set clkynluc = parametresogutma.CreateReal("Celik Yogunlugu", 25#)
Set ozgulcelik = parametresogutma.CreateReal("Celik Ozgul Isisi", 25#)
Set iletkenlik = parametresogutma.CreateReal("Celik Iletkenligi", 25#)
Set celikelast = parametresogutma.CreateReal("Celik Elastisite Modulu", 25#)
Set poscelik = parametresogutma.CreateReal("Celik Poisson Orani", 25#)
Set sgctpiyasa = parametresogutma.CreateString("Sogutucu Piyasa Adi", "Sogutucu Piyasa
    Adi")
Set urtcsogutc = parametresogutma.CreateString("Sogutucu Uretici Firma", "Sogutucu
    Uretici Firma")
Set kynksogutc = parametresogutma.CreateString("Sogutucu Kaynak", "Sogutucu Kaynak")
Set kytsogutuc = parametresogutma.CreateString("Sogutucu Kayit", "Sogutucu Kayit")
Set ygnlsogutc = parametresogutma.CreateReal("Sogutucu Yogunlugu", 25#)
Set isiozgul = parametresogutma.CreateReal("Sogutucu Ozgul Isi", 25#)
Set viskossogutc = parametresogutma.CreateReal("Sogutucu Viskositesi", 25#)
Set iletksogutc = parametresogutma.CreateReal("Sogutucu Iletkenlik", 25#)
Set ygneriyik = parametresogutma.CreateReal("Eriyik Yogunlugu", 25#)
Set yognkati = parametresogutma.CreateReal("Kati Yogunlugu", 25#)
Set b5c = parametresogutma.CreateReal("b5", 25#)
Set b6c = parametresogutma.CreateReal("b6", 25#)
Set b1mc = parametresogutma.CreateReal("b1m", 25#)
Set b2mc = parametresogutma.CreateReal("b2m", 25#)

```

```

Set b3mc = parametresogutma.CreateReal("b3m", 25#)
Set b4mc = parametresogutma.CreateReal("b4m", 25#)
Set b1sc = parametresogutma.CreateReal("b1s", 25#)
Set b2sc = parametresogutma.CreateReal("b2s", 25#)
Set b3sc = parametresogutma.CreateReal("b3s", 25#)
Set b4sc = parametresogutma.CreateReal("b4s", 25#)
Set b7c = parametresogutma.CreateReal("b7", 25#)
Set b8c = parametresogutma.CreateReal("b8", 25#)
Set b9c = parametresogutma.CreateReal("b9", 25#)
Set e1c = parametresogutma.CreateReal("Elastikiyet Modulu X", 25#)
Set e2c = parametresogutma.CreateReal("Elastikiyet Modulu Y", 25#)
Set poissonxyc = parametresogutma.CreateReal("Poisson Orani xy", 25#)
Set poissonyzc = parametresogutma.CreateReal("Poisson Orani yz", 25#)
Set shearm_c = parametresogutma.CreateReal("Shear Modulu", 25#)
Set alfa1_c = parametresogutma.CreateReal("alfa1", 25#)
Set alfa2_c = parametresogutma.CreateReal("alfa2", 25#)
Set yuzeykalips = parametresogutma.CreateReal("Yuzey Kalip Sicakligi", 25#)
Set sickalipm = parametresogutma.CreateReal("Eriyik Sicakligi", 25#)
Set sic_min_kalipy = parametresogutma.CreateReal("Kalip Yuzey Sicakligi Minumum",
25#)
Set yusey_sic_mk = parametresogutma.CreateReal("Kalip Yuzey Sicakligi Maksimum",
25#)
Set sicminkalip = parametresogutma.CreateReal("Eriyik Sicakligi Minumum", 25#)
Set maksickal = parametresogutma.CreateReal("Eriyik Sicakligi Maksimum", 25#)
Set sicenjc = parametresogutma.CreateReal("Enjeksiyon Sicakligi", 25#)
Set sicisi1 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Degeri 1", 25#)
Set sicisi2 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Degeri 2", 25#)
Set sicisi3 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Degeri 3", 25#)
Set sicisi4 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Degeri 4", 25#)
Set malozgulusi1 = parametresogutma.CreateReal("Ozgul Isi Degeri 1", 25#)
Set malozgulusi2 = parametresogutma.CreateReal("Ozgul Isi Degeri 2", 25#)
Set malozgulusi3 = parametresogutma.CreateReal("Ozgul Isi Degeri 3", 25#)
Set malozgulusi4 = parametresogutma.CreateReal("Ozgul Isi Degeri 4", 25#)
Set oransogtm1 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Orani Sicakl 1", 25#)

```

```

Set oransogtm2 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Orani Sicakl 2", 25#)
Set oransogtm3 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Orani Sicakl 3", 25#)
Set oransogtm4 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Orani Sicakl 4", 25#)
Set siccisikat1 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Isi Iletim 1", 25#)
Set siccisikat2 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Isi Iletim 2", 25#)
Set siccisikat3 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Isi Iletim 3", 25#)
Set siccisikat4 = parametresogutma.CreateReal("Sicaklik Isi Iletim 4", 25#)
Set iletisi1 = parametresogutma.CreateReal("Isi Iletim Katsayisi 1", 25#)
Set iletisi2 = parametresogutma.CreateReal("Isi Iletim Katsayisi 2", 25#)
Set iletisi3 = parametresogutma.CreateReal("Isi Iletim Katsayisi 3", 25#)
Set iletisi4 = parametresogutma.CreateReal("Isi Iletim Katsayisi 4", 25#)
Set orankatsog1 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Oran Iletim Katsayisi 1", 25#)
Set orankatsog2 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Oran Iletim Katsayisi 2", 25#)
Set orankatsog3 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Oran Iletim Katsayisi 3", 25#)
Set orankatsog4 = parametresogutma.CreateReal("Sogutma Oran Iletim Katsayisi 4", 25#)
Set adipysmal = parametresogutma.CreateString("Plastik Piyasa Adi", "Plastik Piyasa adi")
Set snfplsmalzeme = parametresogutma.CreateString("Plastik Malzeme Sinifi", "Plastik
malzeme sinifi")
Set urtcpplast = parametresogutma.CreateString("Plastik Uretici Firma", "Plastik uretici
Firma")
Set kodurtfrmplsk = parametresogutma.CreateString("Uretici Firma Kodu", "Uretici Firma
kodu")
Set kaytarhplast = parametresogutma.CreateString("Plastik Veri Kayit Tarihi", "Plastik veri
kayit tarihi")
Set verinoplast = parametresogutma.CreateString("Plastik Veri Kayit No", "Plastik veri
kayit no")
Set drkgrmplst = parametresogutma.CreateString("Tedarikci Firma", "Tedarikci firma")
Set delikcapi = parametresogutma.CreateReal("Delik Capi", 10)
Set deliklerarasi = parametresogutma.CreateReal("Delikler Arasi", 3 * delikcapi.Value)
Set uruneuzaklik = parametresogutma.CreateReal("Urune Uzaklik", 1.15 * delikcapi.Value)
Set deliksayisi = parametresogutma.CreateInteger("Delik Sayisi", 6#)
Dim relations1 As relations
Set relations1 = part1.relations

```

```

Set designTable1 = relations1.CreateDesignTable("Enjeksiyon_makinesi", "This design
    table was created by Mahmut EKERSULAR on 18.01.2007", False,
    "D:\belgelerim\program yazımı\Veritabani\enjeksiyon_makinesi.xls")
designTable1.AddAssociation enjmakpiys, "Enjeksiyon Piyasa Adi"
designTable1.AddAssociation enjemakurtc, "Uretici Firma"
designTable1.AddAssociation ktlgmakine, "Katalog Adi"
designTable1.AddAssociation makikayt, "Makine Kayit"
designTable1.AddAssociation strokmak, "Makine Stroku"
designTable1.AddAssociation kapsmaks, "Maksimum Hacim Kapasitesi"
designTable1.AddAssociation capextr, "Vida Capi"
designTable1.AddAssociation hidrobasnc, "Maksimum Hidrolik Basinci"
designTable1.AddAssociation basnenj, "Maksimum Enjeksiyon Basinci"
Dim booleanDTB1 As Boolean
booleanDTB1 = designTable1.Hidden
Dim relations2 As relations
Set relations2 = part1.relations
Set designTable2 = relations2.CreateDesignTable("Kalip_celigi", "This design table was
    created by Mahmut EKERSULAR on 18.01.2007", False, "D:\belgelerim\program
    yazımı\Veritabani\kalip_celigi.xls")
designTable2.AddAssociation piycelik, "Celik Piyasa Adi"
designTable2.AddAssociation urtccelik, "Celik Uretici Firma"
designTable2.AddAssociation kynkcelik, "Celik Kaynak"
designTable2.AddAssociation kayitcelik, "Celik Kayit"
designTable2.AddAssociation clkynluk, "Celik Yogunlugu"
designTable2.AddAssociation ozgulcelik, "Celik Ozgul Isisi"
designTable2.AddAssociation iletkencl, "Celik Iletkenligi"
designTable2.AddAssociation celikelast, "Celik Elastisite Modulu"
designTable2.AddAssociation poscelik, "Celik Poisson Orani"
Dim booleanDTB2 As Boolean
booleanDTB2 = designTable2.Hidden
Dim relations3 As relations
Set relations3 = part1.relations

```

```

Set designTable3 = relations3.CreateDesignTable("Sogutma_sivisi", "This design table was
    created by Mahmut EKERSULAR on 18.01.2007", False, "D:\belgelerim\program
    yazimi\Veritabani\sogutma_sivisi.xls")
designTable3.AddAssociation sgtepiyasa, "Sogutucu Piyasa Adi"
designTable3.AddAssociation urtesogutcu, "Sogutucu Uretici Firma"
designTable3.AddAssociation kynksogutcu, "Sogutucu Kaynak"
designTable3.AddAssociation kytsogutcu, "Sogutucu Kayit"
designTable3.AddAssociation ygnlsogutcu, "Sogutucu Yogunlugu"
designTable3.AddAssociation isiozgul, "Sogutucu Ozgul Isi"
designTable3.AddAssociation viskossogutcu, "Sogutucu Viskositesi"
designTable3.AddAssociation iletksgutcu, "Sogutucu Iletkenlik"
Dim booleanDTB3 As Boolean
booleanDTB3 = designTable3.Hidden
Dim relations4 As relations
Set relations4 = part1.relations
Set designTable4 = relations4.CreateDesignTable("Plastik_malzeme", "This design table
    was created by Mahmut EKERSULAR on 18.01.2007", False, "D:\belgelerim\program
    yazimi\Veritabani\Plastik_malzeme.xls")
designTable4.AddAssociation ygneriyik, "Eriyik Yogunlugu"
designTable4.AddAssociation yognkati, "Kati Yogunlugu"
designTable4.AddAssociation b5c, "b5"
designTable4.AddAssociation b6c, "b6"
designTable4.AddAssociation b1mc, "b1m"
designTable4.AddAssociation b2mc, "b2m"
designTable4.AddAssociation b3mc, "b3m"
designTable4.AddAssociation b4mc, "b4m"
designTable4.AddAssociation b1sc, "b1s"
designTable4.AddAssociation b2sc, "b2s"
designTable4.AddAssociation b3sc, "b3s"
designTable4.AddAssociation b4sc, "b4s"
designTable4.AddAssociation b7c, "b7"
designTable4.AddAssociation b8c, "b8"
designTable4.AddAssociation b9c, "b9"
designTable4.AddAssociation e1c, "Elastikiyet Modulu X"

```

```

designTable4.AddAssociation e2c, "Elastikiyet Modulu Y"
designTable4.AddAssociation poissonxyc, "Poisson Orani xy"
designTable4.AddAssociation poissonyzc, "Poisson Orani yz"
designTable4.AddAssociation shearm_c, "Shear Modulu"
designTable4.AddAssociation alfa1_c, "alfa1"
designTable4.AddAssociation alfa2_c, "alfa2"
designTable4.AddAssociation yuzeykalips, "Yuzey Kalip Sicakligi"
designTable4.AddAssociation sickalipm, "Eriyik Sicakligi"
designTable4.AddAssociation sic_min_kalipy, "Kalip Yuzey Sicakligi Minumum"
designTable4.AddAssociation yusey_sic_mk, "Kalip Yuzey Sicakligi Maksimum"
designTable4.AddAssociation sicminkalip, "Eriyik Sicakligi Minumum"
designTable4.AddAssociation maksickal, "Eriyik Sicakligi Maksimum"
designTable4.AddAssociation sicenjc, "Enjeksiyon Sicakligi"
designTable4.AddAssociation sicisi1, "Sicaklik Degeri 1"
designTable4.AddAssociation sicisi2, "Sicaklik Degeri 2"
designTable4.AddAssociation sicisi3, "Sicaklik Degeri 3"
designTable4.AddAssociation sicisi4, "Sicaklik Degeri 4"
designTable4.AddAssociation malozgulisi1, "Ozgul Isi Degeri 1"
designTable4.AddAssociation malozgulisi2, "Ozgul Isi Degeri 2"
designTable4.AddAssociation malozgulisi3, "Ozgul Isi Degeri 3"
designTable4.AddAssociation malozgulisi4, "Ozgul Isi Degeri 4"
designTable4.AddAssociation oransogtm1, "Sogutma Orani Sicakl 1"
designTable4.AddAssociation oransogtm2, "Sogutma Orani Sicakl 2"
designTable4.AddAssociation oransogtm3, "Sogutma Orani Sicakl 3"
designTable4.AddAssociation oransogtm4, "Sogutma Orani Sicakl 4"
designTable4.AddAssociation sisisikat1, "Sicaklik Isi Iletim 1"
designTable4.AddAssociation sisisikat2, "Sicaklik Isi Iletim 2"
designTable4.AddAssociation sisisikat3, "Sicaklik Isi Iletim 3"
designTable4.AddAssociation sisisikat4, "Sicaklik Isi Iletim 4"
designTable4.AddAssociation iletiisi1, "Isi Iletim Katsayisi 1"
designTable4.AddAssociation iletiisi2, "Isi Iletim Katsayisi 2"
designTable4.AddAssociation iletiisi3, "Isi Iletim Katsayisi 3"
designTable4.AddAssociation iletiisi4, "Isi Iletim Katsayisi 4"
designTable4.AddAssociation orankatsog1, "Sogutma Oran Iletim Katsayisi 1"

```

```

designTable4.AddAssociation orankatsog2, "Sogutma Oran Iletim Katsayisi 2"
designTable4.AddAssociation orankatsog3, "Sogutma Oran Iletim Katsayisi 3"
designTable4.AddAssociation orankatsog4, "Sogutma Oran Iletim Katsayisi 4"
designTable4.AddAssociation adipysmal, "Plastik Piyasa Adi"
designTable4.AddAssociation snfplsmalzeme, "Plastik Malzeme Sinifi"
designTable4.AddAssociation urtcplast, "Plastik Uretici Firma"
designTable4.AddAssociation kodurtfrmplsk, "Uretici Firma Kodu"
designTable4.AddAssociation kaytarhplast, "Plastik Veri Kayit Tarihi"
designTable4.AddAssociation verinoplast, "Plastik Veri Kayit No"
designTable4.AddAssociation drkgrmplst, "Tedarikci Firma"
Dim booleanDTB4 As Boolean
booleanDTB4 = designTable4.Hidden
designTable1.Configuration = 1
designTable2.Configuration = 1
designTable3.Configuration = 1
designTable4.Configuration = 1
product1.Definition = "parametre girildi"
designTable1.Deactivate
designTable2.Deactivate
designTable3.Deactivate
designTable4.Deactivate
part1.Update
End Sub

```

DOSYADAN VERİ ALMA

```

Sub CATMain()
Dim offsetdegeri
Open "c:\uzaklik" For Input As #1
Do While Not EOF(1)
Input #1, offsetdegeri
Loop
Close #1
End Sub

```

SOĞUT BUTONU

```

Private Sub cap_Change()
capp = incesogut.cap.Value
If incesogut.cap.Value < 0 Or incesogut.cap.Value > 40 Or incesogut.cap.Value = "" Then
    GoTo 10
incesogut.mesdelikmi.Value = 2.5 * capp
incesogut.mesdelikma.Value = 3.5 * capp
incesogut.mesurunmi.Value = 1.5 * capp
incesogut.mesurunma.Value = 2.5 * capp
10
End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()
Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part
Dim product1 As Product
Set product1 = partDocument1.GetItem("Part1")
Dim parametresogutma As Parameters
Set parametresogutma = part1.Parameters
If incesogut.cap.Value < 0 Or incesogut.cap.Value > 40 Or incesogut.cap.Value = "" Then
    incesogut.cap.Value = 10
If incesogut.sogutucu.Value < -20 Or incesogut.sogutucu.Value > 180 Then
    incesogut.sogutucu.Value = 25
If incesogut.deliksa.Value < 0 Or incesogut.deliksa.Value > 60 Then
    incesogut.deliksa.Value = 2
If incesogut.xa.Value < 0 Or incesogut.xa.Value > 1000 Then incesogut.xa.Value = 30
If incesogut.xe.Value < 0 Or incesogut.xe.Value > 1000 Then incesogut.xe.Value = 30
If incesogut.ya.Value < 0 Or incesogut.ya.Value > 1000 Then incesogut.ya.Value = 30
If incesogut.ye.Value < 0 Or incesogut.ye.Value > 1000 Then incesogut.ye.Value = 30
If incesogut.za.Value < 0 Or incesogut.za.Value > 1000 Then incesogut.za.Value = 30
If incesogut.ze.Value < 0 Or incesogut.ze.Value > 1000 Then incesogut.ze.Value = 30
For arano = 1 To parametresogutma.Count

```

```

If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Delik Capi" Then
    parametresogutma.Item(arano).Value = incesogut.cap.Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Delik Sayisi" Then
    parametresogutma.Item(arano).Value = incesogut.deliksa.Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Urun Uzaklik" Then urunemesafe =
    parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Yuzey Kalip Sicakligi" Then
    parametresogutma.Item(arano).Value = incesogut.kalsic.Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Eriyik Sicakligi" Then
    parametresogutma.Item(arano).Value = incesogut.erysic.Value
Next
delikcapi = incesogut.cap.Value
deliksayisi = incesogut.deliksa.Value
sogutucusicakligi = incesogut.sogutucu.Value
eriyiksicakligi = incesogut.erysic.Value
kalipsicakligi = incesogut.kalsic.Value
sicakliksikligi = incesogut.sicsiklik.Value
maksimumurun = incesogut.mesurunma.Value
minumurun = incesogut.mesurunmi.Value
homojenmesafe = Round((incesogut.hommesafe.Value) / sicakliksikligi) * sicakliksikligi
offsetadeti = (maksimumurun - minumurun) / sicakliksikligi + 1
incesogut.Hide
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set a = fs.CreateTextFile("c:\isidosyasi1", True)
a.WriteLine delikcapi
a.WriteLine deliksayisi
a.WriteLine sogutucusicakligi
a.WriteLine eriyiksicakligi
a.WriteLine kalipsicakligi
a.WriteLine sicakliksikligi
a.WriteLine maksimumurun
a.WriteLine minumurun
a.WriteLine homojenmesafe
a.WriteLine offsetadeti

```

```

a.Close
Call boykaydet(offsetadeti, sicakliksikligi, minumurun)
If product1.Definition = "" Then End
If product1.Definition = "sogutuldu" Then End
'*****

Dim hybridBodies1 As HybridBodies
Set hybridBodies1 = part1.HybridBodies
Dim hybridBody1 As HybridBody
Set hybridBody1 = hybridBodies1.Add()
hybridBody1.Name = "sogut_y"
part1.Update
Dim hybridShapeFactory1 As HybridShapeFactory
Set hybridShapeFactory1 = part1.HybridShapeFactory
Dim bodies1 As Bodies
Set bodies1 = part1.Bodies
Dim body1 As Body
Set body1 = bodies1.Item("PartBody")
Dim hybridShapes1 As HybridShapes
Set hybridShapes1 = body1.HybridShapes
Dim hybridShapeAssemble1 As HybridShapeAssemble
Set hybridShapeAssemble1 = hybridShapes1.Item("urunsinir")
Dim reference1 As Reference
Set reference1 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeAssemble1)
Dim hybridShapeCurvePar1 As HybridShapeCurvePar
Set hybridShapeCurvePar1 = hybridShapeFactory1.AddNewCurvePar(reference1, Nothing,
    -urunemesafe, False, False)
hybridShapeCurvePar1.SmoothingType = 0
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeCurvePar1
part1.InWorkObject = hybridShapeCurvePar1
part1.Update
Set hybridShapeDirection1 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#, 1#)
Dim reference3 As Reference
Set reference3 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeCurvePar1)

```

```

Set hybridShapeExtremum1 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference3,
    hybridShapeDirection1, 1)
Set hybridShapeDirection2 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#, 0#)
hybridShapeExtremum1.Direction2 = hybridShapeDirection2
hybridShapeExtremum1.ExtremumType2 = 0
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum1
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum1
part1.Update
'*****Ofsetlenmis baslangic yeri
Dim reference6 As Reference
Set reference6 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeCurvePar1)
Dim reference7 As Reference
Set reference7 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum1)
Dim hybridShapePointOnCurve2 As HybridShapePointOnCurve
For delikno = 1 To deliksayisi
Set hybridShapePointOnCurve2 =
    hybridShapeFactory1.AddNewPointOnCurveWithReferenceFromPercent(reference6,
        reference7, 1 / deliksayisi * delikno, False)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointOnCurve2
part1.InWorkObject = hybridShapePointOnCurve2
hybridShapePointOnCurve2.Name = "sogutma" & delikno
Next
part1.Update
product1.Definition = "sogutuldu"
kalipceligi.CATMain
sukanallaridagit.CATMain
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part
Dim product1 As Product
Set product1 = partDocument1.GetItem("Part1")

```

```

Dim parametresogutma As Parameters
Set parametresogutma = part1.Parameters
For arano = 1 To parametresogutma.Count
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Delik Capi" Then incesogut.cap.Value =
    parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Yuzey Kalip Sicakligi" Then
    incesogut.kalsic.Value = parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Eriyik Sicakligi" Then
    incesogut.erysic.Value = parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Sogutma Orani Sicakl 1" Then
    incesogut.sogoran.Value = parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Ozgul Isi Degeri 1" Then ozgulisi1 =
    parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Ozgul Isi Degeri 2" Then ozgulisi2 =
    parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Eriyik Yogunlugu" Then densty =
    parametresogutma.Item(arano).Value
Next
incesogut.mesdelikmi.Value = 2.5 * incesogut.cap.Value
incesogut.mesdelikma.Value = 3.5 * incesogut.cap.Value
incesogut.mesurunmi.Value = 1.5 * incesogut.cap.Value
incesogut.mesurunma.Value = 2.5 * incesogut.cap.Value
Set product1 = partDocument1.GetItem("Part1")
Dim parameters1 As Parameters
Set parameters1 = part1.Parameters
For arano = 1 To parameters1.Count
If (parameters1.Item(arano).Name) = "Part1\Inertia Volume.1\Mass" Then
    incesogut.agirlik.Value = parameters1.Item(arano).Value
If (parameters1.Item(arano).Name) = "Part1\MeasureEdge.1\Length" Then
    incesogut.urunboy.Value = parameters1.Item(arano).Value
Next
incesogut.Label26.Caption = (incesogut.erysic.Value - incesogut.kalsic.Value) * densty *
    (ozgulisi1 - ozgulisi2) * incesogut.agirlik.Value
part1.Update

```

```

End Sub
Sub boykaydet(offsetadet, birimuzaklik, minboy)
Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part
Dim hybridShapeFactory1 As HybridShapeFactory
Set hybridShapeFactory1 = part1.HybridShapeFactory
Dim bodies1 As Bodies
Set bodies1 = part1.Bodies
Dim body1 As Body
Set body1 = bodies1.Item("PartBody")
Dim hybridShapes1 As HybridShapes
Set hybridShapes1 = body1.HybridShapes
Dim hybridShapeCurvePar1 As HybridShapeCurvePar
Set hybridShapeCurvePar1 = hybridShapes1.Item("Parallel.1")
Dim parameters1 As Parameters
Set parameters1 = part1.Parameters
Set fss = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set Bb = fss.CreateTextFile("c:\offsetboylari", True)
For ffffg = 0 To offsetadet
    hybridShapeCurvePar1.Offset.Value = -minboy - ffffg * birimuzaklik
    part1.Update
    For arano = 1 To parameters1.Count
        If (parameters1.Item(arano).Name) = "Part1\MeasureEdge.1\Length" Then boy =
            parameters1.Item(arano).Value
    Next
    Bb.WriteLine boy
Next
Bb.Close
End Sub

```

KALIP ÇELİĞİ OLUŞTURMA

```

Sub CATMain()
Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part
Dim hybridBodies1 As HybridBodies
Set hybridBodies1 = part1.HybridBodies
Dim hybridBody1 As HybridBody
Set hybridBody1 = hybridBodies1.Add()
hybridBody1.Name = "kalip boyutlamasi"
part1.Update
xa = incesogut.xa.Value
xe = -1 * incesogut.xe.Value
ya = incesogut.ya.Value
ye = -1 * incesogut.ye.Value
za = incesogut.za.Value
ze = -1 * incesogut.ze.Value
Dim hybridShapeFactory1 As HybridShapeFactory
Set hybridShapeFactory1 = part1.HybridShapeFactory
Dim hybridShapeDirection1 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection1 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#, 0#)
Dim bodies1 As Bodies
Set bodies1 = part1.Bodies
Dim body1 As Body
Set body1 = bodies1.Item("PartBody")
Dim reference1 As Reference
Set reference1 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum1 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum1 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference1,
    hybridShapeDirection1, 1)
Dim hybridShapeDirection2 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection2 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#, 0#)

```

```

hybridShapeExtremum1.Direction2 = hybridShapeDirection2
hybridShapeExtremum1.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection3 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection3 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#, 1#)
hybridShapeExtremum1.Direction3 = hybridShapeDirection3
hybridShapeExtremum1.ExtremumType3 = 1
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum1
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum1
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord1 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord1 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(xa, 0#, 0#) ' artı
    x yonu
Dim reference2 As Reference
Set reference2 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum1)
hybridShapePointCoord1.PtRef = reference2
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord1
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord1
part1.Update
Dim originElements1 As OriginElements
Set originElements1 = part1.OriginElements
Dim hybridShapePlaneExplicit1 As HybridShapePlaneExplicit
Set hybridShapePlaneExplicit1 = originElements1.PlaneYZ
Dim reference3 As Reference
Set reference3 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit1)
Dim reference4 As Reference
Set reference4 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord1)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt1 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt1 = hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference3,
    reference4)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt1
hybridShapePlaneOffsetPt1.Name = "Xarti"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt1
part1.Update
Dim hybridShapeDirection4 As HybridShapeDirection

```

```

Set hybridShapeDirection4 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#, 0#)
Dim reference5 As Reference
Set reference5 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum2 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum2 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference5,
    hybridShapeDirection4, 0)
Dim hybridShapeDirection5 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection5 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#, 0#)
hybridShapeExtremum2.Direction2 = hybridShapeDirection5
hybridShapeExtremum2.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection6 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection6 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#, 1#)
hybridShapeExtremum2.Direction3 = hybridShapeDirection6
hybridShapeExtremum2.ExtremumType3 = 1
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum2
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum2
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord2 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord2 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(xe, 0#, 0#) 'X
    eski
Dim reference6 As Reference
Set reference6 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum2)
hybridShapePointCoord2.PtRef = reference6
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord2
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord2
part1.Update
Dim reference7 As Reference
Set reference7 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit1)
Dim reference8 As Reference
Set reference8 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord2)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt2 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt2 = hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference7,
    reference8)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt2

```

```

hybridShapePlaneOffsetPt2.Name = "Xeksi"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt2
part1.Update
Dim hybridShapeDirection7 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection7 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#, 0#)
Dim reference9 As Reference
Set reference9 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum3 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum3 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference9,
    hybridShapeDirection7, 1)
Dim hybridShapeDirection8 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection8 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#, 0#)
hybridShapeExtremum3.Direction2 = hybridShapeDirection8
hybridShapeExtremum3.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection9 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection9 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#, 1#)
hybridShapeExtremum3.Direction3 = hybridShapeDirection9
hybridShapeExtremum3.ExtremumType3 = 1
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum3
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum3
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord3 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord3 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(0#, ya, 0#) 'y
    arti
Dim reference10 As Reference
Set reference10 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum3)
hybridShapePointCoord3.PtRef = reference10
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord3
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord3
part1.Update
Dim hybridShapePlaneExplicit2 As HybridShapePlaneExplicit
Set hybridShapePlaneExplicit2 = originElements1.PlaneZX
Dim reference11 As Reference
Set reference11 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit2)

```

```

Dim reference12 As Reference
Set reference12 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord3)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt3 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt3 =
    hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference11, reference12)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt3
hybridShapePlaneOffsetPt3.Name = "Yarti"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt3
part1.Update
Dim hybridShapeDirection10 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection10 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#,
    0#)
Dim reference13 As Reference
Set reference13 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum4 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum4 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference13,
    hybridShapeDirection10, 0)
Dim hybridShapeDirection11 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection11 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#,
    0#)
hybridShapeExtremum4.Direction2 = hybridShapeDirection11
hybridShapeExtremum4.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection12 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection12 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#,
    1#)
hybridShapeExtremum4.Direction3 = hybridShapeDirection12
hybridShapeExtremum4.ExtremumType3 = 1
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum4
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum4
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord4 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord4 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(0#, ye, 0#) 'y
    eski
Dim reference14 As Reference

```

```

Set reference14 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum4)
hybridShapePointCoord4.PtRef = reference14
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord4
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord4
part1.Update
Dim reference15 As Reference
Set reference15 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit2)
Dim reference16 As Reference
Set reference16 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord4)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt4 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt4 =
    hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference15, reference16)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt4
hybridShapePlaneOffsetPt4.Name = "Yeksi"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt4
part1.Update
Dim hybridShapeDirection13 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection13 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#,
    1#)
Dim reference17 As Reference
Set reference17 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum5 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum5 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference17,
    hybridShapeDirection13, 1)
Dim hybridShapeDirection14 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection14 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#,
    0#)
hybridShapeExtremum5.Direction2 = hybridShapeDirection14
hybridShapeExtremum5.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection15 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection15 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#,
    0#)
hybridShapeExtremum5.Direction3 = hybridShapeDirection15
hybridShapeExtremum5.ExtremumType3 = 1

```

```

hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum5
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum5
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord5 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord5 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(0#, 0#, za) 'z arti
Dim reference18 As Reference
Set reference18 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum5)
hybridShapePointCoord5.PtRef = reference18
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord5
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord5
part1.Update
Dim hybridShapePlaneExplicit3 As HybridShapePlaneExplicit
Set hybridShapePlaneExplicit3 = originElements1.PlaneXY
Dim reference19 As Reference
Set reference19 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit3)
Dim reference20 As Reference
Set reference20 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord5)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt5 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt5 =
    hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference19, reference20)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt5
hybridShapePlaneOffsetPt5.Name = "Zarti"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt5
part1.Update
Dim hybridShapeDirection16 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection16 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 0#,
    1#)
Dim reference21 As Reference
Set reference21 = part1.CreateReferenceFromObject(body1)
Dim hybridShapeExtremum6 As HybridShapeExtremum
Set hybridShapeExtremum6 = hybridShapeFactory1.AddNewExtremum(reference21,
    hybridShapeDirection16, 0)
Dim hybridShapeDirection17 As HybridShapeDirection

```

```

Set hybridShapeDirection17 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(1#, 0#,
    0#)
hybridShapeExtremum6.Direction2 = hybridShapeDirection17
hybridShapeExtremum6.ExtremumType2 = 1
Dim hybridShapeDirection18 As HybridShapeDirection
Set hybridShapeDirection18 = hybridShapeFactory1.AddNewDirectionByCoord(0#, 1#,
    0#)
hybridShapeExtremum6.Direction3 = hybridShapeDirection18
hybridShapeExtremum6.ExtremumType3 = 1
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapeExtremum6
part1.InWorkObject = hybridShapeExtremum6
part1.Update
Dim hybridShapePointCoord6 As HybridShapePointCoord
Set hybridShapePointCoord6 = hybridShapeFactory1.AddNewPointCoord(0#, 0#, ze) ' z
    eski
Dim reference22 As Reference
Set reference22 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapeExtremum6)
hybridShapePointCoord6.PtRef = reference22
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePointCoord6
part1.InWorkObject = hybridShapePointCoord6
part1.Update
Dim reference23 As Reference
Set reference23 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneExplicit3)
Dim reference24 As Reference
Set reference24 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePointCoord6)
Dim hybridShapePlaneOffsetPt6 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt6 =
    hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffsetPt(reference23, reference24)
hybridBody1.AppendHybridShape hybridShapePlaneOffsetPt6
hybridShapePlaneOffsetPt6.Name = "Zeksi"
part1.InWorkObject = hybridShapePlaneOffsetPt6
part1.Update
Dim sketches1 As Sketches
Set sketches1 = hybridBody1.HybridSketches

```

```

Dim reference25 As Reference
Set reference25 = originElements1.PlaneZX
Dim sketch1 As Sketch
Set sketch1 = sketches1.Add(reference25)
Dim arrayOfVariantOfDouble1(8)
arrayOfVariantOfDouble1(0) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(1) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(2) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(3) = -1#
arrayOfVariantOfDouble1(4) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(5) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(6) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(7) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(8) = 1#
Set sketch1.Variant = sketch1
sketch1.Variant.SetAbsoluteAxisData arrayOfVariantOfDouble1
Dim factory2D1 As Factory2D
Set factory2D1 = sketch1.OpenEdition()
Dim geometricElements1 As GeometricElements
Set geometricElements1 = sketch1.GeometricElements
Dim axis2D1 As Axis2D
Set axis2D1 = geometricElements1.Item("AbsoluteAxis")
Dim line2D1 As Line2D
Set line2D1 = axis2D1.GetItem("HDirection")
line2D1.ReportName = 1
Dim line2D2 As Line2D
Set line2D2 = axis2D1.GetItem("VDirection")
line2D2.ReportName = 2

Dim point2D1 As Point2D
Set point2D1 = factory2D1.CreatePoint(-1#, 1)
point2D1.ReportName = 3
Dim point2D2 As Point2D
Set point2D2 = factory2D1.CreatePoint(2#, 2)

```

```
point2D2.ReportName = 4
Dim line2D3 As Line2D
Set line2D3 = factory2D1.CreateLine(-3#, 3, 1#,1)
line2D3.ReportName = 5
line2D3.StartPoint = point2D1
line2D3.EndPoint = point2D2
Dim point2D3 As Point2D
Set point2D3 = factory2D1.CreatePoint(40#, 4)
point2D3.ReportName = 6
Dim line2D4 As Line2D
Set line2D4 = factory2D1.CreateLine(4#, 5, 5#, 6)
line2D4.ReportName = 7
line2D4.EndPoint = point2D2
line2D4.StartPoint = point2D3
Dim point2D4 As Point2D
Set point2D4 = factory2D1.CreatePoint(-7#, 7)
point2D4.ReportName = 8
Dim line2D5 As Line2D
Set line2D5 = factory2D1.CreateLine(8#, -8, -9#, -9)
line2D5.ReportName = 9
line2D5.StartPoint = point2D3
line2D5.EndPoint = point2D4
Dim line2D6 As Line2D
Set line2D6 = factory2D1.CreateLine(10#, -11, -12#, 12)
line2D6.ReportName = 10
line2D6.EndPoint = point2D4
line2D6.StartPoint = point2D1
Dim constraints1 As Constraints
Set constraints1 = sketch1.Constraints
Dim reference26 As Reference
Set reference26 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D3)
Dim reference27 As Reference
Set reference27 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D1)
Dim constraint1 As Constraint
```

```

Set constraint1 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeHorizontal, reference26,
    reference27)
constraint1.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference28 As Reference
Set reference28 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D5)
Dim reference29 As Reference
Set reference29 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D1)
Dim constraint2 As Constraint
Set constraint2 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeHorizontal, reference28,
    reference29)
constraint2.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference30 As Reference
Set reference30 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D4)
Dim reference31 As Reference
Set reference31 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D2)
Dim constraint3 As Constraint
Set constraint3 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeVertical, reference30,
    reference31)
constraint3.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference32 As Reference
Set reference32 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D6)
Dim reference33 As Reference
Set reference33 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D2)
Dim constraint4 As Constraint
Set constraint4 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeVertical, reference32,
    reference33)
constraint4.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim hybridShapes1 As HybridShapes
Set hybridShapes1 = hybridBody1.HybridShapes
Dim reference34 As Reference
Set reference34 = hybridShapes1.Item("Zarti")
Dim geometricElements2 As GeometricElements
Set geometricElements2 = factory2D1.CreateIntersections(reference34)
Dim geometry2D1 As Geometry2D

```

```

Set geometry2D1 = geometricElements2.Item("Mark.1")
geometry2D1.Construction = True
Dim reference35 As Reference
Set reference35 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D3)
Dim reference36 As Reference
Set reference36 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D1)
Dim constraint5 As Constraint
Set constraint5 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeOn, reference35, reference36)
constraint5.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference37 As Reference
Set reference37 = hybridShapes1.Item("Xeksi")
Dim geometricElements3 As GeometricElements
Set geometricElements3 = factory2D1.CreateIntersections(reference37)
Dim geometry2D2 As Geometry2D
Set geometry2D2 = geometricElements3.Item("Mark.1")
geometry2D2.Construction = True
Dim reference38 As Reference
Set reference38 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D4)
Dim reference39 As Reference
Set reference39 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D2)
Dim constraint6 As Constraint
Set constraint6 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeOn, reference38, reference39)
constraint6.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference40 As Reference
Set reference40 = hybridShapes1.Item("Zeksi")
Dim geometricElements4 As GeometricElements
Set geometricElements4 = factory2D1.CreateIntersections(reference40)
Dim geometry2D3 As Geometry2D
Set geometry2D3 = geometricElements4.Item("Mark.1")
geometry2D3.Construction = True
Dim reference41 As Reference
Set reference41 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D5)
Dim reference42 As Reference
Set reference42 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D3)

```

```

Dim constraint7 As Constraint
Set constraint7 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeOn, reference41, reference42)
constraint7.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim reference43 As Reference
Set reference43 = hybridShapes1.Item("Xarti")
Dim geometricElements5 As GeometricElements
Set geometricElements5 = factory2D1.CreateIntersections(reference43)
Dim geometry2D4 As Geometry2D
Set geometry2D4 = geometricElements5.Item("Mark.1")
geometry2D4.Construction = True
Dim reference44 As Reference
Set reference44 = part1.CreateReferenceFromObject(line2D6)
Dim reference45 As Reference
Set reference45 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D4)
Dim constraint8 As Constraint
Set constraint8 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeOn, reference44, reference45)
constraint8.Mode = catCstModeDrivingDimension
sketch1.CloseEdition
part1.Update
Dim body2 As Body
Set body2 = bodies1.Add()
body2.Name = "Kalip"
part1.Update
part1.InWorkObject = body2
Dim shapeFactory1 As ShapeFactory
Set shapeFactory1 = part1.ShapeFactory
Dim pad1 As Pad
Set pad1 = shapeFactory1.AddNewPad(sketch1, 20#)
Dim limit1 As Limit
Set limit1 = pad1.FirstLimit
limit1.LimitMode = catUpToPlaneLimit
Dim reference46 As Reference
Set reference46 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneOffsetPt3)
limit1.LimitingElement = reference46

```

```
Dim limit2 As Limit
Set limit2 = pad1.SecondLimit
limit2.LimitMode = catUpToPlaneLimit
Dim reference47 As Reference
Set reference47 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneOffsetPt4)
limit2.LimitingElement = reference47
part1.Update
End Sub
```

SU KANALLARI İLK DAĞILIM

```

Sub CATMain()
Dim partDocument1 As PartDocument
Set partDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim part1 As Part
Set part1 = partDocument1.Part
Dim bodies1 As Bodies
Set bodies1 = part1.Bodies
Dim parametresogutma As Parameters
Set parametresogutma = part1.Parameters
For arano = 1 To parametresogutma.Count
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Delik Sayisi" Then deliksayisi =
    parametresogutma.Item(arano).Value
If (parametresogutma.Item(arano).Name) = "Part1\Delik Capi" Then delikcapi =
    parametresogutma.Item(arano).Value
Next
Dim body1 As Body
Set body1 = bodies1.Item("Kalip")
part1.InWorkObject = body1
Dim sketches1 As Sketches
Set sketches1 = body1.Sketches
Dim originElements1 As OriginElements
Set originElements1 = part1.OriginElements
Dim reference1 As Reference
Set reference1 = originElements1.PlaneYZ
Dim sketch1 As Sketch
Set sketch1 = sketches1.Add(reference1)
Dim arrayOfVariantOfDouble1(8)
arrayOfVariantOfDouble1(0) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(1) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(2) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(3) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(4) = 1#

```

```

arrayOfVariantOfDouble1(5) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(6) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(7) = 0#
arrayOfVariantOfDouble1(8) = 1#
Set sketch1Variant = sketch1
sketch1Variant.SetAbsoluteAxisData arrayOfVariantOfDouble1
Dim factory2D1 As Factory2D
Set factory2D1 = sketch1.OpenEdition()
Dim geometricElements1 As GeometricElements
Set geometricElements1 = sketch1.GeometricElements
Dim axis2D1 As Axis2D
Set axis2D1 = geometricElements1.Item("AbsoluteAxis")
Dim line2D1 As Line2D
Set line2D1 = axis2D1.GetItem("HDirection")
line2D1.ReportName = 1
Dim line2D2 As Line2D
Set line2D2 = axis2D1.GetItem("VDirection")
line2D2.ReportName = 2
Dim hybridBodies1 As HybridBodies
Set hybridBodies1 = part1.HybridBodies
Dim hybridBody1 As HybridBody
Set hybridBody1 = hybridBodies1.Item("sogut_y")
Dim hybridShapes1 As HybridShapes
Set hybridShapes1 = hybridBody1.HybridShapes
Dim reference3 As Reference
Dim reference9 As Reference
Dim geometricElements4 As GeometricElements
Dim hybridBody2 As HybridBody
Dim hybridShapes2 As HybridShapes
For deliknosu = 1 To deliksayisi
Dim point2D1 As Point2D
Set point2D1 = factory2D1.CreatePoint(-1, 1)
Dim circle2D1 As Circle2D
Set circle2D1 = factory2D1.CreateClosedCircle(1, -1, delikcapi / 2)

```

```

circle2D1.CenterPoint = point2D1
Dim constraints1 As Constraints
Set constraints1 = sketch1.Constraints
Dim reference2 As Reference
Set reference2 = part1.CreateReferenceFromObject(circle2D1)
Dim constraint1 As Constraint
Set constraint1 = constraints1.AddMonoEltCst(catCstTypeRadius, reference2)
constraint1.Mode = catCstModeDrivingDimension
Dim length1 As Length
Set length1 = constraint1.Dimension
constraint1.Name = "sukanali" & deliknosu
Set reference3 = hybridShapes1.Item("sogutma" & deliknosu)
Dim geometricElements2 As GeometricElements
Set geometricElements2 = factory2D1.CreateProjections(reference3)
Dim geometry2D1 As Geometry2D
Set geometry2D1 = geometricElements2.Item("Mark.1")
geometry2D1.Construction = True
Dim reference4 As Reference
Set reference4 = part1.CreateReferenceFromObject(circle2D1)
Dim reference5 As Reference
Set reference5 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D1)
Dim constraint2 As Constraint
Set constraint2 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeConcentricity, reference4,
    reference5)
constraint2.Mode = catCstModeDrivenDimension
constraint2.Name = "esmerkez" & deliknosu
Set hybridBody2 = hybridBodies1.Item("kalip boyutlamasi")
Set hybridShapes2 = hybridBody2.HybridShapes
Dim reference6 As Reference
Set reference6 = hybridShapes2.Item("Yeksi")
Dim geometricElements3 As GeometricElements
Set geometricElements3 = factory2D1.CreateIntersections(reference6)
Dim geometry2D2 As Geometry2D
Set geometry2D2 = geometricElements3.Item("Mark.1")

```

```

geometry2D2.Construction = True
Dim reference7 As Reference
Set reference7 = part1.CreateReferenceFromObject(point2D1)
Dim reference8 As Reference
Set reference8 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D2)
Dim constraint3 As Constraint
Set constraint3 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeDistance, reference7, reference8)
constraint3.Mode = catCstModeDrivenDimension
Dim length2 As Length
Set length2 = constraint3.Dimension
constraint3.Name = "yataymesafe" & deliknosu
'yatay mesafe
Set reference9 = hybridShapes2.Item("Zeksi")
Set geometricElements4 = factory2D1.CreateIntersections(reference9)
Dim geometry2D3 As Geometry2D
Set geometry2D3 = geometricElements4.Item("Mark.1")
geometry2D3.Construction = True
Dim reference10 As Reference
Set reference10 = part1.CreateReferenceFromObject(point2D1)
Dim reference11 As Reference
Set reference11 = part1.CreateReferenceFromObject(geometry2D3)
Dim constraint4 As Constraint
Set constraint4 = constraints1.AddBiEltCst(catCstTypeDistance, reference10, reference11)
constraint4.Mode = catCstModeDrivenDimension
Dim length3 As Length
Set length3 = constraint4.Dimension
constraint4.Name = "Dikey" & deliknosu
Next
sketch1.CloseEdition
part1.Update
Dim sketch2 As Sketch
Set sketch2 = sketches1.Add(reference1)
Dim arrayOfVariantOfDouble2(8)
arrayOfVariantOfDouble2(0) = 0#

```

```

arrayOfVariantOfDouble2(1) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(2) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(3) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(4) = 1#
arrayOfVariantOfDouble2(5) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(6) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(7) = 0#
arrayOfVariantOfDouble2(8) = 1#
Set sketch2Variant = sketch2
sketch2Variant.SetAbsoluteAxisData arrayOfVariantOfDouble2
Dim factory2D2 As Factory2D
Set factory2D2 = sketch2.OpenEdition()
Dim geometricElements5 As GeometricElements
Set geometricElements5 = sketch2.GeometricElements
Dim axis2D2 As Axis2D
Set axis2D2 = geometricElements5.Item("AbsoluteAxis")
Dim line2D3 As Line2D
Set line2D3 = axis2D2.GetItem("HDirection")
line2D3.ReportName = 1
Dim line2D4 As Line2D
Set line2D4 = axis2D2.GetItem("VDirection")
line2D4.ReportName = 2
Dim point2D2 As Point2D
Set point2D2 = factory2D2.CreatePoint(1, 1)
sketch2.CloseEdition
part1.Update
Dim shapeFactory1 As ShapeFactory
Set shapeFactory1 = part1.ShapeFactory
Dim reference20 As Reference
Set reference20 = part1.CreateReferenceFromName("")
Dim pocket1 As Pocket
Set pocket1 = shapeFactory1.AddNewPocketFromRef(reference20, 156#)
Dim reference21 As Reference
Set reference21 = part1.CreateReferenceFromObject(sketch1)

```

```

pocket1.SetProfileElement reference21
Dim limit1 As Limit
Set limit1 = pocket1.FirstLimit
limit1.LimitMode = catUpToPlaneLimit
Dim hybridShapePlaneOffsetPt1 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt1 = hybridShapes2.Item("Xeksi")
Dim reference22 As Reference
Set reference22 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneOffsetPt1)
limit1.LimitingElement = reference22
Dim limit2 As Limit
Set limit2 = pocket1.SecondLimit
limit2.LimitMode = catUpToPlaneLimit
Dim hybridShapePlaneOffsetPt2 As HybridShapePlaneOffsetPt
Set hybridShapePlaneOffsetPt2 = hybridShapes2.Item("Xarti")
Dim reference23 As Reference
Set reference23 = part1.CreateReferenceFromObject(hybridShapePlaneOffsetPt2)
limit2.LimitingElement = reference23
part1.Update
Dim selection1 As Selection
Set selection1 = partDocument1.Selection
selection1.Clear
selection1.Add sketch2
selection1.Delete
sketch1.Name = "Delik konumları ve caplari"
End Sub

```

EK - 3

VBA'DA YAPILAN CATIA V5 PROGRAMINDA ÇALIŞAN PROGRAMIN FORMLARI

PARAMETRE GİRİŞİ

Enjeksiyon Malzemesi

Enjeksiyon Makinesi

Kalip Malzemesi

Sogutma Sıvısı

İnce duvar sogutma

Kalip Çeliği boyutlandırması (mm)

+X 30 +Y 30 +Z 30

-X 30 -Y 30 -Z 30

Kalip Sıcaklığı 75 C

Eriyik Sıcaklığı 265 C

Soguma Oranı 0.33 C/s

Sogutma sıvısı sıcaklığı 25 C

Delik Çapı 10 mm

Ağırlık 0.1 kg

Sıcaklık tarama sıklığı 0.25 mm

	Minimum	Maksimum
Delikler arası mesafe	25	35
Ürüne Uzaklık	15	25

Kac delikle sogutulacak 2

Urun sınırı boyu 2 mm

Sıcaklık farkı minimize edilecek hattın ürüne uzaklığı 2 mm

1 kg urunu sogutmak için gerekli enerji (joule)

384023,934

Sogut

Enjeksiyon makinesi parametreleri

Tanım | Makine Parametreleri

Piyasi adı: BA 1500/630 BK

Üretici Firma: Battenfeld

Data kaynağı: Üretici

Makine kayıt tarihi: 21.03.1998

vazgeç onayla

Kalıp malzeme parametreleri

Tanım | Çelik Parametreleri

Piyasi adı: IMPAX SUPREME

Üretici Firma: Uddeholm

Data kaynağı: Üretici

Makine kayıt tarihi: 18.02.1997

vazgeç onayla

Enjeksiyon makinesi parametreleri

Tanım | Makine Parametreleri

Maks. Enjeksiyon stroku: 180 mm

Kapasite (hacim): 170 cm³/s

Extruder vida çapı: 45 mm

Maks. Hidrolik Basıncı: 17,5 MPa

Maks. Enjeksiyon Basıncı: 99 MPa

vazgeç onayla

Kalıp malzeme parametreleri

Tanım | Çelik Parametreleri

Kalıp yoğunluğu: 7,8 gr/cm³

Kalıp özgül isisi: 460 J/Kg·C

Kalıp ısı iletkenlik katsayısı: 29 W/m·C

Elastisite modülü: 200000 MPa

Poisson oranı: 0,33

vazgeç onayla

Enjeksiyon malzemesinin parametreleri



PVT Özellikleri | Mekanik özellikleri | Önerilen Değerleri | Isı ve Sıcak

Etiriyik yoğunluğu	1,0239l	gr/cm ³
Kabı yoğunluğu	1,1663	gr/cm ³
b5	365,95	K
b6	0,000000359	K/Pa
b1m	0,0008718	m ³ /kg
b2m	0,000000609	m ³ /kg-K
b3m	0,0000000186	Pa
b4m	0,004567	1/K
b1s	0,0008718	m ³ /kg
b2s	0,000000213	m ³ /kg-K
b3s	4,06	Pa
b4s	0,006645	1/K
b7	0	m ³ /kg
b8	0	1/K
b9	0	1/Pa

vazgeç

onayla

Enjeksiyon malzemesinin parametreleri



PVT Özellikleri | Mekanik özellikleri | Önerilen Değerleri | Isı ve Sıcak

Elastisiteyet modülü X doğrultusu (E1)	2780	Mpa
Elastisiteyet modülü Y doğrultusu (E2)	2780	Mpa
Poisson oranı (Xy)	0,23	
Poisson oranı (Yz)	0,23	
Shear Modülü	1130	Mpa
Alfa1	0,000067	1/C
Alfa2	0,000067	1/C

vazgeç

onayla

Enjeksiyon malzemesinin parametreleri



PVT Özellikleri | Mekanik özellikleri | Önerilen Değerleri | Isı ve Sıcaklık |

Kalip Yüzey sıcaklığı C

Eriyik Sıcaklığı C

Kalip yüzeyi minimum önerilen sıcaklık C

Kalip yüzeyi maksimum önerilen sıcaklık C

Eriyik minimum önerilen sıcaklık C

Eriyik maksimum önerilen sıcaklık C

Enjeksiyon sıcaklığı C

vazgeç

onayla

Enjeksiyon malzemesinin parametreleri



Mekanik özellikleri | Önerilen Değerleri | Isı ve Sıcaklık verileri | Mal: |

Isı verileri

Sıcaklık (C) | Özgül Isı (Cp) J/Kg-C | Isıtma/sogutma oranı C/s

265	2574	0,33
75	600	0,33
270	2574	0,33
270	2574	0,33

Isı iletim katsayıları

Sıcaklık (C) | Isı iletim Katsayısı (k) W/m-C | Isıtma/sogutma oranı C/s

270	0,219	0
270	0,219	0
270	0,219	0
270	0,219	0

vazgeç

onayla

Enjeksiyon malzemesinin parametreleri

Önerilen Değerleri | Isı ve Sıcaklık verileri | Malzeme Tanımı

Piyasa adı	Triax 2153
Malzeme Sınıfı	PC+ABS
Üretici Firma	Bayer USA
Üretici Firma Kodu	CM0345
Veri Kayıt Tarihi	OCT-08-2002
Veri Kayıt Kodu	345
Tedarikçi Yirma	BAYERUSA

vazgeç onayla

Sogutma Sivisi Parametreleri

Tanım | Sogutucu Parametreleri

Piyasa adı	Sul
Üretici Firma	Generic
Data kaynağı	Diğer
Veri kayıt tarihi	04.12.1990

vazgeç onayla

Sogutma Sivisi Parametreleri

Tanım | Sogutucu Parametreleri

Sogutucu Yoğunluğu	0,988	gr/cm ³
Sogutucu özgül ısı	4180	J/Kg-C
Sogutucu viskozitesi	783	—
Sogutucu ısı iletkenliği	0,643	W/m-C

vazgeç onayla

EK - 4**MINITAB REGRESYON ve TEK YÖNLÜ VARYANS
ANALİZİ SONUÇ ÇIKTILARI**

The regression equation is

$$U = -0,0045 + 0,00175 A - 0,00051 B - 0,000016 AB$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,00446	0,02132	-0,21	0,838
A	0,0017506	0,0007030	2,49	0,028
B	-0,000510	0,001114	-0,46	0,656
AB	-0,00001631	0,00003672	-0,44	0,665

$$S = 0,003235 \quad R\text{-Sq} = 89,4\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 86,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F
Regression	3	0,00106091	0,00035364	33,79
Residual Error	12	0,00012558	0,00001047	
Total	15	0,00118649		

Polipropilen Sabit Çapta Uniform İfadesi

The regression equation is

$$Z = 48,9 + 0,0557 A + 0,164 B - 0,00117 AB$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	48,902	1,135	43,10	0,000
A	0,05569	0,03741	1,49	0,162
B	0,16389	0,05927	2,77	0,017
AB	-0,001173	0,001954	-0,60	0,560

$$S = 0,1721 \quad R\text{-Sq} = 95,0\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 93,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F
Regression	3	6,8084	2,2695	76,60
Residual Error	12	0,3555	0,0296	
Total	15	7,1640		

Polipropilen Sabit Çapta Döngü Zamanı

The regression equation is

$$U = -0,0407 + 0,00949 A - 0,00495 B + 0,00127 D - 0,000049 AB - 0,000735 AD + 0,000588 BD$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,04072	0,07293	-0,56	0,583
A	0,009494	0,002219	4,28	0,000
B	-0,004951	0,003031	-1,63	0,118
D	0,001271	0,007251	0,18	0,863
AB	-0,00004900	0,00008353	-0,59	0,564
AD	-0,0007350	0,0002088	-3,52	0,002
BD	0,0005883	0,0002088	2,82	0,011

$$S = 0,007233 \quad R\text{-Sq} = 93,2\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 91,1\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,0142485	0,0023747	45,39	0,000
Residual Error	20	0,0010465	0,0000523		
Total	26	0,0152949			

Polipropilen Değişken Çapta Uniform İfadesi

The regression equation is

$$Z = 48,5 + 0,0888 A + 0,135 B + 0,086 D + 0,00030 AB - 0,00575 AD$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	48,512	1,503	32,29	0,000
A	0,08879	0,04963	1,79	0,088
B	0,13456	0,05656	2,38	0,027
D	0,0861	0,1414	0,61	0,549
AB	0,000300	0,001868	0,16	0,874
AD	-0,005750	0,004670	-1,23	0,232

$$S = 0,1618 \quad R\text{-Sq} = 95,2\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 94,0\%$$

Analysis of Variance

Polipropilen Değişken Çapta Döngü Zamanı

The regression equation is

$$U = -0,0045 + 0,00175 A - 0,00051 B - 0,000016 AB$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,00446	0,02132	-0,21	0,838
A	0,0017506	0,0007030	2,49	0,028
B	-0,000510	0,001114	-0,46	0,656
AB	-0,00001631	0,00003672	-0,44	0,665

$$S = 0,003235 \quad R\text{-Sq} = 89,4\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 86,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00106091	0,00035364	33,79	0,000
Residual Error	12	0,00012558	0,00001047		
Total	15	0,00118649			

Polietilen Sabit Çapta Uniform İfadesi

The regression equation is

$$Z = 79,3 + 0,0204 A + 0,202 B + 0,00219 AB$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	79,334	1,008	78,74	0,000
A	0,02039	0,03322	0,61	0,551
B	0,20170	0,05263	3,83	0,002
AB	0,002192	0,001735	1,26	0,230

$$S = 0,1529 \quad R\text{-Sq} = 99,0\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 98,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	28,9814	9,6605	413,46	0,000
Residual Error	12	0,2804	0,0234		
Total	15	29,2617			

Polietilen Sabit Çapta Döngü Zamanı

The regression equation is

$$U = -0,0407 + 0,00949 A - 0,00495 B + 0,00127 D - 0,000049 AB - 0,000735 AD + 0,000588 BD$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,04072	0,07293	-0,56	0,583
A	0,009494	0,002219	4,28	0,000
B	-0,004951	0,003031	-1,63	0,118
D	0,001271	0,007251	0,18	0,863
AB	-0,00004900	0,00008353	-0,59	0,564
AD	-0,0007350	0,0002088	-3,52	0,002
BD	0,0005883	0,0002088	2,82	0,011

$$S = 0,007233 \quad R\text{-Sq} = 93,2\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 91,1\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,0142485	0,0023747	45,39	0,000
Residual Error	20	0,0010465	0,0000523		
Total	26	0,0152949			

Polietilen Değişken Çapta Uniform İfadesi

The regression equation is

$$Z = 77,6 + 0,118 A + 0,309 B + 0,0396 D - 0,000700 AB - 0,00533 AD - 0,00125 BD$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	77,5931	0,5707	135,96	0,000
A	0,11823	0,01736	6,81	0,000
B	0,30944	0,02372	13,05	0,000
D	0,03958	0,05673	0,70	0,493
AB	-0,0007000	0,0006536	-1,07	0,297
AD	-0,005333	0,001634	-3,26	0,004
BD	-0,001250	0,001634	-0,77	0,453

$$S = 0,05660 \quad R\text{-Sq} = 99,8\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 99,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	38,1978	6,3663	1987,17	0,000
Residual Error	20	0,0641	0,0032		
Total	26	38,2619			

Polietilen Değişken Çapta Döngü Zamanı

One-way ANOVA: Z versus A

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	1,83	0,91	0,60	0,556
Error	24	36,44	1,52		
Total	26	38,26			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
25	9	84,598	1,241	(-----*-----)
30	9	84,899	1,224	(-----*-----)
35	9	85,234	1,231	(-----*-----)
Pooled StDev = 1,232				84,00 84,70 85,40 86,10

One-way ANOVA: Z versus B

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	34,891	17,446	124,22	0,000
Error	24	3,371	0,140		
Total	26	38,262			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	9	83,524	0,379	(-***)
17	9	84,898	0,375	(--*--)
22	9	86,309	0,370	(-***)
Pooled StDev = 0,375				84,0 85,0 86,0

One-way ANOVA: Z versus D

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	1,46	0,73	0,48	0,627
Error	24	36,80	1,53		
Total	26	38,26			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
6	9	85,177	1,262	(-----*-----)
8	9	84,944	1,231	(-----*-----)
10	9	84,610	1,222	(-----*-----)
Pooled StDev = 1,238				84,00 84,70 85,40 86,10

POLİETİLEN DEĞİŞKEN ÇAP

One-way ANOVA: Z versus A

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
A	3	1,26	0,42	0,18	0,908
Error	12	28,00	2,33		
Total	15	29,26			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
24	4	84,515	1,503	(-----*-----)
28	4	84,735	1,434	(-----*-----)
32	4	85,125	1,513	(-----*-----)
36	4	85,198	1,653	(-----*-----)
Pooled StDev = 1,528				-----+-----+-----+-----
				84,0 85,2 86,4

One-way ANOVA: Z versus B

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
B	3	27,772	9,257	74,55	0,000
Error	12	1,490	0,124		
Total	15	29,262			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	4	83,185	0,304	(--*--)
16	4	84,173	0,278	(--*--)
21	4	85,580	0,412	(--*--)
25	4	86,635	0,397	(--*--)
Pooled StDev = 0,352				-----+-----+-----+-----
				84,0 85,2 86,4

POLİETİLEN SABİT ÇAP

One-way ANOVA: Z versus A

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	1,032	0,516	1,19	0,321
Error	24	10,401	0,433		
Total	26	11,433			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
25	9	52,683	0,584	(-----*-----)
30	9	52,929	0,754	(-----*-----)
35	9	53,162	0,626	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,658				52,40 52,80 53,20 53,60

One-way ANOVA: Z versus B

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	9,4803	4,7401	58,26	0,000
Error	24	1,9528	0,0814		
Total	26	11,4331			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	9	52,269	0,288	(---*---)
17	9	52,801	0,284	(---*---)
22	9	53,704	0,284	(---*---)
Pooled StDev = 0,285				52,50 53,00 53,50

One-way ANOVA: Z versus D

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,541	0,270	0,60	0,559
Error	24	10,892	0,454		
Total	26	11,433			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
6	9	53,106	0,685	(-----*-----)
8	9	52,909	0,687	(-----*-----)
10	9	52,760	0,648	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,674				52,50 52,85 53,20 53,55

POLİPROPİLEN DEĞİŞKEN ÇAP

One-way ANOVA: Z versus A

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
A	3	0,525	0,175	0,32	0,814
Error	12	6,639	0,553		
Total	15	7,164			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
24	4	52,653	0,819	(-----*-----)
28	4	53,050	0,773	(-----*-----)
32	4	52,985	0,546	(-----*-----)
36	4	53,128	0,804	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,744				52,20 52,80 53,40 54,00

One-way ANOVA: Z versus B

Analysis of Variance for Z

Source	DF	SS	MS	F	P
B	3	6,4362	2,1454	35,38	0,000
Error	12	0,7277	0,0606		
Total	15	7,1640			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	4	52,093	0,251	(---*---)
16	4	52,660	0,311	(---*---)
21	4	53,293	0,216	(---*---)
25	4	53,770	0,191	(---*---)
Pooled StDev = 0,246				52,20 52,80 53,40

POLİPROPİLEN SABİT ÇAP

One-way ANOVA: U versus A

Analysis of Variance for U

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	0,003483	0,001741	3,54	0,045
Error	24	0,011812	0,000492		
Total	26	0,015295			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
25	9	0,03502	0,01502	(-----*-----)
30	9	0,04830	0,02163	(-----*-----)
35	9	0,06283	0,02799	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,02218				0,032 0,048 0,064

One-way ANOVA: U versus B

Analysis of Variance for U

Source	DF	SS	MS	F	P
B	2	0,001408	0,000704	1,22	0,314
Error	24	0,013887	0,000579		
Total	26	0,015295			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	9	0,05603	0,02901	(-----*-----)
17	9	0,05123	0,02328	(-----*-----)
22	9	0,03889	0,01877	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,02405				0,030 0,045 0,060 0,075

One-way ANOVA: U versus D

Analysis of Variance for U

Source	DF	SS	MS	F	P
D	2	0,009239	0,004619	18,31	0,000
Error	24	0,006056	0,000252		
Total	26	0,015295			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
6	9	0,07430	0,02341	(-----*-----)
8	9	0,04067	0,01227	(-----*-----)
10	9	0,03119	0,00763	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,01589				0,040 0,060 0,080

DEĞİŞKEN ÇAP

One-way ANOVA: U versus A

Analysis of Variance for U

Source	DF	SS	MS	F	P
A	3	0,0006736	0,0002245	5,25	0,015
Error	12	0,0005129	0,0000427		
Total	15	0,0011865			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
24	4	0,021225	0,005758	(-----*-----)
28	4	0,026350	0,006115	(-----*-----)
32	4	0,032100	0,006655	(-----*-----)
36	4	0,038625	0,007492	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,006538				0,020 0,030 0,040 0,050

One-way ANOVA: U versus B

Analysis of Variance for U

Source	DF	SS	MS	F	P
B	3	0,0005054	0,0001685	2,97	0,075
Error	12	0,0006811	0,0000568		
Total	15	0,0011865			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
12	4	0,033025	0,007393	(-----*-----)
16	4	0,036225	0,008514	(-----*-----)
21	4	0,027625	0,007658	(-----*-----)
25	4	0,021425	0,006422	(-----*-----)
Pooled StDev = 0,007534				0,020 0,030 0,040

SABİT ÇAP

EK - 5**SOĞUTMA SİSTEMİ GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİ
OPTİMİZASYONU İTERASYON DEĞERLERİ**

İterasyon No	F	A	B	D
0	24,276776	11,94878458	9,559167823	10
1	24,30223066	11,99787019	9,814984943	10
2	24,33770087	12,06659004	10,17312891	10
3	24,38703315	12,16279782	10,67453047	10
4	24,45545937	12,29748872	11,37649264	10
5	24,55000395	12,48605598	12,35923969	10
6	24,67991365	12,75005015	13,73508556	10
7	24,8569868	13,11964198	15,66126977	10
8	25,09551002	13,63707054	18,35792767	10
9	25,41117987	14,36147053	22,13324872	10
10	24,23586506	10,79759211	27,35106171	10
11	25,58951351	14,87331653	19,38124303	10
12	26,28793669	16,60406091	20,81388454	10
13	27,27682911	19,02710304	22,81958265	10
14	28,67623477	22,41936202	25,62756	10
15	30,17845956	26,36352875	31,00052473	10
16	27,79679764	20,08212423	19,94014058	10
17	26,40765076	16,80999133	11,97775339	10
18	24,85032676	12,79782282	23,41708502	10
19	28,13029116	20,878653	21,08090796	10
20	27,88229309	20,30971442	20,67217969	10
21	27,53694581	19,51320041	20,09996012	10
22	27,98149086	20,57098798	21,40894851	10
23	27,87915752	20,43747079	23,0881416	10
24	27,74305707	20,25054672	25,43901193	10
25	27,56556137	19,98885302	28,73023039	10
26	27,340201	19,62248184	33,33793623	10
27	27,29635068	19,16674068	25,21808513	10
28	26,97516038	18,49933528	29,28915857	10
29	27,65077547	20,13583728	27,47451146	10
30	27,94413641	20,95584228	29,1914706	10
31	28,10241096	21,33683557	29,08444147	10
32	27,7687289	20,52701101	29,29268956	10
33	27,5269894	19,92664724	29,4343961	10
34	27,19584053	19,08613796	29,63278526	10
35	27,47399756	19,73840233	28,29776504	10
36	27,33783224	19,41401725	28,72708266	10
37	27,56318865	19,99609171	28,99304217	10
38	27,68592979	20,35685685	29,96643016	10
39	27,9446843	21,07633416	31,06175274	10
40	27,46128219	19,76286262	29,5011269	10
41	27,83522096	20,73057788	29,93033622	10
42	27,73298874	20,56867465	31,59475276	10
43	27,62275315	20,37209976	33,21871358	10
44	27,33422572	19,49533339	30,82940473	10
45	27,64882438	20,45325706	33,43529209	10
46	27,92281377	21,26023258	34,73166827	10
47	27,74978397	20,60396787	31,45788624	10
48	27,77341927	20,65337836	31,26627312	10

Polietilen ürün imalatı sabit çap optimizasyon iterasyon değerleri.

iterasyon					
No	F	A	B	D	
0	8,643275802	34,9995664	52,48466267		10
1	9,06318193	35,14334461	53,88922795	9,053985509	
2	8,484430024	34,43087053	54,49107296		10
3	8,603679555	35,49476156	52,94127556		10
4	9,178367314	36,07230202	53,96784249	8,873244587	
5	9,699209909	34,81028269	50,76798131	8,54898456	
6	8,760283818	32,31936923	55,2180437	9,354253444	
7	8,4796355	36,1892115	54,43526712		10
8	8,56774565	35,21633684	53,39405172		10
9	8,692456409	33,85431232	51,93635017		10
10	8,415233456	35,66937609	55,2970476		10
11	9,09424232	34,98776316	57,58196983	8,423185034	
12	8,744482717	34,78718232	51,46006956	9,975074473	
13	9,00848543	34,18636598	48,75249454	9,940178736	
14	8,954495798	33,23106106	49,10816272	9,973907613	
15	8,89493157	31,89363417	49,60609817		10
16	9,525339932	33,31251384	48,39270204	9,150754333	
17	8,928915291	33,45660947	49,61964716	9,937584299	
18	8,89367602	33,77237725	50,33572538	9,886731659	
19	8,845433052	34,21445214	51,33823488	9,815537963	
20	8,779949609	34,83335699	52,74174818	9,715866788	
21	8,860842136	35,17853112	52,43054103	9,623178212	
22	8,807519624	34,89884853	52,51025447	9,702762982	
23	8,667664771	34,97017643	52,30450851	9,983270793	
24	8,651958326	34,9127057	52,38386195		10
25	8,642972465	34,83224667	52,49495677		10
26	8,870316943	35,09095189	52,74257272	9,558446546	
27	8,635092898	35,06141632	52,58058275		10
28	8,65235381	35,03583982	52,56017164	9,971920855	
29	8,63548835	35,07015138	52,57546552		10
30	8,633546303	35,11818756	52,59687694		10
31	8,628710417	35,11270218	52,65537488		10
32	8,621956493	35,10502266	52,737272		10
33	8,617501885	35,09831268	52,79148563		10
34	8,624199183	35,06838471	52,71172194		10
35	8,627338688	35,01709159	52,67595185		10
36	8,631733476	34,94528122	52,62587372		10
37	8,621646733	35,01267051	52,74499577		10
38	8,612926493	35,03621439	52,84973265		10
39	8,622019823	35,01387205	52,740426		10
40	8,622542261	35,01555422	52,73402833		10
41	8,623273891	35,01790925	52,72507158		10
42	8,6242986	35,0212063	52,71253214		10
43	8,625734029	35,02582216	52,69497692		10
44	8,627745273	35,03228437	52,67039961		10
45	8,630564238	35,04133146	52,63599137		10
46	8,634517117	35,05399739	52,58781985		10
47	8,640063585	35,07172969	52,52037971		10
48	9,000413812	34,97939294	52,38875401	9,390046333	
49	8,927534446	34,78895909	52,3345234	9,520566342	

Polietilen ürün imalatı değişken çap optimizasyon iterasyon değerleri.

İterasyon No	F	A	B	D
0	0,804485122	19,99994728	30,00013132	10
1	0,929803907	20,12318695	31,2044015	8,580978264
2	0,833905095	19,67497504	31,14699155	10
3	0,818913206	20,2829187	30,26113036	10
4	0,914102346	20,61294504	30,84791403	8,873244587
5	0,959760826	20,21544623	29,58157517	7,422229147
6	0,938735988	18,768893	32,17454523	8,227498032
7	0,92318256	21,01623437	31,71843561	9,316728295
8	0,814036033	20,05880719	30,25786782	10
9	0,770733604	19,2830142	29,43180312	10
10	0,853346307	20,31685296	31,33627629	10
11	0,977736799	19,92861434	32,63111855	8,423185034
12	0,77424378	19,81436587	29,16189973	9,975074473
13	0,715590862	19,47214802	27,62754441	9,940178736
14	0,627148753	18,99304303	25,47944697	9,891324704
15	0,701461432	18,02113379	28,16502055	10
16	0,813893736	19,61533279	26,42002082	7,470718897
17	0,858657685	19,81579146	24,72948779	6
18	0,9738207	20,62276305	26,27490275	6
19	0,992539392	20,99770072	26,17856708	6
20	0,970309014	20,56801286	26,26933905	6
21	0,940283359	19,96644986	26,39641982	6
22	0,90026091	19,12426166	26,57433289	6
23	0,847838784	17,94519818	26,82341118	6
24	0,780719231	16,29450932	27,1721208	6
25	0,726451901	17,56376384	24,49284773	6
26	0,533326372	17,02975575	21,23005888	6
27	0,204506772	16,28214442	16,66215451	6
28	-0,426363459	15,23548857	10,26708838	6
29	-1,973981734	13,77017037	1,313995796	6
30	-0,265596995	13,63122621	11,26511933	10
31	-0,211635905	16,50990407	11,8833931	6
32	-0,106215769	17,44458014	12,57915026	8,320185674
33	-0,13911846	16,93556332	12,38382766	7,197019939
34	-0,196919188	16,22293977	12,11037601	6
35	-0,266389159	15,2252668	11,72754371	6
36	-0,357732224	13,82852464	11,19157849	6
37	-0,475182855	11,87308562	10,44122717	6
38	-0,307795369	13,34470847	10,8257457	9,830387904
39	-0,339587752	11,75572755	11,17609158	8,268867074
40	-0,367106676	11,75961446	10,9779033	7,871094761
41	-0,510943319	11,25350859	10,18829986	6,017998018
42	-0,370723679	11,80646179	11,04947691	7,483981987
43	-0,305611372	12,2722816	11,47789524	8,258552269
44	-0,440589667	11,89345833	10,39599638	7,118528379
45	-0,49275087	11,77448938	10,28701002	6
46	-0,543963821	11,07976491	9,900347106	6
47	-0,338410197	14,82958152	11,14322374	6
48	-0,347163212	14,98769399	11,024926	6

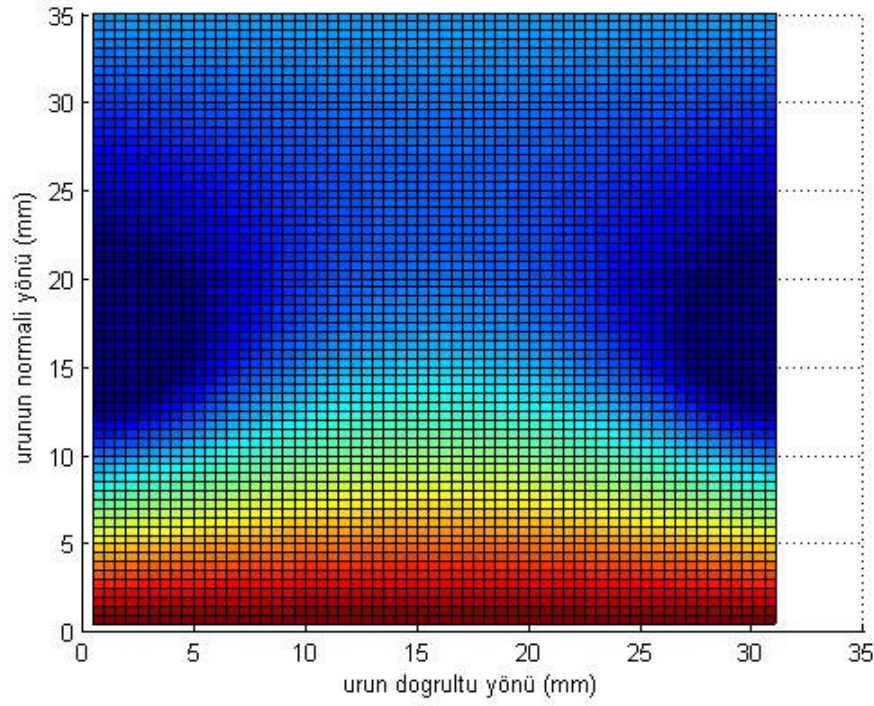
Polipropilen ürün imalatı değişken çap optimizasyon iterasyon değerleri.

İterasyon No	F	A	B	D
0	-0,716295341	12,00968733	9,607743479	10
1	-0,682807746	12,05902313	9,864860554	10
2	-0,636022729	12,12809324	10,22482446	10
3	-0,570714613	12,22479139	10,72877392	10
4	-0,479656272	12,36016881	11,43430318	10
5	-0,352902559	12,54969719	12,42204413	10
6	-0,176865572	12,81503693	13,80488146	10
7	0,066829886	13,18651257	15,74085373	10
8	0,402664388	13,70657845	18,45121491	10
9	0,862538256	14,43467069	22,24572055	10
10	1,305241829	10,85262725	27,49004826	10
11	0,564820425	14,94912556	19,47973033	10
12	0,795433054	16,68869152	20,91965191	10
13	1,125784659	19,12408385	22,93554213	10
14	1,604331485	22,53363312	25,75778844	10
15	2,420884706	26,4979032	31,15805632	10
16	1,490727836	23,73547398	24,2432765	10
17	0,149780276	19,86807308	14,56258476	10
18	-1,80045083	14,45371181	1,009616319	10
19	0,248756865	9,058083729	18,37148203	10
20	0,352360605	21,05013118	15,81226413	10
21	0,639890256	22,70501252	17,56181526	10
22	1,050580245	25,0218464	20,01118684	10
23	1,642943327	28,26541384	23,44030705	10
24	0,650677445	21,5700331	18,04699797	10
25	0,128957967	16,73749447	15,29713355	10
26	0,998425618	22,63799041	20,52248912	10
27	1,350583362	22,35524123	23,6200281	10
28	0,793815066	22,08624672	19,0358019	10
29	0,505307304	21,31380554	16,95443978	10
30	0,097395065	20,2323879	14,04053283	10
31	0,478986466	19,52702454	17,32550724	10
32	0,419550736	21,47053259	16,21340812	10
33	0,672942249	22,1817817	18,01397016	10
34	0,909483877	23,39694832	19,49731268	10
35	0,920688162	23,82232277	19,42582673	10
36	0,913347767	23,57857794	19,45950543	10
37	0,903210981	23,23733518	19,50665562	10
38	0,889288155	22,75959532	19,57266588	10
39	0,870308779	22,09075951	19,66508025	10
40	0,844705487	21,15438937	19,79446037	10
41	0,810662685	19,84347119	19,97559253	10
42	0,67469764	20,81715389	18,50457291	10
43	0,434414155	20,34502422	16,69873048	10
44	0,093538004	19,68404268	14,17055107	10
45	0,472606868	19,63092933	17,23980723	10
46	0,56521842	20,91229652	17,5750008	10
47	0,675026588	21,65140375	18,21739517	10
48	0,506897632	20,30209627	17,30210579	10
49	0,426374126	19,44781592	16,92005278	10

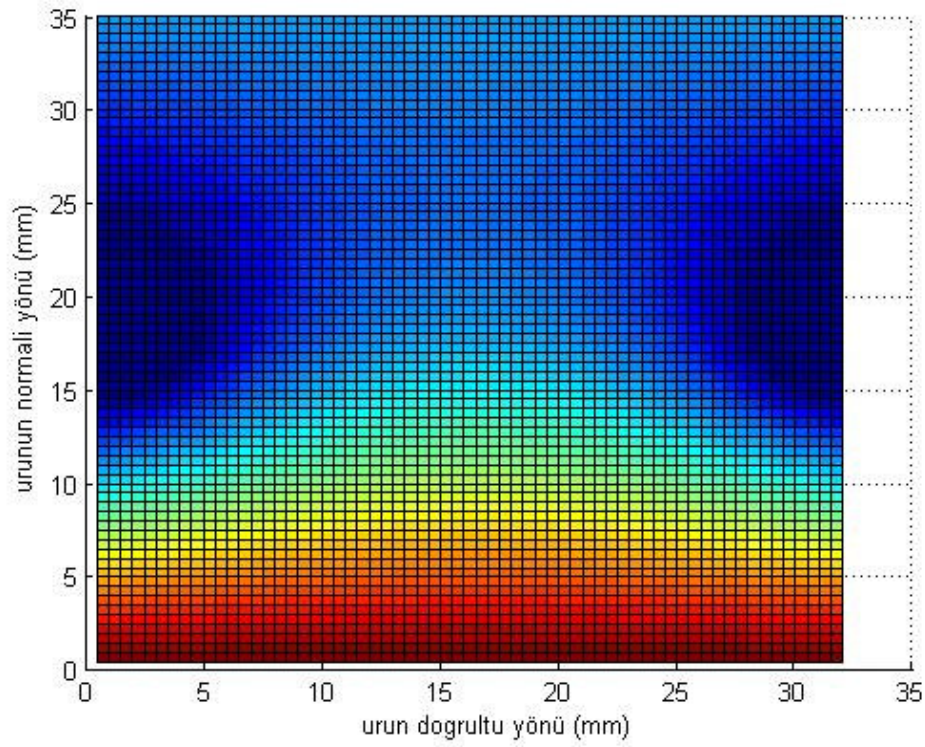
Polipropilen ürün imalatı sabit çap optimizasyon iterasyon değerleri.

EK - 6

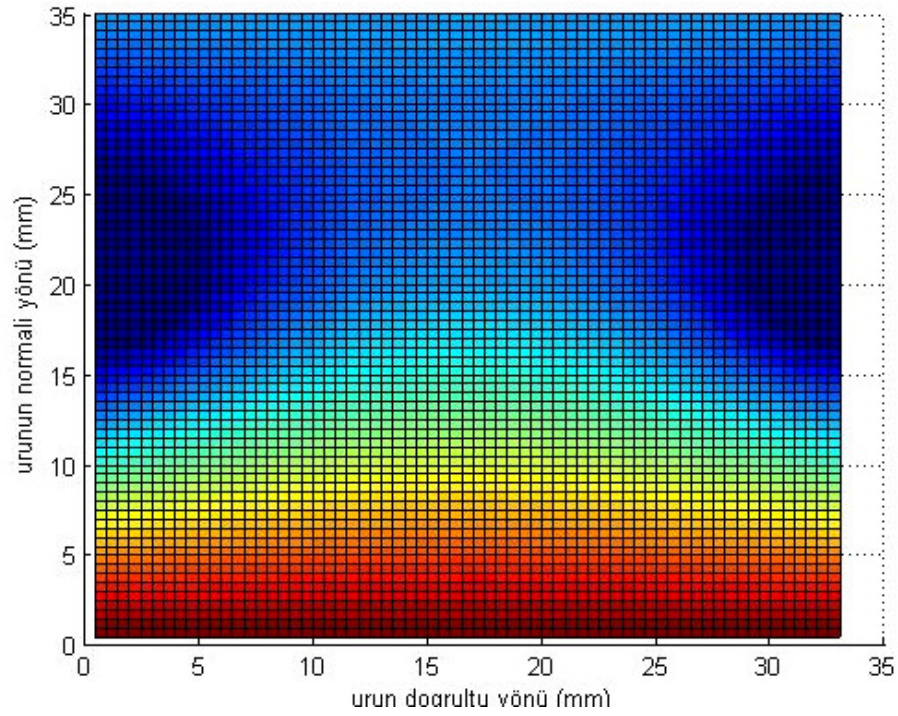
ÖRNEK UYGULAMA SOĞUTMA KANALI 1 ve 2 ARASINDAKİ SICAKLIKLAR



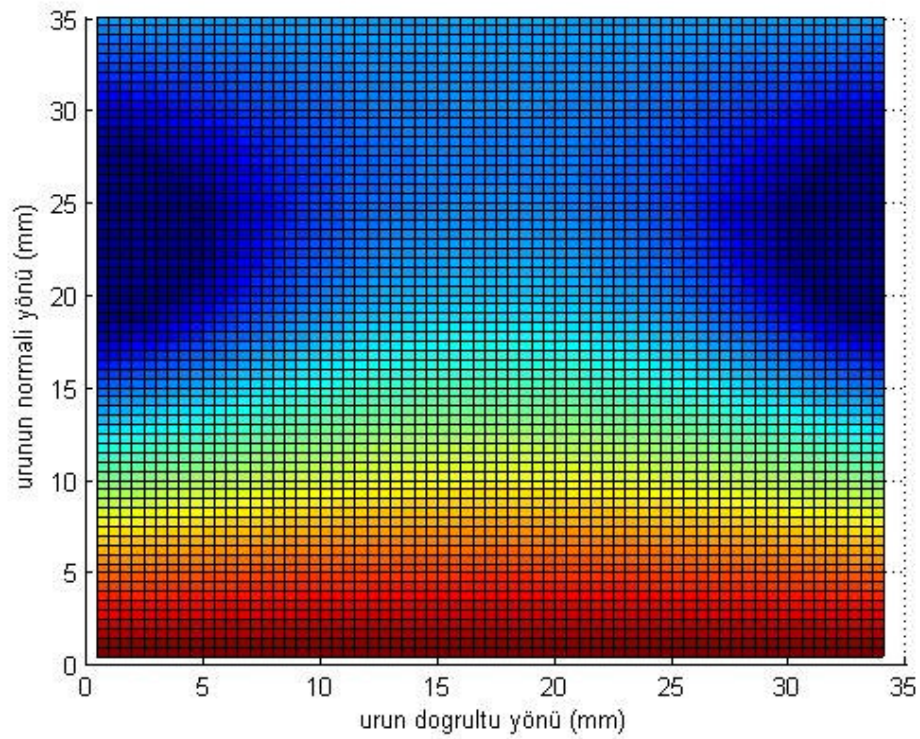
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 5. iterasyon sıcaklık dağılımı.



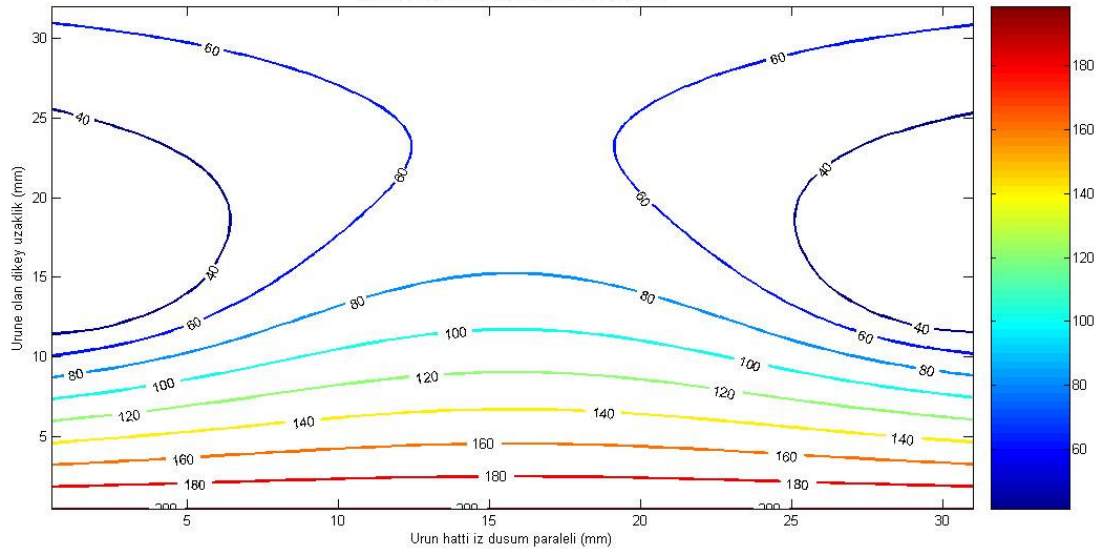
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 9. iterasyon sıcaklık dağılımı.



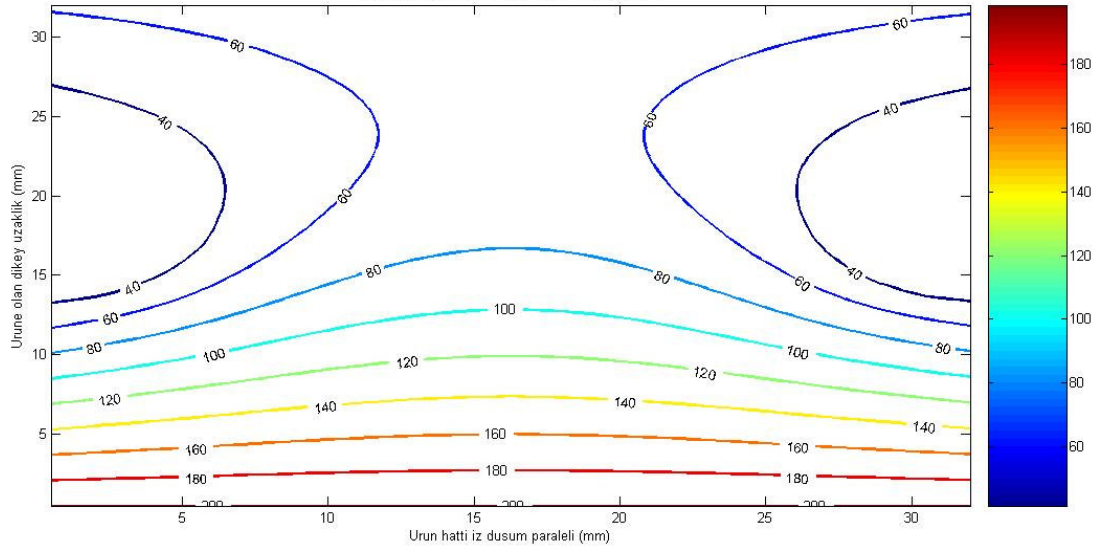
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 13. iterasyon sıcaklık dağılımı.



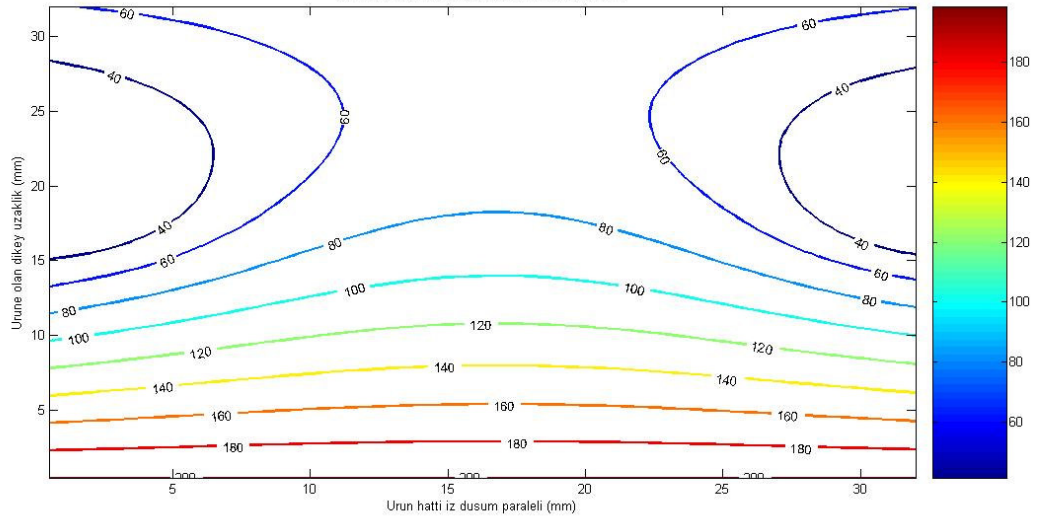
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 17. iterasyon sıcaklık dağılımı.



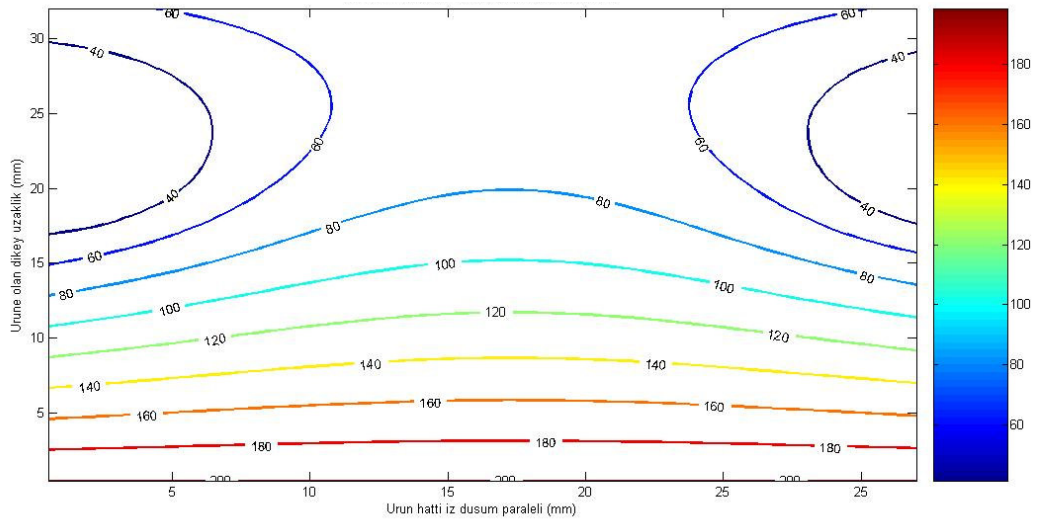
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 5. iterasyon sıcaklık hatları.



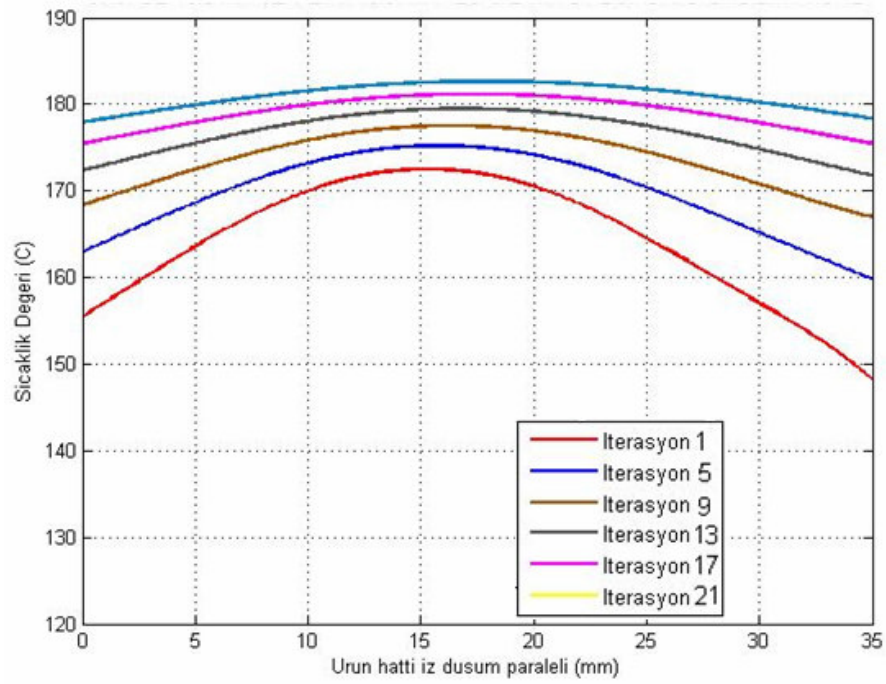
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 9. iterasyon sıcaklık hatları.



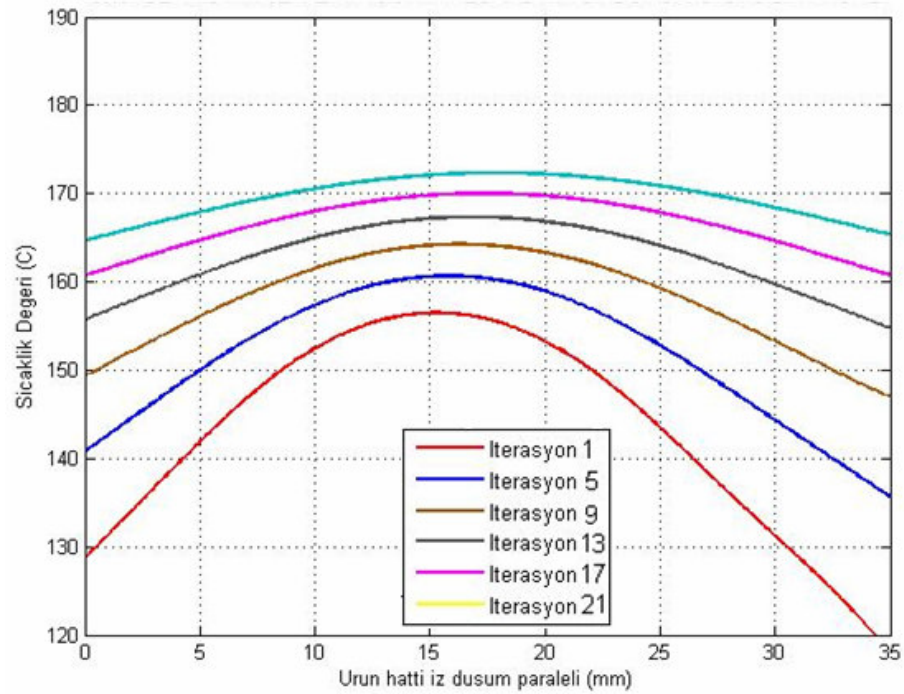
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 13. iterasyon sıcaklık hatları.



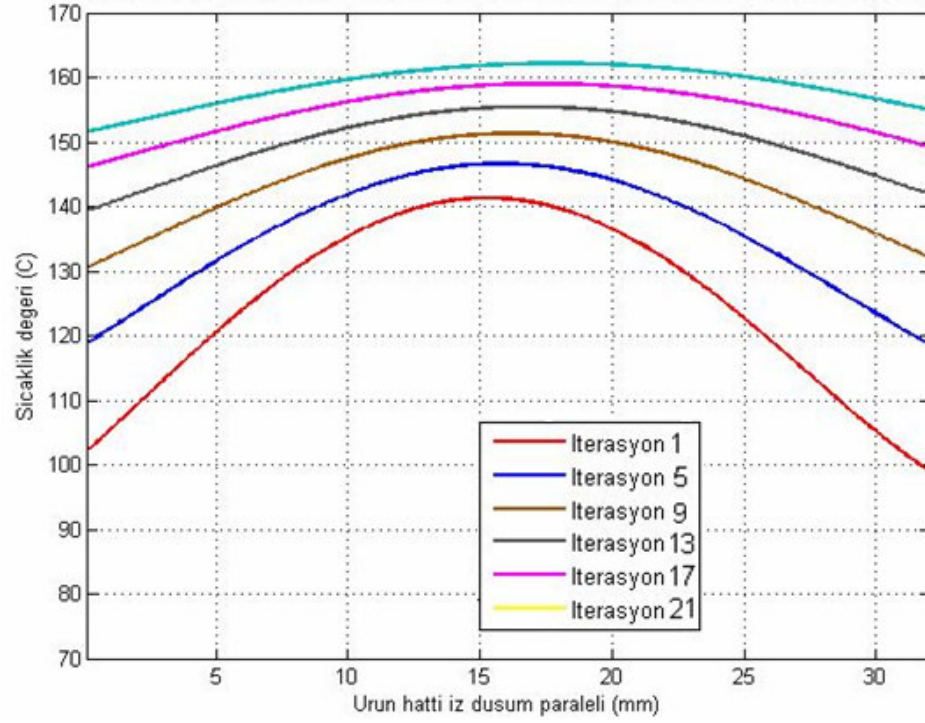
0.5 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 17. iterasyon sıcaklık hatları.



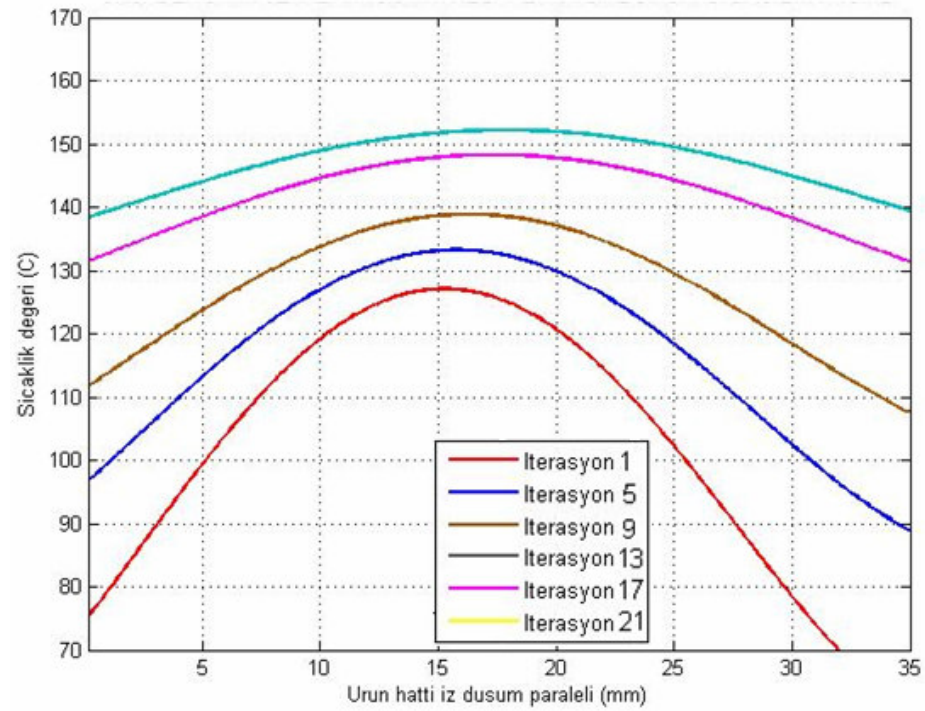
Üründen 3.5 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



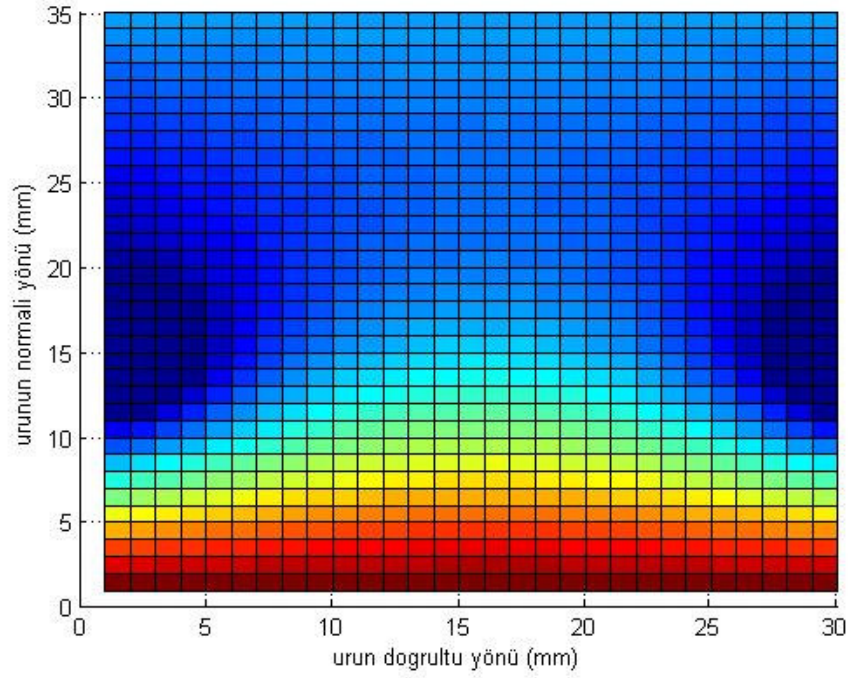
Üründen 4.5 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



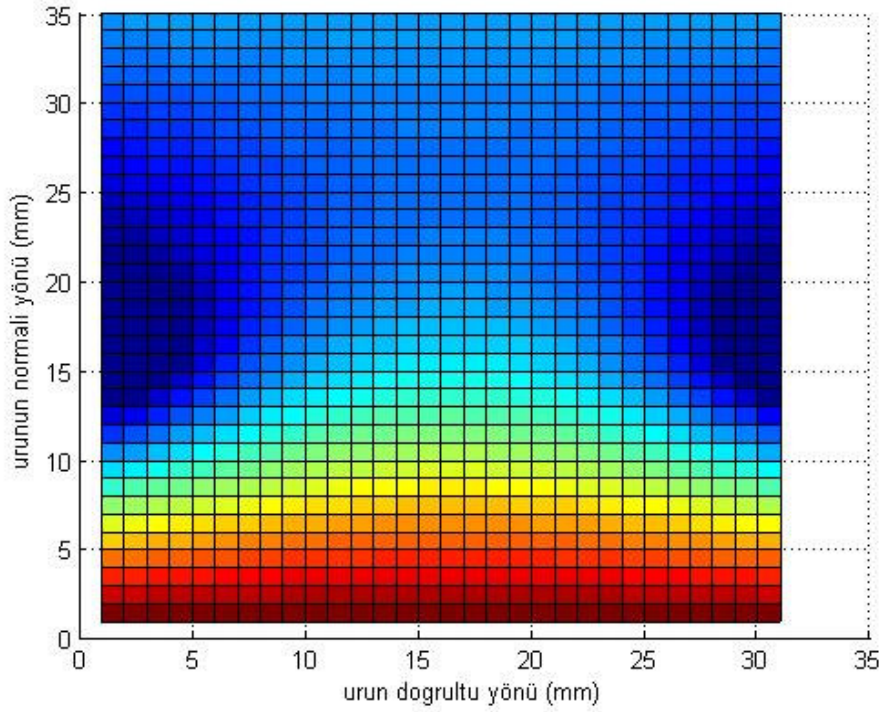
Üründen 6.5 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



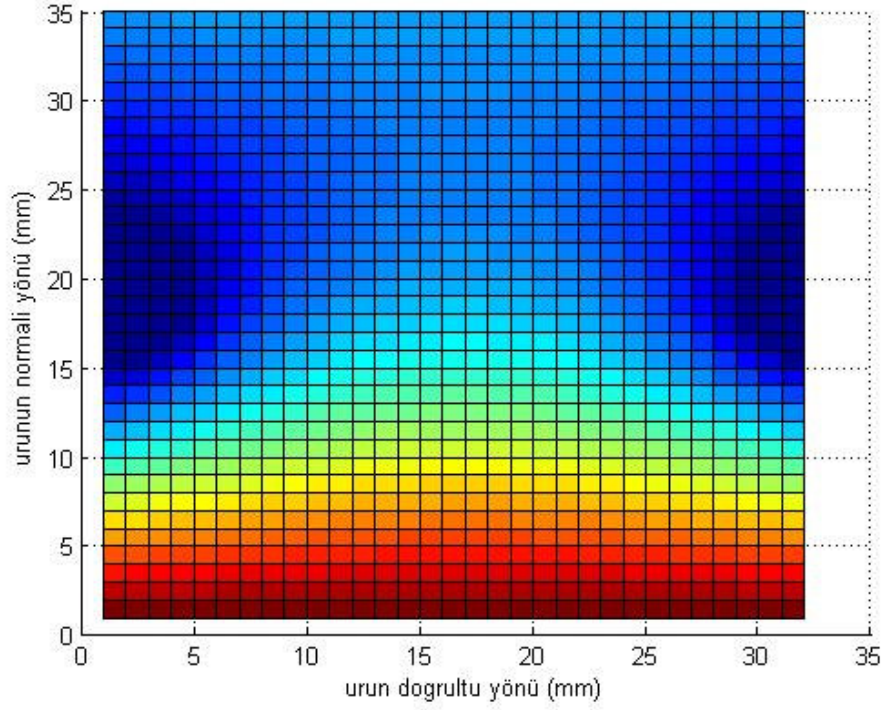
Üründen 8 mm uzaklıkta, 0.5 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



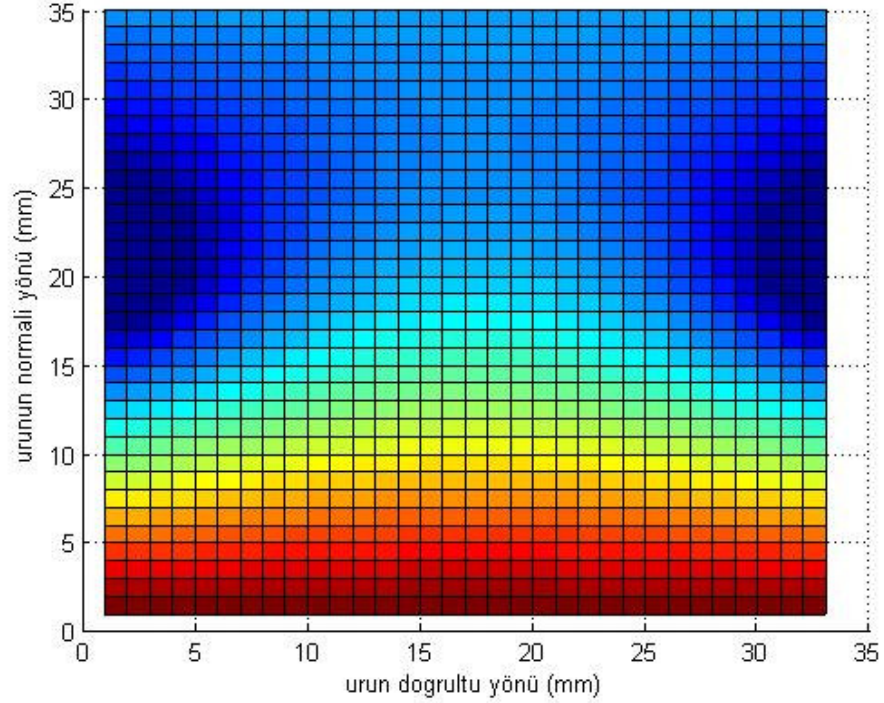
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık dağılımı.



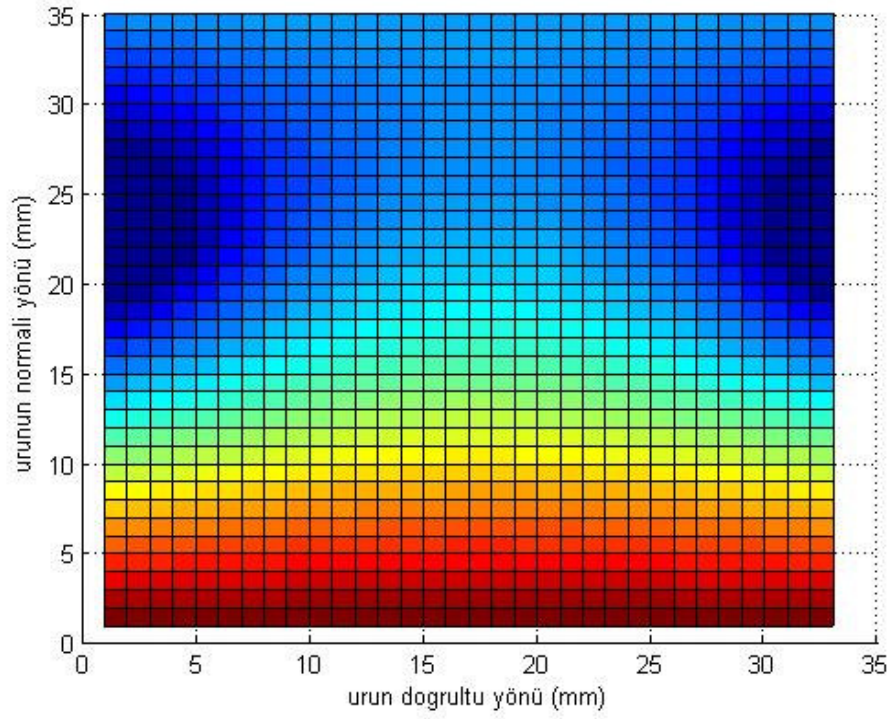
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 5. iterasyon sıcaklık dağılımı.



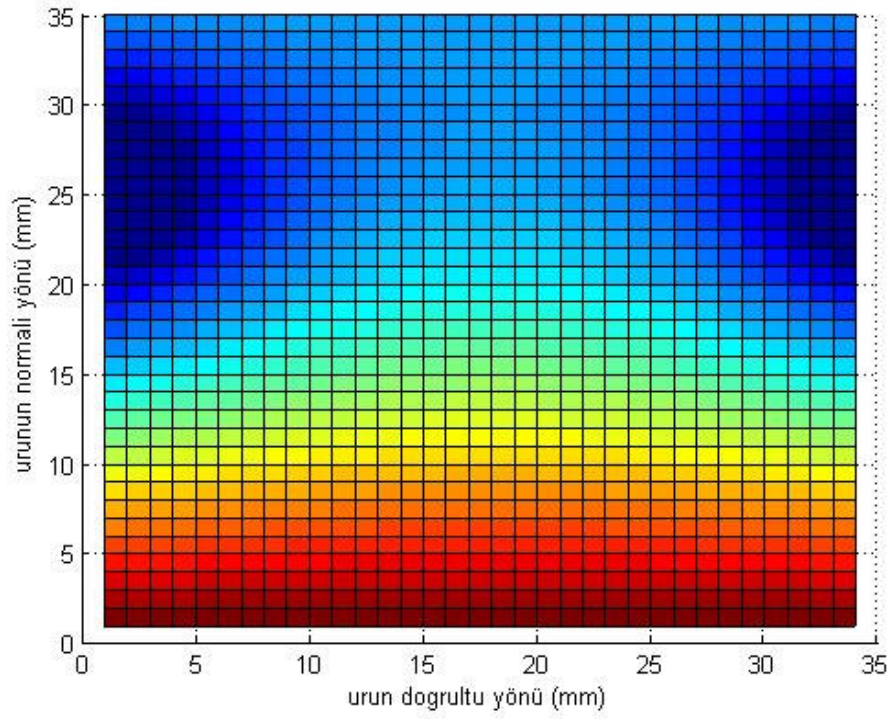
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 9. iterasyon sıcaklık dağılımı.



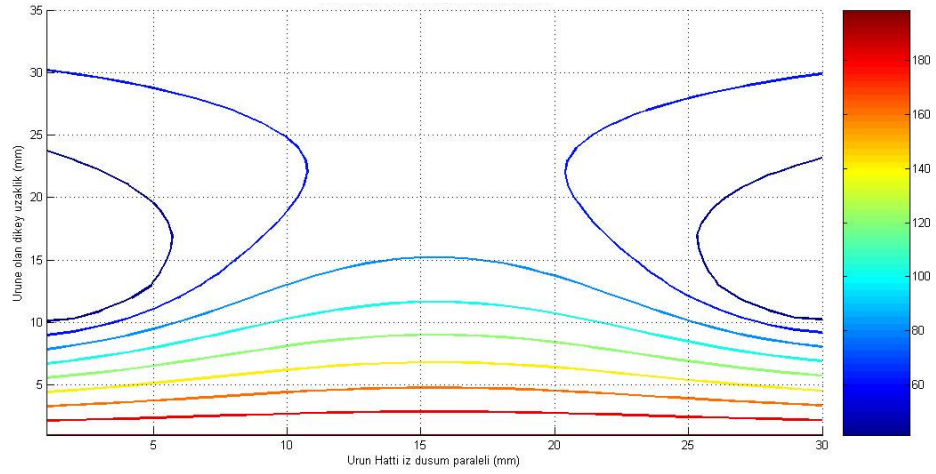
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 13. iterasyon sıcaklık dağılımı.



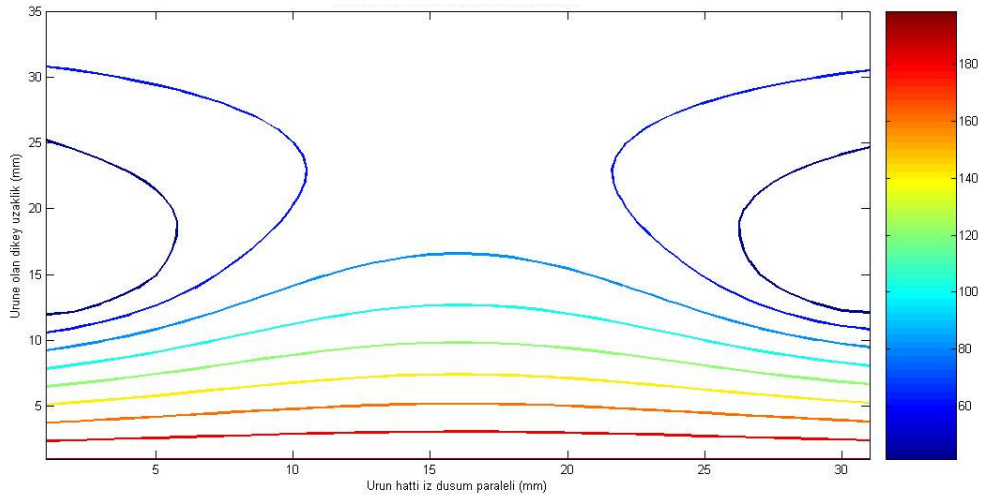
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 17. iterasyon sıcaklık dağılımı.



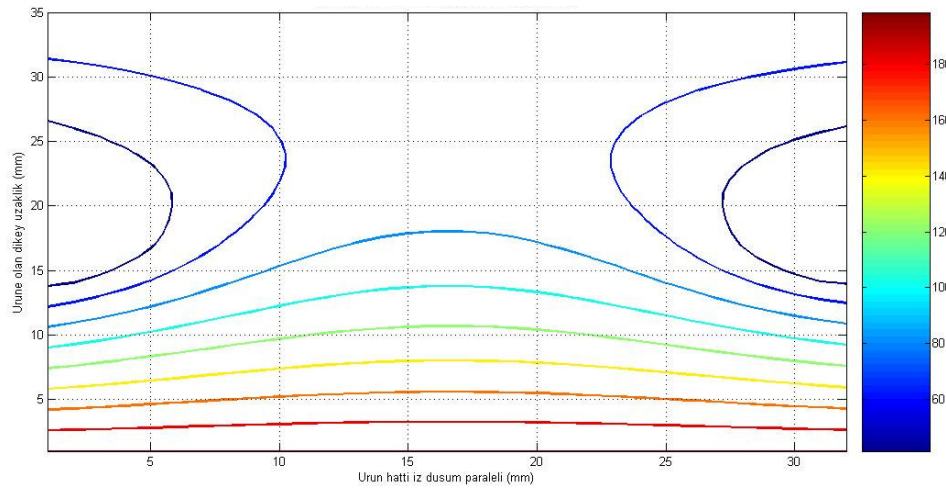
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık dağılımı.



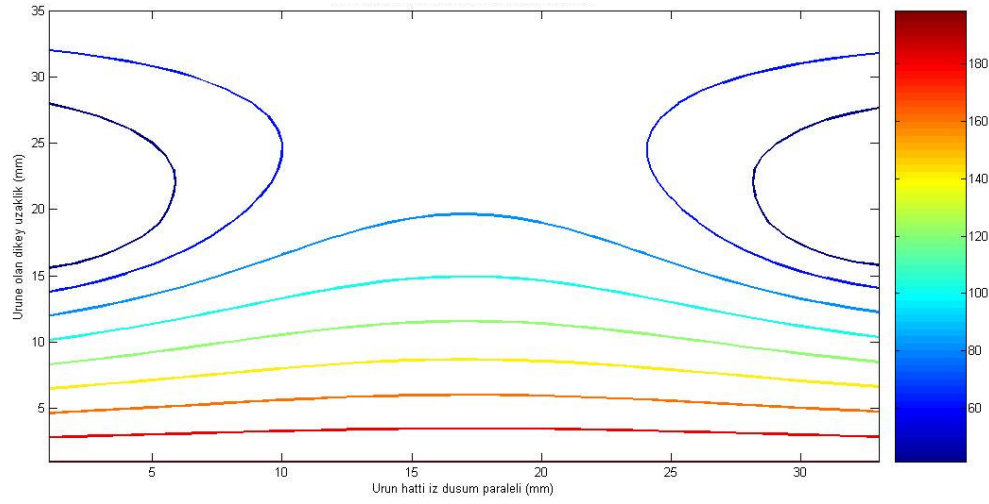
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 1. iterasyon sıcaklık hatları.



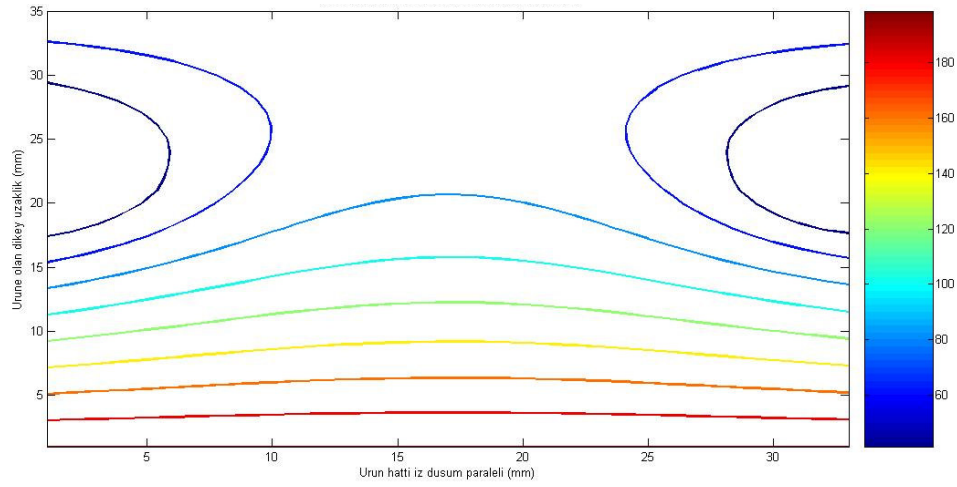
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 5. iterasyon sıcaklık hatları.



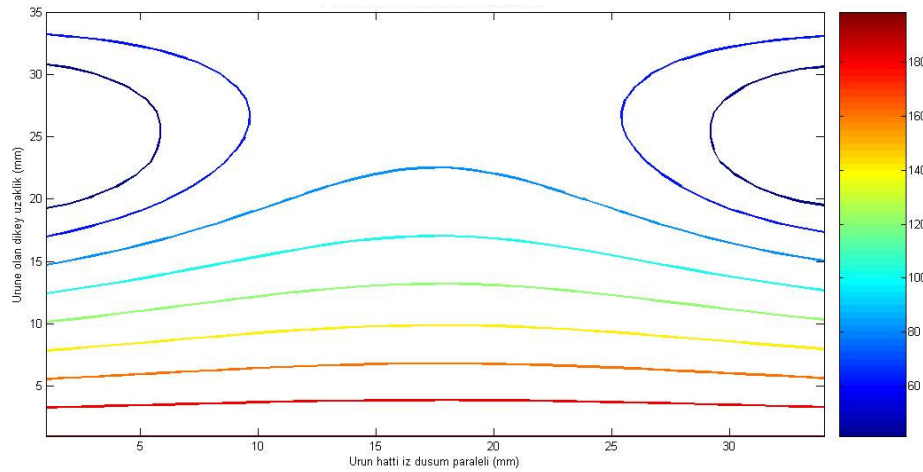
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 9. iterasyon sıcaklık hatları.



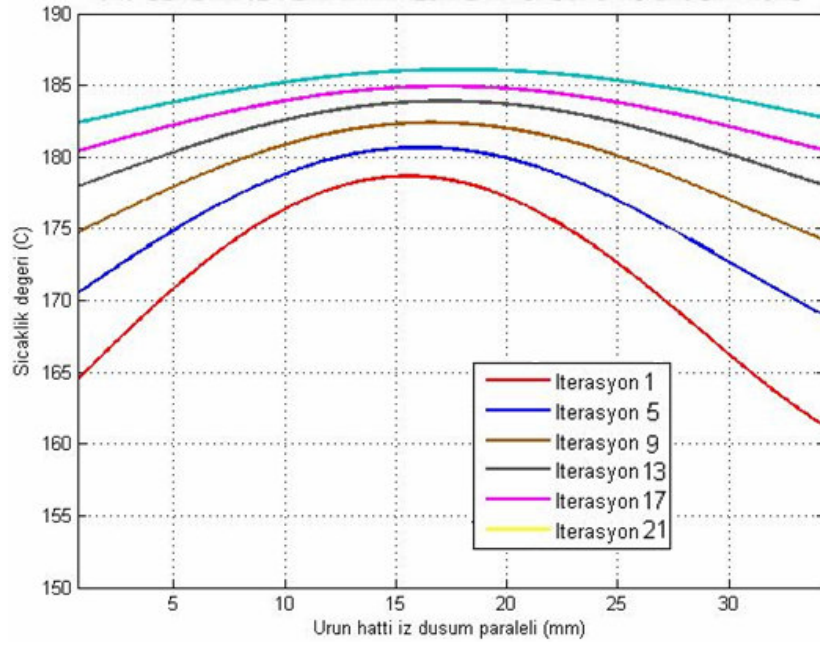
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 13. iterasyon sıcaklık hatları.



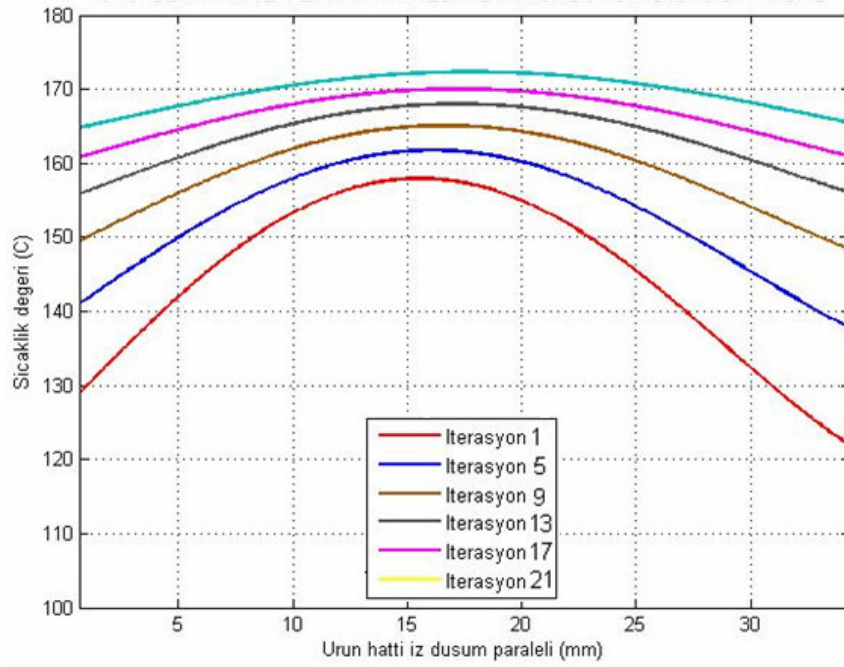
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 17. iterasyon sıcaklık hatları.



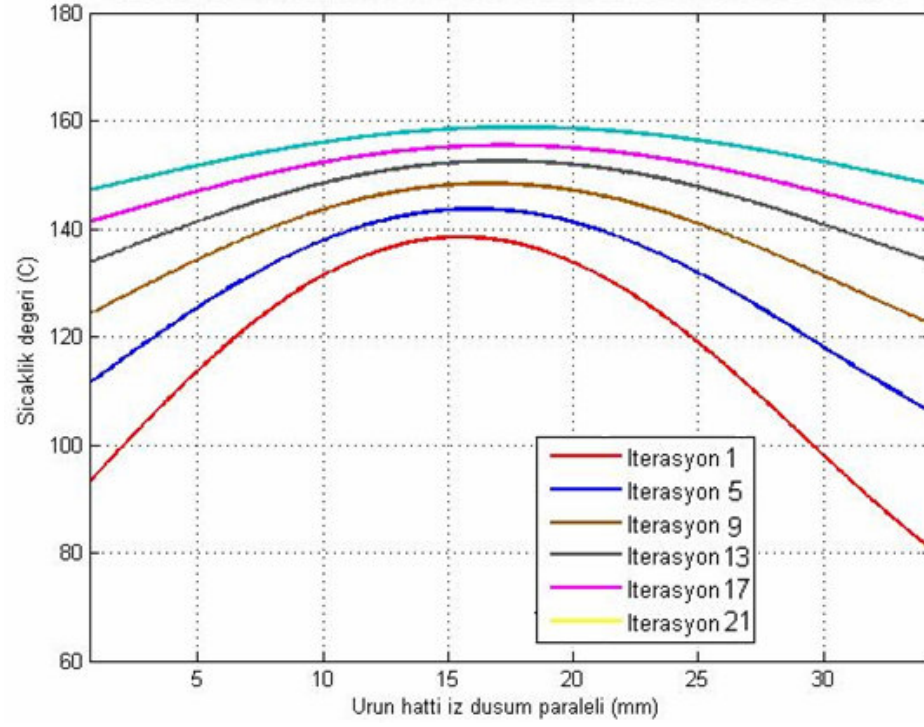
1 mm hesaplama sıklığı, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki 21. iterasyon sıcaklık hatları.



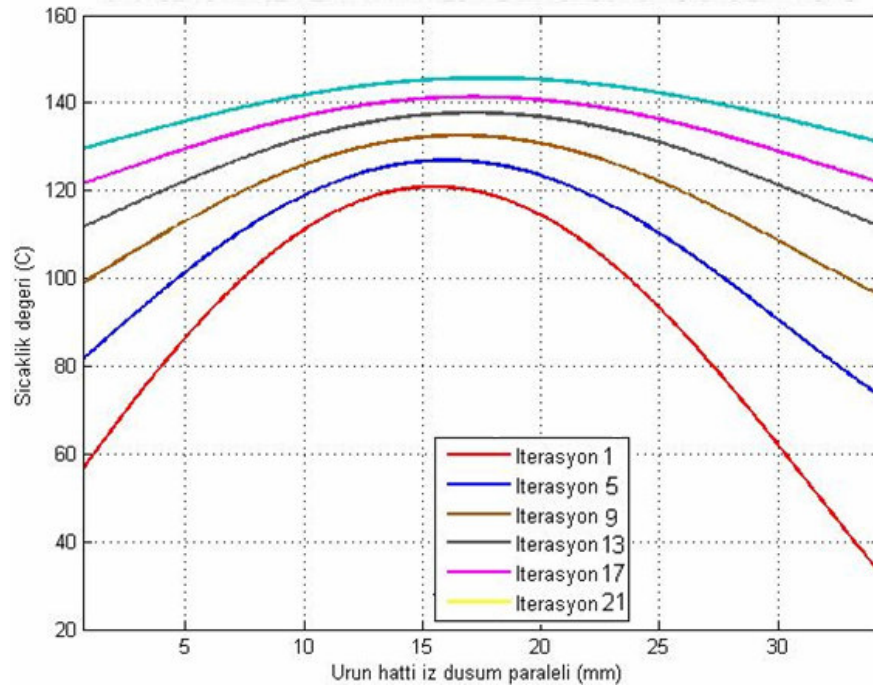
Üründen 2 mm uzaklıkta, 1 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



Üründen 4 mm uzaklıkta, 1 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



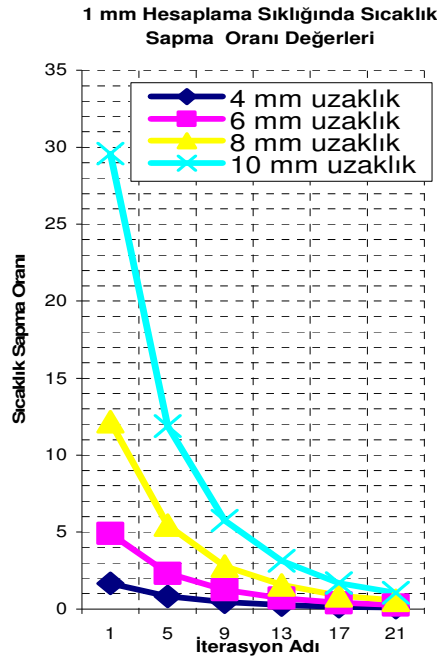
Üründen 6 mm uzaklıkta, 1 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.



Üründen 6 mm uzaklıkta, 1 mm hesaplama sıklığında 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyonlardaki sıcaklıklar.

1 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı iterasyon ve farklı uzaklıklardaki soğutma verileri.

	Urune Uzaklık	Minumum Sıcaklık	Maksimum Sıcaklık	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Sıcaklık Sapma Oranı
İterasyon 1	4	130	157,8	8,86	147,65	1,67
	6	95	138,13	13,89	122,39	4,90
	8	60	120,18	19,85	98,19	12,17
	10	25	104,43	27,98	75,14	29,58
İterasyon 5	4	141,67	161,71	6,34	154,37	0,82
	6	112,5	143,56	9,87	132,19	2,32
	8	83,333	126,64	13,91	110,78	5,44
	10	54,167	111,34	18,80	90,38	11,90
İterasyon 9	4	150	165,06	4,75	159,56	0,45
	6	125	148,31	7,37	139,79	1,23
	8	100	132,45	10,31	120,58	2,77
	10	75	117,78	13,73	102,13	5,75
İterasyon 13	4	156,25	167,99	3,69	163,70	0,26
	6	134,38	152,52	5,71	145,89	0,71
	8	112,5	137,7	7,95	128,48	1,56
	10	90,625	123,78	10,52	111,65	3,12
İterasyon 17	4	161,11	170,01	2,79	166,76	0,15
	6	141,67	155,42	4,32	150,39	0,40
	8	122,22	141,33	6,01	134,34	0,86
	10	102,78	127,94	7,94	118,72	1,68
İterasyon 21	4	165	172,32	2,30	169,65	0,10
	6	147,5	158,79	3,54	154,67	0,26
	8	130	145,65	4,92	139,93	0,55
	10	112,5	133,05	6,47	125,53	1,06



1 mm hesaplama sıklığında, 1 ve 2 nolu soğutma kanalları arasındaki farklı mesafe ve farklı iterasyonlardaki sıcaklık sapma oranı değerleri.