

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ MODELLENMESİ İÇİN BİR PAKET
PROGRAMIN GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Yahya Hışman ÇELİK

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Talaşlı Üretim Eğitimi

ŞUBAT-2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ MODELLENMESİ İÇİN BİR PAKET
PROGRAMIN GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Yahya Hışman ÇELİK

Enstitü No: 04219205

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Talaşlı Üretim Eğitimi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Cebeli ÖZEK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Ocak 2010

ŞUBAT-2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ MODELLENMESİ İÇİN BİR PAKET
PROGRAMIN GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Yahya Hışman ÇELİK

Enstitü No:04219205

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Ocak 2010
Tezin Savunulduğu Tarih: 17 Şubat 2010**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK (F.Ü)

Üye: Prof. Dr. Ali İNAN (F.Ü)

Üye: Doç. Dr. Vedat SAVAŞ (F.Ü)

Üye: Doç. Dr. Niyazi ÖZDEMİR (F.Ü)

Üye: Doç. Dr. Orhan ÇAKIR (D.Ü)

ŞUBAT-2010

ÖNSÖZ

Plastik parçaların elde edilmesinde plastik enjeksiyon kalıplama tekniklerinin fazla kullanılması bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Basınç ve sıcaklığa maruz kalan plastik parçaların çekme oranı, mengene basıncına bağlı kalıpta oluşan eğilme, kalıp maliyetleri, enjeksiyon makinesi gibi parametreler bu problemler arasında yer almaktadır.

Günümüzde plastik malzemeler tüm alanlarda yaygın olarak kullanıldığından karşılaşılan problemlere pratik ve kolay çözümler getirilmelidir. Bu nedenle, 2005–2010 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalında yaptığım doktora çalışmamda, plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için bir paket programın geliştirilmesi ve optimizasyonu konulu doktora çalışmasını yaptım.

Doktora tezimin hazırlanması sırasında değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK' e, Programın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR'e, Öğr. Gör. Cafer BAL'a, Bilgisayar Öğretmeni Gürkan GÜRGÖZE'ye, deneysel çalışmalarında yardımcı olan Makine öğretmeni Oktay ADIYAMAN'a ve Metal öğretmeni Hakan KARAKAYA arkadaşlarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yahya Hışman ÇELİK
ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. GENEL BİLGİLER	9
3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemleri	9
3.1.1. Lineer Polimerler	12
3.1.2. Uzayağı Polimerleri	13
3.1.3. Termoplastikler	14
3.1.4. Termoset Plastikler	16
3.2. Plastiklerin Mekanik Özellikleri	17
3.3. Plastik Malzemelerde Çekme	17
3.4. Plastik Enjeksiyon Kalıpları	19
3.5. Kalıp Tasarımında Esas Kurallar	24
3.6. Enjeksiyon Kalıplarında Malzeme Seçimi	33
3.7. Enjeksiyon Makineleri ve Özellikleri	35
4. PAKET PROGRAMIN HAZIRLANMASI VE PROGRAMDA KULLANILAN YÖNTEMLER	38
4.1. Paket Programda Kullanılan Yöntemler	38
4.1.1. Veritabanları ve Veritabanı Tasarımı	38
4.1.2. Optimum Tasarım	39
4.1.3. Maliyet Hesabı	40
4.1.4. Yapay Sinir Ağları(YSA)	41
4.1.4.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi	43
4.1.4.2. Aktivasyon Fonksiyonları	44
4.1.4.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri	46
4.1.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	47
4.1.4.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları	48
4.1.4.5.1. Geri Yayılım Öğrenme Algoritması	49
4.1.4.5.2. Levenberg- Marquardt Algoritması	52
4.2. Geliştirilen Paket Programın Hazırlanması	54
4.2.1. Program Veri Bilgi Girişi	55
4.2.1.1. Kalıp Malzemesi Veri Bilgi Girişi	56
4.2.1.2. Plastik Malzeme Veri Bilgi Girişi	57
4.2.1.3. Enjeksiyon Makinesi Veri Bilgi Girişi	58
4.2.1.4. Standart Kalıp Malzemesi Veri Bilgi Girişi	59
4.2.1.5. Katkı Maddesi Veri Bilgi Girişi	60
4.2.2. Paket Programda Optimum Tasarım	62
4.2.3. Kalıp Parametrelerinin Yapay Sinir Ağı (YSA) İle Modellenmesi	71

4.2.4.	Kalıp Maliyet Hesabı.....	76
4.2.5.	Enjeksiyonla Elde Edilmiş Bir Adet Plastik Parçanın Maliyet Analizi	83
4.2.6.	Programın Hesapladığı Diğer Bilgiler	86
4.2.7.	Programda Oluşturulan Yardım ve Hakkında Ekranları	88
4.2.8.	Akış Diyagramı	89
5.	PROGRAM GEÇERLİLİĞİNDE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR	92
5.1.	Çalışmanın Amacı	92
5.2.	Deneysel ve Teorik Çalışmalarda Kalıp Parametrelerinin Bulunması	92
5.2.1.	Plastik Dişli Dirsek Çalışması	93
5.2.2.	Otobüs İkaz Düğmesi Çalışması.....	104
5.2.3.	Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Çalışması	110
5.2.4.	Klomp Kablo Tutucu Çalışması	117
5.3.	Hazırlanan Program ve MoldFlow Analizinde Enjeksiyon Zamanları	122
5.3.1.	Silindirik ve Kare Plastik Elemanın Enjeksiyon Zamanları	122
5.3.2.	Plastik Dişli Dirsek Elemanı İçin Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi	126
5.3.3.	Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Elemanı İçin Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi	128
5.3.4.	Klomp Kablo Tutucu Elemanının Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi.....	132
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	134
6.1.	Çalışmalardaki Maliyet Analizlerinin Sonuçları	134
6.1.1.	$\frac{3}{4}$ Inch Plastik Dişli Dirsek Elemanının Maliyet Sonuçları	134
6.1.2.	Otobüs İkaz Düğmesi Elemanının Maliyet Sonuçları	136
6.1.3.	Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Elemanının Maliyet Sonuçları.....	138
6.2.	MoldFlow ve Paket Program Analiz Sonuçları	140
6.2.1.	Silindirik ve Kare Elemanın Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu	140
6.2.2.	$\frac{3}{4}$ Inch Plastik Dişli Dirsek Elemanında Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu	147
6.2.3.	Hoparlör, Lamba, İkaz Düğme Yuvası Elemanının Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu	151
6.2.4.	Klomp Kablo Tutucu için Soğutma ve Enjeksiyon Zamanlarının Analizi.....	156
6.3.	Plastik Enjeksiyonla Kalıplanan Ürünlerde Çekme ve Analiz Sonucu	162
7.	GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	168
7.1.	Genel Sonuçlar	168
7.2.	Öneriler	172
	KAYNAKLAR	173
	EKLER	176
	ÖZGEÇMİŞ	177

ÖZET

Plastik enjeksiyon kalıpları endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu kalıplar ile istenilen şekil ve boyutlarda dikişsiz kapların kolayca üretilmesidir. Bu ürünlerin kalitesi kalıplama parametrelerinin doğru seçilmesine bağlıdır. Bunun için, uygun bir kalıplama metodunun seçilmesi ürünün verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Kalıplama metodlarının etkisini görmek için akıllı sistemleri kullanarak doğru ve pratik çözümler bulmak daha kolaydır. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için bir paket programın geliştirilmesi ve optimizasyonu konulu bir çalışma yapılmıştır. Çalışma Delphi programlama dilinde hazırlanmıştır. Enjeksiyon makinesi, kalıp malzemesi, plastik malzemesi ve ürünün geometrik şekli gibi enjeksiyon zamanını etkileyen parametrelerin analizi incelenmiştir. Bunun için bu parametrelerin farklı giriş ve çıkışlarını yeniden düzenleyen bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli oluşturulmuştur. Bu model on giriş ve iki çıkışa sahiptir. Giriş parametreleri, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, plastiğin erime sıcaklığı, plastiğin özgül ağırlığı, numunenin ağırlığı, numunenin çapı, numunenin genişliği, numunenin uzunluğu, numunenin kalınlığı ve numunenin şeklidir. Çıkış parametresi ise enjeksiyon zamanı ve soğutma zamanıdır. Ayrıca, plastik enjeksiyon kalıplarında maliyet hesabı için akıllı sistemleri uygulayan bir yöntem de geliştirilmiştir. Programın geliştirilmesinde kalıp tasarımı için SolidWorks, işleme sürelerinin tespitinde MasterCAM programlarından yararlanılmaktadır. Programa plastik malzeme çeşitleri, plastik malzemelerin katkı maddeleri, kalıbın yapılacağı malzemeler ve enjeksiyon makinelerinin özellikleri gibi parametreler tanıtılmıştır. Program bu parametre değerlerine göre optimum tasarımın yapılması için kalıbın kaç bölmeden oluşacağı, kalıplama boyutlarının ne kadar olacağı hakkında bilgi vermekte ve kalıplanan ürünün çekme miktarını da hesaplamaktadır. Program, kalıp malzemesinin maliyetini, tasarım, işçilik ve işleme sürelerini de dikkate alarak toplam maliyeti hesaplamaktadır. Yapay sinir ağı ve kalıp maliyet analizi bulunduğundan sonra üretimi yapılan bir adet numunenin maliyet analizi de program tarafından hesaplanmaktadır. Programın geçerliliğini kontrol etmek amacıyla da teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak programın geçerliliği kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon kalıpları, Akıllı sistemler, Maliyet analizi.

SUMMARY

Developing a Package Program and Optimization for Modeling of Plastic Injection Molds

Plastic injection molds are commonly used in every area of the industry. The most important reason for this, the production of the seamless desired shape and dimensions caps are easily produced in plastic injection molds. The quality of these products depends on choosing the right molding parameters. Hence, a selecting suitable molding method is directly influence the effectiveness of the product. Using intelligent system, in order to see the effect of the molding method finding accurate and practice solutions are easier. In this study was made that a study deals with developing of a package programs and optimization for modeling of plastic injection mold. The study was preparing in the Delphi programming. An analysis of parameters which affects injection time such as injection machine, mould material, plastic material and geometrical shape of product was investigated. For purpose, an artificial neural-network (ANN) model was developed rearranging these parameters with different input-output. This model has ten inputs and two outputs. The input parameters are injection pressure, mould temperature, melting temperature of plastic, and specific gravity of plastic, the dimensions of product and shape of product. Output parameters of system are injection time and cooling time. Besides, the plastic injection molds for the cost calculation in a method for applying intelligent system have been developed. In this program, Solid Works and Master CAM programs were utilized for mould design and manufacturing time, respectively. The parameters such as several of plastic materials, the additives of plastic materials, the materials of mould and properties of injection machines were introduced to the program beforehand. The program informs to operator about dimension, compartment of mould to optimum design according to molding parameters and also calculation shrinkage amount of element of mould. The program calculates the real cost of mould taking into consideration the parameters such as cost of the mould materials, total cost of working and manufacturing time. After artificial neural networks and cost analysis of mould found, the cost analysis of a sample, which doing produce, is calculated by the program. Besides, theoretical and experimental studies were made to control accuracy of program and results experimental studies with the results of program were compared.

Keywords: Plastic injection molding, intelligent system, analysis of cost.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. a) Etilen monomeri, b) İki reaksiyon bağlı etilen monomeri, c) Etilen monomeri.....	10
Şekil 3.2. a) Polimerde m sayısı ile ergime sıcaklığının değişimi, b) m sayısı ile mukavemetin değişimi	10
Şekil 3.3. Kristalli ve amorf PE'nin gerilme-şekil değiştirme eğrileri	11
Şekil 3.4. Metallerin polimerlerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	11
Şekil 3.5. Enjeksiyonla kalıplama sırasında oluşan plastik malzemelerdeki çekme.....	17
Şekil 3.6. Enjeksiyon kalıbı ve önemli parçaları.....	20
Şekil 3.7. Yolluk burçları ve montajları	21
Şekil 3.8. İtici pimler.....	22
Şekil 3.9. İtici burçlar	23
Şekil 3.10. Kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisi.....	24
Şekil 3.11. Tek açılma çizgisi bulunan kalıp.....	25
Şekil 3.12. İki açılma çizgisi bulunan kalıp	26
Şekil 3.13. Dağıtıcı kanal kesitleri ve özellikleri	27
Şekil 3.14. Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tipleri	28
Şekil 3.15. Disk giriş kanalı	30
Şekil 3.16. Bilezik tipi giriş kanalı	30
Şekil 3.17. Çengel tipi giriş kanalı	31
Şekil 3.18. Giriş kanalı yerleşim konumuna göre açılan hava tahliye kanalları	33
Şekil 3.19. Enjeksiyon pres kalıp sıkma ünitesi.....	35
Şekil 3.20. Plastik eritme ünitesi.....	36
Şekil 3.21. Plastik enjeksiyon makinesi	37

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Basit bir sinir hücresi	42
Şekil 4.2. Sinir sisteminde bilgi akışı	43
Şekil 4.3. Temel yapay sinir ağı hücresi	44
Şekil 4.4. a) Eşik aktivasyon fonksiyonu	45
b) Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	45
c) Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	46
Şekil 4.5. İleri beslemeli yapı	47
Şekil 4.6. Geri beslemeli yapı	47
Şekil 4.7. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı	49
Şekil 4.8. Paket programın açılış ekranı	55
Şekil 4.9. Veri bilgi giriş ekranı	56
Şekil 4.10. Kalıp malzemesi veri bilgi giriş ekranı	57
Şekil 4.11. Plastik malzeme veri bilgi giriş ekranı	58
Şekil 4.12. Enjeksiyon makinesi veri bilgi giriş ekranı	59
Şekil 4.13. Standart kalıp malzemesi veri bilgi giriş ekranı	60
Şekil 4.14. Katkı maddesi veri bilgi giriş ekranı	61
Şekil 4.15. Optimum tasarım ekranı	63
Şekil 4.16. Örnek numune ve boyutları	67
Şekil 4.17. Örnek Kalıp tasarım şekli ve boyutları	68
Şekil 4.18. Optimum tasarım sonucu veri ekranı	69
Şekil 4.19. Geliştirilen YSA modelleri	72
Şekil 4.20. Programda YSA modelinin çalışma ekranı	75
Şekil 4.21. Kalıp maliyeti için oluşturulan ekran	78
Şekil 4.22. Kalıp malzemelerinin maliyeti	81
Şekil 4.23. Üretilen bir adet plastik numunenin maliyet ekranı	84

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.24. Genel bilgilerin toplandığı ekran	87
Şekil 4.25. Yardım ekranı	88
Şekil 4.26. Program hazırlanmasında emeği geçenler	89
Şekil 5.1. ¾ inch plastik dişli dirsek numunesi	94
Şekil 5.2. Optimum tasarım ekranına ¾ inch plastik dişli dirsek bilgi girişi	95
Şekil 5.3. ¾ inch plastik dişli dirsek için hesaplanan optimum işlemlerin gösterildiği ekran	96
Şekil 5.4. ¾ inch plastik dişli dirsek için elde edilen YSA tabanlı sonuç ekranı	97
Şekil 5.5. ¾ inch plastik dişli dirsek kalıp maliyeti için oluşan sonuç ekranı	99
Şekil 5.6. Bir adet ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının maliyet analiz ekranı	100
Şekil 5.7. ¾ inch plastik dişli dirsek elemanı için genel analizlerin toplandığı ekran	101
Şekil 5.8. Uygulama örneği, dişli dirsek kalıbının montaj resmi	102
Şekil 5.9. Uygulama örneği, dişli dirsek elemanının katı modeli	102
Şekil 5.10. Uygulama örneği ¾ inch dişli dirsek elemanı için kalıp maliyet hesabının değişim grafiği	103
Şekil 5.11. ¾ inch plastik dişli dirsek baskı numunesi	104
Şekil 5.12. Otobüs ikaz düğmesi için optimum tasarım ekranına girilen değerler	105
Şekil 5.13. Programın otobüs ikaz düğmesi için hesapladığı maliyet ekranı	106
Şekil 5.14. Otobüs ikaz düğme kalıbının katı modeli	107
Şekil 5.15. Otobüs ikaz düğme kalıbının açılmış haldeki iç görünüşü	107
Şekil 5.16. Otobüs ikaz düğme kalıp maliyet hesaplarının değişim grafiği	110
Şekil 5.17. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesinin fotoğrafı	110
Şekil 5.18. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesinin imalat resmi	111
Şekil 5.19. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası için optimum tasarım ekranına girilen değerler	112

Şekil 5.20. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesi için soğutma ve enjeksiyon zamanı	112
Şekil 5.21. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme kalıbının maliyeti	113
Şekil 5.22. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme elemanının maliyeti	114
Şekil 5.23. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası kalıbının katı modeli	114
Şekil 5.24. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme kalıbı montajı ve iç görünüşü	115
Şekil 5.25. Hoparlör, Lamba ve ikaz düğme yuvasının kalıp maliyet hesaplarının değişim grafiği	116
Şekil 5.26. Klamp kablo tutucu kalıplama şekli.....	117
Şekil 5.27. Klamp kablo tutucu kalıbının montaj resmi.....	117
Şekil 5.28. Klamp kablo tutucu numunesi ve kalıplama şekli	118
Şekil 5.29. Klamp kablo tutucu elemanının ölçüleri	119
Şekil 5.30. Klamp kablo tutucu için paket programın enjeksiyon ve soğutma zamanları	121
Şekil 5.31. Silindirik ve kare plastik elemanın MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları	123
Şekil 5.32. Silindirik ve kare plastik elemanın paket program sonucu bulunan enjeksiyon zamanları	124
Şekil 5.33. ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları	127
Şekil 5.34. YSA modelinin test sonuçları	129
Şekil 5.35. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları	131
Şekil 5.36. Klamp kablo tutucu elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları	132
Şekil 6.1. Geliştirilen program ve ¾ inch plastik dişli dirsek örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler	135
Şekil 6.2. Geliştirilen program ve otobüs ikaz düğmesi örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler	137

Şekil 6.3. Geliştirilen program ve hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler	139
Şekil 6.4. 40 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	141
Şekil 6.5. 50 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	142
Şekil 6.6. 60 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	142
Şekil 6.7. 70 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	143
Şekil 6.8. 80 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	144
Şekil 6.9. 200 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	145
Şekil 6.10. 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	146
Şekil 6.11. 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	146
Şekil 6.12. 20 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	147
Şekil 6.13. 40 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	148
Şekil 6.14. 60 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	149
Şekil 6.15. 180 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	150
Şekil 6.16. 210 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	150
Şekil 6.17. 240 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	151
Şekil 6.18. 40 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	152

Şekil 6.19. 60 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	153
Şekil 6.20. 80 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	153
Şekil 6.21. 200 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	154
Şekil 6.22. 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	155
Şekil 6.23. 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı	155
Şekil 6.24. Klamp kablo tutucunun 20 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları	157
Şekil 6.25. Klamp kablo tutucunun 40 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları	157
Şekil 6.26. Klamp kablo tutucunun 60 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları	158
Şekil 6.27. Klamp kablo tutucunun 180 °C ergimiş plastik sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları.....	158
Şekil 6.28. Klamp kablo tutucunun 20 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları	159
Şekil 6.29. Klamp kablo tutucunun 40 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları	160
Şekil 6.30. Klamp kablo tutucunun 60 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları	160
Şekil 6.31. Klamp kablo tutucunun 210 °C ergimiş plastik sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları.....	161
Şekil 6.32. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği.....	163
Şekil 6.33. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği	163

Şekil 6.34. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği.....	164
Şekil 6.35. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği	165
Şekil 6.36. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği.....	165
Şekil 6.37. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği	166
Şekil 6.38. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği	166
Şekil 6.39. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği	167
Şekil 6.40. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği	167
Şekil 7.1. Geliştirilen program ve uygulama örnekleri için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler.....	169
Şekil 7.2. Çalışmaları yapılan plastik elemanların ortalama kalıp sıcaklığı için enjeksiyon zamanlarındaki değişim dağılımı	170

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Bazı termoplastiklerin bileşimi	13
Tablo 3.2. Bazı termoset plastiklerin özellikleri	14
Tablo 3.3. Plastik malzemeler ve enjekte sıcaklıklarındaki çekme değerleri	19
Tablo 3.4. Plastik enjeksiyon kalıp malzemeleri ve alaşımları	34
Tablo 4.1. Farklı sıcaklıklardaki plastik malzemelerin α değerleri	70
Tablo 4.2. YSA model parametreleri	73
Tablo 5.1. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek özellikleri	94
Tablo 5.2. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek kalıp elemanları	103
Tablo 5.3. Otobüs ikaz düğme kalıp maliyet giderleri	109
Tablo 5.4. Klamp kablo tutucunun kalıplama parametreleri	118
Tablo 5.5. Klamp Kablo tutucu çalışması için teorik olarak elde edilen soğutma zamanları ile paket programdan elde edilen soğutma zamanları	120
Tablo 5.6. Enjeksiyon zamanları hesaplanan silindirik ve kare plastik elemanın özellikleri	122
Tablo 5.7. Kare ve silindirik plastik eleman için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları	125
Tablo 5.8. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanı için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları	128
Tablo 5.9. YSA model parametreleri	129
Tablo 5.10. Enjeksiyon basıncı 540 bar olarak ayarlanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanı için deneysel çalışmadan, YSA'dan ve MoldFlow analizinden hesaplanan enjeksiyon zamanları	131
Tablo 5.11. Klamp kablo tutucu elemanı için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları	133

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Toplam kalıplama alanı (mm ²)
a	: İvme (m/s ²)
A_{ap}	: Alt plaka ağırlığı (gr)
A_{ek}	: Erkek kalıbın ağırlığı (gr)
A_{em}	: Enjeksiyon makinesinin basacağı eriyik malzeme ağırlığı (gr)
A_d	: Destek ağırlığı (gr)
A_{dk}	: Dişi kalıbın ağırlığı (gr)
A_{dp}	: Destek plakasının ağırlığı (gr)
A_{ip}	: İtici plakanın ağırlığı (gr)
A_{itp}	: İtici tutucu plakanın ağırlığı (gr)
A_n	: Numunenin ağırlığı (gr)
A_{üp}	: Üst plakanın ağırlığı (gr)
ABS	: Akronitril-Bütadien-Stiren
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
b	: Giriş kanalı genişliği (mm)
C	: Destekler arasındaki uzaklık (mm)
CA	: Selilozasetat
CAB	: Selilozasetabutirat
Ç_p	: Plastik malzemenin %'lik çekme payı
D	: Halka kesitli giriş kanalı iç çapı (mm)
d	: Halka kesitli giriş kanalı dış çapı (mm)
D₀	: Halka giriş kanalı ortalama çapı (mm)
e	: Hata
E_b	: Numune parça ve soğutma suyu arasında kalan boşluk (mm)
E_w	: Soğutma kanalları arasındaki boşluk (mm)
F_d	: Destek plakası kuvveti (kg)
g	: Gradyent değeri
h	: Destek plakası kalınlığı (mm)
H	: Hessian matrisini
H_{km}	: Kalıbın derinliği (mm)
H_d	: Kalıp boşluğu altında kalan derinlik (mm)
H_s	: Soğutma suyunun geçeceği kanal çapı (mm)
H_g	: Plastik parçanın yüksekliği (mm)
h_{pek}	: Basılmış ya da basılacak plastik parçanın et kalınlığı (mm)
I	: Birim matrisi
J	: Jakobien matrisi
J'	: Jakobien matrisinin transpozu
J_d	: Destek plakası dayanım momenti (mm ³)
K.A.Ç	: Kalıp açılma çizgisi
L	: Akış uzunluğu (cm)
L₁	: Numunenin uzunluğu (mm)
L_{em}	: Kalıplama uzunluğu (mm)
L_d	: Destek plakası boyu (mm)
L_{km}	: Kalıbın uzunluğu (mm)

l	: Giriş kanalı boyu (mm)
m	: Kütle (kg)
M_a	: Amortisman (TL)
M_{ap}	: Alt plaka maliyeti (TL)
M_d	: Destek maliyeti (TL)
M_{dk}	: Dişi plaka maliyeti (TL)
M_{dp}	: Destek plaka maliyeti (TL)
M_{ek}	: Erkek plaka maliyeti (TL)
M_{em}	: Enjeksiyon makinesinin çalışma maliyeti (TL)
M_{hpkm}	: Ham plastik ve katkı malzeme maliyeti (TL)
M_i	: İşçilik maliyeti (TL)
M_{ii}	: İdari ve işletme genel giderleri (TL)
M_{iü}	: İşçi çalışma ücreti (TL)
M_{ip}	: İtici plaka maliyeti (TL)
M_{itp}	: İtici tutucu plaka maliyeti (TL)
M_{ki}	: Kalıp işleme maliyeti (TL)
M_{km}	: Kalıp malzeme maliyeti (TL)
M_{kar}	: Kar (TL)
M_{kdv}	: KDV (TL)
M_{kmbf}	: Kalıp malzemesinin birim fiyat (TL)
M_{kmh}	: Toplam kalıp maliyet hesabı (TL)
M_{kbf}	: Katkı malzeme maliyeti (TL)
M_{ög}	: Özel imalat işleri giderleri (TL)
M_{pkmbf}	: Plastik malzeme ve katkı malzemesinin birim fiyatlarının (TL)
M_{pmbf}	: Plastik malzeme birim maliyeti (TL)
M_{pmmh}	: Toplam üretilecek bir numune için maliyet hesabı (TL)
M_{stü}	: Tasarımcı ücreti (TL)
M_{ske}	: Standart kalıp elemanlarının maliyeti (TL)
M_{sg}	: Soket giderleri (TL)
M_t	: Tasarım maliyeti (TL)
M_{tezgah}	: Tezgâhların çalışma saat ücretleri (TL)
M_{up}	: Üst plaka maliyeti (TL)
N_s	: Kalıp boşluk sayısı
P	: Destek plakasına etki eden kalıplama basıncı (kg/mm ²)
PIM	: Plastik enjeksiyon kalıpları
PS	: polistiren
PP	: polipropilendir
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Polimetil metakrilat
PVC	: Polivinüklorür
PE	: Polietilen
PA	: Poliamid
POM	: Polieksimetilen
PBTB	: Politereftalasitester
PETB	: Politereftalasitester
P_m	: Mengene basıncı (kN)
q	: Isı akısı (W/m ²)
R	: Giriş kanalı yarıçapı (mm)
SAN	: Stirok akrilnitrik kopolimer

T	: Halka kesitli giriş kanalı et kalınlığı (mm)
T_c	: Basılmış plastiğin kalıptan çıkma sıcaklığı (°C)
T_m	: Eriyik plastik sıcaklığı (°C)
T_w	: Kalıp sıcaklığı (°C)
t_{sk}, t_{sd}	: Soğutma süreleri (sn)
t_{ts}	: Kalıbın tasarlandığı süre (h)
t_{tezgahs}	: Tezgâhlarda harcanan çalışma süresi (h)
t_{işçilik}	: Toplam kalıp için harcanılan işçilik zamanı (h)
t_{ems}	: Enjeksiyon makine işleme süresi (sn)
t_{mk}	: Mengene kapama süresi (sn)
t_e	: Enjeksiyon zamanı (sn)
t_s	: Soğutma zamanı (sn)
t_{ma}	: Mengene açma süresi (sn)
U₁	: Net giriş değerleri
W_{em}	: Kalıplama genişliği (mm)
W₁	: Numunenin genişliği (mm)
W_{km}	: Kalıbın genişliği (mm)
W_{ln}	: Giriş ile ara katman arasındaki ağırlıklar
W_{2n}	: Ara katman ile çıkış arasındaki ağırlıklar
V_n	: Numunenin hacmi (mm ³)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
y_m	: YSA'nın ürettiği çıkış değerleri
σ_b	: Destek plakası eğilme gerilimi (kg/mm ²)
θ	: Debi (mm ³ /sn)
η	: Plastik maddenin kalıplama anındaki viskozitesi (kg.sn/mm ²)
θ	: Genel değişken
ρ	: Plastik malzemenin yoğunluğu (gr/cm ³)
ρ	: Katkı malzemesinin yoğunluğudur (gr/cm ³)
α	: Eriyik malzemenin ortalama ısıl difüzyon katsayısı (mm ² /sn)
X	: Giriş parametreleri
μ	: Marquardt parametresi

1. GİRİŞ

Günlük hayatta rastladığımız oyuncaklar, otomobil parçaları, çeşitli elektronik parçalar, ev eşyaları vb. gibi ürünlerin çoğu enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmektedir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile ürünler ikinci bir işlem gerektirmeden seri bir şekilde elde edilmektedirler.

Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik malzemenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. Bu metot ile en küçük parçalardan, bahçe mobilyalarına kadar çok çeşitli boyut ve şekillerde plastik parçalar imal edilebilirler. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan makineye plastik enjeksiyon makinesi denir. İlk plastik enjeksiyon makinesi 1930'lu yıllarda yapılmıştır. Bir enjeksiyon makinesi üç ana parçadan oluşur. Bunlar; kapama ünitesi(Mengene), enjeksiyon ünitesi ve kalıp kısmıdır. Kapama ünitesi, enjeksiyon ve soğutma esnasında kalıbı basınç altında tutan ünedir. Daha basit olarak enjeksiyon kalıbının iki tarafını (dişi ve erkek) birleştiren ünedir. Enjeksiyon aşaması esnasında, granül halindeki plastik malzeme enjeksiyon ünitesi üzerindeki hazneye dökülür. Oradan rezistanslı ısıtıcılar ile ısıtılan silindir içine, elektrik motoru ile kumanda edilen bir sonsuz helezonik vida vasıtası ile alınır. Vida sıkıştırma işlemi yaparak, sıcaklık ve basınç altında ergimiş hale gelen plastik malzemeyi silindirin sonuna kadar ilerletmektedir. Vidanın önüne kalıbı doldurmak için yeterince malzeme alındığında enjeksiyon işlemi başlar. Ergimiş plastik, enjeksiyon makinesinin ucundaki bir meme vasıtası ile kalıbın içine gönderilir. Bu işlem esnasındaki basınç ve hız vida ile kontrol edilir. Kalıp içine enjekte edilmiş olan ergimiş plastik, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması (ütüleme) sağlanır. Daha sonra; plastik, kalıp içinde katı hale gelinceye kadar soğutulur. Kalıbın iki tarafı ayrılacak şekilde açılarak iticiler vasıtası ile bitmiş parça kalıptan çıkarılır. Ancak, plastik enjeksiyon makinelerinde kullanılmak üzere tasarlanan kalıp amacına uygun olarak üretilmelidir. Buda kalıp maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte üretimin fabrika ve atölyelerde yapılması maliyet sisteminin önemini artırmıştır. Maliyet, üretime bağlı olarak doğru orantılıdır. Aynı işi yapan işletmelerin artması ile bir rekabet ortamı ortaya çıkarmıştır. Her alanda yaygın olarak kullanılan plastik malzemelerin artmasıyla plastik kalıp üretimi yapan firmalarda da rekabet ortamı oluşmuştur. Daha iyi şartlarda rekabet yapabilmek için iyi bir maliyet

hesabının yapılması ve bunun da en kısa sürede müşteri hizmetine sunmakla mümkün olacaktır. Kalıp maliyetini etkileyen en önemli faktör üretimi yapılacak olan numunenin geometrik özelliği ve kullanım alanıdır. Çok karmaşık bir yapıya ve özelliğe sahip olan bir parçanın kalıp maliyeti hesaplanırken kalıbın kullanım alanı, tezgâh işleme süresi, tasarım ve işçilik maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü bu faktörler doğrudan kalıp maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıplarının ve bu kalıplarda üretilen parçaların optimum olarak elde edilmesi için akıllı sistemleri uygulayan bir paket program ve bu programın geçerliliğinin deneysel olarak araştırılmasını içeren bir çalışma yapılmıştır. Paket program için Delphi programlama dili kullanılmıştır. Paket programın içeriğini; veri tabanı, optimizasyon tekniği, maliyet hesabı, yapay sinir ağı (YSA) ve teorik bilgiler oluşturmaktadır. Hazırlanan paket program, veri bilgi girişi yapılan kalıp parametreleri için optimum tasarım yapmaktadır. Optimizasyon işlemi yapılırken; istenilen kalıp malzemesi, katkı malzemeleri, enjeksiyon makinesi ve üretilen plastik parçanın geometrik boyut ve özellikleri programa tanıtılmaktadır. Bütün bu işlemler yapıldıktan sonra geliştirilen program kalıbın boyutlarını, bu kalıpta kaç adet plastik parça üreteceğini, kalıplanan üründe çekme miktarının ne kadar olacağını, kalıplanan ürün için mengene basıncını, nasıl bir soğutma sistemi döngüsü yapılacağını, yollukların özelliklerini ve hava boşluklarının nasıl olması gerektiğini doküman olarak sunmaktadır. Maliyet hesabı bölümünde optimizasyon işlemi yapılırken girilen bütün değerler göz önünde tutulur ve bunlara birim fiyatları, işçilik ücretleri, işleme süreleri eklenir. Böylelikle kalıbın gerçek maliyeti ve üretilen bir adet ürünün maliyeti hazırlanan paket program tarafından hesaplanmış olmaktadır. Üretilen plastik parçanın verimli bir şekilde üretimini sağlamak için ise yapılan programda YSA tabanlı bir model geliştirilmiştir. YSA ile yaklaşımda bulunulurken giriş değerleri ve bu giriş değerlerine bağlı olarak çıkış değerlerinin değişimi analiz ettirilmiştir. Giriş değerleri; kalıplama parametreleri, plastiğin özellikleri ve numune parametreleridir. Çıkış değeri ise enjeksiyon ve soğutma zamanlarıdır. Bu sonucun en iyi elde edilmesi için iterasyon sayısı ve ağı eğitilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle iterasyon sayısı maksimum seviyede tutulmuştur.

Hazırlanan paket programa ¾ inch plastik dişli dirsek, otobüs ikaz düğmesi, hoparlör-lamba-ikaz düğme yuvası ve klamp kablo tutucu örnekleri “farklı kalıp malzemeleri, enjeksiyon makineleri ve plastik malzemeler” teorik olarak uygulanmıştır. Programın geçerliliği deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ile üretilen plastik parçaların seri ve kolay bir şekilde üretilmesi kullanım alanını gün geçtikçe arttırmaktadır. Ancak, plastik enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile üretim yapılırken fazla kalıplama parametrelerinin olması bazı sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sorunların giderilmesi için birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda;

Ergüney ve diğerleri [1] yaptıkları çalışmada, spiral kanallı bir kalıpta farklı enjeksiyon parametrelerini (silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon debisi ve kalıp sıcaklığı) ele alarak plastiklerin akış özelliklerini incelemişlerdir. Enjeksiyon parametrelerinin değerleri arttıkça akış uzunluğunun arttığını, en uzun akışın sırasıyla polistren (450 mm), polipropilen (428 mm), yüksek yoğunluklu polietilen (341 mm) ve düşük yoğunluklu polietilen (324 mm) olduğunu belirtmişlerdir.

Çakır ve diğerleri [2] I20–3 polietilen plastik ürünlerdeki çekme miktarını, enjeksiyon parametrelerini ve kalıp özelliklerinin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, katkı maddesi oranı ve kalıplama süresinin plastik ürünlerdeki çekme miktarına olan etkilerini grafikler halinde göstermişlerdir. Enjeksiyon basıncı ve kalıplama süresinin artması ile çekmenin azaldığını, katkı maddesi ve enjeksiyon sıcaklığının artmasıyla çekmenin arttığını tespit etmişlerdir.

Gültaş ve diğerleri [3], plastik enjeksiyon kalıplarında, kalıp boşluğu içerisinde ergimiş plastiklerin akışının matematiksel modellenmesi, akış burnu hareketlerinin tayini, basınç, hız ve sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi için kullanılan temel denklemleri türetmişlerdir. Literatürde farklı metotlarla türetilen fakat çok anlaşılır olarak verilmeyen süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini daha detaylı bir şekilde ele almışlardır. Sonlu kontrol hacmi formülasyonu'na göre yapılan ayrıklaştırma işleminde Tam Implicit metodu ve Upwind metodunu kullanmışlardır. Kalıp boşluğunu iki boyutlu olarak ele aldıkları çalışmalarında, Phoenix programı ile yapılan çözümlemede, yoğunluğun değişimlerini Boussinesq Yaklaşımı'na göre hesaplamışlar ve plastiğin kalıp boşluğuna doluşunu incelemişlerdir.

Oktem ve diğerleri [4] plastik parçaların üretimi esnasında, çekme payı değişimine bağlı olarak, hata problemlerini azaltmak için optimizasyon teknikleri içeren bir çalışma

yapmışlardır. Moldflow analizi ile L_{27} ve L_9 Taguchi ortogonal tasarımın temel dağılımlarından yararlanarak çarpılmaya ve çekmeye etki eden parametrelerin değişimlerini analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, paketleme basıncının %58.03, paketleme basınç zamanının %23.03, enjeksiyon zamanının %15.17 ve soğutma zamanının %3.68 oranında çarpılmaya, paketleme basınç zamanının %84.054, paketleme basıncının %7.83, enjeksiyon zamanının %5.528 ve soğutma zamanının %2.588 oranında da çekmeye yol açtığını tespit etmişlerdir.

Karaağaç [5], plastik ürünlerin dayanımını önemli ölçüde azaltan ve makine elemanının görevini tahmin edilen ömründen önce sona erdiren, kaynak hatları ve oluşumu üzerine araştırma yapmıştır. Uluslararası standartlarda tavsiye edilen ölçülere uygun olarak çekme, yorulma ve çentikli darbe deneyi numuneleri basabilen bir enjeksiyon kalıbının tasarımını ve imalatını gerçekleştirmiştir. Yaptığı deneysel çalışma ile enjeksiyon sıcaklığının, enjeksiyon basıncının ve ütüleme süresinin plastik ürünlerde kaynak hattı kalitesine etki eden en önemli enjeksiyon parametreleri olduğunu belirtmiştir.

Uluer [6], son işlem gerektirmeden kalıptan çıktığı gibi kullanılan plastik parçalar, hatasız olarak kalıplanmalıdır. Ürünün hatasız kalıplanabilmesi için karmaşık akış özelliği gösteren ergimiş plastiğin, kalıp boşluğundaki akış davranışının önceden bilinmesi ve buna göre kalıp tasarımının yapılması gerekmektedir. Plastik akışının teorik olarak analizinde bazı kabuller yapılarak çözüm yapıldığından dolayı, plastiğin gerçek akışı tahmin edilememektedir. Bu nedenlere dayanarak yaptığı çalışmada, hazırlanan deney setine yerleştirilen kamera vasıtasıyla bir tarafına cam plaka yerleştirilen kalıp boşluğundaki ergimiş plastiğin akışını gözlemlemiştir. Ayrıca, plastiğin akış davranışını ve kalıbı doldurma tipini incelemiştir. Buna göre, ergimiş plastiğin kalıp boşluğu içerisindeki akışını etkileyen en önemli parametrenin basınç olduğunu ve yerçekiminin de plastiğin akışını etkilediği tespit etmiştir.

Ayar [7] yaptığı çalışmada, halojen lamba kasasının bilgisayar ortamında üretim ve analizini gerçekleştirmiştir. Analiz sonucunda kalıbın tasarım modeline göre gerekli olan CNC kodlarını çıkarmış ve kalıp parçalarının üretimi için en uygun işleme süresini elde etmiştir. Ayrıca, halojen lamba kasasının üretiminin teknik ve ekonomik bakımdan kalıplama yöntemini tespit etmiştir.

Can [8], hafiflik, düşük gürültü ve kendinden yağlama özelliklerine sahip olan plastik dişli çarkların kullanımı, düşük dayanım değerleri nedeniyle sınırlıdır. Plastik dişli çarklarda yorulma, plastik deformasyon ve sürtünme ile birlikte oluşmaktadır. Bu bilgilere

bağlı olarak yaptığı çalışmada, kolay üretilebilirliği ve ekonomik olması nedeniyle plastik dişli çark üretimini yapmıştır. Dişli çark malzemesi olarak polipropilen plastik malzeme seçmiştir. Plastik dişli çark modelinin içerisine, farklı çaplarda yaylı tel dizmiştir. Enjeksiyon kalıplama öncesinde bu yaylar çekilip daha sonra da bırakılarak dişlide ön gerilme oluşturulmuştur. 142 adet hazırlanan numuneden 58 tanesinde gözenek oluşumu gözlemiştir. 84 adet numune de ise yay takviyesinin statik kopma ve yorulma dayanım değerlerini iyileştirdiği sonucuna varmıştır. Tel çapı ve ön gerilme miktarı arttıkça ömür değerleri, takviyesiz numuneye göre 30 kat fazla çıktığını saptamıştır. Ön gerilmenin statik kopmaya etkisini oldukça az gözlemlemiş; sabit yük tekrar sayılarında ön gerilmeli numunelerde %10 dayanım artışı bulmuştur.

Sadeghi [9] plastik enjeksiyon kalıpları için yapay sinir ağlarıyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Ağ'a değişik plastik ürün, enjeksiyon parametresi, kalıp sıcaklığı ve erime sıcaklığı gibi değişkenler girilirken, bu değişkenlere bağlı olarak kalıp kalitesi, dolma süresi ve enjeksiyon basıncı gibi parametrelerin nasıl değiştiğini CAE yazılımını kullanarak çıkartmıştır.

Ferreira ve Mateus [10] plastik enjeksiyon kalıpları için farklı soğutma sistemlerini geliştirmek ve kalıptaki problemleri azaltmak üzere algoritmik matris yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri matris yöntemi ile plastik enjeksiyon kalıplarında oluşacak problemlerin önceden görülmekte olduğunu ve gerekli değişikliklerin yapılarak kalıpların hatasız üretimi yapıldığını belirtmişlerdir.

Acar [11] plastik enjeksiyon kalıpları için ürünün üç boyutlu katı modelini esas alarak yapmış olduğu çalışmada, soğutma sistemi için otomatik olarak bilgisayara yerleştirilen kalıp çekirdeklerinin tasarımını gerçekleştirmiştir.

Karaağaç ve Özdemir [12] yaptıkları çalışmada, plastik enjeksiyon kalıpları için klasik maliyet hesabı yöntemlerini Delphi programlama dilini kullanarak bilgisayar ortamına aktarmışlardır. Tasarım için AutoCAD ve tasarlanan şeklin işleme sürelerini tespit etmek için de MasterCAM programından yararlanmışlardır. AutoCAD ve MasterCAM ortamından elde ettikleri verileri, kalıp maliyeti hesabında kullanılacak şekilde Delphi ortamına transfer ederek plastik enjeksiyon kalıbının tasarımını, üretimini ve maliyet hesabını karşılaştırmışlardır.

Nezhad ve Siores [13] enjeksiyon kalıplarındaki kalıp parametrelerine (Erime sıcaklığı, Kalıp sıcaklığı, Enjeksiyon zamanı ve gerekli Basınç) akıllı bir sistemle yaklaşımda bulunmuşlardır. CBR tekniğini ve Hybrid uzman sistemi kullanarak optimum

sınırlama içerisinde akış uzunluğu ve akış kalınlığının değişimini incelemişlerdir. Buna bağlı olarak plastik enjeksiyon kalıp parametrelerine etki eden faktörler arasındaki ilişkiyi gösteren bir formül geliştirmişlerdir.

Özçelik ve Erzurumlu [14], yaptıkları çalışmada, çamaşır makinesinin PC düğmesinin plastik enjeksiyonla oluş şekli ve malzemenin minimum eğilmesini araştırmışlardır. Kalıp sıcaklığının, erime sıcaklığının, kalıplama basıncının, kalıplama zamanının ve soğutma zamanının malzemenin oluş şekli ve minimum eğilmesini nasıl etkilediğini analiz etmişlerdir. Taguchi ortogonal sıra ve sonlu elemanlar yazılımı Moldflow tasarımının her ikisini de bu çalışmada kullanmışlardır. Malzemede meydana gelen minimum eğilme için yapay ağ ve genetik algoritma yaklaşımından yararlanmışlardır.

Tang ve diğerleri [15], yaptıkları çalışmada, kalıplarda artan ısı geriliminin etkilerini ve ısı performansı analizini deneysel bir çalışma yaparak gerçekleştirmişlerdir. Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı için Unigraphics 13 versiyonlu bilgisayar yazılımını kullanmışlardır. Numune parçanın yüzeyleri dengesiz soğutmadan dolayı ısı gerilimine maruz kaldığını ve dengesiz soğutma, kalıp bölgesinin farklı bölgelerinde eğilme meydana gelmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Isı gerilimlerini sonlu elemanlar kullanılarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak çekme paylarının soğutma kanalına yakın olan bölgelerde meydana geldiği saptamışlardır.

Kahraman [16], yaptığı çalışmada; sıcak yolluk sisteminin genel tanımını, ihtiyaç duyulduğu alanları ve sıcak yolluk kullanılmasının avantajlarını içeren bir literatür araştırması hazırlamıştır.

Kovacs ve Bercsey [17] kalıp yapımında kullandıkları malzemelerin ısı iletim katsayısının kalıp kalitesine etkisini araştırmışlardır. Isı iletim kat sayısı az olan kalıp malzemelerinde, kalıp boşluğu ile soğutma sistemi arasında fazla ısı alış veriş olmadığından dolayı çekme miktarının fazla olduğunu, ısı iletim kat sayısı fazla olan kalıp malzemelerinde ise ısı alış veriş kolay olduğundan dolayı daha az çekme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Chen ve diğerleri [18] enjeksiyon kalıplarının, soğutma aşamasında meydana gelen fiziksel değişimlerini göz önünde bulundurarak, ısı-viskoelastisite teoremleri arasında bazı matematiksel formüller çıkartmışlardır. Bu formülleri çıkartırken sonlu farklar metodundan yararlanmışlardır.

Shiou ve Chen [19], çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıplarının yüzeylerindeki pürüzlülüğün kalıplanan parçaya etkilerini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için takım geometrisinin özelliklerini belirleyerek, tasarlanan takımın kalıp parçasının yüzeyine belirli kuvvet, hız ve ilerlemede gezdirilerek kalıp yüzeyindeki pürüzlülüğünü (R_a) gidermişlerdir. Bu amaçla kalıpların yüzeyinde cilalama (parlaklık) işlemini sağlamışlardır.

Lau ve diğerleri [20] plastik enjeksiyon kalıplarında yapay sinir ağ ve bulanık mantık sistemlerini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Yapay sinir ağı ile enjeksiyon zamanı, soğutma zamanı, işleme zamanı ve işleme basıncı gibi giriş parametrelerinin kalıplanan parçaya etkisini araştırmışlardır. Bulanık mantık sistemi ile ise kalıp ölçülerinin değişimini iterasyon sayısı ile ilişkilendirmişlerdir. Başlangıç aşamasında hata %0.43 iken iterasyon işlemine başlanıldığında hata miktarının sırasıyla %0.10, %0.08, %0.06 olarak düştüğünü belirtmişlerdir.

Gültaş ve diğerleri [21], enjeksiyonla kalıplamada, ergimiş plastiğin akış davranışının teorik olarak belirlenmesi ve akış davranışının simülasyonu için gerekli olan viskozite ve yoğunluk değerlerinin kayma hızı, sıcaklık ve basınca bağlı olarak hesaplanabildiğini belirtmişlerdir. Carreau, Cross, Cross-WLF ve Power-Law viskozite modelleri kullanılarak viskozite değerlerini, Tait eşitliği kullanılarak yoğunluk değerleri elde etmişlerdir. Ergimiş plastik malzemenin kayma hızının, sıcaklık ve basınca bağlı olarak viskozite ve yoğunluk değerlerini hesaplayan ve sonucu grafik olarak veren bir yazılım geliştirmişlerdir.

Kurtaran ve diğerleri [22], otobüslerde kullanılan lambaların plastik kısımlarının enjeksiyonla kalıplanırken, kalıplama parametrelerine bağlı olarak plastik parçada minimum eğilme meydana gelmesini sağlamaya çalışmışlardır. Eğilmeye etki eden en önemli parametrelerin; kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, paketleme basıncı, paketleme basınç zamanı ve soğutma zamanı olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve diğerleri [23], yaptıkları çalışmada, soğutma sistemlerinin plastik enjeksiyon kalıbının en önemli unsuru olduğunu belirtmişlerdir. Farklı soğutma sistemleri tasarlayarak en iyi soğutma sisteminin kalıp üzerinde maksimum dolaştırılarak elde edilebileceğini teorik ve deneysel olarak kanıtlamışlardır. Ayrıca, soğutma sistemlerine karmaşık tasarımlar yapılarak değişik alternatifler sunmuşlardır.

Qiao [24], Soğutma sistemlerinin tasarımı plastik enjeksiyon kalıpları için büyük önem taşır. Çünkü soğutma sistemi üretilecek ürünün kalitesini etkilemektedir. Bu nedenlere bağlı olarak yaptığı çalışmada, bir sistematik bilgisayar yardımı uygulaması

ile soğutma sisteminin optimum tasarlanmasını sağlamıştır. Bu uygulamada soğutma sistemi tasarımını deneme ve yanılma yolu ile gerçekleştirmiştir. Soğutma sistemi için; sınır element metodundan, optimizasyon problemlerinden, Davidon-Fletcher-Powell optimizasyonu ve simülasyonlarından yararlanarak sonuca ulaşmıştır. Optimum soğutma sağlandığı zaman ürünün kalitesinin arttığını belirtmiştir.

Seow ve Lam [25] plastik enjeksiyon kalıplarının optimum akışını sağlamaya yönelik yaptıkları çalışmada farklı geometriye sahip kalıp modellerini karşılaştırmışlardır. Optimizasyon tekniklerini kullanarak bu kalıp modellerinin Fortran programlama dilinde yazılımını yapmışlardır.

Beiter, Cardinal ve Ishii [26] yaptıkları çalışmada, üretilecek parçanın geometrik şeklini ve kullanılan kalıp malzemesinin özelliklerini göz önünde tutarak enjeksiyon kalıplarının üretim maliyetini hesaplamışlardır. Bunun için geçerli olan bazı formülleri geliştirmişlerdir.

Yapılmış olan literatür çalışmaları ayrıntılı olarak incelendiğinde, farklı amaçlar için üretilecek kalıp tasarımları arasındaki fark, kalıp tasarımına bağlı olarak kalıp maliyetinin bulunması, kullanılan plastik malzeme ve numunenin geometrik özelliklerine bağlı olarak akış uzunluğunun incelenmesi, üretilecek üründe minimum eğilme ve çarpılmaya yönelik enjeksiyon makinesinin parametre değerleri gibi konuların değişik teknikler kullanılarak ayrı ayrı ele alındığı, kalıplanan plastik ürün maliyetinin hesabıyla ilgili çalışmalarda da eksiklik olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda kalıp maliyetini, kalıplanan plastik ürünün çekme miktarını, enjeksiyon ve soğutma zamanlarını, kalıplanan plastik ürünün maliyetini, ve enjeksiyon makinesinin mengene basıncını hesaplayan bir paket program geliştirilmiştir. Böylelikle enjeksiyon kalıplama teknikleri ile üretilen ürünler bir bütün olarak ele alınmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

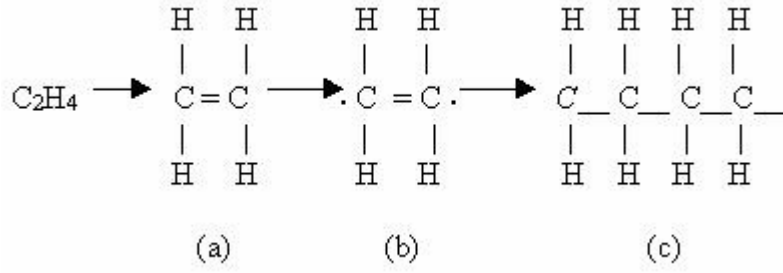
3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemleri

Günümüzde plastiklerin % 25'i, enjeksiyon kalıplama metoduyla parça üretiminde kullanılmaktadır. Bu tür üretimlerde plastik malzeme, kalıp ve enjeksiyon makinesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar ayrıntılı olarak irdelendiğinde plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılabacaktır.

Plastikler, kimyasal yönden polimerler grubuna girerler, küçük molekül parçaların birbirini eklenmesi sonucu ve moleküler yapıdaki parçacıkların sayısına bağlı olarak katı, sıvı ve gaz halde bulunurlar. Sıvı halde bulunan boyalar, vernikler, adezivler vb. malzemeler de polimer sayılır.

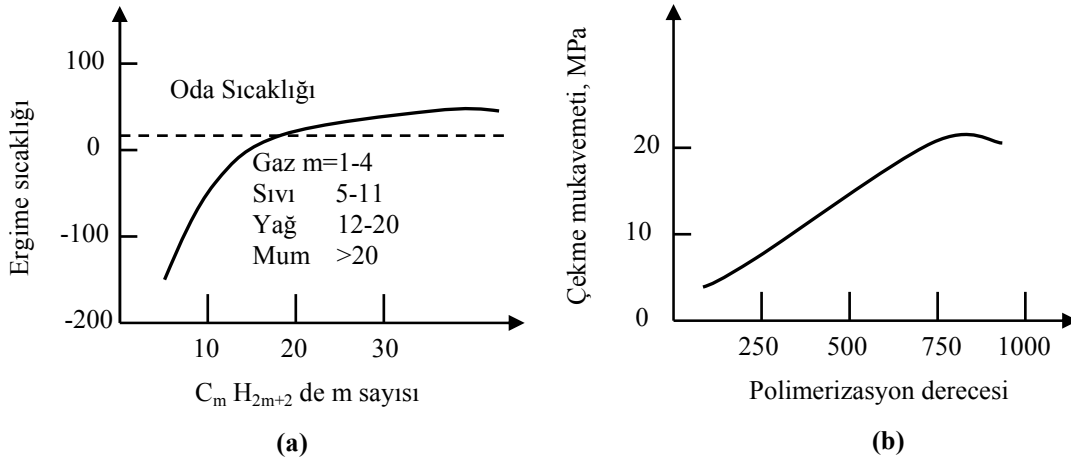
Plastik kelimesi isim olarak bir malzeme türünü belirtir ve kalıcı şekil değiştirebilen cisim anlamına gelir. Endüstride plastik denmesinin nedeni üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilebilmeleridir. Gerçekte plastikler hafif olup kolay şekillendirilir, az bir bilgi ile en karışık geometrik şekiller kolaylıkla şekillendirilebilir. Bu nedenle çok geniş uygulama alanına sahiptirler.

Plastiklerin ana ilkel maddeleri hidrokarbonlardır. Doymamış hidrokarbonlarda C atomları arasında iki veya daha fazla kovalen bağ vardır. C atomlarının yanında genellikle H, bazılarında Cl, F, O, N ve S atomları bulunur. C atomları arasındaki çift kovalen bağdan biri genellikle sıcaklık, basınç veya katalizör yardımı ile koparılır. Şekil 3.1 (b) de görüldüğü gibi iki yan reaksiyon bağlarında birer elektron vardır, dolayısıyla birer valans enerji düzeyi boştur. Bu durumda olan iki komşu etilen monomeri birer elektronlarını paylaşarak aralarında kovalen bağ oluştururlar. Böylece çok sayıda etilen meri birbirine eklenerek birer polietilen polimer zinciri meydana getirir. Polimer zincirleri birbirleri ile ancak zayıf bağ kurabilirler [27].



Şekil 3.1. a) Etilen monomeri, b) İki reaksiyon bağlı etilen monomeri, c) Etilen monomeri [27].

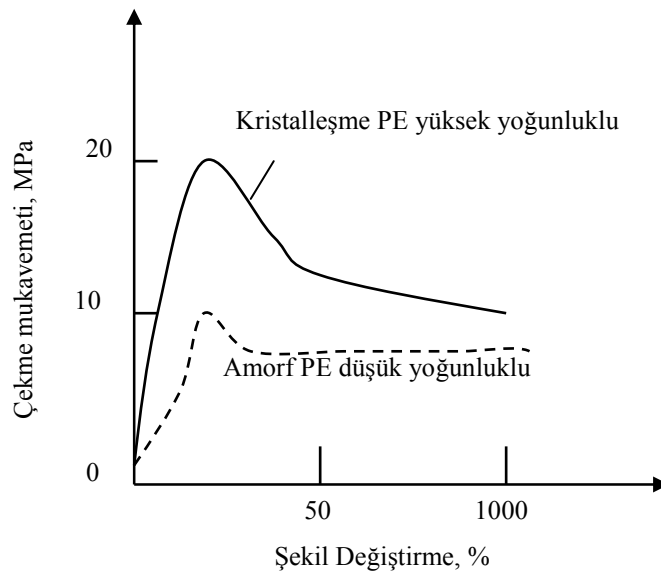
Hidrokarbon zincirlerinin genel formülü $\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$ şeklindedir. Zincirdeki m sayısı arttıkça molekülün boyutu büyür, aralarındaki zayıf bağ sayısı artar, önce gaz halinde iken sonra sıvı daha sonra katı olur. Şekil 3.2 (a) da görüldüğü gibi m sayısı 1– 4 arasında gaz halinde iken 5–11 arasında sıvı, 12–20 arasında yağ, 20–50 arasında mum, daha büyük ise katı hale dönüşür. Molekül zincirinin boyu arttıkça yan bağların sayısı artar, bunun sonucu mukavemet de doğal olarak yükselir.



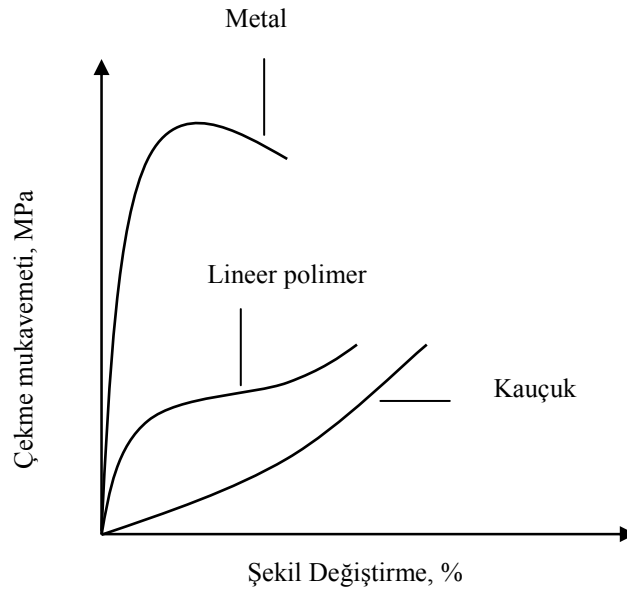
Şekil 3.2. a) Polimerde m sayısı ile ergime sıcaklığının değişimi, b) m sayısı ile mukavemetin değişimi [27].

Polimerler genellikle amorf yapıya sahiptirler, Uzun ve karmaşık yapılı zincirlerin komşuları ile uyum sağlayıp düzenli yapı meydana getirmeleri çok zordur. Bir lineer polimerin genel görünüşü pişmiş makarnayı andırır, zincirler birbirleriyle etkileşim halinde bulunur. Ancak basit yapı ve simetrik polimerlerde polietilen izotaktik propilen gibi bazı koşullarda yerel düzen oluşabilir. Amorf ana yapı içinde oluşan küçük kristal yapıli bölgelere kristalitler denir. Kristalitlerin yoğunluğu amorf yapıya göre % 5–10 kadar daha büyüktür. Örneğin, endüstride kullanılan yüksek yoğunluklu polietilende % 90 oranında

kristalleşme nedeni ile yoğunluk 0,96 gr/cm³, düşük yoğunluklu amorf polietilende ise 0,92 gr/cm³ dür. Soğuma hızı yavaş olursa kristalleşme olanağı artar. Kristalleşme dış kuvvet etkisinde de oluşabilir. Gerilen molekül zincirleri paralel hale gelerek yer yer uyum sağlayabilirler. Bu şekilde doğan kristaller kuvvet doğrultusuna paralel olurlar. Kristallerin büyüklüğü 50–100 Å civarındadır. Molekül zincirleri ise bu boyuta göre çok daha uzundur. Bazıları birkaç kristalit içinden geçerek uzanırlar, kristallik derecesi arttıkça mekanik özellikleri ve yumuşama sıcaklığı yükselir. Kristalli ve amorf yapıli polietilenin mekanik özellikleri arasındaki fark Şekil 3.3’de açıkça görölmektedir [27].



Şekil 3.3. Kristalli ve amorf PE'nin gerilme-şekil değıştirme eğrileri [27].



Şekil 3.4. Metallerin polimerlerin gerilme-şekil değıştirme eğrileri [27].

Metallerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri akma başladıktan sonra yatıklaşır, (Şekil 3.4) lineer polimerlerde ise eğri başlangıçta yatıktır daha sonra dikleşir. Molekül zincirleri gerilip doğrulunca komşuları ile uyum sağlarlar. Yer yer kristalleşme oluşur ve şekil değiştirme direnci artar. Özellikle bu davranış kauçukta çok belirgindir. Çekme etkisinde kristalleşme nedeniyle kauçuğun hacmi azalır, gerilme kalkınca tekrar ilk haline döner. Diğer malzeme türlerinde ise çekme etkisinde daima hacim artar.

3.1.1. Lineer Polimerler

Lineer polimerler “vinil” ve “bütadien” olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Vinil türü mono-merde çift bağlı iki C atomu ile bunların ikişer yan atomu vardır, bu yan atomlardan ilk üçü H, diğer dördüncüsü H den başka türde olabilir. Dördüncü yan atom H etilen, Cl vinilklorür, CH₃ grubu propilen ve benzer halkası ise stiren monomeri elde edilir. Eğer vinil tür monomerin ilk iki yan atomu H, diğer iki yan atomu değişik türde atom ise viniliden monomeri oluşur. Bu son iki yan atom Cl viniliden klorür olur. Bu grupta dört yan atomda F olursa tetrafloretilen polimeri elde edilir. Reaksiyona giren ana monomerin başına “poli” kelimesi eklenerek polimerin adı elde edilir. Örneğin, tetrafloretilen monomeri polimerize edilirse politetrafloretilene dönüşür, buna da endüstride “teflon” denir [27].

Lineer polimerlerde molekül zinciri boyunca aynı tür mer varsa “homopolimer” veya kısaca polimer denir. Bunlarda zincir boyunca bağ boyları ve bağ açıları aynıdır ve atomlar simetrik dizilmiştir, dolayısıyla komşu zincirler arasında uyum sağlayarak kristalli yapı oluşturma eğilimi artar. Bazı polimerlerde birden fazla tür mer bulunur ve bunlara “kopolimer” denir. Kopolimerde değişik oranda ve değişik türde merler farklı biçimde dizilerek çok değişik özellikte yapı oluştururlar. Merler zincir boyunca ardışık düzenli veya rasgele dizilebilir yâda aynı tür mer içeren bir zincire başka tür zincir dal biçiminde eklenmiş olabilir. Kopolimerler düzensiz yapıdır, atomsal dolgu faktörü daha düşüktür, daha kolay şekil değiştirirler ve toklukları yüksektir. Örneğin vinil klorürle viniliden klorür (PVC) kopolimerini oluştururlar. ABS kopolimeri akrilonitril-bütadien-stiren merlerini içerir, bu kopolimeri mukavemeti ve elastisite modülü yüksek olduğu gibi tokluğu da yüksektir, çarpılmaya iyi dayanır. Tablo 3.1’de bazı termoplastiklerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı termoplastiklerin bileşimi [27].

Malzeme	Malzeme Özgöl Ağırlığı (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kullanma Sıcaklık Sınırı (°C)
Polietilen (AYPE)	0,92–0,93	7–17	105–280	80
Polietilen (YYPE)	0,95–0,96	20–37	420–1260	100
Polivinilklorür (PVC)	1,50–1,58	40–60	2800–4200	110
Polipropilen (PP)	0,90–0,91	50–70	1120–1500	105
Polistiren (PS)	1,08–1,10	35–68	2660–3150	85
ABS(Akronitril-Bütadien-Stiren)	1,05–1,07	42–50	----	75
Polimetilmetakürlat (PMMA)	1,11–1,20	50–90	2450–3150	125
Politetraflorotilen(teflon)	2,1–2,3	17–28	420–560	120
Naylon 6,6	1,06–1,15	60–100	2000–3500	82
Sellülozikler	1,2–1,3	20–50	----	60

3.1.2. Uzayağı Polimerleri

Uzayağı polimerlerinde moleküller arasında üç boyutlu uzayda sürekli kovalan bağ vardır. Bu bağların bazıları yüksek basınç ve sıcaklık etkisindedir, bazıları ise oda sıcaklığında kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Bunlarda genellikle sıvı halde bulunan monomer kütlesi veya reçine ile bir sertleştirici katkı ile karıştırıldıktan sonra polimerizasyon olayı süresince molekül bireyleri arasında çapraz bağlar meydana getirir. Polimerizasyon bittikten sonra amorf ve rijit bir kütleye dönüşür, sıcaklık artsa dahi yumuşama oluşmaz. Aşırı sıcaklık kovalen bağların kopmasına, dolayısıyla malzemenin tahrip olmasına neden olur. Uzayağı polimerleri olan termosetler tekrar kullanılamazlar.

Monomerlerde ikiden fazla doymamış karbon-karbon bağı varsa üç veya dört adet komşu moleküler bağ kurularak sürekli bir kovalen bağ ağı oluştururlar. Bu türe örnek en sık rastlanan ve ilk defa sentetik yolla üretilen polimer fenol-formaldehittir.

Gerçekte fenolün benzer halkasından üç adet reaksiyon bağı elde edilebilir. İki reaksiyon bağı formaldehit ile üç reaksiyon bağı fenol monomerleri üç boyutlu uzayağı türü formaldehit polimeri meydana getirirler. Bu polimere endüstride bakalit denir. Bakalit sürekli kovalen bağa sahip bir termosettir, bu nedenle sert ve gevrek bir cisimdir [27].

Termoset plastikler termoplastiklere göre daha yüksek mukavemetli, daha “rijit” (elastisite modülü yüksek), boyutları daha kararlı sünmesi daha düşük ve kullanılma sıcaklıkları daha yüksektir. Bununla beraber daha pahalı ve uygulamaları daha güçtür. Dış

etkilere ve asitlere daha dayanıklı olduklarından koruyucu kaplama ve dekorasyon amacı için kullanılmaya elverişlidirler. Tablo 3.2 de bazı termoset plastiklerin özellikleri verilmiştir. Kütle halindeki termoset plastiklerin mukavemeti diğer malzemelere göre düşük olmakla beraber lifler vb. malzemelerle (cam, bronz, karbon, mika, selüloz lifleri gibi) pekiştirilerek kompozit malzemelere dönüştürülürler ve mukavemetleri birkaç kat artırılabilir. Örneğin, poliyesterin mukavemeti 42–95 MPa arasında iken cam lifleri ile pekiştirilince 200–345 MPa kadar yükseltilebilir. Ayrıca hafif olduklarından özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) yönünden metallerden çok daha üstündürler. Bu nedenle uçak ve uzay endüstrisinde, oto, deniz tekneleri, spor malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde çok yaygın olarak kullanılırlar [27].

Tablo 3.2. Bazı termoset plastiklerin özellikleri [27].

Malzeme	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kullanma Sıcaklık Sınırı (°C)
Fonolıklar	1,27	35–60	2800–9200	170–250
Poliyesterler	1,28	45–95	2100–4600	150–175
Epoksiler	1,25	28–90	2800–3500	150–260
Melaminler	1,50	35–70	7000–11200	150–200

3.1.3. Termoplastikler

Bütün polimerler düşük sıcaklıklarda yüksek bir katılık (elastik modülü ve kayma modülü yüksek) gösterirler ve gevrektiler. Termoplastikler sıcaklığa bağlı olan özelliklere sahiptirler. Bunlar; elastik modülü, mukavemet, sünekliktir [28].

Polietilen (PE); En çok kullanılan en ucuz plastik türüdür (toplam tüketimin %35'i kadar), saydamdır ve sudan hafiftir. Simetrik moleküler yapı nedeni ile büyük ölçüde kristalleşebilir. Kristallliği arttıkça (%90'a kadar) özgül ağırlık, mukavemet ve yumuşama sıcaklığı yükselir. Genellikle ince film halinde paketlenme, ambalaj ve örtü işlerinde, boru hortum ve çeşitli ucuz mutfak ev eşyası üretiminde kullanılır.

Polivinülorür (PVC); Polietilenden sonra en çok kullanılan plastik türü olup oldukça ucuzdur. Mukavemeti yüksek, kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Alevle yanmaya karşı dirençli olmakla beraber zehirli gaz yayar. Döşeme kaplamaları, boru hortum, yapay deri üretiminde elverişlidir. Son yıllarda kapı ve pencere malzemesi olarak büyük ölçüde kullanılmaya başlanmıştır [27].

Polipropilen (PP); Mukavemeti ve yumuşama sıcaklığı oldukça yüksek olup sudan hafiftir ve su emmesi çok azdır. Bu nedenle büyük ölçüde şişe, mutfak ve laboratuvar malzemesi üretiminde elverişlidir. Ayrıca ambalaj, paketleme ve çuval üretiminde kullanılır.

ABS (Akronitril-Bütadien-Stiren); Üçlü kopolimeri olup mukavemeti ve tokluğu yüksektir. Dış ve kimyasal etkilere dayanıklıdır. Boru oto parçaları, elektronik aygıt kabinleri ve buzdolabı parçaları üretiminde kullanılır.

Polistiren (PS); Saydamdır, kokusuz olmakla beraber çevre ve kimyasal etkilere karşı direnci düşüktür. Gevrek olmakla beraber kolay işlenir ve ucuzdur. Radyo kabinleri, oyuncak, mutfak eşyaları ve iç aydınlatma panoları üretiminde kullanılır.

Naylon; Poliamidler grubuna giren naylonun mukavemeti, rijitliği ve tokluğu yüksek olup aşınmaya dayanıklıdır. Kristalleşme oranı arttıkça mekanik özellikleri ve yumuşama sıcaklıkları yükselir [27]. Naylonlarda en güçlü molekül arası kuvvetler hidrojen bağlarıdır. En önemli özellikleri ise yüksek mekanik dayanım, aşınma direnci, yüksek üst sıcaklık limiti ve düşük sürtünme katsayısıdır [29]. Üretimi kolay olmakla beraber biraz pahalıdırlar. Dişli yatak ve benzeri parçaların üretiminde kullanılırlar.

Polimetil metakrilat (PMMA); Akrilikler grubuna dâhil (PMMA) saydam olup sert, rijit ve dış etkilere dayanıklıdır. Pleksiglas ticari adı ile deniz araçlarında, uçak ve otolarda pencere, lamba ve reklâm panoları üretiminde kullanılırlar [27].

Polikarbonat (PC); Polikarbonat boyutsal kararlılığı ve darbe direnci çok yüksektir. Normal sıcaklığının üzerinde ve altında çok geniş sıcaklık limitleri içinde mekanik dayanımını korur. Işığa geçirgendir ve pigment katılmadığı takdirde soluk sarı renklidir [28]. Oto ve uçak endüstrisinde dişli, kam, takım sapı gibi parçaların üretiminde kullanılır, ayrıca emniyet başları üretiminde de elverişlidir.

Politetrafloretlen (teflon); Simetrik ve homojen yapıya sahip politetrafloretlen büyük ölçüde kristalleştirilir. Bu nedenle özgül ağırlığı en yüksek polimer sayılır ($2,3 \text{ gr/cm}^3$). Mukavemeti ve aşınmaya karşı direnci yüksek, sürtünme kat sayısı çok düşüktür. 200°C ile 260°C arasında kullanılmaya elverişlidir. Kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Sürtünmesi düşük ve kaygan olduğundan yatak, burç ve conta üretiminde elverişlidir. Ayrıca, boru pompa parçaları ve yalıtım şeritleri üretiminde de kullanılır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı olup yapışmadığından mutfak eşyalarını kaplamaya elverişlidir [27].

3.1.4. Termoset Plastikler

Uzayağı polimeri olan termoset plastikler mukavemetleri, rijitlikleri, kullanma sıcaklık sınırları ve dış etkilere dayanıklılıkları yönünden termoplastiklerden genellikle daha üstündürler, ancak tekrar kullanılamazlar. Kütle halinde kullanıldıkları gibi ayrıca değişik tür liflerle kompozit polimere dönüştürülerek üstün mekanik özellikler kazanırlar.

Fenolikler; En önemli endüstriyel plastiklerden sayılan bakalit (fenol formaldehid) ilk geliştirilen sentetik fenolik polimerdir. Mukavemeti ve sertliği yüksek, sıcaklığa ve kimyasal etkilere dayanıklı kolay uygulanan ve oldukça ucuz plastik türüdür. Cam lifi, pamuk ve odun talaşı pekiştirilerek mukavemet ve toklukları artırılır. Elektrik ve oto endüstrisinde çeşitli parçaların üretiminde ayrıca levha halinde mobilya ve yapılarda, kaplama ve yapıştırma işlerinde kullanılırlar.

Epoksitler; Mukavemeti ve sertliği yüksek dış kimyasal etkilere dayanıklı ve boyutları karardır. Koruyucu ve dekoratif kaplama işlerinde elverişlidirler. Diğer malzemelere kolaylıkla yapışır, bu nedenle adezif olarak geniş ölçüde kullanılır. Özellikle cam, karbon ve boron lifleri ile pekiştirilerek mukavemetleri ve rijitlikleri çok artırılabilir. Uçak ve uzay aracı gövdelerinde, spor malzemelerinde kullanılmaya elverişli olmakla beraber oldukça pahalıdır.

Poliesterler; Doymamış kovalen bağlı poliyesterler düşük viskoziteli lineer polimer olmakla beraber, katkı maddeleri ile birlikte işlem uygulayarak çapraz bağlar oluşturulur, bunun sonucu termoset plastiğe dönüştürülürler. Dış etkilere iyi dayanırlar ve kolay uygulanırlar. Çoğunlukla cam elyafı ile pekiştirilerek deniz tekneleri, oto gövdeleri, deşarj boruları ve su tankları üretiminde kullanılırlar.

Âminler; Sert, rijit ve kimyasal etkilere dayanıklı olup kokusuz ve tatsızdır. Sıcaklıkla boyutları çok az değişir. Özellikle mutfak ve ev eşyaları üretiminde elverişlidirler. Melamin, formaldehid ve üre-formeldahid aynı gruptan olup özellikle kontrplak, sunta vb. levhaların üretiminde adezif olarak kullanılırlar.

Silikonlar; Si atomları C atomları gibi dördüncü grup elemanıdır, dolayısıyla polimerize olma yetenekleri vardır. Ancak Si atomlarının kendi aralarında uzayağı yapısı oluşturmaları güçtür, zincirler kararsız olur. Bunun yerine oksijen atomları ile kolaylıkla bağ oluşturarak polimerize olurlar, bu nedenle de bunlara silikonlar denir. Özellikle elastomer niteliğinde olan silikon kauçuğu -100°C ile 250°C arasında elastikiyetini korur.

Ayrıca, oto ateşleme sistemlerinde elektriksel yalıtkan, yapılarda yalıtım ve koruma amacı ile kullanılır; ancak, oldukça pahalıdır [27].

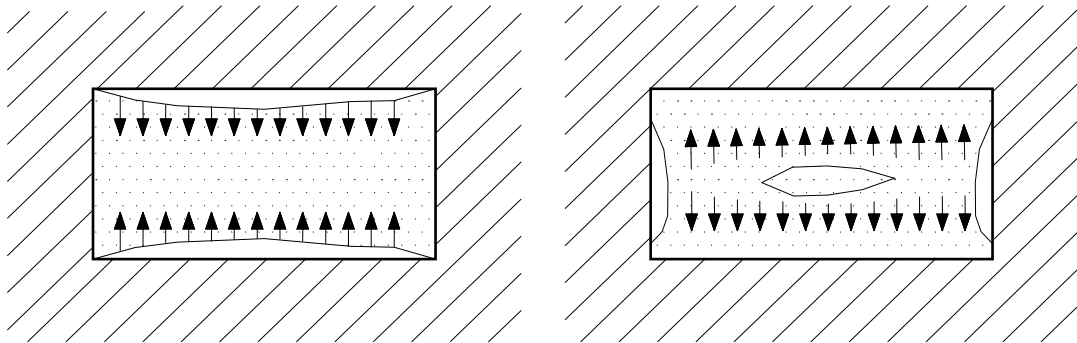
3.2. Plastiklerin Mekanik Özellikleri

Termoplastikler genellikle sünektir, kırılmadan önce plastik şekil değiştirirler. Mekanik özellikleri yükleme süresine ve sıcaklığa önemli ölçüde bağlıdır. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sünme nedeni ile sürekli şekil değiştirirler. Termoset plastikler ise gevrekler, plastik şekil değiştirme olmadan kırılır. Sıcaklık artınca mukavemetleri azalır, fakat yumuşamazlar. Aşırı sıcaklıkta ayrışır ve kavrulurlar. Plastiklerin elastisite modülleri düşüktür, genellikle metallerin 1/100'ü kadardır [27].

3.3. Plastik Malzemelerde Çekme

Plastik enjeksiyonla kalıplamada çekme, erimiş plastiğin kalıp boşluğundan katılaştıktan sonraki boyutsal ve geometrik bozulmaları olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi çekme, plastiğin katılaşma sırasında enjeksiyon parametreleri veya kalıplanan parçanın şekline göre içerden dışarı veya dışarıdan içeriye doğru çekilmeye (büzülmeye) maruz kalmasıdır [2].

Kalıplanan parçalarda ısı ve basınç farkından dolayı oluşan gerilmeler, malzemenin çekme veya çarpılmasına neden olmaktadır. Çekme miktarına etki eden faktörler, kalıplanan parçanın şekli, et kalınlığı ve et kalınlığı değişimi, girişin tipi, girişlerin sayısı ve girişler arası mesafe ve plastiğin kristalleşme oranıdır. Ayrıca, enjekte basıncı, enjekte sıcaklığı tutma basınçları ve katkı maddesi çekme miktarına etki eden parametrelerdir [2, 4, 14, 20].



Şekil 3.5. Enjeksiyonla kalıplama sırasında oluşan plastik malzemelerdeki çekme [2].

Plastiklerin ısı genleşme katsayıları yüksek olmasından ve kristalleşme oranlarından dolayı enjeksiyonla kalıplamada çekme kaçınılmaz olmaktadır. Plastik ürünlerdeki çekmenin, kalıplama işleminden sonra da devam ettiği bilinmektedir. Çekme miktarının büyük bir kısmı kalıplama sırasında oluşmakla birlikte, az da olsa ürünün kullanım ömrü boyunca da etkisini sürdürmektedir.

Enjeksiyonla kalıplanmış plastik ürünlerin soğutulması sırasında oluşan çekmeye etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar [2];

- Enjekte sıcaklığı,
- Enjekte basıncı,
- Soğutma süresi,
- Katkı maddesi,
- Plastik hammaddesinin cinsi,
- Plastik kristalleşme oranı,
- Kalıplanan parçanın şekli,
- Kalıplanan parçanın et kalınlığı ve et kalınlığı değişimi,
- Giriş tipi, girişlerin sayısı ve girişler arası mesafe,
- Kalıp boşluğunun doldurma tipi,

şeklinde sayılabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplarında sıcak malzemenin soğuması ve üzerinden basıncın kalkmasıyla çekme meydana gelmektedir. Bu çekme miktarını mümkün olduğu kadarıyla azaltmak, ürünün fonksiyonel yapısını ve ömrünü bozmayacak değerlerde çekmek mümkündür. Basınç, sıcaklık, katkı maddeleri, kalıplama ve soğutma zamanı gibi enjeksiyon parametrelerinin çekme miktarına etkileri araştırılarak mümkün olan en az çekme miktarı ile plastik parçalar üretilebilmektedir. Ürün özellikle tam ölçüsünde isteniyorsa, kalıp çekme miktarı kadar büyük yapılmalıdır. Tam ölçüye getirme işlemi, incelenmiş olan parametrelerin etkisi dikkate alınarak yapılan değişikliklerle sağlanmaktadır. Çok kullanılan plastik malzemeler ve enjeksiyon sıcaklıklarındaki çekme değerleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Plastik malzemeler ve enjekte sıcaklıklarındaki çekme değerleri [2].

Malzemenin adı ve sembolü	İşleme sıcaklığı (°C)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon basıncı (kPa/cm ²)	Çekme payı (%)
Polietilen düşük yoğunluklu (AYPE)	220–260	20–60	600–1500	1,5–3
Polietilen yüksek yoğunluklu (YYPE)	240–280	20–60	600–1500	2–4
Polipropilen (PP)	250–270	50–75	800–1800	1–1,25
Polistiren (PS)	180–280	10–100	600–1800	0,3–0,6
Stirol akrilnitrik Kopolimer (SAN)	180–270	50–80	600–1800	0,5–0,7
Polivinilklorür sert (PVC)	180–210	30–50	1000–1800	0,5
Polimetilmetakrilat (PMMA)	210–240	50–70	700–1000	0,1–0,8
Poliamid 6 (PA)	240–260	70–120	900–1400	0,5–2,2
Poliamid 6,6 (PA)	260–290	70–120	900–1400	0,5–2,2
Polieksimetilen (POM)	200–210	90	800–1700	1,9–2,3
Polikarbonat (PC)	280–320	80–100	800–1500	0,8
Politereftalasitester (PBTB)	240–260	60–80	1000–1200	1,5–2,5
Politereftalasitester (PETB)	260–290	140	1200–1400	1,2–2
Selilozasetat (CA)	180–230	50–80	800	0,5
Selilozasetabütirat (CAB)	180–230	50–80	800	0,5

3.4. Plastik Enjeksiyon Kalıpları

Enjeksiyon kalıplama metoduyla termoset ve termoplastik malzemelerden parça üretilmesi kısa zamanda gelişerek plastik endüstrisinde önemli bir yer almıştır

Enjeksiyon kalıplama metodu ile plastik malzeme kalıp içerisine enjekte edilir. Kalıp içerisindeki plastik malzeme katılaşınca kalıp otomatik olarak açılır [30].

Enjeksiyon işleminin en önemli elemanından biri, belki de en önemlisi kalıptır. Çünkü baskı kalıba yapılır. İki veya daha fazla parçadan oluşan kalıplar, üretilen her parça için farklı yapıda ve özelliktedir.

Plastik enjeksiyon kalıplarında bir kalıp;

- Erimiş malzemenin kalıp boşlukları içerisinde rahatça akışını sağlayabilmeli
- Erimiş malzemeye istenen son şeklini verebilmeli

— Son şeklini almış malzemeyi soğutup ürün haline getirebilmeli (çapraz örgülü malzemeleri – lastik gibi – ısıtabilmeli)

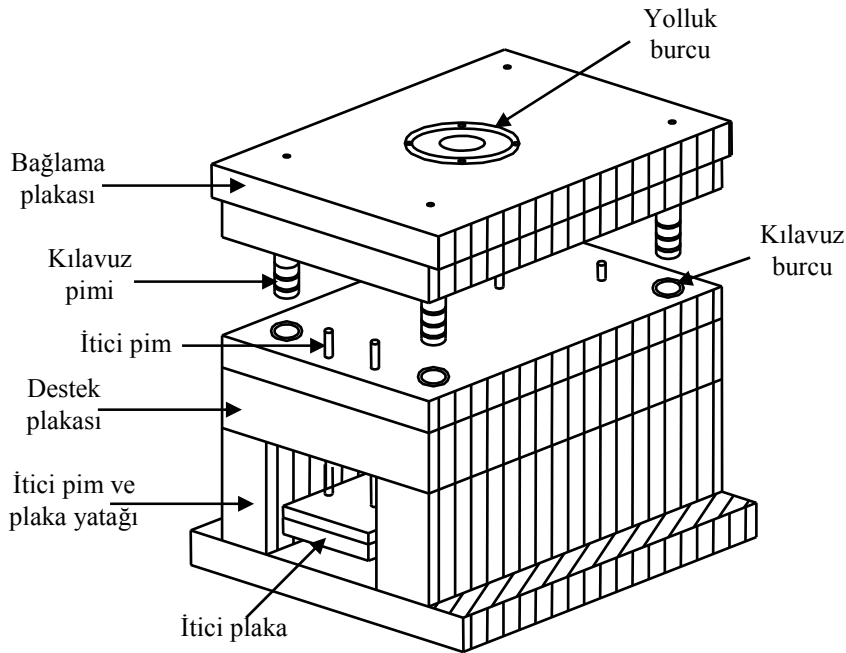
— Ürünü sağlıklı bir şekilde dışarı alabilmelidir.

Bir kalıp ana olarak dört parçadan oluşur.

1. Yolluk sistemi: erimiş malzemeyi alır ve kalıp boşluklarına dağıtır.
2. Kalıp boşluğu: erimiş malzemeye son şeklini verir.
3. Isı sistemi: erimiş malzemeyi soğutur (veya ısıtır).
4. İtici sistemi: ürün haline gelmiş malzemeyi kalıp dışına atar [31].

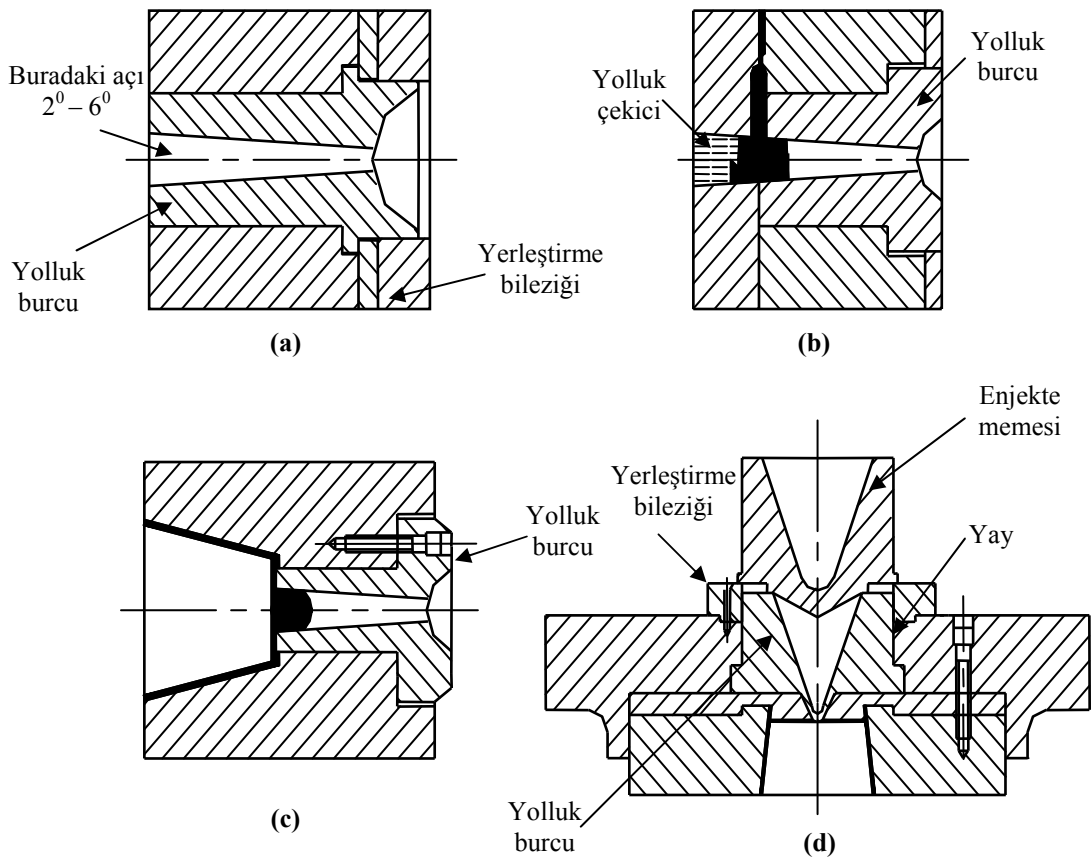
Kalıp tasarımı; enjeksiyon presi, kalıp yapımcısı ve kalıbı kullanacak operatörün çalışma şartları göz önünde bulundurularak yapılır. Ayrıca, kalıplama toleransı, çekme payı miktarı, kalıp boşluğunun yüzey kalitesi ve kalıplanacak plastik maddenin diğer özellikleri de göz önünde bulundurulur. Mümkünse, tasarımı yapılacak kalıpla üretilcek parçanın bir modeli yapılır. Model olarak plastik, metal, alçı, kil, ağaç, karton, kâğıt veya diğer malzemelerden yararlanılır [30].

Kalıp elemanları denildiği zaman üzerinde bulunan bütün parçalar akla gelmektedir. Bunlar dişi kalıp, zımba, maça veya maça pimi, itici pimler, dişi kalıp ve zımba çerçevesi, yolluk burcu, kalıp seti ve gövdesi ve benzeri elemanlardır [30]. Şekil 3.6’da enjeksiyon kalıbı ve elemanları gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Enjeksiyon kalıbı ve önemli parçaları [30].

Yerleştirme bileziği, sabit veya hareketli kalıp üzerindeki yolluk burcu ile enjeksiyon memesinin aynı merkezde çalışmasını sağlar. Yolluk burcunun plastik giriş ağzı içbükey küresel yüzlü yapılarak, dışbükey küresel yüzlü enjeksiyon memesine uyması sağlanır. Ayrıca, yolluk burcunun plastik giriş ağzı kavis yarıçapı, enjeksiyon memesi ucu kavis yarıçapından biraz büyük yapılır ve burç ağzında sertleşen artık plastik malzemenin enjeksiyon memesi oturma yüzeyinde kalması sağlanır. Şekil 3.7’ de değişik tipteki yolluk burçları ve montaj konumları gösterilmiştir.

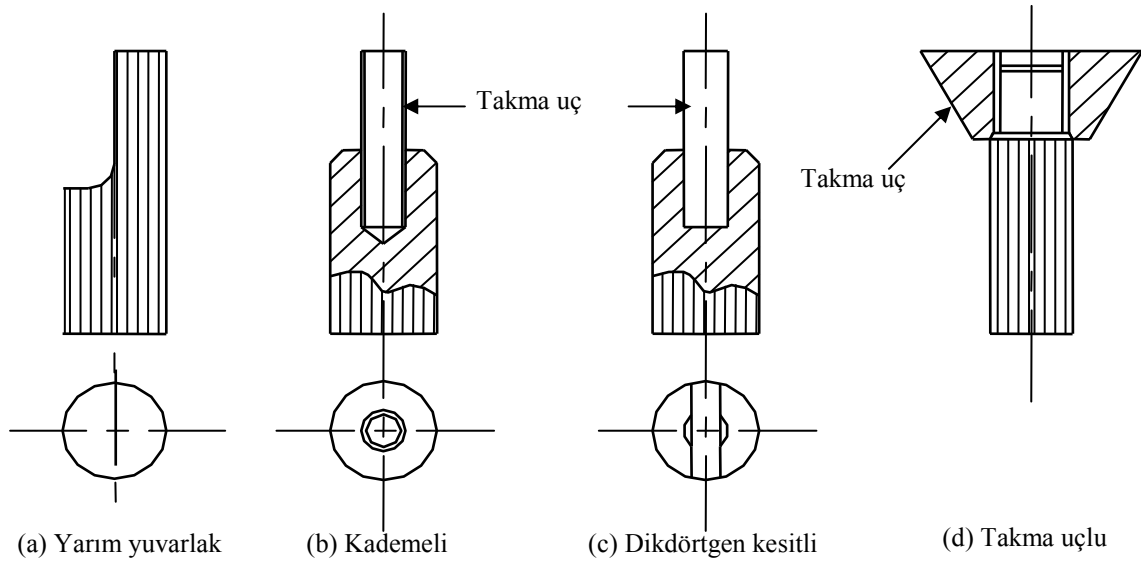


Şekil 3.7. Yolluk burçları ve montajları [30].

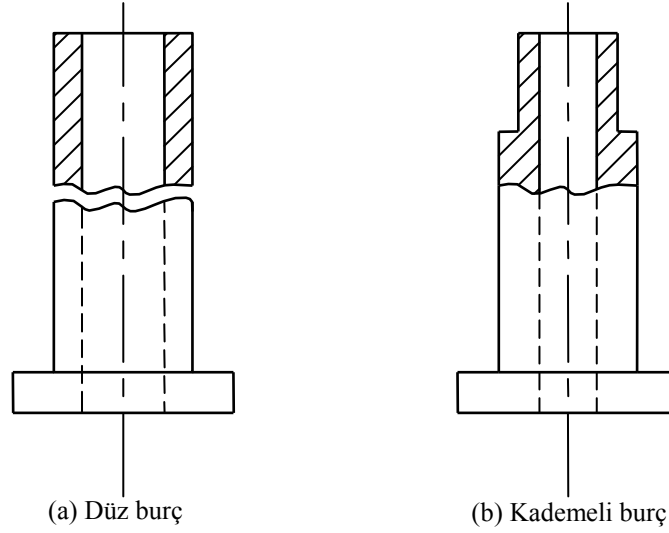
Bağlama plakaları ve kılavuz pimleri, kalıplama boşluğunu oluşturan kalıp yarımlarının desteklenmesinde kullanılan en önemli kalıp elemanlarıdır. Bunlar kalıp dayanımını artırmak amacıyla kullanılabileceği gibi, kalıp elemanlarının montajını da kolaylaştırmaktadır. Kalıp yarımlarının aynı konumda açılıp kapanmasını sağlamak amacıyla, ara plakalarına veya kalıba iki ile dört adet kılavuz pimi ve burcu yerleştirilir. Kılavuz burçları, kılavuz pimleri üzerinde sürtünerek çalışır ve kalıp elemanlarını sabit bir

konuma getirir. Kalıbın çalışma kurs boyu göz önünde bulundurularak kılavuz pim boyları seçilir. Seri çalışan kalıplarda kullanılan kılavuz pimi ve burçları zamanla aşınabilir. Aşınma sonucunda meydana gelebilecek boşluğun iki katı hata, kalıplanan parçaya doğrudan yansır. Bu nedenle, zamanla aşınan kılavuz pimi ve burcu yenisi ile değiştirilmelidir [30].

Plastik enjeksiyon kalıplarında itici pimler, burçlar ve plakalar önemli bir yer tutarlar. Herhangi bir kalıptan ürün elde edebilmek için kalıbın en az iki parçadan meydana gelmesi gerekir. Baskı yapıldıktan sonra kalıp, bölme çizgisinden ayrılır ve ürün haline gelmiş malzeme ya elle alınır yada bir itici sistem tarafından kalıptan dışarı atılır. Kalıbın özelliğine göre pimlerden veya halkalardan meydana gelen kalıp iticisi, kalıp açıldığında ürünün kaldığı tarafta yani hareketli plaka tarafında, kalıp içinde gömülü olup kalıp açıldıktan sonra ürünü dışarı iter [32]. İtici pimler genellikle krom vanadyumlu çeliklerden veya nitrasyon çeliklerinden yapılırlar. Ayrıca, 0.1 – 0.175 mm derinliğinde ve 70 – 80 HRc sertliğinde yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. İtici pimlerin yüzeyleri honlanır ve çap ölçüsü 0.125 mm fazla yapılmak suretiyle aşınmış itici pim burçlu kalıplarda kullanılır. İtici pimlere desteklik yapar ve aynı konumda çalışmasını sağlar. Ayrıca itici plakalar, çekme pimlerinin yataklanmasında kullanılır. Böylece, yolluk çekici ve benzeri çekme pimlerini, çalışma süresince meydana gelebilecek zorlanmalardan korur. Şekil 3.8’ de itici pimler ve Şekil 3.9’da itici burçlar gösterilmektedir.



Şekil 3.8. İtici pimler [30].



Şekil 3.9. İtici burçlar [30].

İtici pimler gibi çalışan itici burçlarda, kalıplanan parçaların kalıp içerisinden çıkartılmasında kullanılan kalıp elemanlarından biridir. Kalıplanan parçanın bütün yüzeyinden itilerek kalıptan çıkartılmasında kullanılır.

Plastik enjeksiyon kalıplarında destek plakalarının büyük bir önemi vardır. Büyük hacimli kalıplarda üretilen parçaların kalıp içerisinden çıkartılmasında kullanılan itici pim, burç ve plakaların desteklenmesinde kullanılan ilave kalıp elemanlarından biridir. Ayrıca, bu plakalar, dişi ve erkek kalıpların desteklenmesinde de kullanılır. Desteklenmemiş itici pim ve plakalar, çarpıldığı veya şekil değiştirdiği zaman dişi kalıp ve maça pimlerinin konumu ile itici pimlerinin konumu değişir. Bu da kalıptan çıkartılacak parçanın kırılmasına sebep olur. Bu nedenle, kalıp sıkma kuvveti fazla olan preslerde kalıplama alanına uygun destek plakası boyutları veya destek plakası boyutlarına bağlı toplam kalıplama alanı bulunur.

Destek plakası kuvveti ve kalıplama alanı aşağıdaki formüllerle bulunur;

$$F_d = \frac{8 \cdot J_d \cdot \sigma_b}{C}, \dots\dots\dots (kg) \quad (3.1)$$

$$J_d = \frac{L \cdot h^2}{6}, \dots\dots\dots (mm^3) \quad (3.2)$$

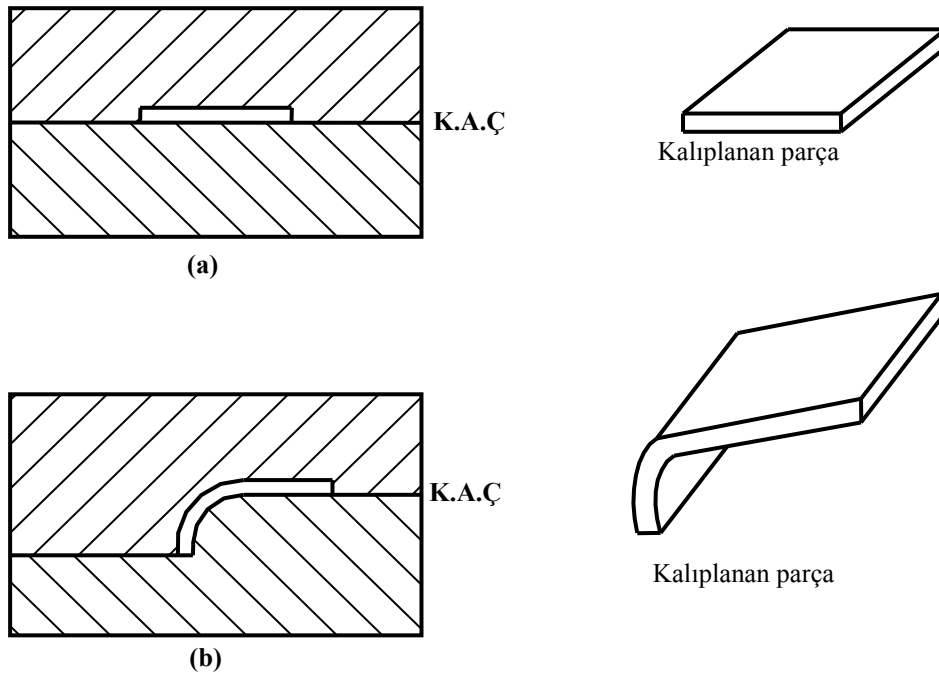
$$A = \frac{F}{P} \text{ veya } A = \frac{1,6 \cdot h^2 \cdot L_d}{C}, \dots\dots\dots (mm^2) \quad (3.3)$$

Burada F_d destek plakası kuvveti (kg), J_d destek plakası dayanım momenti (mm^3), A toplam kalıplama alanı (mm^2), σ_b destek plakası eğilme gerilmesi (kg/mm^2), C destekler arasındaki uzaklık (mm), h destek plakası kalınlığı (mm), L_d destek plakası boyu (mm), P destek plakasına etki eden kalıplama basıncı (kg/mm^2) ve ortalama olarak $P = 7 \text{ kg/mm}^2$ dir [30].

3.5. Kalıp Tasarımında Esas Kurallar

Kalıp yarımalarının açılıp kapandığı ve kalıplanan parçanın açılma düzlemi üzerinde meydana gelen çizgiye, kalıp açılma çizgisi (K.A.Ç) denir.

Kalıplanacak parçanın biçim ve boyutlarına göre, kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Açılma çizgisi sayısına göre de kalıplar birkaç parçaya ayrılır. Ayrıca kalıplanacak parçanın biçimi, üretim sayısı, parçaya verilecek eğim açısı, boyutsal toleranslar, enjeksiyon kalıplama metodu, parçanın estetik görünüşü, ön kalıplama işlemi, parça içerisine konacak plastik taşıyıcılar, hava ve tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı ve yerleşim planı ve giriş kanalı tipine göre kalıp açılma çizgisi sayısı belirlenir. Şekil 3.10.a'da düzgün yüzeyli bir parçanın üretilmesinde, Şekil 3.10.b'de profilli bir parçanın üretilmesinde kullanılan kalıpların açılma çizgisi gösterilmektedir [30].

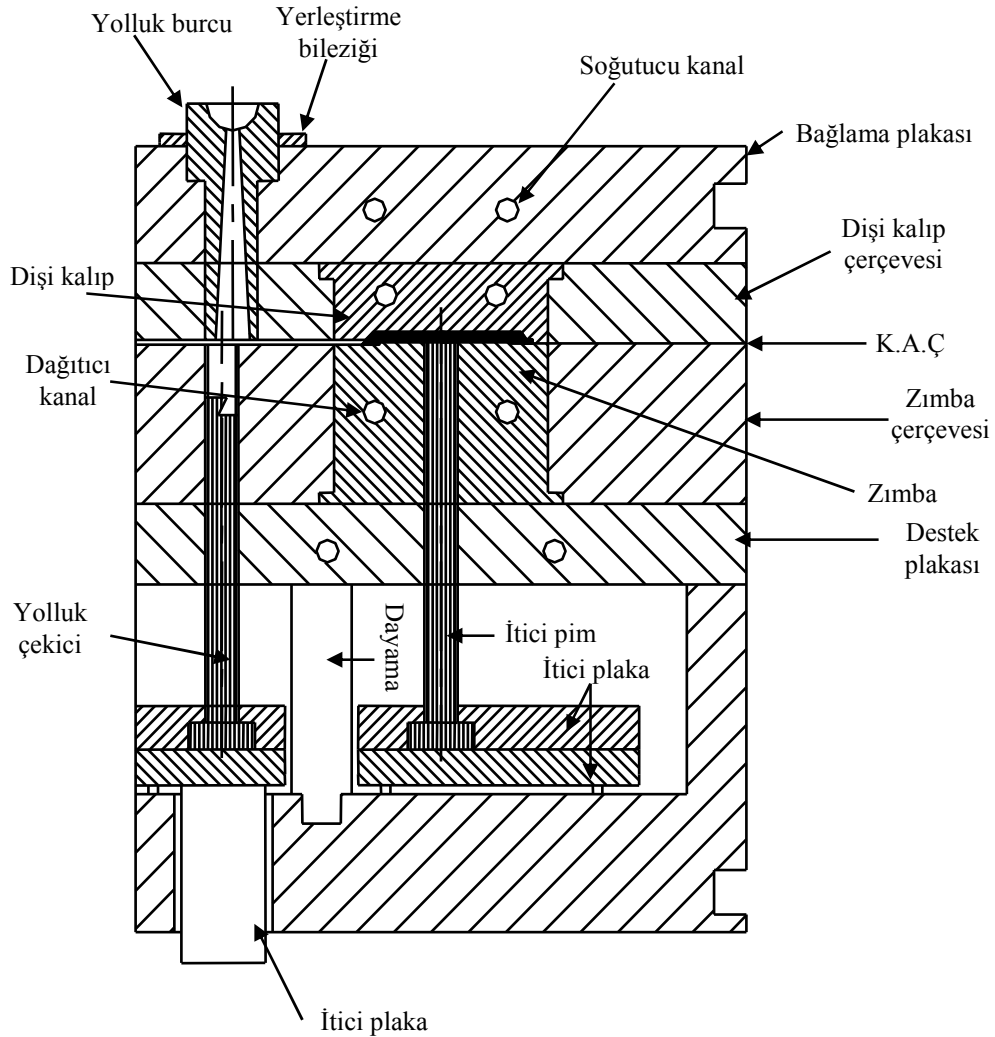


Şekil 3.10. Kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisi [30].

Kalıplanan parçanın kalıp içerisinden kolayca çıkartılabilmesi için kalıplama boşluğu, kalıp açılma çizgisine doğru bir miktar konikleştirilir. Kalıplama derinliği az olan kalıplarda, kalıplama boşluğundan kalıp açılma çizgisine doğru $1/4^\circ - 1/2^\circ$ arasında, derinliği fazla olan kalıplarda bu miktar parçanın estetik görünüşünü bozmayacak şekilde 1° ye kadar verilebilir.

a - Tek açılma çizgisi bulunan kalıplar

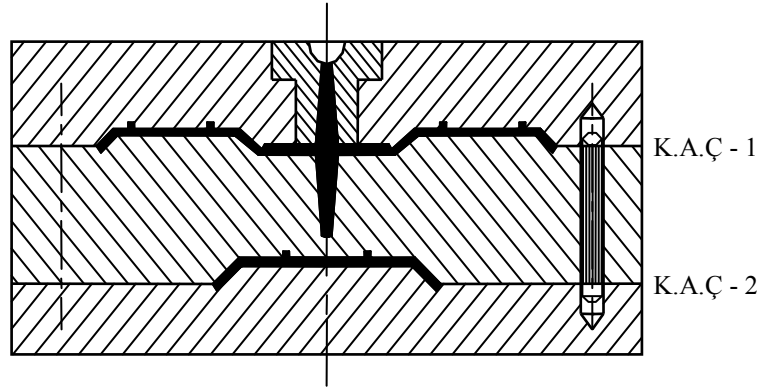
Alt ve üst kalıp yarımlarından oluşan ve tek açılma çizgisi bulunan kalıplardır. Bu tip kalıplara uygulanacak ısı kontrol kanalları, destek plakalarına veya dişi kalıpla zımba içerisine açılır. Destek plakalarına açılan kanallar kalıbın soğutulmasında, dişi kalıp ve zımbaya açılan kanallar ise, kalıbın ısıtılmasında kullanılır. Şekil 3.11’de tek açılma çizgisi bulunan kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tek açılma çizgisi bulunan kalıp [30].

b – İki açılma çizgisi bulunan kalıplar

Üretim sayısını artırmak amacıyla birden fazla kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda iki açılma çizgisi tasarımı yapılabilir. Bu tip kalıplarda dişi kalıp veya zımba, çift yönlü kalıplama işlemini görür. Kalıp dayanımını artırmak için esas kalıp elemanları, destek plakalarıyla takviye edilir. Ayrıca, kalıplar içerisine ısıtıcı veya soğutucu kanallarda açılabilir. Şekil 3.12’de iki açılma çizgisi bulunan kalıp ve kalıplama işlemi gösterilmektedir.



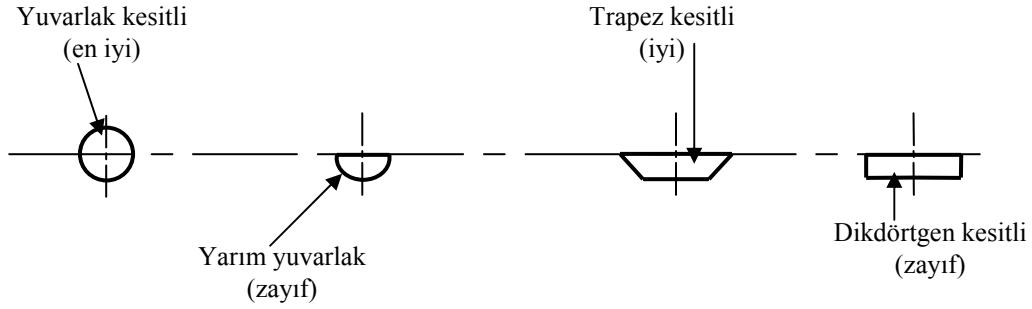
Şekil 3.12. İki açılma çizgisi bulunan kalıp [30].

c – Üç açılma çizgisi bulunan kalıplar

Bir merkez çevresinde çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıpların genellikle üç kalıp açılma çizgisi bulunur. Ayrıca, değişik profilli parçaların kalıptan çıkartılabilmesi için de en az iki veya üç açılma çizgisinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, çoklu veya değişik profilli parçaların üretilmesinde kullanılan kalıplarda üç açılma çizgisi bulunur. Aksi halde, parçanın kalıptan çıkartılması veya artık plastik maddenin alınması zorlaşır ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamaz.

Dağıtıcı kanallar, yolluk ve giriş kanalı arasındaki bağlantı kanalıdır. Dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları, kalıp tasarımında düşünülmesi gereken en önemli kısımlardan biridir. Enjeksiyon basıncı kaybını en aza indiren ve plastik maddenin akışına hız kazandıran boyutlarda olmalıdır. Ancak, plastik maddenin donmasına sebep olabilecek büyüklükte olmamalıdır. Bazı kalıplama işlemlerinde, dağıtıcı kanalların yeniden taşlanması ve kullanılması düşünülebilir. Dağıtıcı kanalların yeniden taşlanması ve kullanılması kalıp maliyetini, malzeme sarfiyatını ve zaman kaybını artırır. Ayrıca, kalıplanan parçanın fiziksel özelliklerini de etkiler.

En çok kullanılan dağıtıcı kanalların kalıp açılma çizgisi üzerinde kesit görünüşü yuvarlak, yarım – yuvarlak, trapez ve dikdörtgen biçimindedir. Şekil 3.13’de dağıtıcı kanal kesitleri ve özellikleri gösterilmektedir [30].



Şekil 3.13. Dağıtıcı kanal kesitleri ve özellikleri [30].

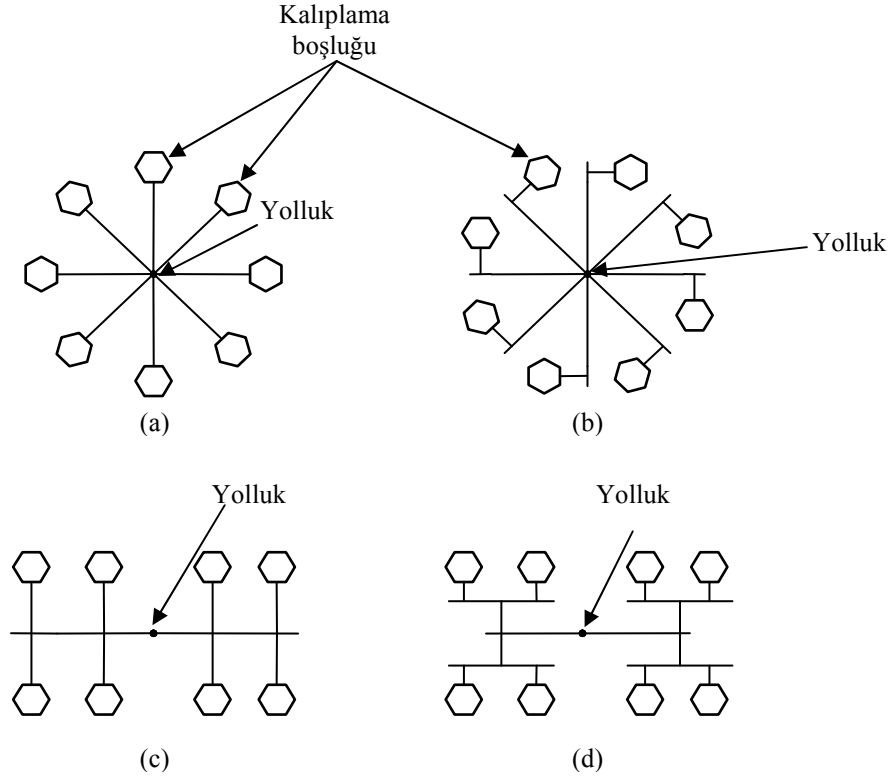
Yuvarlak kesitli dağıtıcı kanallar, basınç ve sıcaklık kaybını önleyen en iyi yolluk ve giriş bağlantı kanalıdır. Trapez kesitli dağıtıcı kanallar genellikle kalıp yarımlarından birine açılır. Bu tip dağıtıcı kanallar en çok üç plakalı ve yuvarlak kesitli dağıtıcı kanalların açılması mümkün olmayan kalıplara açılır. Diğer yarım yuvarlak ve dikdörtgen kesitli dağıtıcı kanallar tercih edilmezler ve mümkünse kullanılmazlar.

Tercih edilen dağıtıcı kanallarının kalıp içerisindeki yerleşim konumu, kalıplama dengesine uygun olmalı veya kalıplama işlemini dengeleyici yönde olmalıdır. Dengeli yerleştirilmiş dağıtıcı kanallar, yolluktan düzgün hızda gelen plastik maddeyi, yolluktan eşit uzaklıktaki ve aynı ölçülerdeki kalıplama boşluklarına aynı hızda iletirler.

Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplardaki dağıtıcı kanalların boşluklarının tipleri şekil 3.14’de gösterilmiştir.

Şekil 3.14.a’ da radyal dağıtıcı kanallar, kalıplama boşluğuna direkt olarak açılmaktadır, b’ deki tercih edilen dağıtıcı kanallar, sıcaklığı fazla olan plastik maddenin kalıplanmasında ve kalıplama boşluğu düzgün kollara ayrılmış kalıplarda kullanılır.

Çoklu kalıplama boşluğu olan kalıplarda, bütün boşlukların aynı anda doldurulması veya plastik maddenin bütün boşluklara aynı oranda akması gerekmektedir. Kalıplama boşluklarına akan plastik madde oranı farklı ise, bazı kalıplama boşlukları boş kalacak ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamayacaktır [30].



- (a) Merkezden çevreye (zayıf)
- (b) Merkezden çevreye (iyi)
- (c) Standart
- (d) "H" tipi

Şekil 3.14. Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tipleri [30].

Dağıtıcı kanal ile kalıplama boşluğunu birbirine bağlayan belli biçim ve boyutlardaki kanallara, giriş kanalı denir.

Giriş kanalları, yeterli miktardaki plastik maddenin kalıplama boşluğuna girmesini ve kalıbı doldurmasını sağlar. Ayrıca, kalıplanan parçanın çekme payını bir miktar önler. Giriş kanallarının boyutları, tipi ve yerleşim planı kalıplanan parçaya etki ederek fiziksel özelliklerini değiştirir. Bu nedenle giriş kanalı boyutları, kalıplanacak plastik maddenin cinsine, kalıplama hacmine, dağıtıcı kanal boyutlarına ve enjeksiyon basıncına göre seçilir.

Giriş kanalları, Doğrudan giriş kanalı ve Sınırlandırılmış giriş kanalı olmak üzere ikiye ayrılır.

Doğrudan Giriş Kanalları: Genellikle kesit alanı büyük olan giriş kanallarıdır. Bu tip giriş kanalları termoplastiklerin kalıplanmasında ve aşağıdaki amaçlar için kullanılır.

1- Dağıtıcı kanalı bulunmayan iki plakalı kalıplarda uygulanan yolluk beslenmeli giriş kanalı,

2- Akrilik ve benzeri yüksek viskoziteli plastiklerin giriş kanalı

3- Maksimum kalıplama basıncını iletmek amacıyla derinliği veya kalınlığı fazla ve simetrik olmayan kalıplama işlemlerindeki giriş kanallarıdır.

Doğrudan giriş kanalları genellikle radyo kabini, tepsi, dikdörtgen kutu, çanak ve benzeri parçaların üretilmesinde kullanılan kalıplarda uygulanır. Çünkü bu tip kalıplarda doğrudan giriş kanalı kalıplama dengesini sağlar.

Çoklu kalıplama işlemlerinde kullanılan kalıpların her kalıplama boşluğuna giriş kanalı açılır. Bu giriş kanalı yarım yuvarlak, dikdörtgen veya kare kesitlidir ve küçük kesit alanı $1,6 \times 1,6 \text{ mm}^2$ dir.

Sınırlandırılmış Giriş Kanalları: Bu tip giriş kanalları genellikle kenar veya merkezden beslenmelidir. En çok, serbest akışlı ve düşük viskoziteli plastik maddelerin kalıplanmasında kullanılır.

Sınırlandırılmış giriş kanallarının faydaları aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz.

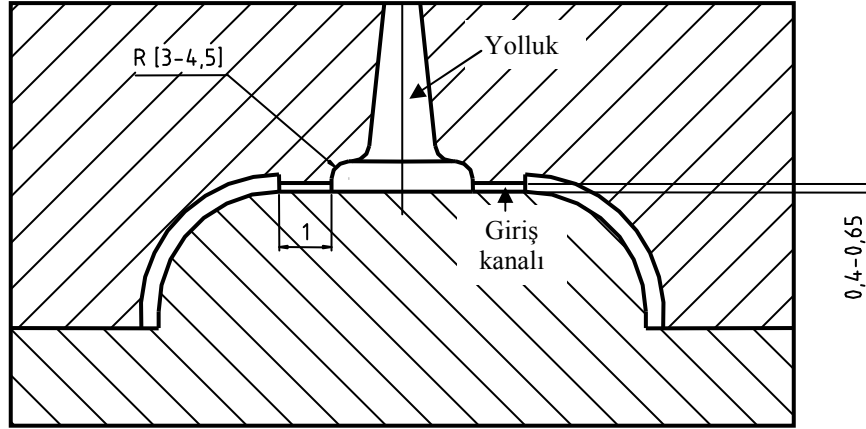
1- Kalıplama işleminden sonra giriş kanalındaki artık plastik maddenin çok çabuk donması gerekiyorsa,

2- Erken donması gereken giriş kanalları,

3-Giriş kanalı çok kısa kesilip kalıplanacak parçanın estetik görünüşü bozulmayacaksa, sınırlandırılmış giriş kanalları kullanılır.

Sınırlandırılmış giriş kanalında, dağıtıcı kanal çapının giriş kanalı çapına oranı (D/d) = 4,5 olmalıdır. Bu orana göre dağıtıcı kanal kesit alanının giriş kanalı kesit alanına oranı 20/1 olmalıdır.

Kalıp merkezlerindeki yolluktan gelen plastik maddeyi çevredeki kalıplama boşluklarına dağıtan giriş kanallarına, disk giriş kanalı denir. Bu tip giriş kanalları doğrudan yolluktan aldığı plastik maddeyi kalıplama boşluğuna iletir. Derinliği 0,4 – 0,65 mm arasındaki dikdörtgen kesitli giriş kanalları kullanılır. Şekil 3.15’de disk giriş kanalı gösterilmektedir.

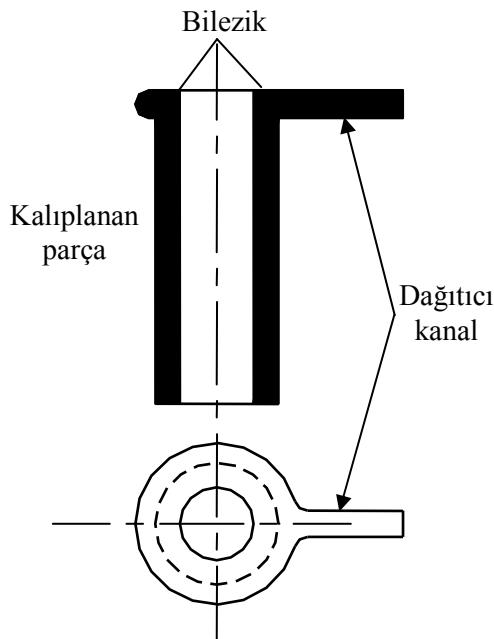


Şekil 3.15. Disk giriş kanalı [30].

Disk giriş kanalı genellikle aşağıdaki amaçlar için kullanılır.

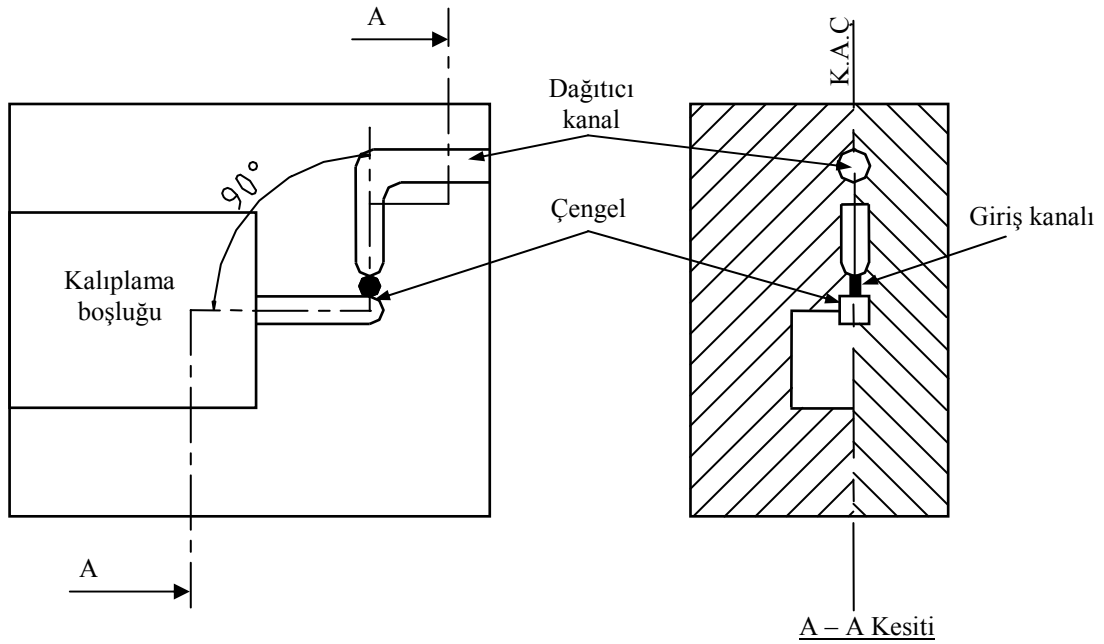
- 1- Düz boru veya içi boş kap biçimindeki simetrik parçaların elle kalıplama işlemlerinde,
- 2- Kalıp açılma çizgisinin görünmemesi gereken kalıplama işlemlerinde,
- 3- Kenar giriş kanalının uygulaması zor büyük hacimli parçaların kalıplanmasında, disk giriş kanalları kullanılır.

Derinliği fazla olan kalıplama işlemlerinde, maça pimi çevresini kolayca doldurmak amacıyla bilezik (ring) tipi giriş kanalı kullanılır. Bilezik tipi giriş kanalı, dağıtıcı kanaldan aldığı plastik maddeyi kalıplama boşluğuna maça pimi çevresinden iletilir. Şekil 3.16'da bilezik tipi giriş kanalı gösterilmektedir.



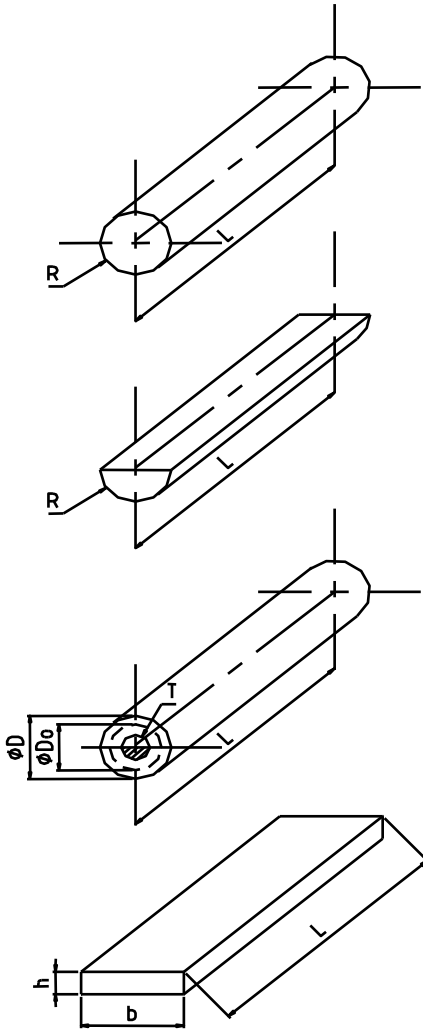
Şekil 3.16. Bilezik tipi giriş kanalı [30].

Çengel tipi giriş kanalı genellikle kare veya dikdörtgen kesitli yapılır. Bazen de yarım yuvarlak kesitli yapılırlar. Giriş kanalı boyutları ise, kalıplanacak plastik maddenin cinsine ve kalıplama hacmine bağlıdır. Ağırlığı 112 gram olan plastik parçanın kalıplanmasında derinliği 1 mm, genişliği 3.125 mm ve boyu 1.5 – 2 mm arasında olan dikdörtgen kesitli çengel tipi giriş kanalları kullanılır. Büyük hacimli parçaların kalıplanmasında bu giriş kanallarının boyutları 1.8x(1.5 – 4.8) mm dikdörtgen kesitli olarak yapılır. Şekil 3.17’de çengel tipi giriş kanalı gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Çengel tipi giriş kanalı [30].

Giriş kanallarının debisi: Giriş kanallarının biçimi, boyutları ve plastik maddenin cinsine göre kalıplama boşluğuna gönderilecek plastik maddenin debisi bulunur. θ debi (mm^3/sn), P birim yüzeye gelen basınç (kg/mm^2), R giriş kanalı yarıçapı (mm), b giriş kanalı genişliği (mm), h giriş kanalı derinliği (mm), T halka kesitli giriş kanalı et kalınlığı $[(D - d/2)]$ (mm), l giriş kanalı boyu (mm), D_0 halka giriş kanalı ortalama çapı (mm), d halka kesitli giriş kanalı iç çapı (mm), D halka kesitli giriş kanalı dış çapı (mm), η plastik maddenin kalıplama anındaki viskozitesi ($\text{kg.sn}/\text{mm}^2$) olmak üzere aşağıdaki formüllerle bulunur [30].



1- Yuvarlak kesitli giriş kanallarında;

$$\text{Debi } \theta = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot P}{8 \cdot \eta \cdot l}, \text{ mm}^3/\text{sn} \quad (3.4)$$

2- Yarım yuvarlak kesitli giriş kanallarında;

$$\text{Debi } \theta = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot P}{16 \cdot \eta \cdot l}, \text{ mm}^3/\text{sn} \quad (3.5)$$

3- İç içe halka kesitli giriş kanallarında;

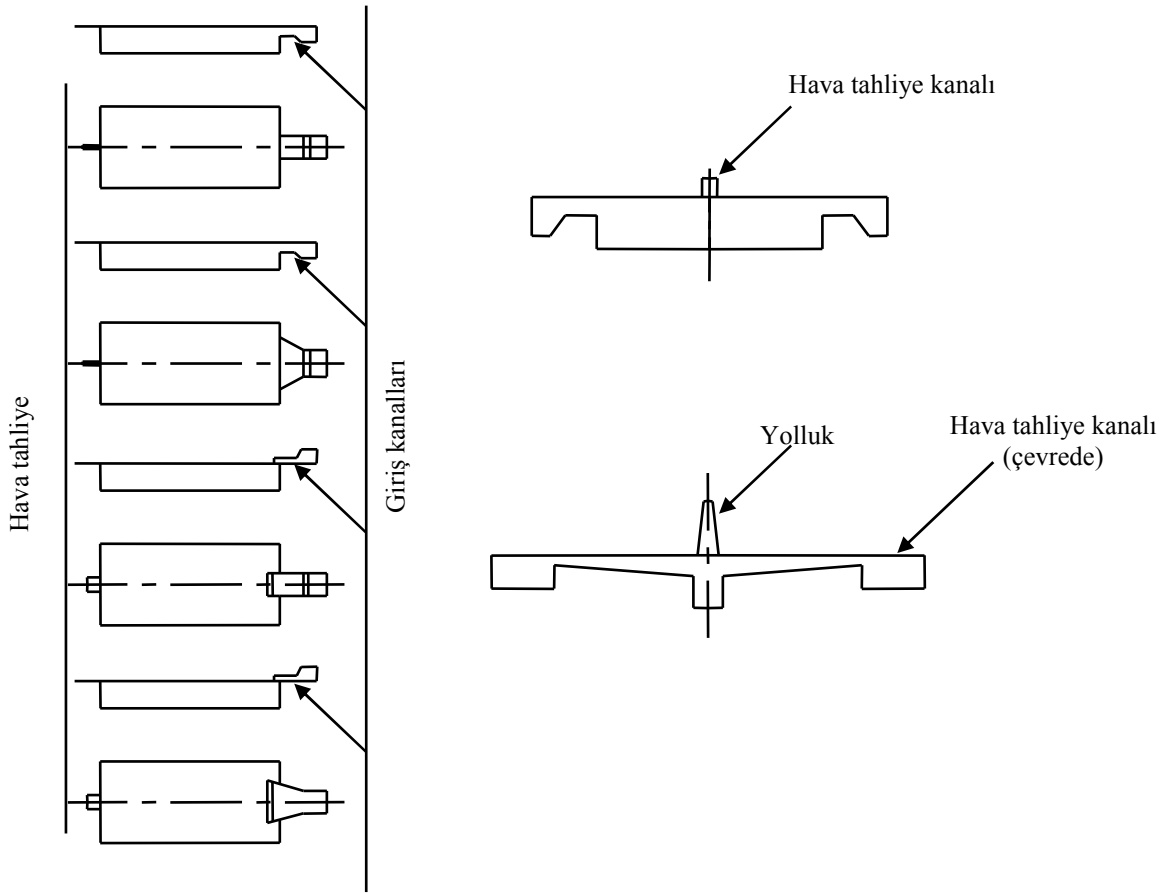
$$\text{Debi } \theta = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot T^3 \cdot P}{12 \cdot \eta \cdot l}, \text{ mm}^3/\text{sn} \quad (3.6)$$

4- Dikdörtgen kesitli giriş kanallarında;

$$\text{Debi } \theta = \frac{b \cdot h^3 \cdot P}{12 \cdot \eta \cdot l}, \text{ mm}^3/\text{sn} \quad (3.7)$$

Hava tahliye kanalları, akışkan haldeki ısıtılmış plastik madde kalıp içerisine enjekte edildiğinde, kalıplama boşluğundaki havayı dışarı atar. Hava tahliye kanalı açılmamış ve hassas olarak alıştırılmamış bir kalıp istenilen sıkma kuvveti ile kapatıldığında, kalıp içerisine enjekte edilen plastik madde hava basıncıyla karşılaşır. Kalıp içerisindeki sıkışık hava, plastik maddenin kalıplama boşluğunu doldurmasını engeller. Aynı zamanda plastik madde ile hava karışarak kalıplanan parça içerisinde hava boşlukları meydana getirir. Bu nedenle, kalıplar içerisine uygun ölçülerde hava tahliye kanalı açılır ve kalıplama anında kalıp içerisindeki havanın dışarı çıkması sağlanır. Hava tahliye kanallarının boyutları ve kalıp içerisinde yerleşim planı, genellikle tecrübeye bağlı olarak bulunan değerlere göre alınır. Hava tahliye kanalları genellikle kalıp açılma çizgisi üzerine yerleştirilir. Yerleşim konumu ve boyutları, kalıplanacak plastik maddenin cinsi ve kalıplama boşluğunun hacmine bağlı olarak seçilir. Genellikle 0.025 mm derinliğinde ve kalıplama hacmine bağlı olarak 25 mm genişliğine kadar kalıp yarımından birine açılır. Hava tahliye kanalının 25

mm olması mümkün değilse, 0.125 mm ve genişliği 12 mm olacak şekilde açılır. Genellikle küçük boyutlu kalıplara hava tahliye kanalı açılmasına gerek yoktur. Çünkü kalıp yarımları alıştırma boşluğu arasından hava kolayca çıkabilir. Büyük boyutlu kalıplarda hava tahliye kanalı, plastik madde giriş kanalı karşısına gelecek şekilde açılmalıdır. Merkezden veya çevreden disk giriş kanallı kalıplardaki hava tahliye kanalları, giriş kanalı konumuna göre çevreden veya merkezden açılır. Şekil 3.18’de giriş kanalı yerleşim konumuna göre hava tahliye kanalları gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Giriş kanalı yerleşim konumuna göre açılan hava tahliye kanalları [30].

3.6. Enjeksiyon Kalıplarında Malzeme Seçimi

Plastik kalıpcılıkta malzeme seçimine etki eden faktörler;

1. Kalıplanacak plastik tipi
2. Kalıplama yöntemi
3. Kalıplanacak parçanın dizaynı
4. Maliyet, kalıp malzemesi ile ilgili faktörler;

5. Mekanik dayanımı
6. Aşınma dayanımı
7. Korozyon direnci
8. Termal iletkenlik
9. Tokluk veya güçlülük, kalıp imalatı ile ilgili faktörler;
10. Sertleşebilme kabiliyeti
11. Isıl işlemde boyutsal denge
12. İşlenebilme
13. Kaynak yapılabilme
14. Parlatılabilme kabiliyeti
15. Temin edebilme [32].

Tablo 3.4’de plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan çelik malzemeler ile içerdikleri alaşım elementleri gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Plastik enjeksiyon kalıp malzemeleri ve alaşımları

PROSES	DIN NORMU	ALAŞIM ELEMENTLERİ							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S
Plastik Kalıp Malzemeleri	1.2738 (40CrMnNiMo8–6–4)	0,38	0,30	1,5	2,00	0,20	1,10	-	-
	1.2311 (40CrMnMo7)	0,40	-	1,5	2,00	0,20	-	-	-
	1.2312 (40CrMnMoS8–6)	0,40	0,40	1,5	1,90	0,20	-	-	0,08
	1.2316 (X36CrMo17)	0,38	0,40	0,65	16,00	1,00	0,80	-	-
	1.2083 (X42Cr13)	0,41	0,70	0,45	14,30	0,60	-	0,20	-

1.2738: Polisaja, foto – dağlamaya çok uygun, geliştirilmiş bir kalitedir. Vakumlu, enjeksiyonla ekstrüzyon ile ve presleme yolu ile şekillendirilen ev eşyaları, taşıt aksesuarları, büro makine ve araçları, ambalaj kutuları, oyuncak v.b. üretimlerde kalıp olarak kullanılır. Bölgesel olarak sertleştirilebilir.

1.2311: Çoğunlukla plastik enjeksiyon makinelerinde sevk vidası ve silindiri olarak kullanılır. Çok iyi nitrasyon ve tenifer yapılabilir. Öz direncinin de yüksek oluşu, yüksek

basıncılı makineler için tercih nedenidir. Ayrıca, yüksek üretim miktarlarının istendiği her türlü kalıpta rahatlıkla kullanılır.

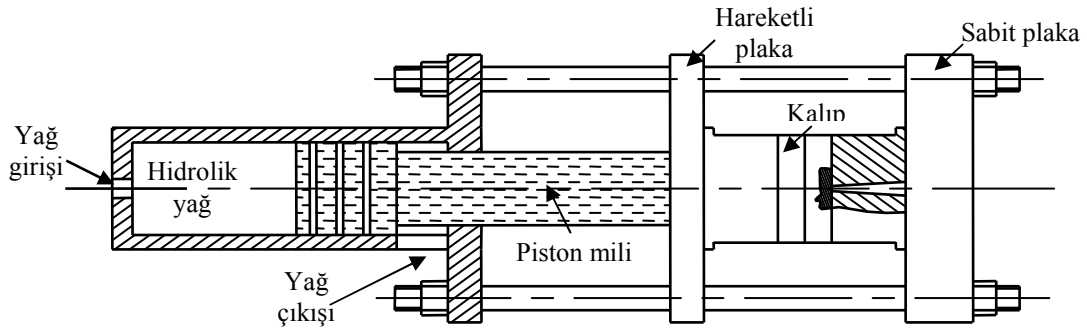
1.2312; Yüksek korozyon dayanımı istenen plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılır. Özellikle PVC kalıpları için idealdir.

1.2316; Özellikle takviyeli aşındırıcı plastiklerin kalıplanmasında ve yüksek üretim miktarlarının istendiği kalıplarda tavsiye edilir. Esnekliği, aşınma direnci ve basınca dayanımı yüksektir. Kendi analizinde özel kaynak elektrodu olması sebebi ile kaynaklanması oldukça kolaydır. Alev ve indüksiyonla yüzey sertleştirilebilir.

1.2083; Analiz ve yapı yönünden geliştirilmiş çeliktir. Asit etkisi olan PVC ve benzeri plastik kalıpları, optik mercekler, oto aydınlatma aksesuar kalıpları için uygundur. Ayna gibi parlatılabilir. Yumuşak tavllanmış olarak sevk edilir. İşleme problemi yoktur. Isıl işlemde sorunsuzdur [32].

3.7. Enjeksiyon Makineleri ve Özellikleri

Enjeksiyon kalıplama, termoplastikler ve termoset plastiklerin kalıplama metodudur. Toplam plastiklerin % 25'i, enjeksiyon kalıplama metoduyla parça üretiminde kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyonunda kullanılan preslerin %60'ını, vidalı, %35'ini, dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri oluşturmaktadırlar. Şekil 3.19'da enjeksiyon presi hidrolik kalıp sıkma ünitesi gösterilmiştir.

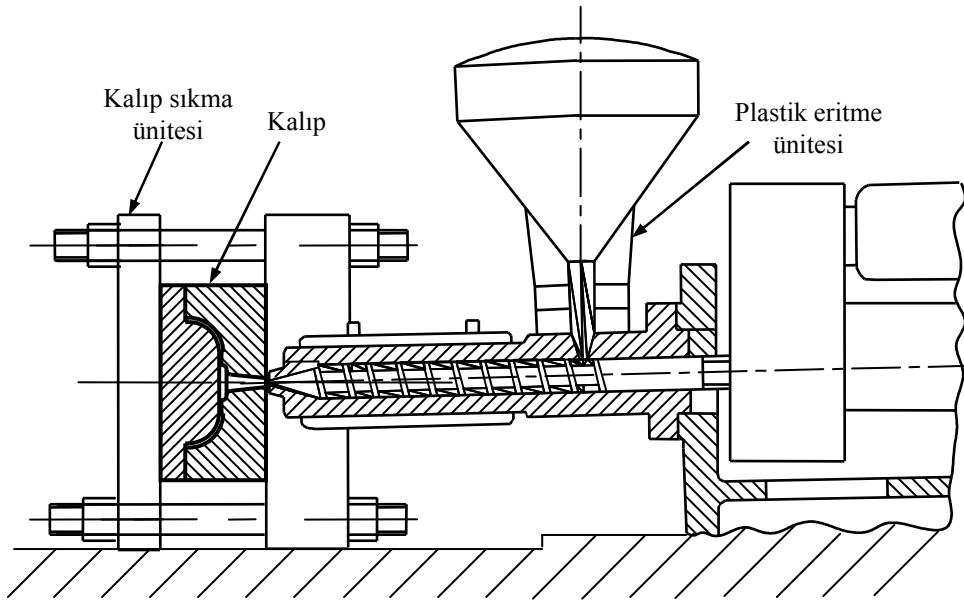


Şekil 3.19. Enjeksiyon pres kalıp sıkma ünitesi [30].

Enjeksiyon presleri genellikle üç değişik tipte yapılmıştır.

- 1- Tek dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri,
- 2- Çift dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri,
- 3- Vidalı ve dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri,

Dalıcı pistonlu enjeksiyon presleri, 450 gram kapasiteli ve 425 ton hidrolik kalıp sıkma ünitesi preslerdir [30]. Toz veya küçük taneler halindeki plastikler bir huni yardımıyla pres içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan, silindirin sıcaklığı malzeme cinsine göre ayarlanır. Silindir içerisinde eritilen plastik madde hidrolik piston vasıtasıyla kalıp içine itilir. Kalıbın şeklini alan plastik malzeme kalıbın soğutulup açılmasıyla kalıptan çıkartılır [33]. Ancak vidalı enjeksiyon preslerine oranla, dalıcı pistonlu enjeksiyon preslerinin kalıplama hızı daha düşük ve basınç kaybı daha fazladır. Bu nedenle, dalıcı piston ucundaki enjeksiyon basıncı, enjekte memesi ucundaki basınçtan daha azdır. Vidalı enjeksiyon preslerinde ise, silindir içerisinde ve enjeksiyon memesi ucundaki basınçlar aynıdır. Çift dalıcı enjeksiyon preslerinde, bir besleme silindiri aynı zamanda plastik madde ergitme silindiri, birde enjeksiyon silindiri vardır. Besleme silindiri enjeksiyon silindirini daima besler. Vidalı ve dalıcı pistonlu enjeksiyon preslerinde vidalı enjeksiyon silindiri, plastik maddeyi ergitme ve enjeksiyon silindirini beslemektedir [30].



Şekil 3.20. Plastik eritme ünitesi [33].

Plastik enjeksiyon işleminin önemli avantajlarından biri, bu metotla, otomize edilmiş üretim hatlarının, bir tek basamağında bile çok kompleks yapılara sahip ürün elde edilebilmesidir. Enjeksiyon işlemi için gerekli ekipmanlardan biri, enjeksiyon makinesi, diğeri kalıptır. Bir enjeksiyon makinesinin başlıca komponentleri;

- Plastikasyon (plastikleştirme) ve enjeksiyon ünitesi,
- Mengene ünitesi,
- Kontrol sistemi,

Kalıp ve kalıp elemanlarıdır.

Bugün kullanılan enjeksiyon makinelerinin belli limitler dahilinde, farklı geometrilere sahip hemen hemen her tür eşya üretimi sağlayan farklı kalıplar kullanabilme özellikleri, bu makinelerin sözde üniversal makine olarak adlandırılmasına sebep olmuştur.

Enjeksiyon işlemi tam olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur.

1- Plastikasyonun başlaması: Helezon dönerek bir yandan malzeme hunisinden ocağın içine plastik hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru iter. Helezon bu işlemi yaparken eksenel olarak geriye doğru hareket eder.

2- Plastikasyonun bitmesi: Helezonun dönmesi durur. Memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır.

3- Kalıbın kapanması: Mengene, kalıp parçaları tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapanır.

4- Enjeksiyonun başlaması: Helezon dönmeden, eksenel olarak ileri hareketiyle erimiş plastik malzemeyi kalıp boşluğuna doğru iter yani enjekte eder.

5- Enjeksiyonun bitmesi ve kalıbın içindeki malzemenin soğuması: Artık sıcak malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak mal daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya başlar ve çekme yapar yani büzülür [31].

Enjeksiyon işlemi, özellikle kompleks geometriye sahip olan kalıplar kullanılırken ikiye ayrılır. Bunlardan ilki normal enjeksiyon işlemidir, malın kalıba belli bir basınç ve değişik hızlarda enjekte edilmesidir. Diğeri ise ütüleme işlemidir, Kalıba basılan malzemenin çekmesine veya çapaklanmasına engel olmak üzere belirlenen bir konumdan itibaren değişik basınçlar ve belli bir hızda enjeksiyon işleminin devam ettirilerek kalıp boşluğunu iyice doldurması işlemidir [31, 34]. Şekil 3.21’de bir plastik enjeksiyon makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Plastik enjeksiyon makinesi [34].

4. PAKET PROGRAMIN HAZIRLANMASI VE PROGRAMDA KULLANILAN YÖNTEMLER

4.1. Paket Programda Kullanılan Yöntemler

Farklı amaçlar için hazırlanan bir paket program genellikle veri sistemi ve sayısal denklemler üzerine kurulmaktadır. Bu nedenle, hazırlanan bir paket programda en önemli etmen veritabanı ve programın içeriğine uygun kullanılan yöntemlerdir. Bu bölümde, hazırlanan paket program için kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

4.1.1. Veritabanları ve Veritabanı Tasarımı

Veritabanı düzenli bilgiler topluluğudur. Kelimenin anlamı bilgisayar ortamında saklanan düzenli verilerle sınırlı olmamakla birlikte, daha çok bu amaçla kullanılmaktadır. Bilgisayar terminolojisinde, sistematik erişim imkânı olan, yönetilebilir, güncellenebilir, taşınabilir, birbirleri arasında tanımlı ilişkiler bulunabilen bilgiler kümesidir. Bir başka tanımı da, bir bilgisayarda sistematik şekilde saklanmış, programlarca işlenebilecek veri yığınıdır.

İyi bir veritabanı tasarımı yapabilmek için yetenek, bilgi ve tecrübe çok önemlidir. Veritabanı tasarımı yapılırken aşağıdaki kurallar göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

1. Nesnelerin tanımlanması: Herhangi bir proje için öncelikle nesneler tanımlanmalıdır. Nesne, çeşitli özellikleri bulunan bir varlıktır.

2. Her nesne için bir tablonun oluşturulması: Her bir nesne için bir tablo oluşturulmalı ve her bir tabloya içereceği veriyi en iyi anlatan bir isim verilmelidir.

3. Her bir tablo için bir anahtar alanın seçilmesi: Veritabanındaki herhangi bir veriye erişmeden önce tabloya erişilir. Bir veritabanında en çok muhatap olunan nesne grubu genellikle tablolardır. Her bir tablonun içinde hangi bilgilerin saklanacağı kabaca biliniyordur. Bu aşamada, tabloda yer alacak her bir kaydı bir diğerinden ayırabilecek bir sütuna ihtiyaç duyulur. Örneğin, bir malzeme seçmek istendiğinde, bu malzemenin özellikleri öyle bir anlatılmalı ki, başka hiçbir malzeme ile karışmamalı.

4. Nesnelerin gerekli her bir özelliği için tabloya bir sütun eklenmesi: Tablo adlarını tamamladıktan ve anahtar adlarını belirledikten sonra, tablolara adını veren nesnenin her

bir özelliği için bir alan(sütun) eklenir. Örneğin, plastik malzeme için; plastik malzemenin adı, özgül ağırlığı, erime sıcaklığı gibi eklemeler yapılır.

5. Tekrarlayan nesne özellikleri için ek tabloların oluşturulması: Her projeye uyacak evrensel bir veritabanı tasarım tekniği yoktur. Yani her şey belli kurallar etrafında ne kadar teferruatlı düşünülebilirliğine bağlıdır.

6. Anahtar alana bağlı olmayan alanların belirlenmesi: İlişkisel veritabanında, tablodan herhangi bir tek kayda erişmek için mutlaka bir farklı özellik sağlanmalıdır ve bu özellik de anahtar alan tarafından sağlanır. Ancak bazen, anahtar alan ile aynı satırda yer aldığı halde, anahtar alan ile birebir ilişkisi olmayan bir alan yer alabilir. Bu türden alanları elimine edip ayrı tablolara ayırmak gerekir.

7. Tablolar arasındaki ilişkilerin tanımlanması: Her biri bir nesneye dair özellikleri barındıran tabloların tümünü göz önüne alınmalı ve birbirleri ile olan ilişkilerinin tanımlanması gerekir [35].

4.1.2. Optimum Tasarım

İnsanların yaşamları boyunca karşılaştıkları sorunları çözüm arayışları zamanla bu çözümleri modeller üzerinde arama yaklaşımını doğurmuştur. Matematik ve bilgisayardaki gelişmeleri dış dünyanın problemlerini matematiksel olarak modelleyip çözerek bu çözümleri gerçek hayata yansıtma olanağı vermiştir. Matematiksel modelleme tekniği öncelikle doğrusal ve az sayıda değişkenlerin kullanılmasıyla başlamıştır. Bir süre sonra doğrusallık varsayımının her problem için geçerli olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda doğrusal olmayan modellemeye gidilmiştir. Ancak doğrusal olmayan modellerin kendine özgü çözümleri uygulamada birçok sorunu beraberinde getirmiştir. Zamanla geliştirilen bazı yöntemlerle doğrusal olmayan modellerin hızla çözümlenmesi sağlanmış ve bu optimizasyon teorisini geliştirmiştir. Optimizasyon, reel bir fonksiyonu maksimize veya minimize etme probleminin çözümünü, çözüm için izin verilen bir küme dâhilindeki reel veya tamsayı değerlerini sistematik bir şekilde kullanarak arama işlemidir. Optimizasyon "En iyi" anlamına gelir ve her zaman için hedeflenen bir sonuçtur. Bir işin yapılmış olması demek, o işin en iyi şekilde yapıldığı anlamına gelmez. Optimizasyon teknikleri, yapılmış veya yapılmakta olan işin en iyi çözümünü ortaya koymak için kullanılır. Bu teknikler kullanılarak ortaya konulmuş olan çözüm, optimum çözüm olarak adlandırılır. Hedef her zaman için bu optimum çözümü yakalayabilmektir. Optimizasyon, anlamından da

anlaşılacağı gibi, her alanda kullanılmaktadır. Yapılacak olan bir inşaatın tutun bir web sitesine kadar her alanda bu tekniklere ihtiyaç duyulur.

Optimizasyon bir problemin en iyi sonucunu bulmaya çalışır. En iyi tasarımı nasıl elde edeceğimizi anlatmak için kullanılır. Örneğin, en az maliyetle malzeme kesme stratejisi, minimum ağırlık ve maksimum mukavemet için kalıp tasarımı, maliyeti minimuma indirmek için planlı bakım gibi milyonlarca örnek optimizasyonun mühendisliğe uygulanışının göstergesidir.

Optimizasyon problemlerinde dikkat edilmesi gereken kurallar, problemin hedefini içeren bir amaç fonksiyonunun olması, bir tasarım vektörünün olması ve problemdeki sınırlayıcı koşulları tanımlayan kısıtların olması şeklinde sıralanabilir. Yani yukarıdaki ifadelerle göre optimizasyon problemi matematiksel " $F(x)$, $D(x) < a$, $E(x) = b$ " olarak ifade edilebilir. Burada x , maksimumu veya minimumu gerçekleyecek bir tasarım vektörü; $f(x)$ =amaç fonksiyonu; $d(x)$ 'ler eşitsizlik şeklindeki kısıtlamalar; $e(x)$ 'ler ise eşitlik şeklindeki kısıtlamaları ifade etmektedir [36].

4.1.3. Maliyet Hesabı

İnsanlar var oluşlarından bugüne kadar yaşamlarını sürdürmek için üretim yapmışlardır. İlk zamanlarda ürettiklerini, kendilerinin üretemediği ve başkalarının ürettiği şeylerle takas etmişlerdir. Ancak, takas ederken ürettiklerinin maliyetini göz önünde bulundurarak takas işlemini gerçekleştirmişlerdir. Buradan da anlaşıldığı gibi insanlar ilk zamanlarda maliyetle ilgilenmeye başlamışlardır. Teknolojinin gelişmesi yani üretimin atölyelerde ve fabrikalarda yapılması ile maliyet sistemine önem verilmiş ve maliyet ile üretim arasında mantıklı ilişkiler kurulmuştur. Aynı malı üreten işletmelerin çoğalması ile rekabet ortaya çıkmıştır. İşletmeler, birbirleri ile rekabet edebilmek, üretecekleri mal veya hizmetin maliyetini aşağı çekebilmek için maliyet muhasebesinden faydalanmaya mecbur kalmışlardır. Bugün maliyet muhasebesi büyükten küçüğe mal ve hizmet üreten her yerde kullanılmaktadır.

Maliyet muhasebesi finansal iç bilgi sisteminin temelini oluşturur. Bu nedenle maliyet muhasebesi yönetim açısından çok önemlidir. Yönetim, hangi mamul üretileceğine karar vermek, ürettiği mamulün birim maliyetini hesaplayabilmek, işletmenin başarı değerini ölçmek için maliyet muhasebesine ihtiyaç duyar. Maliyet muhasebesi, her bir mal veya hizmetin birim maliyeti, çalışan bir parçanın, bölümün veya fabrikanın maliyeti,

işçilik maliyeti, hurda, düzeltme maliyeti, aktivitelerin değişen bölümleri ile maliyet davranışları gibi konularda bilgiler sağlamaktadır. Yönetim, fiyatların kararlaştırılması, üretim planlaması ve maliyet kontrolünde, organizasyonun planı ve maliyet kontrolünde, üretim planları, işçilik maliyeti kontrolünde, kar planlaması, üretim ve satış karları maliyet kontrolünde maliyet muhasebesinden faydalanmaktadır.

Üretim işletmelerinde, üretilen mamul ve hizmetlerin maliyetlerini hesaplamak için çeşitli maliyet hesaplamaları kullanılmaktadır. Bu hesaplamaların konusu da maliyet muhasebesinin amaçlarını oluşturur. Buna göre maliyet muhasebesinin amaçları aşağıda olduğu gibidir.

—Üretilen mamul veya hizmetlerin maliyetinde kullanılan çeşitli giderlerin dağıtılması,

—Maliyetlerin yükselmesi durumunda maliyet fiyatı gelişimini gözetmek,

—Mamul satış fiyatının belirlenmesine yardımcı olmak,

—Stokların kontrol edilmesine yardımcı olmak,

—Faaliyet sonuçlarının elde edilmesine yardımcı olmak,

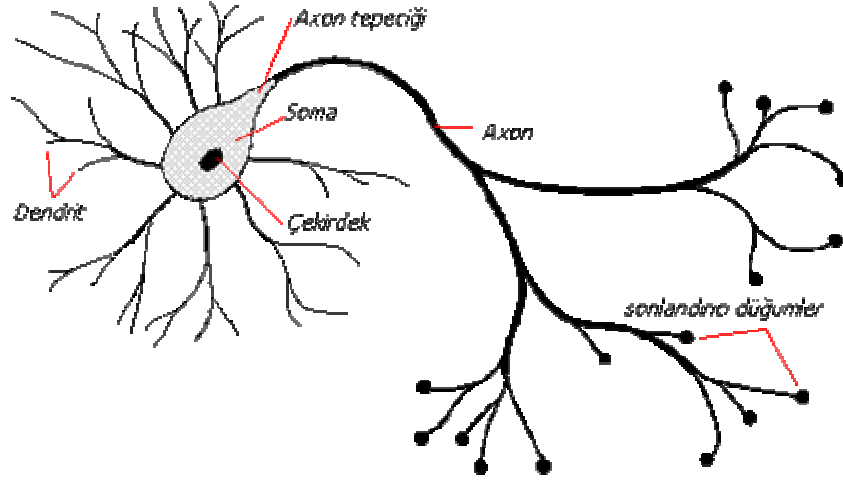
—Giderler üzerinde kontrolün sağlanması,

—Kısa, orta ve uzun dönemli planlama faaliyetleri için gerekli bilgilerin sağlanması,

—İşletme faaliyetlerinin kontrolünde ve analizinde yardımcı olmaktır [37].

4.1.4. Yapay Sinir Ağları(YSA)

Biyolojik sinir ağının temel inşa bloğu olan basit bir sinir hücresi nöron olarak adlandırılır. Şekil 4.1’de şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritler. Dendritler dendritik ağaç biçimindedir, nöron gövdesi civarında uzun çalılar görünümündedirler. Dendritler üzerinden girişler alınır, soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dendrit bağlantısı ise synapse olarak adlandırılır. Synapse nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.

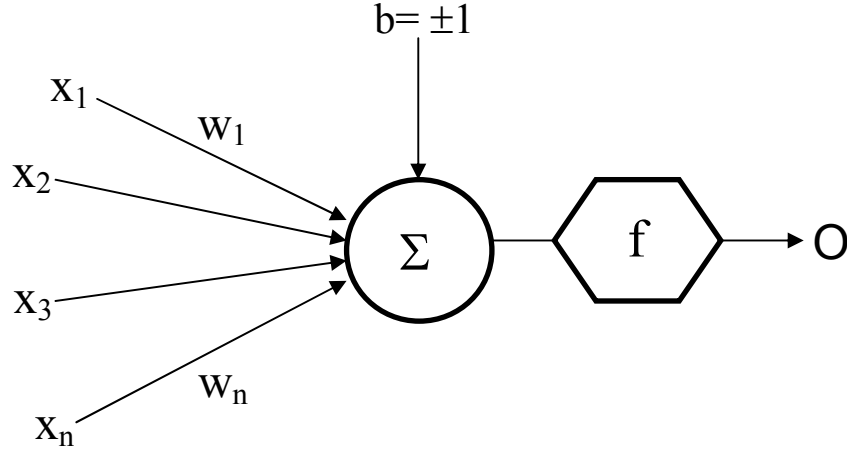


Şekil 4.1. Basit bir sinir hücresi

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon synapse veya bağlantının bulunduğu tahmin edilmektedir. Sonuçta beyin son derece verimli bir yapıdır. Özellikle beynin enerjik verimliliği, her saniyede her bir işlem için yaklaşık 10–16 joule'dur, bu değer bugünün en iyi bilgisayarlarında yaklaşık 6–10 joule'dur. Beyin son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Beynin nöronları organize etme yeteneği böylece kesin hesaplamaları gerçekleştirmesi (örüntü tanıma, algılama gibi) bugünün en hızlı sayısal bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı günümüzün bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir [38, 39].

Bir hipoteze göre nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Çok büyük sinir ağı çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla bir birine bağlıdır. Ağa giriş duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarım elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir.

bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 4.3. Temel yapay sinir ağı hücresi

Çıkış, $o = f(W.X + b)$, şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. “ n ” giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (4.1)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Ağın ürettiği net değer;

$$\text{net} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad \text{ve } o = f(\text{net}) \quad (4.3)$$

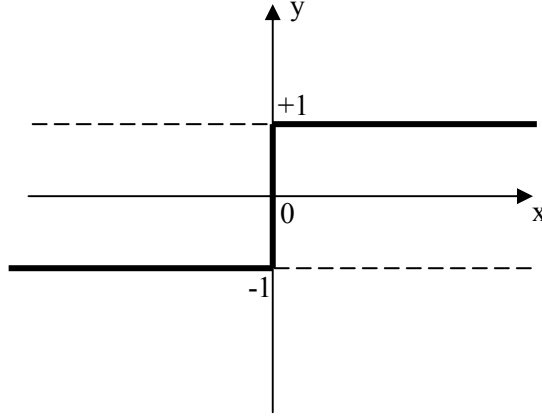
$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.}$$

Yukarıdaki formülde görülen “ f ” aktivasyon fonksiyonudur. Genelde nonlinear olan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır [40, 41].

4.1.4.2. Aktivasyon Fonksiyonları

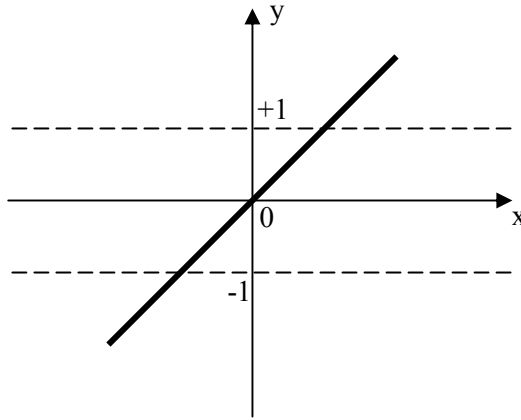
Aşağıdaki şekilde eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında $+1$ değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile $+1$ arasında

değişeni ise signum aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Signum aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini verir.



Şekil 4.4. a) Eşik aktivasyon fonksiyonu

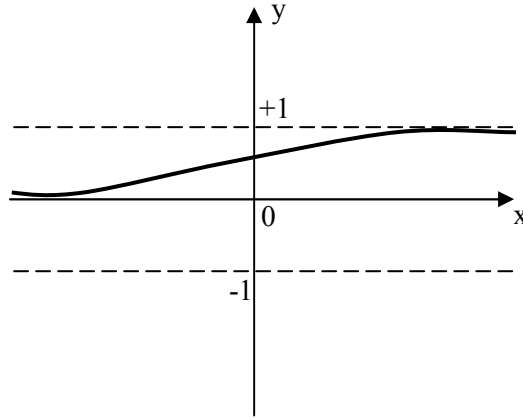
Aşağıdaki şekilde doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.4. b) Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

$f(x) = x$ şeklinde ifade edilir.

Aşağıdaki şekilde logaritma sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayınlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir [40, 41].



Şekil 4.4. c) Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (4.4)$$

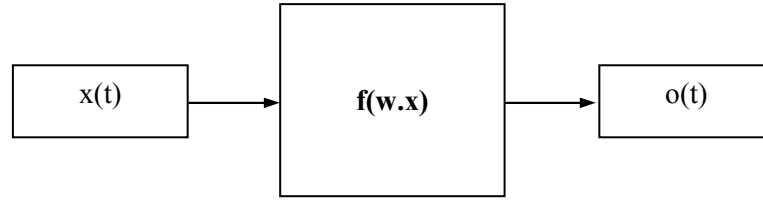
şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde bir olarak seçilmektedir. Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4.5)$$

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır.

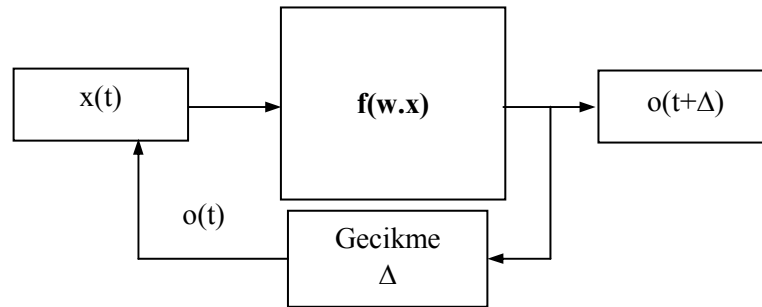
4.1.4.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri

En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir [40, 41].



Şekil 4.5. İleri beslemeli yapı

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli nöral ağ, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağın “t” anındaki çıkışı $o(t)$ ise, “t + Δ ” anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ ’dır. Buradaki “ Δ ” sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları notasyonu kullanılarak $o(t + \Delta)$ şöyle yazılabilir. $o(t + \Delta) = f [W.o(t)]$. Bu formül aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ ’ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ ’dır.



Şekil 4.6. Geri beslemeli yapı

4.1.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp

gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır [38–41]. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılana kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilip, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımı incelenir. Eğer yeni verilen örneklerle de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilip ağın davranışı incelenir diğer bir deyişle ağ böylece test edilir.

4.1.4.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

1990’lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları olarak üç grupta toplanmaktadır.

Eğitici (supervised) öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı “y” eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış “y” ile sinir ağı çıkışı “o” arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağ parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince eğitici ödüllendirme-cezalandırma şemasını ağa uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır.

Eğitici öğrenmede, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen “y” çıkışları bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağın davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Aslında eğitici öğrenme demek doğru değildir, çünkü eğitici öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğitici öğrenme adımlarında dâhil olmamasına rağmen, amaçları ayarlamaktadır.

Takviyeli öğrenmede, ağın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

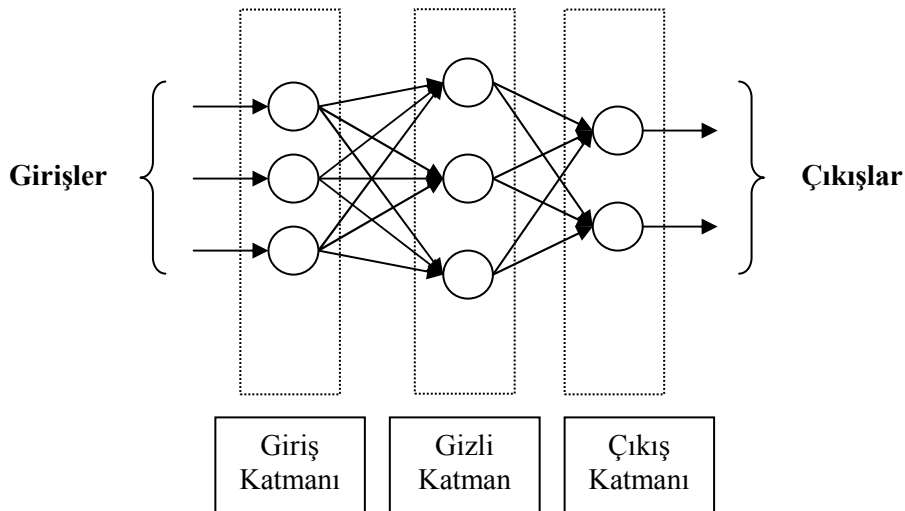
Birçok öğrenme algoritmasının bulunmasından dolayı bu kısımda sadece en popüler öğrenme algoritması olan Geri Yayınım Algoritması ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmalarına değinilmiştir. Geri yayınım algoritması eğitici öğrenmede kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır [39, 40].

4.1.4.5.1. Geri Yayınım Öğrenme Algoritması

Geri yayınım algoritması, sinir ağının eğitici sınıfına giren genel bir algoritmadır. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış - $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (4.6)$$

Birçok sinir hücresinin bir birine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir yapay sinir ağı Şekil 4.7’de görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağlarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı bugüne kadar belirlenememiştir, probleme göre değişen bu nitelikler deneme-yanılma yoluyla bulmaktadır [38–41].



Şekil 4.7. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı

şekildeki çok katmanlı ağı düşünersek, $k+1$. katmandaki i . birime net giriş;

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{S_k} w^{k+1}(i, j) o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (4.7)$$

şeklinde hesaplanır. Birim i 'nin çıkışı ise;

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (4.8)$$

olacaktır. M katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse;

$$\underline{o}^0 = \underline{x} \quad (4.9)$$

$$\underline{o}^{k+1} = \underline{f}^{k+1}(\underline{W}^{k+1} \underline{o}^k + \underline{b}^{k+1})$$

$$k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (4.10)$$

olur. Ağın temel görevi giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir. $\{(\underline{x}_1, \underline{y}_1), (\underline{x}_2, \underline{y}_2), \dots, (\underline{x}_Q, \underline{y}_Q)\}$, Ağın performansı;

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M)^T (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki $\underline{o}_q^M$, q . giriş $(\underline{x}_q)$ olduğunda ağın çıkışıdır, $\underline{e}_q = \underline{y}_q - \underline{o}_q^M$ ise q . girişin hatasıdır. Standart geri yayılım algoritması için yaklaşık adım düşümü algoritmasını kullanır. Performans indeksiyle şöyle yaklaşılır;

$$E = \frac{1}{2} \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (4.12)$$

Burada toplam karelerin toplamı tek giriş-çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir. Yaklaşık adım (eğim) düşümü algoritması bundan sonra şöyle olur;

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (4.13)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (4.14)$$

Burada α öğrenme oranıdır, şöyle tanımlanır;

$$\delta^k(i) \equiv \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (4.15)$$

Performans indeksinin duyarlılığı k. katmanda i. birimin net girişinde değiştirilir. (4.7),(4.12) ve (4.15) denklemleri kullanılarak,

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i,j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i,j)} = \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = \delta^k(i) \quad (4.17)$$

denklemleri elde edilir. Hassaslık yeterliği aşağıdaki yinelemeli ilişkiyle de gösterilebilir.

$$\delta_{-}^k = \dot{F}^k(n_{-}^k) W^{k+1} \delta_{-}^{k+1} \quad (4.18)$$

Burada;

$$\dot{F}^k(n_{-}^k) = \begin{bmatrix} \dot{f}^k(n^k(1)) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^k(n^k(2)) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^k(n^k(S_k)) \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

ve

$$f^k(n) = \frac{df^k(n)}{dn} \quad (4.20)$$

$$\delta_{-}^M = -\dot{F}^M(n_{-}^M)(y_{q_{-}} - o_{q_{-}}) \quad (4.21)$$

olur. Tüm öğrenme algoritmalarında şu adımlar izlenir. İlk önce (4.9)-(4.10) denklemleri kullanılarak giriş ileri yönde yayılır, sonra (4.21) ve (4.18) denklemleri kullanılarak geri yayılır ve son olarak ağırlıklar ve denge (4.13), (4.14), (4.16) ve (4.17) denklemleri kullanılarak güncellenir.

4.1.4.5.2. Levenberg- Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritması (GYA) çok kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. GYA sonuca çok yavaş olarak yaklaşmaktadır. Ayrıca lokal minimuma yakalanma riski de vardır. Geri yayılım, bir adım düşme algoritmasıyken, Levenberg - Marquardt (LM) algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. LM algoritması, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir.

LM öğrenme algoritması minimumu araştırma metotlarının ikincisidir. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılr ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur. $E(\underline{x})$ fonksiyonuna sahip olduğumuzu ve $\underline{x}$ parametresine göre minimize etmek istediğimizi düşünelim. Newton metodunda;

$$\Delta \underline{x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (4.22)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $\nabla^2 E(\underline{x})$ ifadesi Hessian matrisidir ve $\nabla E(\underline{x})$ ise eğimdir. $E(\underline{x})$ 'in karelerinin toplamı fonksiyon olduğunu farz edelim.

$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (4.23)$$

Bundan sonra şöyle gösterilebilir.

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (4.24)$$

$$\nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (4.25)$$

Burada $J(\underline{x})$ Jacobian matristir.

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

ve

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i(\underline{x}) \nabla^2 e_i(\underline{x}) \quad (4.27)$$

dır. Gauss-Newton metodu için $S(\underline{x}) \approx 0$ kabul edilir ve (4.22) denklemi güncellenerek şu hale gelir.

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x})J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x})e(\underline{x}) \quad (4.28)$$

Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu;

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x})J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x})e(\underline{x}) \quad (4.29)$$

şeklinde ifade edilir. μ Parametresi, bir adımda $E(\underline{x})$ artımı sonucunda bir faktörle (β) ile çarpılır, bir adım $E(\underline{x})$ azaltışında, μ parametresi β 'ya bölünür. μ Büyükse algoritma adım düşümü ($1/\mu$ adımı ile) olur, küçük μ parametresi için algoritma Gauss-Newton olur.

Bu algoritmadaki anahtar adım Jacobian matrisinin hesaplanmasıdır. Yapay sinir ağı tasarım probleminde Jacobian matristeki terimler geri yayılım algoritmasının basitçe değiştirilmesiyle hesaplanabilir. Tasarım problemi için performans indeksi denklem (4.11)'de verilmiştir. Bu, (4.23)'teki eşitlikte kolayca görülebilir.

Burada $\underline{x} = [w^1(1,1) w^1(1,2) \dots w^1(S1,R) b^1(S1) w^2(1,1) \dots b^M(SM)]^T$ ve $N=Qx$ dir. SM, Standart geri yayılım algoritması terimleri şöyle hesaplanır;

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i,j)} = \frac{\partial \sum_{m=1}^{SM} e_q^2(m)}{\partial w^k(i,j)} \quad (4.30)$$

Levenberg-Marquardt algoritması için Jacobian matrisin elemanları şöyle hesaplanabilir.

$$\frac{\partial e_q(m)}{\partial w^k(i,j)} \quad (4.31)$$

Bu terimler standart geri yayılım algoritması kullanılarak son katmanda bir değişikliklerle hesaplanabilir.

$$\Delta^M = -\dot{F}^M(n^M) \quad (4.32)$$

(4.32)'deki matrisin her bir kolonu bir vektördür, Jacobianın bir satırını üretmek için ağ geri yayımlıdır.

Sonuç olarak Levenberg-Marquardt algoritması çok hızlı olarak çözüme ulaşmasına rağmen çok fazla bellek gerektirmektedir. Geri yayılım algoritması ise sonuca yavaş ulaşmakta ve daha az bellek gerektirmektedir [42–45].

4.2. Geliştirilen Paket Programın Hazırlanması

Teknolojinin gelişmesi ve buna paralel olarak bilgisayarların yaygın olarak kullanılması insanoğlunu problemlere hızlı, güvenilir ve pratik çözüm yolları bulmaya yöneltmiştir. Bu nedenle, bilgisayar ortamında oluşturulmuş programlarla problemleri çözmek geleneksel yöntemlere göre ön plana çıkmıştır. Bazı problemlerin çözümü için bilgisayar ortamında hazırlanan paket programlar varken bazıları ise halen geleneksel yöntemlerle çözülmektedir. Bu da zaman kaybına ve sonucun güvenilirliğine doğrudan etki etmektedir.

Günümüzde, yaygın olarak kullanılan plastik enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle ilgili pek fazla paket program bulunmamaktadır. Mevcut programlar ise enjeksiyon kalıplama yöntemiyle ilgili problemleri ayrıntılı olarak ele almamaktadır. Bu nedenlerden dolayı plastik enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle ilgili problemleri ayrıntılı olarak analiz edebilen bir paket program geliştirilmiştir.

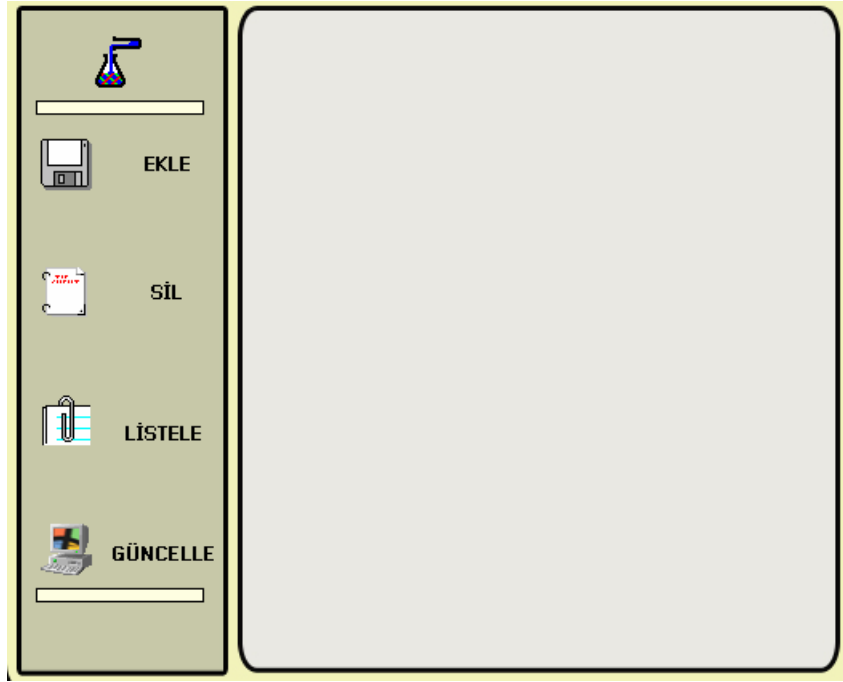
Plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için Delphi programlama dilinde geliştirilen paket program; genel olarak veri bilgi girişi, optimum tasarım ve yardım bölümlerinden oluşmaktadır. Veri bilgi girişi; kalıp malzemelerinin, plastik malzemelerin, plastik enjeksiyon makinelerinin, standart kalıp elemanlarının ve katkı maddelerinin özelliklerini programa tanımlanmasını sağlamaktadır. Optimum tasarım ise girilen verileri kullanarak; enjeksiyon ve soğutma zamanını, mengene basıncını, kalıp maliyet hesabını ve üretilecek bir adet plastik ürünün maliyetini hesaplamak için oluşturulmuştur. Şekil 4.8'de, hazırlanan paket programın ilk açılış ekranı gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Paket programın açılış ekranı

4.2.1. Program Veri Bilgi Girişi

Plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için geliştirilen programa, optimum tasarımın, YSA'nın ve maliyet hesaplarının gerçekleştirilebilmesi için dışarıdan bilgi girilmesi gerekmektedir. Programa bilgilerin tanımlanması için veri bilgi giriş ekranları eklenmiştir. Bunlar; kalıp malzemeleri, plastik malzemeler, enjeksiyon makineleri, standart kalıp elemanları ve katkı maddeleri olarak 5 grup altında toplanmıştır. Veri bilgi giriş ekranında, farklı işlemler ve yenilikler yapabilmek programcılığın en önemli unsurlarındandır. Bu unsurlar bilgi ekleme, silme, listeleme ve düzenleme olarak tanımlanabilir. Şekil 4.9'da bilgi tanımlamalarının yapılması için oluşturulan veri bilgi giriş ekranı gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Veri bilgi giriş ekranı

“EKLE” butonu; seçilmiş olan enjeksiyon parametresinin özelliğine göre programa bilgi girişi yapılmasını, “SİL” butonu; önceden programa kaydedilmiş bilginin kayıt altından silinmesini sağlamaktadır. “SİL” butonuna basılarak silinecek veri seçilir ve seçilen bilgi programdan kaldırılır. Daha önceden seçilen veritabanında hangi bilgilerin kayıtlı olduğunu görebilmek yada seçilen bilgilerin teknik özellikleri hakkında bilgiye sahip olmak için “LİSTELE” butonuna basılarak veritabanında kayıtlı bulunan bilgilerin teknik özelliklerinin listesi ekrana gelmektedir. “DÜZENLE” butonu ise; girilen yanlış bilginin değiştirilmesini yada seçilen bilgilerin güncellenmesini sağlamaktadır.

4.2.1.1. Kalıp Malzemesi Veri Bilgi Girişi

Kalıp malzemesi veri bilgi girişi kalıp malzemelerini programa tanımlamak için oluşturulmuştur. Bu veri bilgi girişi; kalıp malzemesinin özelliğini, çelik kalitesini, özgül ağırlığını ve kalıp malzemesinin birim fiyatını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Veri bilgi girişi yapılan kalıp malzemeleri, optimum tasarım ve kalıp maliyet ekranında seçilebilecek şekilde programa aktarılmıştır. Böylelikle kalıp maliyetinin optimum olarak hesaplanması için kalıbın farklı malzemelerden seçilebilmesine ve kalıp malzeme maliyetinin hesaplanmasına olanak sağlanmıştır. Şekil 4.10’da kalıp malzemesi veri bilgi giriş ekranı gösterilmiştir.

Şekil 4.10. Kalıp malzemesi veri bilgi giriş ekranı

Kalıp malzemelerinin veri bilgi girişinde “EKLE” butonuna basıldığında kalıp malzemesine ait özellikler, ilgili yerlere girilerek bütün bilgiler kayıt altına alınmaktadır.

4.2.1.2. Plastik Malzeme Veri Bilgi Girişi

Plastik malzemeleri ve özelliklerini içeren bu veri bilgi girişi, plastik malzemenin adını, erime sıcaklığını, ortalama erime sıcaklığını, kalıp sıcaklığını, ortalama kalıp sıcaklığını, kullanım alanını, mengene zamanını, çekme payını, özgül ağırlığını ve plastiğin birim fiyatını içermektedir (Şekil 4.11).

Plastik malzemelerinin veri bilgi girişinde “EKLE” butonuna basıldığında plastik malzemeye ait özellikler ilgili yerlere girilerek bütün bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Veritabanında kayıt altına alınan bu bilgiler programın optimum tasarımı sırasında, yapay sinir ağı (YSA) aşamasında ve bir adet ürünün maliyet hesabında çözüme ulaşmasını sağlamaktadır.

PLASTİK MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

KAYIT EKLEME

ADI

ERİME SICAKLIĞI (C)

ORTALAMA ERİME SICAKLIĞI (C)

KALIP SICAKLIĞI (C)

ORTALAMA KALIP SICAKLIĞI (C)

P. KULLANIM ALANLARI

MENGENE ZAMANI (sn)

ÇEKME PAYI (%)

ÖZGÜL AĞIRLIĞI (gr/cm3)

PLASTİĞİN KG FİYATI (TL)

EKLE X İPTAL

Şekil 4.11. Plastik malzeme veri bilgi giriş ekranı

Optimum tasarımda, kalıplanacak ürüne uygun plastik malzemenin seçimi yapılarak plastiğin özgül ağırlığından ürünün ağırlığı hesaplanmaktadır.

YSA’da, seçilen plastik malzemenin erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve özgül ağırlığı dikkate alınarak plastiğin kalıp boşluğuna enjekte edilme zamanı ve kalıp boşluğuna enjekte edilmiş plastik malzemenin soğutma zamanı eğitilmektedir.

Enjeksiyonla kalıplanan ürünün ham plastik malzeme maliyetini bulmak için ise plastiğin birim fiyatından yararlanılmaktadır.

4.2.1.3. Enjeksiyon Makinesi Veri Bilgi Girişi

Plastik enjeksiyon makinelerini içeren veri bilgi girişi, seçilen enjeksiyon makinesinin özelliklerini dikkate alarak üretimi yapılacak kalıbın optimum olarak boyutlandırılmasını sağlamaktadır. Bu veri bilgi giriş ekranı; plastik enjeksiyon makinesi adını, azami kalıp kapasitesini, enjeksiyon basıncını, kalıplama uzunluğunu, kalıplama

genişliğini, kalıplama derinliğini ve makinenin saatte basacağı plastik miktarını içerecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.12).

ENJEKSİYON MAKİNALARI VE ÖZELLİKLERİ

KAYIT EKLEME

ENJEKSİYON MAKİNASI ADI

AZAMI KALIP KAPASİTESİ (gram)

ENJEKSİYON BASINCI (bar)

KALIBIN AZAMI ÖLÇÜLERİ (mm)

U G

Y_min Y_max

MAKİNANIN BASACAĞI PLASTİK MİKTARI (kg/hr)

EKLE İPTAL

Şekil 4.12. Enjeksiyon makinesi veri bilgi giriş ekranı

Enjeksiyon makinesi veri bilgi giriş ekranında “EKLE” butonuna basıldığında enjeksiyon makinesine ait özellikler ilgili yerlere girilerek bütün bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Bu veritabanına girilen makinelerin isimleri optimizasyon sayfasında listeli olarak görülmektedir. Optimizasyon sayfasında, seçilen enjeksiyon makinesinin kalıplama boyutları ve azami kalıp kapasitesi ile üretilecek olan numunenin boyutları kıyaslanarak üretilecek olan numune için gerekli olan mengine basıncı, enjeksiyon basıncı ve kalıp boşluk sayısı hesaplanmaktadır.

4.2.1.4. Standart Kalıp Malzemesi Veri Bilgi Girişi

Kalıplar üretilirken yay, civata, pim, yolluk, burç ve itici gibi standart olarak üretilen kalıp elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Veritabanına eklenen bu bilgiler kalıp maliyetinin hesaplanmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Ne kadar fazla veri

girilirse kalıp yapımında gerekli olan standart kalıp elemanlarının maliyeti o kadar hassas bulunacaktır.

Standart kalıp malzemesi burç olarak seçilebileceği gibi civata veya farklı ölçülerde pim de seçilebilir. Ancak, ölçü ve özellik bakımından farklı yapılarda üretilirler, bu da maliyetlerinin değişmesine neden olmaktadır. Standart kalıp malzemesi veri bilgi girişi bütün bu özellikleri sağlayacak şekilde (standart kalıp malzemesi, standart kalıp malzeme adı, birim fiyatı ve maksimum uzunluğu girilerek) tasarlanmıştır (Şekil 4.13).

Şekil 4.13. Standart kalıp malzemesi veri bilgi giriş ekranı

Standart kalıp malzemelerinin veri girişinde “EKLE” butonuna basıldığında bu malzemelere ait özellikler ilgili yerlere girilerek bütün bilgiler kayıt altına alınmaktadır.

Veritabanına girilen standart kalıp malzemelerinin özellikleri kalıp maliyetinin hesaplanmasında maliyetin geçerliliğini arttırmaktadır.

4.2.1.5. Katkı Maddesi Veri Bilgi Girişi

Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle üretimi yapılan plastik malzemelerin bazılarına kullanım şartlarına göre katkı maddeleri eklenmektedir. Bunlar; renklendirici,

köpükleştirici ve dayanım arttırıcılar olarak sınıflandırılabilirler. Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemlerinde genellikle katkı maddeleri, plastiğin %10'u kadar kullanılmaktadır.

Programda katkı maddeleri veri bilgi girişi, katkı maddelerinin adını, çekme payını, özgül ağırlığını, kullanım alanını ve birim fiyatını içerecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.14).

Şekil 4.14. Katkı maddesi veri bilgi giriş ekranı

Katkı maddelerinin veri bilgi giriş ekranında “EKLE” butonuna basıldığında bu maddelere ait özellikler ilgili yerlere girilerek bütün bilgiler kayıt altına alınmaktadır.

Bu veri bilgi ekranına girilen katkı maddelerinin isimleri optimizasyon sayfasında listeli olarak gösterilmektedir. Programda böyle bir veritabanının hazırlanmasında ki amaç; optimum tasarım sırasında, numune ağırlığının sadece plastik malzemeye göre değil aynı zamanda katkı maddelerini de dikkate alarak hesaplanmasını sağlamaktır. Ayrıca, üretilen plastik malzeme maliyetinde katkı maddesini de maliyet hesabına dâhil etmektir.

4.2.2. Paket Programda Optimum Tasarım

Optimum tasarım, veritabanına aktarılan bilgilerin seçildiği, plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilcek plastik malzemenin geometrik özelliklerinin programa tanımlandığı ve bu bilgiler doğrultusunda hesaplama işlemlerinin yapılması için oluşturulmuştur (Şekil 4.15).

Optimum tasarım sayfasının sol bölümü, önceden veritabanına kaydedilen enjeksiyon kalıplama parametrelerinin seçilmesi için tasarlanmıştır. Hesaplamaların yapılabilmesi için kalıp malzemesi, makine markası ve plastik malzemenin seçilmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin seçimi yapılmazsa üretilcek malzemenin geometrik özelliklerinin tanımlandığı seçenekler aktif olmamaktadır. Plastik malzemelerin kalıplanmasında katkı maddeleri de kullanılacaksa, kullanılacak katkı maddeleri seçilmelidir. Enjeksiyonla üretilcek plastik malzemede katkı maddesi kullanılmayacaksa bu kısım boş bırakılmalıdır. Katkı maddelerinin altında plastiğin kullanım alanı görülmektedir. Bu bilgi plastik malzeme seçildiği zaman seçilen plastik malzemenin kullanım alanını göstermektedir.

Optimum tasarım sayfasının orta bölümünde, üretilcek ürünün geometrik özelliklerinin tanımlandığı bölüm bulunmaktadır. Üretilcek ürün çok karmaşık bir yapıya sahip olabilir. Bu nedenle, maksimum değerler kısmına üretilcek numunenin şekline göre maksimum ölçüleri girilmelidir. Üretilcek numunenin maksimum ölçüleri makinenin kalıplama boyutundan büyük olmamalıdır. Şayet büyük olursa program bunu uyarı olarak vermektedir. Bu doğrultuda plastik enjeksiyon makinesi değiştirilmelidir. Yani kalıplama boyutu daha büyük olan tezgâh seçilmelidir.

Karmaşık yapıya sahip olan ürünlerinin hacimlerinin bulunması normal şartlarda uzun işlem alabilir. Bunları bulmanın kolay yolu çizim programlarından yararlanmaktır. Bu ürünler SolidWorks yada AutoCad gibi çizim programlarında tasarlanıp şekil kayıt altına alınmalıdır. Çizim programlarında çizilen şeklin kütsel özelliklerine bakıldığı zaman ürünün hacimsel değeri görülebilmektedir. Bu hacim optimum tasarımda yerine yazıldıktan sonra ağırlık hesaplama butonuna basılmalıdır. Program, numunenin kalıplanmasında kullanılacak plastik malzeme ve katkı maddesinin özgül ağırlıklarını numunenin hacmi ile çarparak gerçek numunenin ağırlığı hesaplamaktadır.

AutoPimCOST 2010 - OPTIMUM TASARIM

OPTIMUM TASARIM

SEÇİM İŞLEMLERİ

KALIP MALZEMESİ

MAKİNA MARKASI

PLASTİK MALZEME

KATKI MADDELERİ

PEKİŞTİRİCİLER VE DAYANIM ARTI

RENKLENDİRİCİLER

PLASTİKLESTİRİCİLER

KAYDIRICI VE İŞLEMİYİ KOLAYLAŞ

UV DENGELİYİCİLER

ANTİSTATİKLER

AVRUPA CEHRE İMALİ ÇEVRELİ CE

PLASTİĞİN KULLANIM ALANI

ÜRETİLECEK MALZEMENİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

MAKSİMUM DEĞERLER

UZUNLUK

GENİŞLİK

YÜKSEKLİK

ÇAP

ET KALINLIĞI

mm

mm

mm

mm

mm

Üretilecek malzemenin hacim ve ağırlığını Autocad veya Solid programlarını kullanarak hesaplayabılırsınız.

UYGULAMALAR

AUTOCAD

SOLID WORKS

HACİM

mm3

AĞIRLIK HESAPLA

gram

ÜRETİLECEK MALZEMENİN ŞEKLİ

RESİM EKLE

RESİMİ KALDIR

AKIŞ DİYAGRAMI

TEMİZLE

İLERİ

SİPARİŞ TALEP FORMU

MÜŞTERİNİN

ADI

ADRESİ

SOYADI

KALIBIN ADI

AÇIKLAMA

Şekil 4.15. Optimum tasarım ekranı

Program tarafından katkı maddesi kullanılmayan numunenin ağırlığı;

$$A_n = [(\ell_p \cdot V_n + \ell_p \cdot V_n \cdot C_p / 100) / 1000] \quad (4.33)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Eğer numunesi basılacak parçada katkı maddesi kullanılacaksa, katkı maddesi oranı plastik malzeme oranının maksimum %10'u kadar kullanılmalıdır. Program katkı malzemesi kullanılmış numunenin ağırlığını;

$$A_n = [(V_n \cdot ((0,9 \cdot \ell_p) + (0,1 \cdot \ell_k)) + V_n \cdot ((0,9 \cdot \ell_p) + (0,1 \cdot \ell_k)) \cdot C_p / 100) / 1000] \quad (4.34)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada; A_n numunenin ağırlığı (gr) , V_n şekli çizilen numunenin hacmi (mm^3), ℓ_p plastik malzemenin yoğunluğu (gr/cm^3), ℓ_k katkı maddesinin yoğunluğu (gr/cm^3) ve C_p plastik malzemenin %'lik çekme payıdır.

Her kalıplama çeşidinde, sıcak girilen malzeme katılaşıırken ısı kaybeder ve katı hale geçerken küçülür. Bu yüzden kalıplar, parça teknik resminde istenilen boyutlardan büyük yapılmalıdır [46, 47]. Bu boyutlar plastik malzemenin çekme miktarına göre hesaplanırsa üretilen plastik parçada ölçü tamlığı sağlanmış olur.

Optimum tasarım ekranının sağ bölümü, çizim programında *.JPEG uzantılı olarak kaydedilen plastik parçanın resmini gösterebilecek şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca, akış diyagramının şeklini görebilmek ve ekranın tamamen temizlenmesini sağlamak için butonlar konulmuştur.

Optimum tasarım ekranının en altında ise yapılan çalışmanın içeriği hakkında teknik bilgiye sahip olmak için sipariş talep formu bölümü oluşturulmuştur.

Şekil 4.15'deki optimum tasarıma enjeksiyon kalıplama teknikleri ile ilgili tüm parametreler tanımlandıktan sonra ileri butonuna basılmalıdır. Girilen bilgiler doğrultusunda paket program kalıp boşluk sayısını ve kalıplama boyutlarını hesaplamaktadır. Kalıp boşluk sayısının (N_s) belirlenmesi için ilk olarak, seçimi yapılmış olan enjeksiyon kalıp makinesinin kalıplama uzunluğu (L_{em}) ve kalıplama genişliği (W_{em}), optimum tasarıma girilen numunenin uzunluğu (L_1) ve numunenin genişliği (W_1) ile ifade edilmiştir. Uzunluktaki kalıp boşluk sayısı (a) ve genişlikteki kalıp boşluk sayısı (b) ile gösterilmiştir.

$$a = [(L_{km} - 70) / (L_1 + 30)] \quad (4.35)$$

$$b = [(W_{km} - 70)/(W_1 + 30)] \quad (4.36)$$

Bu bilgilere göre program, seçimi yapılan enjeksiyon makinesi için kaç adet numune basılacağını hesaplar. Hesaplanacak numune sayısı Ns_1 ,

$$Ns_1 = a \cdot b \quad (4.37)$$

dir. Daha sonra numune ağırlığının, enjeksiyon makinesinin bir defada elde edebileceği plastik miktarına oranından enjeksiyon makinesinin bir defada basacağı numune sayısı (Ns_2) hesaplanır. A_{em} seçilen plastik enjeksiyon makinesinin bir defada basacağı erimiş plastik malzeme ağırlığı ve A_n ise optimum tasarımda hesaplanan numunenin ağırlığı olmak üzere,

$$Ns_2 = A_{em}/A_n \quad (4.38)$$

dir. Son olarak akış uzunluğuna bağlı olarak numune sayısının (Ns_3) hesabı yapılır. Akış uzunluğu, plastik enjeksiyon makinesinin özelliklerine ve numune parçasının geometrik özelliklerine bağlı olarak veritabanına ve optimum tasarıma girilen bilgilerden hesaplanmaktadır [48]. Buna göre akış uzunluğu,

$$\frac{L}{H^2} = \frac{\Delta P}{32 \cdot \varphi \cdot V_f \cdot \eta_s} \quad (4.39)$$

formülünden ve hidrolik radyüs’de,

$$H = [(2 \cdot W_1 \cdot T)/(W_1 + T)] \quad (4.40)$$

formülünden hesaplanır. Burada; $\varphi=1,5$ sabit sayı (genişliğin kalınlıktan çok büyük olduğu hal için), ΔP = Maksimum enjeksiyon basıncı (120 MPa= 120×10^6 Pa), V_f = Akış hızı (30 cm/sec), η_s = Akış viskozitesi (amorf malzeme için ortalama 260 Pa.s) dir. Bu değerlerden akış uzunluğu,

$$L = 325 \cdot H^2 \quad (4.41)$$

olarak bulunur. L akış uzunluğu (cm), H hidrolik radius (cm), W_1 genişlik (cm), T kalınlık (cm) dır [48, 49]. Burada numune sayısı, akış uzunluğunun üretimi yapılacak

numune uzunluğuna oranıyla elde edilmektedir. Akış uzunluğuna bağlı olarak numune sayısı,

$$Ns_3 = L/L_1 \quad (4.42)$$

dir. Program yukarıdaki formüllere göre hesaplamaları yaparak seçilen makinenin gerçekte kaç adet numune basacağını hafızasına kaydetmektedir. Program bu hesaplamaları biri birleri ile kıyaslayarak en küçük numune sayısı için kalıp boşluk sayısını belirlemektedir [48].

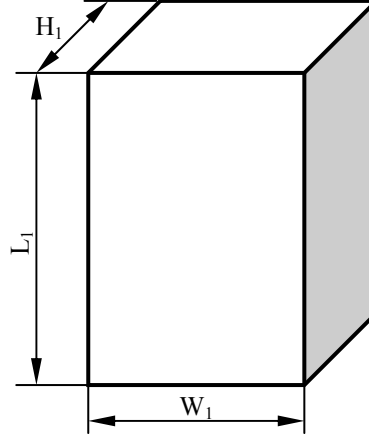
$Ns_1 \leq Ns_2$ ve $Ns_1 \leq Ns_3$ ise enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı Ns_1 , $Ns_2 \leq Ns_1$ ve $Ns_2 \leq Ns_3$ ise enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı Ns_2 , $Ns_3 \leq Ns_1$ ve $Ns_3 \leq Ns_2$ ise enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı Ns_3 olarak program tarafından bulunmaktadır.

Numune sayısı 8'in üzerinde hesaplandığı zaman program kalıp boşluk sayısını doğrudan 8 olarak göstermektedir. Kalıp boşluk sayısının 8'den fazla olması durumunda sıcak yolluk sistemlerinin kalıplarda kullanılması daha ekonomik olarak görülmektedir. Sıcak yolluk sistemleri ayrı bir konu olduğu için programda sıcak yolluk sistemlerine göre hesaplama yapılmamıştır. Bu nedenle programda kalıp boşluk sayısı maksimum 8 olarak sınırlandırılmıştır. Yani,

$Ns_1, Ns_2, Ns_3 > 8$ enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı 8,

$L_{em} < L_1, W_{em} < W_1, H_{em} < H_1$ ise enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı 0'dır. Enjeksiyon kalıbına işlenecek kalıp boşluk sayısı 0 olduğu takdirde seçilen enjeksiyon makinesinin kalıplama boyutları imal edilecek numune için küçük gelmektedir. Böyle durumlarda enjeksiyon makinesi farklı seçilmelidir. Aksi takdirde, program üretemeyeceği numune için yaklaşık tahmini işlem yapamayacaktır.

Numune sayısı hesaplandıktan sonra seçilen plastik malzemenin çekme miktarları göz önünde bulundurularak kalıp boşluğunun gerçek boyutları hesaplanmaktadır. Kalıp boşluğunun gerçek boyutlarının çıkartılması için Şekil 4.16'da örnek bir numune parçası gösterilmiştir. Numunesi gösterilen parça kalıp üzerine işleneceği zaman belli bir miktar kendi ölçüsünden büyük yapılır. Bu büyüklük miktarı daha önceden de bahsedildiği gibi plastik malzemenin çekme miktarından kaynaklanmaktadır. Erimiş plastik soğumaya başladığında çekme payı oranında büzülecektir ve numune gerçek ölçüsünü alacaktır.



Şekil 4.16. Örnek numune ve boyutları

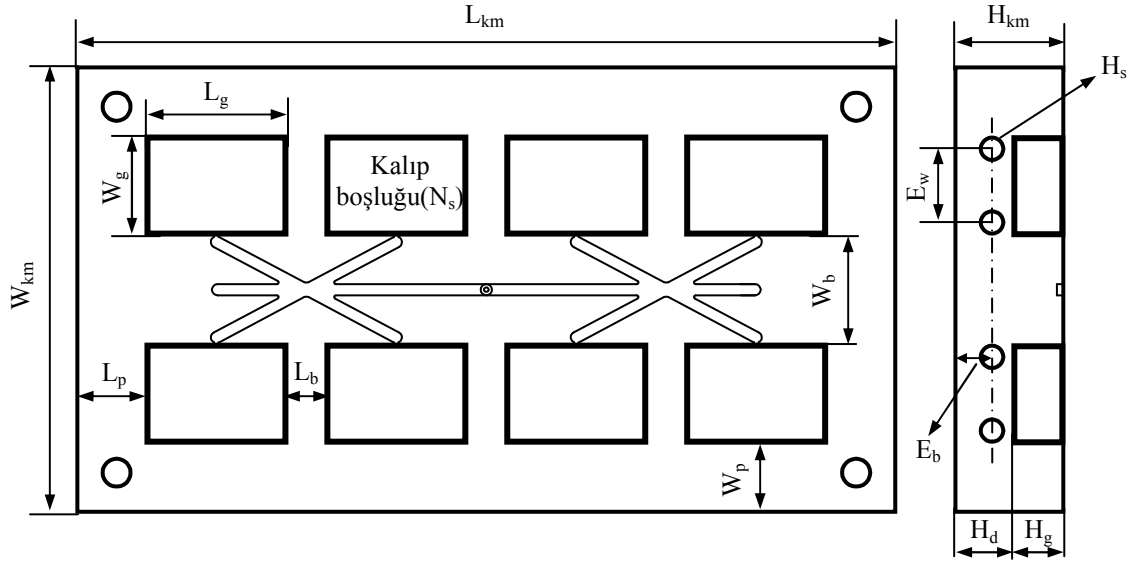
L_g kalıp boşluğuna işlenecek parçanın gerçek uzunluğu (mm), W_g kalıp boşluğuna işlenecek parçanın gerçek genişliği (mm), H_g kalıp boşluğuna işlenecek parçanın gerçek derinliği (mm) olmak üzere,

$$L_g = [L_1 + L_1 \cdot \zeta_p / 100] \quad (4.43)$$

$$W_g = [W_1 + W_1 \cdot \zeta_p / 100] \quad (4.44)$$

$$H_g = [H_1 + H_1 \cdot \zeta_p / 100] \quad (4.45)$$

formülleri ile ifade edilmektedir. Gerçek kalıplama boyutlarının değerleri belirlendikten sonra enjeksiyon kalıbının kalıplama boyutları hesaplanmaktadır. Kalıp boyutları kalıp malzeme maliyetinin çıkartılması için önemli bir etkindir. Kalıp boyutlarının çıkartılmasında kullanılan formüllerin belirlenmesi için Şekil 4.17’de örnek bir kalıp tasarım şekli gösterilmiştir. Şekilde; L_{km} kalıbın uzunluğunu, L_b yatay kalıp boşlukları arasındaki mesafeyi, L_p yatay kalıp kenar pim boşluğunu, N_{Ls} kalıba işlenecek yatay numune sayısını, W_{km} kalıbın genişliğini, N_{ws} kalıba işlenecek dikey numune sayısını, W_b dikey kalıp boşlukları arasındaki mesafeyi, W_p dikey kalıp kenar pim boşluğunu, H_{km} Kalıbın derinliğini, H_d kalıp boşluğu altında kalan derinliği, H_s soğutma suyunun geçeceği kanal çapını, H_g plastik parçanın yüksekliğini, E_b numune parça ile soğutma suyu arasında bırakılması gereken boşluk mesafesini ve E_w soğutma kanalları arasındaki boşluk ölçülerini ifade etmektedir [48].



Şekil 4.17. Örnek Kalıp tasarım şekli ve boyutları

$$L_{km} = [N_{Ls} \cdot L_g + (N_{Ls} - 1) \cdot L_b + 2 \cdot L_p] \quad (4.46)$$

$$W_{km} = [N_{Ws} \cdot W_g + (N_{Ws} - 1) \cdot W_b + 2 \cdot W_p] \quad (4.47)$$

$$H_{km} = [H_g/2 + H_d] \quad (4.48)$$

$$H_d = 2 \cdot E_b \quad (4.49)$$

$$2H_s < E_b < 3H_s \quad (4.50)$$

$$E_w < 3H_s \quad (4.51)$$

$$H_g < 2mm \quad \text{İse} \quad H_s = 8 - 10mm$$

$$H_g < 4mm \quad \text{İse} \quad H_s = 10 - 12mm$$

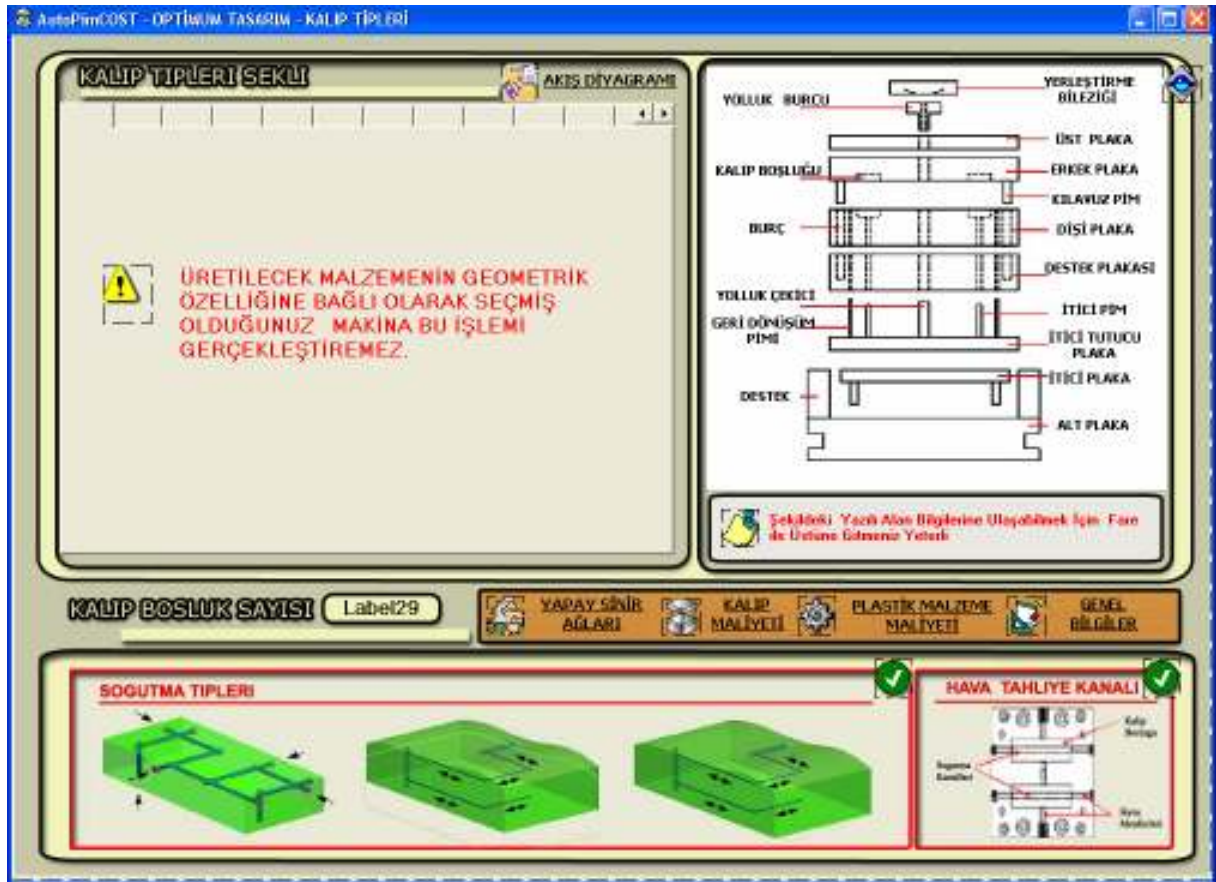
$$H_g < 6mm \quad \text{İse} \quad H_s = 12 - 15mm$$

Yapılan bu hesaplamalar sonucu program tarafından açılan yeni sayfada veritabanından seçilmiş bilgilerin özellikleri, kalıba işlenmesi gereken kalıp boşluk sayısı, yolluk tipi, kalıp hakkında genel bilgilere ulaşılmaktadır. Şekil 4.18’de optimum tasarımın

sonucu hesaplanan enjeksiyon kalıp bilgileri, plastik enjeksiyon kalıp ve üretilecek plastik malzeme maliyet analiz işleminin hesaplanacağı ekran gösterilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıplarında yolluk tiplerinin, hava tahliye kanallarının ve soğutma kanallarının hesaplama yöntemleri ile ilgili fazla bir ayrıntı bulunmamaktadır. Plastiklerde kullanılan yollukların iç açıları kalıp büyüklüklerine ve kullanılan plastik malzemeye bağlı olarak 2° ile 5° arasında değişirken yolluk uzunluğu da üretilecek numunenin geometrik özelliğine bağlı olarak değişmektedir.

Havalandırma sistemlerinin küçük parçalarda kullanılmasına ihtiyaç yokken büyük parçalarda çok ufak bir hava kanalının açılmasıyla erimiş plastik malzemenin kalıp içine tam dolması sağlanmaktadır. Hava kanalları kalıbın üzerinde kalıp boşluğu ile kalıbın dışı bakan yüzeyine açılmalıdır. Genellikle 0.025 mm derinliğinde ve kalıplama hacmine bağlı olarak 25 mm genişliğine kadar kalıp yarımından birine açılır. Hava tahliye kanalının 25 mm olması mümkün değilse, 0.125 mm ve genişliği 12 mm olacak şekilde açılmalıdır.



Şekil 4.18. Optimum tasarım sonucu veri ekranı

Kalıpların kalıplama kalitesine etki eden soğutma sistemi ise kalıp boşluğunun alt ve üst tarafında şeklin geometrik özelliklerine göre değişmektedir. Soğutma işlemi ile ergimiş plastik malzemenin daha tez katılaşması sağlanarak enjekte edilen malzemenin daha az çarpılmalara maruz kalması sağlanmaktadır. Teorik olarak soğutma zamanı kare malzemeler için,

$$t_{sk} = \frac{h_{pek}^2}{\alpha \cdot \pi^2} \cdot \ln\left[\frac{8}{\pi^2} \cdot \left(\frac{T_m - T_w}{T_c - T_w}\right)\right] \quad (4.52)$$

ifadesi ile, silindirik malzemeler için ise,

$$t_{sd} = 0,173 \cdot \frac{R^2}{\alpha} \cdot \ln\left[0,6916 \cdot \left(\frac{T_m - T_w}{T_c - T_w}\right)\right] \quad (4.53)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada; t_{sk} ve t_{sd} soğutma süreleri, T_m ergimiş plastik sıcaklığı, T_w kalıp sıcaklığı, T_c kalıplanmış plastik elemanın kalıptan çıkma sıcaklığı, h_{pek} kalıplanmış yada kalıplanacak plastik parçanın et kalınlığı, R kalıplanacak plastik elemanın çapı, α ergimiş plastik malzemenin ortalama ısı difüzyon katsayısıdır [26, 47]. Bazı plastik malzemeler için farklı sıcaklıktaki α değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı sıcaklıklardaki plastik malzemelerin α değerleri

PLASTİK MALZEME	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
PC	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,11
PS	0,09	0,085	0,084	0,08	0,076	0,075
ABS	0,08	0,081	0,082	0,083	0,084	0,085
PMMA	0,08	0,079	0,073	0,06	0,065	0,06
PVC	0,07	0,07	0,071	0,072	0,072	0,072
HDPE	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
PA66	0,09	0,09	0,085	0,084	0,03	0,082
POM	0,08	0,078	0,075	0,07	0,065	0,06
PP	0,07	0,07	0,069	0,068	0,067	0,066

Optimum tasarım sonucu veri ekranında görsel komutlara basılırsa seçilen konu hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılabacaktır. Ayrıca, kalıp boşlukları üzerinde soğutma sisteminin ve hava tahliye kanallarının görsel dizilimi görebilmek için de bu görsel ifadeler

kullanılarak ekleme yapılabilinmektedir. Kalıp boşlukları altında mavi olarak gösterilecek çizgiler soğutma sistemini, kalıp boşluklarının kenarlarında kırmızı olarak gösterilecek çizgiler ise hava tahliye kanallarını simgelemektedir. Gerçekleştirilen bu işlemlerden sonra yapay sinir ağları (YSA) ile enjeksiyon ve soğutma zamanının süresi, kalıp maliyetinin hesabı, üretilen bir adet plastik malzemenin maliyeti ve programla ilgili tüm bilgilere ulaşılabilinmektedir. Şekil 4.18’de bu parametreleri simgeleyen butonlara basılarak gerekli hesaplamalar yapılmaktadır.

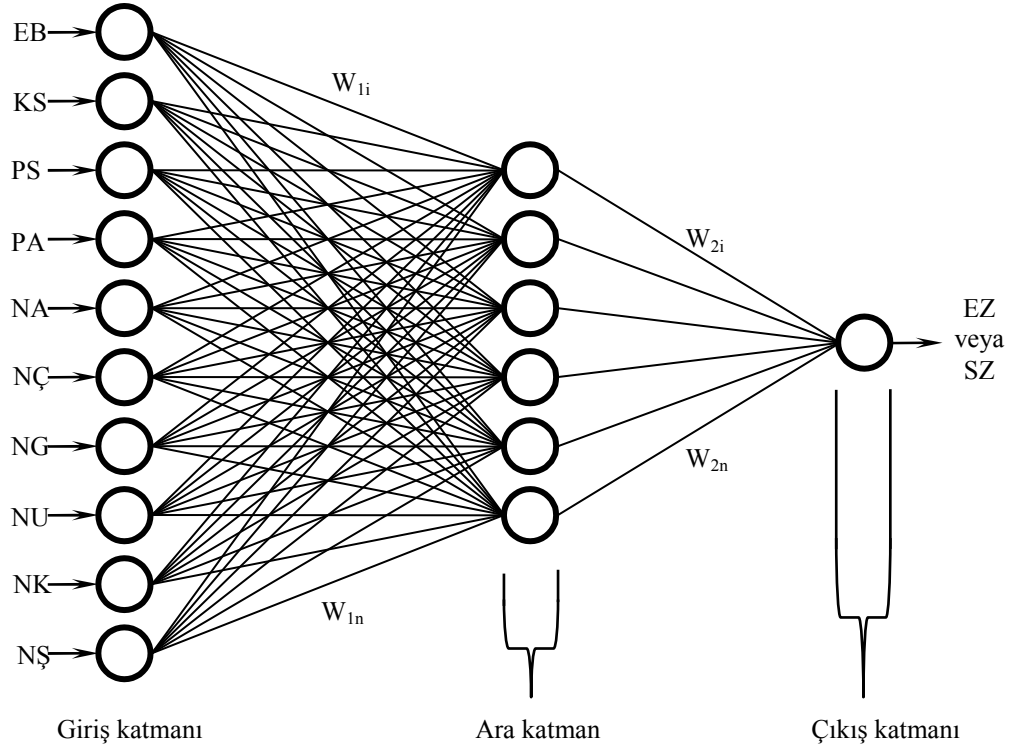
4.2.3. Kalıp Parametrelerinin Yapay Sinir Ağı (YSA) İle Modellenmesi

Programda, enjeksiyon makinesi, kalıp malzemesi, plastik malzeme ve üretilen şeklin geometrik özellikleri gibi enjeksiyon zamanını etkileyen parametrelerin analizini kolaylaştırmak ve istenildiğinde farklı giriş-çıkış ilişkileri yeniden eğitim yapılarak modele öğretmek için Yapa Sinir Ağ (YSA) modeli geliştirilmiştir. YSA modeli giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. YSA’daki giriş parametreleri; enjeksiyon basıncı (EB), kalıp sıcaklığı (KS), plastiğin ergime sıcaklığı (PS), plastiğin özgül ağırlığı (PA), numunenin ağırlığı (NA), numunenin çapı (NÇ), numunenin genişliği (NG), numunenin uzunluğu (NU), numunenin kalınlığı (NK) ve numunenin şeklidir (NŞ). Çıkış parametreleri ise enjeksiyon zamanı (EZ) ve soğutma zamanıdır (SZ). Programda doğrusal olmayan YSA modeli (Levenberg Marquard) kullanılarak Delphi programla dilinde yazılım yapılmıştır. Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki sayısal farklardan dolayı çıkış parametreleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Şekil 4.19’da geliştirilen program için yapay sinir ağ modeli gösterilmiştir. Yapay sinir ağ modeli giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır.

Giriş katmanı; dış dünyadan gelen girdileri alarak ara katmana göndermektedir. Bu katmanda bilgi işlemesi olmaz. Gelen her bilgi geldiği gibi bir sonraki katmana iletilir. Girdi katmanındaki her eleman ara katmandaki her bir işlem elemanına bağlıdır.

Ara katman; girdi katmanından aldığı bilgiyi işleyerek bir sonraki katmana göndermektedir. Ara katmanda birden fazla katman olabilir.

Çıktı katmanı: ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın ürettiği çıktıları dış dünyaya göndermektedir.



Şekil 4.19. Geliştirilen YSA modelleri

Programda YSA ağının çalışma şekli aşağıdaki sırayı takip ederek ifade edilmiştir.

1- Örneklerin toplanması; Giriş ve çıkış katmanlarındaki her bir eleman için 1300 adet parametre programa önceden tanımlanmıştır. Bu değerlerin elde edilmesi için, kalıp firmalarının kullanmış olduğu plastik parça ve enjeksiyon makinesi parametrelerinden, yapılmış bilimsel çalışmalardan ve MoldFow analizlerinden faydalanılmıştır.

2- Ağın antropolojik yapısının belirlenmesi,

3- Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi,

4- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması,

5- Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi; programda bütün parametreler dizi olarak tanımlanmıştır.

6- Öğrenme sırasında hesaplamalar ile ağın çıktılarının bulunması; Giriş parametreleri (X_i) ile ara katman arasındaki ağırlıklar (W_{1i}) çarpılarak net bir değer (U_i) elde edilmiştir.

$$U_i = \sum_{i=1}^n (W_{1i} \cdot X_i) \quad (4.54)$$

Bulunan net değer aktivasyon fonksiyonundan (V) geçirilmiştir.

$$V = \frac{1 - e^{(-U_i)}}{1 + e^{(-U_i)}} \quad (4.55)$$

Aktivasyon fonksiyonundan geçirilen net değer, ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkla (W_{2i}) çarpılarak elde edilen çıktı (y_m) bulunmuştur [42–45].

$$y_m = W_{2i} \cdot V \quad (4.56)$$

7- Elde edilen çıktılar ile önceki gerçek çıktılar (d) biri birleri ile karşılaştırılmıştır.

$$e_i = d - y_m \quad (4.57)$$

Her bir giriş ve çıkış parametresi için hata (e) değerleri bulunmuştur. Hata miktarlarına bağlı olarak toplam hata (SSE),

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (4.58)$$

olarak hesaplanmıştır.

8- Ağırlıkların değiştirilmesi; Bu hata değeri bulunduktan sonra nöronlar kendi hatalarını azaltmak için ağırlıklarını ayarlamak durumundadırlar. Ağırlık değiştirme denklemleri ağdaki performans fonksiyonunu en küçük yapacak şekilde düzenlenirler. Bütün parametrelere bağlı olarak hata miktarı Levenberg Marquardt algoritması kullanılarak minimuma indirgenmiştir. Elde edilen en uygun YSA modelinin parametreleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. YSA model parametreleri

Model Yapısı	
Katman sayısı	3
Katmanlardaki hücre sayısı	Giriş: 10 Gizli: 6 Çıkış: 2
Başlangıç ağırlıkları ve eşikler	Rasgele
Aktivasyon fonksiyonu	Tanjant-sigmoid Tanjant-sigmoid Lineer
Eğitim Parametreleri	
Öğrenme kuralı	Levenberg Marquardt
Toplam karesel hata	0,015
Eğitilen parametre sayısı	1050
Denenen Parametre sayısı	250

Özellikle ileri beslemeli ağlarda kullanılan öğrenme algoritmaları, performans fonksiyonunu en küçük yaparak ağırlıkları ayarlayabilmek için performans fonksiyonunun gradyenini kullanmaktadırlar. Bu yaklaşım birçok problem için oldukça yavaştır. Buna alternatif olarak değişik algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmalar iki kategoriye ayrılırlar. Bunlardan birincisi deneme yanılma algoritmasının kullanılması, ikincisi ise Levenberg Marquardt algoritmasının içinde bulunduğu sayısal optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasıdır. Levenberg Marquardt algoritması, Hessian matrisini kullanarak ağırlıkları eğitmektedir. Paket programda ağırlıkların değiştirilmesi aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

$$W_{i+1} = [W_i - (H)^{-1} \cdot g] \quad (4.59)$$

Burada; W Ağdaki ağırlıkları, H Hessian matrisini, g ise gradyent değerini ifade etmektedir. Hessian Matrisi;

$$H = J \cdot J' + \mu \cdot I \quad (4.60)$$

dir. Burada, J Jakobien matrisidir ve ağ hatalarının ağırlıklara göre birinci türevinden oluşur, J' Jakobien matrisinin transpozu, μ Marquardt parametresi, I birim matrisidir. Jakobien matrisi;

$$J = \frac{\partial e_i}{\partial W_{(i-1)}} \quad (4.61)$$

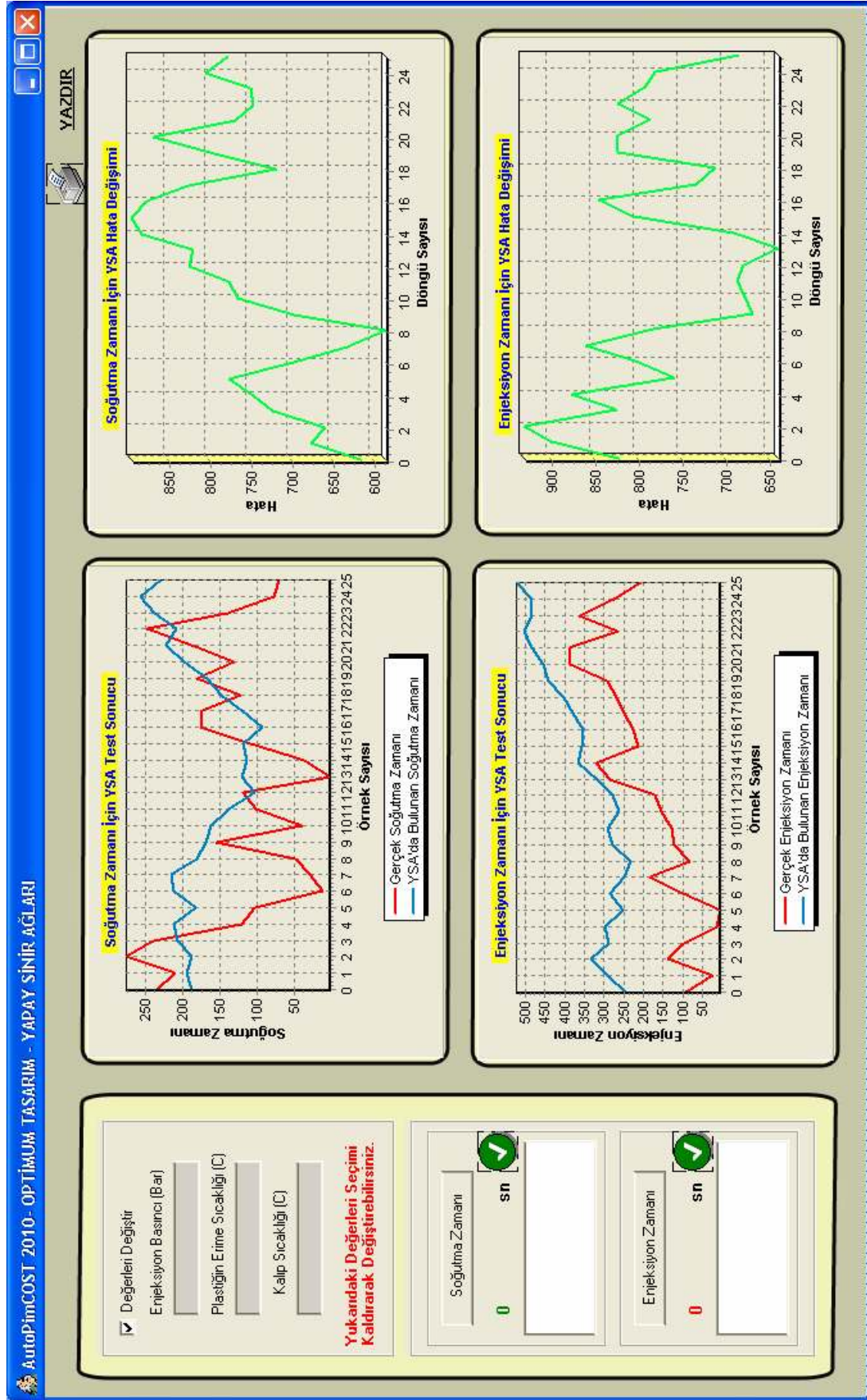
dir. Gradyen matrisi ise Jakobien matrisinin transpozu ile hatanın çarpılmasıyla elde edilmektedir. Gradyen matrisi;

$$g = J' \cdot e_i \quad (4.62)$$

dir. Bütün matrisler yerine yazılırsa ağırlık;

$$W_{i+1} = [W_i - (J \cdot J' + \mu \cdot I)^{-1} \cdot J' \cdot e_i] \quad (4.63)$$

olarak hesaplanmış olur [42–45]. Bu ağırlıkların değişimi 1050 adet her bir giriş ve çıkış için istenilen eğitim şartı sağlayıncaya kadar hesaplatılmıştır. Ağırlıklar tam olarak optimize edildikten sonra 250 adet her bir giriş ve çıkış için test işlemi başlatılmıştır.



Şekil 4.20. Programda YSA modelinin çalışma ekranı

Test işleminde program bulduğu ağırlıkları giriş parametresine uygulayarak sonuca ulaşmaktadır. Bulduğu sonuçları gerçek sonuçlar ile kıyaslayarak grafik şeklinde ifade etmektedir. Bu da eğitimin gerçekleşip gerçekleşmediğini göstermektedir. Eğitim gerçekleştikten sonra, optimum sayfada plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ile ilgili girilen parametreler, eğitilen ağırlıklarla ilişkilendirilerek gerçek enjeksiyon zamanı ve soğutma zamanı hesaplanmaktadır. Delphi paket programında hazırlanan YSA modelinin ekranı Şekli 4.20’de gösterilmiştir. Bu ekranda, YSA modelinden elde edilecek test sonuç grafikleri, girilen parametrelere bağlı olarak enjeksiyon ve soğutma zamanının değerleri ve enjeksiyon ve soğutma zamanı için oluşan hata grafikleri gösterilmektedir. Programda enjeksiyon basıncı, plastiğin erime sıcaklığı ve kalıp sıcaklıkları değiştirilerek farklı parametreler için eğitim yeniden yapılabilmektedir. Program değiştirilen bu parametreler için enjeksiyon ve soğutma zamanlarını yeniden hesaplamaktadır.

4.2.4. Kalıp Maliyet Hesabı

Günümüzde her alanda yaygın olarak kullanılan plastik malzemelerin artması plastik kalıp üretimi yapan firmalar arasında rekabet ortamı oluşturmuştur. Daha iyi şartlarda rekabet yapabilmek için iyi bir maliyet hesabının yapılması ve bunun da en kısa sürede müşteri hizmetine sunulması oldukça önemlidir.

Gerçek bir kalıp maliyet hesabı yapabilmek için belirli kriterlere ihtiyaç vardır. Bu kriterlerden bazıları sırasıyla kalıp malzemesi maliyeti, tasarım maliyeti, işçilik maliyeti, tezgâh işleme maliyeti, özel işleme giderleri, idari-işletme genel giderleri, amortisman giderleri ve kar şeklinde sınıflandırılabilirler. Kalıp maliyetini etkileyen en önemli faktör üretimi yapılacak olan numunenin geometrik özelliği ve kullanım alanıdır. Çok karmaşık bir yapıya ve özelliğe sahip olan bir parçanın kalıp maliyeti hesaplanırken kalıbın kullanım alanı, tezgâh işleme süresi, tasarım ve işçilik maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü bu faktörler doğrudan kalıp maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıp maliyeti için bilgisayar ortamında farklı kalıplama parametreleri göz önünde bulundurulurken tahmini bir yaklaşımda bulunmak kalıp maliyetinin geçerliliğini arttırmaktadır. Tahmin edilen kalıp maliyeti en kısa sürede doğru bir şekilde sonuçlanırsa kalıp firmaları arasında rekabet edebilme gücü artacaktır.

Programda, optimum tasarımı yapılan numunenin kalıplama boyutları optimum tasarım ekranında ifade edilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda kalıp elemanlarının

ağırlıkları maliyet aşamasında program tarafından hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu ağırlıklar maliyet hesabında uygun formüllerde yerlerine otomatik olarak atanmaktadır. Bu ağırlıklar için veritabanına eklenen kalıp malzemelerinden uygun kalıp malzemesi seçilmelidir. Seçilen kalıp malzemesinin birim fiyatı, kalıp malzemesinin ağırlığı ile çarpılarak kalıp malzemesinin maliyeti hesaplanmaktadır.

Standard kalıp elemanlarının (İticiler, Cıvatalar, Burçlar v.b) sayısı, kalıbın tasarım süresi, kullanılacak makineler ve işleme süreleri, işçi sayısı ve diğer giderler de programa girildiğinde kalıbın maliyet hesabı çıkartılmış olur. Şekil 4.21’de kalıp maliyet hesabının gerçekleştirildiği ve maliyet hesabına göre grafiklerin dağılımının oluşturulduğu ekran gösterilmiştir. Kalıp maliyet hesabı için program aşağıdaki işlemleri yapmaktadır [48, 50–52]. Bu işlemler yapılırken birim dönüşümler program tarafından hesaplanmaktadır.

Tasarım maliyeti (M_t), kalıp malzeme maliyeti (M_{km}), kalıp işleme maliyeti (M_{ki}), işçilik maliyeti (M_i), özel imalat işleri giderleri ($M_{ög}$), idari ve işletme genel giderleri (M_{ii}), amortisman giderleri (M_a), kar (M_{kar}), KDV (M_{kdv}) ve toplam kalıp maliyeti (M_{kmh}) olmak üzere denklem 4.64’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$M_{kmh} = (M_t + M_{km} + M_{ki} + M_i + M_{ög} + M_{ii} + M_a + M_{kar} + M_{kdv}) \quad (4.64)$$

Üretimi yapılacak olan kalıbın öncelikle tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarım belirli bir ücretle yapılmaktadır. Tasarım maliyeti, tasarımcının saatlik ücreti ($M_{stü}$) ile kalıbın tasarlandığı süre (t_{ts}) göz önüne alınarak hesaplanmaktadır.

$$M_t = t_{ts} \cdot M_{stü} \quad (4.65)$$

Tasarımı yapılan kalıbın üretimi için gerekli olan kalıp malzemelerinin boyutlandırılması ve bu boyutlara bağlı olarak ağırlık ve kalıp malzemelerinin ücretlerinin çıkartılması gerekmektedir. Optimum tasarımda makinenin bir defada basacağı numune sayısına bağlı olarak kalıplama boyutları hesaplanmaktadır. Kalıplama boyutları göz önünde bulundurulduğunda her bir kalıp elemanlarının boyutları, ağırlığı ve maliyeti hesaplanabilir. Kalıp malzeme maliyeti (M_{km}), erkek plaka (M_{ek}), dişi plaka (M_{dk}), üst plaka (M_{up}), destek plaka (M_{dp}), itici tutucu plaka (M_{itp}), itici plaka (M_{ip}), destek (M_d), alt plaka (M_{ap}) ve standart kalıp elemanlarının (M_{ske}) maliyetleri toplanarak elde edilmiştir (Denklem 4.66).

AutoPimCOST 2010 - OPTİMUM TASARIM - KALIP MALİYET HESABI

KALIP MALİYET HESABI

TASARIM MALİYETİ

KALIBIN TASARLAMA SÜRESİ (SAAT) x = 0 TL

STANDART MALİYETLER

YOLLUK BURCU x = 0 TL

KALIP BOŞLUĞU x = 0 TL

BURÇ x = 0 TL

YOLLUK ÇEKİCİ x = 0 TL

İTİCİ PİM x = 0 TL

GERİ DÖNÜŞÜM PİMİ x = 0 TL

İTİCİ TUTUCU PLAKA x = 0 TL

İTİCİ PLAKA x = 0 TL

ALT PLAKA x = 0 TL

KALIP İŞLEME MALİYETİ

TEZGAH x = 0 TL

İŞÇİLİK GİDERLERİ

İŞÇİ SAYISI x SAAT x MALİYET (TL/h) = 0 TL

ÖZEL İMALAT İŞLERİ GİDERLERİ

MÜHÜR, PARLATMA, MAÇALAR VE KESİCİLER TL

İDARE VE İŞLETİM GENEL GİDERLERİ

FİNANSMAN, SATIŞ, PAZARLAMA, PERSONEL GİDERLERİ TL

AMORTİSMAN

TL

KÂR

TL

KATMA DEĞER VERGİSİ (KDV)

TL

TOPLAM MALİYET

TL

Toplam Kalıp Maliyetinin %'lik Dağılımı

Keyboards 32,09 %

Bikes 26,72 %

Lamps 10,3 %

Phones 13,03 %

Cars 1,03 %

Chairs 10,47 %

Monitors 1,43 %

Kalıp Maliyet Dağılımı (TL)

908 959 893 878 958

TEZGAH EKLE

YAZDIR

Şekil 4.21. Kalıp maliyeti için oluşturulan ekran

$$M_{km} = (M_{ek} + M_{dk} + M_{üp} + M_{dp} + M_{itp} + M_{ip} + M_d + M_{ap} + M_{ske}) \quad (4.66)$$

A_{ek} erkek kalıbın ağırlığı, A_{dk} dişi kalıbın ağırlığı, A_{dp} destek plakasının ağırlığı, $A_{üp}$ üst plakanın ağırlığı, A_{itp} itici tutucu plakanın ağırlığı, A_{ip} itici plakanın ağırlığı, A_d destek ağırlığı, A_{ap} alt plaka ağırlığı, ℓ_{km} seçilen kalıp malzemesinin yoğunlu olmak üzere kalıp elemanlarının ağırlıkları aşağıdaki formüllerden yararlanılarak elde edilmektedir.

$$A_{ek} = A_{dk} = A_{dp} = (L_{km} \cdot W_{km} \cdot H_{km} \cdot \ell_{km})/10^3 \quad (4.67)$$

$$A_{üp} = (L_{km} \cdot W_{km} \cdot 20 \cdot \ell_{km})/10^3 \quad (4.68)$$

$$A_{itp} = A_{ip} = [(L_{km} \cdot (W_{km} - H_{km} \cdot 2) \cdot \ell_{km})/10^3] \quad (4.69)$$

$$A_d = (H_{km}^2 \cdot L_{km} \cdot \ell_{km})/10^3 \quad (4.70)$$

$$A_{ap} = [(L_{km} \cdot W_{km} \cdot (H_g + 20) \cdot \ell_{km})/10^3] \quad (4.71)$$

Bulunan ağırlıklar seçilen kalıp malzemesinin birim fiyatı (M_{kmbf}) ile çarpılarak kalıp elemanlarının malzeme maliyeti hesaplanmaktadır.

$$M_{ek} = A_{ek} \cdot M_{kmbf} \quad (4.72)$$

$$M_{dk} = A_{dk} \cdot M_{kmbf} \quad (4.73)$$

$$M_{üp} = A_{üp} \cdot M_{kmbf} \quad (4.74)$$

$$M_{dp} = A_{dp} \cdot M_{kmbf} \quad (4.75)$$

$$M_{itp} = A_{itp} \cdot M_{kmbf} \quad (4.76)$$

$$M_{ip} = A_{ip} \cdot M_{kmbf} \quad (4.77)$$

$$M_d = A_d \cdot M_{kmbf} \quad (4.78)$$

$$M_{ap} = A_{ap} \cdot M_{kmbf} \quad (4.79)$$

Genellikle dişi yada erkek kalıp gibi doğrudan sıcağı maruz kalan bölgelerdeki kalıp elemanları ile kalıbın diğerk kısımlarında kullanılan elemanların malzemeleri arasındaki kimyasal ve fiziksel farktan dolayı bütün kalıp elemanları için ayrı hesaplama yapılmaktadır. Böylelikle kalıp elemanlarında kullanılan malzemelerin birim fiyatlarındaki farktan kaynaklanan hata minimuma indirgenmiştir. Standart kalıp elemanlarının maliyeti ise programa önceden girilen, burçlar ($M_{burç}$), yaylar (M_{yay}), civatalar (M_{civata}) gibi elemanların maliyetini içermektedir. Standart kalıp elemanlarının maliyeti veritabanına önceden girilmektedir. Bunların sayıları programa girilerek standart kalıp elemanlarının maliyeti,

$$M_{ske} = M_{yay} + M_{civata} + + M_{burç} \quad (4.80)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Program, kalıp elemanlarının hesaplamasını yaparken veritabanına eklenen kalıp malzemesinin ve standart kalıp elemanlarının özelliklerini kullanmaktadır. Denklem 4.67 ile 4.71 arasındaki formüller kullanılarak kalıp malzemelerinin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Kalıp malzemelerinin birim fiyatları veritabanına önceden girildiğı için seçilen kalıp malzemesiyle otomatik olarak kalıbın maliyeti hesaplanabilir. Standart kalıp elemanları ise kalıbın boyutlarına göre programdan seçilir, kaç adet kullanılacağı belirlenerek maliyeti hesaplanabilir.

Şekil 4.22.a’da seçilen standart burç kalıp malzemesinin, b’de ise dişi kalıp malzemesinin maliyet hesaplama ekranı gösterilmiştir. Şekil 4.22.a’ da veritabanına eklenen burç çeşitlerinden uygun olan seçilerek kaç adet kullanılacağı girilerek seçilen burcun maliyeti hesaplanmış olur. Şekil 4.22.b’ de ise dişi kalıbın ağırlığı otomatik olarak hesaplanmış durumdadır. Kalıp malzemesinin seçilmesi durumunda ise dişi kalıbın maliyeti hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu maliyetler “Ekle” tuşu ile otomatik olarak maliyet hesabına aktarılmaktadır. Ekleme işlemi gerçekleştiyse “EKLE” butonu “DEĞİŞTİR” butonu olarak değişmektedir.

(a)

(b)

Şekil 4.22. Kalıp malzemelerinin maliyeti (a Burç maliyetinin hesaplanma yöntemi, b Dişi plaka maliyetinin hesaplanma yöntemi)

Kalıp yapımında kullanılan tezgâhların işleme süreleri (t_{tezgahs}) ve tezgâhların saatlik çalışma ücretleri (M_{tezgah}) ise kalıp işleme maliyeti (M_{ki});

$$M_{\text{ki}} = t_{\text{tezgahs}} \cdot M_{\text{tezgah}} \quad (4.81)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Kalıp yapımında farklı tezgâhlar kullanılabilir. Bunların saatlik çalışma ücretleri farklı olabilir. Program her tezgâh için saatlik çalışma ücretini ayrı ayrı girilebilecek veya güncelleme yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Tezgâh işleme süreleri için ise tezgâha uygun işleme süresi hesaplayan programlardan veya uzman kişilerden yararlanılması işleme maliyetinin geçerliliğini arttıracaktır.

Kalıp, çalışan kişiler tarafından belirli bir ücret karşılığında (M_i) yapılmaktadır. Bu ücret, çalışanların toplam kalıp için harcadığı zaman ($t_{işçilik}$) ve aylık çalışma ücretine ($M_{iü}$) göre hesaplanmalıdır.

$$M_i = t_{işçilik} \cdot M_{iü} \quad (4.82)$$

Mühür, parlatma, özel kesiciler ve maçalar da maliyete dâhil edilerek özel imalat işlemleri giderleri ($M_{ög}$) hesaplanmalıdır.

İşletmelerde idari personel, finansman, satış ve pazarlama giderlerinin karşılanması için maliyetin % 12'si kadar bir ücret alınabilir. Bu ücret idari ve işletme genel giderlerini oluşturmaktadır.

$$M_{ii} = (M_t + M_{km} + M_{ki} + M_i + M_{ög}) \cdot 1,12 \quad (4.83)$$

Kullanılan tezgâh ve aparatların yıpranma bedelleri amortisman giderleri (M_a) olarak adlandırılır ve bu giderler ise istatistik olarak maliyetin %10'unu oluşturmaktadır.

$$M_a = (M_t + M_{km} + M_{ki} + M_i + M_{ög} + M_{ii}) \cdot 1,1 \quad (4.84)$$

İşletmeler kendi çıkarları doğrultusunda yaptıkları işlerden belli bir miktar kar elde ederler. Bu kar payı (M_{kar}) programda standart olarak maliyetin yaklaşık %20'si olarak hesaplanmaktadır.

$$M_{kar} = (M_t + M_{km} + M_{ki} + M_i + M_{ög} + M_a) \cdot 1,2 \quad (4.85)$$

Ayrıca %18'lik katma değer vergisi (KDV) maliyet giderlerine eklenmektedir.

$$M_{kdv} = (M_t + M_{km} + M_{ki} + M_i + M_{ög} + M_a + M_{kar}) \cdot 1,18 \quad (4.86)$$

Yukarıdaki denklemlere göre program yaklaşık kalıp maliyetini hesaplamaktadır. Program, kalıp maliyetlerini hesaplarken yapılan her bir işlem için toplam maliyetin %'lık dağılımını ve her bir işlem için bulunan maliyet sonuçlarını grafik olarak vermektedir (Şekil 4.21).

4.2.5. Enjeksiyonla Elde Edilmiş Bir Adet Plastik Parçanın Maliyet Analizi

Optimum tasarımı, kalıp maliyeti ve YSA modeli tamamlanan kalıp için elde edilecek bir adet ürünün maliyetini hesaplamak için paket programda maliyet analiz ekranı oluşturulmuştur (Şekil 4.23). Oluşturulan maliyet ekranı programda ilk olarak pasif durumda görülmektedir ve bunun aktif duruma gelmesi için kalıp maliyetinin ve YSA'nın çalıştırılması gerekmektedir. Çünkü plastik numunenin maliyetini hesaplamak için kalıp maliyetinin ve YSA'nın ürettiği sonuçlardan yararlanılmaktadır. Üretilen 1 adet plastik parçanın maliyetini hesaplamak için program aşağıdaki işlemleri yapmaktadır [51, 52]. Program bu işlemleri yaparken birim dönüşümleri otomatik olarak yapmaktadır.

Toplam üretilecek bir numune için maliyet hesabı (M_{pmmh}), ham plastik ve katkı malzeme maliyeti (M_{hpkm}), enjeksiyon makinesinin çalışma maliyeti (M_{em}), işçilik maliyeti (M_i), plastik malzemede kullanılan soket giderleri (M_{sg}), idari ve işletme genel giderleri (M_{ii}), kalıbın amortismanı (M_{ka}), kar (M_{kar}) ve KDV (M_{kdv}) toplanarak elde edilmiştir.

$$M_{pmmh} = [M_{hpkm} + M_{em} + M_i + M_{sg} + M_{ii} + M_{ka} + M_{kar} + M_{kdv}] \quad (4.87)$$

Bir adet plastik parça için kullanılan ham plastik malzeme ve katkı malzemelerinin maliyetini (M_{hpkm}) bulmak için, plastik malzeme ve katkı maddesinin birim fiyatları (M_{pkmbf}) kalıbın ürettiği 1 adet plastik parçanın ağırlığı (A_n) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Katkı maddesi kullanılmadığında ham plastik malzeme maliyeti,

$$M_{hpkm} = A_n \cdot M_{pkmbf} \quad (4.88)$$

ifadesi ile elde edilmektedir. Şayet katkı maddesi kullanılacaksa, denklem 4.33 ve 4.34'de plastik malzeme ve katkı malzemesi ağırlığının bulunmasındaki orantıdan yararlanılarak, plastik malzeme (M_{pmbf}) ve katkı malzeme maliyeti (M_{kmbf}),

$$M_{pkmbf} = 0,9 \cdot M_{pmbf} + 0,1 \cdot M_{kmbf} \quad (4.89)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

AutoPimCOST 2010 - OPTİMUM TASARIM - PLASTİK MALZEME MALİYETİ

ÜRETİLECEK BİR NUMUNE İÇİN MALİYET HESABI

HAM-PLASTİK-VE-KATKI-MADDE-MALİYETİ

PLASTİK MALZEME NUMUNE 0 TL
AĞIRLIĞI (gr) 0
PLASTİK VE KATKI MALZEMESİNİN BİRİM FİYATI 0 X = 0



ENJEKSİYON-MALİYETİ



ENJEKSİYON MAKİNASININ ADI sn
ENJEKSİYON ZAMANI 0 sn
SOĞUTMA ZAMANI 0 sn
ÜTÜLEME ZAMANI 0 sn
KALIP AÇMA KAPAMA ZAMANI 0 sn

İŞLEME ÜCRETİ (TL/h) 0 X 0 = 0 TL

TOPLAM İŞLEME SÜRESİ

İŞÇİLİK-GİDERLERİ

İŞÇİ SAYISI SANİYE SAATLİK ÜCRET TL
İşçilik 0 X 0 X 0 = 0

MAMÜLE-TAKILAN-SOKET-GİDERLERİ

YARIDIMCI BAĞLANATI ELEMANLARI TL
0

İDARE-VE-İŞLETME-GENEL-GİDERLERİ

FİNANSMAN, SATIŞ,PAZARLAMA,PERSONEL GİDERLERİ TL
0

AMORTİSMAN

0 TL

KÂR

0 TL

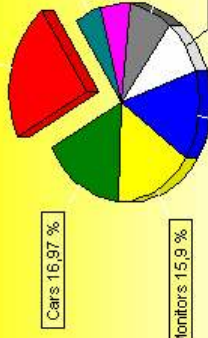
KATMA-DEĞER-VERGİSİ-(KDV)

0 TL

TOPLAM-MALİYET

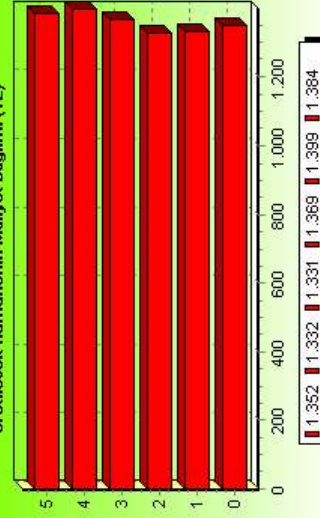
0 TL

ÜRETİLECEK NUMUNE MALİYETİNİN %YILK DEĞİŞİMİ



Category	Percentage
Cars	16,97 %
Monitors	15,9 %
Lamps	14,71 %
Tables	9,02 %
Bikes	8,81 %
Phones	8,43 %
Keyboards	5,38 %
Chairs	22,78 %

ÜRETİLECEK NUMUNENİN MALİYET DAĞILIMI (TL)



Category	Cost (TL)
1	1.352
2	1.332
3	1.331
4	1.369
5	1.384

YAZDIR

Şekil 4.23. Üretilen bir adet plastik numunenin maliyet ekranı

Plastik parçanın enjeksiyon makinesi ile kalıplanması, plastik parçanın maliyetine etki eden diğer faktördür. Enjeksiyon makinesi çalışma maliyeti (M_{em}), plastik parçanın kalıplanması için gerekli enjeksiyon makinesinin işleme sürelerinin (t_{ems}) [(mengene kapama zamanı(t_{mk}), enjeksiyon zamanı (t_e), soğutma zamanı (t_s), mengene açma zamanı (t_{ma}))] enjeksiyon makinesinin birim çalışma ücretiyle (M_{embf}) çarpılması sonucu bulunur. Bir adet plastik malzeme için enjeksiyon makinesinin çalışma maliyeti ise bulunan maliyetin kalıbın ürettiği numune (N_s) sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$M_{em} = t_{ems} \cdot M_{embf} / N_s \quad (4.90)$$

$$t_{ems} = t_{mk} + t_e + t_s + t_{ma} \quad (4.91)$$

Plastik parçalar enjeksiyon makinesinde üretilmeden önce yapılması gereken ön hazırlıkların tamamlanması, enjeksiyon makinesinin kullanılması ve enjekte edilen plastiğin yolluklardan ayrılması esnasında iş gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle işçilik maliyetinin de (M_i) hesaba katılması gerekmektedir. İşçilik maliyeti, toplam işçilik süresinin ($t_{işçilik}$), işçilik maliyeti ($M_{iü}$) ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$M_i = t_{işçilik} \cdot M_{iü} \quad (4.92)$$

Dişli manşon, dişli dirsek, burçlu kapak gibi plastik ürünlerin kalıplanmasında kullanılan plastik malzeme harici, çelik, prinç v.b malzemelerin maliyete katılması gerekmektedir. Bunlar üretimde soket giderleri olarak adlandırılmaktadırlar. Bir plastik ürünün üretilmesinde kaç adet soket kullanılacaksa onun maliyeti (M_{sg}) programa eklenmelidir.

İdari ve işletme genel giderlerinin hesabı kalıp maliyet hesabında olduğu gibi işletmelerde idari personel, finansman, satış ve pazarlama giderlerinin karşılanması için maliyetin % 12'si kadar bir ücret ile hesaplanmaktadır.

$$M_{ii} = (M_{hpkm} + M_{em} + M_i + M_{sg}) \cdot 1,12 \quad (4.93)$$

Enjeksiyonla kalıplama yönteminde, plastik parçalar kalıpla üretildiğinden kalıplarda zamanla sıcaklık ve basınçtan dolayı yıpranma meydana gelecektir. Bu yıpranmalardan dolayı kalıp zamanla yeniden onarılmalı veya yeniden üretilmelidir. Bu yüzden belli bir

miktar üretilen plastik parçadan kalıp maliyeti amorti (M_{ka}) edilmelidir. Paket programda 10.000 adet baskıda kalıbın amorti edilmesi göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu nedenle amortisman gideri,

$$M_{ka} = (M_{kmh} \cdot 0,0001) / N_s \quad (4.94)$$

olarak ifade edilmektedir.

Plastik parçaları üreten firmalar yukarıda hesaplanan giderlere belirli bir kar koyarak işletmenin işlevini sürdürmesini sağlarlar. Bu kar oranı bulunan maliyetin yaklaşık %20'si olarak programda hesaplanmaktadır.

$$M_{kar} = (M_{hpkm} + M_{em} + M_i + M_{sg} + M_{ii} + M_{ka}) \cdot 1,2 \quad (4.95)$$

Ayrıca %18'lik katma değer vergisi (KDV) maliyet giderlerine eklenmiştir.

$$M_{kdv} = (M_{hpkm} + M_{em} + M_i + M_{sg} + M_{ii} + M_{ka} + M_{kar}) \cdot 1,8 \quad (4.96)$$

Böylece bir adet plastik malzemenin toplam maliyeti program tarafından hesaplanmış olur. Plastik malzemenin maliyeti hesaplandıktan sonra; yapılan her bir işlem için toplam maliyetin %'lik dağılımı ve her bir işlem için bulunan maliyet grafiği program tarafından çizilir (Şekil 4.23).

4.2.6. Programın Hesapladığı Diğer Bilgiler

Optimum tasarımı, YSA'sı ve maliyet hesaplamaları yapılan kalıp ile ilgili bilgi almak için genel bilgiler butonuna basılırsa kalıplama boyutlarının gerçek ölçüleri, kalıp boşlukları arasındaki mesafeler, mengene basıncı, soğutma suyu zamanı, enjeksiyon zamanı, kalıp maliyeti, üretilen bir adet ürünün maliyeti, kalıp boşluk sayısı ve kalıplanan ürünlerdeki çekme miktarı gibi kalıp hakkında genel bilgilere ulaşılmaktadır (Şekil 4.24).

Mengene basıncı plastik enjeksiyon kalıpları için çok önemli bir etkidir. Mengene basıncının fazla seçilmesi kalıbın baskıya maruz kalmasına ve zamanla kullanılamaz duruma gelmesine yol açabilir. Kalıp tam kapanmaz ve enjekte edilen plastik dışarı çıkar. Bunun için mengene basıncının iyi hesaplanması gerekmektedir.

AutoPim COST 2010 - OPTİMUM TASARIM - GENEL KALIP BİLGİLERİ

MUSTERİNİN;
ADI.....
SOYADI.....

ADRESİ.....

AÇIKLAMA.....

GENEL KALIP BİLGİLERİ

KALIBIN ADI.....

SEÇİLEN ENJEKSYON MAKİNASI.....

ENJEKSYON MAKİNASININ KALIPLAMA BOYUTLARI.....

SEÇİLEN PLASTİK MALZEME.....

SEÇİLEN PLASTİK MALZEMENİN KULLANIM ALANI.....

SEÇİLEN KALIP MALZEMESİ.....

SEÇİLEN KALIP MALZEMESİNİN ÖZELLİĞİ.....

SEÇİLEN KATKI MALZEMELERİ.....

SEÇİLEN KATKI MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ.....

GEREKLİ ENJEKSYON ZAMANI..... sn

GEREKLİ SOĞUTMA ZAMANI..... sn

ENJEKSYON BASINCI..... bar

KALIP SICAKLIĞI..... C

ERİYİK SICAKLIĞI..... C

MENGENE BASINCI..... kN

URETİLECEK KALIP MALİYETİ..... TL

ENJEKSYONLA ÜRETİLECEK BİR ADET URUNUN MALİYETİ..... TL

YAZDIR

KALIP GENİSLİĞİ (Wkm) 0 mm

KALIP UZUNLUĞU (Lkm)..... 0 mm

KAVİTE KALIP KALINLIĞI (Hkm)... 0 mm

KALIP BOSLUK GENİSLİĞİ (Wg)... 0 mm

KALIP BOSLUK UZUNLUĞU (Lg)... 0 mm

KALIP BOSLUK DERİNLİĞİ (Hg)... 0 mm

YOLLUK BOSLUĞU (Wb)..... 0 mm

KALİPLAR ARASI BOSLUK (Lb)..... 0 mm

KALIP BURC BOSLUĞU (Wp,Lp)... 0 mm

SOGUTMA SU BORUSU BOSLUĞU (Hd) 0 mm

SOGUTMA SUYU BORULARI ARASI MESAFE (Ew)..... 0 mm

KAVİTE BOSLUK HACMI 0 mm³

NUMUNE SAYISI 0

NUMUNENİN SEKİLİ

NOT: Yapmış olduğunuz seçimlere göre kalıp boşluğunu % 0 büyük yapmalısınız.

Şekil 4.24. Genel bilgilerin toplandığı ekran

Programda, mengene basıncı;

$$H_g = 25,4\text{mm ise } P_m = (L_g \cdot W_g) \cdot 68,950 \quad (4.97)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

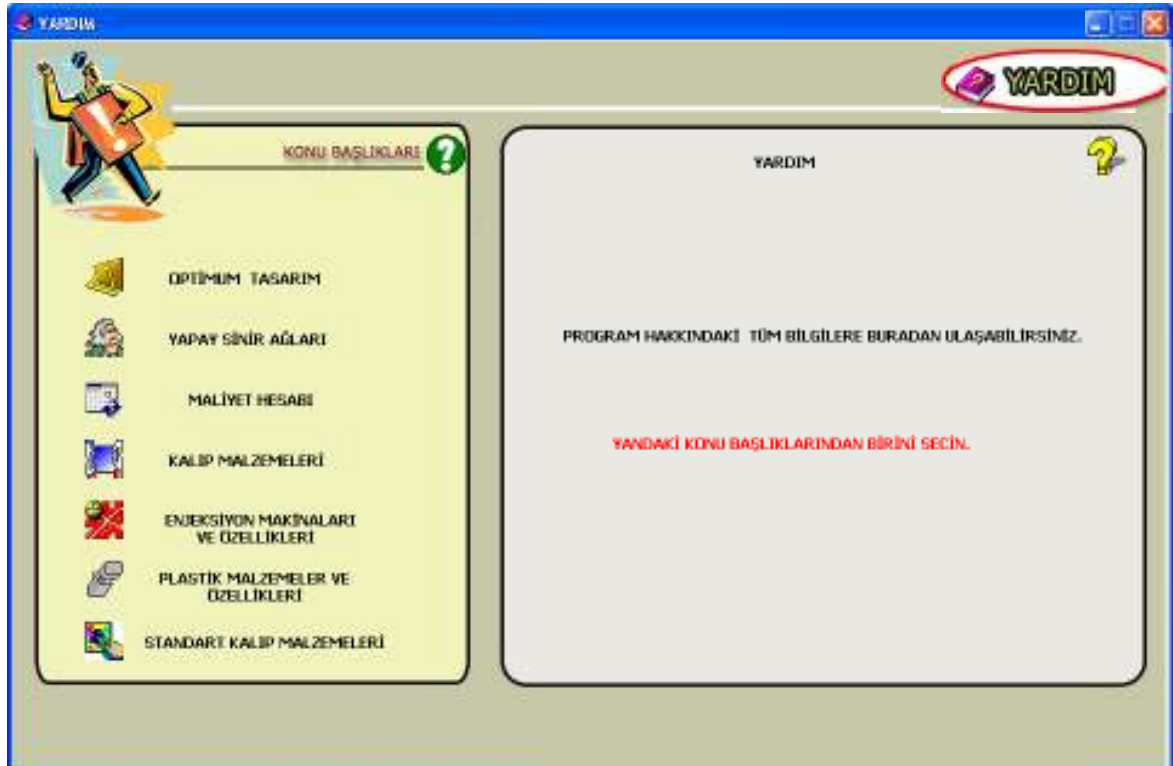
Mengene basıncı, numune derinliğinin (H_g) 25,4 mm den sonraki her 1 inç artması durumunda %10 arttırılmaktadır. Örneğin $H_g = 50,8$ mm ise;

$$P_m = (L_g \cdot W_g) \cdot 68,950 \cdot 1,1 \quad (4.98)$$

olur. Her 1 inç kalınlık için bu işlem devam etmektedir [50].

4.2.7. Programda Oluşturulan Yardım ve Hakkında Ekranları

Yardım: Programın çalışma prensibi, programda hangi adımların işleneceği, ne gibi işlemlerin yapılacağı ve ne gibi pratik bilgilere ulaşılabileceğini tanımlamak için oluşturulmuştur. Şekil 4.25’de yardım ekranının şekli gösterilmiştir. Bu ekranda hangi konu hakkında bilgi alınacaksa o konuya ait başlık seçilmelidir. Böylelikle seçilen konuya ait ayrıntılı bilgiye ulaşılabilecektir.



Şekil 4.25. Yardım ekranı

Hakkında: Günümüzde plastik malzemeler tüm alanlarda yaygın olarak kullanıldığından karşılaşılan problemlere pratik ve kolay çözümler getirilmelidir. Bu nedenle, 2005–2010 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalında yapılan doktora çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için bir paket programın geliştirilmesi ve optimizasyonu konulu bir çalışma yapılmıştır. Geliştirilen programın hangi yılda bittiğini ve kimler tarafından yapıldığını göre bilmek için hakkında ekranı tasarlanmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Program hazırlanmasında emeği geçenler

4.2.8. Akış Diyagramı

Akış diyagramları, çizilmiş veya algoritması yazılmış bir problemi, bilgisayar programlama dillerinde kodlamak için oluşturulmuştur. Programlama dilinde bu kodlar şematik olarak gösterilmektedir. Çizilen akış diyagram şemaları, bilgisayarın işlemleri ne şekilde ve hangi sırayla yaptığını ifade etmektedir. Akış diyagramında ne kadar detaya inilirse o kadar açık yazılmış olur. Bu nedenle, her türlü olasılık düşünülüp ona göre bir diyagram yapılmalıdır.

Akış diyagramı, bilgisayarın bir problemi çözerken yürütmesi gereken mantığı ifade etmektedir. Özellikle çok karmaşık ve uzun programlar yazılırken akış diyagramları çizildikten sonra programın yapılmasına başlanmalıdır. Aksi takdirde, sonradan yapılabilecek bir yanlışlığın giderilmesi çok fazla zamanın harcanmasına neden olacaktır.

Bu nedenle en basit programlar yazılırken bile, önce akış diyagramının çizilmesi gerekmektedir. Böylelikle her türlü olasılık hesaplanmış olup yalnızca akış diyagramındaki eylemlere göre programın yazılması kalır.

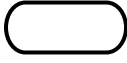
Akış diyagramını çizerken, dikkat edilmesi gereken önemli noktalara aşağıda maddeler halinde değinilmiştir.

1- Verilerin çok iyi bir şekilde saptanması gerekir. Veriler ne istenenden fazla, ne de istenenden az olmalıdır. Fazla olmasının, sonucun çıkmasına bir etkisi olmaz. Ama bilgisayarlarla yapılan çalışmalarda işlemi en kısa yoldan yapmak, sonuca en kısa yoldan varmak önemlidir. Bir bilgisayarın ana işlemcisinin kapasitesi ne kadar fazla olursa olsun, bir anda çok fazla sayıda işlem yapabilmesi açısından her bir programın alabilecek en az yeri kaplaması gereklidir. Bunun için gereksiz işlemlerden kaçınılması gerekmektedir. Eksik olması ise, çok daha sakıncalıdır. Bir bilgisayar, eksik verilerle hiçbir zaman bir sonuç çıkaramaz. Onun için problemi kavramak, gereken verileri kesin olarak saptamak zorunludur. Veriler saptandıktan sonra, asıl fonksiyonun yazılmasına geçilmelidir.

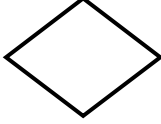
2- Fonksiyona geçildiğinde daha da dikkatli olunmalıdır. Çünkü fonksiyon yazılımlarında çok daha fazla yanlışlık yapılmaktadır. Bunun için en ufak bir belirsiz nokta bırakılmamalıdır. Eğer belirsiz bir komut varsa program ne yapacağını bilemez ve işlemleri durdurur. Ayrıca; değerlendirme noktaları ve tutar iyi saptanmalıdır. Yanlış hazırlanmış bir program, bilgisayarın sonsuza kadar aynı işlemi yinelemesine neden olabilir. Bunu engellemek için akış diyagramları tekrar tekrar kontrol edilmeli ve üzerinde uygulama yapılmalıdır. Bu şekilde daha öncesinden gözden kaçan belirsiz noktalar, eksiklikler ve yanlış komutlar yakalanabilir. Böylece bilgisayarın işlemi durdurması, ya da sonsuza kadar yinelenmesi önlenmiş olur.

3- Fonksiyon kısmı bittikten sonra akış diyagramının son bölümüne geçilir. Bu bölümde sonuç çıkarılmalıdır. Çıkışta, yalnızca sonucu almak yeterli olmayabilir. Bir işlemi değişik koşullarda, değişik verileri uygulanarak işlenmişse o verilerin de alınması gerekmektedir. Bu şekilde sonuçlar karışmamış olur ve yine programda herhangi bir yanlış varsa daha kolay bir şekilde açığa çıkmış olur. Çünkü bazen bir programda yanlışlar olsa bile, sonuç çıkabilir. Yalnız bu sonuçlar mantık dışı olabilir. Eğer verilerle sonuçlar birlikte çıkarsa, kısa bir kontrolle yanlış bir yer olup olmadığı anlaşılabilir. Sonuçla birlikte alınacak çıkışlar saptandıktan sonra çıkış diyagramı bitirilmelidir. Son kontroller de yapıldıktan sonra, sıra programın yazılması başlanmalıdır.

Bazı akış diyagram şekilleri ve programlama dillerindeki karşılıkları aşağıda verilmiştir.



- Algoritmada BAŞLA ve BİTİR komutu yerine kullanılmaktadır.



- Bu şema genellikle algoritmada IF (EĞER) deyimi ile yazılmış satırlarda kullanılmaktadır.



- Matematiksel olarak tanımlanacak olan değişkenler ve matematiksel işlemleri göstermektedir.



- Bilgisayara veri girişi yapılacağı zaman yani bir sayı ya da bir değişken, bilgisayara girileceği zaman kullanılmaktadır. Algoritmadaki OKU komutu yerine kullanılmaktadır.



- Döngü sonunu göstermektedir.



- Bilgisayara gerekli veriler verilip işlemler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçları yazdırabilmek için kullanılan YAZDIR komutu yerine kullanılmaktadır.

Ek 1’de programda kullanılan akış diyagramının şekli gösterilmiştir.

5. PROGRAM GEÇERLİLİĞİNDE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

5.1. Çalışmanın Amacı

Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ile elde edilen ürünlerin gün geçtikçe kullanım alanları artmaktadır. Bu artış sonucu kalıplama teknikleri ile ilgili problemler rahatlıkla görülmektedir. Bunlardan bazıları; farklı amaçlar için üretilecek kalıp tasarımları arasındaki fark, kalıp tasarımına bağlı olarak kalıp maliyetinin bulunması, kullanılan plastik malzeme ve numunenin geometrik özelliklerine bağlı olarak akış uzunluğunun incelenmesi, üretilecek üründe minimum eğilme ve çarpılmaya yönelik enjeksiyon makinesinin parametre değerleri örnek verilebilir. Günümüzde bu problemler farklı yaklaşımlar kullanılarak minimuma indirgenmektedir. Oluşan problemlerin giderilmesi için farklı sayısal çözümleme teknikleri, hazır paket programlar ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sayısal çözümleme teknikleriyle enjeksiyon zamanı ve soğutma zamanı bulunmakta, hazır paket programlarla kalıp maliyeti hesaplanmakta, deneysel çalışmalarda ise genellikle akış uzunlukları, kalıplanan parçanın minimum eğilmesi ve çarpılması incelenmektedir. Literatür çalışmaları ayrıntılı olarak incelendiğinde enjeksiyon kalıplama tekniklerindeki problemlerin ayrı ayrı ele alındığı ve kalıplanan plastik ürün maliyetinin hesaplanmasıyla ilgili çalışmaların da eksiklik olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılmış olan literatür çalışmaları ayrıntılı olarak incelenerek kalıp maliyetini, enjeksiyon ve soğutma zamanlarını, mengene basıncını hesaplayan bir paket program geliştirilmiştir. Geliştirilen paket program hesapladığı bu parametre değerlerine bağlı olarak kalıplanan ürünün maliyetini de hesaplamaktadır. Böylelikle enjeksiyon kalıplama teknikleri ile elde edilen ürünlerdeki problemler bir bütün olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, tüm hesaplama işlemleri paket program tarafından yapıldığı için sonuçlar daha güvenilir ve daha hızlı olarak elde edilmektedir. Paket programın verimliliğini kontrol etmek için ise farklı çalışmalar deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

5.2. Deneysel ve Teorik Çalışmalarda Kalıp Parametrelerinin Bulunması

Hazırlanan paket programın geçerliliğini kontrol etmek amacıyla farklı çalışmalar programa tanımlanmıştır. Programa tanımlamak için günümüzde yaygın olarak kullanılan

$\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek, otobüs ikaz düğmesi, hoparlör-lamba-ikaz düğme yuvası ve klamp kablo tutucu örnekleri seçilmiştir.

$\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek çalışmasında, optimum kalıp tasarımı, kalıp maliyeti, enjeksiyon ve soğutma zamanı, plastik ürünün maliyeti ve genel kalıplama bilgileri program tarafından hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen maliyetler gerçek maliyet değeriyle karşılaştırılmıştır.

Otobüs ikaz düğmesi çalışmasında, kalıp maliyetinin hesabı hem program tarafından hem de deneysel çalışmadan hesaplanarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Hoparlör-lamba-ikaz düğme yuvası için paket programdan elde edilen kalıplama parametreleri ile deneysel çalışmadan elde edilen kalıplama parametreleri karşılaştırılmıştır.

Klamp kablo tutucu çalışmasında, paket program ve deneysel çalışmadan hesaplanan kalıplama parametreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, plastik ergime ve kalıp sıcaklıkları dikkate alınarak paket programdan hesaplanan soğutma zamanı ile teorik olarak hesaplanan soğutma zamanları arasındaki fark incelenmiştir.

Seçilen örneklerin gerçek uygulama çalışmaları; Diyarbakır'da bulunan Referans Makine Kalıp Mühendislik Ltd. Şti., İstanbul'da bulunan Mikrosan Makine-Kalıp ve Huzur Plastik Ltd. Şti. gibi firmalar ile www.firat.com, e-banyo.net gibi internet adreslerinden de yardım alınarak gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. Plastik Dişli Dirsek Çalışması

Her alanda kullanılan plastik elemanlar, su ve enerji tesisatlarında da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların en önemli nedenleri arasında oldukça seri üretilmeleri, ucuza mal olmaları ve özellikle korozyona uğramamaları gelmektedir. Paket programda uygulama için günümüzde yaygın olarak kullanılan $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanı örnek alınmış ve bunun için optimum kalıp tasarımı, kalıp maliyeti, enjeksiyon ve soğutma zamanı, plastik elemanın maliyeti ve genel kalıplama parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamaların program tarafından yapılması için optimum tasarım ekranında kalıplama parametrelerine ait bilgilerin tam olarak girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, kalıplama parametrelerine ait numunenin geometrik özellikleri, kalıp malzemesi, plastik malzeme, katkı maddesi gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek için programa girilecek parametreler Tablo 5.1'de verilmiştir. Tablo 5.1'de verilen

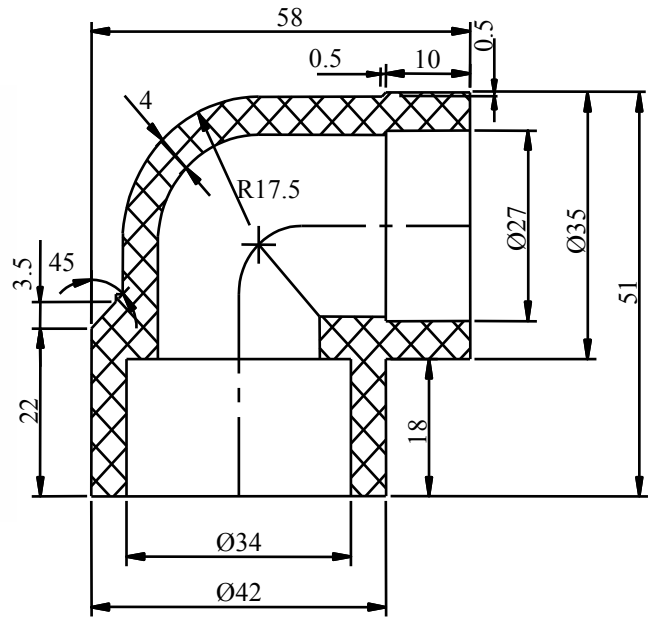
değerler üretimi yapılmış olan parçanın gerçek değerleridir. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek ölçülerinin alındığı numune ise Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek özellikleri

ÜRETİLECEK NUMUNENİN KİMYASAL VE FİZİKSEL YAPISI	AÇIKLAMA
Maksimum Uzunluk	58 mm
Maksimum Genişlik	42 mm
Maksimum Yükseklik	51 mm
Maksimum Et Kalınlığı	4 mm
Numunenin Hacmi	67389,84 mm ³
Kullanılan Plastik Malzeme	YYPE
Kullanılan Katkı Malzemesi	Renklendirici
Kalıp Malzemesi	1.2738



a) Katı modeli



b) İmalat resmi

Şekil 5.1. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek numunesi

Plastik dişli dirseğe ait kalıplama parametreleri, optimum tasarım ekranında uygun yerlere tanımlanmıştır ve ağırlık hesapla butonuna basılarak Denklem 4.34’deki hesaplama yöntemini kullanan program $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek numunesinin gerçek ağırlığını yaklaşık olarak 68,02 gr olarak bulmuştur. İleriki adımlarda $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek numunesinin şeklini görmek için optimum tasarım ekranında *.JPEG uzantılı olarak kaydedilen şekil programa aktarılmıştır. Optimum tasarım ekranına girilen dişli dirsek parametreleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

AutoPimCOST 2010 - OPTIMUM TASARIM

OPTIMUM TASARIM

SEÇİM İŞLEMLERİ

KALIP MALZEMESİ 2738

MAKİNA MARKASI TMC E (E500)

PLASTİK MALZEME POLİETİLEN (YYPE)

KATKI MADDELERİ

☐ PEKİSTİRİCİLER VE DAYANIM ARTI

☒ RENKLENDİRİCİLER

☐ PLASTİKLEŞTİRİCİLER

☐ KAYDIRICI VE İŞLEMİYİ KOLAYLAŞ

☐ UV DENGELİYİCİLER

☐ ANTİSTATİKLER

☐ DİĞERLERİ

1.25

PLASTİĞİN KULLANIM ALANI

BASINÇLI BORULAR, GAZ DAĞITIM BORULARI, ŞİŞE, BİDON, BEYAZ EŞYA, MAKİNE PARÇALARI, OYUNCAK, ELEKTRİK VE ELEKTRONİK EŞYA, SUYA DAYANIKLI OLUĞUNDAN, TEKNE VE DEPO, POŞET, TORBA YAPIMINDA KULLANILIR.

ÜRETİLECEK MALZEMENİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

MAKSİMUM DEĞERLER

UZUNLUK 58 mm

GENİŞLİK 42 mm

YÜKSEKLİK 51 mm

ÇAP mm

ET KALINLIĞI 4 mm

Üretilecek malzemenin hacim ve ağırlığını Autocad veya Solid programlarını kullanarak hesaplayabilirsiniz.

UYGULAMALAR

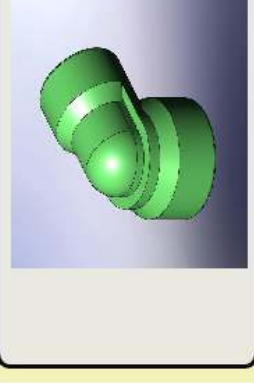
AUTOCAD

SOLID WORKS

HACİM 67389.84 mm3

AĞIRLIK HESAPLA 68.023304496 gram

ÜRETİLECEK MALZEMENİN ŞEKLİ



RESMİ KALDIR

RESMİ DEĞİŞTİR

AKIŞ DİYAGRAMI

TEMİZLE

İLERİ

SİPARİŞ TALEP FORMU

MÜŞTERİNİN

ADI Y.H.

ADRESİ

SOYADI Ç.

ELAZIĞ

KALIBIN ADI

3/4 inç plastik dişli dirsek.

AÇIKLAMA

Su ve enerji tesisatlarında kullanılacak.

Başlat

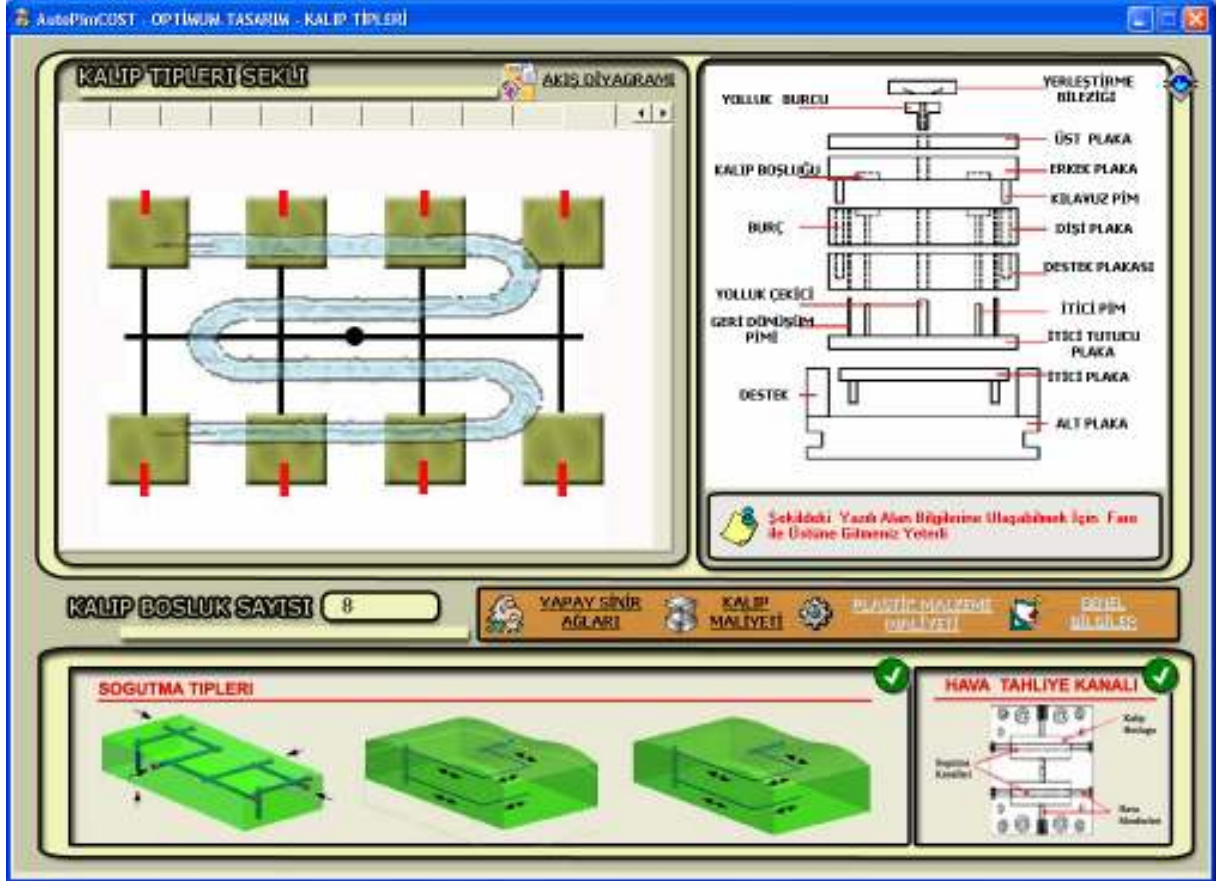
AutoPimcost2010

TR

21:51

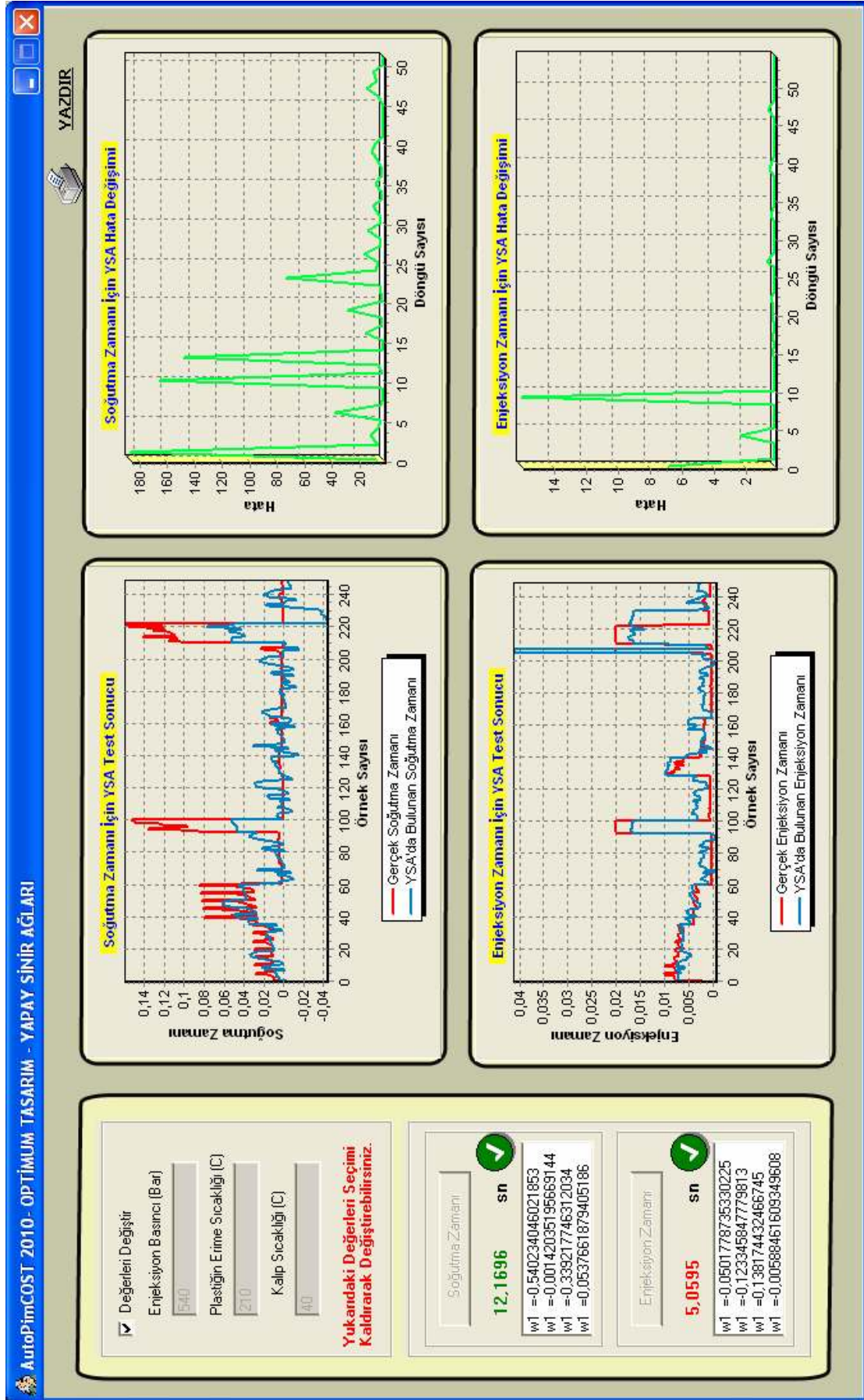
Şekil 5.2. Optimum tasarım ekranına 3/4 inch plastik dişli dirsek bilgi girişi

İleri butonuna basıldığında Denklem 4.35 ile 4.51 arasındaki formüller program tarafından kullanılmaktadır. Program, bu formüllere göre kalıp boşluk sayısını ve kalıplama boyutlarını hesaplamıştır. Hesaplama işlemi tamamlanmış ¾ inch plastik dişli dirsek için programın ürettiği sonuç ekranı Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. ¾ inch plastik dişli dirsek için hesaplanan optimum işlemlerin gösterildiği ekran

Optimum tasarım ekranında girilen kalıplama parametrelerine bağlı olarak kalıp boşluk sayısı program tarafından 8 olarak bulunduğu görülmektedir. Bu ekranda yapay sinir ağları butonuna basılınca program Levenberg Marquart algoritmasını kullanarak önceden girilmiş verileri eğitmektedir. Bu eğitim sonucunda giriş ve orta katman arasındaki ağırlıklarla orta ve çıkış katmanları arasındaki ağırlıklar bulunmaktadır. Bulunan ağırlıklar paket programa girilen enjeksiyon, kalıplama parametreleri ve numune parçasının geometrik özellikleri ile ilişkilendirilerek enjeksiyon ve soğutma zamanlarını hesaplamaktadır. Enjeksiyon zamanı, soğutma zamanı ve YSA test diyagramı ile programın ürettiği hata miktarları Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Program tarafından bulunan bu sonuçlar 4.54 ile 4.63 arasındaki denklemler kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4. $\frac{3}{4}$ inch plastik dışlı dirsek için elde edilen YSA tabanlı sonuç ekranı

Plastik $\frac{3}{4}$ inch dişli dirsek için YSA tabanlı modellemenin ekranına enjeksiyon basıncı 540 bar, plastiğin ergime sıcaklığı 240 °C ve kalıp sıcaklığı 40 °C olacak girilmiştir. Girilen bu değerlere bağlı olarak program enjeksiyon zamanını 5.0595 sn ve soğutma zamanını 12.1696 sn olarak bulmuştur.

Enjeksiyon ve soğutma zamanı bulunduktan sonra yapay sinir ağ ekranı kapatılarak Şekil 5.3'deki ekrana geri dönmüştür. Kalıp maliyetini hesaplama butonuna basılarak kalıp maliyet ekranı açılmıştır (Şekil 5.5). Bu ekranda, kalıbın tasarlanma süresi, tezgâh işleme süreleri, işçilik giderleri ve kalıp elemanlarının maliyeti programa tanımlanmıştır.

Kalıp elemanlarının toplam tasarım süresi 50 saat, tasarımcının saatlik ücreti 12.64 TL olarak girilerek program toplam tasarım maliyetini 632 TL olarak hesaplamıştır.

Kalıp elemanlarının maliyeti için kalıp elemanlarının isimleri seçilmiştir. Seçilen her bir kalıp elemanı için program ayrı bir pencere açmıştır. Denklem 4.64 ile 4.86 arasındaki hesaplara göre bulunan kalıp elemanlarının ağırlıkları bu pencerelerde doğrudan görülmektedir. Burada, kalıp malzemeleri seçilerek kalıp elemanlarının maliyeti bulunmuştur. Programda kalıp elemanlarının maliyetini 650,19 TL olarak elde edilmiştir.

Program, kalıp işleme maliyetini 2480 TL, İşçilik maliyetini 998,4 TL, Özel imalat işleri giderlerini 200 TL, İdari ve işletme genel giderlerini 595.27 TL, Amortisman giderlerini 555.59 TL, Kar'ı 1222.29 TL, KDV'yi 1320.07 TL olmak üzere toplam kalıbın maliyetini 8653.81 TL olarak hesaplamıştır.

Kalıp maliyet ekranında maliyetlerinin %'lik dağılımı ve sütun grafiği de program tarafından gösterilmiştir. Toplam kalıp maliyetinin %'lik dağılıma göre maliyeti etkileyen en büyük faktör kalıp işleme maliyeti olarak görülmektedir.

Kalıp maliyet analizi tamamlandıktan sonra $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek maliyetinin hesaplanması için Şekil 5.3'deki plastik malzeme maliyeti butonuna basılır ve Şekil 5.6'daki sayfa ekrana gelir.

Veri tabanına girilen veriler, YSA'dan elde edilen sonuçlar ve kalıp maliyetinin sonucu, enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen bir adet plastik ürünün maliyetini etkileyen en önemli unsurlardır. Bu değerler otomatik olarak bir adet ürünün maliyetinde hesaplanmaktadır. Ütuleme zamanı, kalıp açma kapama süresi, işçilik giderleri ve plastik malzemede kullanılan soket giderleri de dışarıdan programa girilerek tahmini bir adet ürünün maliyeti hesaplanmıştır. Bir adet ürünün maliyet hesabında, Denklem 4.87 ile 4.96 arasındaki formüller program tarafından kullanılmıştır.

AutoPmCOST 2010 - OPTİMUM TASARIM - KALIP MALİYET HESABI

KALIP MALİYET HESABI

TASARIM MALİYETİ

KALIBIN TASARLAMA SÜRESİ (SAAT) X = 632,00 TL

STANDART MALİYETLER

650,19 TL

KALIP İŞLEME MALİYETİ

TEZGAH
☒ CNC FREZE--30TL X 52
☒ CNC TORNA--30TL X 11
☒ FREZE--25TL X 5
☒ ELEKTRO EREZYON--20TL X 5
 = 2480,00 TL

İŞÇİLİK GİDERLERİ

İŞÇİ SAYISI X X = 998,40 TL

ÖZEL İMALAT İŞLERİ GİDERLERİ

MÜHÜR, PARLATMA, MAÇALAR VE KESİCİLER TL

İDARE VE İŞLETME GENEL GİDERLERİ

FINANSMAN, SATIŞ, PAZARLAMA, PERSONEL GİDERLERİ **595,27 TL**

AMORTİSMAN

555,59 TL

KÂR

1222,29 TL

KATMA DEĞER VERGİSİ (KDV)

1320,07 TL

TOPLAM MALİYET

8653,81 TL

Toplam Kalip Maliyetinin %'lik Dağılımı

Kalip Maliyet Dağılımı (TL)

TEZGAH EKLE

YAZDIR

Şekil 5.5. 3/4 inch plastik dişli dirsek kalip maliyeti için oluşan sonuç ekranı

AutoPimCOST 2010 - OPTİMUM TASARIM - PLASTİK MALZEME MALİYETİ

URETİLECEK BİR NUMUNE İÇİN MALİYET HESABI

HAM-PLASTİK-VE-KATKI-MADDE-MALİYETİ

PLASTİK MALZEME POLİETİLEN (VYPE)

NUMUNE 65,9410

AGIRLIĞI (gr)

PLASTİK VE KATKI MALZEMESİNİN BİRİM FİYATI

0,0040

X = 0,2638

TL

İŞÇİLİK-GİDERLERİ

İŞÇİ SAYISI SANİYE SAATLİK ÜCRET TL

İŞÇİLİK 1 X 27,23 X 5,2 = 0,0393

MAMÜLE-TAKILAN-SOKET-GİDERLERİ

YARIDIMCI BAĞLANATI ELEMANLARI

0,25

TL

İDARE-VE-İŞLETME-GENEL-GİDERLERİ

FINANSMAN, SATIŞ,PAZARLAMA,PERSÖNEL GİDERLERİ

0,0845

TL

AMORTİSMAN

TL

KAR

TL

KATMA-DEĞER-VERGİSİ-(KDV)

TL

TOPLAM-MALİYET

1,2703

TL

ÜRETİLECEK İLUMUNENE MALİYETİNİN %'lık Dağılımı

Ham Maliyet 20,77 %

Soket Giderleri 19,68 %

İşçilik Giderleri 3,09 %

İdare ve İşletme 6,65 %

Amortisman 8,52 %

Enjeksiyon Ücreti 11,91 %

Kar 14,12 %

KDV 15,26 %

ÜRETİLECEK İLUMUNENİN MALİYET DAĞILIMI (TL)

Ham Maliyet 0,264

İdare ve İşletme 0,039

İşçilik Giderleri 0,085

Kar 0,179

Enjeksiyon Ücreti 0,151

Soket Giderleri 0,25

Amortisman 0,108

KDV 0,194

ENJEKSİYON-MALİYETİ

ENJEKSİYON MAKİNASININ ADI ARBURG

ENJEKSİYON ZAMANI 5,0595 sn

SOĞUTMA ZAMANI 12,1696 sn

ÜTÜLEME ZAMANI 5 sn

KALIP AÇMA KAPAMA ZAMANI 5 sn

İŞLEME ÜCRETİ (TL/h) 20 X 27,23 = 0,1513

TOPLAM İŞLEME SÜRESİ

TL

Şekil 5.6. Bir adet ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının maliyet ekranı

Program, Şekil 5.6’da görüldüğü gibi bir adet $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirseğin ham plastik ve katkı maddesi maliyetini 0.264 TL, enjeksiyon maliyetini 0.151 TL, işçilik maliyetini 0.039 TL, soket giderlerini 0.25 TL, idari ve işletme genel giderlerini 0.085 TL, amortisman giderini 0.11 TL, kar’ı 0.18 TL ve KDV’yi 0.19 TL olmak üzere toplam 1.27 TL olarak hesaplamıştır. Ayrıca, şekilde maliyetlerin dağılım grafiği de gösterilmiştir. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek malzemesinin maliyetini etkileyen en büyük faktörün ham malzeme maliyeti olduğu görülmektedir. Bütün bu işlemlerden sonra tüm verileri genel bilgiler altında tutup yazıcıdan çıktı almak için Şekil 5.3’deki genel bilgiler butonuna basılır. Hesaplanan bütün işlemler genel bilgiler ekranında kayıt altına alınır (Şekil 5.7).

ALYRILAMA... Sİ VE DİĞERLERİ
TİPİ...
KULLANILANLAR...

ELAZIĞI...
ADRESİ...

GENEL BİLGİLER

KALIBIN ADI... 3/4 INÇ PLASTİK DİŞLİ DİRSEK KALIBI

SEÇİLEN ENJEKSİYON MAKİNASI... ASHURİG

ENJEKSİYON MAKİNASININ KALIBUNA BOYUTLARI... 1250 X 1250 X 600

SEÇİLEN PLASTİK MALZEME... POLİETİLEN (PE)

SEÇİLEN PLASTİK MALZEMENİN KULLANILAN ALANI... 2730

SEÇİLEN KATKI MALZEMESİ... PLASTİK ENJEKSİYON EKSTRUZYON V.B. HER TÜRÜLİ ŞEKLİNDEN KALIPLARINDA KULLANILIR. BÜYÜK ET KALIPLARINDA BİLE.

SEÇİLEN KATKI MALZEMELERİ...

SEÇİLEN KATKI MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ...

GEREKLİ ENJEKSİYON ZAMANI... 5.0525

GEREKLİ SOĞUTMA ZAMANI... 12.1636

ENJEKSİYON BASINCI... 1950

KALIP SICAKLIĞI... 40

ERİYİK SICAKLIĞI... 260

MENGİNİ BASINCI... 1847.5842

ÜRETİLECEK KALIP MİLYETİ... 8853.81

ENJEKSİYONLA ÜRETİLECEK BİR ADİT ÜRÜNÜN MİLYETİ... 1.2703

YAZICI...

KALIP GENİSLİĞİ (Wmm) : 422

KALIP UZUNLUĞU (Lmm) : 214

KAVİTE KALIP KALINLIĞI (Hmm) : 51

KALIP BOSLUK GENİSLİĞİ (Wg) : 42

KALIP BOSLUK UZUNLUĞU (Lg) : 50

KALIP BOSLUK DERİNLİĞİ (Hg) : 25.5

YOLLUK BOSLUĞU (Wb) : 30

KALIPLAR ARASI BOSLUK (Lb) : 30

KALIP BURÇ BOSLUĞU (Wp1p) : 50

NOT : Yazarı elemanlar sorularına göre kopya yapabilir.

SOĞUTMA SU BORUSU BOSLUĞU (Hs) : 30

SOĞUTMA SUYU BORULARI ARASI MESAFE (Sw) : 435

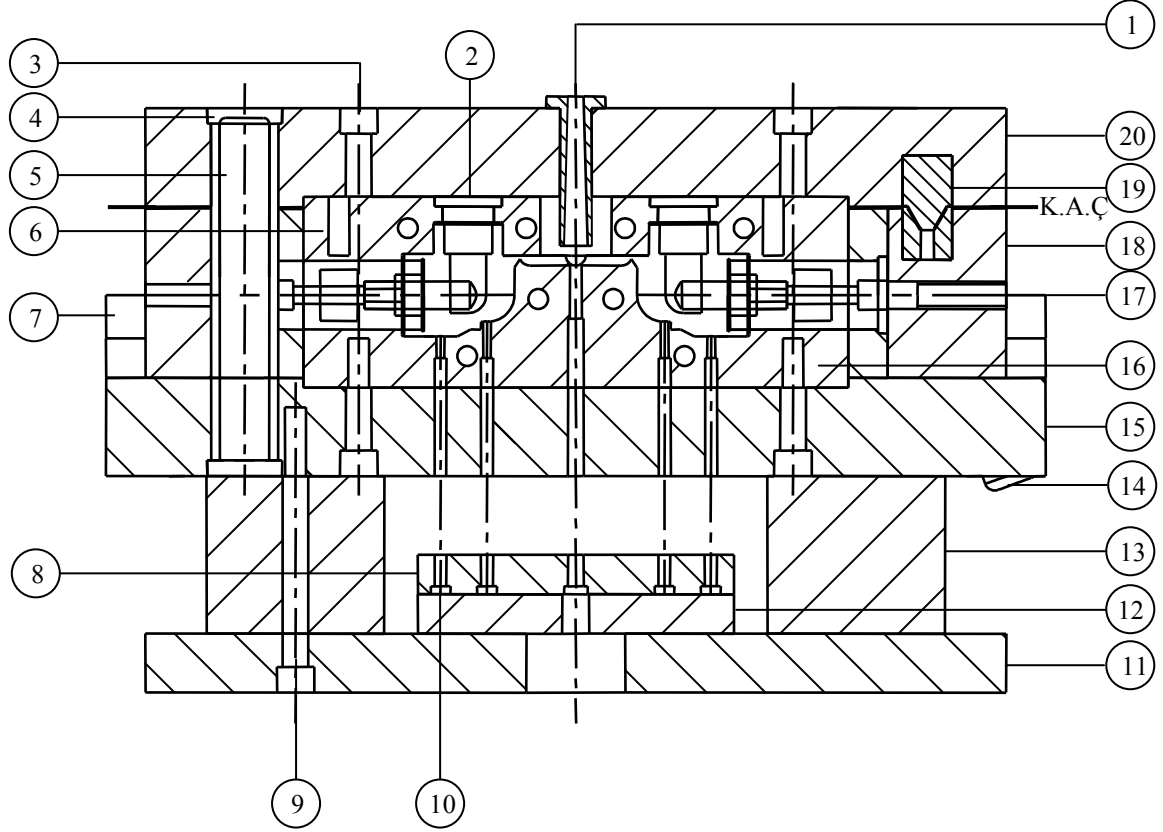
KAVİTE BOSLUK HACMİ : 87393.04

NUMUNE SAYISI : 8

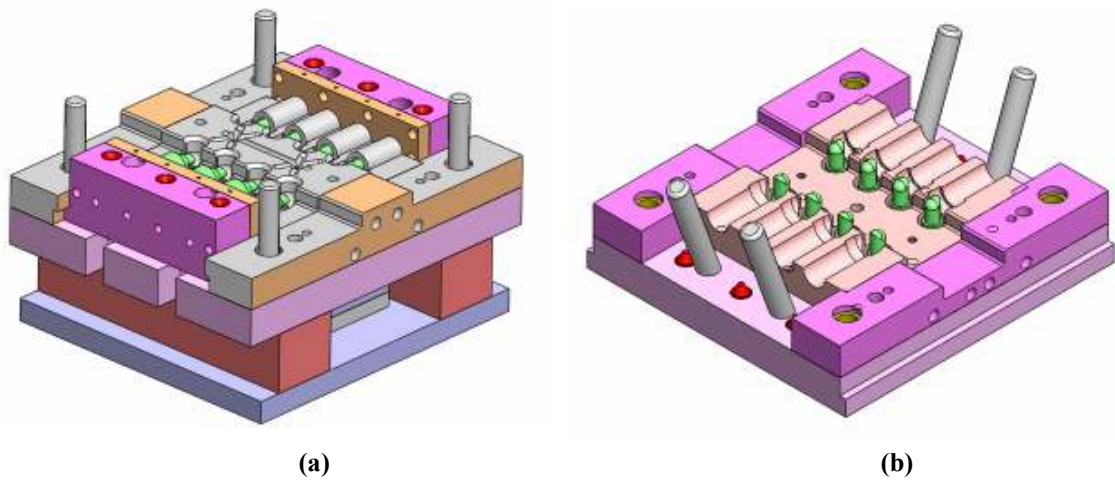
NUMUNENİN ŞEKLİ

Şekil 5.7. $\frac{3}{4}$ inch dişli dirsek elemanı için genel analizlerin toplandığı ekran

Program tarafından hesaplanan maliyet analizi için üretilen kalıbın montaj resmi Şekil 5.8’de, katı modeli ise Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.8. Uygulama örneği, dişli dirsek kalıbının montaj resmi



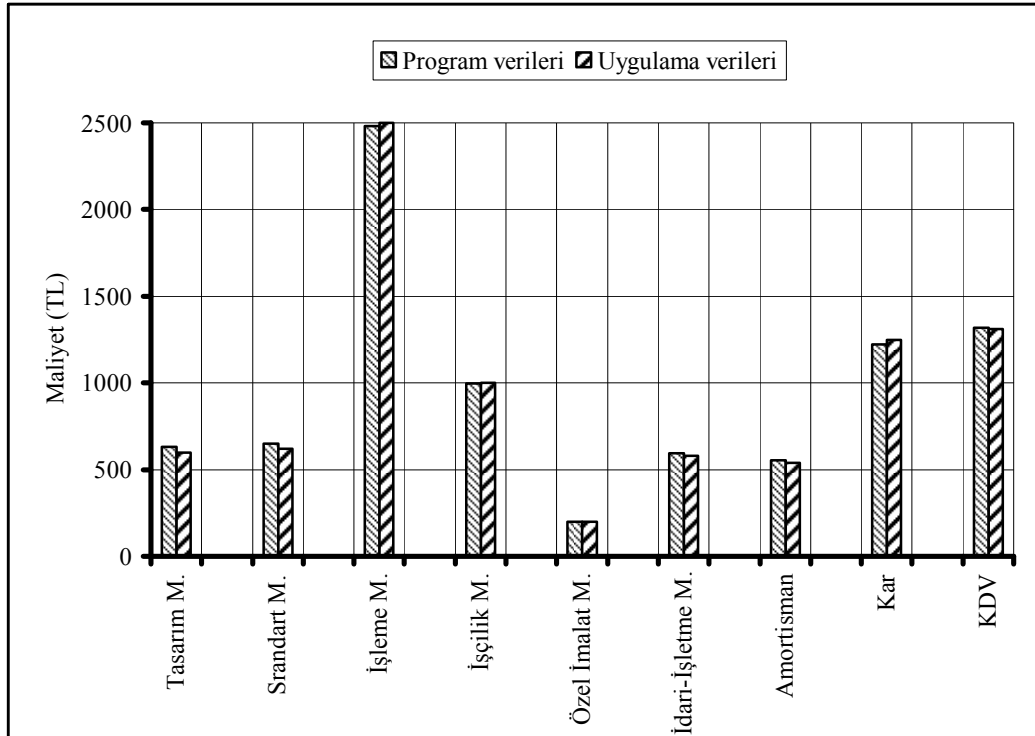
Şekil 5.9. Uygulama örneği, dişli dirsek elemanının katı modeli
(a. Kalıbın hareketli tarafı, b. Kalıbın sabit tarafı)

Dişli dirsek montaj resminde verilen kalıp elemanları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. ¾ inch plastik dişli dirsek kalıp elemanları

Parça No	Parça Adı	Kalıp Malzemesi	Parça No	Parça Adı	Kalıp Malzemesi
1	Yolluk Burcu	Ç1050	11	Bağlantı Plakası	Ç1050
2	Erkek Maça	2738	12	İtici Plaka	Ç1050
3	Sabitleme Pimi	Ç1050	13	Destek Plaka	Ç1050
4	Burç	Ç1050	14	Maça İtici Pimi	Ç1050
5	Klavuz Burcu	Ç1050	15	Kavite Alt Plaka	2738
6	Kavite Yan Plaka	Ç1050	16	Kavite Kızaklı Yan Plaka	Ç1050
7	Kavite Plaka	2738	17	Yan Maça	Ç1050
8	İtici Üst Plaka	Ç1050	18	Arka Yan Plaka	Ç1050
9	Sabitleme Pimi	Ç1050	19	Erkek Kilitleme Pimi	Ç1050
10	İtici Pim	Ç1050	20	Kavite Üst Plaka	Ç1050

Tablo halinde verilen ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının gerçek uygulamadaki kalıbı için; tasarım maliyeti 600 TL, kalıp ve standart kalıp malzemelerin maliyeti 620 TL, işleme maliyeti 2500 TL, işçilik maliyeti 1000 TL, özel giderler (Kumlama) 200 TL, idari- işletme giderleri 580 TL, amortisman giderleri 540 TL, kar 1250 TL ve KDV 1312.2 TL olmak üzere toplam olarak 8602.2 TL'ye imalatı yapılmıştır. ¾ inch plastik dişli dirsek kalıbı için paket program sonucu ve uygulama çalışması sonucundan hesaplanan maliyetlerin karşılaştırılması şekil 5.10'da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.10. Uygulama örneği ¾ inch dişli dirsek elemanı için kalıp maliyet hesabının değişim grafiği

Paket programın hesapladığı ve uygulama çalışması sonucu hesaplanan maliyetlerin artmasına etki eden en önemli faktörlerin kalıp işleme maliyeti, işçilik maliyeti, kar ve KDV olduğu görülmektedir.

İmalatı yapılan kalıbın çalışma şartlarını kontrol etmek amacıyla üretilen kalıpla, $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek numunesi enjeksiyonla kalıplanarak üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan numuneye kalıplama esnasında iç ve dış dişli soket takılmıştır. Bu nedenle Şekil 5.11’de gösterilen kalıplanmış numunede soketler mevcut olarak görülmektedir.



Şekil 5.11. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek baskı numunesi

Enjeksiyon makinesinde, enjeksiyon basıncı 540 bar, plastiğin erime sıcaklığı 240 °C ve kalıp sıcaklığı 40 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu verilere göre tezgah üzerinden gerçek enjeksiyon zamanı yaklaşık 6 sn ve gerçek soğutma zamanı ise 10 sn olarak okunmuştur.

Numune üretimini yapılan $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek maliyeti 1 TL olarak elde edilmiştir. Aynı numune üretimini yapan firmalar ise maliyetin 1 ile 1.5 TL arasında değiştiğini söylemektedirler. Bunun asıl nedenleri, kullanılan kalıp malzemesinin kalitesi, işçilik giderleri ve kullanılan hurda plastik olarak sıralandığı düşünülmektedir.

5.2.2. Otobüs İkaz Düğmesi Çalışması

Optimum tasarım için üretilecek plastik elemanların bütün özellikleri göz önünde bulundurularak veri tabanına girilen plastik enjeksiyon makineleri, plastik malzeme ve katkı malzemelerinden seçim yapılır. AutoCAD ya da SolidWORKS programlama

dilinden biri kullanılarak üretimi yapılacak parçanın geometrik özellikleri (numunenin boyutları ve hacmi) programa tanımlanır. Bütün bu tanımlama işlemleri yapıldıktan sonraki ilk aşamada program enjeksiyon makinesinin kalıplama boyutlarını, makinenin bir defada basabileceği plastik miktarını, seçilen plastik malzemeyi, katkı maddelerini, numunenin geometrik özelliklerini biri birleriyle karşılaştırarak kalıpta kaç adet numunenin bir defada basılacağını hesaplamaktadır. İkinci aşamada ise bir adet kalıp boşluğu için seçilen plastik malzemenin akış uzunluğu ve akış uzunluğuna bağlı olarak kalıpta kaç adet numunenin bir defada basılacağını hesaplamaktadır. Son olarak iki aşamada elde edilen verileri birbiriyle kıyaslayarak bir defada basılacak plastik malzeme sayısı ve buna bağlı olarak kalıp boyutlarının ne olacağını belirlemektedir.

Maliyet hesabı için, otobüslerde yolcu koltuklarının üzerinde bulunan ikaz düğmelerinin üretiminde hazırlanan bir kalıbın maliyet hesabı yapılmıştır. Üretilcek ikaz düğmesinin geometrik özelliklerini belirlemek için SolidWORKS programı kullanılmıştır. Otobüs ikaz düğmesine ait tüm veriler programın optimum tasarım bölümüne tanımlanmıştır (Şekil 5.12).

OPTIMUM TASARIM

SEÇİM İŞLEMLERİ

KALIP MALZEMESİ: 2730

MAKİNA MARKASI: ARBURG

PLASTİK MALZEME: ABS/AKRİLOİL-BÜT

KATKI MADDELERİ

PERİSTİTİKLER VE DAYANIM ARTI
RENKLENDİRİCİLER
PLASTİKLEŞTİRİCİLER
KAYDIRICI VE İŞLEMİYİ KOLAYLAŞ
UV DENGELİYİCİLER
ANTİSTATİKLER
GECİTLEME İMİCİSİ

PLASTİĞİN KULLANIM ALANI

TELEVEYON VE GÜÇ DONANIMI KABİMLERİ, ANAHTAR (SWITCH) KUTULARI, ÇIZGARA VE GÖVDE PANEİLLERİ, TAKIM ÇANTASI, TIBBİ ENME POMPALARI, DEKORATİF EŞYA, OYUNCAK, TELEFON GÖVDELERİ, BURUŞ MAKİNELERİ GÖVDE VE PARÇALARI, BORU VE BAĞLANTILARI, DEFO VE SOĞUTUCU

ÜRETİLECEK MALZEMENİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

MAKSİMUM DEĞERLER

UZUNLUK: 29,4 mm

GENİŞLİK: 19,4 mm

YÜKSEKLİK: 16,28 mm

Üretilcek malzemenin kalınlık ve açılışını Autocad veya Solid programlarına kullanarak hesaplayabilirsiniz.

UYGULAMALARI

AUTOCAD SOLID WORKS

HACİM: 2619,41 mm³

AĞIRLIK HESAPLA: 2,7241064 gram

Şekil 5.12. Otobüs ikaz düğmesi için optimum tasarım ekranına girilen değerler

Optimum tasarımı yapılan numunenin kalıplama boyutları ve kalıplama boyutlarına bağlı olarak kalıp malzemelerinin (üst plaka, erkek plaka, dişi plaka, destek plakası, destek, itici plaka, itici tutucu plaka, alt plaka) ağırlıkları program tarafından hesaplanmıştır. Bu

hesaplamalarda kalıp boşluğu dikkate alınarak işlemler yapılmıştır. Hesaplanan ağırlıklar maliyet hesabında uygun yerlere otomatik olarak atanmıştır. Veri tabanına eklenen kalıp malzemelerinden seçim yapılarak kalıp malzemesinin maliyeti hesaplanmıştır.

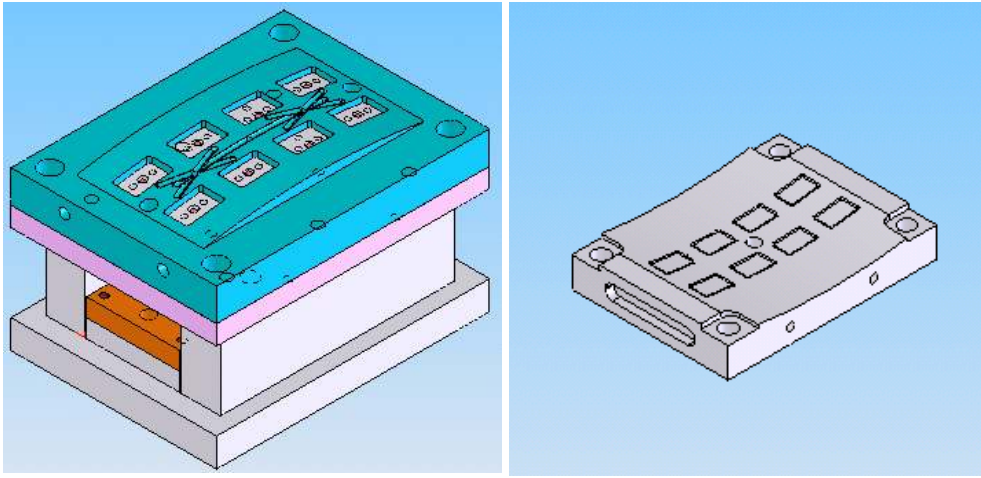
Kalıbın, talaşlı imalat veya klasik olmayan imal usulleri ile işlenmesi gerekebilir. Bu nedenle birden fazla tezgâh seçimi yapılarak toplam tezgâh işleme maliyeti hesaplanmalıdır. Her tezgâh seçiminde otomatik olarak eklenen o tezgâha ait maliyet değeri ile işleme süresi girilerek birim maliyeti hesaplanmalı ve toplam kalıp işleme maliyeti bulunmalıdır. Standard kalıp elemanları (İtçiler, Cıvatalar, Burçlar v.b), kalıbın tasarım süresi, kalıbın işlenmesi için kullanılacak tezgâhlar, işleme süreleri, işçi sayısı ve diğer giderler de programa girilerek kalıbın toplam maliyet hesabı yapılmıştır. Malzemelerin birim fiyatları veri tabanında önceden tanımlanmıştır. Makine işleme süreleri MasterCAM programlama dilinden hesaplanmış ve programa aktarılmıştır. Üretimi yapılmış olan ürünün maliyeti için paket program ürettiği sonuç ekranı Şekil 5.13’de verilmiştir.

MALİYET HESABI

TASARIM MALİYETİ KALIBIN TASARILAMA SÜRESİ (SAAT) 28 X 1264 = 353,92 TL		ÖZEL İMALAT İŞLERİ GİDERLERİ MÜHÜR, PARLATMA, MAÇALAR VE KESİCİLER 79 TL
KALIP MALZEMESİNİN MALİYETİ 		İDARE VE İŞLETME GENEL GİDERLERİ FİNANSMAN, SATIŞ, PAZARLAMA, PERSONEL GİDERLERİ 307,49 TL
481,58 TL		AMORTİSMAN 286,99 TL
KALIP İŞLEMİ VE İŞÇİLİK MALİYETİ		KAR 631,38 TL
TEZGAH ☒ CNC FREZE ☐ SAAT 47,23 X 30 = 1416,90 TL ☒ FREZE ☐ ELEKTRO EREZYON ☐ İŞÇİ SAYISI 3 X 14 X 5,5 = 231,00		KATMA DEĞER VERGİSİ (KDV) 681,89 TL
TOPLAM MALİYET 4470,14 TL		TEZGAH EKLE YAZDIR ÇIKIŞ

Şekil 5.13. Programın otobüs ikaz düğmesi için hesapladığı maliyet ekranı

Programın geçerliliğini kontrol edebilmek için otobüs ikaz düğmesinin üretim maliyeti deneysel olarak araştırılmıştır. Kalıbın tasarlanmasında SolidWorks programlama dili kullanılmıştır. Kalıbın ısıya maruz kalan elemanları yüksek sıcaklığa dayanıklı 2738 plastik kalıp malzemesinden diğer elemanları ise Ç1050 malzemesinden yapılmıştır. Kalıp üretiminin yapılması ve kalıp işleme süresinin belirlenmesinde ise MasterCAM programlama dili kullanılmıştır. Şekil 5.14’de tasarlanan kalıbın katı modeli, Şekil 5.15’de ise kalıbın açılmış haldeki iç görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.14. Otobüs ikaz düğme kalıbının katı modeli



Şekil 5.15. Otobüs ikaz düğme kalıbının açılmış haldeki iç görünüşü

Üretimi yapılan kalıbın, tasarımcı tarafından belirli bir ücret ile yapıldığı düşünülürse bu ücret aylık çalışma ücretine göre, kalıbın tasarlandığı saatle orantılı olmalıdır. Normal

şartlar altında tasarımcının aylık ücreti 3000 TL ise, buna bağlı olarak saatlik ücreti de yaklaşık 12.64 TL olur. Deney kalıbı 28 saatte tasarlandığından dolayı, tasarım ücreti 353.92 TL olarak hesaplanmıştır.

Kalıbın yapımı için gerekli olan malzeme maliyetini çıkartmak için kalıp malzeme fiyatlarına ve kalıp malzemelerinin ağırlıklarına ihtiyaç vardır. Kalıp malzemelerinin kilogram fiyatları, Ç1050 çeliği için 3.2 TL, 2738 plastik kalıp çeliği için ise 6.5 TL'dir. Bu bilgilere göre üretimi yapılan kalıbın malzeme maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Bağlantı plakası	: 5,84 kg x 3,2 = 18.69 TL
Destek ayakları	: 5,2 kg x 3,2 = 16.64 TL
Düğme maçaları	: 1,32 kg x 6,5 = 8.58 TL
Düğme soketleri	: 0,49 kg x 6,5 = 3.19 TL
İtici plaka	: 1,46 kg x 3,2 = 4.67 TL
Kavite hareketli plaka	: 8,65 kg x 6,5 = 56.23 TL
Kavite hareketli alt plaka	: 3,99 kg x 3,2 = 12.77 TL
Kavite sabit plaka	: 9,29 kg x 6,5 = 60.39 TL
	:Genel toplam = 181,16 TL.

Standart kalıp elemanlarının (burçlar, kolonlar, cıvatalar ve iticiler gibi) maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Burçlar	: 4 adet x 13 = 52 TL
Kolonlar	: 4 adet x 13 = 52 TL
Cıvatalar	: 16 adet x 0,4 = 6.4 TL
İticiler pimler	: 16 adet x 4,74 = 75.84 TL
	Genel toplam = 186.24 TL.

Kalıp işleme maliyeti ve işçilik giderleri için tezgâhlarda harcanan çalışma saatleri belirlenip tezgâhların çalışma saat ücretleriyle ilişkilendirilmiştir. Kalıp parçalarının CNC tezgâhlarında işleme sürelerini çıkarmak için MasterCAM programı kullanılmıştır. Bu programda, bütün parçaların CNC işleme süresi 47.23 saat olarak bulunmuştur. Serbest piyasada CNC tezgâhlarının çalışma ücreti 30 TL/saat alınmaktadır. Bu nedenle CNC işleme maliyeti 1416.9 TL, aynı kalıp için işçilik maliyeti ise 232.26 TL olarak bulunmuştur.

Özel imalat işleri giderleri, mühür, parlatma, özel kesiciler ve maçalar da maliyete dâhil edilerek özel imalat işlemleri giderleri 79 TL olarak hesaplanmıştır.

İdari ve işletme genel giderlerinin hesabında ise işletmelerde idari personel, finansman, satış ve pazarlama giderlerinin karşılanması için maliyetin % 12'si kadar bir ücret hesaplanmıştır. Bu ücret idari ve işletme genel giderlerini oluşturmaktadır. Hesaplanan idari ve işletme genel giderleri 293.94 TL olarak bulunmuştur.

Amortisman giderleri ise istatistik olarak maliyetin %10 kadarını oluşturmaktadır. Amortisman gideri 274.34 TL dir.

İşletmeler kendi çıkarları doğrultusunda yaptıkları işlerden belli bir miktar kar elde ederler. Bu kar payı standart olarak maliyetin %20'si kadar hesaplanmıştır. Buna göre kalıbın kar payı 603.55 TL bulunmuştur.

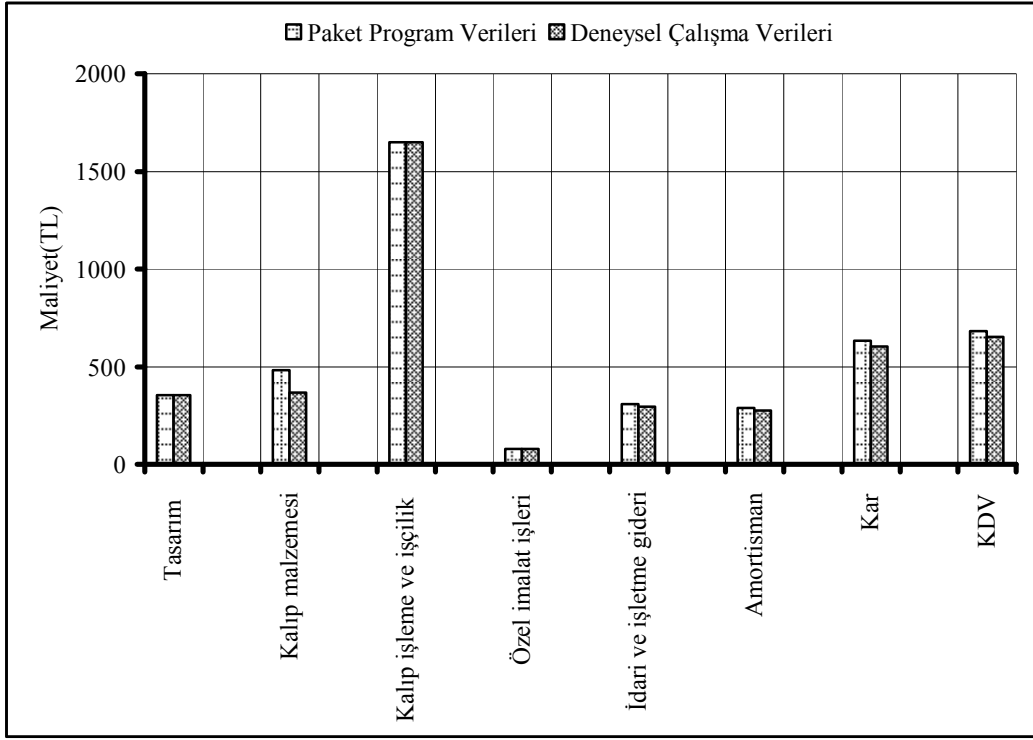
Ayrıca %18'lik katma değer vergisi (KDV) maliyet giderlerine eklenerek maliyeti hesaplanan kalıbın KDV'si 651.84 TL'dir. Böylelikle tüm kalıp maliyetine etki eden parametreler toplanarak kalıp maliyeti 4273.15 TL olarak hesaplanmıştır.

Kalıbın tasarım maliyeti, kalıp malzemesinin maliyeti, kalıp işleme maliyeti ve işçilik giderleri, özel imalat işleri giderleri, idari ve işletme genel giderleri, amortisman, kar ve KDV giderleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Otobüs ikaz düğme kalıp maliyet giderleri

	Tasarım maliyeti (TL)	Kalıp malzemesi maliyeti(TL)	İşletme ve kalıp işçilik maliyeti(TL)	Özel imalat işleri giderleri(TL)	İdari ve işletme genel giderleri(TL)	Amortisman (TL)	Kar (TL)	KDV (TL)
Program verileri	353.92	481.58	1647.9	79	307.49	286.99	631.38	681.89
Deney verileri	353.92	367.4	1649.16	79	293.94	274.34	603.55	651.84

Otobüs ikaz düğmesi için programdan elde edilen maliyetler ile deneysel çalışması yapılan kalıp maliyetlerin karşılaştırılması Şekil 5.16'da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.16. Otobüs ikaz düğme kalıp maliyet hesaplarının değişim grafiği

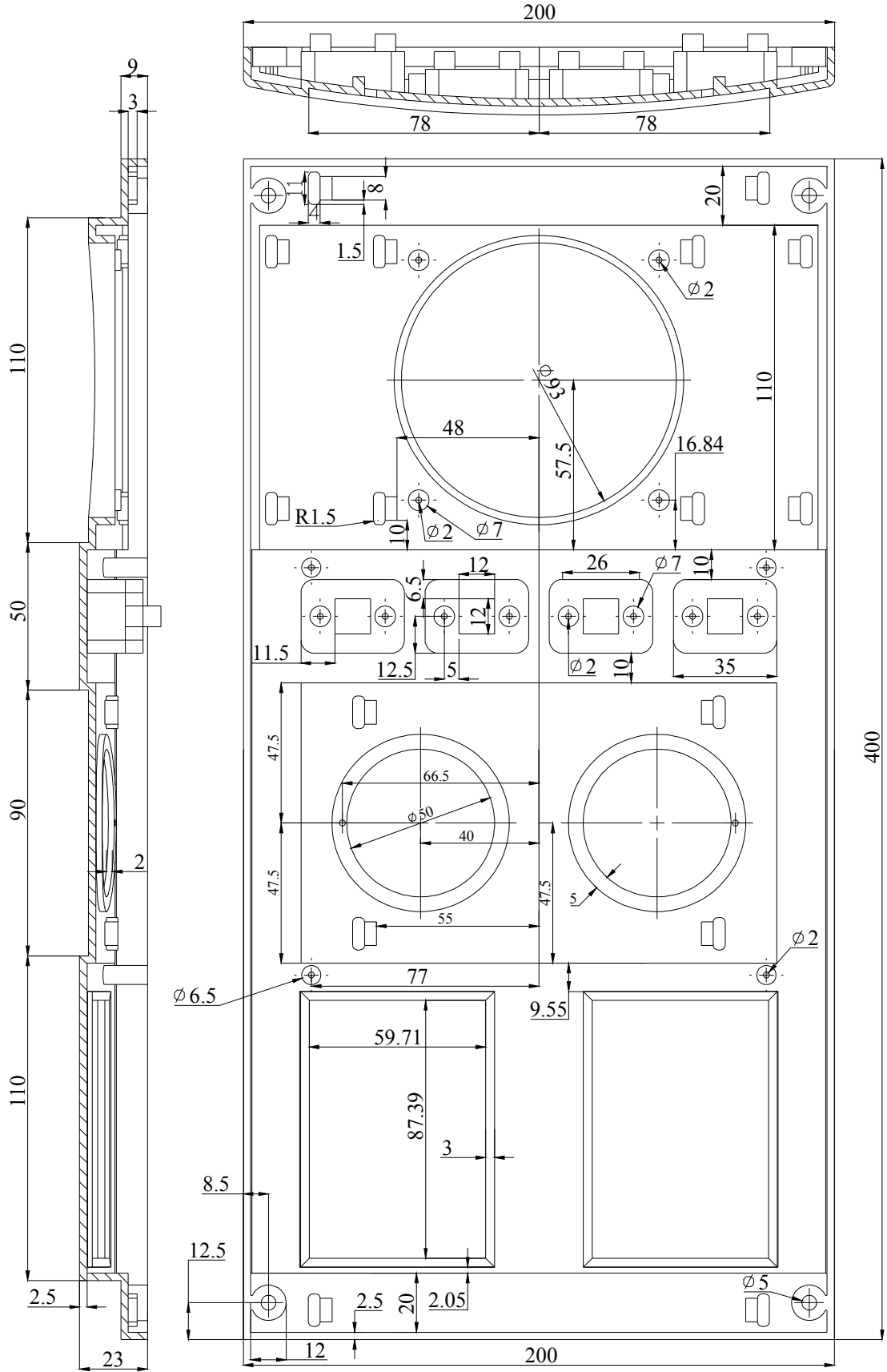
Paket program ve deneysel çalışmada hesaplanan maliyetlerin artmasına etki eden en önemli faktörlerin kalıp işleme ve işçilik maliyeti, kalıp malzeme maliyeti, kar ve KDV olduğu görülmektedir.

5.2.3. Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Çalışması

Kalıp maliyeti ve enjeksiyon parametreleri hesaplanacak olan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvasının hesaplamaları program tarafından yapılabilmesi için kalıplama parametrelerinin optimum tasarım ekranına girilmesi gerekmektedir. Optimum tasarıma girilecek olan numunenin ölçüleri Şekli 5.17’de fotoğraf görüntüsü verilen hoparlör-lamba ve ikaz düğme yuvası elemanından ölçülmüştür. Numuneden ölçülen değerler Şekil 5.18 imalat resminde gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.18. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesinin imalat resmi

Numuneden ölçülen değerler Şekil 5.19’de gösterilen optimum tasarım ekranına girilmiştir.

OPTIMUM TASARIM

SEÇİM İŞLEMLERİ

KALIP MALZEMESİ: 2738

MAKİNA MİRKESİ: TMC E (E280)

PLASTİK MALZEME: ABS(AKRONİTRİL-BÜT)

KATKI MADDELERİ

PEKİSTİRİCİLER VE DAYANIM ARTI
RENKLENDİRİCİLER
PLASTİKLESTİRİCİLER
KAYDIRICI VE İŞLEMİYİ KOLAYLAŞ
UV DENGLEYİCİLER
ANTİSTATİKLER

PLASTİĞİN KULLANIM ALANI

TELEVİZYON VE GÜÇ DÖNANIMI KABİMLERİ, ANAHTAR (SWITCH) KUTULARI, İZGARALAR VE GÖVDE PANNELERİ, TAKIM CİHAZLARI, TİBBİ EMME POMPALARI, DEKORATİF EŞYA, OYUNCUK, TELEFON GÖVDELERİ, BÜYÜK MAKİNELERİ GÖVDE VE PARÇALARI, BORU VE BAĞLANTILARI, DEPO VE SOĞUTUCU

ÜRETİLECEK MALZEMENİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

MAKSİMUM DEĞERLER

UZUNLUK: 400 mm

GENİŞLİK: 200 mm

YÜKSEKLİK: 23 mm

ÇAP: mm

ET KALINLIĞI: 2,5 mm

Üretilecek malzemenin hacmi ve ağırlığı AutoCAD veya Solid programlarına kullanarak hesaplayabilirsiniz.

UYGULAMALAR

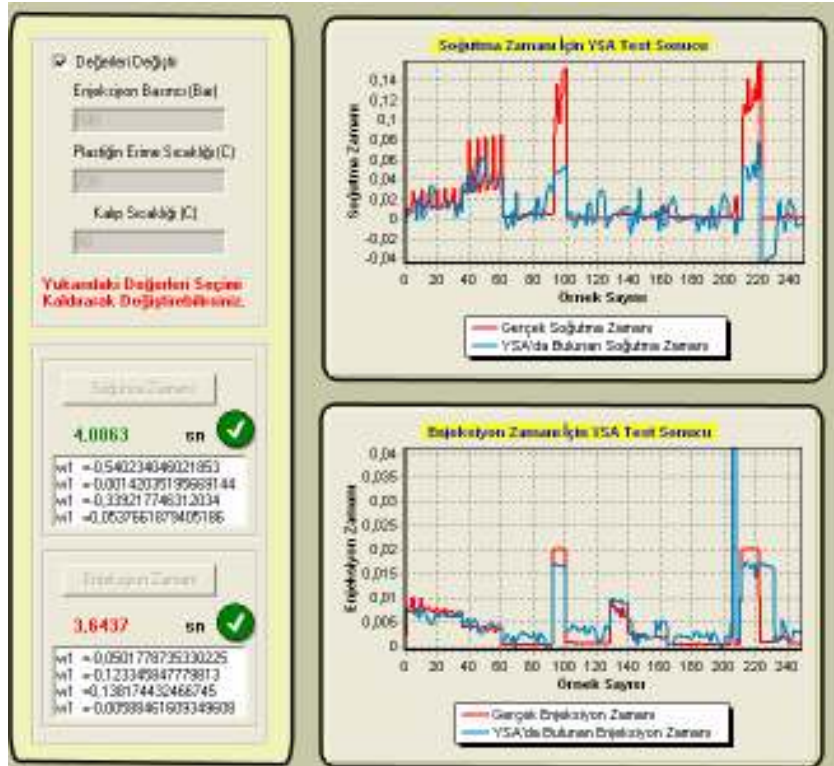
AUTOCAD SOLID WORKS

HACİM: 214907,6 mm³

AĞIRLIK HESAPLA: 225,7036438258 gram

Şekil 5.19. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası için optimum tasarım ekranına girilen değerler

Program girilen tüm verilere göre numunenin enjeksiyon zamanını yaklaşık olarak 3.65 sn ve soğutma zamanını da 4.09 sn olarak hesaplamıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme numunesi için soğutma ve enjeksiyon zamanı

Daha sonra kalıp maliyet hesabı ekranına geçilerek hazır paket programın ürettiği maliyet sonucu hesaplanmıştır. Bu sonuca göre paket program tasarım maliyetini 568.8 TL, kalıp elemanlarının maliyetini 817.04 TL, işleme maliyetini 1830 TL, işçilik maliyetini 832 TL, özel imalat işleri giderlerini 300 TL, idari-işletme genel giderlerini 521.74 TL, amortisman giderlerini 486.96 TL, kar'ı 1071.31 TL, KDV'yi 1157.01 TL olmak üzere toplam kalıp maliyetini 7584.86 TL olarak hesaplamıştır (Şekil 5.21).

TASARIM MALİYETİ KALIBIN TASARLAMA SÜRESİ (SAAT) 45 X MALİYET(TL/h) 12,64 = 568,80 TL		İŞÇİLİK GİDERLERİ İŞÇİ SAYISI 2 X SAAT 80 X MALİYET (TL/h) 5,2 = 832,00 TL	
STANDART MALİYETLER 		ÖZEL İMALAT İŞLERİ GİDERLERİ MÜHÜR, PARLATMA, MAÇALAR VE KESİCİLER 300 TL	
KALIP İŞLEME MALİYETİ TEZGAH ☒ CNC FREZE--30TL X 45 ☒ CNC TORNA--30TL X 10 ☐ FREZE--25TL ☒ ELEKTRO EREZYON--20TL X 5 = 1830,00 TL		İDARE VE İŞLETME GENEL GİDERLERİ FİNANSMAN, SATIŞ,PAZARLAMA,PERSONEL GİDERLERİ 521,74 TL	
817,04 TL		AMORTİSMAN 486,96 TL	
KAR 1071,31 TL		KATMA DEĞER VERGİSİ (KDV) 1157,01 TL	
TOPLAM MALİYET 7584,86 TL		TOPLAM MALİYET 7584,86 TL	

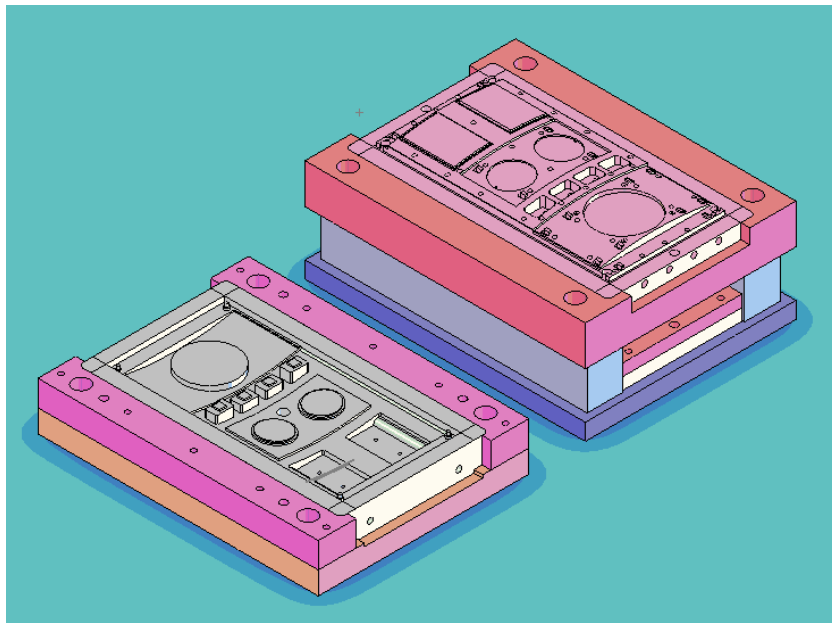
Şekil 5.21. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme kalıbının maliyeti

Program tarafından kalıp maliyeti 7584.86 TL olarak hesaplanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanı kullanılan ham plastik malzeme maliyeti 0.9 TL, enjeksiyon maliyeti 0.18 TL, işçilik 0.03 TL, idari-işletme giderleri 0.14 TL, amortisman 0.76 TL, kar 0.4 TL olmak üzere toplam 2.84 TL'ye kalıplandığı görülmektedir (Şekil 5.22). Kalıplanan elemanın maliyetine etki eden en büyük üç faktör sırasıyla ham malzeme maliyeti, amortisman ve enjeksiyon maliyeti olduğu görülmektedir.

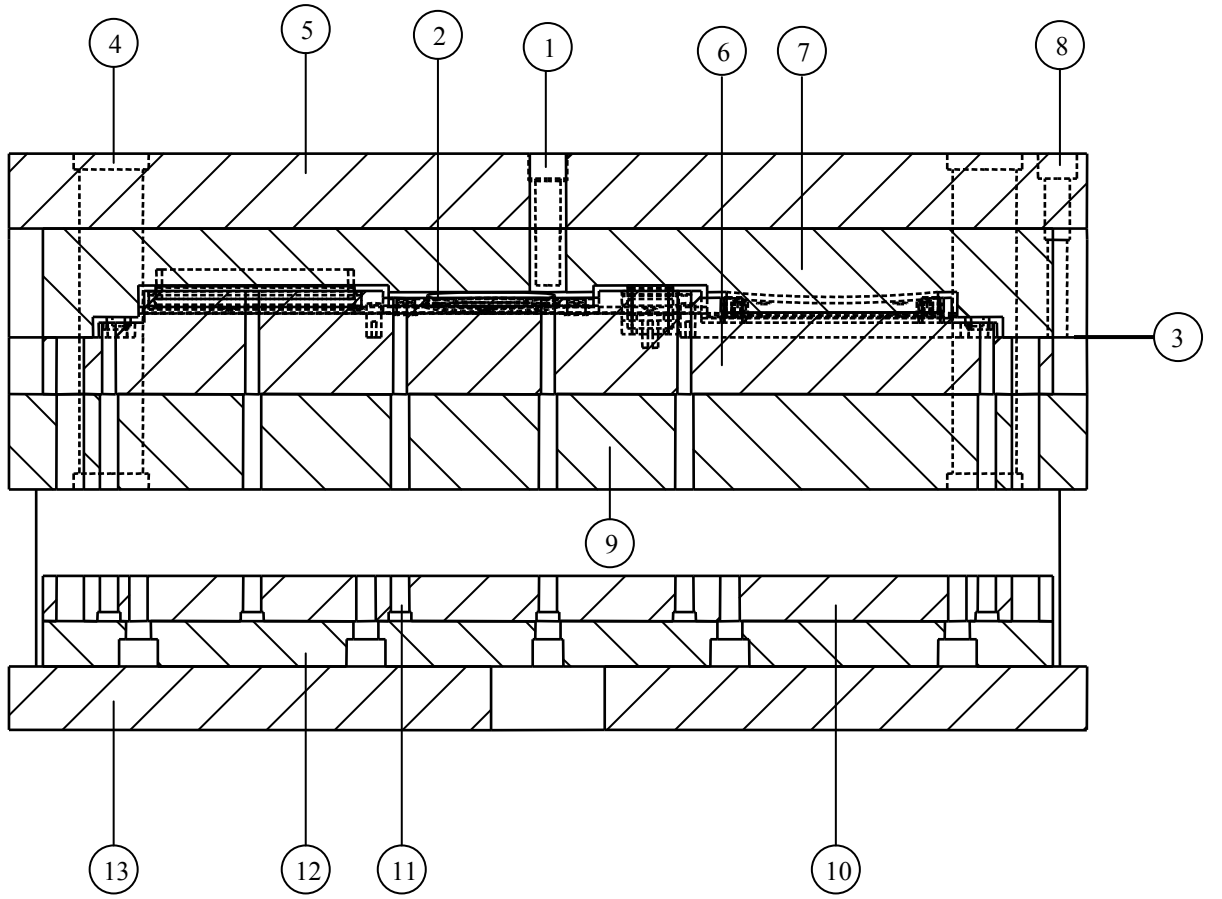
HAM PLASTİK VE KATKI MADDE MALİYETİ		İŞÇİLİK GİDERLERİ	
PLASTİK MALZEME	ABS(AKRONİTRİL-BÜTADIEN-STİREN)	İŞÇİ SAYISI	SANİYE
NUMUNE	225,7836	İşçilik	1 x 21,73 x 5,2 = 0,0314
AĞIRLIĞI (gr)			
PLASTİK VE KATKI MALZEMESİNİN BİRİM FİYATI	0,0040 TL		
	X = 0,9031		
ENJEKSİYON MALİYETİ		MAMÜLE TAKILAN SOKET GİDERLERİ	
		YARIDIMCI BAĞLANATI ELEMANLARI	
ENJEKSİYON MAKİNASININ ADI ARBURG ENJEKSİYON ZAMANI 3,6437 sn SOĞUTMA ZAMANI 4,0863 sn ÜTÜLEME ZAMANI 8 sn KALIP AÇMA KAPAMA ZAMANI 6 sn		TL	
İŞLEME ÜCRETİ (TL/h)		İDARE VE İŞLETME GENEL GİDERLERİ	
30 x 21,73 = 0,1811 TL		FİNANSMAN, SATIŞ, PAZARLAMA, PERSONEL GİDERLERİ	
		0,1339 TL	
		AMORTİSMAN	
		0,7585 TL	
		KÂR	
		0,4016 TL	
		KATMA DEĞER VERGİSİ (-KDV)	
		0,4337 TL	
		TOPLAM MALİYET	
		2,8433 TL	

Şekil 5.22. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme elemanının maliyeti

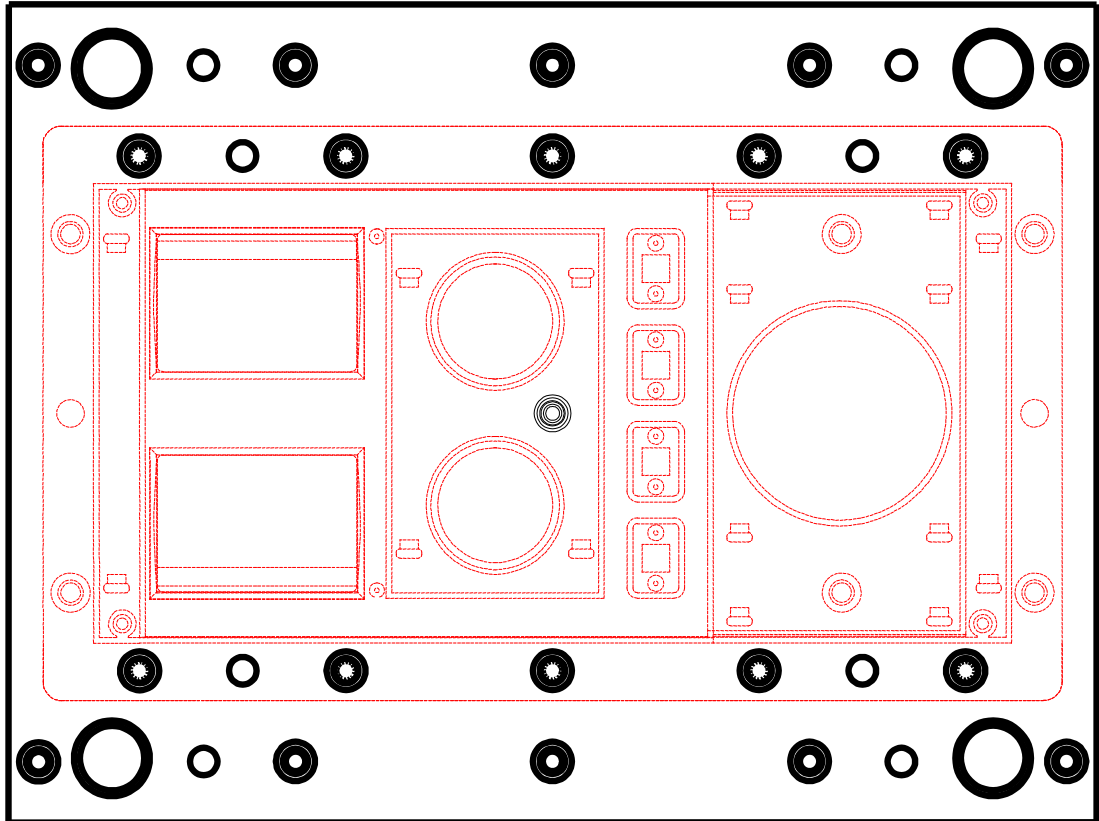
Program tarafından hesaplanan maliyet analizi için üretilen kalıp Şekil 5.23’de, montaj resmi ise Şekil 5.24’de gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası kalıbının katı modeli



a) Kalıbın montaj resmi



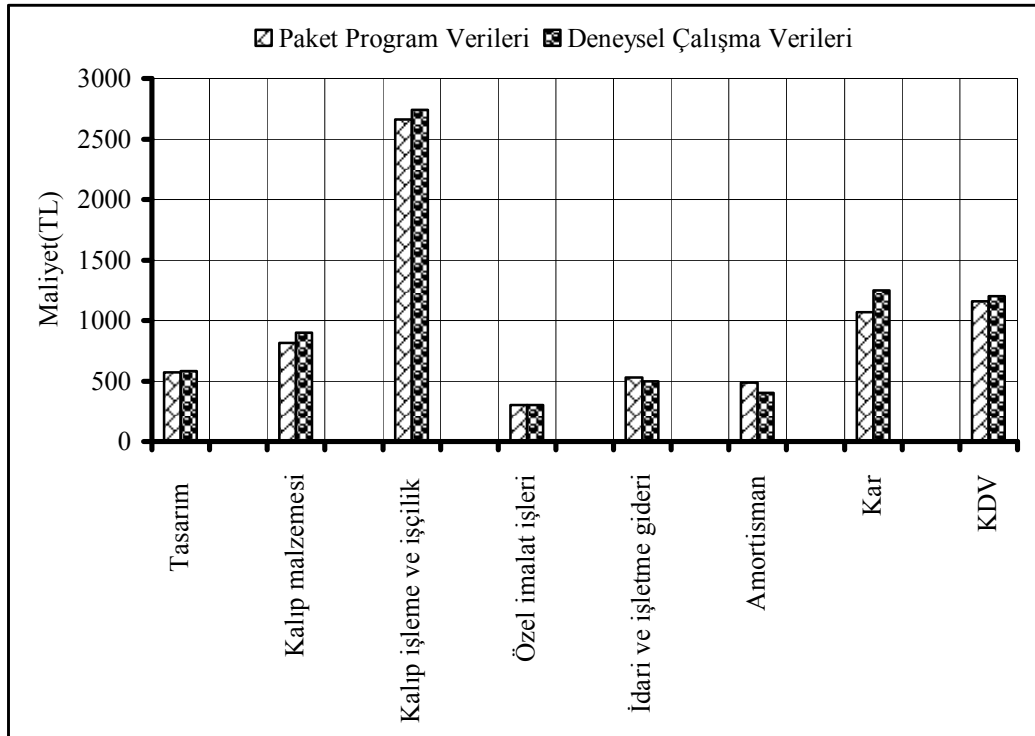
b) Kalıbın iç görünüşü

Şekil 5.24. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme kalıbı montajı ve iç görünüşü

Hoparlör, lamba ve ikaz düğme kalıbı montajında verilen kalıp elemanları aşağıda verilmiştir.

- 1- Yolluk Burcu, 2- Kalıp Boşluğu, 3- Kalıp Açılma Çizgisi (K.A.Ç),
 4- Burç, 5- Kavite Üst Plaka, 6- Hareketli Kalıp Plakası,
 7- Sabit Kalıp Plakası, 8- Sabitleme Pimi, 9- Kavite Alt Plakası,
 10- İtici Üst Plaka, 11- İtici Pim, 12- İtici Alt Plaka,
 13- Bağlantı Plakası kalıp elemanlarıdır.

Katı model Şekli 5.23’de montaj görüntüsü ise Şekil 5.24’de verilen hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuva kalıbı için; tasarım maliyeti 580 TL, kalıp ve standart kalıp elemanlarının maliyeti 900 TL, işleme ve işçilik maliyeti 2740 TL, özel giderler 300 TL, idari-işletme giderleri 500 TL, amortisman giderleri 400 TL, kar 1250 TL ve KDV 1200.6 TL olmak üzere toplam olarak 7870.6 TL’ye imalatı yapılmıştır. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası için paket program sonucu ve uygulama çalışması sonucundan hesaplanan maliyetlerin karşılaştırılması Şekil 5.25’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.25. Hoparlör, Lamba ve ikaz düğme yuvasının kalıp maliyet hesaplarının değişim grafiği

Grafikte maliyete etki eden en büyük faktörün kalıp işleme ve işçilik maliyeti olduğu görülmektedir.

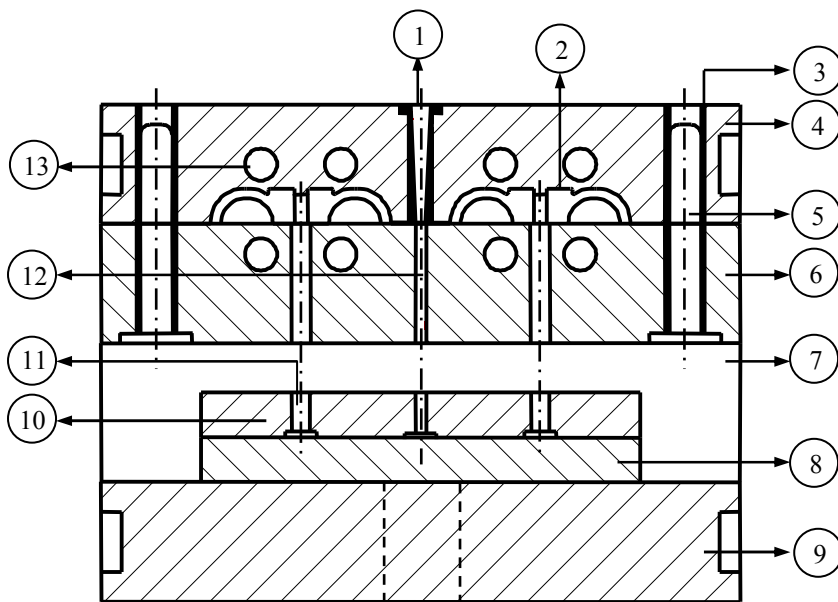
5.2.4. Klamp Kablo Tutucu Çalışması

Klamp kablo tutucular, kalın telefon tellerinin ya da elektrik kablolarının bir yerden başka bir yere götürülmeleri için belirli aralıklarla sabitleme görevini yapan elemanlardır. Bu ürünlerin plastik enjeksiyon kalıplama teknikleriyle seri olarak üretimi, maliyetinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Klamp kablo tutucuların enjeksiyon makinesinde kalıplanması Şekil 5.26'da, kalıbın montaj resmi ise Şekil 5.27'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Klamp kablo tutucu kalıplama şekli



Şekil 5.27. Klamp kablo tutucu kalıbının montaj resmi

Montaj resminde gösterilen kalıp elemanları; 1. Yolluk, 2. Kalıp Boşluğu, 3. Burç, 4. Dişi Kalıp, 5. Klavuz Pimi, 6. Erkek Kalıp, 7. Destek Plakası Alanı, 8. İtici Tutucu Plaka, 9. Alt Plaka, 10. İtici Plaka, 11. İtici Pim, 12. Yolluk Burcu, 13. Soğutma Kanalıdır.

Klomp kablo tutucu enjeksiyon makinesinde kalıplanırken kullanılan parametreler ve malzeme özellikleri Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Klomp kablo tutucunun kalıplama parametreleri

Enjeksiyon Makine Parametreleri	Değerler
Kullanılan Plastik Malzeme	Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)
Enjeksiyon Basıncı	540 bar
Enjeksiyon Hızı	600 gr/dak
Plastiğin Erime Sıcaklığı	190 °C
Kalıp Sıcaklığı	20 °C
Enjeksiyon Zamanı	5 sn
Soğutma zamanı	10 sn

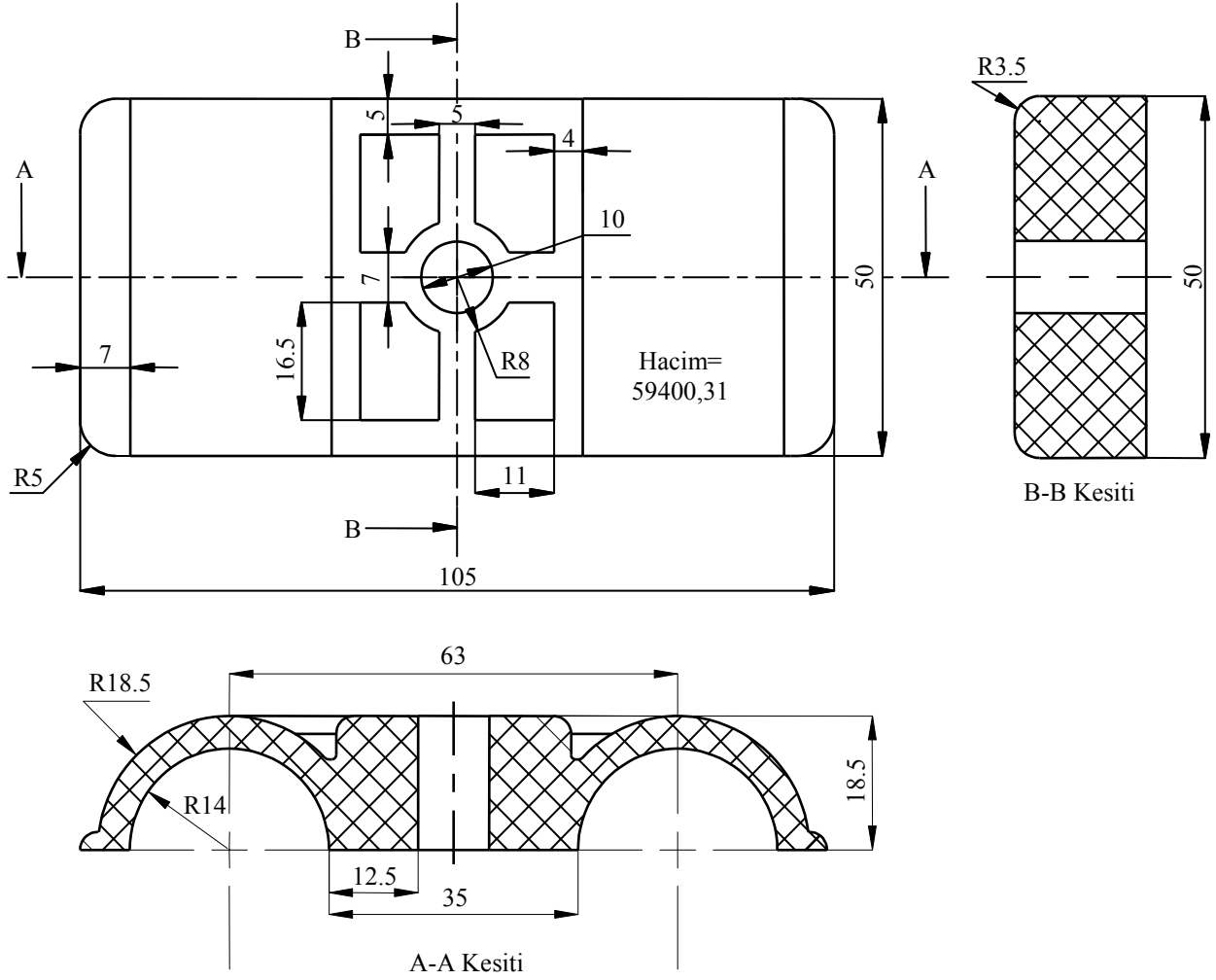
Tablodaki değerler enjeksiyon makinesinde okunduğunda klomp kablo tutucu optimum ölçü tamlığı sağlanarak en ideal şekilde elde edilmiştir (Şekil 5.28).

Bu çalışmada, klomp kablo tutucuları için seçilen parametreler dikkate alınarak farklı kalıp ve ergime sıcaklıkları için paket programın hesapladığı soğutma zamanı ile teorik çalışmadan hesaplanan soğutma zamanları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.28. Klomp kablo tutucu numunesi ve kalıplama şekli

Klarp kablo tutucunun maksimum uzunluğu, maksimum genişliği, maksimum yüksekliği, et kalınlığı ve hacmi numune ölçüsünden çıkartılmıştır (şekil 5.29). Klarp kablo tutucu elemanı ile ilgili tüm parametreler paket programa tanımlanarak YSA tabanlı modelleme işlemeine geçilmiştir.



şekil 5.29. Klarp kablo tutucu elemanının ölçüleri

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) malzemeden elde edilecek klarp kablo tutucu elemanının ideal bir biçimde kalıp boşluklarını doldurması için kalıp sıcaklığının 20°C–60°C, ergime sıcaklığının ise 180°C–240°C arasında olması gerekmektedir. Bu nedenle YYPE malzeme için programın YSA tabanlı modelleme bölümüne farklı kalıp ve plastik ergime sıcaklıklarındaki değerler girilerek soğutma zamanlarındaki değişim incelenmiştir.

Paket program tarafından farklı sıcaklıklarda soğutma zamanları hesaplanan kablo tutucunun teorik olarak hesaplanması için 4.52’deki denklem kullanılmıştır. Bu denklemde

kullanılan plastik malzemenin ısı difüzyon katsayısı, kalıp sıcaklığı, plastiğin erime sıcaklığı ve üretimi yapılacak plastik parçanın et kalınlığına bağlı olarak soğutma zamanları bulunmuştur. Klamp kablo tutucunun üretimi esnasında 20, 40 ve 60 °C kalıp sıcaklığı için ergimiş plastiğin ısı difüzyon katsayıları sırasıyla 0.09, 0.08 ve 0.07 mm²/sn'dir.

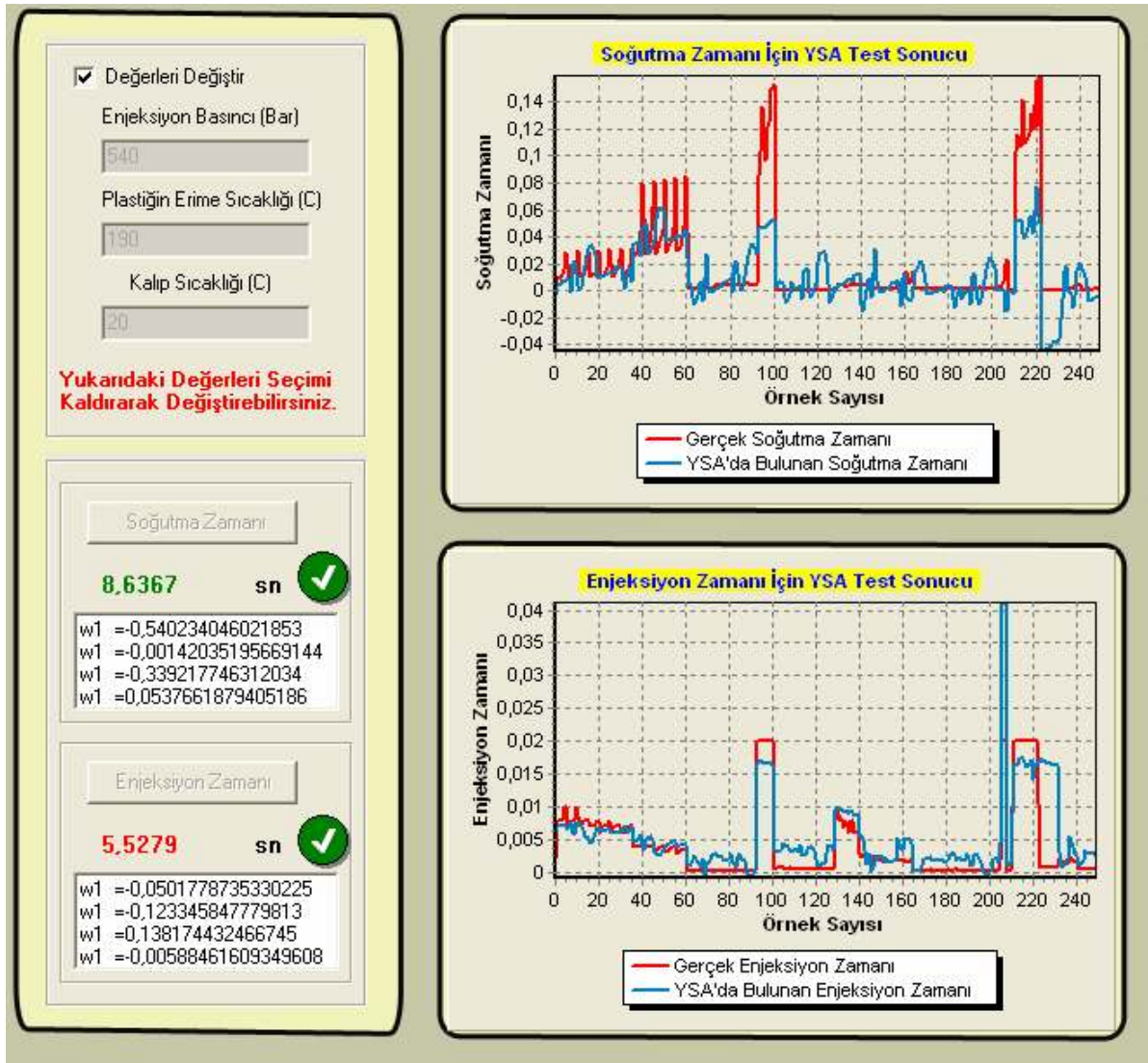
Farklı kalıp ve ergimiş plastik malzeme sıcaklıklarına bağlı olarak hesaplanan teorik soğutma zamanı ile paket program tarafından elde edilen soğutma zamanları Tablo 5.5'de verilmiştir. Teorik hesaplamada plastiğin kalıptan çıkarılma sıcaklığı 90°C olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.5. Klamp Kablo tutucu çalışması için teorik olarak elde edilen soğutma zamanları ile paket programdan elde edilen soğutma zamanları

Plastiğin ergime sıcaklığı- kalıp sıcaklığı (°C)	Teorik olarak hesaplanan soğutma zamanları (sn)	Paket programın bulduğu soğutma zamanları (sn)
180-20	8,55	7,92
190-20	9,36	8,64
200-20	10,15	9,36
210-20	10,9	10,07
220-20	11,61	10,79
230-20	12,28	11,5
240-20	12,92	12,22
180-40	11,33	7,98
190-40	12,28	8,7
200-40	13,17	9,42
210-40	14,01	10,13
220-40	14,8	10,85
230-40	15,54	11,56
240-40	16,25	12,28
180-60	16,25	8,04
190-60	17,36	8,76
200-60	18,38	9,48
210-60	19,33	10,19
220-60	20,22	10,91
230-60	21,06	11,62
240-60	21,8	12,34

Gerçek üretimde elde edilen soğutma zamanı 10 sn iken, gerçek üretim esnasındaki parametrelerin paket programa tanımlanmasıyla elde edilen soğutma zamanının 8.64 sn, teorik olarak hesaplanan soğutma zamanının ise 9,36 sn olduğu tabloda görülmektedir. Gerçek uygulamadaki soğutma zamanını, teorik ve paket program kalıp sıcaklığı 20 °C’de ve ortalama ergimiş plastik sıcaklığı 205 °C vermektedir.

Ergimiş plastik sıcaklığı 190 °C ve kalıp sıcaklığı 20 °C için paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanı ve soğutma zamanı Şekil 5.30’da gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Klamp kablo tutucu için paket programın enjeksiyon ve soğutma zamanları

5.3. Hazırlanan Program ve MoldFlow Analizinde Enjeksiyon Zamanları

Bu bölümde, plastik enjeksiyon kalıplarıyla üretilen plastik ürünlerin Moldflow analizinden ve hazırlanan paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda genel silindirik ve kare plastik eleman, 3/4 inch plastik dişli dirsek, hoparlör-lamba-ikaz düğme yuvası ve klamp kablo tutucu örnekleri seçilmiştir. Her iki programdaki çalışmalardan hesaplanan enjeksiyon zamanları arasındaki fark %'lik olarak irdelenmiştir.

5.3.1. Silindirik ve Kare Plastik Elemanın Enjeksiyon Zamanları

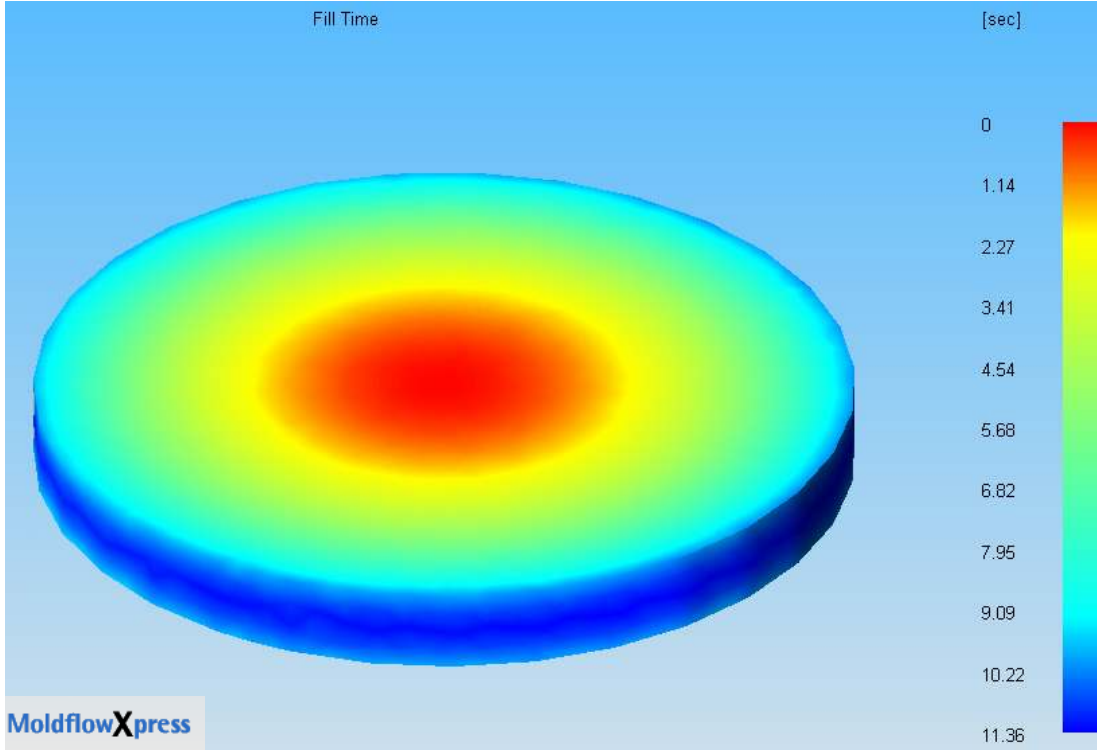
Plastik enjeksiyon kalıplarıyla modellenen plastik parçaların enjeksiyon zamanları MoldFlow analizi kullanılarak bulunabilir. MoldFlow analizinde enjeksiyon zamanı şeklin geometrik özelliği, kalıp sıcaklığı ve ergimiş plastik sıcaklığı gibi parametrelere bağlı olarak sonlu elemanlar metodunu ile hesaplanmaktadır [53]. Bu parametrelere bağlı olarak MoldFlow analizi ve hazırlanan paket program kullanılarak genel bir kare ve silindirik ürün için enjeksiyon zamanlarının değişimi incelenebilir.

MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanı ile hazır paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanlarının silindirik ve kare plastik elemanda nasıl değiştiğini belirlemek için örnek çalışma yapılmıştır. Yapılan örnek çalışma için kullanılan silindirik ve kare plastik elemanın geometrik özellikleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

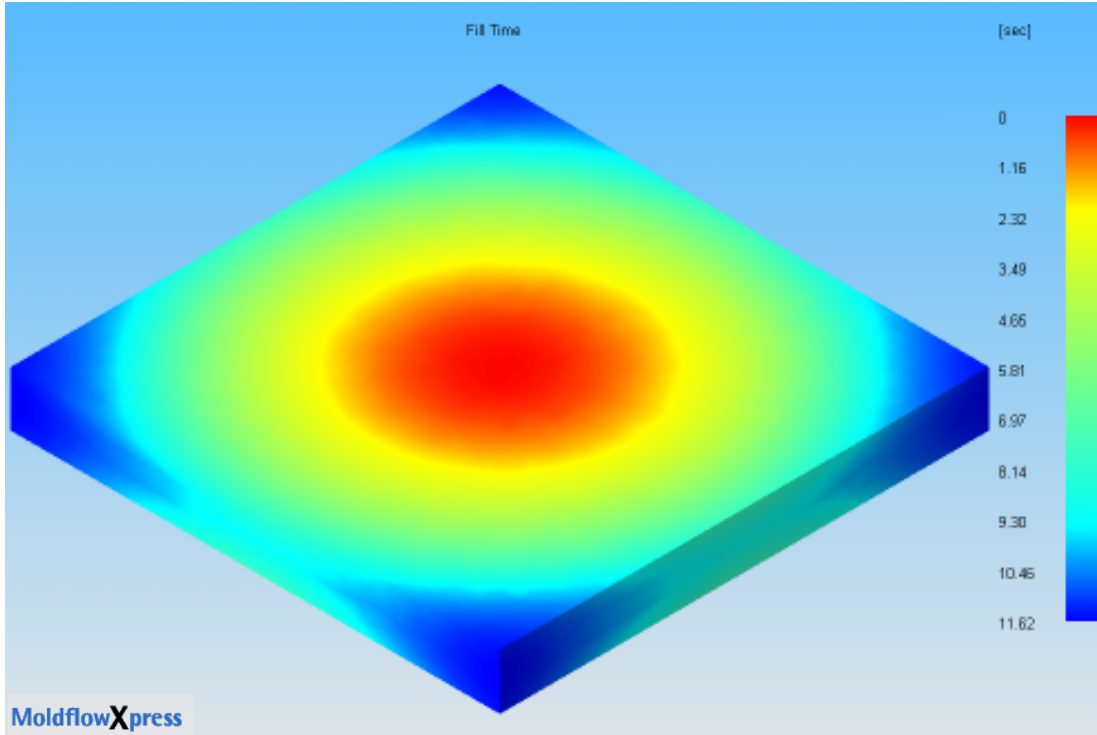
Tablo 5.6. Enjeksiyon zamanları hesaplanan silindirik ve kare plastik elemanın özellikleri

	Silindirik Malzeme	Kare Malzeme
Kullanılan plastik malzeme	ABS	ABS
Malzemenin Boyutları (mm)	Ø100*10	88,62*88,62*10
Malzemenin ağırlığı (gr)	78,54	78,54
Plastiğin erime sıcaklığı (°C)	200–260	200–260
Kalıp sıcaklığı (°C)	40–80	40–80

Ergimiş ABS plastik malzeme sıcaklığı 230 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C ve enjeksiyon basıncı 540 bar olan silindirik ve kare plastik elemanın MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



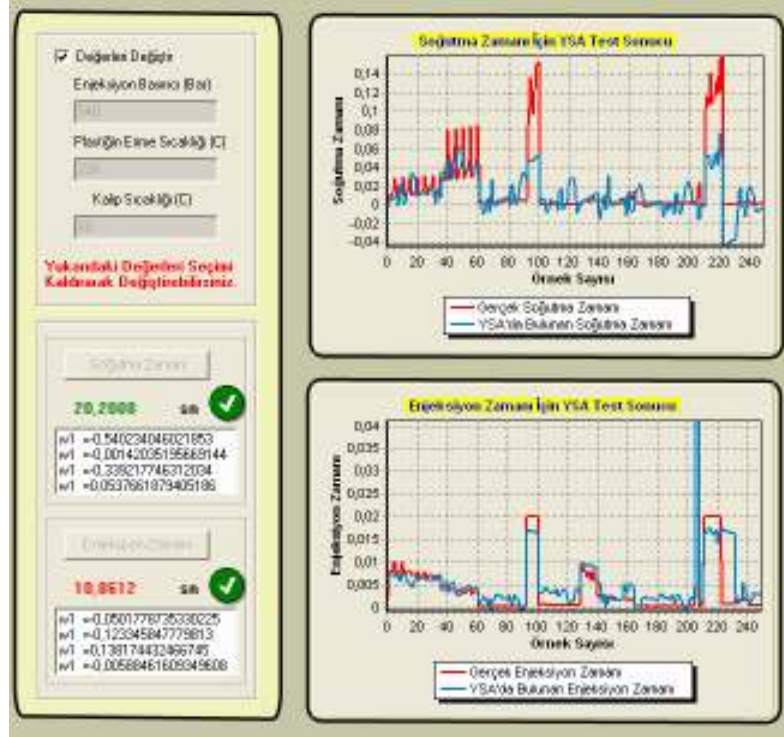
a) Silindirik plastik bir elemandan elde edilen enjeksiyon zamanı



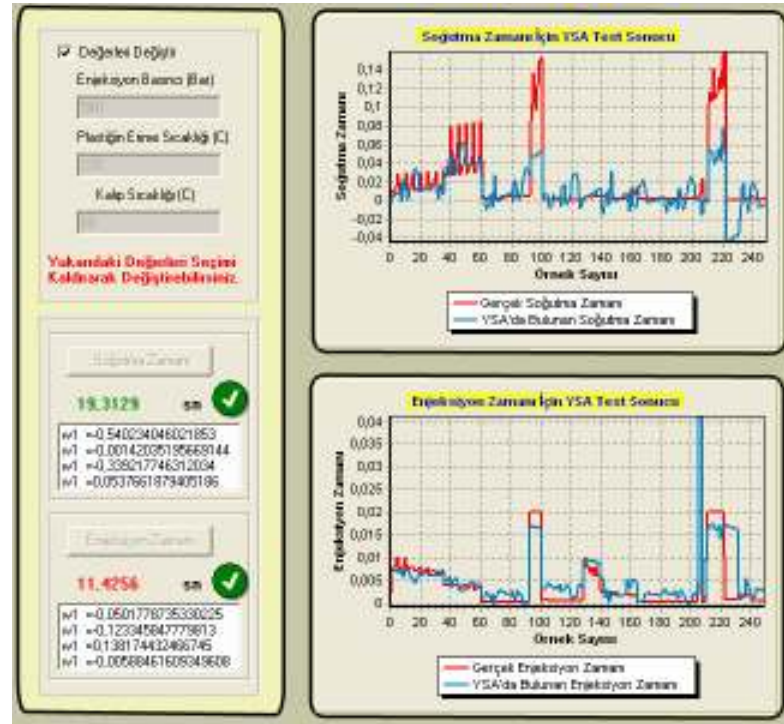
b) Kare plastik bir elemandan elde edilen enjeksiyon zamanı

Şekil 5.31. Silindirik ve kare plastik elemanın MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları

Ergimiş ABS plastik malzeme sıcaklığı 230 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C ve enjeksiyon basıncı 540 bar olan silindirik ve kare plastik elemanın paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları ise Şekil 5.32’de gösterilmiştir.



a) Silindirik plastik bir elemandan elde edilen enjeksiyon zamanı



b) Kare plastik bir elemandan elde edilen enjeksiyon zamanı

Şekil 5.32. Silindirik ve kare plastik elemanın paket program sonucu bulunan enjeksiyon zamanları

Tablo 5.7. Kare ve silindirik plastik eleman için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları

Ergimiş plastik-kalıp sıcaklığı (°C)	MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları (sn)		Paket programın bulduğu enjeksiyon zamanları (sn)	
	Silindirik Malzeme	Kare Malzeme	Silindirik Malzeme	Kare Malzeme
200-40	11,96	12,55	11,1518	11,5076
200-50	12,94	13,07	11,5915	11,6316
200-60	13,96	14,06	12,0313	11,7556
200-70	14,96	15,06	12,471	11,8796
200-80	15,90	16,06	12,9108	12,0036
210-40	11,36	11,66	10,7618	11,3976
210-50	11,96	12,03	11,2015	11,5216
210-60	12,93	13,04	11,6413	11,6456
210-70	13,91	14,05	12,081	11,7696
210-80	14,92	15,03	12,5207	11,8936
220-40	10,77	11,05	10,3718	11,2876
220-50	11,36	11,63	10,8115	11,4116
220-60	11,96	12,04	11,2513	11,5356
220-70	12,96	13,02	11,691	11,6596
220-80	13,93	14,04	12,1307	11,7836
230-40	10,17	10,22	9,9818	11,1776
230-50	10,77	10,82	10,4215	11,3016
230-60	11,36	11,62	10,8612	11,4256
230-70	11,96	12,02	11,301	11,5496
230-80	12,94	13,03	11,7407	11,6736
240-40	9,67	9,82	9,5918	11,0018
240-50	10,17	10,22	10,0315	11,1917
240-60	10,77	10,82	10,4712	11,3157
240-70	11,36	11,42	10,911	11,5397
240-80	11,96	12,02	11,3507	11,5636
250-40	9,17	9,32	9,2017	10,9577
250-50	9,57	9,72	9,6415	11,0817
250-60	10,17	10,22	10,0812	11,2057
250-70	10,57	10,82	10,521	11,3297
250-80	11,36	11,42	10,9607	11,4537
260-40	8,68	8,82	8,8117	10,8477
260-50	9,17	9,32	9,2515	10,9717
260-60	9,58	9,72	9,6912	11,0957
260-70	9,98	10,22	10,1309	11,2197
260-80	10,57	10,83	10,5707	11,3437

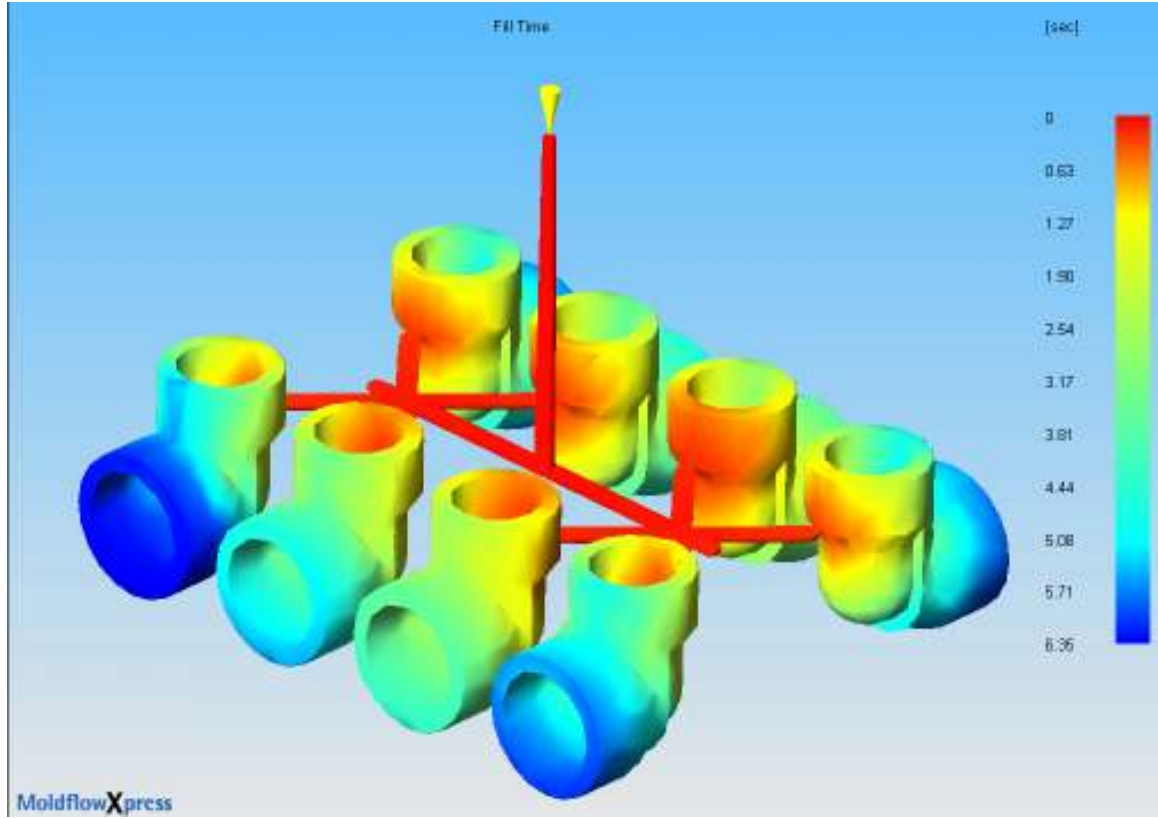
Aynı kalıplama parametrelerinde, MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları sırasıyla silindirik plastik eleman için 11.36, 10.86 ve kare plastik eleman için ise sırasıyla 11.62, 11.43 olarak bulunmuştur. Ancak, ergimiş plastik malzeme ve kalıp sıcaklığının değişmesi enjeksiyon zamanının değişmesine neden olmaktadır. Tablo 5.6’da özellikleri verilen silindirik ve kare plastik elemanların farklı kalıp ve ergimiş plastik sıcaklıklarındaki MoldFlow analizinden ve paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Aynı kalıplama parametrelerine ve et kalınlığına sahip olan silindirik plastik eleman ile kare plastik elemanın enjeksiyon zamanları sayısal olarak karşılaştırıldığında silindirik plastik elemanın enjeksiyon zamanını kare plastik elemana göre daha kısa sürede tamamladığı görülmektedir. Ancak, MoldFlow analizi ile Paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanları arasında silindirik plastik eleman için ortalama % 3, kare plastik eleman için ortalama %10 kadar bir fark bulunmaktadır. Her iki programda da ergimiş plastik ve kalıp sıcaklığı değiştikçe silindirik plastik eleman ve kare plastik elemanda enjeksiyon zamanlarının değiştiği görülmektedir. Buda, paket programın geçerliliği açısından oldukça önemlidir.

5.3.2. Plastik Dişli Dirsek Elemanı İçin Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi

Plastik $\frac{3}{4}$ inch dişli dirsek elemanı için hazırlanan paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanı ile MoldFlow analizinden hesaplanan enjeksiyon zamanları arasındaki farkı göre bilmek için bir çalışma yapılmıştır. Bu nedenle her iki programda, farklı plastik erime ve kalıp sıcaklıkları için $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanının enjeksiyon zamanları değişimi incelenmiştir.

Plastik $\frac{3}{4}$ inch dişli dirsek elemanının kalıplama parametreleri önceki bölümlerde program tarafından hesaplanmıştı. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek için Tablo 5.1’de plastik elemanın özelliklerine, Şekil 5.4’de YYPE plastik malzeme, 540 bar enjeksiyon basıncı, 210 °C ergimiş plastik sıcaklığı ve 40 °C kalıp sıcaklığı için hazırlanan paket programın ürettiği soğutma ve enjeksiyon zamanlarına değinilmişti. Aynı enjeksiyon parametreleri için MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanı Şekil 5.33’de gösterilmiştir. MoldFlow analizinde enjeksiyon zamanı hesaplanırken kalıplama esnasında kullanılan dişli soketler Şekil 5.33’de gösterilmemiştir.



Şekil 5.33. $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları

YYPE plastik malzeme enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplanırken plastik erime sıcaklığının 180–240 °C, kalıp sıcaklığının 20–60 °C olması önerilmektedir. Bu nedenle paket programın ve MoldFlow analizinin farklı sıcaklıklardaki enjeksiyon zamanları değişimi incelenmiştir (Tablo 5.8).

Çalışmalarda, Ergimiş plastik sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanının düştüğü, kalıp sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanının arttığı görülmüştür.

MoldFlow analizinden bulunan ortalama enjeksiyon zamanı 6,66 sn iken paket programın bulduğu ortalama enjeksiyon zamanı 5,06 sn olarak hesaplanmıştır. Bu sayısal verilere bağlı olarak programlardan hesapladığı ortalama enjeksiyon zamanları arasındaki fark yaklaşık olarak % 31 kadardır.

Tablo 5.8. ¾ inch plastik dişli dirsek elemanı için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları

Ergimiş plastik sıcaklığı (°C)	Kalıp sıcaklığı (°C)	MoldFlow'dan hesaplanan enjeksiyon zamanları (sn)	Paket programın bulduğu enjeksiyon zamanları (sn)
180	20	7,17	5,08
190	20	6,7	5,05
200	20	6,16	5,02
210	20	5,87	4,99
220	20	5,43	4,96
230	20	5,12	4,92
240	20	4,91	4,89
180	40	7,99	5,16
190	40	7,38	5,12
200	40	6,9	5,09
210	40	6,35	5,06
220	40	5,97	5,03
230	40	5,67	5
240	40	5,34	4,96
180	60	9,02	5,23
190	60	8,35	5,19
200	60	7,63	5,16
210	60	7,12	5,13
220	60	6,58	5,09
230	60	6,17	5,06
240	60	5,76	4,04

5.3.3. Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Elemanı İçin Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi

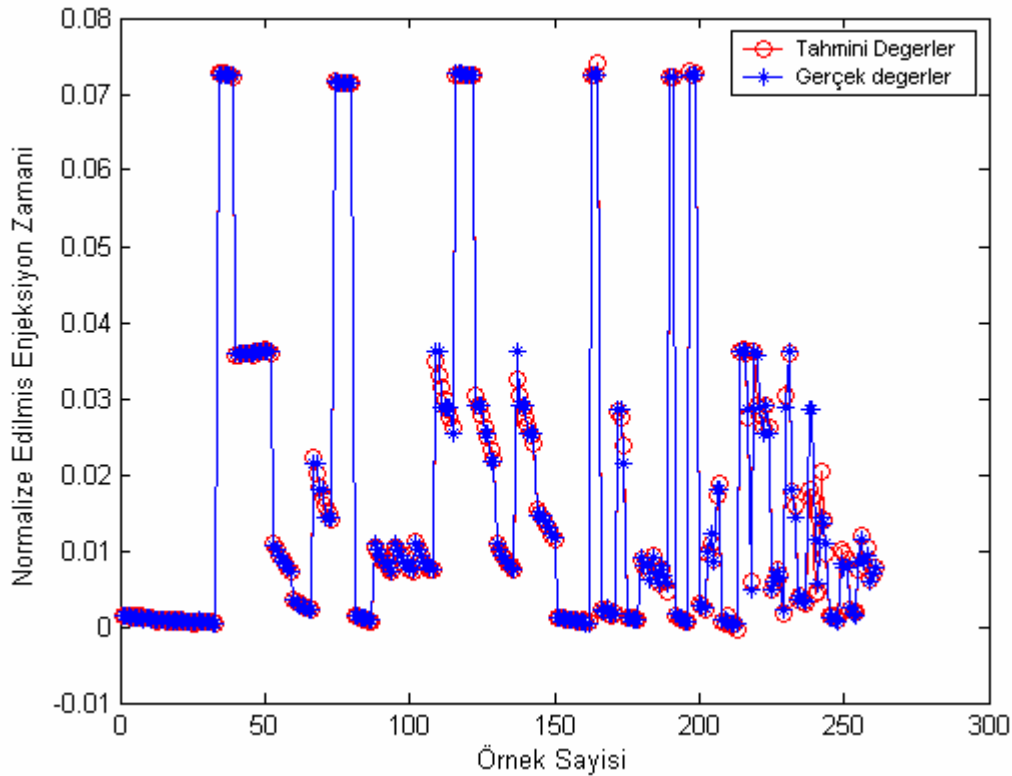
Plastik parçalar enjeksiyon makinesi ile kalıplanırken belirli bir işleme süresine tabii tutulurlar. Bunlar enjeksiyon zamanı, soğutma zamanı, ütüleme zamanı, mengene açma-kapama zamanı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada, hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvasının enjeksiyon makinesi ile kalıplanırken gerekli olan enjeksiyon zamanının bulunması için YSA tabanlı modellemesi yapılmış, YSA tabanlı modellemeden elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan ve MoldFlow analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Plastik ürünlerin üretiminde en büyük dezavantajlardan biri çekme payıdır. Bu dezavantajlara etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörler üç ana başlık altında toplanabilir. Birincisi enjeksiyon makinesi, ikincisi üretimi yapılan parçanın geometrik şekli, üçüncüsü ise üretimi yapılacak plastik malzemenin özellikleridir. Bu faktörler kendi içlerinde de sınıflara ayrılarak çok karmaşık bir yapı oluştururlar. Bu nedenlerden dolayı hazırlanan YSA modeli bütün bu işlemlere sayısal çözüm getirmektedir. Enjeksiyon

makinesi, kalıp malzemesi, plastik malzeme ve üretilen şeklin geometrik özellikleri gibi enjeksiyon zamanını etkileyen parametrelerin analizini kolaylaştırmak ve istenildiğinde farklı giriş-çıkış ilişkilerini yeniden eğitim yapılarak modele öğretmek için bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir.

Tablo 5.9. YSA model parametreleri

Model Yapısı	
Katman sayısı	3
Katmanlardaki hücre sayısı	Giriş: 11, Gizli: 6, Çıkış: 1
Başlangıç ağırlıkları ve eşikler	Rasgele
Aktivasyon fonksiyonu	Tanjant-sigmoid Tanjant-sigmoid Lineer
Eğitim Parametreleri	
Öğrenme kuralı	Levenberg Marquard
Toplam karesel hata	0,0001
Eğitilen parametre sayısı	1040
Denenen Parametre sayısı	260



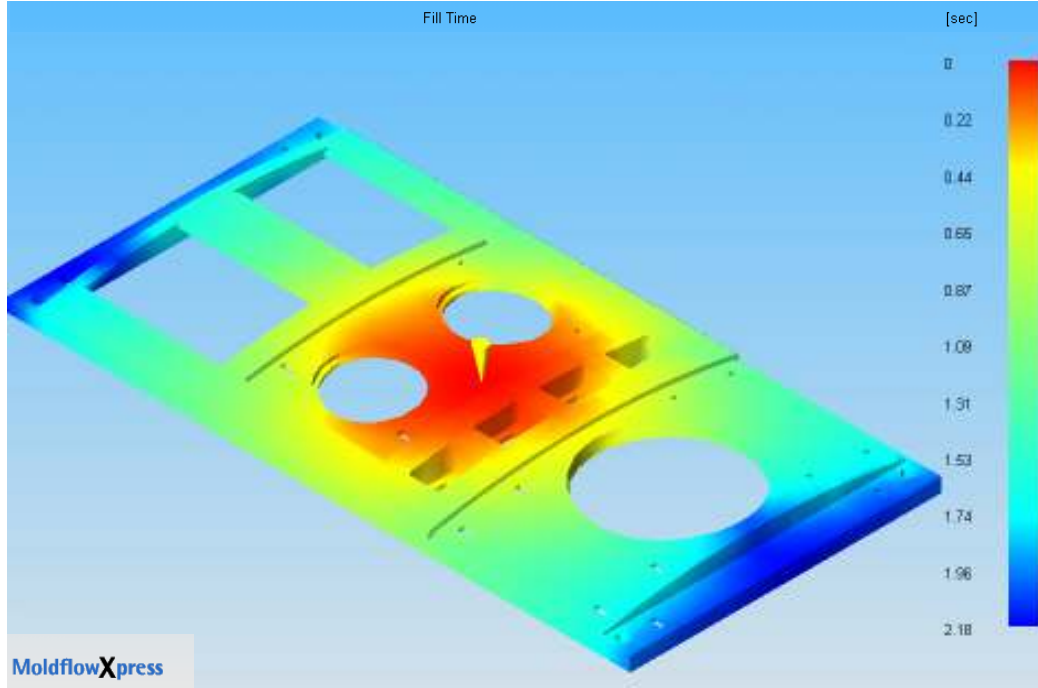
Şekil 5.34. YSA modelinin test sonuçları

YSA modeli giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Tüm giriş ve çıkış parametreleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Giriş parametrelerine bağlı olarak MATLAB/yapay sinir ağı modülü kullanılarak ileri beslemeli çok katmanlı YSA modelinin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen en uygun YSA modeli parametreleri Tablo 5.9’da verilmiştir. Ağların geçerliliğini doğrulamak için 5-katlı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılmıştır. YSA modeli için tahmin edilen ve normalize edilmiş test sonuçları Şekil 5.34’de gösterilmiştir. Giriş ile ara katman arasındaki ağırlıklar ve ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar 1040 adet parametre girilerek eğitilmiştir. Eğitimin kontrolü için ise 260 adet parametre denenmiştir. YSA modelindeki test sonucu grafiğindeki (*) ile gösterilen çizgiler gerçek değerleri (○) ile gösterilen çizgiler ise tahmini değerleri göstermektedir. Grafikte çizgiler üst üste geldiği için eğitim sağlanmıştır.

Oluşturulan YSA modelinden hesaplanan enjeksiyon zamanları, kalıplama esnasındaki gerçek enjeksiyon zamanları ve MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları arasındaki değişim oranını görebilmek için ABS plastik malzemeden üretilen hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının deneysel çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmada, optimum işleme ve ölçü hassasiyeti göz önünde bulundurularak enjeksiyon zamanını tespit etmek için numuneler ARBURG marka enjeksiyon makinesinde denenmiştir. Denenen enjeksiyon makine parametreleri hem YSA tabanlı modele hem de MoldFlow analizine uygulanarak enjeksiyon zamanları arasındaki fark hesaplanmıştır (Tablo 5.10). ABS plastik malzemeden üretilen hoparlör, lamba ve ikaz yuvası elemanının 540 bar enjeksiyon basıncı, 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı ve 60 °C kalıp sıcaklığındaki MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanı Şekil 5.35’de gösterilmiştir.

Çalışmalarda da kalıp sıcaklığı sabit tutulduğu zaman plastiğin erime sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanının daha kısa sürede tamamlandığı görülmektedir [54]. Ancak, plastiğin erime sıcaklığı sabit tutulduğu zaman kalıp sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanı artmaktadır. Buda, sıcak kalıbın erimiş plastik malzemenin akma viskozitesini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kalıp malzemesinin sıcaklığı minimum tutulup ergimiş plastik malzemenin sıcaklığı maksimum tutulduğu zaman ergimiş plastik malzeme, kalıp boşluklarını en kısa sürede doldurmuştur. Bu işlemin tam tersi ise enjeksiyon işleminin uzamasına neden olmuştur.

Deneysel çalışmada, ABS malzemeden elde edilen numunenin optimum ölçü tamlığı sağlandığı zaman enjeksiyon makinesindeki değerler; enjeksiyon basıncı 540 bar, plastiğin erime sıcaklığı 230 °C, kalıp sıcaklığı 40 °C ve enjeksiyon zamanı 4 sn olarak okunmuştur.



Şekil 5.35. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları

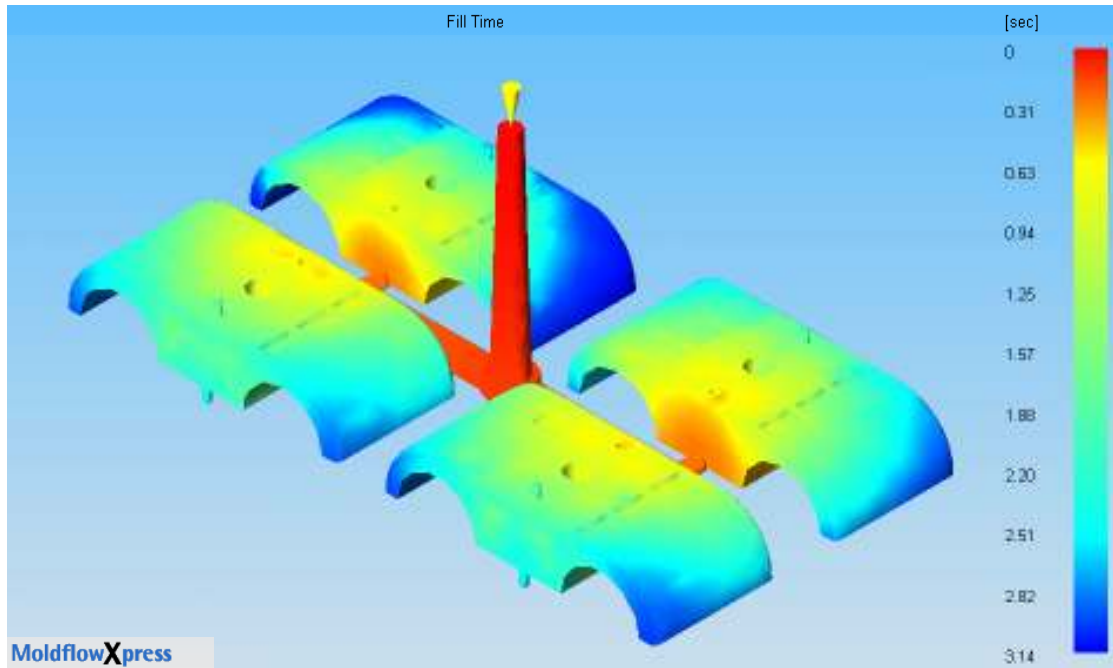
Tablo 5.10. Enjeksiyon basıncı 540 bar olarak ayarlanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanı için deneysel çalışmadan, YSA'dan ve MoldFlow analizinden hesaplanan enjeksiyon zamanları

Ergimiş Plastik-Kalıp Sıcaklığı °C	YSA'dan Bulunan Enjeksiyon Zamanları (sn)	MoldFlow'dan Bulunan Enjeksiyon Zamanları (sn)	Gerçek Enjeksiyon Zamanları (sn)
200-40	3,6508	3,08	4,5
210-40	3,6412	2,67	4,5
220-40	3,6316	2,29	4,2
230-40	3,6221	2,08	4
240-40	3,6125	1,88	3,8
250-40	3,6029	1,68	3,8
260-40	3,5934	1,58	3,7
200-60	3,6724	3,4	4,7
210-60	3,6628	2,99	4,5
220-60	3,6532	2,59	4,2
230-60	3,644	2,18	4
240-60	3,6344	2,08	4
250-60	3,6245	1,88	3,8
260-60	3,6149	1,68	3,9
200-80	3,694	3,88	5
210-80	3,6844	3,38	4,8
220-80	3,6748	2,88	4,6
230-80	3,6652	2,58	4,4
240-80	3,6557	2,28	4,2
250-80	3,6461	2,08	4
260-80	3,6365	1,89	4

5.3.4. Klamp Kablo Tutucu Elemanının Enjeksiyon Zamanlarının Değişimi

Klamp kablo tutucu elemanı için hazırlanan paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanı ile MoldFlow analizinden hesaplanan enjeksiyon zamanları arasındaki farkı göre bilmek için bu çalışma yapılmıştır. Tablo 5.4’de enjeksiyon makinesi parametreleri verilen klamp kablo tutucu YYPE malzemeden elde edilmiştir. YYPE malzemede plastiğin eğrime sıcaklığı 180–240 °C, kalıp sıcaklığı 20–60 °C önerilmektedir. Bu sıcaklıkların üzerinde plastik malzeme kalıp boşluğuna gönderildiğinde malzemede yanma meydana gelmektedir. Şayet bu sıcaklıklar önerilen değerin altında olursa plastik malzeme tam erimediğinde kalıp boşluğunu doldurmayacaktır. Bu nedenle paket program ve MoldFlow analizi için önerilen sıcaklıklar için enjeksiyon zamanlarının değişimi incelenmiştir.

Klamp kablo tutucu elemanının kalıplama parametreleri ve soğutma zamanlarına önceden değinilmişti. Şekil 5.30’da YYPE plastik malzeme, 540 bar enjeksiyon basıncı, 190 °C ergimiş plastik sıcaklığı ve 40 °C kalıp sıcaklığı için hazırlanan paket programın ürettiği soğutma ve enjeksiyon zamanları gösterilmiştir. Aynı enjeksiyon parametreleri için MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanı Şekil 5.36’da gösterilmiştir.



Şekil 5.36. Klamp kablo tutucu elemanının MoldFlow analizi sonucu bulunan enjeksiyon zamanları

YYPE plastik malzemeden elde edilen klamp kablo tutucunun ergime sıcaklığı 190 °C, kalıp sıcaklığı 20 °C de iken hazır paket program enjeksiyon zamanını 5.5279 sn olarak bulmuşken MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanı 3.14 sn olarak gerçekleşmiştir. Klamp kablo tutucu gerçek uygulamada optimum ölçü tamlığı sağlandığı

zaman aynı parametreler için enjeksiyon zamanını 5 sn olacak gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.4). Paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanı ile MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları arasında % 76'lık bir fark varken, bu fark paket programın bulduğu enjeksiyon zamanı ile gerçek uygulamadaki enjeksiyon zamanı arasında % 11 olarak gerçekleşmiştir. Paket program ile MoldFlow analizinin bulduğu enjeksiyon zamanları arasındaki değişim miktarı Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Klamp kablo tutucu elemanı için MoldFlow analizinden ve paket programdan bulunan enjeksiyon zamanları

Ergimiş plastik-Kalıp sıcaklığı (°C)	MoldFlow'dan bulunan enjeksiyon zamanları (sn)	Paket programın bulduğu enjeksiyon zamanları (sn)
180-20	3,33	5,56
190-20	3,14	5,52
200-20	2,98	5,49
210-20	2,83	5,45
220-20	2,75	5,42
230-20	2,68	5,38
240-20	2,6	5,35
180-40	4,34	5,64
190-40	4,08	5,61
200-40	3,83	5,57
210-40	3,64	5,54
220-40	3,43	5,5
230-40	3,23	5,47
240-40	3,03	5,43
180-60	4,95	5,73
190-60	4,65	5,68
200-60	4,34	5,65
210-60	4,04	5,61
220-60	3,74	5,58
230-60	3,53	5,54
240-60	3,43	5,51

Hazırlanan paket programın bulduğu enjeksiyon zamanı ile MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanları arasında kalıp sıcaklığı ve ergimiş plastik sıcaklığı değiştiği zaman her iki programında aynı doğrultuda verilerini değiştirdiği görülmektedir. Örneğin, kalıp sıcaklığı 40 °C sabit tutulduğunda 180 °C ergimiş plastik sıcaklığı için MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanı 3.33 sn iken paket programın bulduğu enjeksiyon zamanı 5.56 sn, aynı kalıp sıcaklığında ergimiş plastik sıcaklığı 240 °C çıkartıldığında MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanı 2.6 sn'ye paket programın bulduğu enjeksiyon zamanı ise 5.35 sn'ye düşmektedir. Her iki programda da sonuçlar farklı olsa da sıcaklığa bağlı enjeksiyon zamanlarındaki değişim aynı olmuştur.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

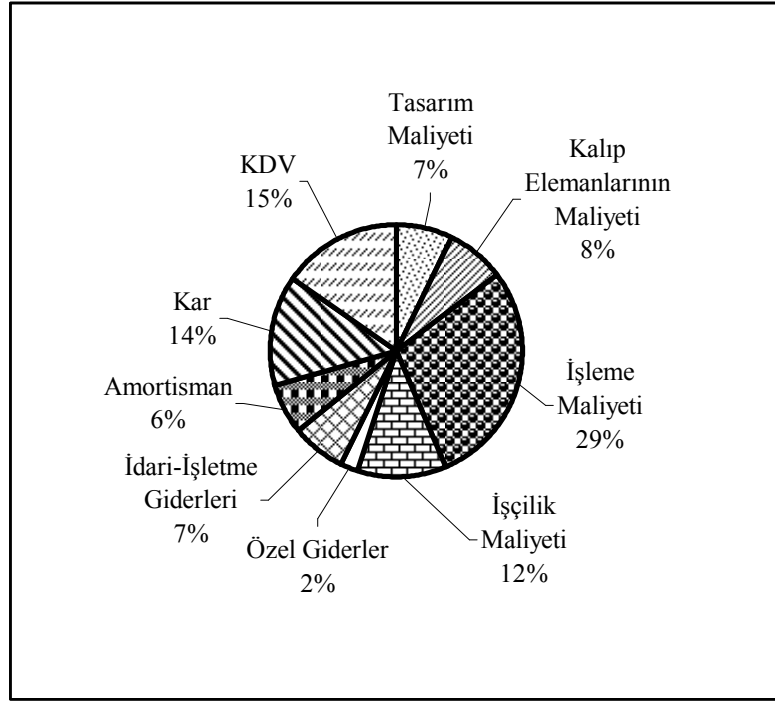
6.1. Çalışmalardaki Maliyet Analizlerinin Sonuçları

6.1.1. ¾ Inch Plastik Dişli Dirsek Elemanının Maliyet Sonuçları

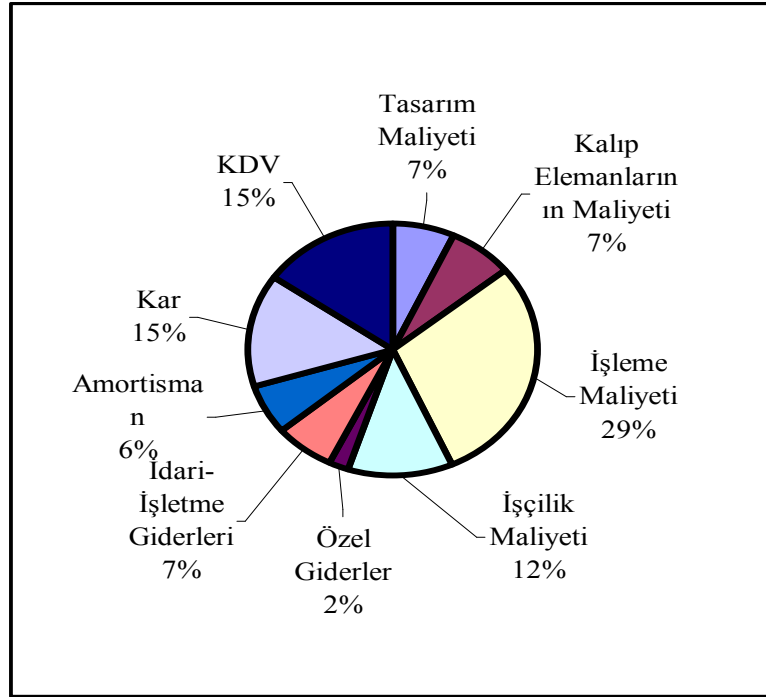
Programda, ¾ inch plastik dişli dirsek kalıp elemanlarının toplam tasarım maliyeti 632 TL, kalıp elemanlarının maliyeti 650,19 TL, kalıp işleme maliyeti 2480 TL, işçilik maliyeti 998.40 TL, özel imalat işleri giderleri 200 TL, idari ve işletme genel giderleri 595.27 TL, amortisman giderleri 555.59 TL, kar 1222.29 TL, KDV 1320.07 TL olarak bulunmuştur. Uygulama sonucunda ise kalıp elemanlarının tasarım maliyeti 600 TL, kalıp elemanlarının maliyeti 620 TL, kalıp işleme maliyeti 2500 TL, işçilik maliyeti 1000 TL, özel imalat işleri giderleri 200 TL, idari ve işletme genel giderleri 580 TL, amortisman giderleri 540 TL, kar 1250 TL ve KDV 1312.2 TL olarak hesaplanmıştır. Her iki durumda da maliyeti etkileyen parametreler bir daire diliminde gösterilecek olunursa, kalıp maliyetine etki eden faktörlerin maliyeti ne ölçüde etkilediği anlaşılabilir(Şekil 6.1).

Şekil 6.1.a'da paket programdan elde edilen kalıp maliyet sonuçları ve b' de ise uygulama örneği sonucu elde edilen kalıp maliyeti sonuçları gösterilmiştir. Her iki grafikte de yaklaşık olarak dağılım oranlarının aynı olduğu, kalıp maliyetini etkileyen en önemli parametrenin işleme maliyeti ve en az etkili olan parametrenin ise özel giderler olduğu görülmektedir. Program tarafından çizilen daire grafiği ile uygulama örneği sonucu çizilen daire grafiğinde yaklaşık olarak kalıp elemanlarının malzeme maliyetlerinde % 12.5 oranında, kar miktarlarında ise %7 oranında bir fark vardır.

Sonuç olarak geliştirilen paket program ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının toplam kalıp maliyetini 8653.81 TL olarak hesaplamıştır. Uygulama sonucu ise bulunan kalıp maliyeti 8602.2 TL'dir. Uygulama sonucu kalıp maliyeti ile programdan elde edilen kalıp maliyeti arasında %0.6 kadar bir fark bulunmaktadır. %0.6'lık fark maliyetleri fazla etkilemediğinden programın ideal olarak kalıp maliyet hesabı yaptığı söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 6.1. Geliştirilen program ve $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler
(a. Paket program grafiği, b. Gerçek veri grafiği)

Program, kalıp maliyeti hesaplanan $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanının ham plastik ve katkı maddesi maliyetini 0.264 TL, enjeksiyon maliyetini 0.151 TL, işçilik maliyetini 0.039 TL, soket giderlerini 0.25 TL, idari ve işletme genel giderlerini 0.085 TL, amortisman giderini 0.11 TL, kar'ı 0.18 TL ve KDV'yi 0.19 TL olmak üzere toplam 1.27 TL olarak hesaplamıştır. Hesaplanan maliyete etki eden en büyük faktör ham malzeme maliyeti olarak bulunmuştur.

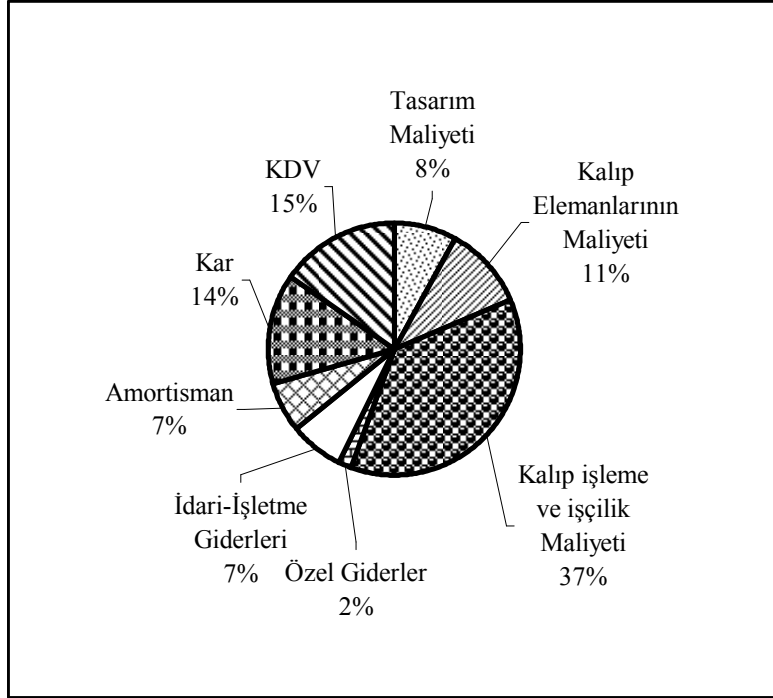
Numune üretimini yapılan $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanının gerçek ve piyasa değerleri göz önünde bulundurulduğunda, numune maliyetinin ortalama olarak 1.25 TL olduğunu tespit edilmiştir. Paket programdan hesaplanan numune maliyeti ile ortalama olarak elde edilen numune maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda paket programdan elde edilen maliyeti ile gerçek maliyet arasındaki hata miktarının %1.6 olduğu söylenebilir. Paket programda hata miktarının %1.6 olarak çıkmasının nedeni, programın amortisman giderini kalıp maliyeti üzerinden hesaplaması ve plastik elemanın enjeksiyon ve soğutma zamanını YSA tabanlı modelleme kullanarak hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Kalıp maliyeti ve YSA tabanlı modelde oluşan hata doğrudan plastik elemanın maliyetinde de hatanın oluşmasına neden olmuştur. Ancak, bu hata miktarına bağlı olarak programın $\frac{3}{4}$ inch plastik dişli dirsek elemanının maliyetini ideal olarak hesapladığı söylenebilir.

6.1.2. Otobüs İkaz Düğmesi Elemanının Maliyet Sonuçları

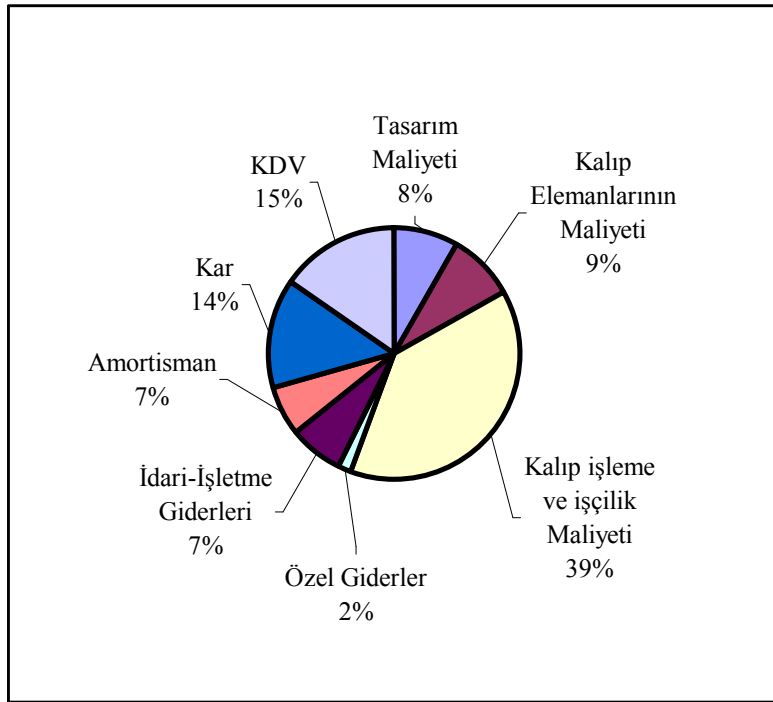
Hazırlanmış olan paket program ile deneysel çalışması yapılan otobüs ikaz düğmesi kalıbına, üretimi yapılacak parçanın verileri standart olarak tanımlanmıştır. Paket program, kendi veri tabanı üzerinde hesaplamalar yaparak maliyet sonucuna ulaşmıştır. Bu maliyetin geçerliliğini kontrol etmek için de deneysel bir çalışma yapılmıştır. Hazır paket programından elde edilen maliyet 4470.14 TL iken deneysel olarak hesaplanan maliyet 4273.15 TL olarak bulunmuştur. Paket program sonuçları ile deneysel sonuçlar kıyaslandığı zaman paket programın hata miktarının yaklaşık %4.7 olduğu tespit edilmiştir. Bu hata oranı, paket program ve sayısal hesaplamadaki kalıp malzemesinin maliyetinden kaynaklanmıştır. Bu da; idari ve işletme genel giderlerini, amortisman, kar oranını ve KDV oranının değişmesine neden olmuştur.

Şekil 6.2'de otobüs ikaz düğme kalıbı için paket programdan ve deneysel çalışmadan hesaplanan maliyetler daire dilimi içerisinde gösterilmiştir. Kalıp maliyetine etki eden en önemli faktörler sırasıyla, kalıp işleme ve işçilik maliyeti, KDV, kar, kalıp elemanlarının

maliyeti, tasarım maliyeti, idari-işletme giderleri, amortisman ve özel giderler olarak sıralanmaktadır.



(a)



(b)

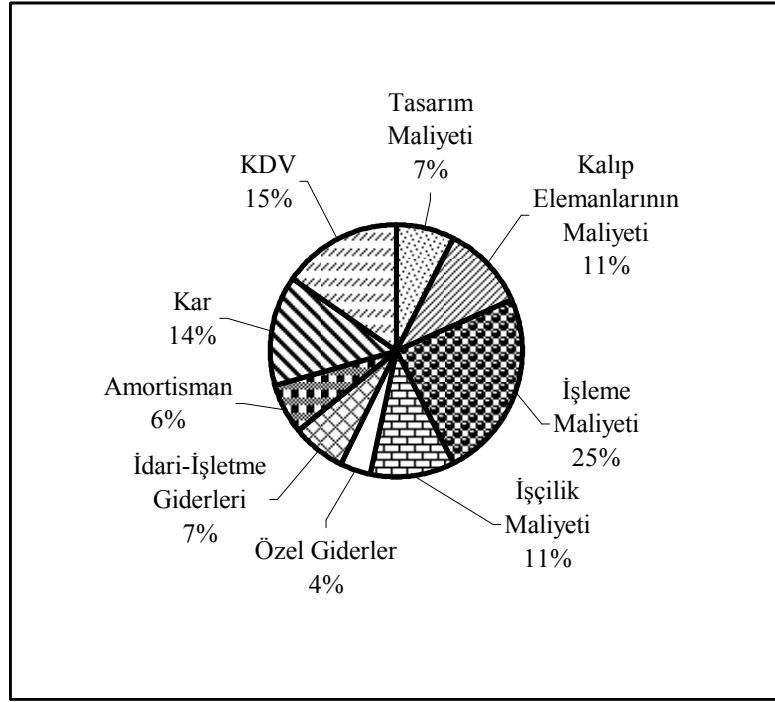
şekil 6.2. Geliştirilen program ve otobüs ikaz düğmesi örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler
(a. Paket program grafiği, b. Gerçek veri grafiği)

Şekil 6.2.a'da paket programdan elde edilen kalıp maliyet sonuçları ve b' de ise uygulama örneği sonucu elde edilen kalıp maliyeti sonuçları gösterilmiştir. Her iki grafikte de yaklaşık olarak dağılım oranlarının aynı olduğu, kalıp maliyetini etkileyen en önemli parametrenin kalıp işleme maliyeti ve en az etkili olan parametrenin ise özel giderler olduğu görülmektedir. Program tarafından çizilen daire grafiği ile uygulama örneği sonucu çizilen daire grafiğinde yaklaşık olarak kalıp elemanlarının malzeme maliyetlerinde % 22 oranında, kalıp işleme ve işçilik maliyetlerinde ise %6 oranında bir fark vardır.

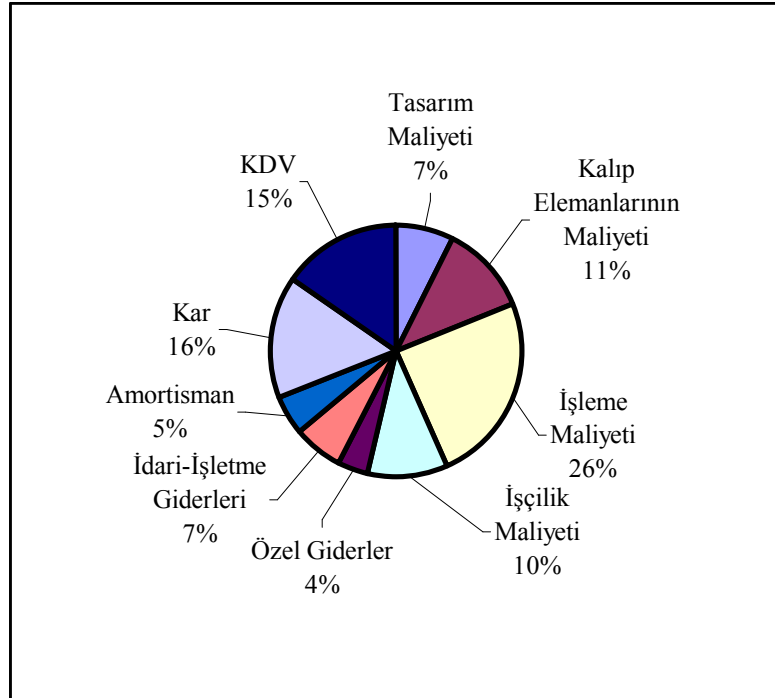
Programın hesapladığı 4470.14 TL'lik kalıp maliyeti ile deneysel çalışmadan hesaplanan 4273.15 TL'lik kalıp maliyeti arasında 196.99 TL'lik fark çok büyük bir tutar olmadığından programın ürettiği tahmini maliyet hesabının gerçeğe yakın bir sonuç verdiği söylenebilir.

6.1.3. Hoparlör, Lamba ve İkaz Düğme Yuvası Elemanının Maliyet Sonuçları

Hazırlanan paket program, hoparlör, lamba ve ikaz düğmesi için tasarım maliyetini 568.8 TL, kalıp elemanlarının maliyetini 817.04 TL, işleme ve işçilik maliyetini 2662, özel imalat işleri giderlerini 300 TL, idari-işletme genel giderlerini 521.74 TL, amortisman giderlerini 486.96 TL, kar'ı 1071.31 TL, KDV'yi 1157.01 TL olarak hesaplarken imalatı yapılan kalıbın gerçek tasarım maliyeti 580 TL, kalıp ve standart kalıp malzemelerin maliyeti 900 TL, işleme ve işçilik maliyeti 2740 TL, özel giderler 300 TL, idari-işletme giderleri 500 TL, amortisman giderleri 400 TL, kar'ı 1250 TL ve KDV'si 1200.6 TL olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.3'de hem program tarafından hesaplanan hem de gerçek uygulama sonucu hesaplanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının kalıp maliyetini etkileyen en önemli faktörün kalıp işleme ve işçilik maliyeti olduğu görülmektedir. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının kalıbı için her iki çalışmadaki faktörler tek tek incelendiğinde işleme maliyetleri arasında %4, işçilik maliyetleri arasında %10, amortisman giderlerinde %20 ve kar oranında ise %14 kadar bir fark olduğu görülmüştür. Ancak, paket program tarafından toplam kalıp maliyeti 7584.86 TL olarak hesaplanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası kalıbı için imalat maliyeti olan 7870.6 TL göz önünde bulundurulduğunda maliyetler arasında yaklaşık olarak %3.6 kadar bir fiyat farkı oluşmaktadır. Bu fark maliyet bazında 285.74 TL, kar bazında ise 234.31 TL'dir. Program tarafından kalıp maliyeti hesaplanan elemanın kar oranı göz önünde bulundurulduğunda programın sonuca yakın hesaplama yaptığı söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 6.3. Geliştirilen program ve hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası örneği için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler
(a. Paket program grafiği, b. Gerçek veri grafiği)

Program tarafından kalıp maliyeti 7584.86 TL olarak hesaplanan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanı, kullanılan ham plastik malzeme maliyeti 0.9 TL, enjeksiyon

maliyeti 0.18 TL, işçilik gideri 0.03 TL, idari-işletme giderleri 0.14 TL, amortisman giderleri 0.76 TL, kar 0.4 TL olmak üzere toplam 2.84 TL bulunmuştur. Kalıplanan elemanın maliyetine etki eden en büyük üç faktör sırasıyla ham malzeme maliyeti, amortisman giderleri ve kalıplama maliyetidir. Hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının hem kalıp hem de kalıplama faktörleri göz önünde bulundurulduğunda işleme, işçilik ve malzeme maliyetlerinin oldukça önemli bir yer tuttuğu gözlemlenmiştir.

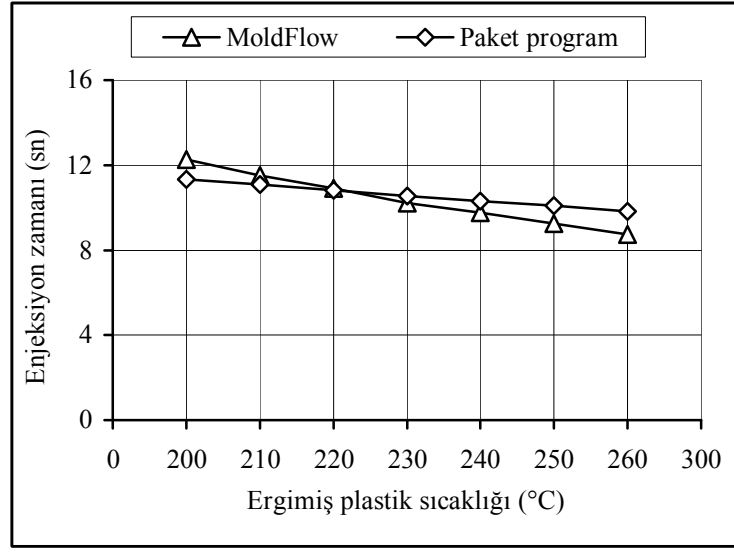
6.2. MoldFlow ve Paket Program Analiz Sonuçları

6.2.1. Silindirik ve Kare Elemanın Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu

MoldFlow ve paket programda, hem silindirik hem de kare parçanın ağırlığı, kalınlığı, kullanılan plastik özelliği ve enjeksiyon basıncı gibi parametreler sabit tutularak farklı ergimiş plastik ve kalıp sıcaklıklarındaki ortalama enjeksiyon zamanlarının değişimi incelenmiştir.

Önceki bölümde farklı ergimiş plastik ve kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları verilmişti (Tablo 5.7). Hesaplanan enjeksiyon zamanları için silindirik ve kare malzemeden elde edilen enjeksiyon zamanları biri birine yakın sonuç vermişti. 230 °C ergimiş ABS plastik malzeme, 60 °C kalıp sıcaklığı ve 540 bar enjeksiyon basıncı için MoldFlow analizinden elde edilen silindirik ve kare plastik eleman için enjeksiyon zamanları sırasıyla 11.36 sn ve 11.62 sn olarak bulunmuştu (Şekil 5.26). Bu değerlere göre MoldFlow analizi silindirik malzemenin enjeksiyon zamanını kare malzemenin enjeksiyon zamanından %2.32 kadar daha kısa sürede tamamlamıştır. Bu değerlere bağlı olarak grafikler çizildiğinde şekiller iç içe girmektedir. Bu nedenle, farklı ergimiş plastik malzeme ve kalıp sıcaklığında silindirik ve kare plastik elemanlardan hesaplanan enjeksiyon zamanları için MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanlarının ve paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanlarının ortalaması alınmıştır. Böylelikle grafikler daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Silindirik ve kare plastik elemanın kalıp sıcaklığı 40 °C’de sabit tutularak farklı ergimiş plastik malzeme sıcaklıklarındaki MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim grafiği Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



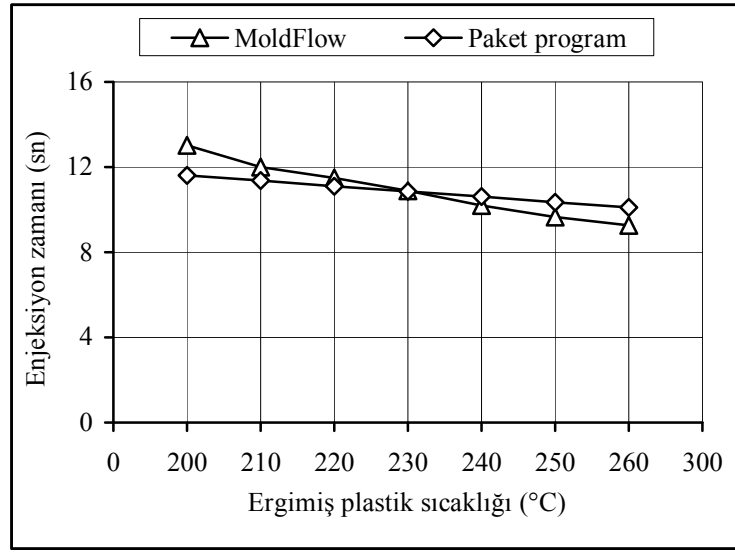
Şekil 6.4. 40 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Diyagramda, 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 12.26 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 8.75 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 11.33 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 9.83 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının artması plastiğin akışkanlık özelliğini arttırdığından yapılan çalışmalarda ergimiş plastik malzeme sıcaklığının artmasıyla enjeksiyon zamanlarının düştüğü görülmüştür. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 200 °C’de tutulursa MoldFlow analizi ile paket program tarafından hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %8.2 kadar bir fark varken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında bu fark %12.4’e yükselmiştir. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 220 °C olduğu durum için ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine çok yakın sonuç vermiştir.

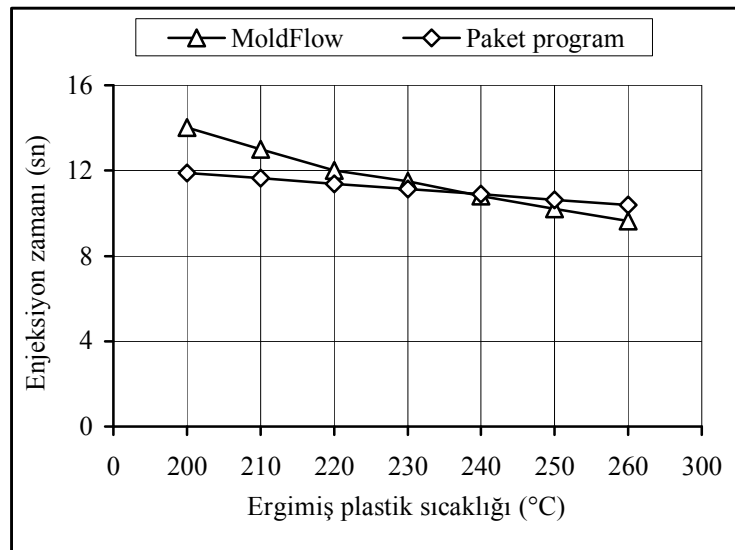
Şekil 6.5–6.8’de silindirik ve kare plastik elemanın sırasıyla 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C kalıp sıcaklıkları için farklı ergimiş plastik sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim grafikleri gösterilmiştir.

Kalıp sıcaklığının 50 °C olması durumunda; 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 13.1 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 9.25 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 200 °C ergimiş plastik malzeme

sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 11.61 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.11 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 200 °C olması durumunda MoldFlow analizi ile paket program tarafından bulunan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %13 kadar bir fark varken ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında bu fark % 9.3'e düşmüştür. Ergimiş plastik sıcaklığının 230 °C olması durumunda ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine çok yakın sonuç vermiştir.

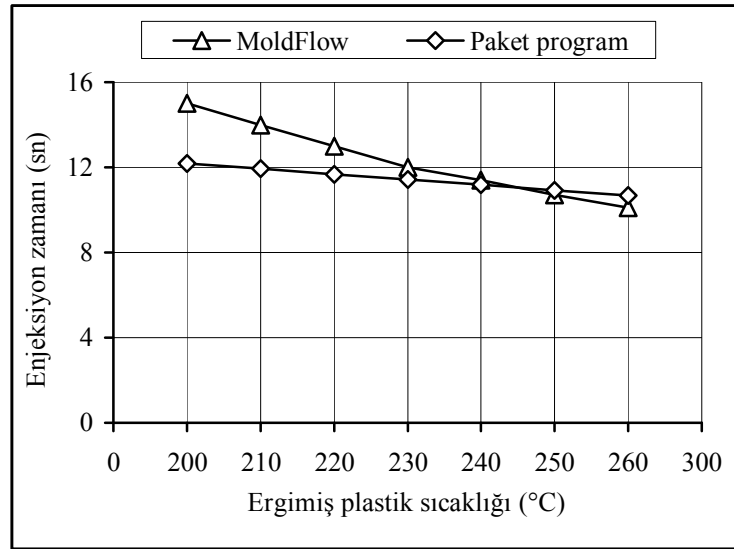


Şekil 6.5. 50 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı



Şekil 6.6. 60 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

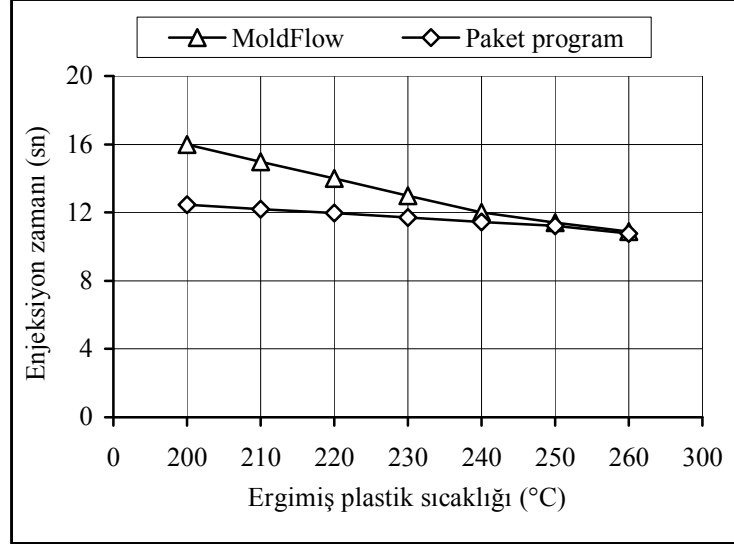
Kalıp sıcaklığının 60 °C olması durumunda; 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 14.01 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 9.65 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 11.89 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.39 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 200 °C olması durumunda MoldFlow analizi ile paket program tarafından bulunan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %17.8 kadar bir fark varken ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında bu fark % 7.7'e düşmüştür. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 240 °C'de olması durumunda ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine çok yakın sonuç vermiştir.



Şekil 6.7. 70 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Kalıp sıcaklığının 70 °C olması durumunda; 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 15.01 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.01 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 12.17 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.68 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 200 °C olması durumunda MoldFlow analizi ile paket program tarafından bulunan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %23.3 kadar bir fark varken ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında bu fark %

6.7'e düşmüştür. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 245 °C'de olması durumunda ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine çok yakın sonuç vermiştir.

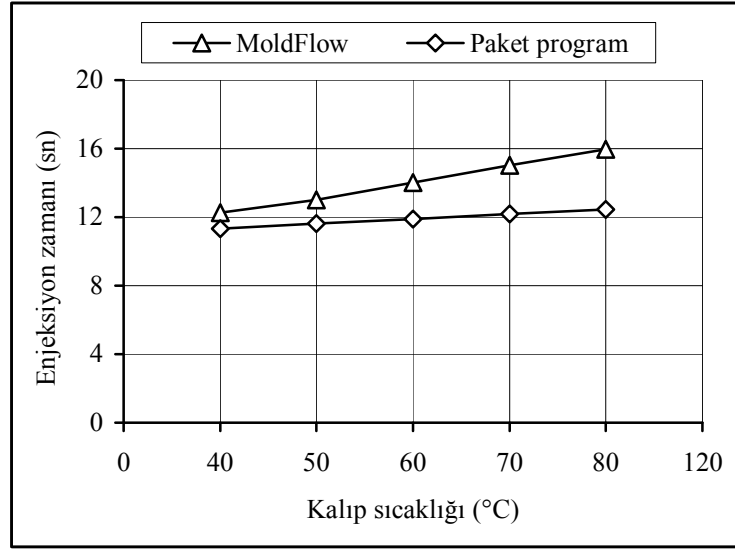


Şekil 6.8. 80 °C kalıp sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Kalıp sıcaklığının 80 °C olması durumunda; 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 15.98 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.9 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 200 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 12.46 sn iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 10.76 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 200 °C olması durumunda MoldFlow analizi ile paket program tarafından bulunan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %28.3 kadar bir fark varken ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında bu fark %1.3'e düşmüştür. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 250–260 °C arasında olması durumunda ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine çok yakın sonuç vermiştir.

Mevcut grafiklerde kalıp sıcaklıklarının sabit tutulup ergimiş plastik malzemenin sıcaklığı arttırılırsa enjeksiyon zamanlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

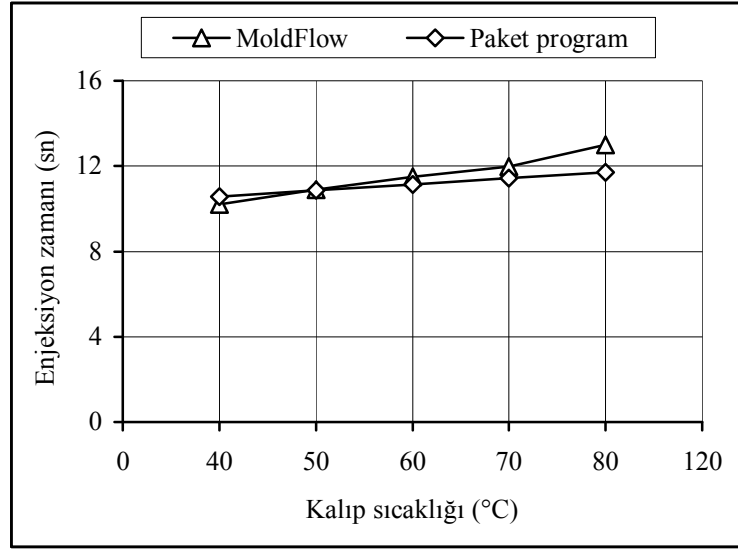
Şekil 6.9–6.11'de silindirik ve kare plastik elemanın sırasıyla 200 °C, 230 °C ve 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için farklı kalıp sıcaklıklarındaki MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim grafikleri gösterilmiştir.



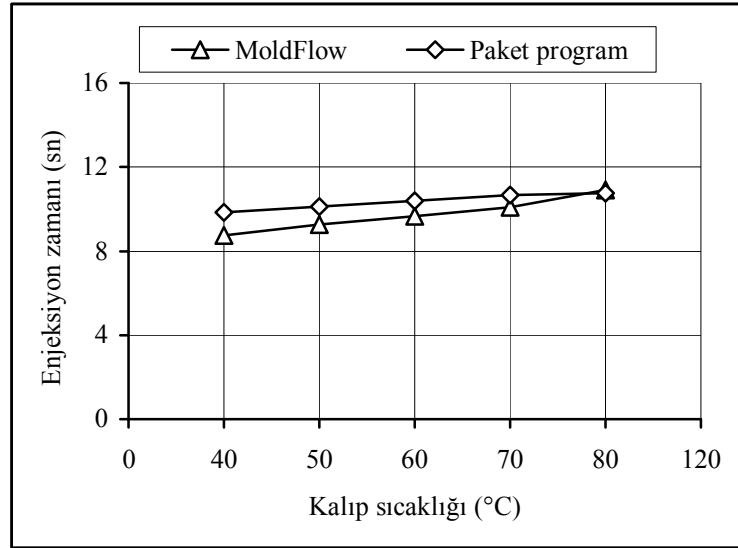
Şekil 6.9. 200 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Ergimiş plastik sıcaklığı 200 °C sabit tutulursa; kalıp sıcaklığının 40 °C olduğu durumda MoldFlow analizinden elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 12.26 sn iken kalıp sıcaklığı 80 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 15.98 sn olarak hesaplanmıştır. Paket programda ise 40 °C kalıp sıcaklığı için elde edilen ortalama enjeksiyon zamanı 11.33 sn iken kalıp sıcaklığı 80 °C'ye çıkartıldığında ortalama enjeksiyon zamanı 12.46 sn olarak hesaplanmıştır. Kalıp sıcaklığının artmasıyla enjeksiyon zamanlarının arttığı görülmüştür. Kalıp sıcaklığının 40 °C'de olduğu durumda MoldFlow analizi ile paket program tarafından hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %8.2 kadar bir fark varken kalıp sıcaklığı 80 °C'ye çıkartıldığında bu fark %28.3'e yükselmiştir. Kalıp sıcaklığının 40 °C olduğu durum için ise her iki programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları bir birine daha yakın sonuç vermiştir.

Ergimiş plastik sıcaklığı 230 °C sabit tutulduğunda kalıp sıcaklığının artmasıyla enjeksiyon zamanı artmıştır (Şekil 6.10). Ancak, 200 °C ergimiş plastik sıcaklığına göre daha kısa sürede enjeksiyon zamanı tamamlanmıştır. MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanlarının 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı ve farklı kalıp sıcaklıklarında biri birlerine daha yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Kalıp sıcaklığının 50 °C olması durumunda ise programlardan hesaplanan enjeksiyon zamanları hemen hemen eşit bulunmuştur.



Şekil 6.10. 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı



Şekil 6.11. 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için silindirik ve kare plastik elemanın ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

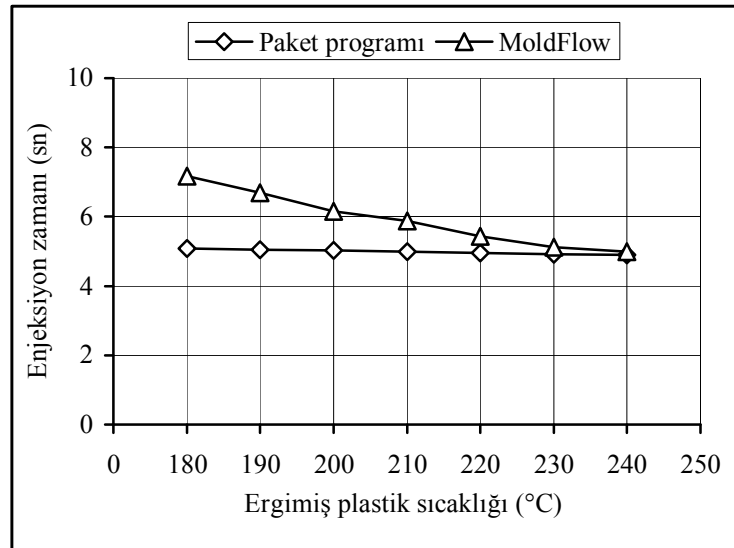
Ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C sabit tutulduğunda 80 °C kalıp sıcaklığı için programlardan elde edilen enjeksiyon zamanları birbirine yakın sonuç vermiştir. Kalıp sıcaklığının 40 °C’de olduğu durumda MoldFlow analizi ile paket program tarafından hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanları arasında %12.4 kadar bir fark varken kalıp sıcaklığı 80 °C’ye çıkartıldığında bu fark %1.3’e düşmüştür.

Silindirik ve kare bir elemanın enjeksiyon zamanlarının bulunması için yapılan çalışmada hem paket programdan hem de MoldFlow analizinden elde edilen enjeksiyon zamanları farklı olsa da bazı parametreler için değerler çok yakın elde edilmiştir. Buda YSA tabanlı olarak geliştirilen programın ideal olarak çalıştığını göstermektedir.

6.2.2. ¾ Inch Plastik Dişli Dirsek Elemanında Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu

MoldFlow ve programdan elde edilen parametrelerin analiz bölümünde ¾ inch YYPE plastik dişli dirsek elemanının farklı ergimiş plastik ve kalıp sıcaklıklarındaki enjeksiyon zamanları tablo olarak verilmişti (Tablo 5.8). Enjeksiyon zamanları YYPE plastik malzemenin önerilen erimiş plastik ve kalıp sıcaklığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. YYPE plastik malzeme için önerilen ergimiş plastik sıcaklığı 180–240 °C iken kalıp sıcaklığı 20–60 °C arasında değişmektedir. Bu sıcaklık parametrelerine bağlı olarak MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanlarının grafikleri analiz edilecektir.

Plastik dişli dirsek elemanının kalıp sıcaklığı 20 °C’de sabit tutularak farklı ergimiş plastik malzeme sıcaklıklarındaki ortalama enjeksiyon zamanlarının değişim grafiği Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

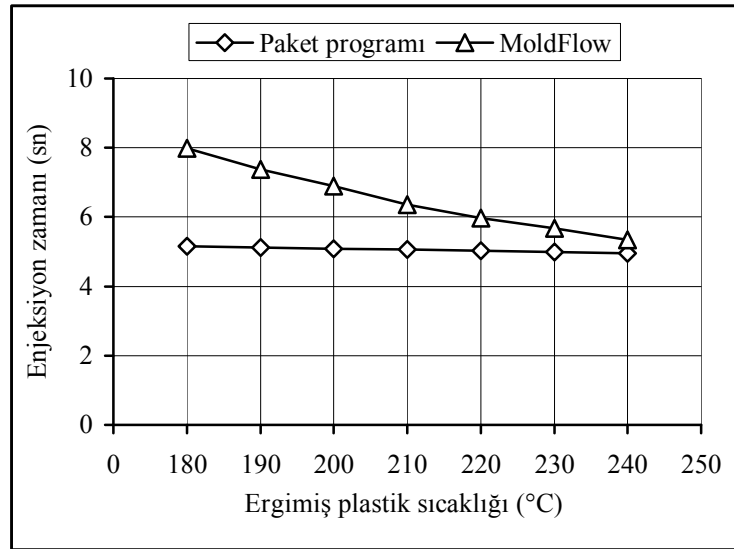


Şekil 6.12. 20 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Kalıp sıcaklığının 20 °C olması durumunda; 180 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden ve hazırlanan paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanları sırasıyla 7.17 sn ve 5.08 sn olarak elde edilirken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında enjeksiyon zamanları sırasıyla 4.91 sn ve 4.89 sn olarak hesaplanmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının 180 °C olması durumunda MoldFlow analizi ile paket program tarafından bulunan enjeksiyon zamanları arasında

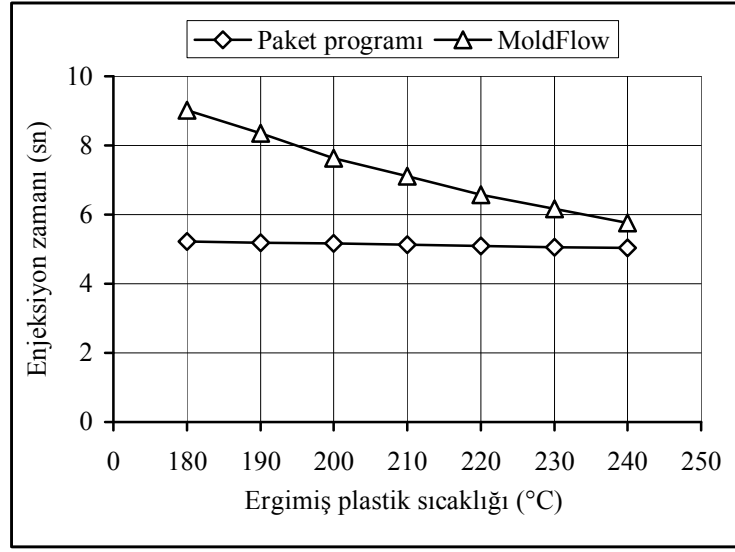
%41 kadar bir fark varken ergimiş plastik sıcaklığı 240 °C'ye çıkartıldığında bu fark %0.4'e düşmüştür. Başlangıç aşamasında hata payı fazla iken ergimiş plastik malzeme sıcaklığının artmasıyla elde edilen hata miktarı düşmeye başlamıştır. Grafikte görüldüğü gibi her iki çalışmada da ergimiş plastik sıcaklığının artması ¾ inch plastik dişli dirsek elemanının enjeksiyon zamanı daha kısa sürede tamamlamasına neden olmuştur.

Şekil 6.13 ve 6.14'de Plastik dişli dirsek elemanının sırasıyla 40 °C ve 60 °C kalıp sıcaklıkları için farklı ergimiş plastik sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen enjeksiyon zamanlarının değişim grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.13. 40 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

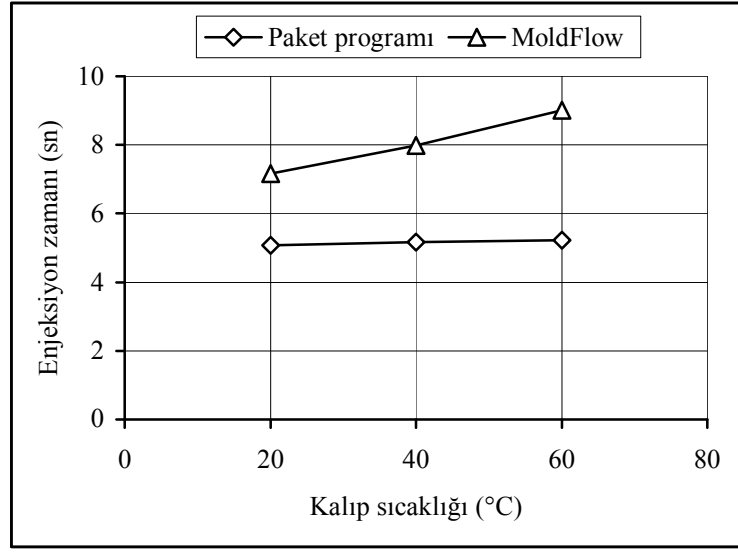
Kalıp sıcaklığı 40 °C'ye çıkartıldığında; 180 °C ergimiş plastik malzeme sıcaklığı için MoldFlow analizinden ve hazırlanan paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanları sırasıyla 7.99 sn ve 5.16 sn olarak elde edilirken ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 260 °C'ye çıkartıldığında enjeksiyon zamanları sırasıyla 5.34 sn ve 4.96 sn olarak hesaplanmıştır. Kalıp sıcaklığı 20 °C'de olduğu gibi 40 °C'de de ergimiş plastik sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanı düşmüştür. Kalıp sıcaklığı 20 °C'den 40 °C'ye çıkartıldığında, 180 °C ergimiş plastik sıcaklığı için MoldFlow'un bulduğu enjeksiyon zamanında 0.82 sn gecikme meydana gelmekteyken paket programın bulduğu enjeksiyon zamanında 0.08 sn gecikme meydana gelmiştir. Ergimiş plastik sıcaklığı 240 °C'ye çıkartıldığında MoldFlow ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanlarında meydana gelen gecikme sırasıyla 0.43 sn ve 0.07 sn olmuştur.



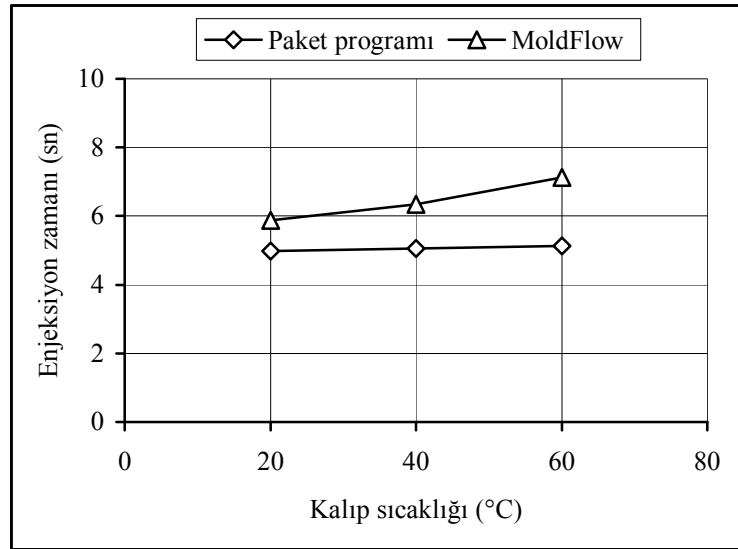
Şekil 6.14. 60 °C kalıp sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Kalıp sıcaklığı 60 °C'ye çıkartıldığında ise hem MoldFlow analizinden hem de paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları maksimum seviyede ulaşmıştır. Ancak, Paket programın hesapladığı enjeksiyon zamanındaki artış MoldFlow analizinden hesaplanan kadar fazla olmadığından kalıp sıcaklığı arttıkça hesaplanan enjeksiyon zamanlarındaki hata oranı artmış, ergimiş plastik sıcaklığı arttıkça hata oranı düşmüştür. Ergimiş plastik sıcaklığına göre MoldFlow analizi ile Paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanları 240 °C ergimiş plastik sıcaklıklarında biri birlerine en yakın değerde sonuç vermiştir. Bu değerler Şekil 6.15–6.17 arasında sırasıyla 180 °C, 210 °C ve 240 °C ergimiş plastik sıcaklığı için farklı kalıp sıcaklıklarındaki MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanlarının değişim grafiklerinde ayrıntılı olarak görülmektedir.

Ergimiş plastik sıcaklığı 180 °C'de sabit tutulduğunda, MoldFlow analizinden 20 °C, 40 °C ve 60 °C kalıp sıcaklıkları için enjeksiyon zamanları sırasıyla 7.17 sn, 7.99 sn ve 9.02 sn olarak elde edilmiştir. Paket program ise aynı parametrelerde enjeksiyon zamanlarını sırasıyla 5.08 sn, 5.16 sn ve 5.23 sn olarak hesaplanmıştır. 20 °C kalıp sıcaklığında MoldFlow ile paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanları arasında %41 kadar fark varken kalıp sıcaklığının 80 °C'ye çıkmasıyla bu fark %52.78'e yükselmiştir.

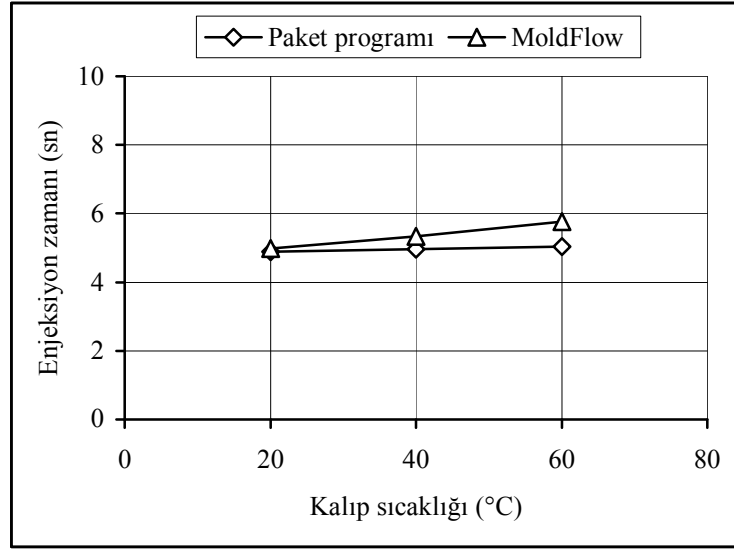


Şekil 6.15. 180 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı



Şekil 6.16. 210 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Ergimiş plastik sıcaklığı 210 °C’de sabit tutulduğunda, MoldFlow analizinden 20 °C, 40 °C ve 60 °C kalıp sıcaklıkları için enjeksiyon zamanları sırasıyla 5.87 sn, 6.35 sn ve 7.12 sn olarak elde edilmiştir. Paket program ise aynı parametrelerde enjeksiyon zamanlarını sırasıyla 4.99 sn, 5.06 sn ve 5.13 sn olarak hesaplanmıştır. 20 °C kalıp sıcaklığında MoldFlow ile paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanları arasında %17.64 kadar fark varken kalıp sıcaklığının 80 °C’ye çıkmasıyla bu fark %38.79’a yükselmiştir.



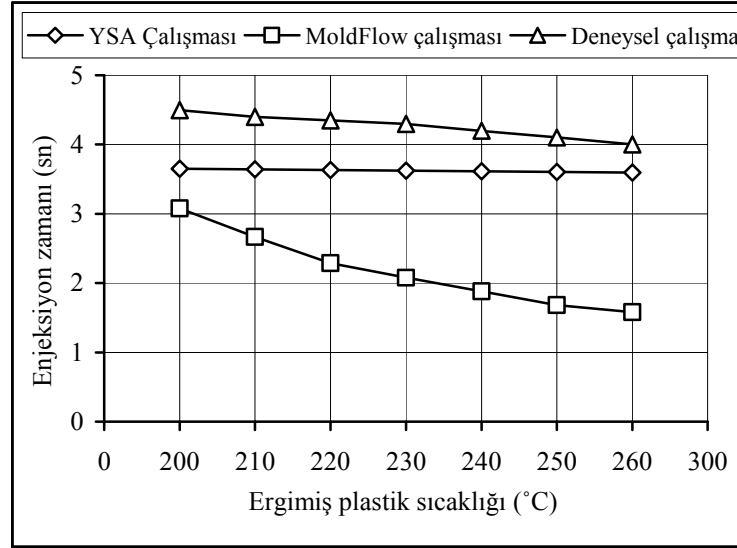
Şekil 6.17. 240 °C ergimiş plastik sıcaklığı için ¾ inch plastik dişli dirsek elemanın enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Ergimiş plastik sıcaklığı 240 °C’de sabit tutulduğunda, MoldFlow analizinden 20 °C, 40 °C ve 60 °C kalıp sıcaklıkları için enjeksiyon zamanları sırasıyla 4.99 sn, 5.34 sn ve 5.76 sn olarak elde edilmiştir. Paket program ise aynı parametrelerde enjeksiyon zamanlarını sırasıyla 4.89 sn, 4.96 sn ve 5.03 sn olarak hesaplanmıştır. 20 °C kalıp sıcaklığında MoldFlow ile paket program tarafından hesaplanan enjeksiyon zamanları arasında %2.05 kadar fark varken kalıp sıcaklığının 80 °C’ye çıkmasıyla bu fark %14.51’e yükselmiştir. MoldFlow analizi ile paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanları 240 °C ergimiş plastik ve farklı kalıp sıcaklıklarında biri birlerine daha yakın sonuç verdiği grafikte görülmüştür. En ideal değerler ise kalıp sıcaklığının 20 °C ve ergimiş plastik sıcaklığının 240 °C olması durumunda sağlanmıştır.

6.2.3. Hoparlör, Lamba, İkaz Düğme Yuvası Elemanının Enjeksiyon Zamanlarının Analiz Sonucu

Enjeksiyon kalıplama tekniklerinde, plastik malzemelerin kimyasal özelliklerinden dolayı her plastik malzeme için kalıp ve erimiş plastik malzeme sıcaklıklarının belirli değerlerde olması gerekmektedir. ABS plastik malzeme için önerilen kalıp sıcaklıkları 40 °C–80 °C arasında, ergimiş plastik malzeme sıcaklıkları ise 200 °C–260 °C arasında olması gerekmektedir. Bu faktörler göz önünde bulundurularak ABS plastik malzemeden imalatı yapılan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının deneysel çalışmasından, YSA tabanlı modellemesinden ve MoldFlow analizinden farklı sıcaklıklardaki enjeksiyon

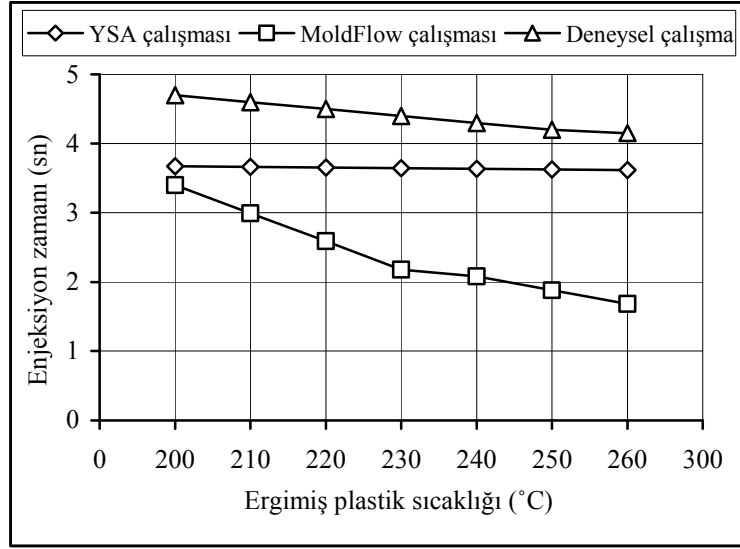
zamanlar analiz edilmiştir. Kalıp sıcaklığı 40 °C’de sabit tutulan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının farklı ergimiş plastik sıcaklıklarındaki çalışmalardan elde edilen enjeksiyon zamanlarının grafiği Şekil 6.18’de verilmiştir.



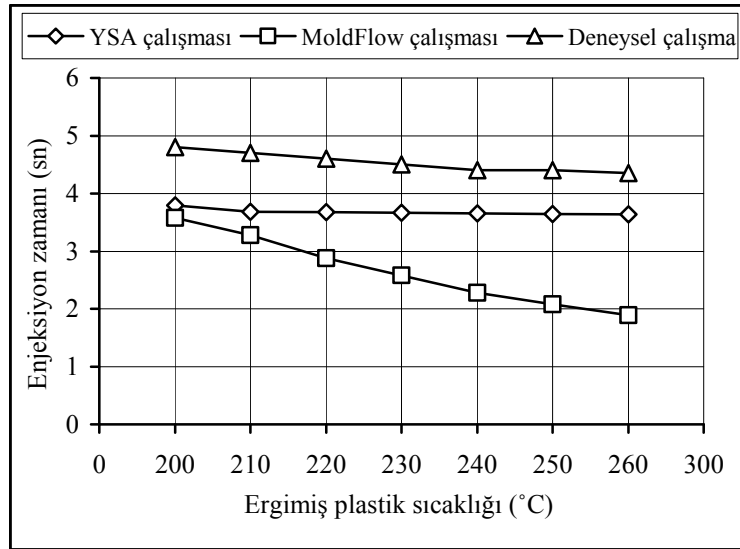
Şekil 6.18. 40 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Grafikte kalıp sıcaklığının 40 °C, ergimiş plastik sıcaklığının 200 °C’de olması durumunda deneysel çalışması yapılan hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanının enjeksiyon zamanı 4.5 sn’de gerçekleşirken ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C’ye çıkartıldığında enjeksiyon zamanı 4 sn’de gerçekleşmiştir. Aynı parametreler için YSA tabanlı modellemelerden enjeksiyon zamanları sırasıyla 3.65 sn ve 3.59 sn olarak hesaplanmıştır. MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları ise sırasıyla 3.08 sn ve 1.58 sn olarak elde edilmiştir. Uygulamadaki enjeksiyon zamanı ile MoldFlow analizinden ve YSA tabanlı modellemelerden elde edilen enjeksiyon zamanlarının farklı olduğu görülmüştür. Uygulama sonucu elde edilen enjeksiyon zamanı ile YSA tabanlı modellemelerden hesaplanan enjeksiyon zamanlarında ortalama olarak %17.4 hata varken, bu hata oranı MoldFlow analizi için %82.4 kadar olarak elde edilmiştir.

Kalıp sıcaklığının 60 °C ve 80 °C olması durumunda çalışmalardan elde edilen enjeksiyon zamanlarının değişim grafiği Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de sırasıyla gösterilmiştir.



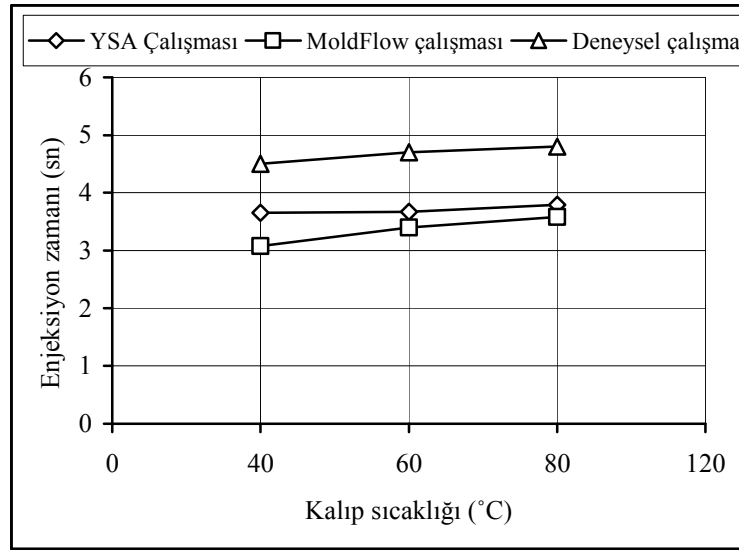
Şekil 6.19. 60 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı



Şekil 6.20. 80 °C kalıp sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Grafiklerde, ergimiş plastik sıcaklığının artmasıyla enjeksiyon zamanının düştüğü görülmüştür. Kalıp sıcaklığı arttıkça gerçek uygulamadaki enjeksiyon zamanı ile YSA tabanlı modellemeden bulunan enjeksiyon zamanı arasındaki ortalama hata %23'e çıkarken MoldFlow'daki ortalama hata %67'ye düşmüştür.

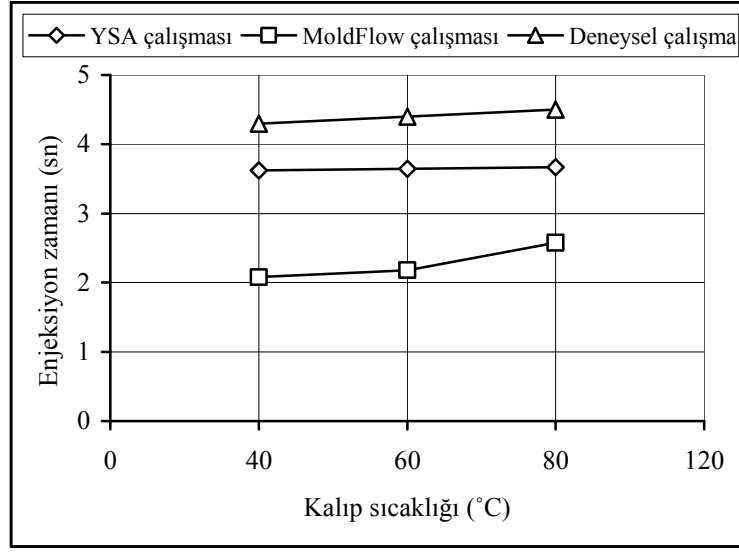
Kalıp sıcaklığının artmasıyla enjeksiyon zamanlarının değişimini görebilmek için ise Şekil 6.21–6.23 arasında sırasıyla 200 °C, 230 °C ve 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için MoldFlow analizinden ve paket programdan hesaplanan enjeksiyon zamanlarının grafikleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



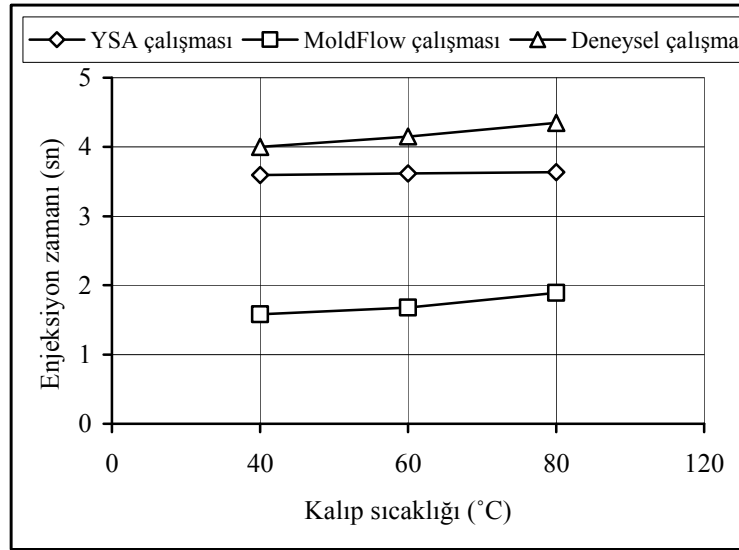
Şekil 6.21. 200 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Ergimiş plastik sıcaklığı 200 °C’de sabit tutulduğunda, MoldFlow analizinden 40 °C, 60 °C ve 80 °C kalıp sıcaklıkları için enjeksiyon zamanları sırasıyla 3.08 sn, 3.4 sn ve 3.58 sn olarak elde edilmiştir. Paket programda, aynı parametreler için enjeksiyon zamanları sırasıyla 3.65 sn, 3.67 sn ve 3.79 sn olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada ise enjeksiyon zamanları sırasıyla 4.5 sn, 4.7 sn ve 4.8 sn olarak elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığının 20 °C olması durumunda paket program ile MoldFlow analizi arasında % 18.51 kadar, paket programla deneysel çalışma arasında %23.28 kadar ve MoldFlow analizi ile deneysel çalışma arasında %46.10 kadar fark ortaya çıkmıştır. Kalıp sıcaklığının 80 °C’ye çıkmasıyla bu fark paket programla MoldFlow arasında %5.87, paket program ile deneysel çalışma arasında %26.65, MoldFlow ile deneysel çalışma arasında %34.08 olarak bulunmuştur.

Ergimiş plastik sıcaklığı 230 °C’ye çıkartıldığında paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanı ile deneysel çalışmadan elde edilen enjeksiyon zamanları arasındaki hata düşmüştür. MoldFlow analizinden elde edilen hata miktarı artmıştır. Ergimiş plastik sıcaklığı maksimum seviyeye çıkartıldığında ise deneysel çalışma ile paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanları biri birlerine yakın sonuç vermiştir. Kalıp sıcaklığının artmasıyla hata tekrar artmaya başlamıştır.



Şekil 6.22. 230 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı



Şekil 6.23. 260 °C ergimiş plastik sıcaklığı için hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanında enjeksiyon zamanlarının değişim dağılımı

Ergimiş plastik sıcaklığı 260 °C’de sabit tutulduğunda, MoldFlow analizinden 40 °C, 60 °C ve 80 °C kalıp sıcaklıkları için enjeksiyon zamanları sırasıyla 1.58 sn, 1.68 sn ve 1.89 sn olarak elde edilmiştir. Paket programda, aynı parametreler için enjeksiyon zamanları sırasıyla 3.59 sn, 3.61 sn ve 3.63 sn olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada ise enjeksiyon zamanları sırasıyla 4 sn, 4.15 sn ve 4.35 sn olarak elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığının 40 °C olması durumunda paket program ile MoldFlow analizi arasında % 127 kadar, paket programla deneysel çalışma arasında %11.42 kadar ve MoldFlow analizi ile deneysel çalışma arasında %153 kadar fark ortaya çıkmıştır. Kalıp sıcaklığının 80 °C’ye

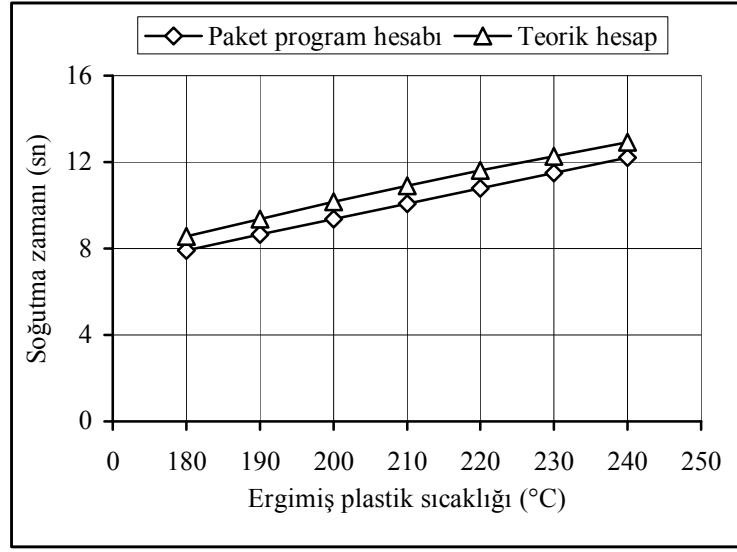
çıkmasıyla bu fark paket programla MoldFlow arasında %92.06, paket program ile deneysel çalışma arasında %19.84, MoldFlow ile deneysel çalışma arasında %130 olarak bulunmuştur.

Kalıp sıcaklıkları 40–60–80 °C göz önünde bulundurularak çalışmalardan elde edilen ortalama enjeksiyon zamanları incelenecek olunursa; gerçek uygulamadan hesaplanan enjeksiyon zamanı 4.42 sn, YSA tabanlı modellemeden hesaplanan ortalama enjeksiyon zamanı 3.66 sn ve MoldFlow analizinden bulunan ortalama enjeksiyon zamanı ise 2.54 sn olmaktadır. YSA tabanlı modelden elde edilen enjeksiyon zamanı gerçek uygulamadaki enjeksiyon zamanına daha yakın sonuç verdiği görülmüştür. Ancak, gerçek uygulamada ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör, lamba ve ikaz düğme yuvası elemanı optimum ölçü tamlığı sağlandığı zaman enjeksiyon makinesindeki değerleri; enjeksiyon basıncı 600 bar, plastiğin erime sıcaklığı 200 °C, kalıp sıcaklığı 50 °C ve enjeksiyon zamanı 4,7 sn olarak okunmuştur. YSA modeli daha fazla parametre ve örnek sayısı ile eğitilirse gerçek uygulamadaki enjeksiyon zamanlarına daha yakın sonuçlar verebilecektir.

6.2.4. Klamp Kablo Tutucu için Soğutma ve Enjeksiyon Zamanlarının Analizi

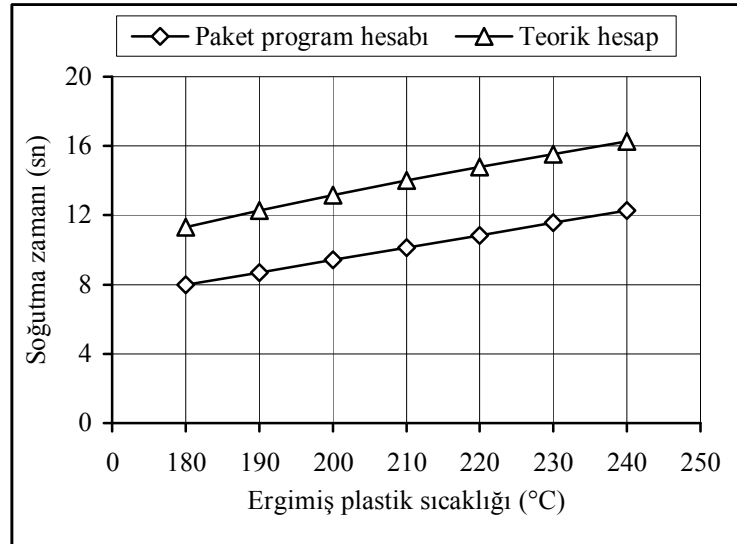
Bu çalışmada, klamp kablo tutucuları için seçilen parametreler dikkate alınarak farklı kalıp ve ergime sıcaklıkları için paket programın hesapladığı soğutma ve enjeksiyon zamanları ile teorik çalışmadan hesaplanan soğutma zamanları ve MoldFlow analizinden bulunan enjeksiyon zamanları karşılaştırılmıştır.

Klamp kablo tutucunun maksimum uzunluğu 105 mm, maksimum genişliği 50 mm, maksimum yüksekliği 18.5 mm, et kalınlığı 3.5 mm, hacmi 59400.31 mm³ ve kullanılan plastik malzeme YYPE'dir. Yüksek yoğunluklu polietilen malzemenin ideal bir biçimde kalıp boşluklarını doldurması için kalıp sıcaklığının 20 °C ile 60 °C arasında, ergime sıcaklığının ise 180 °C ile 240 °C arasında olması gerekmektedir. Klamp kablo tutucu için teorik çalışma ve paket programa farklı kalıp ve plastik ergime sıcaklık parametreleri girilerek soğutma zamanlarının değişimi incelenmiştir. Şekil 6.24'de kalıp sıcaklığı 20 °C'de, Şekil 6.25'de kalıp sıcaklığı 40 °C'de, Şekil 6.26'da kalıp sıcaklığı 60 °C'de sabit tutularak farklı ergimiş plastik sıcaklıklarındaki soğutma zamanlarının değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.24. Klamp kablo tutucunun 20 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları

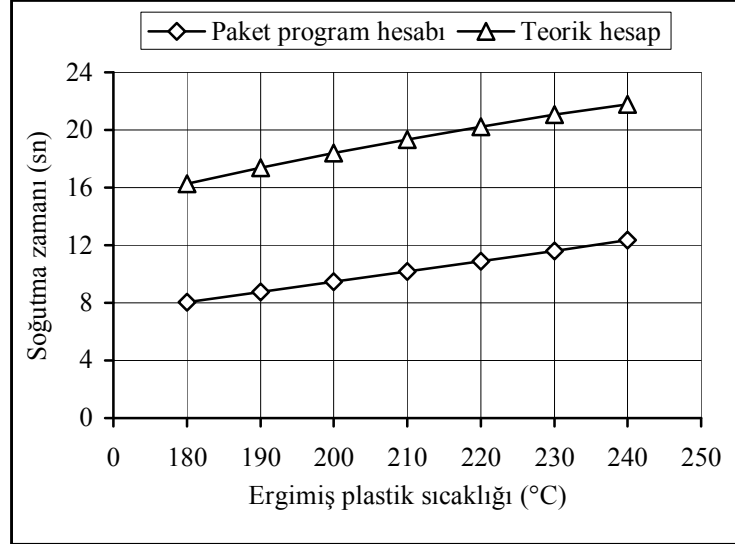
Kalıp sıcaklığı 20 °C’de sabit tutulduğunda; 180 °C’deki ergimiş plastik malzeme için paket programdan bulunan soğutma zamanı 7.92 sn, teorik hesaplardan bulunan soğutma zamanı 8.55 sn olarak elde edilmiştir. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 240 °C’ye çıkartıldığında ise paket programdan bulunan soğutma zamanı 12.22 sn, teorik hesaplardan bulunan soğutma zamanı 12,92 sn’ye çıkmıştır. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığının artması soğutma zamanının uzamasına neden olmuştur.



Şekil 6.25. Klamp kablo tutucunun 40 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları

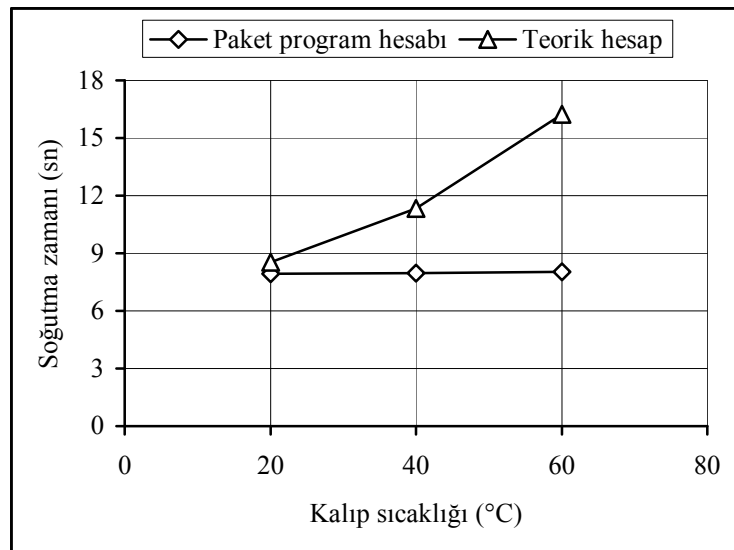
Kalıp sıcaklığı 40 °C’ de sabit tutulduğunda; 180 °C’deki ergimiş plastik malzeme için paket programdan bulunan soğutma zamanı 7.98 sn, teorik hesaplardan bulunan

soğutma zamanı 11.33 sn olarak elde edilmiştir. Ergimiş plastik malzeme sıcaklığı 240 °C'ye çıkartıldığında ise paket programdan bulunan soğutma zamanı 12.28 sn, teorik hesaplardan bulunan soğutma zamanı 16,25 sn'ye çıkmıştır.



Şekil 6.26. Klamp kablo tutucunun 60 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları

Kalıp sıcaklığının 60 °C'ye çıkartılmasıyla hem paket programın hesapladığı soğutma zamanı hem de teorik hesaplardan bulunan soğutma zamanı artmıştır. Soğutma zamanı hem ergimiş plastik malzeme hem de kalıp sıcaklığının artmasıyla artmıştır. Ergimiş plastik sıcaklığı 180 °C'de sabit tutulduğunda kalıp sıcaklığına bağlı olarak soğutma zamanının değişimi Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

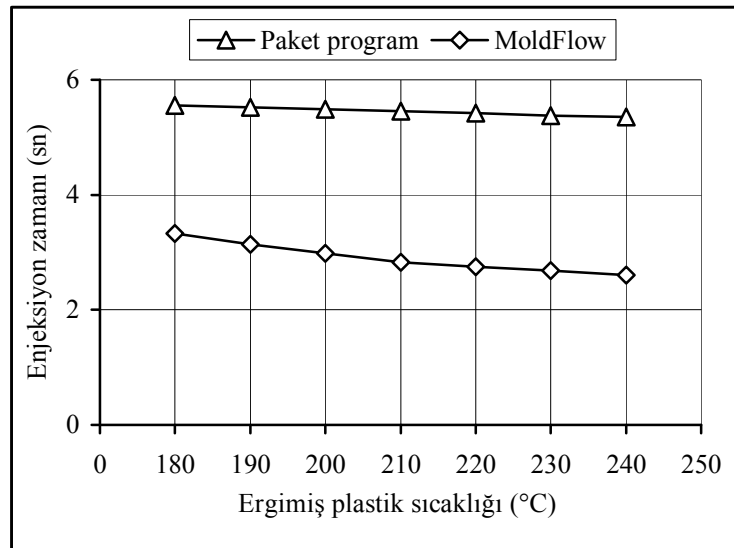


Şekil 6.27. Klamp kablo tutucunun 180 °C ergimiş plastik sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan soğutma zamanları

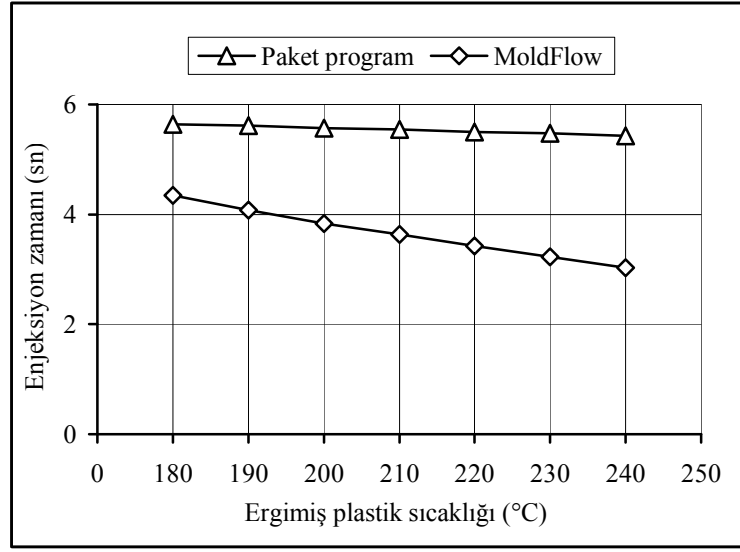
Teorik hesaplamada, kalıp sıcaklığı, plastiğin ergime sıcaklığı ve numunenin et kalınlığı soğutma zamanını doğrudan etkilemektedirler. Bu nedenle, kalıp sıcaklığı ve plastiğin ergime sıcaklığı arttıkça soğutma süreleri lineer olarak artmıştır. Kalıp sıcaklığı ve plastiğin ergime sıcaklığı minimum seviyede tutulduğunda soğutma zamanı 8.55 sn hesaplanırken, kalıp sıcaklığı ve plastiğin ergime sıcaklığı maksimum seviyeye çıkartıldığında soğutma zamanı 21.8 sn olarak hesaplanmıştır. Programın ürettiği sonuçlarda da teorik hesaplamalarda olduğu gibi sıcaklık arttıkça soğutma süreleri artmıştır. Paket programda kalıp ve plastiğin ergime sıcaklığı minimum seviyede tutulduğunda soğutma zamanı 7,92 sn bulunurken, kalıp sıcaklığı ve plastiğin ergime sıcaklığı maksimum seviyeye çıkartıldığında soğutma zamanı 12,34 sn olarak hesaplanmıştır. Ancak, program öğrenme metoduyla sonuçları bulduğundan grafiklerde teorik hesaplamadaki gibi ani artışlar görülmemiştir.

Bilimsel olarak sıcaklık faktörleri ile soğutma faktörleri biri birleri ile doğru orantılı olarak etkilenmektedir. Bu nedenle her iki çalışmada da sıcaklık arttıkça soğutma zamanı artmıştır.

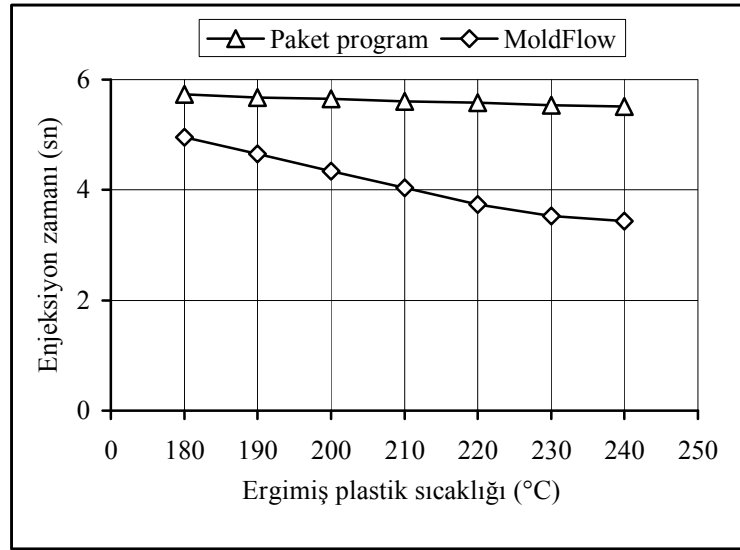
Farklı kalıp ve ergimiş plastik sıcaklıklarındaki soğutma zamanları hesaplanan klamp kablo tutucu elemanının enjeksiyon zamanlarındaki değişimi görebilmek için MoldFlow analizinden ve paket programdan elde edilen enjeksiyon zamanlarının grafikleri Şekil 6.28–6.31’de gösterilmiştir.



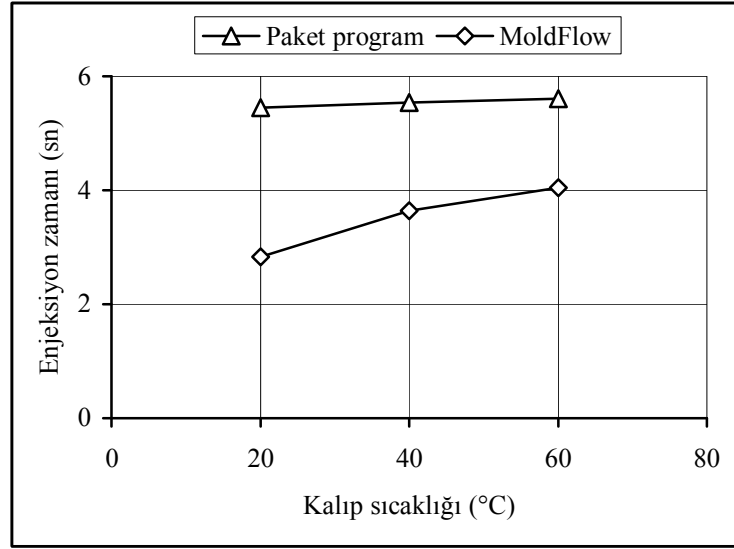
Şekil 6.28. Klamp kablo tutucunun 20 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları



Şekil 6.29. Klamp kablo tutucunun 40 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları



Şekil 6.30. Klamp kablo tutucunun 60 °C kalıp sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları



Şekil 6.31. Klamp kablo tutucunun 210 °C ergimiş plastik sıcaklığındaki paket program ve teorik çalışmadan bulunan enjeksiyon zamanları

Klamp kablo tutucu elemanın kalıp sıcaklığına ve ergimiş plastik sıcaklığına bağlı olarak paket programdan ve MoldFlow analizinden hesaplanan enjeksiyon zamanları grafiklerde gösterilmiştir. Paket program 20 °C kalıp sıcaklığında ortalama enjeksiyon zamanını 5.46 sn, 40 °C kalıp sıcaklığında ortalama enjeksiyon zamanını 5.54 sn, 60 °C kalıp sıcaklığında ortalama enjeksiyon zamanını 5.62 sn olarak hesaplamıştır. MoldFlow analizinde ise aynı kalıp sıcaklıklarındaki ortalama enjeksiyon zamanları sırasıyla 2.97 sn, 3.69 sn ve 4.19 sn olarak elde edilmiştir.

Kalıp sıcaklığı sabit tutulduğunda, ergimiş plastik sıcaklığı arttıkça programlardan hesaplanan enjeksiyon zamanları arasındaki hata miktarı artmıştır. Kalıp sıcaklığının artırılması durumunda ise hesaplanan enjeksiyon zamanlarındaki hata miktarı azalmıştır. Maksimum hata, kalıp sıcaklığının 20 °C, ergimiş plastik sıcaklığının 240 °C’de olduğu durumda yaklaşık olarak %105.77, Minimum hata ise kalıp sıcaklığının 60 °C, ergimiş plastik sıcaklığının 180 °C’de olduğu durumda yaklaşık olarak %15.76 olarak bulunmuştur. Bulunan hata miktarlarındaki oranın bu kadar fazla değişkenlik göstermesinin asıl nedeni, MoldFlow analizinde sıcaklık parametrelerine bağlı olarak hesaplanan enjeksiyon zamanları arasında maksimum %57 oranında, hazırlanan paket programda ise yaklaşık olarak %4 oranında bir değişim olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda enjeksiyon ve soğutma zamanları, kalıp sıcaklığının ve ergimiş plastik sıcaklığının belirli aralıklarda sabit tutulmasıyla elde edilmiştir. Bu sıcaklıklar arasındaki enjeksiyon zamanlarının ve soğutma zamanlarının değerleri verilmemiştir.

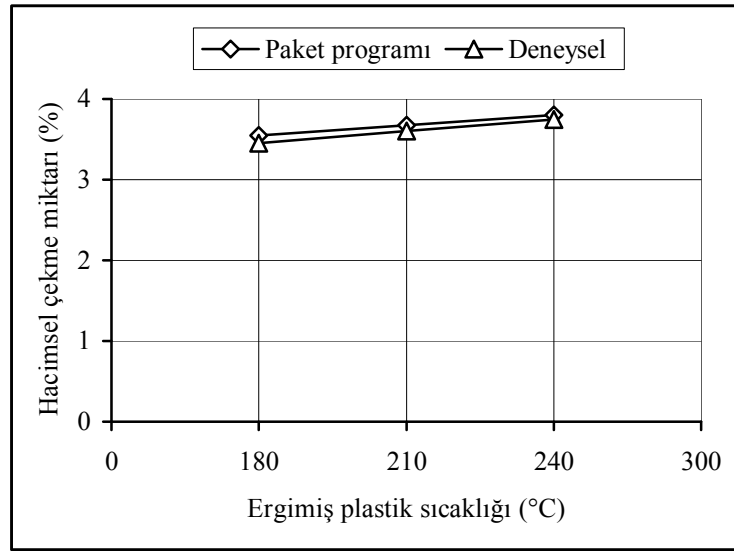
İstenildiğinde bu ara değerler interpolasyon işlemi ile hesaplanabilmektedir. Aşağıda interpolasyon işlemi yapılarak hesaplanan enjeksiyon zamanına bir örnek verilmiştir.

Plastiğin Erime sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Enjeksiyon Zamanı
220 °C	20 °C	5.42 sn
226 °C	20 °C	X
230 °C	20 °C	5.38 sn
$\begin{array}{cc} (230-220) & (5.38-5.42) \\ (230-226) & (5.38-X) \end{array}$		
$\begin{array}{cc} (10) & (-0.04) \\ (4) & (5.38-X) \end{array}$		
$10.(5.38-X) = 4.-0.04$		
$X = 5.395 \text{ sn}$		

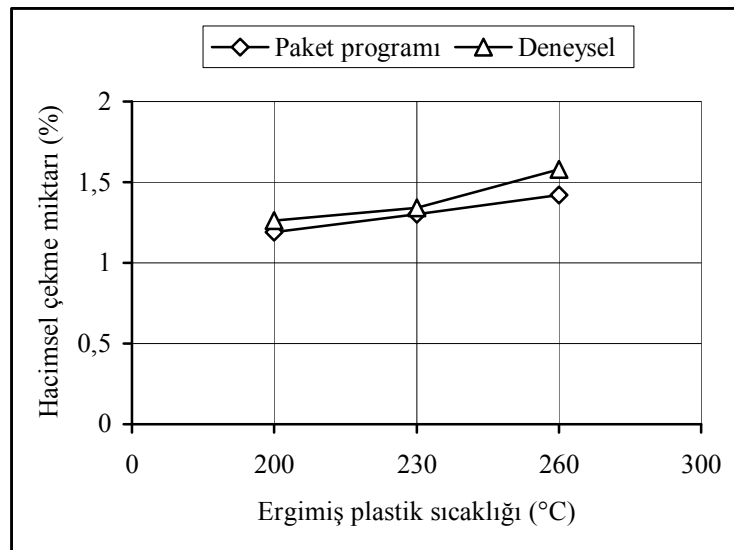
6.3. Plastik Enjeksiyonla Kalıplanan Ürünlerde Çekme ve Analiz Sonucu

Genellikle termoplastiklerin kalıplanması üç safhadan oluşur. Bunlar, dolma aşaması, paketleme aşaması ve soğutma aşamasıdır. Dolma aşaması, iyi kalıplanmış bir ürün elde etmek için oldukça önemlidir. Kalıplanan ürünün kalitesine doğrudan etki eden dolma aşamasının önemli parametreleri enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı ve ergimiş plastik sıcaklığıdır [55]. Ergimiş plastik sıcaklığı arttıkça akış uzunluğu, kalıp sıcaklığı arttıkça enjeksiyon zamanı artmaktadır. Enjeksiyon basıncının artması ise enjeksiyon zamanı azaltmaktadır [56]. Dolma aşamasını etkileyen bu gibi kalıplama parametreleri kalıplanan plastik ürünün çekme ve çarpılma miktarına etki eden en önemli faktörlerdir [14]. Plastik enjeksiyonla kalıplamada çekme, erimiş plastiğin kalıp boşluğundan katılaştıktan sonraki boyutsal ve geometrik bozulmaları olarak tanımlanmaktadır. Kalıplanan parçalarda ısı ve basınç farkından dolayı oluşan gerilmeler, malzemenin çekme veya çarpılmasına neden olmaktadır. Çekme miktarına etki eden faktörler, kalıplanan parçanın şekli, et kalınlığı ve et kalınlığı değişimi, girişin tipi, girişlerin sayısı ve girişler arası mesafe ve plastiğin kristalleşme oranıdır. Ayrıca, enjekte basıncı, enjekte sıcaklığı, tutma basınçları ve katkı maddesi çekme miktarına etki eden diğer parametrelerdir [2,57]. Kalıplanan plastik malzemenin enjeksiyon basıncı, ergime sıcaklığı ve katkı maddesi oranının artması çekmenin artmasına, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon zamanının artması çekmenin azalmasına neden olmaktadır [58]. Yaklaşık olarak enjeksiyon basıncının %58, enjeksiyon zamanının %15, ütüleme zamanının %23 ve soğutma zamanının %4 oranında çarpılmaya yol açtığı,

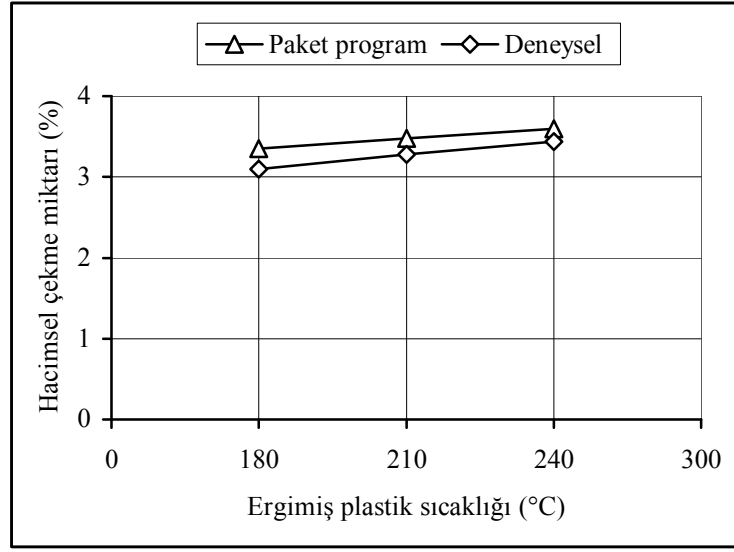
enjeksiyon basıncının %84, enjeksiyon zamanının %5, ütüleme zamanının %8 ve soğutma zamanının %3 oranında da çekmeye yol açtığı tespit edilmiştir [4]. Bu nedenlerden dolayı çekme miktarları plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ile elde edilen ürünlerde oldukça önemlidir. Bu çalışmada, YYPE plastik malzemeden elde edilen ¾ inch plastik dişli dirsek ve klamp kablo tutucu elemanları ile ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanının ergimiş plastik sıcaklığına, kalıp sıcaklığına ve enjeksiyon zamanına bağlı olarak hacimsel çekme miktarları analiz edilmiştir. Çekme miktarın plastik dişli dirsek, hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi ve klamp kablo tutucu elemanlarında ergimiş plastik sıcaklığına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 6.32–6.34’de verilmiştir.



Şekil 6.32. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği



Şekil 6.33. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği

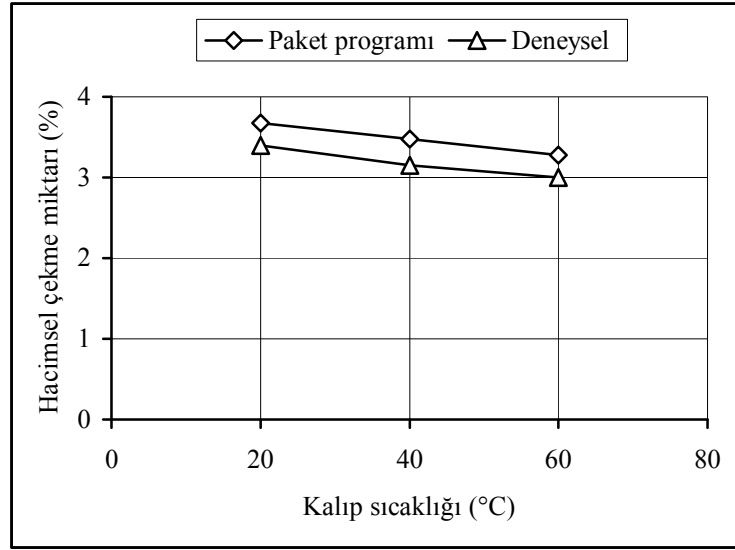


Şekil 6.34. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının ergimiş plastik sıcaklığı ile değişim grafiği

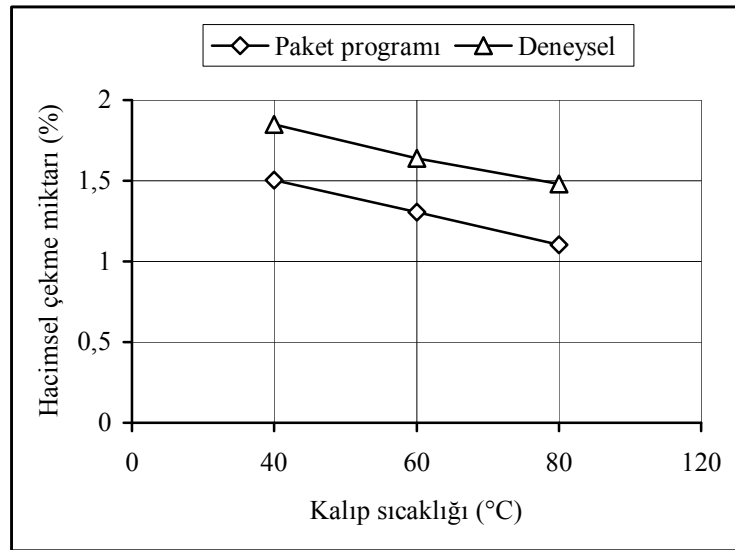
Deneysel çalışmadan ve paket program tarafından ergimiş plastik sıcaklığına bağlı olarak elde edilen hacimsel çekme miktarı biri birine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. YYPE plastik malzemeden elde edilen plastik dişli dirsek ve klamp kablo tutucu elemanı ile ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi elemanında ergimiş plastik sıcaklığının artması hacimsel çekme miktarının artmasına neden olmuştur. Ergimiş plastik sıcaklığına bağlı olarak YYPE plastik malzemeden elde edilen dişli dirsek elemanı için paket program ile deneysel çalışma arasında %2.1 kadar bir fark varken aynı plastik malzemeden elde edilen klamp kablo tutucu elemanında bu fark %6.4 kadar, ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi için ise bu fark %7.2 kadar hesaplanmıştır. Çekme miktarının giderilmesi yada minimuma indirilmesi için ergimiş plastik sıcaklığının düşük tutulmasının ve kalıp boşluğunun çekme miktarı kadar büyük yapılmasının gerektiği düşünülmektedir. Şayet akış uzunluğunun fazla olması isteniyorsa ergimiş plastik sıcaklığının yüksek olması gerekmektedir. Buda plastik üründe çekme miktarını arttıracaktır. Çekme miktarını azalmak için ise ütleme zamanının iyi hesaplanması gerekmektedir [56, 57].

Çekme miktarın plastik dişli dirsek, hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi ve klamp kablo tutucu elemanlarında kalıp sıcaklığına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 6.35–6.37’de verilmiştir. Ergimiş plastik sıcaklığında olduğu gibi kalıp sıcaklığında da deneysel çalışmadan ve paket program tarafından elde edilen hacimsel çekme miktarı biri birine yakın sonuçlar vermiştir. YYPE plastik malzemeden elde edilen plastik dişli dirsek ve klamp kablo tutucu elemanı ile ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve

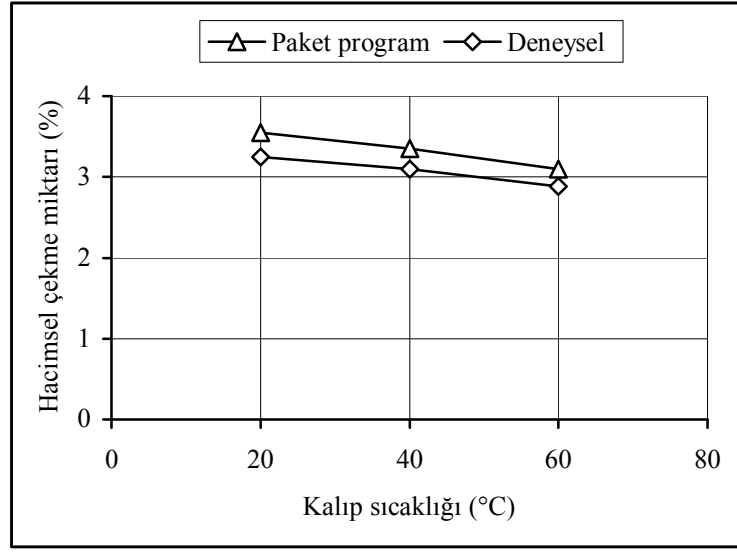
ikaz düğmesi elemanında kalıp sıcaklığının artması hacimsel çekme miktarının azalmasına neden olmuştur. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak YYPE plastik malzemeden elde edilen dişli dirsek elemanı için paket program ile deneysel çalışma arasında %7.92 kadar bir fark varken aynı plastik malzemeden elde edilen klamp kablo tutucu elemanında bu fark %8.2 kadar, ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi için ise bu fark %26 kadar hesaplanmıştır. Çekme miktarının giderilmesi yada minimuma indirilmesi için kalıp sıcaklığının yüksek tutulması ve kalıp boşluğunun çekme miktarı kadar büyük yapılması gerektiği düşünülmektedir. Kalıp sıcaklığının yüksek tutulması ise enjeksiyon zamanının artmasına neden olmaktadır [56].



Şekil 6.35. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği

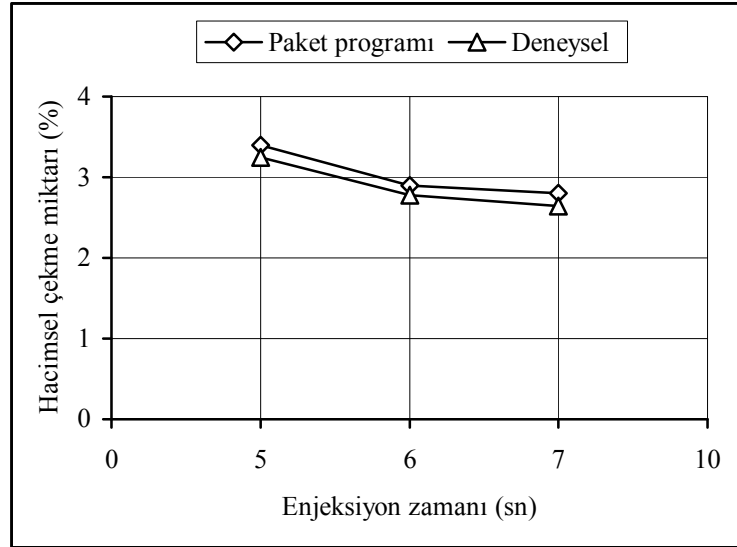


Şekil 6.36. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği

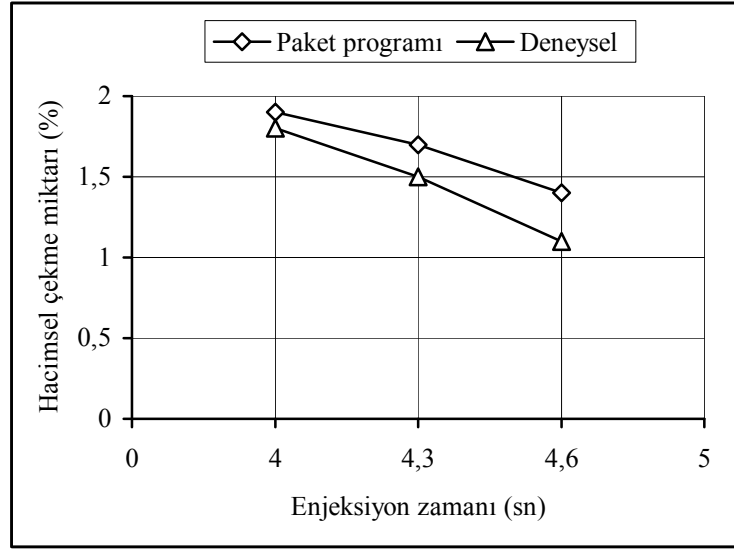


Şekil 6.37. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının kalıp sıcaklığı ile değişim grafiği

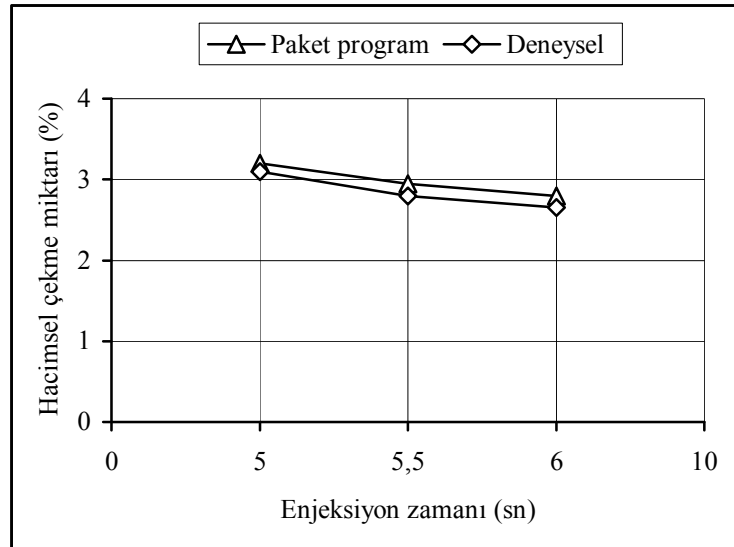
Çekme miktarın plastik dişli dirsek, hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi ve klamp kablo tutucu elemanlarında enjeksiyon zamanına bağlı olarak değişim grafikleri ise Şekil 6.38–6.40’da verilmiştir.



Şekil 6.38. Plastik dişli dirsek elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği



Şekil 6.39. Hoparlör-lamba ve ikaz düğme elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği



Şekil 6.40. Klamp kablo tutucu elemanında hacimsel çekme miktarının enjeksiyon zamanı ile değişim grafiği

Bilindiği gibi Ergimiş plastik sıcaklığının düşük ve kalıp sıcaklığının yüksek olması enjeksiyon zamanının artmasına neden olmaktadır. Enjeksiyon zamanının düşük olmasına etki eden diğer önemli madde ise enjeksiyon basıncıdır [56–57]. Çalışmalarda enjeksiyon zamanının artması çekme miktarının düşük olmasına neden olduğu görülmüştür. Enjeksiyon zamanına bağlı olarak YYPE plastik malzemeden elde edilen dişli dirsek elemanı için paket program ile deneysel çalışma arasında %5 kadar bir fark varken aynı plastik malzemeden elde edilen klamp kablo tutucu elemanında bu fark %3 kadar, ABS plastik malzemeden elde edilen hoparlör-lamba ve ikaz düğmesi için ise bu fark %4.4 kadar hesaplanmıştır.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

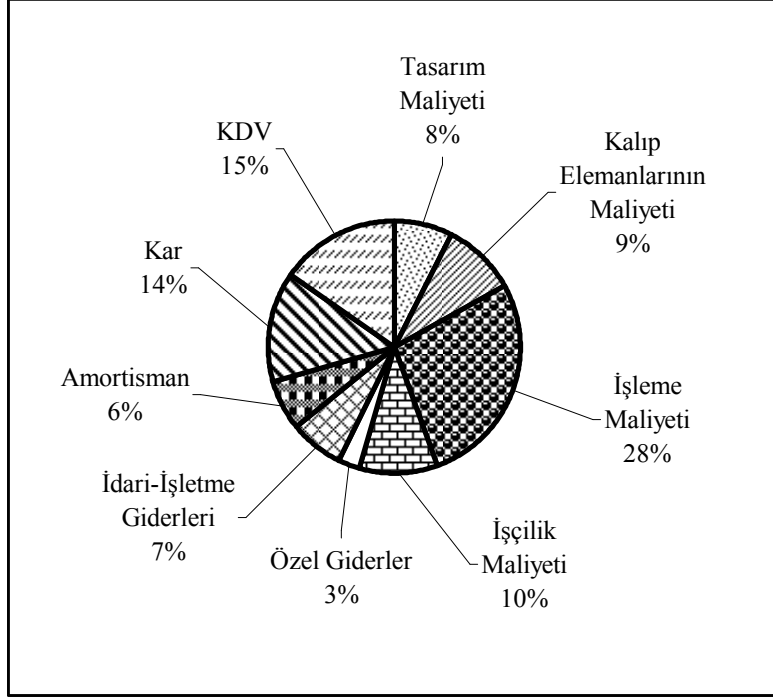
Hazırlanan paket programın geçerliliğini kontrol etmek için farklı çalışmalardan elde edilen kalıp maliyet analizi, plastik elemanın maliyeti, kalıplanan elemanın hacimsel çekme miktarı, enjeksiyon ve soğutma zamanları, deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen verilerle irdelenmiştir.

Yapılan tüm çalışmalar göz önünde bulundurularak kalıp maliyetine etki eden faktörler incelenmiştir. Yapılan incelemelere göre kalıp maliyetine etki eden en önemli faktörün kalıp işleme maliyeti olduğu görülmüştür. Paket programdan hesaplanan ve uygulama çalışmaları sonucu bulunan kalıp maliyetleri için KDV ve kar oranı göz önünde bulundurulmasa kalıp maliyetini etkileyen parametreler sırasıyla kalıp işleme maliyeti, işçilik maliyeti, kalıp elemanlarının maliyeti, tasarım maliyeti, idari-işletme genel giderleri, amortisman ve özel giderler olarak elde edilmiştir. Paket programın hesapladığı ve uygulama çalışmaları sonucu bulunan kalıp maliyetleri Şekil 7.1’de görüldüğü gibi biri birine yakın sonuçlar vermiştir. Ancak, paket programın hesapladığı kar oranı gerçek uygulamadakinden %7 kadar düşük, tasarım maliyetlerindeki oran ise %8 kadar fazla olarak bulunmuştur. Bu parametreler işçilik, ham malzeme ve işleme sürelerine doğrudan etki etmediği için maliyet analizlerinin ideal olarak hesaplandığı söylenebilir.

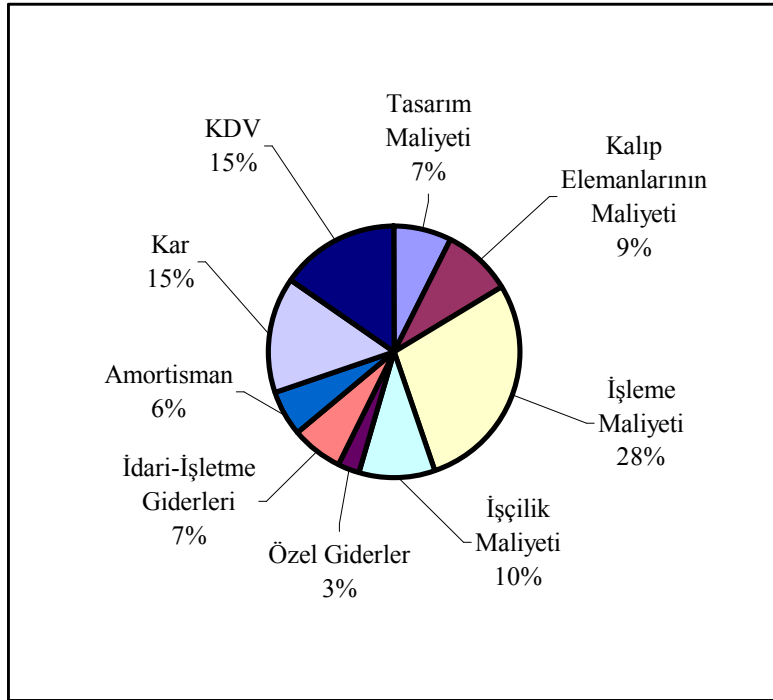
Paket programdan tarafından hesaplanan kalıp maliyetleri ile deneysel çalışmalardan hesaplanan kalıp maliyetleri arasında ortalama % 3’lük bir fark vardır. Bu farkın fazla yüksek olmaması ve programın sonuca hızlı ulaşması, kalıp maliyetlerinin program tarafından ideal olarak hesaplanmasının bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, maliyet analizlerinde ki hata miktarını etkileyen en önemli unsurun işletmelerdeki teknolojik farklardan kaynaklandığı söylenebilir. Fabrikalardaki seri üretim, kalıbı imal edilecek plastik elemanın tasarım ve geometrik özellikleri, ham malzeme, teknolojik makinelerin kullanılması, iş gücü ve maddi olanaklar maliyetin değişmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bunun için, aynı ürünü üretecek firmalar maliyet analizleri için hazırlanan paket programı kullanacak olurlarsa her firmanın hesapladığı maliyetlerde değişme gözlemlenecektir. Ama tüm işlemler program tarafından

formül ize edildiği için firmalar aynı süre içerisinde kalıp ve üretilecek ürünün maliyetini hesaplayacaklardır.



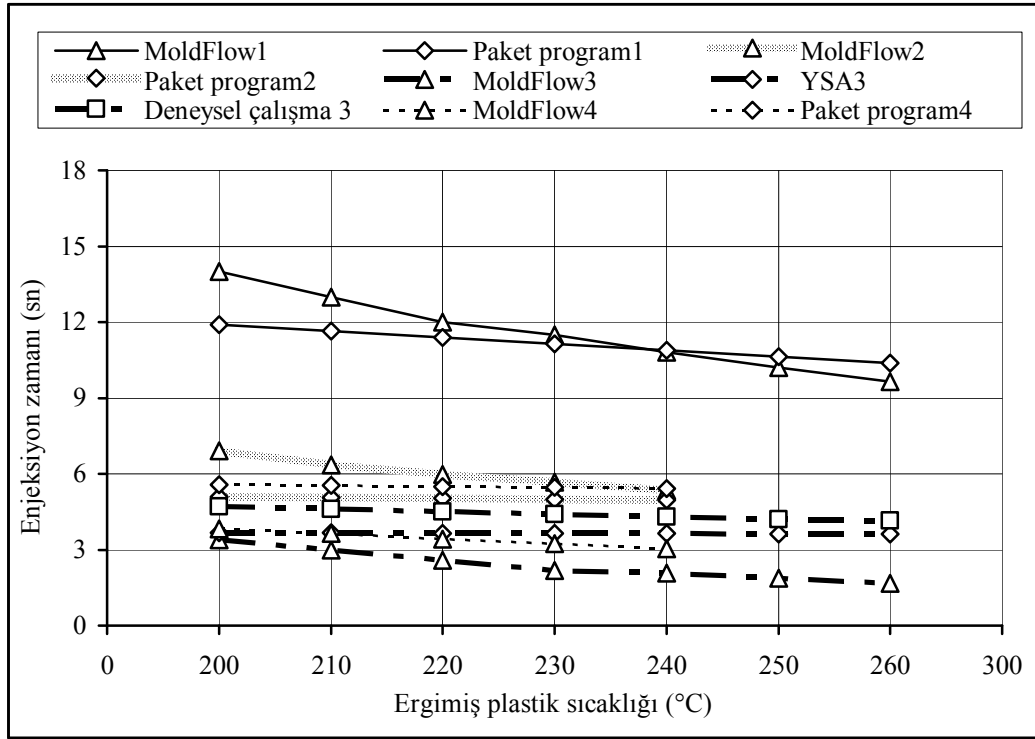
(a)



(b)

Şekil 7.1. Geliştirilen program ve uygulama örnekleri için kalıp maliyetinde etkili olan faktörler
(a. Paket program grafiği, b. Gerçek veri grafiği)

Enjeksiyon ve soğutma zamanı için hazırlanan YSA tabanlı modelleme ile teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kıyaslandığı zaman paket programın hesapladığı enjeksiyon ve soğutma zamanında ortalama olarak % 20.94 kadar bir hata payı olduğu görülmektedir (Şekil 7.2). Bu hata Teorik çalışmalardaki enjeksiyon zamanının sonlu elemanlar metoduyla hesaplanmasından, paket programdaki enjeksiyon ve soğutma zamanının ise YSA ile elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda paket programdan hesaplanan veriler teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile aynı doğrultuda paralellik göstermesi programın bu verilere tahmini bir yaklaşımda bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 7.2. Çalışmaları yapılan plastik elemanların ortalama kalıp sıcaklığı için enjeksiyon zamanlarındaki değişim dağılımı

Ancak, YSA'dan elde edilen enjeksiyon ve soğutma zamanındaki hatanın az olduğu düşünülemez. Çünkü enjeksiyon ve soğutma zamanlarını şeklin geometrik özellikleri, sıcaklık değişimi, basınç faktörleri gibi etkileyen çok sayıda parametre vardır. Grafikte bu faktörlere bağlı olarak enjeksiyon zamanının değiştiği görülmektedir. Bunlar düşünülerek enjeksiyon ve soğutma zamanlarının hassas bulunması için çok yüksek sayıda değişik kalıplanan parametrelerin analiz yapılması gerekmektedir. Yapılan analizler kayıt altına

alınarak YSA tabanlı modellemede tekrar eğitilmesi programda hata miktarını çok aza indirecektir.

Bir adet plastik elemanın maliyeti hesaplanırken maliyete etki eden faktörler; ham malzeme maliyeti, katkı maddesi maliyeti, işleme maliyeti, işçilik maliyeti, soket giderleri, idari-işletme genel giderleri, amortisman giderleri, kar ve KDV olarak sıralanmaktadır. Amortisman giderleri kalıp maliyetinden, işleme maliyeti ise enjeksiyon zamanı, soğutma zamanı, ütüleme zamanı, mengene açma ve kapama zamanlarından hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, paket programın kalıp maliyet analizi ile YSA tabanlı modellemeden elde ettiği enjeksiyon ve soğutma zamanları belirli bir hata payı ile hesaplanmıştır. Paket programda, kalıp maliyeti ve YSA tabanlı modellemede oluşan hata, programın hesapladığı plastik elemanın maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, program bir adet plastik elemanın maliyetini hesaplarken %2 oranında hata yapmaktadır. Bir adet plastik elemanın maliyeti ve programdaki hata oranının düşük olması maliyeti pek fazla etkilememiştir. Bu gibi olumsuzluklara rağmen programın ürettiği hata miktarının hesaplanan değerler karşısında fazla yüksek olmadığı ve yapılan çalışmalara paralel olarak işlevini sürdürdüğü görülmüştür. Bu nedenle, programın güvenilirliğinin ve geçerliliğinin ideal olduğunu düşünülmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri için gerekli olan önemli bilgilere aşağıda maddeler halinde değinilmiştir.

1- Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı yapılırken üretilecek numunenin geometrik özelliklerine (minimum çekme miktarı için kalıp boşluk ölçülerinin çekme miktarınca büyük yapılması, maça sistemlerinin kullanılıp kullanılmaması, kalıp açılma çizgisinin ayarlanması), kalıbın kullanılacağı enjeksiyon makinesine (rasgele hazırlanmış kalıp enjeksiyon makinesinde kullanılmayabilir), plastik ürünün kalıplanma sayısına (uygun kalıp malzeme seçilmesi ve uygun maliyet) dikkat edilmelidir.

2- Kalıp imalatı sırasında maliyete etki eden en önemli parametreler sırasıyla kalıp işleme maliyeti, işçilik maliyeti ve kalıp malzeme maliyeti olarak elde edilmektedir.

3- Ergimiş plastik sıcaklığının artması enjeksiyon zamanının azalmasına, kalıp sıcaklığının artması ise enjeksiyon zamanının uzamasına neden olmuştur.

4- Ergimiş plastik sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının artması soğutma süresinin uzamasına neden olmuştur.

5- Ergimiş plastik sıcaklığının artması kalıplanan üründe çekme miktarının artmasına, kalıp sıcaklığının ve enjeksiyon zamanının artması çekme miktarının azalmasına neden olmuştur.

6- Kalıplama parametreleri, kalıp maliyeti, ham plastik malzeme maliyeti, katkı maddesi ve soket giderleri kalıplanan plastik elemanın maliyetine etki eden önemli parametrelerdir.

7.2. Öneriler

Plastik enjeksiyon kalıplarının modellenmesi için Delphi programlama dilinde geliştirilen paket programın daha iyi şartlarda sonuçlar verebilmesi için bazı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1- Maliyeti hesaplanacak kalıpta maça sistemleri kullanılacaksa, maça maliyetinin ayrı bir ekranda hesaplanması maliyet hesabının daha hassas olarak elde edilmesine neden olacaktır.

2- Optimum ölçü tamlığı veya çekme miktarının minimum olması için YSA tabanlı modelinden elde edilen enjeksiyon ve soğutma zamanları daha fazla kalıplama parametreleri girilerek sistem yeniden eğitilmelidir. Böylelikle hem deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen enjeksiyon ve soğutma zamanları için hata miktarı çok az düşecektir hem de plastik ürün maliyetine etki eden kalıplama maliyeti gerçeğe yakın elde edilecektir.

3- Ürünün kalıplandığı zaman içerisindeki sıcaklık dağılımı sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanırsa içerik bakımından program zenginleştirilmiş olacaktır.

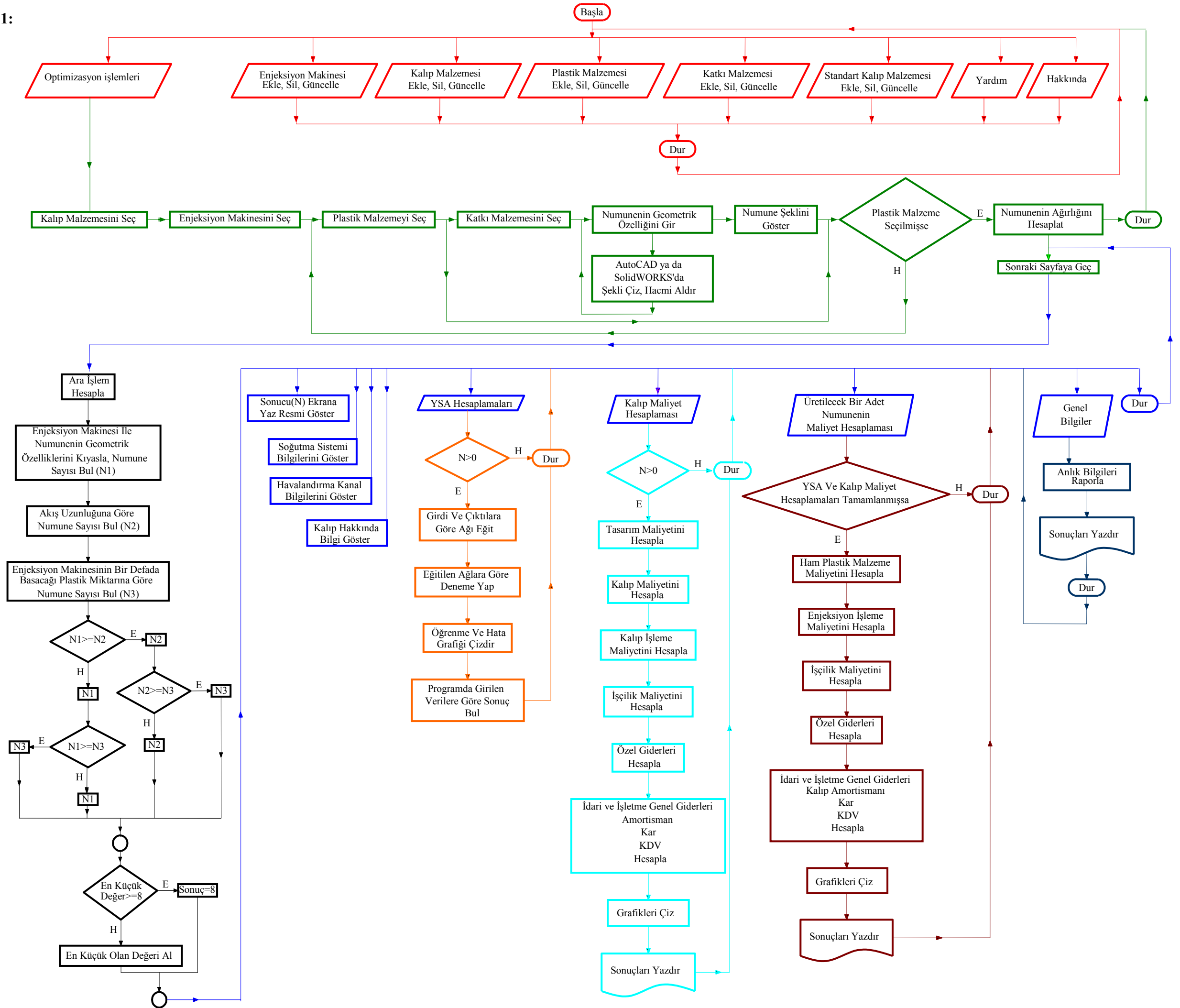
KAYNAKLAR

- [1] **Ergüney, S., Karataş, Ç. ve Sarıtaş, S.,** 2005. Ticari plastiklerin kalıpta akış boylarının incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, Cilt 20, No 3, 297-303.
- [2] **Çakır, Y., Özdemir, A. ve Güldaş, A.,** 2001. Plastik ürünlerde çekme miktarına etki eden enjeksiyon parametrelerinin incelenmesi, Teknoloji, sayı 1-2, 19-29.
- [3] **Güldaş, A., Uluer, O., Özdemir, A.,** 2005. Enjeksiyon kalıplarındaki akışın analizi, ergimiş plastic akışının matematiksel modellenmesi için temel denklemlerin türetilmesi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **18(4)**: 707-721.
- [4] **Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, I.,** 2005. Application of taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part, Materials and design.
- [5] **Karaağaç, R.,** 2001. Enjeksiyon kalıbında basılan ürünlerde kaynak hattının deneysel olarak incelenmesi, G. Ü., Yüksek lisans tezi.
- [6] **Uluer, O.,** 2002. Plastik enjeksiyonla kalıplamada polimer ergiyiğin kalıp boşluğuna dolumu sırasında akış oluşumunun deneysel olarak incelenmesi, G. Ü., Yüksek lisans tezi.
- [7] **Ayar, Ç.,** 2002. Enjeksiyon kalıplarında üretim analizinin bilgisayar ortamında örnek bir parça için simülasyonu, G. Ü., Yüksek lisans tezi.
- [8] **Can, H.,** 2004. Ön gerilmeli plastik dişli çark tasarımı, G. Ü., Doktora tezi.
- [9] **Sadeghi, B.H.M.,** 2000. A BP- neural network predictor model for plastic injection molding process, Journal of materials processing technology, **103**, 411-416.
- [10] **Ferreira, J.C, Mateus, A.,** 2003. Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection molding, Journal of material processing technology, **142**, 508-516.
- [11] **Acar, T.,** 2002. Plastik enjeksiyon kalıpları için bilgisayar destekli soğutma sistemi tasarımı, G. Ü., Yüksek lisans tezi.
- [12] **Karaağaç, İ., Özdemir, A.,** 2005. Plastik enjeksiyon kalıplarında klasik maliyet hesabına algoritmik bir yaklaşım, G.Ü Fen Bilimleri Dergisi **18(4)**: 657-669.
- [13] **Shelesh-Nezhad, K., Siores, E.,** 1997. An intelligent system for plastic injection molding process design, Journal of Materials Processing technology, **63**, 458-462.
- [14] **Özçelik, B., Erzurumlu, T.,** 2006. Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding uses ANOVA, neural network model and genetic algorithm, Journal of materials processing technology, **171**, 437-445.
- [15] **Tang, S.H., Kong, Y.M., Sapuan, S.M., Samin, R., Sulaiman, S.,** 2006. Design and thermal analysis of plastic injection mould, Journal of materials processing technology **171**, 259-267.
- [16] **Kahraman, E.,** Sıcak yolluk sistemleri ve etkileri, G. Ü. Makine bölümü.

- [17] **Kovacs, J.G., Bercsey, T.,** 2005. Influence Of mold properties on the quality of injection molded parts, *Periodica polytechnica ser. Mech. Eng.* Vol. **49**, no. 2, pp 115-122.
- [18] **Chen, X., Lam, Y.C., Li, D.Q.,** 2000. Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding, *Journal of materials processing technology*, **101**, 275-280.
- [19] **Shiou, F.J., Chen, C.H.,** 2003. Free from surface finish of plastic injection mold by wing ball-burnishing process, *Journal of materials processing technology*, **140**, 248-254.
- [20] **Lau, H.C.W., Wong, T.T., Pun, K.F.,** 1999. Neural-fuzzy modeling of plastic injection molding machine for intelligent control, *Expert system with applications*, **17**, 33-43.
- [21] **Güldaş, A., Uluer, O., Özdemir, A.,** The determination of viscosity and density variations of molten plastics, G.Ü Technical Education Faculty.
- [22] **Kurtaran, H., Özçelik, B., Erzurumlu, T.,** 2005. Warpage optimization of a bus ceiling lamp base using neural network model and genetic algorithm, *Journal of materials processing technology*, **169**, 314-319.
- [23] **Li, C.L., Li, C.G., Mok, A.C.K.,** 2005. Automatic layout design of plastic injection mould cooling system, *Computer-aided design*, **37**, 645-662.
- [24] **Qiao, H.,** 2006. A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding, *International journal of mechanical sciences*, **48**, 430-439.
- [25] **Seaw, L.W., Lam, Y.C.,** 1997. Optimizing flow plastic injection molding, *Journal of materials processing technology*, **72**, 333-341.
- [26] **Kurt, A.B., James, M.C., Kos, I.,** Design for Injection Molding: Balancing Mechanical Requirements, Manufacturing Costs, and Material Selection.
- [27] **Atılğan, R.F., Demirezen, H., Plastikler,** Kocaeli Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Malzeme teknolojisi.
- [28] **Altanay, F.,** 2001. Isıl plastikler, Süleyman Demirel Ün., Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat öğretmenliği.
- [29] **Bostan, A.,** 2001. Termoplastikler, Süleyman Demirel Ün., Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat öğretmenliği (i.ö).
- [30] **M.E.B,** 1984. Hacim kalıpcılığı, Milli eğitim basımevi, İstanbul.
- [31] Plastik enjeksiyon, [www.ansiklopedi.gen.tr / index.php / Plastik enjeksiyon](http://www.ansiklopedi.gen.tr/index.php/Plastik_enjeksiyon).
- [32] Kalıpcılıkta malzeme seçimi, www.gencbilim.com , gencbilim-maden-99.
- [33] **MEGEP,** 2006. Plastik teknolojisi, Enjeksiyon makinelerinde üretim, Ankara.
- [34] <http://www.hastek.com.tr>, 15 Eylül 2009.
- [35] **Gözüdeli, Y.,** 2003. Veri tabanı programlama 1, BYTE, Acar Yayıncılık.
- [36] **CAPRA,S ve diğerleri,** Mühendislik İçin Sayısal Yöntemler, Literatür Yayınları.
- [37] **Osman, A.,** 1996. Maliyet Muhasebesi 11. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [38] **Bal, C.,** 2002. Doğru Akım Motorlarının Hız Denetiminde Yapay Sinir Ağlarının Performans Analizi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.

- [39] **Yurtoğlu, H.**, 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi, Ekonomik Modeller Ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, DPT Uzmanlık Tezleri, ISBN 975-19, Elektronik Nüsha.
- [40] **Şengür, A., Türkoğlu, İ., İnce, M.C.**, 2005. Eğiticişiz Yapay Sinir Ağları İle Görüntü Bölütlüme Uygulamalar, IEEE, SIU 16–18 Mayıs 2005.
- [41] **Hanbay, D., Türkoğlu, İ., Demir, Y.**, 2007. Chua Devresinin yapay sinir ağı ile modellenmesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, **19(1)**, 67–72.
- [42] **Bolat, S., Kalenderli, Ö.**, 2003. Levenberg Marquardt Algoritması Kullanılan Yapay Sinir Ağı ile Elektrot Biçim Optimizasyonu, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence And Neural Networks, TAINN.
- [43] **Emre, İ.**, 2007. Yarı Kesitli Fermantasyonda Besleme ve Havalandırma Profillerinin Optimizasyonu, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [44] **Suratgar, A.A., Tavakoli, M. B., Hoseinabadi, A.**, 2005. Modified Levenberg Marquardt Method For Neural Networks Training, Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology Volume 6 June 2005, ISSN 1307-6884.
- [45] **Roweis, S.**, Levenberg Marquardt Optimization.
- [46] **Koçak, M., Abalı, B. A.**, 2005-2006. Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı, Bitirme Tasarım Projesi, İTÜ, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- [47] **Malloy, A. R.**, 1994. Plastic Part Design For Injection Molding, HANSER.
- [48] **Menges., Michaeli., Mohren.**, 2001. How to Make Injection Molds, 3. Edition, HANSER.
- [49] **Koyun, Ç.**, 2005. Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [50] **Bryce, D. M.**, 1996. Plastic Injection Moldings, Manufacturing Process Fundamental, Society of Manufacturing Engineers, SME.
- [51] **Kazmer, D. O.**, 2007. Injection Mold Design Engineering, HANSER.
- [52] **Sapene, C.**, 2007. Cost Analysis of Plastic Injection Molds, Master of Science in Engineering Management B.S. Mechanical Engineering.
- [53] <http://www.forum.kalipci.com/index.php?action=printpage;topic=541.0>
- [54] <http://www.kimyamuhendisi.com/content/view/111/1/>
- [55] **Shi, F., Lou, Z.L., Lu, J.G., Zhang, Y.Q.**, 2003. Optimisation of plastic injection moulding process with soft computing, Journal of advanced manufacturing technology, **21**: 656-661.
- [56] **Parasad, K.D.V.Y., Cobby, A.T.K.**, 2001. Development of hybrid neural network system for prediction of process parameters in injection moulding, Journal of materials processing technology, **118**, 110-116.
- [57] **Zhil'tsova, T.V., Oliveira, M.S.A., Ferreira, J.A.F.**, 2009. Relative influence of injection molding processing condition on HDPE acetabular cups dimensional stability, journal of materials processing technology, **209**, 3894-3904.
- [58] **Changyu, S., Lixia, W., Qian, L.**, 2007. Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method, Journal of materials processing technology, **183**, 412-418.

EK 1:



ÖZGEÇMİŞ

1980 Yılı'nda Elazığ'ın Maden ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini bitirdikten sonra lise eğitimini Elazığ Merkez Teknik Lise Bilgisayar bölümünde tamamladı. 1998 yılı'nda Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünü kazandı. Lisans Eğitimine başladıktan 2 yıl sonra kendini geliştirmek için özel bir şirkette çalışmaya başladı ve 2002 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamladı. 2002–2005 yılları arasında aynı üniversitenin Makine Eğitimi bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı ve 2005 yılında doktora programına kaydoldu. Halen özel şirkette çalışan Yahya Hışman ÇELİK Üretim Müdürü olarak görev yapmaktadır.