

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEOMETRİK MAMUL SPESİFİKASYONU VE
DOĞRULANMASI ÇERÇEVESİNDE PLASTİK
ENJEKSİYON KALIP TASARIMI, İMALAT VE
KONTROLÜ**

Volkan ERDEM

Ekim, 2007
İZMİR

GEOMETRİK MAMUL SPESİFİKASYONU VE DOĞRULANMASI ÇERÇEVESİNDE PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI, İMALAT VE KONTROLÜ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı

Volkan ERDEM

Ekim, 2007

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

VOLKAN ERDEM, tarafından **YRD. DOÇ. DR. MELİH BELEVİ** yönetiminde hazırlanan **“GEOMETRİK MAMUL SPESİFİKASYONU VE DOĞRULANMASI ÇERÇEVESİNDE PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI, İMALAT VE KONTROLÜ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVİ

Yönetici

.....
Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Jüri Üyesi

.....
Yrd. Doç. Dr. Ali Rıza Firuzan

Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezime katkı ve yardımlarından dolayı öncelikle Sayın danışmanım Yrd. Doç. Dr. Melih Belevi'ye teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Tezin hazırlık aşamasındaki Taguchi metodu ve varyans analizi ile ilgili konularda bilgi ve deneyimini esirgmeden yardımcı olan Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü öğretim görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Rıza Firuzan'a, Ege Üniversitesi İstatistik Bölümü yardımcı öğretim görevlisi Sayın Prof. Dr. Saim Kendir'e, araştırma görevlisi Sayın Sevcan Demir'e ve kalıp tasarımı ve imalatı konularında engin bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve deney kalıbının üretiminde bana her türlü imkan ve olanağı sunan Okumuş Makina Kalıp San. ve Tic. Ltd. Şti. Genel Müdürü Sayın Mikail Okumuş'a, çalışanlarından Sayın Orhan Öz'e ve atölye personeline, plastik enjeksiyon ile üretim aşamasında imkanları dahilinde benden hiçbir yardımı esirgemeyen Besa Makina Kalıp ve Plastik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Genel Müdür Yardımcısı Sayın Murat Yavaş'a, Planlama Müdürü Sayın Ulaş Dursun'a, Organizasyon Müdürü Sayın Serdar Özen'e, ticari ilişkiler sorumlusu Osman Akkuş'a Poliplast Plastik ve Kalıp İmalat Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Genel Müdürü Sayın Hüseyin Yazganoğlu'na, üretim sorumlusu Sami Beyhan'a, ölçüm aşamasında bana yardımcı olan Makina Dinamiği ve Kestirimci Bakım Laboratuvarı sorumlusu araştırma görevlisi sayın Hasan Öztürk'e ve yüksek lisans eğitimim süresince sorduğum her soruya sabırla cevap veren Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrenci işleri memuresi Sayın Zühal Temiz'e ve de son olarak tüm eğitim hayatım boyunca her türlü desteği sağlayan sevgili aileme teşekkür eder saygılarımı sunarım.

GEOMETRİK MAMUL SPESİFİKASYONU VE DOĞRULANMASI ÇERÇEVESİNDE PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI, İMALAT VE KONTROLÜ

ÖZ

Bu çalışmada ilk olarak plastik malzemeler ve plastik malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan imalat yöntemleri tanıtılmıştır. Bundan sonraki adımlarda plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi üzerine odaklanılarak: ürün tasarımı, kalıp tasarımı ve bilgisayar destekli kalıp tasarımı üzerinde durulmuştur. Son bölümde plastik enjeksiyon işlemi sonrasında parça üzerinde meydana gelen çarpılma problemine; ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tarsiını parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Parametrelerin araştırılması için deney kalıbı tasarlanıp imalatı yapılmıştır. Deney numuneleri tasarlanan kalıp ile üretilerek meydana gelen çarpılmalar ölçülmüştür. Deney numunelerinden ölçülen çarpılma miktarlarının analizinde Taguchi metodu ve varyans analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak deney parametreleri optimize edilmiş ve çarpılma değerleri minimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon kalıplama, Taguchi metodu, çarpılma.

DESIGN, PRODUCTION, AND CONTROL OF INJECTION MOULDING TOOLS WITHIN THE GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATION AND VERIFICATION

ABSTRACT

In this study firstly, the plastic materials and the plastic processing methods were introduced. In the further steps, product design, mold design and computer aided mold design were evaluated by focusing on plastic injection molding process. In the final step, after the plastic injection molding process, the effects of parameters that are the product design, gate numbers, gate dimensions and runner design about the warpage problem on products were observed. The experiment mold was designed and manufactured in order to observe the parameter effects. The warpages were measured by producing experiment specimens with the aid of the molds. The Taguchi method and variance analysis were utilized in the detection of the warpage numbers that are obtained in the experiment specimens. Experiment parameters were optimized and warpage values were minimized by using the data obtained from the analysis results.

Key Words: Plastic injection molding, Taguchi method, warpage.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – PLASTİK MALZEMELER	2
2.1 Tanım	2
2.2 Polimerlerin Sınıflandırılması	3
2.3 Plastiklerin Genel Özellikleri	8
2.3.1 Plastiklerin Görünüşü	8
2.3.2 Plastiklerin Yüzey sertliği	8
2.3.3 Plastiklerin Yoğunluğu	8
2.3.4 Isısal Özellikler	8
2.3.5 Kimyasal Özellikler	15
2.3.6 Alevlenme (Yanma) Özellikleri	15
2.3.7 Hava Etkisiyle Bozulma	16
2.3.8 Elektriksel Özellikleri	16
2.3.9 Mekanik Özellikleri	17
2.4 Plastik Malzeme Çeşitleri	20
2.4.1 Termoplastikler	21
2.4.1.1 ABS (Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimeri)	21
2.4.1.2 Asetal	21
2.4.1.3 Akrilik	22
2.4.1.4 Fluoroplastikler(PTFE)	23
2.4.1.5 Naylon (Poliamid)	24
2.4.1.6 Polikarbonat	24
2.4.1.7 Polyester	25

2.4.1.8 Polietilen	26
2.4.1.9 Polipropilen	27
2.4.1.10 Polistren	28
2.4.1.11 Polivinil Klorür	28
2.4.2 Termoplastikler	29
2.4.2.1 Amino (Melamin, Üre).....	29
2.4.2.2 Epoksiler	30
2.4.2.3 Fenolikler	30
2.4.2.4 Polyester	31
2.4.2.5 Silikon	31
 BÖLÜM ÜÇ – PLASTİK MALZEMELERİ ŞEKİLLENDİRME	
YÖNTEMLERİ	32
3.1 Ekstrüzyon	33
3.2 Enjeksiyon.....	42
3.2.1 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Safhaları	54
3.2.2 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Üretim Çeşitleri	59
3.2.2.1 Reaksiyonlu Enjeksiyon Kalıplama	60
3.2.2.2 Çoklu Enjeksiyon Kalıplama	61
3.2.2.3 Gaz Destekli Enjeksiyon Kalıplama	63
3.2.2.4 Su Destekli Enjeksiyon Kalıplama.....	65
3.3 Şişirme Kalıplama.....	67
3.4 Döner Kalıplama	70
3.5 Basınçla Kalıplama	73
3.6 Transfer Kalıplama.....	74
3.7 Isıyla Şekillendirme	75
3.8 Döküm.....	79
3.9 Polimer Köpük Kalıplama.....	79
 BÖLÜM DÖRT – PLASTİK ÜRÜN TASARIMI	82
4.1 Plastik Ürünlerin Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar	83
4.1.1 Cidar Kalınlığı.....	83
4.1.2 Yuvarlatmalar.....	85

4.1.3 Kaburgalar ve Profilli Yapılar.....	86
4.1.4 Federler	88
4.1.5 Çıkıntılı Delikler	91
4.1.6 Delikler.....	96
4.1.7 Cep Oluşturma	99
4.1.8 Eğim Açıları	100
4.1.9 Oyuklar.....	101
4.1.10 İnsörtler	101
4.1.11 Tırnaklar	102
4.1.12 Esnek Menteşeler	106
4.2 Ürün Tasarımı Yöntemleri	111
4.2.1 Klasik Tasarım Yöntemi	111
4.2.2 Eş Zamanlı Mühendislik Yöntemi	112
4.2.3 Tersine Mühendislik Yöntemi.....	116
BÖLÜM BEŞ – KALIP TASARIMI	123
5.1 Kalıp Çeşitleri	123
5.2 Kalıp Tasarımı Adımları	128
5.2.1 Maksimum Kalıp Boşluğu Sayısının Belirlenmesi	129
5.2.2 Kalıp Boşluğu Sayısı Belirlenen Kalıba Uygun Enjeksiyon Makinası Seçimi.....	131
5.2.2.1 Shot Size	131
5.2.2.2 Plasticating Rate.....	132
5.2.2.3 Maksimum Enjeksiyon Basıncı	133
5.2.2.4 Tezgah Mengene Boyutları (Platen Size, Tie Bar Clearance, Daylight Opening).....	134
5.2.2.5 Kalıp Kapama Kuvveti.....	134
5.2.3 Kalıp Boşluklarının Yerleştirilme Düzeni	135
5.2.4 Kalıp Ayrım Çizgilerinin Belirlenmesi.....	138
5.2.5 Yolluk, Dağıtıcılar ve Girişlerin Tasarımı	139
5.2.5.1 Yolluk.....	142
5.2.5.2 Dağıtıcılar.....	145
5.2.5.3 Girişler	150

5.2.6 Kalıp Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Tasarımı	155
5.2.7 Çıkarma Sistemlerinin Tasarımı	174
5.2.8 Kalıpların Hizalanması (Merkezlenmesi)	196
5.2.9 Kalıpların havalandırılma sistemleri	203
BÖLÜM ALTI – BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIMI	205
BÖLÜM YEDİ – PLASTİK PARÇALARIN ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ SONRASI MEYDANA GELEN ÇARPILMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	215
7.1 Çarpılmanın Tanımı	215
7.2 Çarpılmayı Etkileyen Faktörler.....	215
7.2.1 Plastik Malzeme	216
7.2.2 Ürün Tasarımı	220
7.2.3 Kalıp Tasarımı.....	224
7.2.4 Plastik Parça Üretimi	230
7.3 Plastik Parçalarda Meydana Gelen Çarpılma Üzerine Yapılan Araştırmalar	232
BÖLÜM SEKİZ – TAGUCHI DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ	300
8.1 Kalite, Kalite Kontrol, Toplam Kalite Yönetimi	300
8.2 Deney Tasarımı	300
8.3 Taguchi yöntemi.....	311
BÖLÜM DOKUZ – DENEYSEL ÇALIŞMA.....	320
BÖLÜM ON – SONUÇ.....	367
REFERANSLAR.....	388

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Plastik malzemeler hammadde olarak 1900’lü yılların başlarında üretilmeye başlanmıştır. Günümüze dek plastik malzemelerin üretimi sürekli artarak hızlı bir gelişim göstermiştir. Bugün çok farklı özelliklere sahip yüzlerce farklı plastik hammadde çeşidi bulunmaktadır. Plastik malzemelerin sahip olduğu avantajlı özellikler ve geniş ürün yelpazesi, endüstride çok farklı alanda kullanım imkanı bulmasını sağlamıştır.

Plastik malzemelerin kullanımındaki artış, beraberinde plastik malzemeleri şekillendirmek için kullanılan imalat yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Her imalat yöntemi farklı özelliklere sahiptir, fakat yöntem ne olursa olsun bu yöntemleri kullanarak üretim yapan işletmelerin hedefi en kısa zamanda, minimum maliyetle, kaliteli ürünler üretmektir.

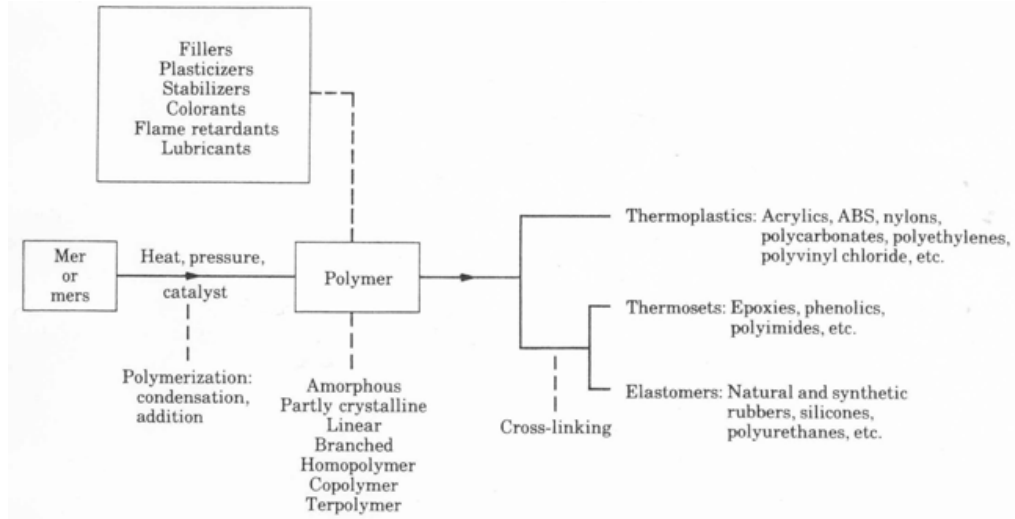
Ürün kalitesi sadece imalat işlemine bağlı değildir. Başka bir deyişle sadece imalat işlemi optimize edilerek istenilen kaliteye ulaşılamayabilir. Yüksek performans ile üretilen kaliteli ürünler için imalat aşamasına kadar her adımda doğru kararlar almak gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada malzeme seçiminden imalat aşamasına kadar plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile ilgili süreçte kullanılabilecek önemli bilgilere yer verilmiştir.

BÖLÜM İKİ

PLASTİK MALZEMELER

2.1 Tanım

Plastik kelimesi Yunancadaki kalıplanabilir ve şekillendirilebilir anlamına gelen plastikos kelimesinden gelmektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Plastikler polimerik malzemelerdir. Kullanılan ilk polimer malzemeler bitkisel ve hayvansal esaslı doğal organik malzemelerdir. Selüloz bunların en güzel örneklerinden biridir. Kimyasal reaksiyonlar sonucu monomer denilen tekrarlanan birimlerden oluşan polimer malzemelere sentetik polimerler denilir. İlk sentetik polimer 1906 yılında üretilen fenol formaldehittir. Polimer malzemeleri oluşturmak için kullanılan reaksiyonlara polimerizasyon denilir.

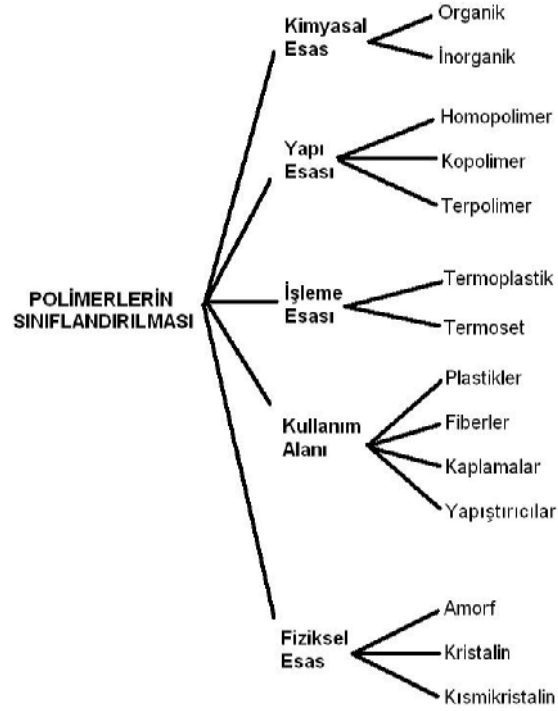


Şekil 2.1 Plastik malzemelerin üretiminin şematik gösterimi (<http://www.engr.siu.edu/staff2/deruntz/IT208/Chapter%2018%20Manufacturing%20with%20Plastics.ppt>).

Polimerizasyon işlemi için iki metot kullanılır. Bunlardan ilki olan ilave polimerizasyonunda benzer iki monomer uzun polimer zincirini oluşturmak için direk olarak reaksiyona girer. İkinci metot olan yoğunlaşma polimerizasyonunda benzer olamayan iki veya daha fazla monomer reaksiyona girerek uzun polimer zincirini

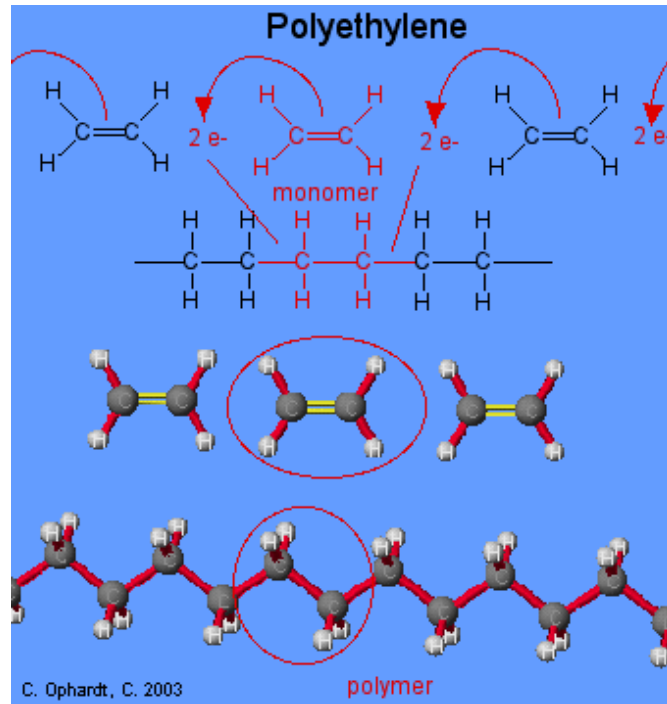
oluştururlar. Yoğuşma polimerizasyonunda, ilave polimerizasyonundan farklı olarak reaksiyon sonucunda su oluşmaktadır.

2.2 Polimerlerin Sınıflandırılması



Şekil 2.2 Plastik malzemelerin sınıflandırılması
(Akkurt, 1991).

Polimerler kimyasal özelliklerine göre: organik ve inorganik polimerler olmak üzere iki gruba ayrılır. Organik polimerlerde başta karbon olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomları bulunur. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde bulunabilmesi için en az iki değerlikli olması şarttır. Bu nedenle hidrojen ve halojenler ana zincir üzerinde bulunamazlar. İkinci şart ise ana zincir üzerinde bulunan atomlar arasındaki bağ enerjisinin yeterli olmasıdır. C-C bağ enerjisi 80kcal/mol, O-O bağ enerjisi 34 kcal/mol, N-N bağ enerjisi 37kcal/mol olduğu dikkate alınırsa, neden bir çok organik polimerde ana zincirin karbon atomlarından oluştuğu daha iyi anlaşılır (Akkurt, 1991).



Şekil 2.3 Ana zinciri karbon atomlarından oluşmuş polimer
(<http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/401addpolymers.html>).

İnorganik polimerlerde ana zincirde karbon yerine silisyum, germanyum, bor, fosfor gibi elementler bulunur. Organik polimerler daha yaygın kullanılmasına rağmen, inorganik polimerlerin ana zincirlerinde bulunan elementlerin bağ enerjisi organik polimerlerin ana zincirinde bulunan elementlerin bağ enerjisinden daha yüksek olduğu için, inorganik polimerler daha yüksek ısı ve mekanik mukavemete sahiptirler.

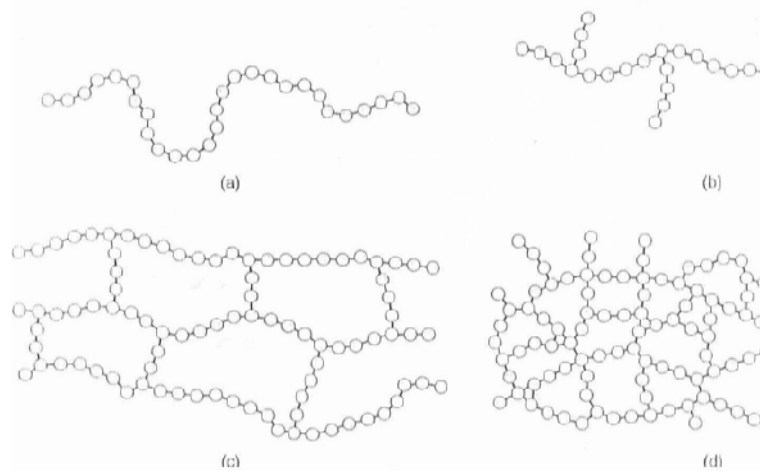
Polimerler yapılarına göre homopolimer, kopolimer ve terpolimer olarak sınıflandırılabilirler. Homopolimerler tek bir polimerin tekrarlanması ile elde edilirken, kopolimer iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Üç farklı cins monomerden oluşan polimerlere ise terpolimer denilir. Örneğin polietilen bir homopolietilendir, stiren-butadien kauçuğu kopolimer, akrilonitril-butadien-stiren (ABS) bir terpolimerdir.

Polimerlerin sınıflandırılmasında en çok kullanılan işleme yöntemine göre yapılan sınıflandırmadır. Buna göre polimerler termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki büyük gruba ayrılır.

Termoplastikler ısı ve basınç altında yumuşayan, akan, şekillendirilebilen ve soğutulduğunda sertleşebilen (katı halini alan) plastiklerdir. Ayrıca tekrar ısıtıldığında yumuşayabilen, şekil alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Parçalanıp tekrar kullanılabilirler. Bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Termoplastik gurubunu oluşturan en önemli plastikler: akrilikler, naylon, polistiren, polietilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir. Termoplastikler Lineer ve dallanmış zincirli moleküllerden oluşur.

Termosetler, ısı etkisiyle istenilen şekli bir defa alabilen plastiklerdir. Tekrar ısı yoluyla şekillendirilemezler. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Termosetler, yoğunlaşma polimerizasyonu ile elde edilirler ve genellikle çapraz bağlı moleküler yapıya sahiptirler. Çapraz bağlı yapı isimlendirmesinin nedeni termosetleri oluşturan makro moleküllerin arasında kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bağlardır.

Zayıf çapraz bağlı malzemelere elastomer denir. Bunlar çözücülerde çözünmezler fakat kimyasal olarak şişerler (Akyüz, 2006).

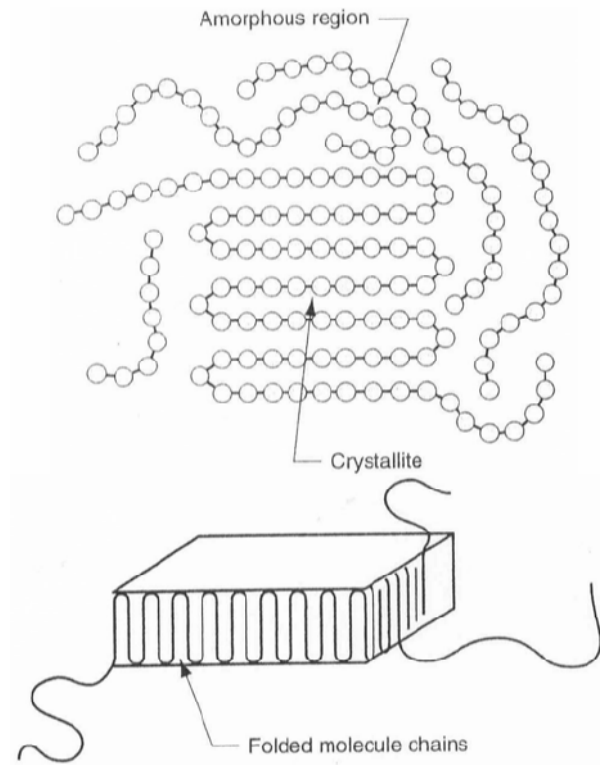


Şekil 2.4 Polimer zincirlerinin şematik gösterimi. (a) Termoplastiklere ait doğrusal zincir (örneğin akrilik, naylon), (b) Termoplastiklere ait dallanmış zincir (örneğin polietilen), (c) Elastomerlere ait zayıf çapraz bağlı zincir (örneğin kauçuk), (d) Termosetlere ait güçlü çapraz bağlı zincir (örneğin epoksiler ve fenolikler) (Kalpakjian ve Schmid 2003).

Polimerler, kullanım alanına göre; plastikler, fiberler, yapıştırıcılar ve kaplamalar olmak üzere dörde ve fiziksel esaslarına göre; amorf, kristalin, kısmi kristalin olmak üzere üçe ayrılır. Molekül zincirlerinin birbirlerine göre tertiplenme şekilleri plastiklerin fiziksel yapılarını meydana getirmektedir. Bu bakımdan amorf ve kristalin olmak üzere esasen iki yapı vardır. Amorf yapıda molekül zincirleri, birbirlerine göre gelişigüzel karışık bir şekilde bulunurlar. Amorf yapıya sahip olan plastik malzemelerin çoğunda çekme kuvvetlerinin etkisi altında, molekül zincirleri çekme yönünde bir yönelme göstermektedirler. Bu olaya yönelme özelliği denilmektedir ve bu özelliğe sahip amorf yapılar daha yüksek çekme mukavemetine sahiptirler (Akkurt, 1991).

Kristalin yapıda molekül zincirleri birbirine göre üç boyutlu bir düzeni andıran düzenli bir şekilde bulunurlar. Kristalin yapının oluşması molekül zincirlerinin şekline (lineer, dallanmış, çapraz bağlı), molekül zincirleri arasındaki kuvvetlere, ve stereodüzene bağlıdır. Soğutma yoluyla eriyik durumdan katı duruma geçildiğinde lineer zincirler birbirine daha çok yaklaşabilirler ve dolayısıyla kristalin bir yapı oluşturabilirler. Bu nedenle lineer molekül zincirine sahip plastikler oldukça büyük

bir kristalleşme kabiliyeti gösterirler. Dallanmış zincirler birbirlerine kolayca yaklaşamazlar bu nedenle kolay bir şekilde kristalin halini alamazlar; bunlar genellikle amorf bir yapı oluştururlar. Aynı şekilde çapraz bağlı molekül zincirleri (termosetler) amorf bir yapı meydana getirirler. Aynı kimyasal bileşime sahip fakat lineer ve dallanmış molekül zincirleri olan polimerler kısmi kristalin bir yapıya sahip olabilirler. Buna örnek olarak polietilen verilebilir. Polietilen aynı anda amorf ve kristalin yapıya yani yarı kristalin yapıya sahip olabilir. Şekil 2.5’de kısmi kristalin yapıya ait şematik gösterim görülmektedir.



Şekil 2.5 Kısmi kristalin yapıya ait şematik gösterim
(<http://www.engr.siu.edu/staff2/deruntz/IT208/Chapter%2018%20Manufacturing%20with%20Plastics.ppt>).

Kristalin yapı ile amorf yapı karşılaştırıldığında: kristalin yapı daha rijit olmakla birlikte genellikle daha yüksek ve daha belirgin ergime sıcaklığına, daha büyük çekme, sürünme, ısı mukavemetine, daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Ancak yüksek ergime sıcaklığı ve düşük viskozitesi nedeniyle işlenmesi daha zordur. Kristalin yapı kalıplama ve sonrasında amorf yapıya göre daha çok şekil değiştirme gösterir. Bu nedenle tasarım aşamasında kristalin yapıya sahip malzemelere daha fazla çekme

payı verilmektedir. Amorf yapı ise daha yumuşak ve toktur. Ergime sıcaklığı, çekme mukavemeti ve yoğunluğu daha düşüktür. Amorf yapılar daha kolay işlenebilmesine karşın, kalıp içerisinde kristalin yapılar gibi kolay akmazlar.

2.3 Plastiklerin Genel Özellikleri

2.3.1 Plastiklerin Görünüşü

Plastiklerin çoğu renksizdir. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Pigmentlerle opak görünüş, çözünür organik boyalarla ise şeffaf bir görünüş elde edilebilir.

2.3.2 Plastiklerin Yüzey sertliği

Plastik malzemelerin bir dezavantajı, yüzeylerinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncinin az olmasıdır. Plastikler cam, seramik ve metallere göre daha az serttirler. Opak renklendirilmiş plastikler, yüzeyi boya ile kaplanmış plastiklerden daha serttirler. Termoplastiklerin sertliği sıcaklık ve katılan plastifiyan miktarı ile azalır. Termosetler dolgu maddeleri ilave edildikten sonra sert bir hal alırlar; bunlarda sıcaklığın artırılması ile sertlik hemen hemen yok denecek kadar az miktarda düşer.

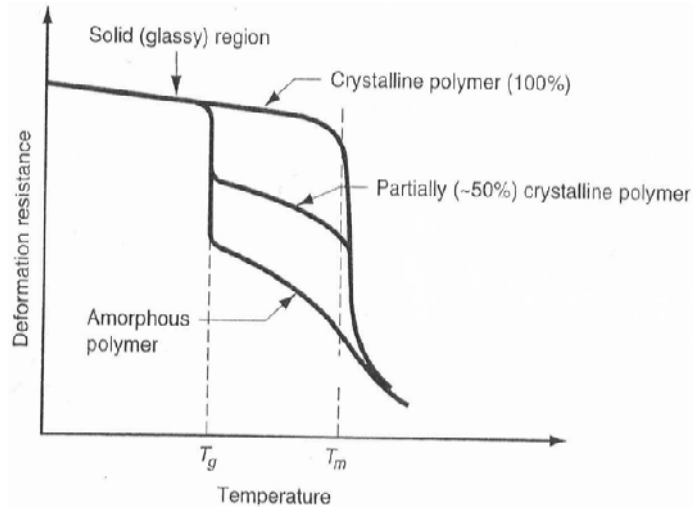
2.3.3 Plastiklerin Yoğunluğu

Plastik malzemeler odun hariç diğer tüm mühendislik malzemelerine göre ağırlık bakımından üstündürler. Plastiklerin yoğunluğu $0.9-2.5 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Bundan dolayı ağırlığın önemli olduğu yerlerde plastikler ilk tercih edilen malzeme gurubunun başında gelmektedir.

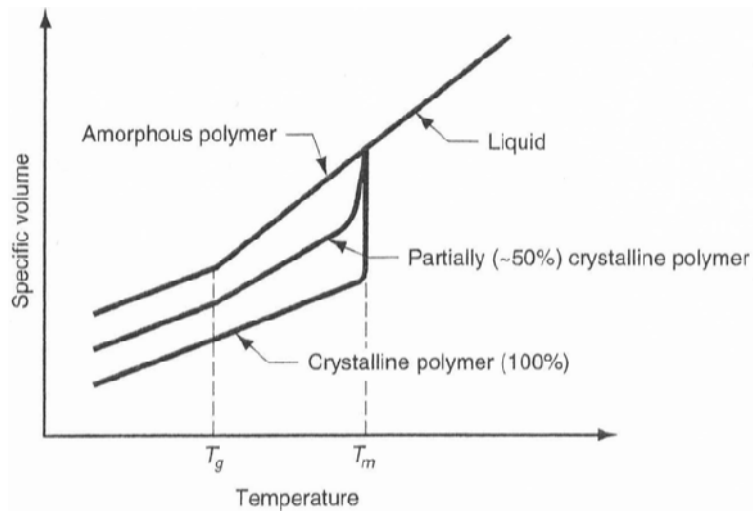
2.3.4 Isısal Özellikler

Plastiklerin ısısal özellikleri en önemli özelliklerinden biridir. PTFE ve polifenilen gibi plastikler 250C° kadar kullanılabilmesine karşın çoğu plastikte yüksek sıcaklık

artışı yumuşamaya neden olur. Termoplastik amorf, yarı kristalin ve kristalin malzemelere ısı enerjisi verilmeye devam edildiği takdirde malzeme iç enerjisinde artış meydana gelir. Amorf malzemeler için sıcaklık T_g ile gösterilen sıcaklığa ulaştığında malzeme şekillendirilebilir sıcaklığa ulaşmış demektir. Amorf malzemeler için belirli bir erime sıcaklığı yoktur. Camsı geçiş sıcaklığı altında malzemeler rijit ve sert bir yapıda bulunurlar. Camsı geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklık değerleri için, polimer zincirlerini oluşturan makro moleküllere ait molekül ünitelerinin dönme serbestisi yoktur, bu molekül zincirini oluşturan atomların sadece titreşim hareketi yapabilme serbestisi vardır. Yarı kristalin malzemeler ise hem camsı geçiş sıcaklığına hem de erime sıcaklığına sahiptir. Camsı geçiş sıcaklığına ulaşıldığında kristalin yapıyı saran amorf makro moleküllerin dönme ve oriyantasyon hareketleri başlar. Bu hareketler kristal yapı etrafındaki amorf yapının şekillendirilebilir sıcaklığa ulaştığını gösterir. Kristal yapıya ait makro moleküller ise hala düzenlerini ve şekillerini korumaktadır. Sıcaklık erime sıcaklığına ulaştığında kristal yapıyı oluşturmuş makro moleküller birbirinden ayrılarak malzeme tamamen şekillendirme işlemi için uygun faza dönüşmüş hale gelir. Kristalin malzemelerde camsı geçiş sıcaklığı görülmez. Malzeme içerisindeki kristal yapı ısı enerjisinin etkisiyle ergime sıcaklığında tamamen dağılır ve malzeme sanki sıvı gibi davranmaya başlar. Bu nedenle kristalin malzemeler sıcaklık altında amorf ve yarı kristalin malzemelere kıyasla daha dayanıklıdır (Akkurt, 1991). Şekil 2.6 ve 2.7’de sıcaklık artışı ile birlikte plastik türlerinin özgül hacim ve şekil değişimine karşı gösterdikleri değişim şematik olarak görülmektedir.



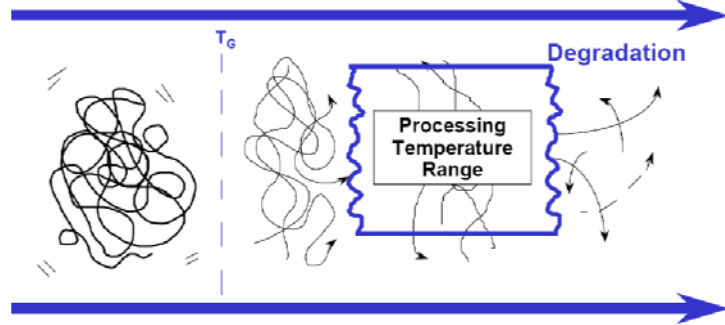
Şekil 2.6 Şekil değişimine karşı gösterilen direncin plastik malzeme türüne göre değişimi (<http://www.engr.siu.edu/staff2/deruntz/IT208/Chapter%2018%20Manufacturing%20with%20Plastics.ppt>).



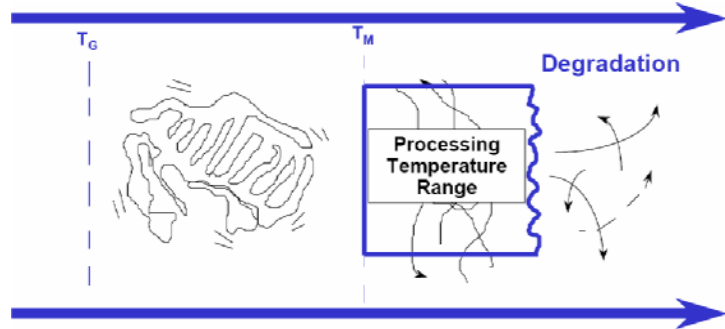
Şekil 2.7 Plastik malzeme türlerine ait sıcaklıkla özgül hacim değişimi (<http://www.engr.siu.edu/staff2/deruntz/IT208/Chapter%2018%20Manufacturing%20with%20Plastics.ppt>).

Sıcaklık artışı makromoleküllerin kinetik enerjilerini artırmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığından sonraki kinetik enerjideki artış moleküllerin daha kolay oryante olmalarına, daha rahat hareket etmelerine ve birbirlerinden uzaklaşmalarına neden olmaktadır. Birbirinden uzaklaşan moleküller arasındaki bağlar gerilerek ve yer yer koparak malzemenin özgül hacmin artmasına neden olmaktadır. Termoset malzemelerde ise sıcaklık artışı ile molekül zincirinde bir değişiklik meydana

gelmez. Şekil 2.8 ve 2.9’da sıcaklık artışı ile birlikte termoplastik amorf ve yarı kristalin molekül zincirlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir.



Şekil 2.8 Sıcaklık artışı ile amorf malzemelerin polimer zincirinde meydana gelen değişme (Lahtenmaki, 2005)



Şekil 2.9 Sıcaklık artışı ile yarı kristalin malzemelerin polimer zincirinde meydana gelen değişme (Lahtenmaki, 2005).

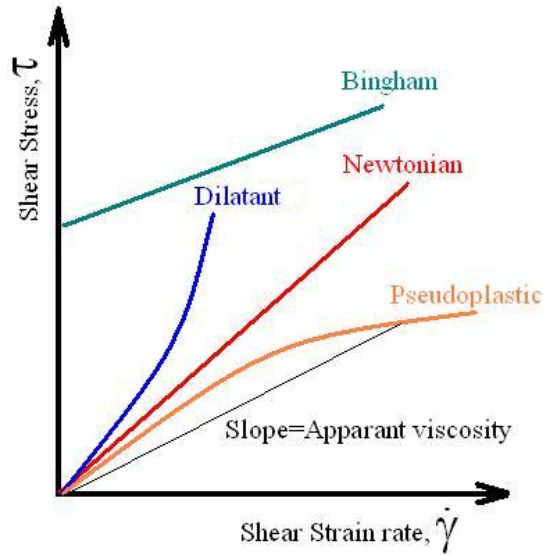
Isıl özelliklerden biri olan viskozite: bir akışkanın yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Süper akışkanlar hariç tüm gerçek akışkanlar yüzey gerilimine karşı direnç gösterirler. Yüzey gerilimine hiç direnç göstermeyen akışkan ideal akışkan olarak adlandırılır.

Akış esnasında akışkanın kesitinin tabakaları farklı hızlarda hareket ederler ve akışkanın viskozitesi, uygulanan kuvvete karşı direnç gösteren tabakalar arasındaki yüzey gerilimlerinden dolayı ortaya çıkar.

Laminer ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi (τ) bu tabakalara dik yöndeki hız gradyeni ($\partial u/\partial y$) ile orantılıdır.

$$\tau = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad [1]$$

Buradaki η sabiti, viskozite sabiti, viskozite veya dinamik viskozite olarak bilinir. Su ve gazların çoğu Newton yasasına uyarlar ve Newton akışkanları olarak adlandırılırlar. Newton akışı olmayan durumlarda, yüzey gerilimi ile hız gradyanı arasındaki basit lineer ilişki çok daha karmaşık bir hal alır. Kısa polimer zincirlerine sahip olan erimiş plastik malzemelerin molekül ağırlıkları düşük olduğu için Newton akışkanı olarak kabul edilebilir fakat çoğu plastik yüksek molekül ağırlığına sahip olduğu için Pseudoplastic akış özellikleri gösterirler. Şekil 2.10'da sıvı türlerine ait kayma gerilmesi ve kayma hızı değişimleri şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.10 Sıvıların kayma karakteristiklerine göre sınıflandırılması (Schey, 2000).

Polimer malzemelerde viskozite molekül ağırlığının artmasıyla artmaktadır çünkü uzun molekül zincirlerinde çok daha fazla ikinci dereceden bağ imkânı bulunmaktadır. Ayrıca polimer malzemelerde viskozite, moleküler yapının bir fonksiyonudur. Birbirinin içine girmiş karmaşık zincire sahip polimer moleküller ve grup veya zincirler viskoziteyi artırıcı yönde etkilemektedir (Schey ,2000). Viskozite sıcaklık azalmasıyla artar. Bunun nedeni malzeme içerisinde moleküllerin serbest

olarak hareket edebileceği boşluk hacminin sıcaklık düşüşü sırasındaki hacim küçülmesi nedeniyle azalması ve moleküllerin hareket serbestisinin kısıtlanmasıdır. Viskozite ve sıcaklık arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle tanımlanabilir. Buradaki A malzeme sabiti, E aktivasyon enerjisi, R üniversal gaz sabiti ve T sıcaklıktır.

$$\eta = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad [2]$$

Sıcaklık ile viskozite değişimi arasındaki ilişkiyi açıklayan ve malzeme içerisindeki serbest boşluk hacmini dikkate alarak oluşturulmuş bu denkleme Williams-Landel-Ferry denklemi denilir. Bu denklemdeki sabitler deneysel olarak belirlendikten sonra denklem aşağıdaki şekle dönüşmektedir.

$$\log_{10}\left(\frac{\eta_T}{\eta_{T_g}}\right) = \frac{-17,44(T - T_g)}{51,6 + (T - T_g)} \quad [3]$$

Buradaki T_g camsı geçiş sıcaklığı, η_{T_g} malzemenin camsı geçiş sıcaklığındaki viskozitesi, T yeni viskozite değerinin hesaplanacağı sıcaklık ve η_T hesaplanmak istenen viskozite değeridir.

Newton akışkanları için viskozite sıcaklıkla değişmez fakat polimer malzemelerin çoğu için sıcaklık artışı viskozitenin düşmesine neden olur. Bu nedenle Newton akışkanları için oluşturulan kayma gerilmesi pseudoplastic malzemeler için güç yasası kullanılarak aşağıdaki denkleme dönüşecektir.

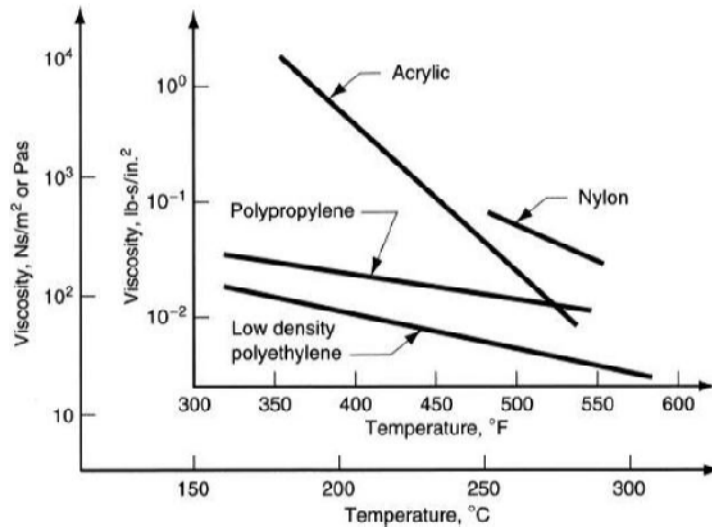
$$\tau = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad [4]$$

$$\tau = \eta_a \dot{\gamma}^m \quad [5]$$

Buradaki $m < 1$ dir. Viskozite çekilirse [4] denklemi [6] ya dönüşecektir.

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}^m} \quad [6]$$

Viskozite molekül zincirinin akmasına karşı gösterilen direnç olarak düşünülürse molekül zincirinin sahip olduğu karmaşıklıkla viskozite artacak, moleküller arasındaki serbest boşluk hacmi arttıkça viskozite azalacaktır. Basınç moleküller arasındaki serbest boşluğu azalttığı için viskozite ile doğru orantılı, sıcaklık serbest hacmi artırdığı için viskozite ile ters orantılıdır. Ayrıca moleküler ağırlığın artması zincirin daha zor hareket etmesine neden olacağı için viskoziteyi artırmaktadır. Bu nedenle Sıcaklık ve viskozite arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için deneysel araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler grafiklere dönüştürülmüştür. Şekil 2.11’de bazı plastik malzemeler için sıcaklık ve viskozite değişimi görülmektedir.



Şekil 2.11 Bazı plastik malzemelerin sabit kayma hızında (10^3 sn^{-1}) sıcaklık ile viskozite değişimi (Groover, 2002).

Genellikle plastiklerin ısı iletkenliği kötüdür. Bu sebeple tekrarlanan gerilmeler veya sürtünme nedeniyle meydana gelen sıcaklık artışı malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısıl yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı önlemek için plastik malzeme içerisine katkı maddeleri ilave edilir (Akkurt, 1991). Bu katkı maddelerinin başında metal tozları (Aliminyum, bakır, vb.) veya çeşitli elyaflar (karbon elyafı, cam elyafı vb.) gelir. Katkılı plastiklerin ısıl iletkenlikleri en az 10 kat daha yüksektir. Plastiklerin ısıl iletkenlikleri molekül ağırlığının yanı sıra, kristalinite

derecesi ve yönlenme gibi yapısal faktörlere bağlıdır. Kristalinite derecesi ve yönlenme artarsa ısı iletkenlikte artar. Başka bir ısısal özellik olan genleşme katsayısı, metallere göre çok daha büyüktür. Kuvvetlendirici elyafların ilavesi genleşme miktarını %60'a kadar azaltmaktadır. Isı iletkenlik gibi ısı genleşmede molekül ağırlığı ve yapısal faktörlerle değişir. Polimerlerin kristalinite derecesinin ve çapraz bağ yoğunluğunun artmasıyla ısı genleşme katsayısı azalır. Yönlenme doğrultusunda katsayı azalırken, yönlenmeye dik doğrultuda artar.

2.3.5 Kimyasal Özellikler

Plastikler metal malzemelere göre kimyasal maddelere daha dayanıklıdır. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Örneğin polietilen ve polipropilen asit depolama tanklarının imalatında kullanılmaktadır. Politetrafluoretilen gibi flour içeren plastikler kimyasal olarak son derece inert malzemelerdir. Diğer taraftan termoplastiklerin çoğu organik solventlerin etkisi altında çözünme veya şişme gösterirler ve kuvvetli asit veya alkalilerden kimyasal olarak etkilenirler. Termosetler, termoplastiklere göre kimyasal çevreye daha az duyarlıdır.

Polimerlerin kimyasal dirençleri reaktif maddenin cinsine ve konsantrasyonuna, polimerik yapıya, sıcaklığa, uygulanan gerilmeye, yüzey pürüzlülüğüne ve morfolojisine bağlıdır.

2.3.6 Alevlenme (Yanma) Özellikleri

Plastikler aleve karşı çok hassastır. Genellikle termoplastiklerin çoğu aleve veya aşırı ısı ile karşı karşı geldikten sonra görevlerini yerine getiremez hale gelirler. Yanan plastiklerin yanma hızı aditif malzeme kullanılarak yavaşlatılabilir (Akkurt 1991).

2.3.7 Hava Etkisiyle Bozulma

Polimerin zamanla yıpranmasına malzemenin kimyasal bozunması neden olmaktadır. Bu olay bir veya birden fazla faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Bunların arasında en önemli olanlar; termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal faktörlerdir. Plastik malzemelerin hava ve iklim koşullarına direncini artırmak için içerisine antioksidant ve stabilizatör gibi katkı maddeleri ilave edilir.

2.3.8 Elektriksel Özellikleri

Elektriksel özellik bakımından en önemli faktör elektriksel iletkenliktir. Genelde plastiklerin elektriksel iletkenlikleri zayıftır. Polimerlerin elektrik iletmesi için yapıda serbest elektronlar veya serbest iyonların bulunması ve bunların yapı içerisinde hareket etmesi gereklidir. Polimerin yapısında zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirini kuvvetli etkilemesi, yüksek kristalinite ve yönlendirme olayları elektronların serbest hareketini engellemekte ve plastiklerin düşük elektrik iletme kabiliyetine sahip olmalarına neden olmaktadır. Herhangi bir plastik malzeme için elektrik direnç değeri zamanla artar fakat sıcaklık ve nem miktarı ile azalır. Sıcaklığın artmasıyla elektrik iletkenlik üstel bir şekilde artar. Polietilen ve PTFE gibi bazı plastiklerin dielektrik kayıp faktörleri çok düşüktür ve bu nedenle bunlar yüksek frekanslı elektronik tertibatlarda kullanılırlar. PVC gibi yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip plastikler kablo kaplaması gibi düşük frekanslı uygulamalarda yalıtkan olarak kullanılmaktadır.

Mükemmel yalıtkanlık özelliklerinden dolayı polimerler çoğu defa statik olarak yüklenirler ve elektrostatik yükleri uzun süre muhafaza ederler. Bu durum tehlike arz edebilir. Ayrıca elektrostatik yükleme tozu çekebilir ve bazı durumlarda dokunanı çarpabilir, havada kıvılcım çıkartabilir. Bunun için malzemeye topraklama yapılmalıdır. Elektrik direncinin azaltılması için uygulanan bir diğer yöntem ise yapıya iletken dolgu malzemesinin ilave edilmesidir. %15 veya daha fazla karbon

lifleri ile kuvvetlendirilmiş plastikler yüzey dirençlerinin neden olduğu statik yükü etkili bir şekilde dağıtabilmektedir.

2.3.9 Mekanik Özellikleri

Plastiklerin mekanik özellikleri kimyasal ve fiziksel hallerinin yanı sıra sıcaklık ve şekil değiştirme hızına bağlıdır.

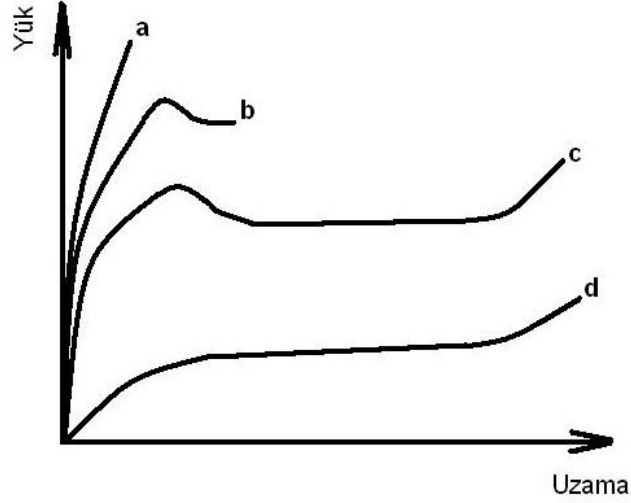
Büyük yan gruplar veya fenil grubu içeren plastikler amorf ise yüksek T_g sıcaklığına, kristalin ise yüksek T_e sıcaklığına sahip olduğu için mekanik özellikleri yüksektir.

Düzenli zincirlere sahip (lineer, izotaktik, syndiotaktik) zincirler daha kolay kristalleşme özelliğini gösterirler. Ayrıca zincir içerisindeki polar gruplar kristalinite derecesini artırır. Kristalinite derecesinin büyümesi ile malzemenin ergime derecesi artar böylelikle mekanik mukavemeti artar.

Molekül ağırlığı düşük olan (kısa) zincirler daha çabuk ve daha geniş bir tarzda kristalleşme gösterirler. Böylece malzemenin ergime derecesi artar böylelikle mekanik mukavemeti artar.

Malzemelerin rijitliği ve esnekliği esasen molekül zincirini oluşturan ünitelerin dönme hareketine bağlıdır. Dönme serbestisi de T_g ve kristalleşmeye bağlıdır. Amorf polimerlerde T_g sıcaklığının altında bu hareket tamamen durur ve malzeme sert veya kırılgan hale gelir. T_g nin üzerinde hareket başlar ve malzeme yumuşar. Kristalin polimerlerde zincirler birbirine göre sıkı paketlenmiş durumda oldukları için, molekül içerisinde dönme hareketi yoktur ve bu nedenle malzeme serttir. Ayrıca kısa zincirli kristalin malzemeler uzun zincirli kristalin malzemelere göre daha kolay kristalleşebildikleri için daha sert bir yapı oluşturturlar. Kristalin malzemelerde T_e ergime sıcaklığına yaklaşıldıkça kristalin düzen bozulmaya ve zincir üniteleri dönmeye başlar böylelikle mekanik özellikler giderek zayıflar malzeme T_e

sıcaklığında viskoz hale dönüşür. Şekil 2.12’de farklı sıcaklıklarda polimer malzemelere ait gerilme uzama diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.12 Çeşitli sıcaklıklarda tipik bir polimerin çekme diyagramı $T_a < T_b < T_c < T_d$ (Akkurt, 1991).

Camsı geçiş sıcaklığının altındaki amorf malzemeler ve erime sıcaklığının altında bulunan kristalin malzemeler Şekil 2.12’nin 2. modelinde görüldüğü gibi bir yay şeklinde modellenebilir. Bu durumda malzeme elastik davranış gösterir. t_1 anında uygulanan kuvvet kaldırıldığında eğer malzeme akma noktasını geçmemişse tekrar eski boyutlarına geri döner. Eğer polimer malzemeye uygulanan yük kritik değerin üzerinde ise burada camsı elastik veya kırılğan davranıştan söz etmek mümkündür. Polimer malzemeler çok kullanışlı mühendislik malzemeleri olmalarına rağmen çoğu uygulamada kırılğanlıkları dezavantajlarıdır.

Plastik malzemede normal gerilmeler meydana geliyorsa [7], kayma gerilmeleri oluşuyorsa [8] formülleri ile hesaplanır.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [7]$$

$$\tau = G \cdot \gamma \quad [8]$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad [9]$$

Buradaki E elastisite modülü ve G kayma modülüdür. E ve G arasında [9] ilişkisi bulunmaktadır. ν malzemeye ait poisson oranıdır. Buradaki ν poisson oranıdır ve sert polimerler için 0.25 den başlayarak esnek polimerler için 0.5'e kadar çeşitli değerler alabilmektedir.

Te sıcaklığının üzerindeki polimerler viskoz akış gösterirler bu şekil 2.12 deki ilk model olan sönüm elemanı şeklinde gösterilmiştir. Viskoz malzemelerde akış sırasında meydana gelen tabakalar arasındaki kayma gerilmesinden bahsedilebilir [10].

$$\tau = \eta_a \dot{\gamma}^m \quad [10]$$

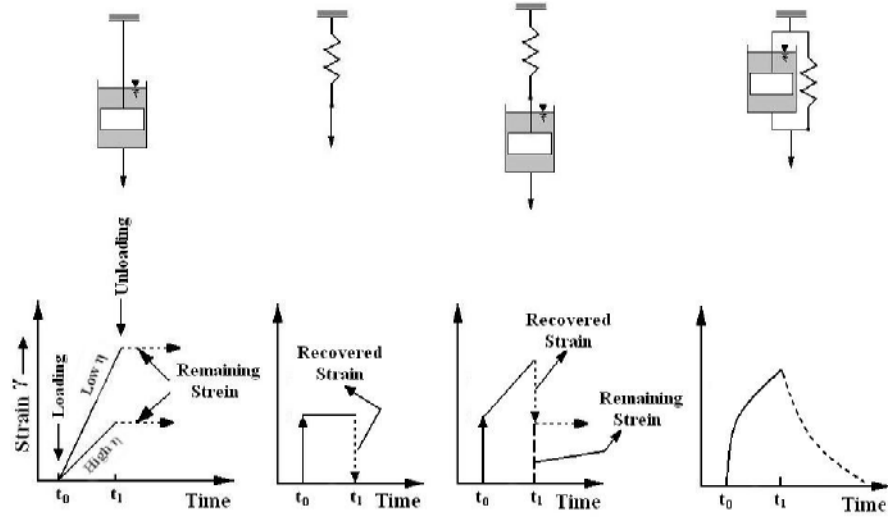
Camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı arasındaki sıcaklıklarda yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerik malzemeler viskoelastik davranış gösterirler viskoelastik davranışın modellenmesinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunların arasında en basiti Maxwell modelidir. Şekil 2.12 deki 3. şekilde model görülmektedir. Viskoz akış bu modelde yay ve sönümleyici elemanın seri bağlanması ile oluşturulmuştur. Yayın başlangıçtaki elastik deformasyon hareketi bir viskoz akış ile takip edilir ve yük kaldırıldığında elastik kısım anında yeniden kazanılır (Şekil 2.12 de bulunan 3 numaralı model). Buradaki deformasyon hızı $\dot{\gamma}$ [11] numaralı denklem ile ifade edilir.

$$\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{d\tau}{dt} \left(\frac{1}{G} \right) + \frac{1}{\eta} \tau \quad [11]$$

Alternatif olarak polimer malzemenin viskoelastik davranışı Voigt modeli ile açıklanabilir. Bu model şekil 2.12 deki 4. şekilde görülmektedir. Bu modelde viskoelastik davranış paralel bağlı yay ve sönümleyiciden oluşmaktadır. Bu modelde yayın elastik hareketleri sönümleyicideki viskoz akış tarafından sönümlenmektedir ve yük kaldırıldığında ancak belirli bir süre sonra elastik hareket geri kazanılabilmektedir. Bu modele göre aktif kayma gerilmesi [12] ile ifade edilir.

$$\tau = G\gamma + \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad [12]$$

Polimer malzemelerin viskoelastik davranışlarını açıklamakta Maxwell ve Voigt modellerini paralel ve seri bağlayarak çok daha kompleks modeller oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.12 Plastik malzemelerin viskoz akış, elastik deformasyon, Maxwell viskoelastik deformasyon ve Voigt (Kelvin) viskoelastik modellerine göre deformasyonları (Schey 2000).

2.4 Plastik Malzeme Çeşitleri

Tasarım aşamasında kritik noktalardan biride malzeme seçimidir. Malzeme seçimini doğru yapabilmek için öncelikle plastik malzemeler ve özellikleri ile ilgili bilgiye sahip olunmalıdır. Aşağıda sıklıkla kullanılan polimer malzemeler ve özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.4.1 Termoplastikler

2.4.1.1 ABS (Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimeri)

ABS malzemeler kolay işlenebilir, tok, düşük maliyetli, rijit termoplastik malzemelerdir. Darbe mukavemeti yüksektir. Tornalama, delme, frezeleme, testere ile kesme, pres ile kesme, makas ile kesme yöntemleri ile işlenebilirler. İnorganik tuz solüsyonları, alkaliler asitler ve bazı yağlara karşı kimyasal dirence sahiptirler fakat bu özellik zamana, kullanım yerine, sıcaklığa ve zorlama seviyesine bağlıdır. Yorulma kırılmasına karşı direnci yüksektir. Bunlara ek olarak ABS malzemeler mükemmel bir aşınma direncine, elektriksel özelliklere, nem ve sürünme direnci özelliklerine sahiptirler. Güneş ışınları altında uzun süre beklediklerinde renkleri değişir, gevrekleşir, sünekliği ve darbe mukavemeti azalır (Akkurt, 1991). ABS malzemenin özellikleri (Groover, 2002);

Polimer: Akrilonitril (C_3H_3N), bütadien (C_4H_6), stirenin (C_8H_8) terpolimeri

Polimerizasyon metodu: İlave (zincir)

Sembol: ABS

Elastisite Modülü: 2100 MPa

Çekme mukavemeti: 50 MPa

Uzama: %10 - %30

Özgül Ağırlığı: 1.06

Kristalinite derecesi: Amorf

Yaklaşık Pazar payı %3

2.4.1.2 Asetal

Asetal yüksek yoğunlukta nem içeren ortamlarda fiziksel özelliklerini koruyabilen dayanıklı bir plastiktir. Yüksek kristalinite derecesine sahip olan bu plastik malzeme formaldehitin polimerizasyonu ile üretilmektedir. Sert, rijit ve kimyasal solventlere karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Sürünme mukavemetleri yüksektir. Elastik bölgede yüksek çekme ve eğilme mukavemetine sahiptirler.

Yorulma mukavemetleri yüksektir. Düşük sürtünme katsayısına ve nem emme özelliğine sahiptirler. Aşınmaya karşı dirençlidirler (Akkurt, 1991). Asetalin özellikleri (Groover, 2002);

Polimer: Polioksimetilen, poliasetal $(OCH_2)_n$

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Sembol: POM

Elastisite Modülü: 3500 MPa

Çekme mukavemeti: 70 MPa

Uzama: %25 - %75

Camsı geçiş sıcaklığı $-80^{\circ}C$

Erime sıcaklığı $180^{\circ}C$

Özgül Ağırlığı: 1.42

Kristalinite derecesi: %75

Yaklaşık Pazar Payı: %1 den çok daha az

2.4.1.3 Akrilik

Akrilik termoplastikleri kristal berraklığı ve havada yıpranmaya karşı dayanıklılığı ile tanınan plastik malzemelerdir. Akrilik malzemeler güneş ışığı altında renk kaybetmeye dayanıklı, boyutsal kararlılığa sahip malzemelerdir. İş merkezlerinin pencerelerinde ultraviyole emici veya güneş ışığını yansıtan ayna göreviyle kullanıldığı gibi jetlerin camları akrilik malzemeden yapılmaktadır. Akrilik malzemeler kısa süreli yüklemelere karşı dayanıklı fakat uzun süreli yüklemelere karşı oldukça dayanıksız malzemelerdir (Akkurt, 1991). İnorganik asitlere ve alkali malzemelere karşı dirençlidirler, fakat organik çözücülerin büyük bir kısmından etkilenirler. Akriliğin berraklığı ve kararlı yapısından dolayı deney tüpü gibi laboratuvar araçlarının yanında, mutfak araç gereçleri imalatında da oldukça çok kullanım alanına sahiptirler. Akrilik plastikler $70^{\circ}C$ sıcaklığın altında sürekli, $90^{\circ}C$ sıcaklığın üzerinde kısa periyotlar halinde kullanılabilirler. Kalınlığı 10mm ve üzerinde olan akrilik malzeme ile üretilen muhafaza kapları beta ışımlarına karşı

etkili bir bariyer olarak kullanılmaktadır (http://www.dynalabcorp.com/technical_info_acrylic.asp). Akriğin özellikleri (Groover, 2002);

Polimer: Poliometakrilat ($C_3H_8O_2$)_n

Polimerizasyon metodu: ekleme(zincir)

Sembol: PMMA

Elastisite Modülü: 2800 MPa

Çekme mukavemeti: 55 MPa

Uzama: %5

Camsı geçiş sıcaklığı 105C°

Erime sıcaklığı 200C°

Özgül Ağırlığı: 1.2

Kristalinite derecesi: Amorf

Yaklaşık Pazar payı: Yaklaşık %1

2.4.1.4 Fluoroplastikler(PTFE)

Genel olarak teflon olarak bilinirler. Kimyasal ve çevresel etkilere karşı aşırı derecede dayanıklıdır. Sudan etkilenmez, elektrik iletkenliği yüksektir. Isıl direnci yüksek ve sürtünme katsayısı küçüktür (Akkurt, 1991). Bu son iki özelliğinden dolayı gıda sektöründe ve yağlanmayan rulmanlarda sıklıkla kullanılırlar. Fluoroplastiklerin özellikleri (Groover, 2002);

Polimer: Politetrafloroetilen (C_2F_4)_n

Polimerizasyon yöntemi: ekleme

Sembol: PTFE

Elastisite Modülü: 425 MPa

Çekme mukavemeti: 20 MPa

Uzama: %100 - %300

Camsı geçiş sıcaklığı 127C°

Erime sıcaklığı 327C°

Özgül Ağırlığı: 2.2

Kristalinite derecesi: %95

Yaklaşık Pazar Payı: %1 den az.

2.4.1.5 Naylon (Poliamid)

Bu sınıfın en önemli üyesi naylondur. Naylonunda en çok kullanılan ve monomer zincirindeki karbon atomunun durumuna göre adlandırılan en önemli iki çeşidi Naylon 6,6 ve Naylon 6 dır. Naylon 6,6 ilk olarak 1930 yılında Du Pont firması tarafından üretilmiştir. Naylon 6,6 ile benzer özelliklere sahip olan Naylon 6 ise Almanya da geliştirilmiştir (Akkurt, 1991). Naylon güçlü, oldukça elastik, tok aşınmaya karşı dirençli, kendinden yağlamalıdır. 125C° sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilir. Su emme özelliğine sahiptir. Poliamidin özellikleri (Groove, 2002);

Polimer: Naylon-6,6 $((CH_2)_6(CONH)_2(CH_2)_4)_n$

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Sembol: PA-6,6

Elastisite Modülü: 700 MPa

Çekme mukavemeti: 70 MPa

Uzama: %300

Camsı geçiş sıcaklığı 50C°

Erime sıcaklığı 260C°

Özgül Ağırlığı: 1.14

Kristalinite derecesi: Oldukça kristalin

Yaklaşık Pazar Payı: %1 (tüm polyamidler)

2.4.1.6 Polikarbonat

Polikarbonat yüksek tokluk ve iyi sürünme direncine sahiptir. Genel olarak bakıldığında mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler. Isıl direnç olarak bakıldığında en iyi termoplastiklerden biridir. 125C° civarındaki sıcaklıklarda

kullanılabilirler. Şeffaftır ve yanmaya karşı dirençlidir (Akkurt,1991). Polikarbonatın özellikleri (Groove, 2002);

Polimer: Polikarbonat ($C_3H_6(C_6H_4)_2CO_3)_n$

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Sembol: PC

Elastisite Modülü: 2500 MPa

Çekme mukavemeti: 65 MPa

Uzama: %110

Camsı geçiş sıcaklığı 150C°

Erime sıcaklığı 230C°

Özgül Ağırlığı: 1.2

Kristalinite derecesi: Amorf

Yaklaşık Pazar Payı: %1'den az

2.4.1.7 Polyester

Polyester hem termoplastik hem termoset grubuna dahil edilebilir. Bunu belirleyen yapısında bulunan çapraz bağlardır. Termoplastik grubuna giren polyesterler PET olarak bilinirler. Bu malzemenin amorf ve yaklaşık olarak %30 oranında kristalinite derecesine sahiptir. İşlenmesi sırasında hızlı soğutma oldukça şeffaf ve amorf bir yapı kazandırır. Önemli uygulama alanları içerisinde şişirilerek şekillendirilen depolama ve içecek kapları, fotoğraf filmleri, manyetik teyp bantları gelir. Bunlara ek olarak giysilerde fiber olarak oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Giysilerde kullanılan polyester malzemeler çok düşük nem emme ve yüksek şekil koruma kabiliyetlerinden ötürü yıka ve giy ürünleri için ideal bir malzeme halini almışlardır (Akkurt, 1991). Termoplastik polyesterlerin özellikleri (Groove 2002);

Polimer: Polietilen teripalit ($C_2H_4-C_8H_4O_4)_n$

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Sembol: PET

Elastisite Modülü: 2300 MPa

Çekme mukavemeti: 55 MPa

Uzama: %200

Camsı geçiş sıcaklığı 70C°

Erime sıcaklığı 265C°

Özgül Ağırlığı: 1.3

Kristalinite derecesi: Amorf dan %30 kristaline kadar.

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %2

2.4.1.8 Polietilen

Polietilen 1930’lu yıllarda sentezlenen bir polimerdir. Bugün için tüm plastikler arasında en çok kullanım alanına sahip plastik malzeme sınıfıdır. Kolay işlenmesi, kimyasal duyarsızlığı, düşük maliyeti polietileni çekici bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Polietilenin en çok kullanılan iki sınıfı düşük yoğunluklu polietilen(LPDE) ve yüksek yoğunluklu polietilen(HPDE) dir. Düşük yoğunluklu polietilen düşük kristalinite ve düşük yoğunluk bakımından oldukça fazla alt kola ayrılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenler ise daha lineer bir kristal yapıya, daha fazla kristalinite derecesine ve yoğunluğa sahiptirler. Bu fark HPDE’yi daha sert ve güçlü, yüksek erime sıcaklığına sahip bir plastik haline getirmektedir (Akkurt, 1991). Düşük yoğunluklu polietilenin özellikleri (Groover, 2002);

Polimer: Polietilen (C₂H₄)_n

Sembol: LPDE

Elastisite Modülü: 140 MPa

Çekme mukavemeti: 15 MPa

Uzama: %100 - %500

Camsı geçiş sıcaklığı -100C°

Erime sıcaklığı 115C°

Özgül Ağırlığı: 0.92

Kristalinite derecesi: %55 tipik.

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %20

Yüksek yoğunluklu polietilenin özellikleri (Groover 2002).

Polimer: Polietilen (C_2H_4)_n

Polimerizasyon yöntemi: Ekleme

Sembol: HPDE

Elastisite Modülü: 700 MPa

Çekme mukavemeti: 30 MPa

Uzama: %20 - %100

Camsı geçiş sıcaklığı -115C°

Erime sıcaklığı 135C°

Özgül Ağırlığı: 0.96

Kristalinite derecesi: %92 tipik.

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %15

2.4.1.9 Polipropilen

Polipropilen hafif ve dayanım/ağırlık oranı yüksek bir plastik malzemedir. Çoğunlukla HPDE malzeme ile karıştırılmaktadır. Bunun nedeni maliyetlerinin ve çoğu özelliklerinin birbirine yakın olmasıdır. Polipropilen malzemenin ergime sıcaklığının yüksek olması özellikle yüksek sıcaklıklarda sterilize edilmesi gereken tıbbi gereçlerde polipropilenin tercih edilmesini sağlar (Akkurt, 1991). Polipropilenin özellikleri (Groove, 2002);

Polimer: Polipropilen (C_3H_6)_n

Polimerizasyon yöntemi: Ekleme

Sembol: PP

Elastisite Modülü: 1400 MPa

Çekme mukavemeti: 35 MPa

Uzama: %10 - %500

Camsı geçiş sıcaklığı -20C°

Erime sıcaklığı 176C°

Özgül Ağırlığı: 0.90

Kristalinite derecesi: Yüksek, işleme göre değişir
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %13

2.4.1.10 Polistren

Polistren lineer homopolimer ve amorf yapısı nedeniyle kırılabilirliği ile ünlü bir malzemedir. Şeffaf, kolay renklendirilebilir ve kolayca kalıplanabilme özelliğine sahiptir. Isıya karşı dirençli değildir 90C° üzerinde mekanik özelliklerini kaybetmeye başlar. Kimyasal çözücülere karşı dirençli değildir. Kırılabilirliğini azaltmak için içerisine %10 - %15 civarında kauçuk ilave edilir. Bu ilaveli polistren malzemeye yüksek etkili polistren(HIPS) denilmektedir. HIPSin polisterne göre tokluğu yüksek fakat şeffaflık özelliği ve çekme mukavemeti düşüktür (Akkurt, 1991). Polistrenin özellikleri (Groove, 2002);

Polimer: Polistren (C₈H₈)_n

Polimerizasyon yöntemi: Ekleme

Sembol: PS

Elastisite Modülü: 3200 MPa

Çekme mukavemeti: 50 MPa

Uzama: %1

Camsı geçiş sıcaklığı 100C°

Erime sıcaklığı 240C°

Özgül Ağırlığı: 1.05

Kristalinite derecesi: Yok, Amorf

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %10

2.4.1.11 Polivinil Klorür

Polivinil Klorürler, malzeme yapısındaki polimerlerin kombinasyonuna göre çok değişik özelliklere sahip olabilmektedirler. Ayrıca çeşitli katkı maddeleri kullanılarak amaca uygun hale getirilebilmektedirler. Kullanım alanı oldukça geniştir. Bunlara örnek olarak; rijit borular, tesisat, tel ve kablo izolasyonu, film, kaplama, yemek

kapları, zemin döşemeleri ve oyuncaklar verilebilir. PVC tek başına ısı ve güneş ışınlarına dirençli değildir, fakat stabilizatörler eklenerek çevresel etkilere karşı direnci artırılabilir (Akkurt, 1991). Polivinil Klorürün özellikleri (Groove, 2002);

Polimer: Polivinil Klorür (C_2H_3Cl)_n

Polimerizasyon yöntemi: Ekleme

Sembol: PVC

Elastisite Modülü: 2800 MPa

Çekme mukavemeti: 40 MPa

Uzama: %2

Camsı geçiş sıcaklığı 81C°

Erime sıcaklığı 212C°

Özgül Ağırlığı: 1.4

Kristalinite derecesi: Yok, Amorf

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %16

2.4.2 Termoplastikler

2.4.2.1 Amino (Melamin, Üre)

Amino plastikleri yapısındaki amino grubu ile karakterize edilirler. Oda sıcaklığında sıvı veya katı reçine halinde bulunurlar. İmalat sırasında katalizör etkisi altında meydana gelen ilave tepkimesi ile sert ve mukavim özellikler kazanırlar. En çok kullanılan amino termoplastikleri üre ve melaminden elde edilir. Genellikle amino reçineleri sert, rijit, aşınmaya karşı dayanıklı, az şekil değiştiren malzemelerdir. Fevkalede elektriksel iletkenliğe ve yiyeceklere koku vermeme özelliklerine sahiptirler. Asit, alkali, sıcak ve kaynar suya dayanıklıdırlar (Akkurt, 1991). Amino reçinelerinin özellikleri (Groover, 2002);

Tanımlayıcı polimer: Melamin-formaldehit

Monomerler: Melamin($C_3H_6N_6$) ve formaldehit(C_2H_2O)

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Elastisite Modülü: 9000 MPa

Çekme mukavemeti: 50 MPa

Uzama: %1 den daha az

Özgül Ağırlığı: 1.5

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %4 üre ve melamin toplam

2.4.2.2 Epoksiler

Ölçü tamlığı, adezif malzemelere karşı yüksek direnci ve ısıya ve kimyasallarla karşı iyi bir dirence sahip olan epoksiler mükemmel mekanik ve elektriksel özelliklere sahiptirler. Tipik uygulama alanları yüksek mekanik dayanım yüksek izolasyon gerektiren elektrik ile ilgili parçalardır. Fiberle güçlendirilmiş epoksiler mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve basınçlı kaplar, roket yakıt depoları, tanklar ve benzer araçlarda kullanılırlar (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Epoksinin özellikleri (Groover, 2002);

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Elastisite Modülü: 7000 MPa

Çekme mukavemeti: 70 MPa

Uzama: %0

Özgül Ağırlığı: 1.1

Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %1

2.4.2.3 Fenolikler

Fenolik malzemeler kırılganlıklarına rağmen rijit, iyi ölçü tamlığına sahip. Isı, su, ve kimyasallara karşı dirençli malzemelerdir. Bunların yanında elektrik dirençleride oldukça yüksektir. İzolasyon malzemesi olarak kullanılırlar (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Fenol formaldehitin özellikleri (Groover, 2002);

Monomerler: Fenol(C_6H_5OH) ve formaldehit(C_2H_2O)

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Elastisite Modülü: 7000 MPa

Çekme mukavemeti: 70 MPa

Uzama: %1 den daha az

Özgül Ağırlığı: 1.4

Yaklaşık Pazar Payı: %6

2.4.2.4 Polyester

Polyester malzemeler iyi mekanik ve fiziksel ve elektriksel özelliklere sahiptir. Polyester malzemeler genellikle cam veya diğer fiberlerle güçlendirilerek kullanılırlar. Tipik uygulama alanları tekneler, valiz gibi kişisel eşya taşımada kullanılan araçlar, sandalyeler, otomotiv ve yüzme havuzlarıdır (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Polyesterin özellikleri (Groover, 2002);

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Elastisite Modülü: 7000 MPa

Çekme mukavemeti: 30 MPa

Uzama: %0

Özgül Ağırlığı: 1.1

Yaklaşık Pazar Payı: %3

2.4.2.5 Silikon

Silikonun özellikleri kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Genel olarak mükemmel elektiriksel özelliklere sahip olup, yüksek sıcaklıkta uzun zaman ısıya ve kimyasallara karşı dirençlidir. Tipik uygulama alanları yüksek sıcaklıklarda çalışabilen elektiriksel parçalar ve su yalıtımıdır (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Silikonun özellikleri (Groover, 2002);

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma

Çekme mukavemeti: 30 MPa

Uzama: %0, özgül ağırlığı: 1.65, yaklaşık pazar payı: %1

BÖLÜM ÜÇ

PLASTİK MALZEMELERİ ŞEKİLENDİRME YÖNTEMLERİ

Bir ürün, birden fazla plastik şekillendirme yöntemiyle üretilir. Bu yöntemlerin seçimindeki temel etken ürün geometrisidir. Ürün geometrisi kadar önemli olan diğer bir etken üretim miktarıdır. Kalite ve maliyet açısından yöntemin seçiminde karar vermek için plastik malzeme şekillendirme yöntemleri ile ilgili bilgilere sahip olmak gerekmektedir.

Genel olarak plastikleri şekillendirmede kullanılan yöntemlerin özellikleri beş başlıkta toplanabilir:

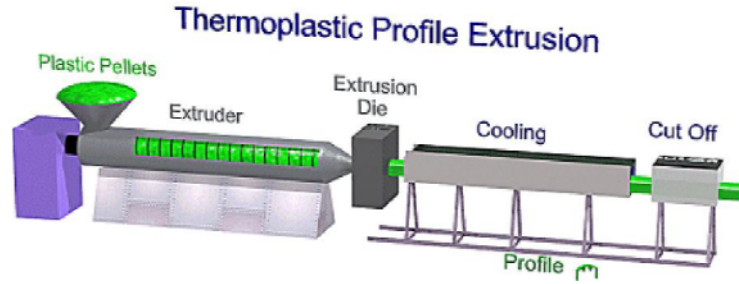
- 1) Plastik şekillendirme yöntemleri ile hemen hemen tüm parça geometrileri kolaylıkla üretilir.
- 2) Kalıplanarak şekillendirilen parça geometrileri çoğunlukla kullanıcıya ulaştırılacak son halleriyle yani mamul halinde üretilirler. Bu nedenle tekrar bir şekillendirme işlemine ihtiyaç duymazlar.
- 3) Plastik şekillendirme yöntemleri metallerin şekillendirme yöntemleri ile kıyaslandığında ergime sıcaklıkları düşük olduğu için daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar.
- 4) Şekillendirme işlemleri sırasında düşük sıcaklıkların kullanılması işlemlerin daha kolay kontrol edilebilir hale gelmesini sağlamaktadır.
- 5) Çoğu şekillendirme yönteminde parlatma veya boyama gibi ek işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır.

3.1 Ekstrüzyon

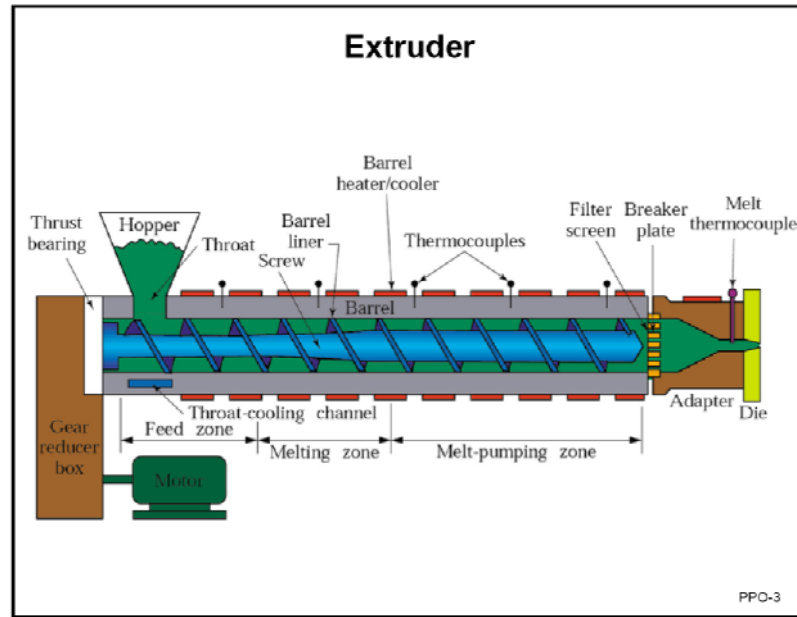


Şekil 3.1 Ekstrüzyon makinesi (<http://cd.tradehelper.or.kr/member/SMPLA TEK/TEK58HS.jpg>).

Ekstrüzyon metal ve seramiklerden polimer malzemelere kadar, kullanılan en temel şekillendirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem erimiş malzemenin bir kalıp boşluğundan dışarı itilmesi sırasında, malzemeye kalıp boşluğunun şeklini vererek sürekli imalata olanak sağlayan bir basınç işlemidir. Plastik malzemeler düşünüldüğü takdirde en çok termoplastik ve elastomer malzemelerin şekillendirilmesinde, nadiren termoset malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

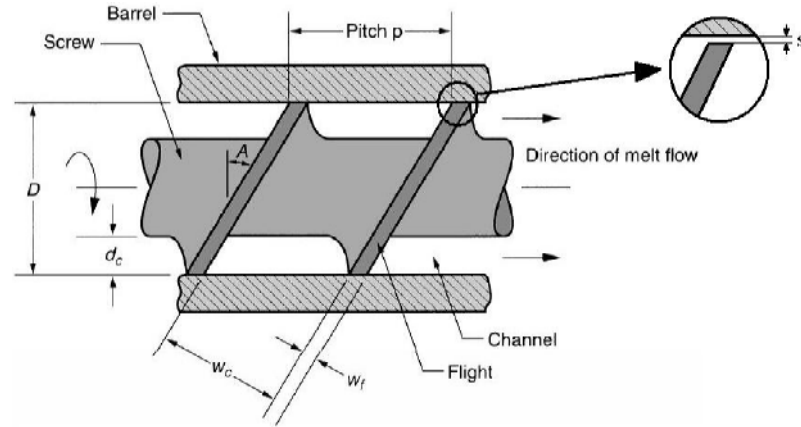


Şekil 3.2 Ekstrüzyon yöntemi ve aşamaları (<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/processing.pdf>).



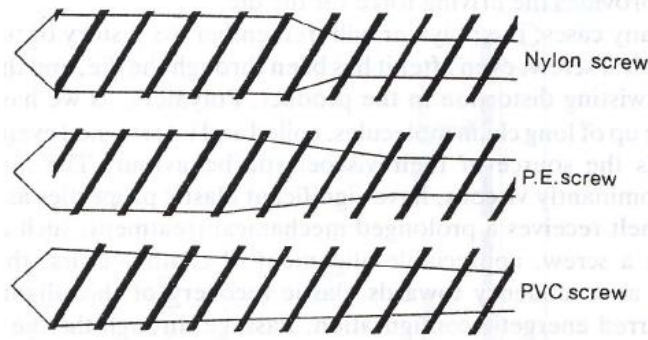
Şekil 3.3 Ekstrüder (http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme2/10_ProcessPolim.pdf).

Ekstrüzyon işlemi huni içerisine parçalanmış, granül veya toz şeklindeki plastik malzemenin yerleştirilmesi ile başlar. Malzeme bu bölümde karıştırılır, nemi alınır, ısıtılır ve yabancı malzemelerden arındırılır. Huniden malzeme yerçekimi kuvvetiyle ekstrüzyon namlusuna gelir. Ekstrüzyon namlusuna kovanda denilir. Ekstrüzyon namlusu etrafı elektrik bobinleri ile sarılı içi boş bir silindir olarak düşünülebilir. Bu silindrin iç çapı 25-150 mm arasında değişmekle birlikte boyunun çapına oranı genellikle 10-30 arasında değişmektedir. Yüksek oranlar termoplastik malzemeler, düşük oranlar elastomer malzemeler için kullanılmaktadır. Namluya gelen malzeme, namlu içerisinde yaklaşık 60 devir/dakika hız ile dönen üzerine vida açılmış bir mil ile kalıba doğru sürülür. Helezon vida dış çapı namlu iç çapından 0.05-0.002 mm küçüktür.



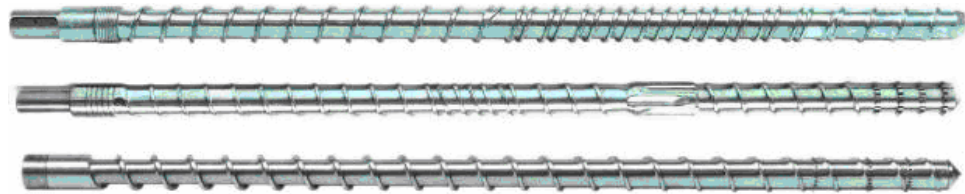
Şekil 3.4 Ekstrüder vida ve namlusu (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).

Namlunun etrafındaki bobinlerden elde edilen ısı enerjisi ve helezonun dönmesi sırasında oluşan sürtünme nedeniyle meydana gelen ısı enerjisi malzemenin erimesine neden olmakta ve malzeme kalıba gelene kadar yeterli sıcaklığa ulaştırılmaktadır. Helezon üzerine açılmış vida hatvesinin giderek azalması ve vida gövde çapının giderek artması nedeniyle erimiş malzeme sıkıştırılmakta ve kalıba doğru yaklaştıkça ekstrüzyon basıncına yaklaşmaktadır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan helezonlar genel olarak üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar besleme bölgesi, erime bölgesi ve basınç bölgesidir. Besleme bölgesinde malzeme huniden alınarak erime bölgesine doğru ısıtılarak itilir. Erime bölgesi erimenin başladığı bölgedir. Bu bölümde meydana gelen kesit artışı ayrıca basıncın artmasına neden olmaktadır. Basınç bölümünde ısıtmaya ek olarak basınç ekstrüzyon basıncına çıkartılır. Helezonun bu bölümlerinin uzunluğu kullanılan malzemenin içinde bulunduğu plastik malzeme grubuna göre değişmektedir.



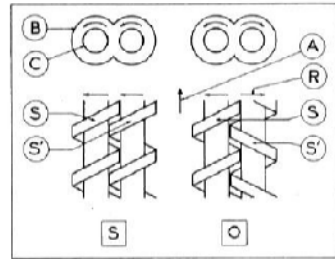
Şekil 3.5 Farklı malzemeler için kullanılan ekstruder vida örnekleri(<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/processing.pdf>).

Tek helezona sahip ekstrüzyon makinalarına konvensiyonel tek vidalı ekstrüzyon makinaları denilir. Bu tip makinaların dışında endüstride önemli bir uygulama alanına sahip olan iki helezonlu ekstrüzyon makinaları bulunmaktadır. Bu tip ekstrüzyon makinalarına çift vidalı ekstrüzyon makinaları denilmektedir. Çift vidalı makineler yatayda, eş çalışan ve birbirine zıt veya aynı yönlerde dönen helezonlara sahiptir. Çalışma prensibi helezon sayısının dışında tek vidalı makinelerinki ile aynıdır. Çift vidalı makinalar, özellikle rijit PVC gibi şekillendirilmesi zor olan plastik malzemelerde ve iyi karıştırılması gereken malzemelerde kullanılır. Şekil 3.6 da ekstrüzyon makinalarında kullanılan vidalar, Şekil 3.7 de çift vidalı sistem ve bu sistemle çalışan ekstrüzyon makinası görülmektedir.



Şekil 3.6 Ekstrüzyon vidaları (<http://www.senmak.com/ekstruzyon.htm>).

• Twin-screw extrusion



- [S] Co-rotating screws
- [O] Counter-rotating screws
- (B) Barrel
- (C) Screw core
- (S) First screw
- (S') Second screw
- (A) Axial material motion
- (R) Rotary screw motion



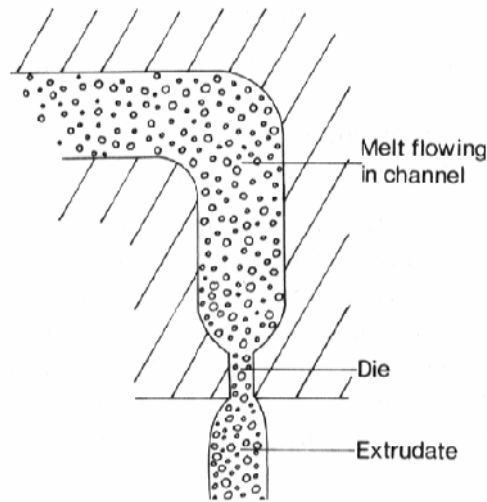
Twin-screw extruder of BATTENFELD



Special purpose Screw designs

Şekil 3.7 Çift vidalı sistem ve ekstrüzyon makinaları (<http://www.hanyang.ac.kr/data/101329/27.pdf>).

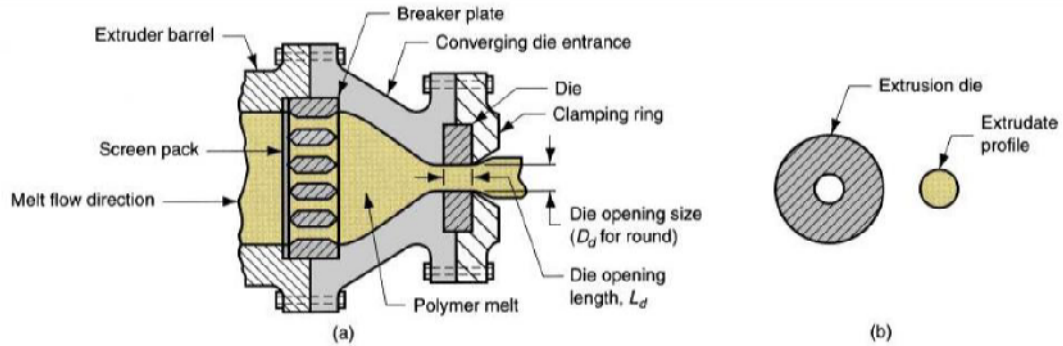
Plastik malzemelerin kendini hatırlama özelliği nedeniyle kalıp boşluğundan çıkışta şekillendirilen parçalarda küçük bir hacim artışı gözlenmektedir. Şekil 3.8 de plastik malzemelerin hatırlama özelliklerini anlatan şematik bir resim görülmektedir.



Şekil 3.8 Plastik malzemelerin hatırlama özelliğinin şematik gösterimi (Elliot, 2005)

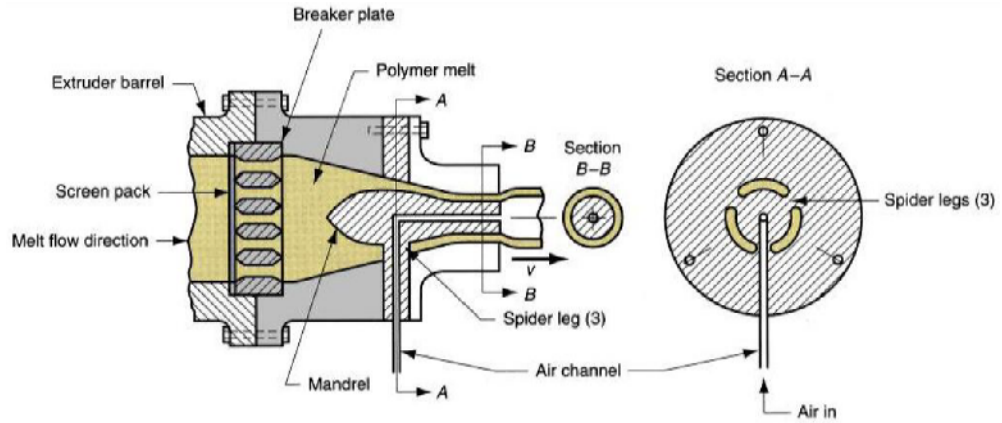
Bunun nedeni olarak dar kesite giren malzemenin polimer zincirleri arasında meydana gelen yaklaşmanın kesitten çıkışta yay gibi birbirlerini itmeleri ve eski

hallerini almak istemeleridir. Bu nedenle erimiş malzeme helezonun sıkıştırma bölgesi sonunda kırıcı plaka denilen ve içerisinde küçük eksenel deliklerin bulunduğu bir plaka içerisinden geçirilir. Bu plaka erimiş malzemenin hatırlama özelliğini minimuma düşürmenin yanında, basınç artışı sağlama ve erimiş malzemeyi filtreleme görevi bulunmaktadır.

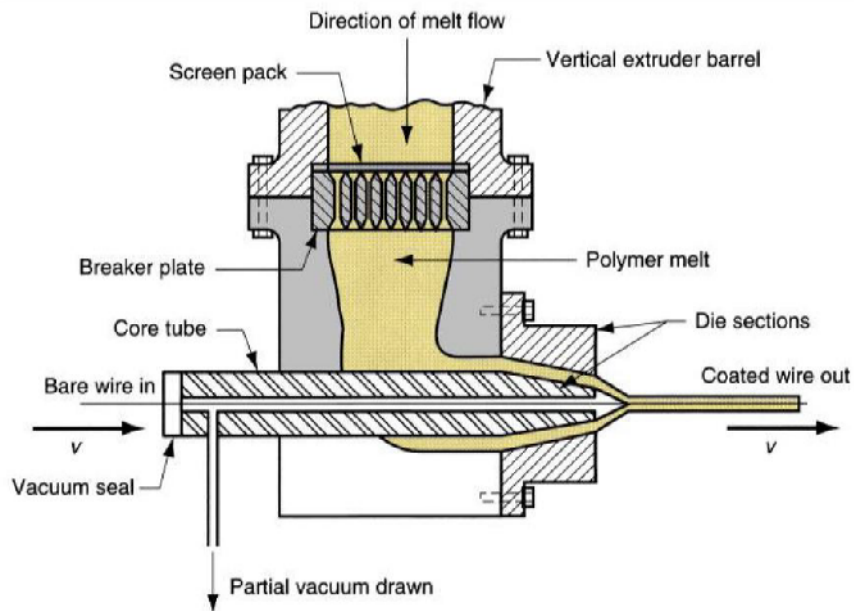


Şekil 3.9 Ekstrüzyon kalıbı (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).

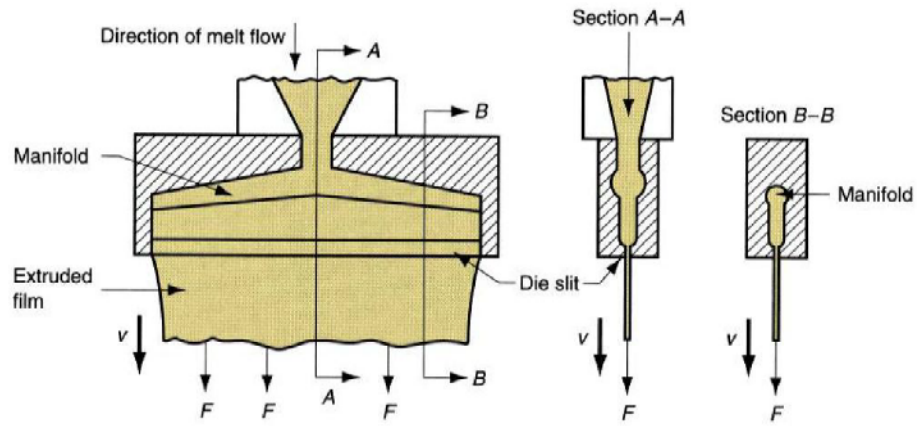
Son olarak plastik malzeme kalıbın çıkış kısmında şekillendirilmiş bir açıklıktan çıkarılarak plastik malzemeye arzu edilen şekil verilir. Kalıptan çıkan parçanın sıcak olması, şekillendirme basıncının düşmesi ve malzemenin hatırlama özelliği nedeniyle kalıptan çıkan ürünün ölçüleri kalıp boşluğunun ölçülerinden farklıdır. Plastik malzeme kalıptan çıktıktan sonra havayla veya suyla dolu bir kanal içerisinden geçirilerek soğutulur. Soğutma işleminin uniformluğu üründeki çekmeyi ve distorsiyonu minimize etmek için oldukça önemlidir. Ayrıca ekstrüzyon ile üretilen parçalar kalıp çıkışı soğutulduktan sonra çekme işlemi uygulanarak ölçülendirilebilir. Daha sonra istenilen boyutlarda sarılır veya kesilir. Şekil 3.10 ve şekil 3.15 arasında ekstrüzyon yönteminin farklı kullanım alanlarını gösteren şematik resimler görülmektedir.



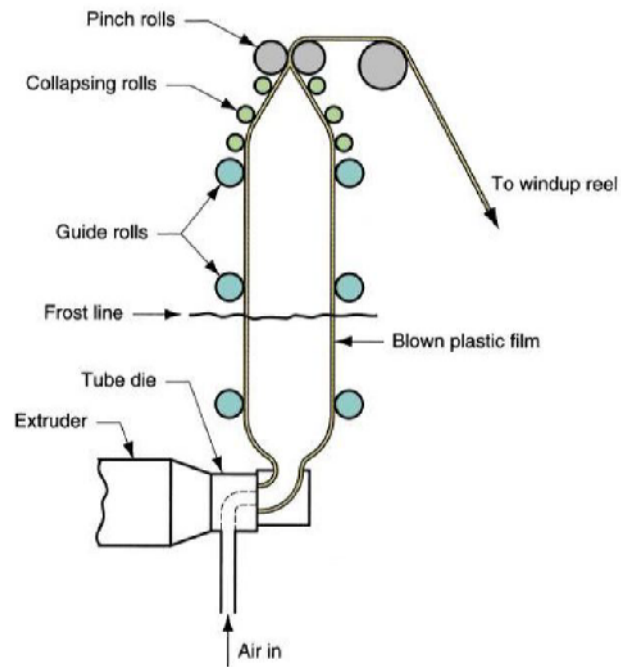
Şekil 3.10 Ekstrüzyon yöntemi ile içi boş profillerin üretimi (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).



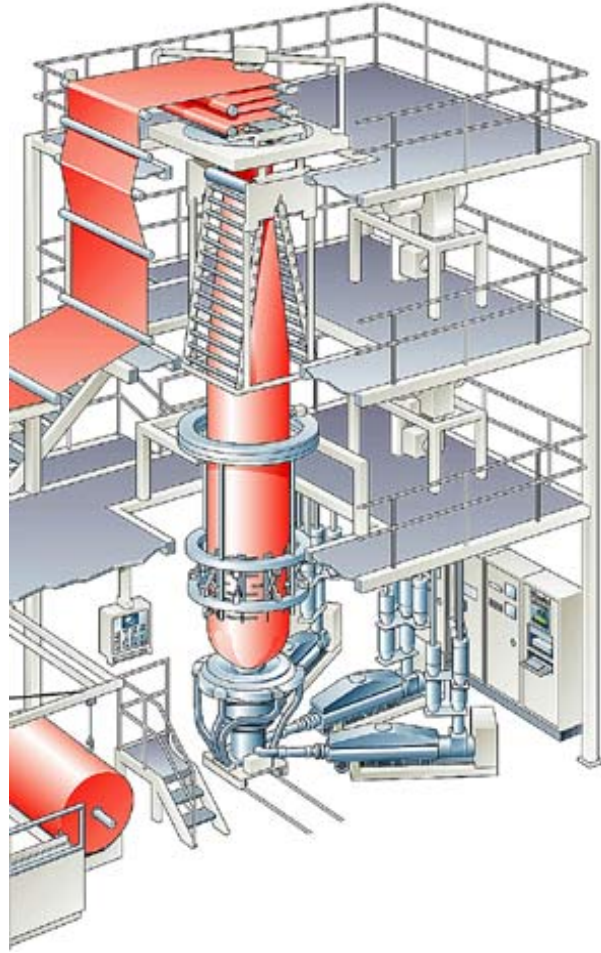
Şekil 3.11 Ekstrüzyon yöntemi ile tel yalıtım malzemesi kaplaması (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).



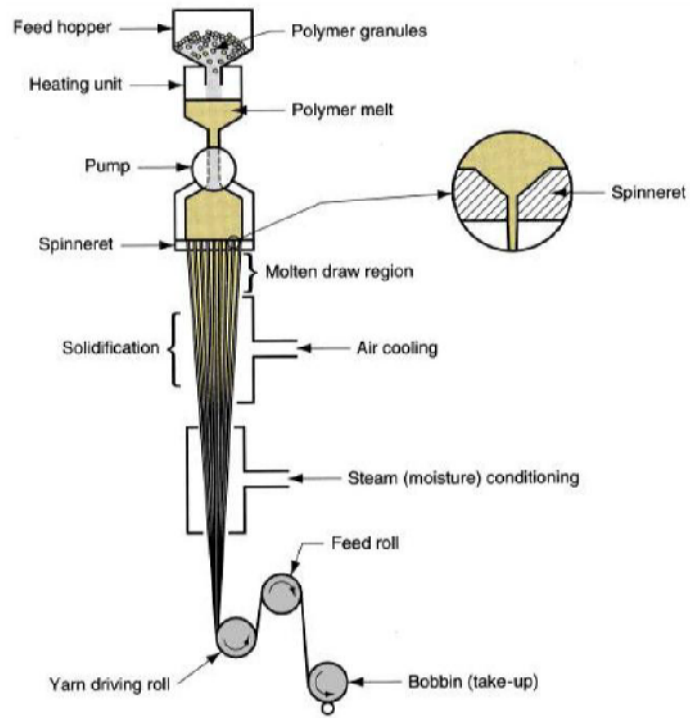
Şekil 3.12 Ekstrüzyon yöntemi ile levha veya film şeklinde plastik malzeme üretimi (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).



Şekil 3.13 Şişirmeli film ekstrüzyon yöntemi ile film şeklinde plastik malzeme üretimi (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).

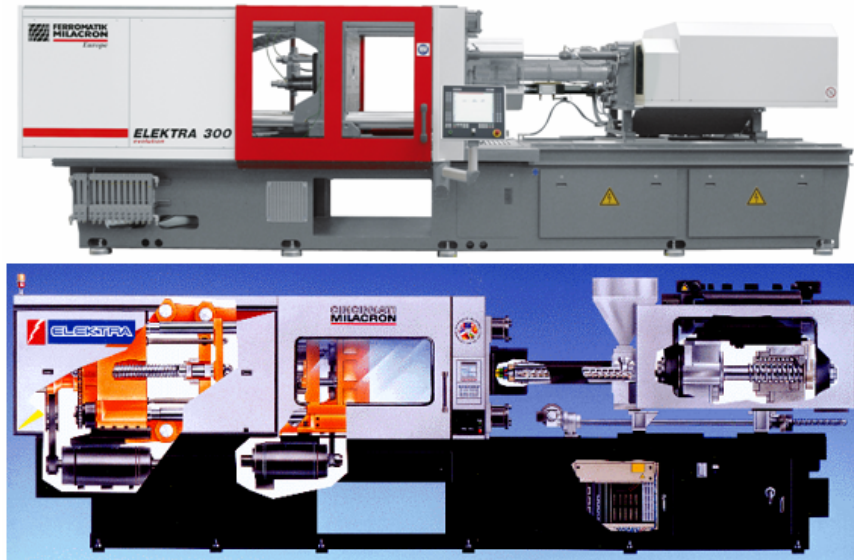


Şekil 3.14 Şişirmeli film ekstrüzyon yöntemi ile film şeklinde plastik malzeme üretimi(http://www.bpf.co.uk/bpfindustry/process_plastics_blown_film.cfm).



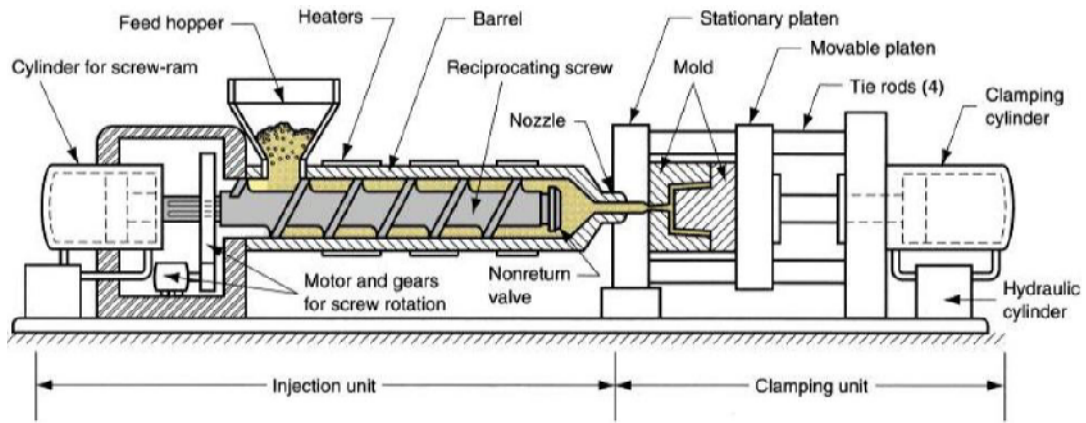
Şekil 3.15 Ekstrüzyon yöntemi ile flaman üretimi (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).

3.2 Enjeksiyon



Şekil 3.16 Enjeksiyon makinası (http://www.ferromatik.com/de/information/presse/img/EE_300_auf_weiss.jpg)

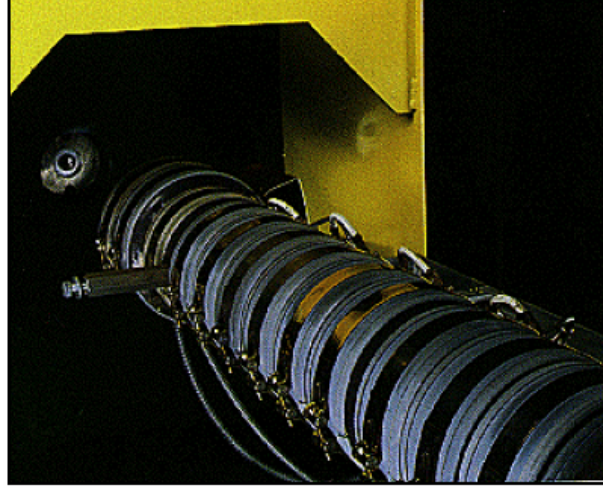
Plastik enjeksiyon yöntemi plastiklerin şekillendirilmesinde sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntemde, makinarya yerleştirilen plastik malzeme ısı etkisiyle eritilerek ürüne şeklini verecek kalıp içerisine basınç ile itilerek soğumaya bırakılır. Son olarak kalıp yarımlarının açılmasıyla şekillendirilmiş plastik malzeme kalıptan dışarı itilir. Şekil 3.16 de Plastik enjeksiyon makinası ve Şekil 3.17 de plastik enjeksiyon makinasının ana bölümleri görülmektedir.



Şekil 3.17 Plastik enjeksiyon tezgahı bölümleri (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>).

Plastik enjeksiyon yöntemi başta termoplastik malzemeler olmak üzere termoset ve elastomer malzemelerin şekillendirilmesinde oldukça yoğun olarak kullanılan bir şekillendirme yöntemidir. Plastik enjeksiyon yöntemiyle 5g dan 25kg kadar, hemen hemen her geometriye sahip parça yüksek ölçü tamlığı ile üretilebilmektedir. Plastik enjeksiyon yönteminde granül veya parça halindeki plastik malzemeler kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyon işlemi öncelikle kalıplanacak olan malzemenin enjeksiyon işlemi için hazır hale getirilmesiyle başlar. Bunun anlamı kullanılacak olan malzemenin fırın içerisinde kurutulması (neminin alınması) ve gerekli katkı maddelerinin katılmasıdır. Hazır olan plastik malzeme enjeksiyon makinasının hunisinden içeri dökülür. Burada karıştırılan malzeme yerçekimi etkisiyle enjeksiyon ünitesinin içerisine düşer. Enjeksiyon ünitesi, enjeksiyon makinesinin tipine göre makinarya dikey ve yatay olmak üzere iki farklı şekilde montaj edilebilir. Her iki tipte de enjeksiyon ünitesi, ekstrüzyon makinalarındaki yapıya benzerlik göstermekle birlikte yaptığı gidip gelme hareketi ile temel bir fark yaratır. Enjeksiyon ünitesi; huni, helezonun içerisinde dönme ve öteleme hareketi yaptığı, helezonun içerisinde hareket ettiği ve plastik malzemenin eritilerek muhafaza edildiği silindir, helezona

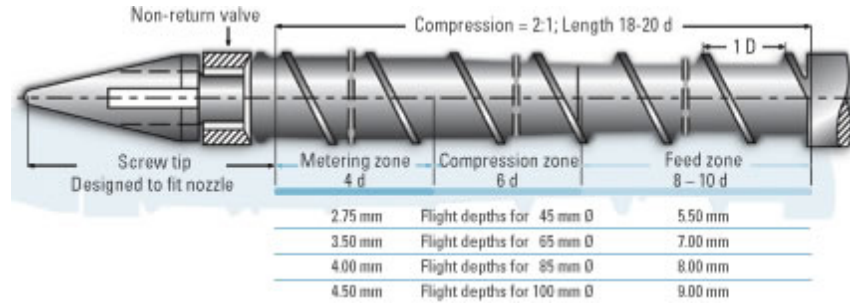
dönme ve öteleme hareketi veren hidrolik silindir, motor ve dişli düzeneklerinden oluşur.



Şekil 3.18 Enjeksiyon ünitesinin ısıtılmasında kullanılan ısıtıcı dirençler (Lahteenmaki, 2005).

Helezon dediğimiz vidaya benzer yapının görevi huniden gelen plastik malzemeyi erimesi için dönme hareketi yaparak silindirin içine doğru ilerletmek, malzemeyi karıştırmak ve erime tamamlanıp enjeksiyon için yeterli hacme ulaştığında öteleme hareketi yaparak erimiş olan plastiği 200 Mpa’la ulaşabilen basınçla kalıp denilen ve erimiş malzemeye şekil vermek için kullanılan birimin içerisine sürmek ve sıkıştırmaktır. Helezonun temel hareketi dönme hareketidir. Dönme hareketi yaklaşık olarak 100 rpm civarındadır. Bu hareket sırasında meydana gelen sürtünme nedeniyle oluşan ısı enerjisi malzemenin ergimesine katkıda bulunmaktadır. Helezonun yaptığı öteleme hareketi onun “gidip gelen vida” olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Bu isim ayrıca makinaların sınıflandırılması için kullanılmaktadır. Diğer sınıf olan ve eski enjeksiyon makinalarını içine alan grupta plastik malzemeyi kalıba süren yapı sadece öteleme hareketi yapan bir silindire benzemektedir. Bir enjeksiyon makinesinin helezonunun, maksimum ötelenebildiği mesafeye helezon stroku denir ve makina bir kerede bu strokun oluşturduğu hacim kadar malzemeyi kalıba basabilir. Helezon çapı (vida dış üstü çapı) makinanın basabileceği maksimum malzeme miktarına dolaylı olarak makina boyutlarına göre 18 ile 120 mm arasında değişmektedir. Gene makina boyutlarına göre değişen diğer bir özellik malzemenin

silindir içerisinde depolayabileceği dolayısıyla bir kerede enjekte edebileceği maksimum malzeme hacmi olup 20 ve 6000 cm³ olarak değişmektedir. Enjeksiyon makinalarında kullanılan helezonların şekilleri kullanılacak olan malzemenin türüne göre (termoplastik, termoset, elastomer) değişiklik göstermekle birlikte üç ana bölümden oluşur.



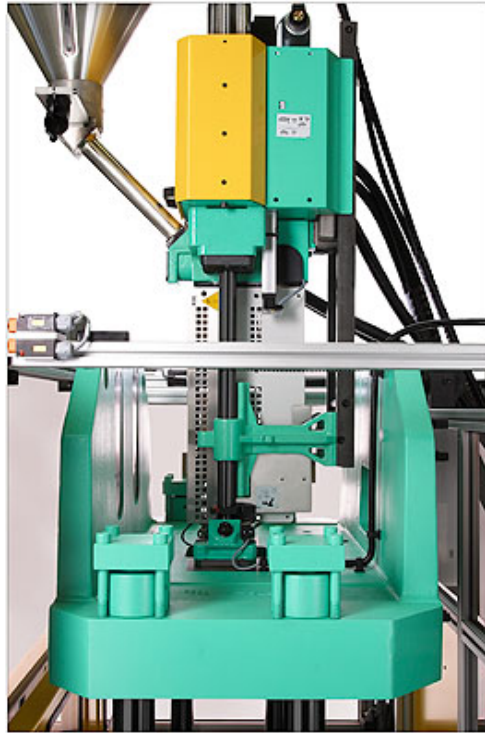
Şekil 3.19 Enjeksiyon makinasına ait helezon ve helezonu oluşturan ana bölümler, ölçme bölgesi, sıkıştırma bölgesi, besleme bölgesi (http://tpe-u.com/_cms_live/media/medias/0000/00/00/b9/47539.jpg).



Şekil 3.20 Enjeksiyonda kullanılan helezonlar tipleri (http://img.alibaba.com/photo/50358046/Screw_and_Barrels_for_Injection_Machine.jpg).



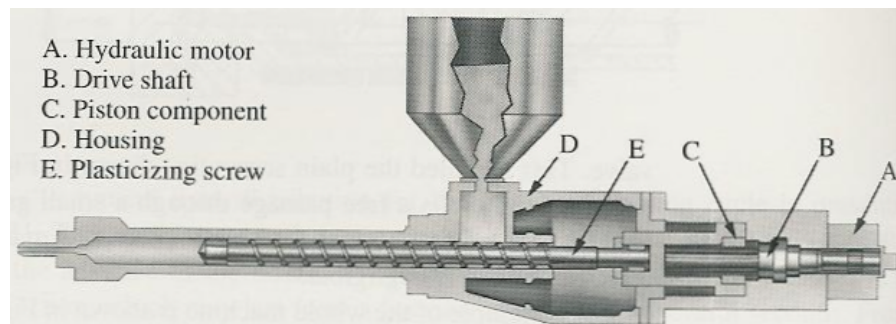
Şekil 3.21 Yatay enjeksiyon ünitesi (http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_u/injection_unit.jsp).



Şekil 3.22 Dikey enjeksiyon ünitesi(http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_t/injection_unit.jsp).

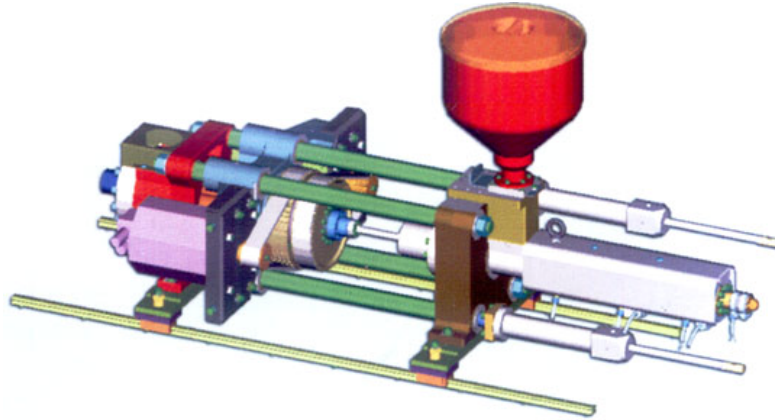
Enjeksiyon makinalarında helezona dönme hareketi farklı konstrüktif tasarımlarla verilebilmesine rağmen genel olarak dönme hareketi, iki ucuna içten ve dıştan kama

kanalları açılarak kademeli bir kamalı mil haline getirilmiş tahrik miline hareket vermesi ile başlar. Tahrik milinin hidrolik motordan hareket alan tarafı kamalı mil, helezona hareket aktaran tarafı ise kamalı delik şeklindedir. Helezonun uç kısmına açılan kamalı mil formu tahrik milinin kamalı delik formu içerisinde olduğu sürece hidrolik motordan alınan dönme hareketi helezona aktarılabilmektedir. Dönme sırasında yataklama işlemi piston ve helezon üzerine iç ve dış bilezikleri monte edilmiş konik makaralı rulman vasıtasıyla yapılmaktadır. Dönme hareketi helezonun malzemeyi huniden alarak silindir içerisine sürmesini sağlamaktadır. Enjeksiyon hareketi ise hidrolik pompanın pistonu itmesi ile başlar. Piston öne doğru, içine üst bileziği kayar halde yataklanan rulmandan kurtuluncaya kadar (rulman bileziğinin genişliği kadar) hareket eder daha sonra helezon üzerindeki kademe ile karşılaşan piston helezonu öne doğru itmeye ve helezonun kademeli mil kısmını yavaş yavaş tahrik milinin kademeli mil kısmından çıkarmaya başlar. Piston, helezonu tamamen tahrik milinden kurtardığında helezon ile hidrolik motor arasındaki dönme hareketi iletimi tamamen kopmuş ve artık helezon sadece öteleme hareketi yaparak erimiş malzemeyi kalıp içerisine enjekte eder hale gelmiştir (Tlusty, 2000). İşte bu nedenle enjeksiyon süresi ve tutma süresi denilen sıkıştırma süresi boyunca helezon sadece öteleme hareketi yapmaktadır. Şekil 3.23 de hidrolik motorla tahrik edilen enjeksiyon ünitesinin şematik gösterimi görülmektedir.

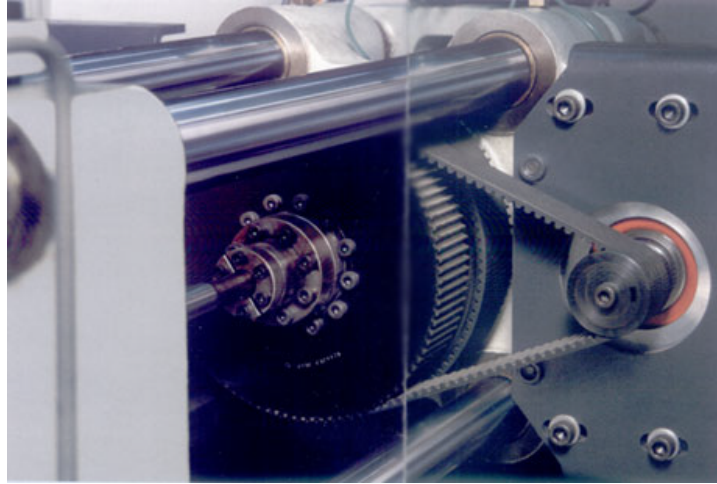


Şekil 3.23 Hidrolik motorla tahrik edilen enjeksiyon ünitesi (Tlusty, 2000).

Enjeksiyon makinalarının tahrik edilmesinde kullanılan bir başka sistem hidro-pnömatik sistemlerdir. Hidro-pnömatik sistemlerde enjeksiyon ünitesi servo motorlar ile kontrol edilmekte ve kuvvet iletimi yuvarlak profilli vidalar ile sağlanmaktadır. Şekil 3.24 ve 3.25 de hidro-pnömatik tahrik sistemi görülmektedir.



Şekil 3.24 Servo motorla tahrik edilen enjeksiyon ünitesi (<http://www.milacronindia.com/elektron/features-1.htm>).



Şekil 3.25 Servo motorla tahrik edilen enjeksiyon ünitesi (<http://www.milacronindia.com/images/elek-img2.jpg>).

Enjeksiyon işleminin tamamlanmasından sonra tutma safhası gelmektedir. Bu safhada yapılan, erimiş malzemenin kalıp içerisine tamamen doldurulması sonrası sabit basınç veya basınçlar halinde bekletilmesi işlemidir. Bu işlemin amacı kalıp içerisindeki erimiş malzemenin makro molekülleri arasındaki boşluğu azaltmak, soğuma sırasında malzemenin daha az kendini çekmesini sağlamaktır. Plastik malzemeler erimiş halde sıkıştırılabilir malzemelerdir. Bu nedenle her zaman silindir içerisinde, üretilcek malzemenin hacminden (kalıp boşluğunun hacminden) %10-%15 oranında daha fazla erimiş malzeme bulunmalıdır. Enjeksiyon makinasının üretim öncesi strok ayarı bu durum göz önünde bulundurularak hesaplanmalıdır.

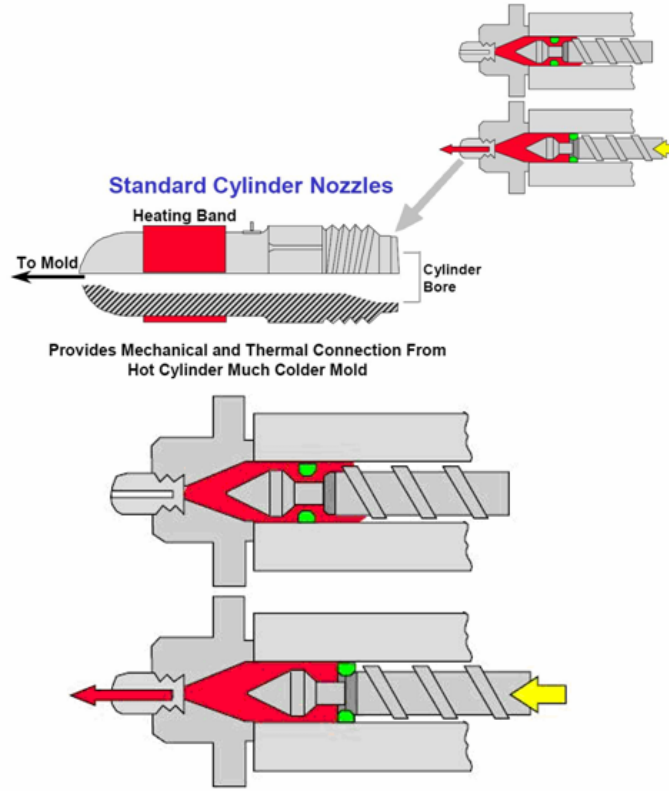
Burada strok ayarı ile, kalıbın tek seferde doldurulan boşluklarına (parça boşluğu, yolluk ve dağıtıcı boşlukları) ilaveten %10-%15 ek sıkıştırma hacminin eklenmesiyle elde edilen hacim kastedilmektedir. Enjeksiyon işlemi sırasında ve tutma süresi boyunca helezon önündeki erimiş malzemenin geri kaçması helezon önüne takılan “yüzük-torpil veya yüksük-torpil takımı” da denilen parça gurubu ile sağlanmaktadır. Bu gruba ayrıca geri dönüşsüz çek valf grubu da denilmektedir. Geri dönüşsüz valflerde aranan en önemli özellikler yüksek verim, kısa kapanma süresi, yüksek mekanik mukavemet ve kendini iyi temizleyebilme yeteneğidir (<http://www.senmak.com/enjeksiyon.htm>).



Şekil 3.26 Helezona ait yüzük-torpil sistemi (<http://www.senmak.com/enjeksiyon.htm>).



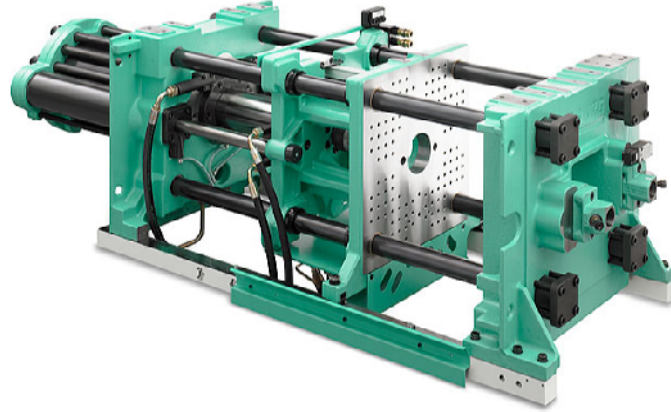
Şekil 3.27 Helezona ait yüzük-torpil sistemi montajı, (<http://www.injectionscrewtips.com/>).



Şekil 3.28 Geri dönüşsüz kontrol valfinin çalışmasını gösteren şematik şekil (Lahteenmaki, 2005).

Tutma basınçları safhasında oluşan kalıp içi basınca karşı koyarak kalıp yarımlarının birbirinden ayrılmasını önleyen üniteye mengene ünitesi denilmektedir. Mengene ünitesinin diğer görevleri; birbirleri ile hassas bir şekilde konumlandırılmış iki kalıp yarımlarının enjeksiyon işlemi boyunca hep aynı ekseninde çalışmasını sağlamak, kalıbı açmak ve kapatmaktır. Kilitleme ünitesinin kalıbın açılmasına karşı uyguladığı kuvvete “kalıp kapama kuvveti” denilmektedir. Bu özellik makinaların gücünü dolayısıyla büyüklüğünü gösteren bir özelliktir. Kalıp kapama kuvveti 20–10000 ton arasında değişmektedir. Mengene ünitesinin mekanizması, bir hidrolik piston veya makas tarafından hareket ettirilen rijit bir prese benzemektedir. Presin sabit plakasına kalıbın enjeksiyon yapılan ve “A yarımları”, “dişi yarımları” veya “boşluk yarımları” adı verilen iç büküye geometriye sahip tarafı, hareketli plakasına ise “B yarımları”, “erkek tarafı” veya “çekirdek yarımları” denilen dış büküye yarımları bağlanır. Enjeksiyon tezgâhlarının mengene ünitesi temel olarak mekanik ve hidrolik olmak üzere iki ana gruba ayrılır ayrıca bu iki grubun birleştirilmesiyle elde edilen

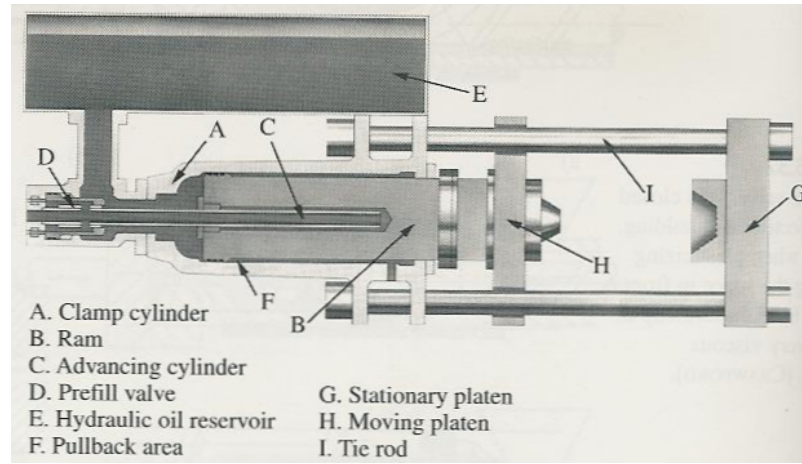
hidromekanik mengene üniteleri bulunmaktadır. Şekil 3.29’da hidrolik mengene sistemi görülmektedir.



Şekil 3.29 Hidrolik mengene ünitesi (http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_c/c_lamping_unit.jsp).

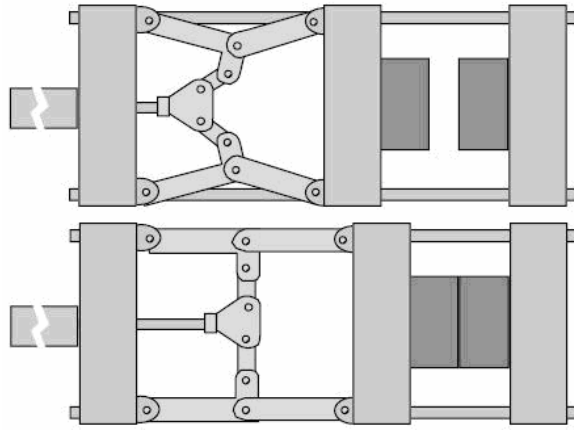
Mekanik, hidrolik ve hidromekanik mengene sistemleri, makinanın büyüklüğüne ve üretici firmaya göre farklılık göstermektedir. Hidrolik mengene sistemleri temel olarak; hidrolik yağı depolama tankı, piston, kilitleme silindiri, hızlı ilerleme silindiri, yönlendirme çubukları, kalıp erkek ve dişi plakası, dolum öncesi valfi, alçak ve yüksek basınç hidrolik pompalarından meydana gelmektedir. Hidrolik yağı depolama tankının görevi, adından da anlaşıldığı gibi erkek kalıp yarımının hareketi sırasında mengene ünitesinde dolaşan hidrolik yağını muhafaza etmektir. Piston, kalıbın erkek yarımının monte edildiği ve ona hareket kazandıran yapıdır. Yönlendirme çubukları, mengenenin ileri ve geri hareketinin aynı ekseninde yapılmasını ve kalıp yarımlarının zarar görmemesini sağlayan aşınmaya dayanıklı çelik çubuklardır. Hızlı ilerleme silindiri, hidrolik yağının içinde sıkıştırılması ile pistonu ani öteleme hareketi kazandıran yapıdır. Kilitleme silindiri, kalıp yarımları kapanır kapanmaz devreye giren ve içerisinde hidrolik yağının sıkıştırılması ile pistonu iten ve kalıp kilitleme kuvvetini meydana getiren yapıdır. Dolum öncesi valf, hidrolik depolama tankı ve hızlı ilerleme silindiri arasındaki hidrolik yağı transferini kontrol eden sistemdir. Alçak ve yüksek basınç hidrolik pompaları, hızlı ilerleme silindiri ve kilitleme silindirine hidrolik yağı gönderen pompalardır. Üretilen parçanın kalıp dışına atılması ile çevrim başlar. İlk olarak dolum öncesi valfi devreye

girer. Böylece hidrolik tankı ve kilitleme silindiri arasındaki bağlantı kesilmiş ve hızlı ilerleme silindiri aktif hale getirilmiştir. Düşük basınç pompasının hidrolik yağı pompalaması ile hızlı ilerleme silindiri içerisindeki hidrolik yağı, silindiri ani bir hızla kapatmaya başlar. Hızlı ilerleme silindiri kalıp yarımları birbirleri ile temas edene dek devrede kalır. Temasın sağlanması yani kalıbın kapanmasıyla birlikte devreye yüksek basınç pompası girer. Yüksek basınç pompası, kilitleme kuvvetini oluşturur. Yüksek basınç pompasının devreye girmesi ile birlikte basınç sviçi enjeksiyon ünitesine sinyal gönderir. Böylelikle enjeksiyon ünitesinin görevine başlaması sağlanır. Daha sonra kalıp doldurulur, malzeme sıkıştırılır, soğutulur, parça dışarıya atılır ve çevrim tamamlanır.



Şekil 3.30 Hidrolik mengene ünitesi (Tlusty, 2000).

Mekanik mengene sistemlerinde gerekli mengene hareketleri ve kalıp kapama kuvveti, mekanik sistemin kinematığı sayesinde sağlanır. Küçük makinalarda tek blok makas mengene sistemi, büyük makinalarda ise dört noktadan çift blok veya beş noktadan çift blok sistemleri kullanılmaktadır (Akyüz, 2006). Burada kullanılan nokta sayıları ile bloğun etrafında hareket ettiği eksen sayıları kastedilmektedir. Tek ve çift bloklu sistemlerde mengenenin açılma ve kapanma hareketleri çift etkili silindirler ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.31 Mekanik mengene (Lahteenmaki, 2005).

Hidromekanik mengene sistemlerinde, hidrolik ve mekanik mengene sistemlerinin avantajlarının birleştirilmesi amaçlanmıştır. Tablo 3.1 de mengene sistemlerinin avantajları ve dezavantajlarının karşılaştırılmasını gösteren bir tablo görülmektedir.

Tablo 3.1 Tezgah mengene sistemlerinin karşılaştırılması (Akyüz, 2006).

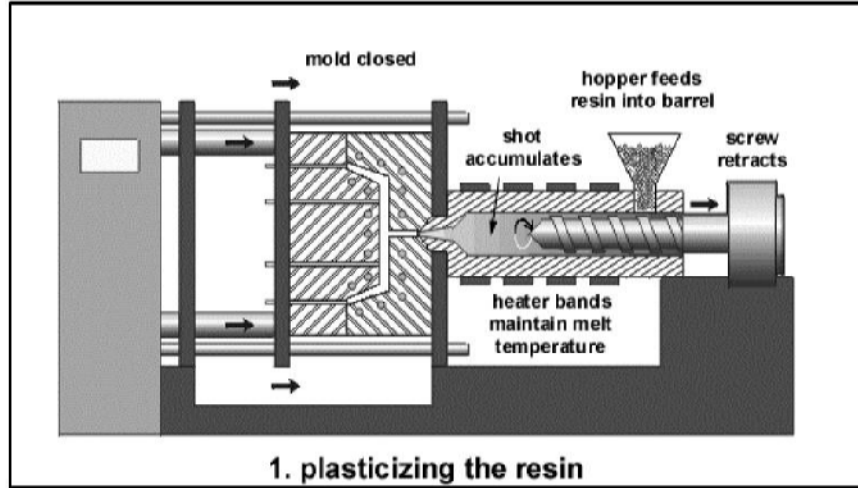
	Mekanik	Hidrolik	Hidromekanik
Enerji ihtiyacı	+	-	+
Emniyet	+	+	+
Mengene plakalarının stabilitesi	-	+	+
Mengene plakaları paralellliği	-	-	-
Mengene kilitleme kuvveti	+	+/-	+
Hareketin tekrarlanabilirliği	+	-	+
Kuvvetin tekrarlanabilirliği	-	+	+
Hız ayarlaması	-	+	+
Kapama zamanı	+	+	+
Açma kuvveti	+	-	-
Sağlamlık	+	-	-

Mengene ünitesinin çevrim içerisindeki görevi soğutulmuş parçanın dışarı atılması için kalıp yarımalarını açmasıyla son bulmaktadır. Soğutma işlemi kalıp içerisine açılmış olan kanallardan soğutucu akışkanın belirli bir süre zarfında geçirilmesi ile sağlanmaktadır ve kalıp tasarımı bölümünde daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Soğutma işlemi çoğunlukla, depoda muhafaza edilen soğutma suyunun tezgâh, kalıp ve depo arasında çevrimi ile gerçekleştirilmektedir. Tezgah dan kalıba su girişi kalıp ve tezgâh arasına bağlanan soğutma hortumları ile gerçekleştirilmektedir. Kalıbı terk eden su ise atık su hortumu ile depoya yönlendirilmek üzere tekrar tezgaha verilmektedir.

3.2.1 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Safhaları

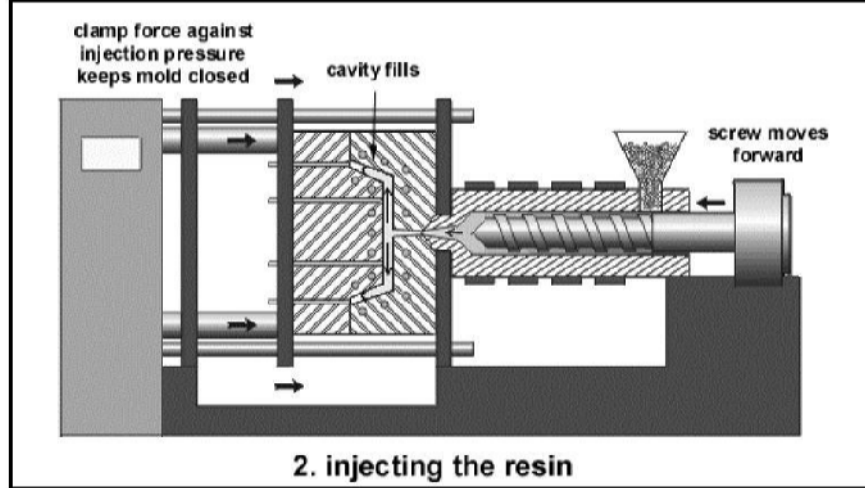
Enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan malzemelerin büyük bir bölümü termoplastik malzemeler oluşturmaktadır. Bu nedenle plastik enjeksiyon yöntemini anlatan kaynaklar incelendiğinde genellikle termoplastik malzemelerin enjeksiyonla kalıplanması anlatılarak bu yorum tüm enjeksiyonla kalıplama üzerine genelleştirilmektedir. Buna göre enjeksiyon işlemi dört ana bölümden oluşmaktadır. Bu safhalar plastikleştirme, enjeksiyon, soğutma ve çıkarma safhasıdır.

Plastikleştirme safhasında ilk olarak huniye yerleştirilen granül veya parça halindeki plastik malzeme helezona iletilir. Helezonun yaptığı dönme hareketi ile vida hatveleri arasına düşen plastik malzeme bobinlerle sarılarak ısıtılan silindir içerisinde öne doğru sürülür. Malzemenin öne sürülmesi ile malzeme erir ve karıştırılır. Dönme sonucu geri dönüşsüz çek valfden geçen malzeme helezon önünde birikmeye başlar. Birikme sonrası helezon eksenal olarak arkaya doğru ötelenir. Enjeksiyon için gerekli hacme erişildiğinde (helezon arka swiçine dokunduğunda) helezonun geriye ötelenme hareketi tamamlanmış, geri dönüşsüz çek valf kapanmıştır. Bu noktada helezonun dönme hareketi durur ve enjeksiyon safhasına hazır hale gelir.



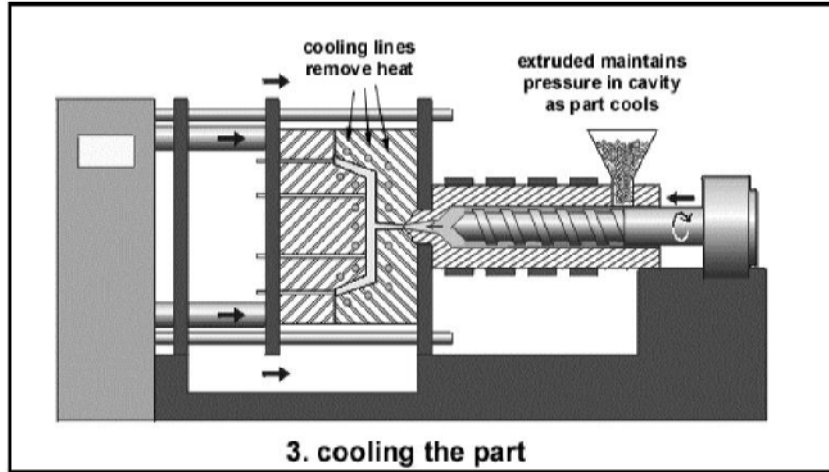
Şekil 3.32 Plastikleştirme safhası (Roach, Megyesye, Casto ve Barry, 2005).

Enjeksiyon safhasında, silindir içerisinde, meme ve geri dönüşsüz çek valf arasında biriktirilmiş erimiş plastik malzeme helezonun ileri doğru öteleme hareketi ile kalıp içerisine itilir. Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra malzeme tutma basıncıyla sıkıştırılır.



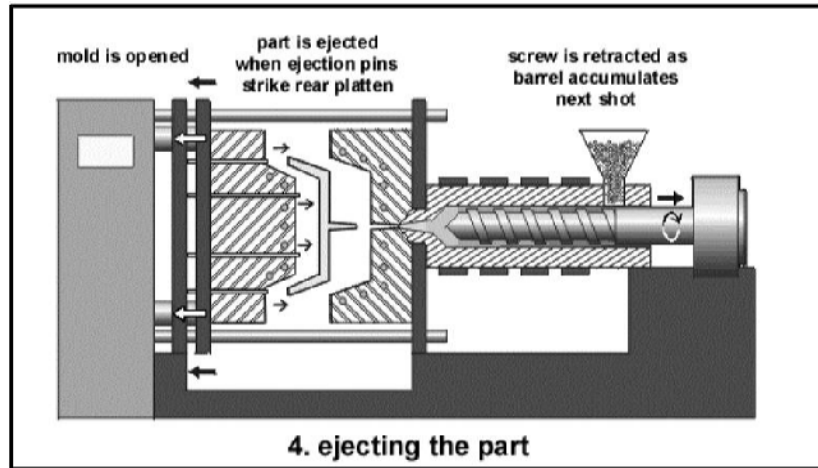
Şekil 3.33 Enjeksiyon safhası.

Soğutma safhasında kalıp içerisindeki malzeme kalıp soğutma sistemi vasıtasıyla soğutulur. Aynı zamanda helezon dönme hareketine başlar ve bir sonraki çevrimi için gerekli plastik malzemeyi geri dönüşsüz çek valf ve meme arasına biriktirmeye başlar.



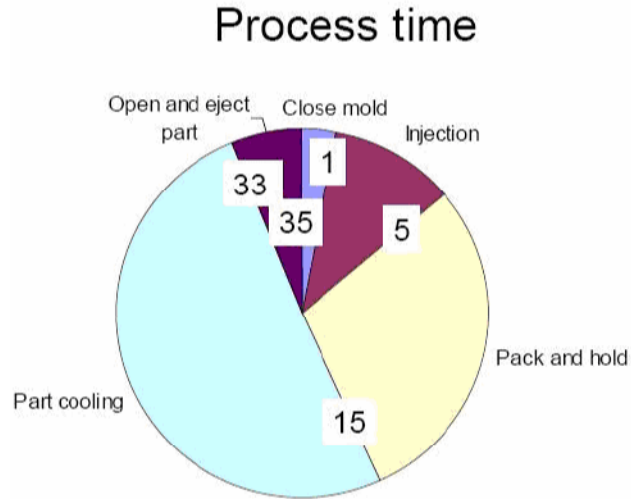
Şekil 3.34 Soğutma safhası.

Çıkarma safhasında yeterince soğutulmuş parça, mengene ünitesinin açılması ile birlikte, kalıp itici sisteminin devreye girmesi sonucu dışarı atılır. Bu safha süresince aynı zamanda helezon geriye doğru yaptığı aksenel hareketi tamamlamış ve enjeksiyon safhasına hazır hale gelmiştir. Mengene ünitesinin ürün atıldıktan sonra kalıbı kapatmasıyla kalıp yarımları kapanmaya başlar. Kalıp yarımları birbirine dokunur dokunmaz enjeksiyon safhası devreye girer.



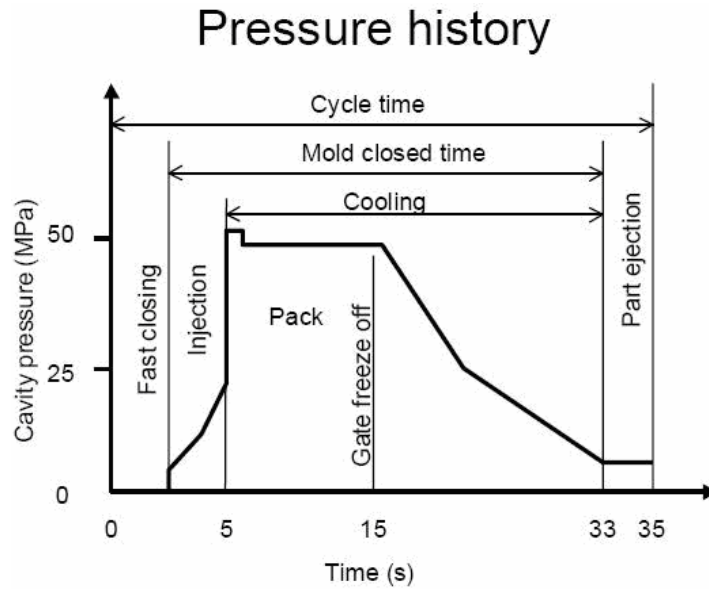
Şekil 3.35 Çıkarma safhası.

Üründen ürüne farklılık göstermekle birlikte enjeksiyon yöntemi ile üretim işlemi için çevrim süresinin safhalara göre dağılımı şekil 3.36’da görülmektedir.



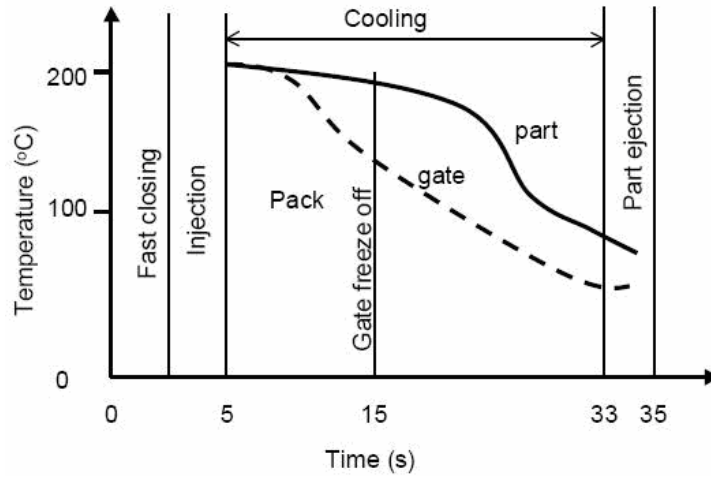
Şekil 3.36 Enjeksiyon işlemi çevrim süresinin safhalara göre yaklaşık olarak dağılımı (<http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/injection.pdf>).

Enjeksiyon işleminin safhalarında basınç ve sıcaklıkta değişiklikler görülmektedir. Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de çevrim süresi boyunca basınç ve sıcaklığın değişimi görülmektedir.



Şekil 3.37 Çevrim boyunca meydana gelen basınç değişimi (<http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/injection.pdf>).

Temperature history



Şekil 3.38 Çevrim boyunca meydana gelen basınç değişimi
(<http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/injection.pdf>).

Termoset malzemelerin kalıplanması termoplastik malzemelerin kalıplanması kadar kolay değildir. Son on yıl içerisinde enjeksiyon kalıplamayla kıyaslandığında, basınçla kalıplama tekniklerindeki hızlı gelişmeler termoset malzemelerin şekillendirilmesinde yeni bir dönemi başlatmıştır (Nunnery, 2005). Tekniklerin gelişmesi ile termoset işleyen endüstride produktivite ve kalite artışı sağlanmış ve termoset malzemelere olan ilgi artmıştır. Fakat termoplastiklerin kalıplanması ile karşılaştırıldığında termoplastik kalıplama hala daha fazla ısı enerjisinin tüketildiği, daha verimsiz bir yöntemdir. Yöntemin verimsizliği termoplastik malzemelerin geri dönüşümsüz malzemeler olmasından kaynaklanmaktadır. Termoplastik ürünlerin kalıplanması sırasında meydana gelen üretim hataları sonrası oluşan hurda parçalar ve parçaların kalıplanması sırasında yolluk ve dağıtıcılarda meydana gelen artık malzemeler termoplastik malzemeler gibi ergitilip yeniden kalıplanamamaktadır. Bunun sebebi termoset malzemelerin kalıplanması sırasında makromoleküller arasında meydana gelen çapraz bağlardır. Çapraz bağlar termoset malzemelerin tekrar kalıplanabilmesi için ısı enerjisi ile şekillendirilmesine izin vermemektedir. Bu nedenle termoset malzemelerin kalıplanılmasında kullanılan tüm makina ve ekipmanlar, vaktinden önce makro moleküller arasında çapraz bağların oluşumunu engellemek için özel olarak modifiye edilmişlerdir. Termoset malzeme kalıplamada kullanılan tezgahların helezonu ve silindiri daha kısadır (Medraj, 2004). Ayrıca

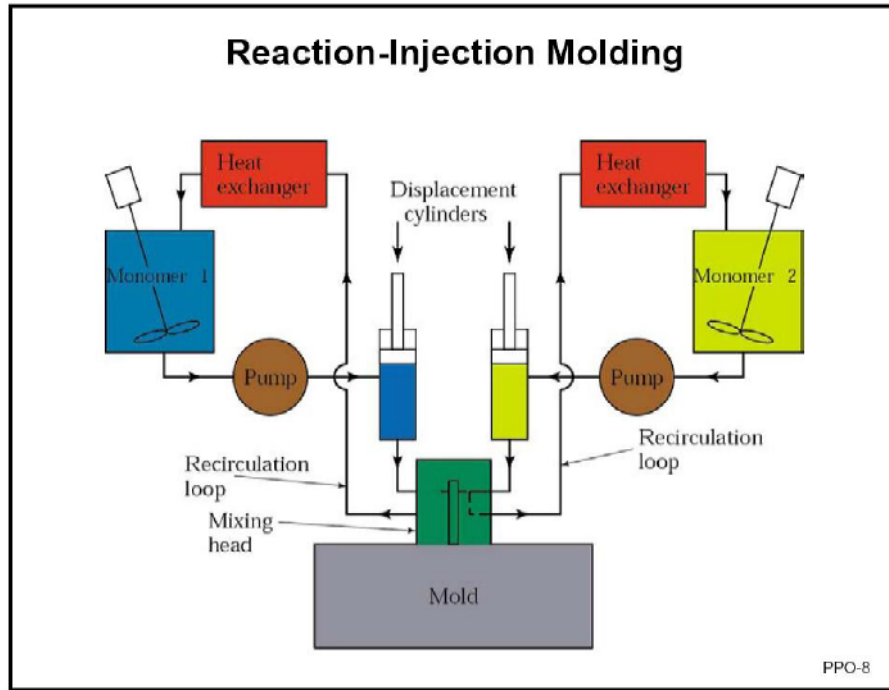
silindir içerisine termoplastik malzemeleri ergitme için daha az ısı enerjisi verilmektedir. Hatta çoğu uygulamada silindirde meydana gelen ısı artışıını engellemek için silindir dışından soğutma ceketini ile soğutma yapılmaktadır.

Termoset malzemelerin kalıplanması, hunideki malzemenin enjeksiyon ünitesine alınması ile başlar. Helezonun dönme hareketi sırasında meydana gelen sürtünme kaynaklı ısı enerjisi ve soğutma ceketiniyle belirli bir sıcaklıkta tutulan silindirden elde edilen ısı enerjisi, malzemenin eritilmesini sağlar. Eritilen malzeme daha sonra soğuk yolluk manifoldu ile soğutulan yolluk burcuna ve dağıtıcılara yönlendirilerek, ısıtma sistemiyle ısıtılan kalıp boşluklarına dolması sağlanır. Kalıp boşluklarına dolan malzemeye yüksek ısı enerjisi verilerek makromoleküller arasında çapraz bağların oluşması sağlanır. Çapraz bağların oluşması için gerekli srenin tamamlanması sonrası kalıp, mengene nitesi yardımı ile açılarak şekillendirilmiş plastik parça kalıp dışına itilir. Böylelikle evrim tamamlanmış olur. Çapraz bağların oluşma zamanının çok önemli olması nedeniyle, termoset malzeme kalıplarındaki basınç ve sıcaklık değerlerinin kontrolü çok önemlidir.

3.2.2 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle retim eşitleri

Plastik malzemeler ve teknolojidaki gelişmeler plastik enjeksiyon yönteminin sürekli olarak gelişimini sağlamış ve günümüzde bu nedenle farklı plastik enjeksiyon yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

3.2.2.1 Reaksiyonlu Enjeksiyon Kalıplama



Şekil 3.39 Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplamanın şematik gösterimi (http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme2/10_ProcessPolim.pdf).

Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama yönteminde iki veya daha fazla reaktif akışkan malzemenin karışımı hızlı bir şekilde kalıp boşluğuna enjekte edilir. Kalıp içerisinde hızlı bir polimerizasyon reaksiyonu meydana gelerek polimer malzemenin katılaşması sağlanır. Enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle termoset moleküler yapıya sahip plastik parçalar üretilir. Bu yöntemle üretilen poliüretan gibi termoset parçaların, yoğun bir cidarı buna karşılık köpüklü bir içyapısı vardır (Kalpakjian ve Schmid, 2003). Bu yöntem; büyük otomotiv parçaları, buzdolabı ve dondurucuların izolasyon parçaları gibi büyük parçaların düşük kalıp kilitleme kuvvetlerinde üretilebilmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. Poliüretandan üretilen tamponlar ve çamurluklar bu uygulamanın güzel örnekleridir.



Şekil 3.40 Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama makinesi
(http://zjaoli.enalibaba.com/product/50071104/50325788/Low_Pressure_Reaction_Injection_Machines/Low_Pressure_Reaction_Injection_Machine.html).

3.2.2.2 Çoklu Enjeksiyon Kalıplama

Çoklu enjeksiyon kalıplama yöntemi termoplastik malzemelerin kalıplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Adından da anlaşıldığı gibi en az iki farklı termoplastik malzeme tek bir ürünün kalıplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde polimer malzemeler eş zamanlı veya sırayla bir veya daha fazla kalıba enjekte edilirler. Bu işlem tek makinada birden fazla enjeksiyon ünitesi olmasını gerektirdiği için pahalı bir üretim yöntemidir. Çoklu enjeksiyon kalıplama, sandviç ve Be-injection (kademeli) olmak üzere iki gruba ayrılır (Groover, 2002).

Sandviç kalıplama enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemine benzemektedir. Bu yöntemde biri içten diğeri dıştan, iki farklı polimer aynı anda akışı özel olarak kontrol edilen nozıldan kalıp içerisine yönlendirilmektedir. Bu sayede kalıplanan malzemenin dış yüzeyi, dıştan gelen polimerin özelliklerini gösterirken iç yüzeyi, içten gelen polimerin özelliklerini göstermektedir. Bu yöntemle üretilen ürünlerin dış yüzeyleri, enjeksiyonla köpük kalıplama ile üretilen ürünlerin yüzeylerinden çok daha hassastır (Groover 2002).

Diğer çoklu enjeksiyon kalıplama yöntemi olan kademeli kalıplama yönteminde ise iki farklı renkli polimer malzeme sıra ile iki-pozisyonlu kalıp içerisine enjekte edilir. İlk polimer malzeme kalıbın birinci pozisyonundaki boşluğuna enjekte edilirken, ikinci malzeme kalıbın ikinci pozisyonuna enjekte edilmektedir. Böylece farklı iki renkli plastiğin bölgesel olarak birleşmesinden meydana gelen bir ürün oluşturulmaktadır. Aynı parçanın farklı kesitlerinde farklı mekanik özelliklerin bulunduğu bir yapı oluşmaktadır. Şekil 3.41’de çoklu plastik enjeksiyon yönteminde kullanılan makina, Şekil 3.42 de bu yöntemle üretilmiş plastik boru şeklindeki parçalar görülmektedir.



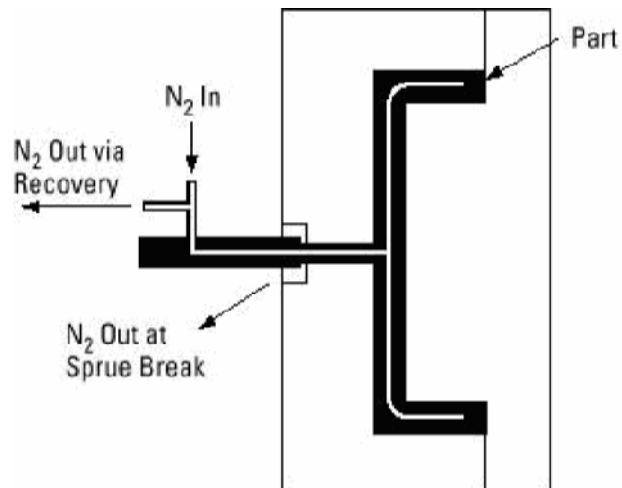
Şekil 3.41 Çoklu enjeksiyon kalıplama makinası (<http://www.arburg.com/com/COM/en/index.jsp>).



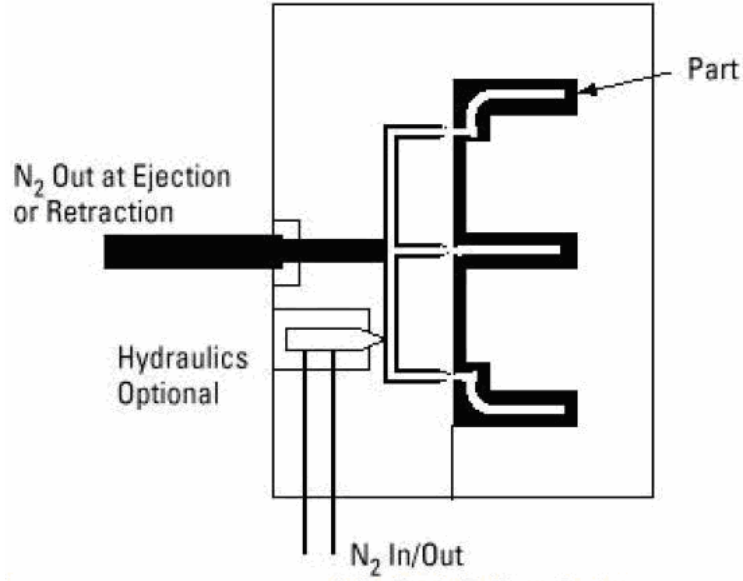
Şekil 3.42 Çoklu enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş parçalar (http://www.plastictrends.com/products/img/main_h_series.jpg).

3.2.2.3 Gaz Destekli Enjeksiyon Kalıplama

Gaz enjeksiyon kalıplama, konvansiyonel enjeksiyon makinalarına yardımcı gaz ünitesinin eklenmesiyle oluşturulan bir enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Geleneksel enjeksiyon teknolojisindeki erimiş plastik malzeme, gaz ünitesindeki bir kompresör yardımıyla gönderilen basınçlı nitrojen gazı ile kalıp içerisinde yönlendirilir. Kullanılan gaz büyük çoğunlukla plastik malzemeler ile tepkimeye girmeyen azot gazıdır. Azot gazı kalıp içersine iki yolla sevk edilir bunlardan ilki nozle içersinden diğeri nozle dışındandır.



Şekil 3.43 Azot gazının nozle içersinden parçaya sevk (http://kbam.geampod.com/KBAM/Reflection/Assets/8655.pdf).

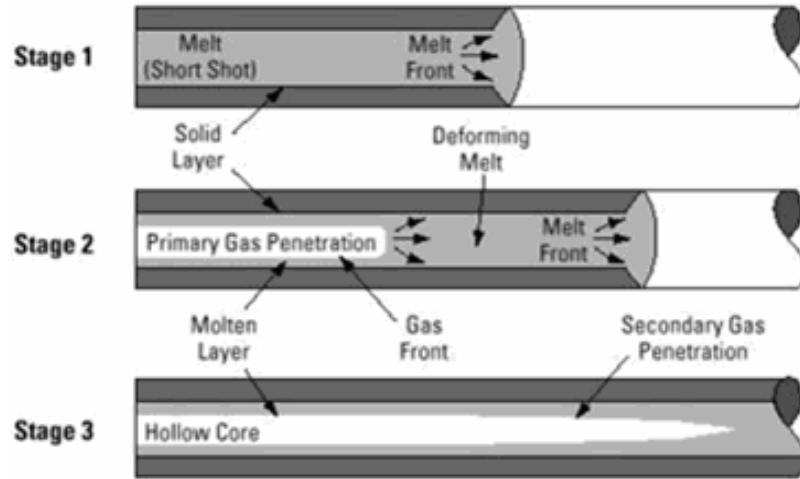


Şekil 3.44 Azot gazının nozle dışından parçaya sevkı
(<http://kbam.geampod.com/KBAM/Reflection/Assets/8655.pdf>).

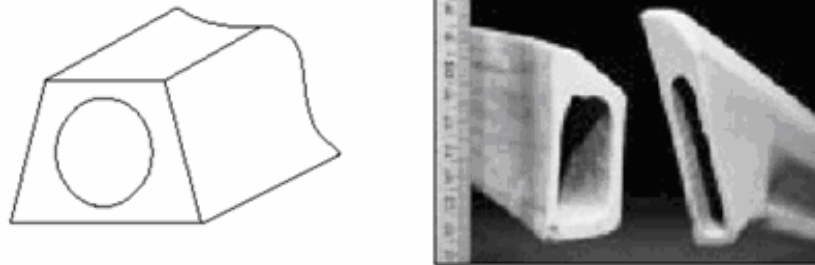
Gaz yardımıyla enjeksiyon kalıplamanın klasik enjeksiyon kalıplamaya olan üstünlüklerinin başında malzemenin 800Psi varan yüksek sıkıştırma basıncı altında, donmadan kalıp içerisinde daha uzak noktalara kadar iletilebilmesi gelmektedir. Ayrıca bu yöntem sayesinde karmaşık geometriye sahip parçalar daha yüksek ölçü tamlıklarında üretilebilmektedirler. Kalın kesitlere yerleştirilmiş olan gaz boşlukları, kanallardaki yüksek basınç sayesinde kalıplama sonrası çekme dolayısıyla oluşan çökmeleri önlemektedir.

Kalıp tasarımının başarısı bu yöntemin etkinliğini büyük oranda etkilemektedir çünkü enjeksiyon işleminden sonra kalıp içerisine yönlendirilen gaz, kalıp içerisine açılmış özel kanallar aracılığı ile tüm kalıba yönlendirilmektedir. Bu ifadeyi biraz daha açmak gerekirse kalıp içerisine açılmış geniş yönlendirme kanallarından plastik malzeme akar iken, basınçlı gaz plastik malzemenin içine yönlendirildiğinde plastik malzemenin en kolay şekil alabilen ve soğumuş çepere nazaran daha yüksek sıcaklıktaki orta kesitinden sıvı malzemeyi çepere doğru sıkıştırarak ilerlemektedir. Merkezdeki gaz kabarcığının çapının genel olarak 0.05” olması hedeflenir çünkü daha büyük çapa sahip olan gaz kanallarının etrafındaki plastik malzemeye uygulayacağı basınçta az olacaktır.

Bu yöntem ile tüp ve panel şeklindeki ürünler başarılı bir şekilde kalıplanabilmektedir.



Şekil 3.45 Gaz enjeksiyon yönteminde kanal içerisinde plastik malzeme akışı (<http://kbam.geampod.com/KBAM/Reflection/Assets/8655.pdf>).

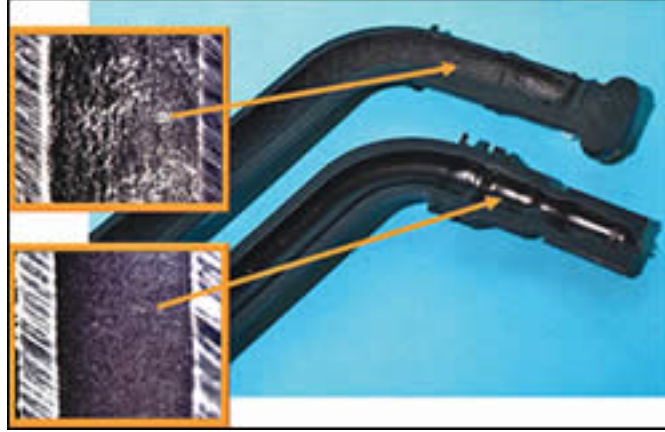


Şekil 3.46 Gaz enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan parçaların kesitleri (<http://kbam.geampod.com/KBAM/Reflection/Assets/8655.pdf>).

3.2.2.4 Su Destekli Enjeksiyon Kalıplama

Yaklaşık olarak beş yıldır kullanılan su destekli enjeksiyon kalıplama yöntemi, gaz destekli enjeksiyon kalıplama yöntemine benzer bir çalışma mantığına sahiptir. Su destekli enjeksiyon kalıplama yönteminde sıkıştırma işlemi gaz destekli enjeksiyon kalıplama sisteminden farklı olarak su ile yapılmaktadır. Bu yöntem genellikle içi boş parçaların kalıplanmasında kullanılır. Soğutma çevriminde %70'e varan zaman tasarrufu sağlamasıyla üretimde kalite ve prodüktivite artışı

sağlamaktadır (Knights, 2007). Bu yöntemde sıkıştırma kanalı içerisindeki yüzey, gaz sıkıştırma kanalı içerisindeki yüzeye göre çok daha pürüzsüzdür (Knights, 2007). Bu nedenle üretilen parçaların çentik etkisine karşı mukavemetleri daha yüksektir.



Şekil 3.47 Gaz enjeksiyon ve su enjeksiyon yöntemleri ile oluşturulan parçalara ait kesitler (Knights, 2007).

Günümüzde sağlanmış olan gelişmeler ile, küçük parçalardan büyük parçalara, karmaşık şekilli parçalara, kalın ve ince kesitli parçaların kalıplanmasına kadar bir çok alanda bu yöntem kullanılabilmektedir. Bu yöntem ile kalın kesitli parçaların başarı ile kalıplanabilmesi yöntemin otomotiv endüstrisinde giderek artan bir kullanım alanına sahip olmasına neden olmaktadır.



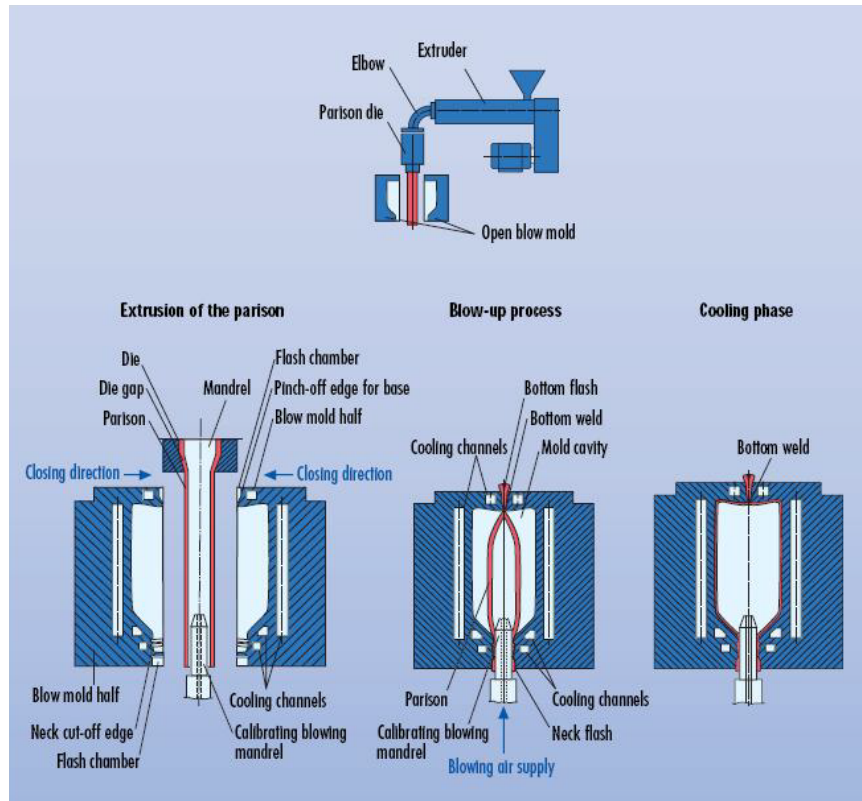
Şekil 3.48 Su enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş parça
(Knights, 2007).

3.3 Şişirme Kalıplama

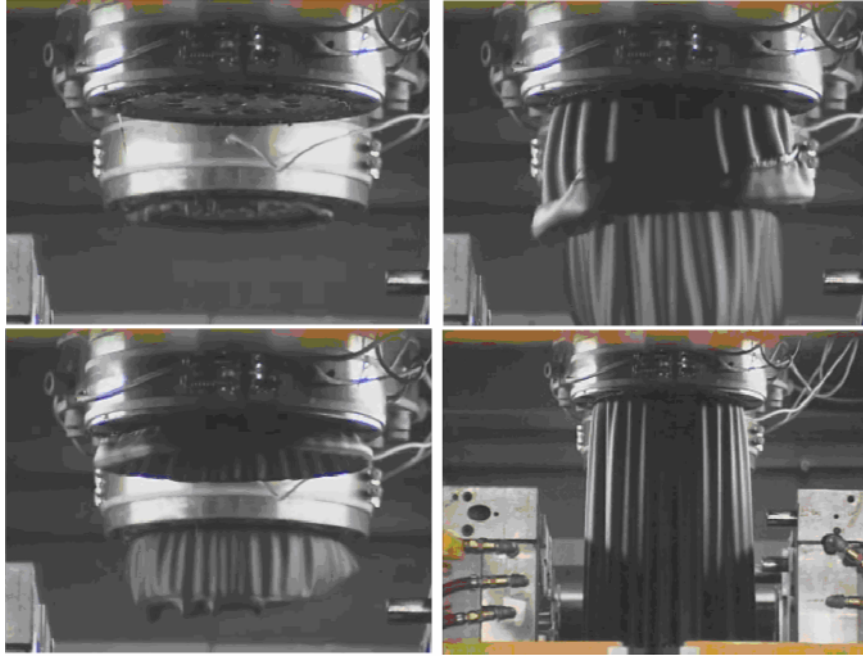
Şişirme kalıplama ve döner kalıplama benzer geometriye sahip parçaların üretilmesinde kullanılan iki farklı plastik şekillendirme yöntemidir. Şişirme kalıplama ve döner kalıplama yöntemi genellikle toz veya sıvı malzemeleri muhafaza etmek için kullanılan plastik ürünlerin şekillendirilmesinde kullanılır. Şişirme kalıplama döner kalıplamayla kıyaslandığında küçük hacimli ve ince cidarlı depolama ürünleri için daha verimli ve ekonomik bir yöntemdir fakat zorunlu kalındığında büyük hacimli ürünler içinde kullanılabilir. Şişirme kalıplama yönteminde termoplastik malzemeler kullanılmasına karşın, döner kalıplama yönteminde hem termoplastik hem termoset malzemeler kalıplanabilmektedir. Şişirme kalıplama yönteminde amorf ve yarı kristaline yapıya sahip malzemeler kolay kalıplanabilmesine rağmen, naylon gibi yüksek kristalinite derecesine sahip plastikler oldukça zor kalıplanmaktadır. Şişirme kalıplama yönteminde en çok kullanılan termoplastik malzemeler; polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), Polietilen teraftalat (PET) dir. Bu yöntem ile tek kullanımlık sıvı depolama kapları, sıvı ve toz malzemeler için 55 galona kadar taşınabilen depolama üniteleri, 2000

galona kadar büyük benzin tankları ve yelkenli ve küçük botların gövdeleri üretilmektedir.

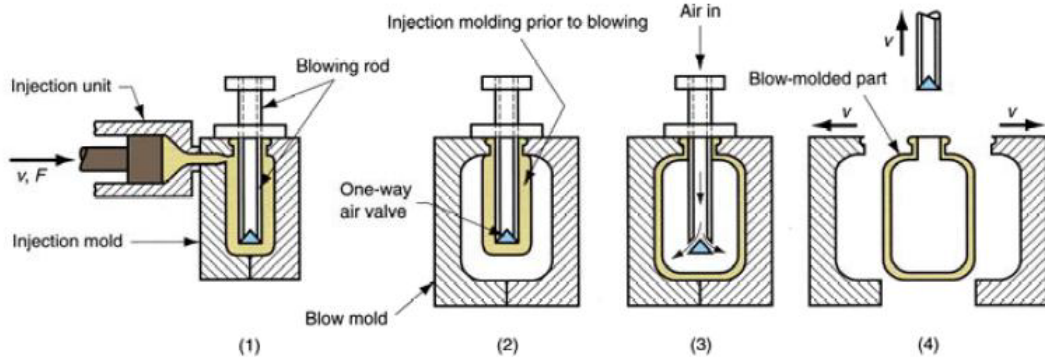
Yöntem genel olarak iki aşamadan oluşur. İlk aşama “parison” denen içi boş tüp şeklindeki plastik malzemenin elde edilmesidir. İkinci aşama ise bu yumuşatılmış malzemeye son şeklini vermekten ibarettir. Son şekil verme işlemi 350-700kPa (50-100psi) basınçtaki hava ile yapılır. İlk aşama iki şekilde gerçekleştirilir, ekstrüzyon ve enjeksiyon. Yöntemde kullanılan kalıp insörtleri genellikle alüminyum, seyrek olarak pirinçten, diğer elemanları ise çelikten imal edilir. Kullanılan kalıplar, diğer şekillendirme yöntemleri ile kıyaslandığında daha ucuzdur. Şekil 3.49 ve Şekil 3.52 arasındaki şekillerde şişirme kalıplama yöntemi çeşitleri görülmektedir.



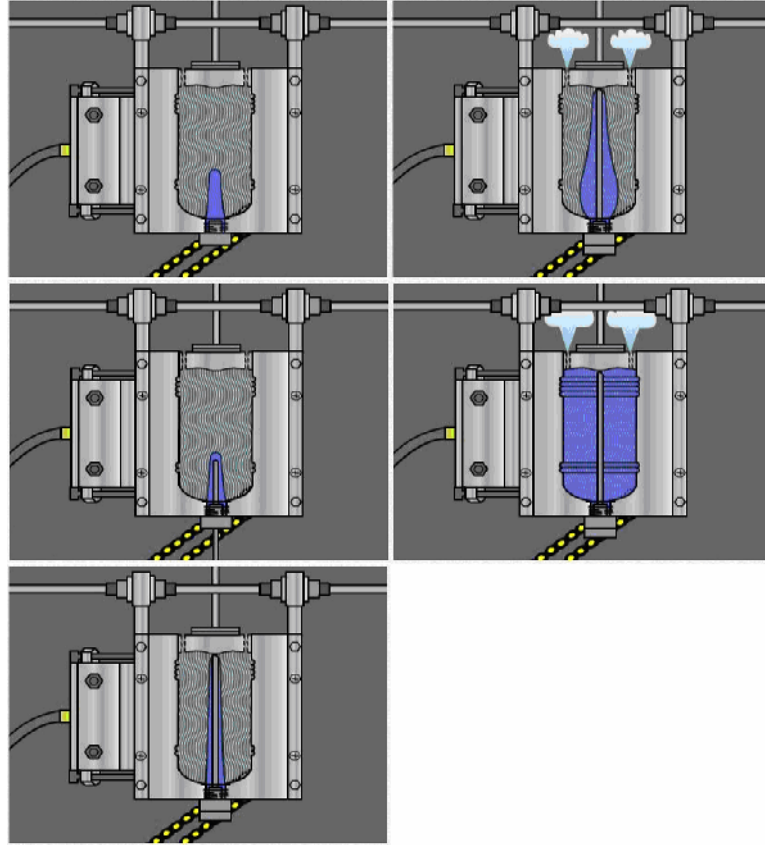
Şekil 3.49 ekstrüzyon şişirme yöntemi prensibinin şematik gösterimi (<http://tpe-u.de/tpu/emea/en/docguard/A1147.pdf?docId=47385>).



Şekil 3.50 Çok katmanlı ekstrüzyon şişirme kalıplama (<http://www.sme.org/cgi-bin/get-item.pl?DV03PUB21&2&SME&>).



Şekil 3.51 Enjeksiyon şişirme kalıplama işleminin şematik gösterimi (Medraj, 2004).



Şekil 3.52 Germeli enjeksiyon kalıplamanının şematik gösterimi
(<http://www.pct.edu/prep/bm.htm>).

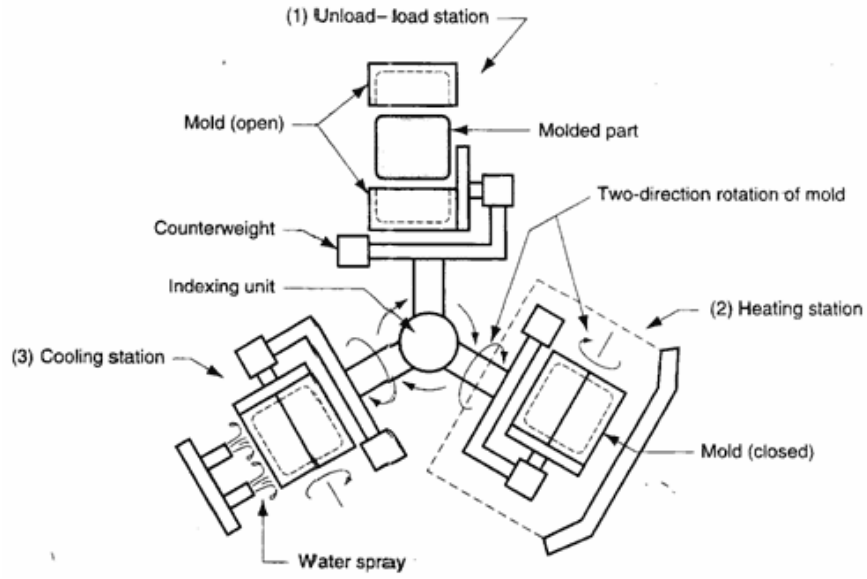
3.4 Döner Kalıplama

Döner kalıplama öngörülen büyüklük ve biçimlerde, eksiz, içi boş ve sağlam yapılı plastik ürünlerin yapılması için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemin aslı kuru ve eriyebilir toz halindeki plastiğin bir veya daha çok ekseni etrafında dönen kalıp iç yüzeyinde sıvı haline dönüştürülmesi ve soğutulmuş biçimlendirilen parçanın dışarı alınmasından ibarettir. Bu yöntemle termoplastik, termoset ve elastomer malzemeler kalıplanabilmektedir. Bu üç plastik malzeme grubu içerisinde bu yöntemin en geniş kullanım alanı termoplastik malzemelere aittir. Döner kalıplama yöntemi, eksiz fakat karmaşık görünümlü dış yapıya sahip parçalarda, büyük hacimli parçalarda ve düşük üretim miktarı istenen parçalar için şişirme kalıplama yöntemine tercih edilmektedir. Döner kalıplama yöntemi dört adımdan oluşur. Birinci aşamada miktarı önceden belirlenmiş toz halindeki malzeme kalıp içerisine konularak kalıp kapatılır. İkinci aşamada kalıp ısıtılarak birbirine dik iki

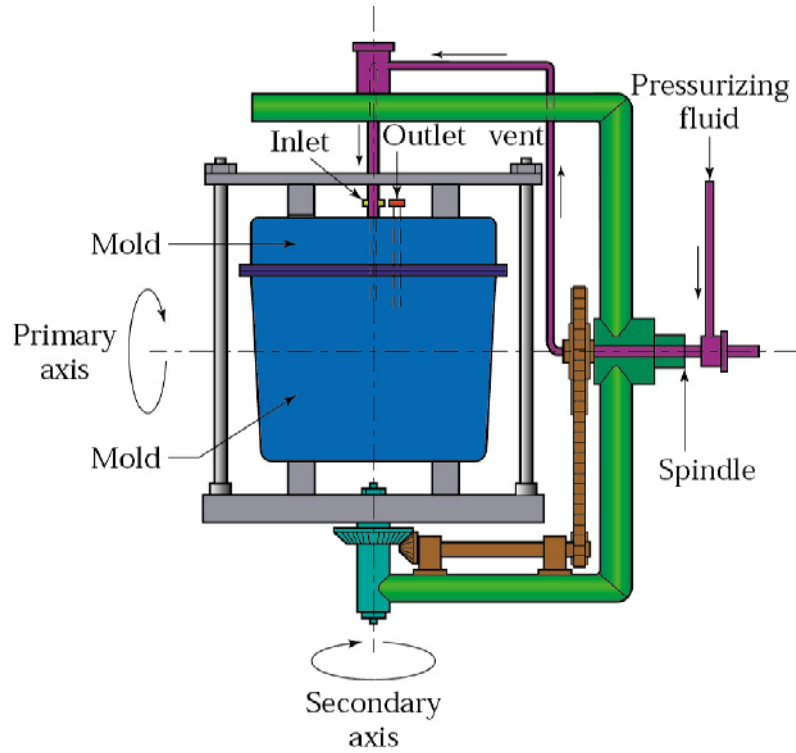
eksen etrafında döndürülür. Merkezkaç kuvvetiyle oluşan basınç malzemenin kalıp cidarının şeklini almasını, dengeli bir biçimde eriyen malzemenin kalıp cidarlarına yayılmasını sağlamaktadır. Üçüncü aşamada dönme işlemi hala devam ederken kalıp soğutulur ve kalıp içindeki malzeme dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru soğumaya başlar. Son aşamada kalıp açılarak şekillendirilen parça dışarı alınır.

Döner kalıplama enjeksiyon ve şişirme işlemlerine göre çok daha basit ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen, on dakika ve daha uzun çevrim sürelerine sahiptir. Bu avantaj ve dezavantajlarını dengelemek için döner kalıplama tezgâhları, aynı anda birden fazla kalıpta üretim yapabilecek şekilde tasarlanırlar. Döner kalıplama tezgahlarının istasyon sayıları değişken olmakla birlikte genel olarak üç istasyonlu makinalar kullanılmaktadır. Bu makinalarda tüm istasyonlardaki kalıplar aynı anda çalışırlar. İlk istasyon toz malzemenin kalıp içerisine konulup, üretimi tamamlanmış olan ürünün çıkarıldığı ünitedir. İkinci istasyon malzemenin eritilerek kalıp yüzeyini şeklini aldığı ünitedir. Bu istasyonda ısıtma işlemi sıcak buhar yardımıyla yapılmaktadır. Ünite içi sıcaklık yaklaşık 375C° civarındadır. Üçüncü istasyon ise soğutmanın yapıldığı ünitedir. Bu üniteye spreyci şeklinde su veya soğuk hava kalıbın soğutulması için kullanılır. Döner kalıplama makinasının üç koluna bağlanan kalıplar sırasıyla bu istasyonlara teker teker alınarak yukarıda bahsedilen işlemler uygulanmaktadır.

Bu yöntem ile 12 m³ hacme kadar parçalar üretilebilmektedir. Et kalınlığı olarak en az 0.4mm kalınlığa sahip parçalar şekillendirilebilmektedir (<http://www.egr.uri.edu/ime/Courses/ime240/Polymer%20processing.ppt>). Parçanın dış yüzey pürüzlülüğü kalıbın yüzeyi ile aynıdır. Bu yöntemle oldukça farklı ürünler üretilebilmektedir. Bunlara örnek olarak; oyuncak atlar, toplar, tekne ve kano gövdeleri, küçük yüzme havuzları, büyük depolama tankları, kamyon gövde parçaları, motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt depoları, vb. verilebilir. Bu yöntemde en çok kullanılan malzemeler başta polietilen özellikle (HDPE) olmak üzere, polipropilen (PP), ABS ve yüksek etkili polistrendir (Groover, 2002).



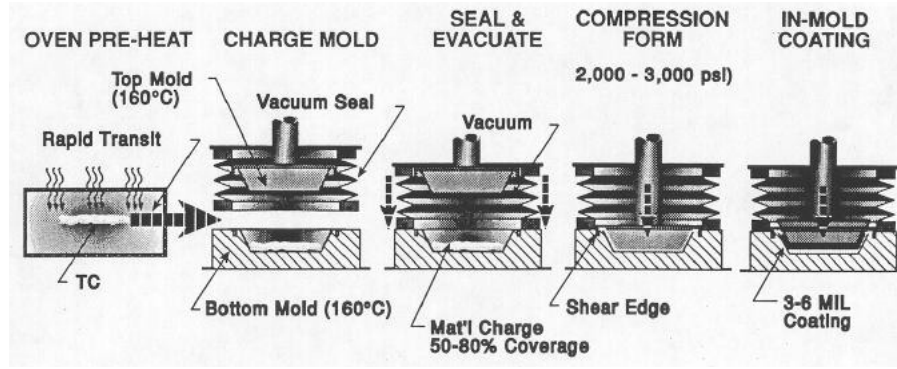
Şekil 3.53 Döner kalıplama işlemi safhalarının şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/images/blowMolded6.gif>).



Şekil 3.54 Döner kalıplama istasyonu (<http://www.egr.uri.edu/ime/Courses/ime240/Polymer%20processing.ppt>).

3.5 Basınçla Kalıplama

Basınçla kalıplama yöntemi termoset malzemelerin kalıplanmasında en eski ve en geniş kullanım alanına sahip kalıplama yöntemidir. Termoset malzemelerin yanında az bir orana sahip olsa da, basınçla kalıplama yöntemi termoplastik ve elastomer malzemelerin kalıplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde kalıplama malzemesi olarak toz, kütük, sıvı, ön şekil verilmiş parça şeklindeki malzemeler kullanılabilir. Termoset malzemeleri basınçla şekillendirme yöntemi, bir ön işlem ve dört adımdan oluşmaktadır. Ön işlem termoset malzemenin çapraz bağ oluşum sıcaklığının yaklaşık olarak 50C° altında bir ön ısıtmaya tabi tutma işlemidir. Bu sıcaklıkta malzeme yumuşatılmakta ve malzemenin kalıp boşluğunu doldurması için uygulanan basıncın düşürülmesi sağlanmaktadır. Yumuşatma işlemi ocak içerisinde veya dıştan ısıtılan bir silindir içerisinde vida ile çevrilerek yapılmaktadır. Bu eski imalat yönteminde kullanılan ön ısıtma sistemi bugün kullanılan modern enjeksiyon tezgahlarının ilk atalarıdır. Ön ısıtma aşamasından sonraki ilk adım kalıplanacak malzemenin kalıp içerisine yerleştirilmesidir. Yerleştirme işlemi öncesi malzemenin kalıbı tam olarak doldurabilmesi veya taşarak çapak oluşturmaması için malzeme miktarı hesap edilmelidir. İkinci adım basınç uygulanarak malzemenin kalıp boşluğunu doldurması için zorlandığı adımdır. Basınç malzemenin akmasını ve kalıp boşluğunun şeklini almasını sağlar. Basınç değeri bu adımda 1400-2200psi arasında değişmektedir. Bu adımda dikkat edilmesi gereken noktalar kalıp yarımlarının tam olarak merkezlenmiş olması ve basıncın büyüklüğünün hesaplanmasıdır. Basınç değerinin gereğinden fazla olması kalıba zarar verebilir. Üçüncü adım ise kalıp boşluğunu dolduran malzemeyi, kalıp vasıtasıyla çapraz bağ oluşum sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta belirli bir süre bekletme adımıdır. Bu adımda kalıp sıcaklığı malzemenin sınıfına ve cinsine göre değişmekle birlikte, genel olarak termoset malzemeler düşünüldüğünde 200C° ve üzerinde bulunur. Isıtma işlemi kızgın yağ sirkülasyonu, elektrik rezistansları veya kızgın buhar aracılığı ile yapılmaktadır. Dördüncü ve son adım ürünün kalıp dışına atılması adımıdır. Şekil 3.55 de bu adımlar görülmektedir.

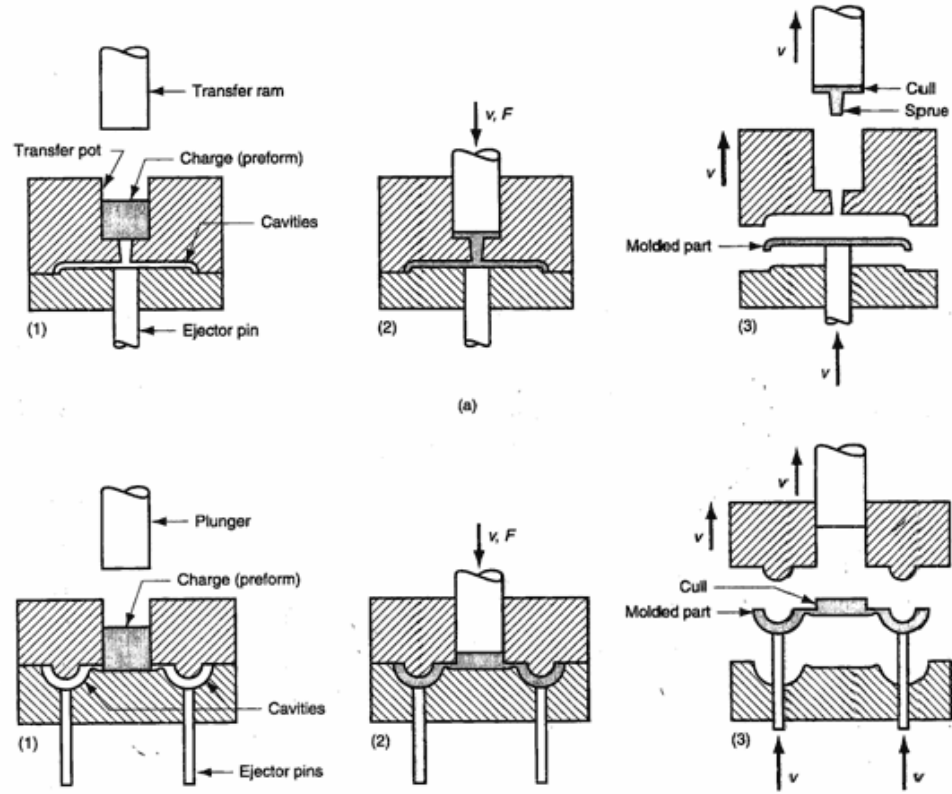


Şekil 3.55 Sıcak basınçla kalıplama yöntemi adımlarının şematik gösterimi (<http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/tpproc.pdf>).

3.6 Transfer Kalıplama

Transfer kalıplama basınçla kalıplamanın gelişmiş bir versiyonudur. Bu yöntemde ilk olarak termoplastik malzeme kalıp boşluğu üzerinde ısıtılan bir hacme alınır daha sonra yumuşayan polimer malzeme basınç uygulanarak zorlanmak suretiyle, ısıtılan kalıp boşluğuna doldurulur ve burada bir müddet beklenerek çapraz bağların oluşması sağlanır. Malzemenin kalıp içerisinde sıkıştırılma basıncı 43000 psi'a kadar ulaşabilir. Yüksek ölçü tamlığında, kompleks geometriye sahip parçalar üretilebilir. Üretim maliyeti basınçla kalıplamadan yüksek, enjeksiyon kalıplamaya yakındır.

Bu işlemin iki farklı uygulama çeşidi vardır. Bunlardan ilki kap transfer kalıplamadır (pot transfer molding). Bu yöntemde ısıtma odasındaki yumuşamış termoset malzeme, bir piston vasıtasıyla direk kalıp boşluğuna açılan düşey yollukla kalıp boşluğuna enjekte edilir. İkinci yöntem pistonlu transfer kalıplama denilir. Malzeme ilk önce yolluğa daha sonra yatayda açılan ve “cull” denilen dağıtıcılara, buradan da bir giriş vasıtası ile kalıp boşluğuna enjekte edilmektedir. Şekil 3.56 da bu yöntemlere ait adımlar görülmektedir.



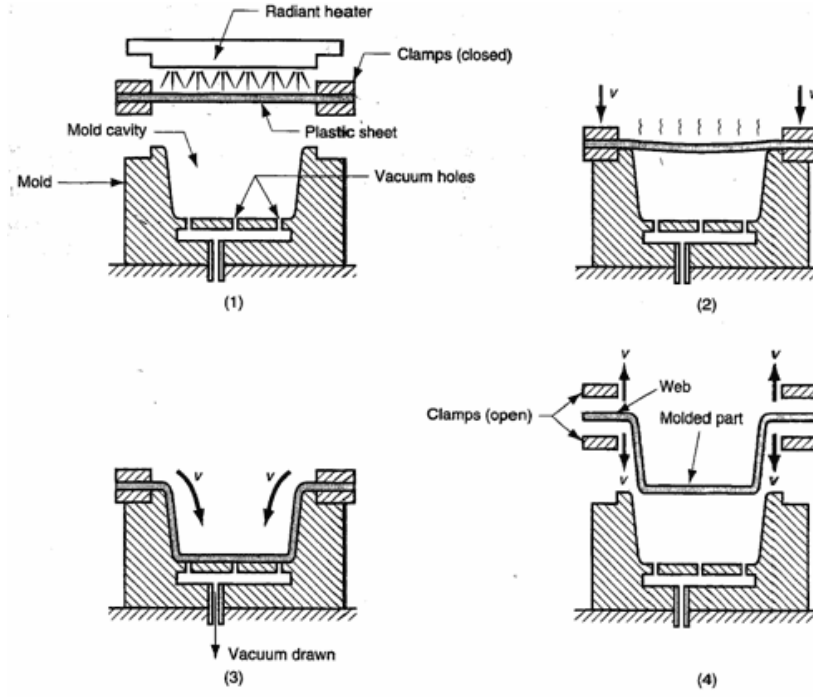
Şekil 3.56 Kap pistonlu transfer kalıplama yöntemi adımlarının şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/images/compressionTransfer2.gif>).

Bu yöntemde kullanılan malzemeler basınçla kalıplamada kullanılan malzemelerle aynıdır ek olarak silikon, kauçuk ve elastomer malzemelerde bu yöntemde sıklıkla kullanılan malzemeler içerisinde girmektedirler. Tipik kullanım alanları elektrik elektronikte kullanılan parçalardır.

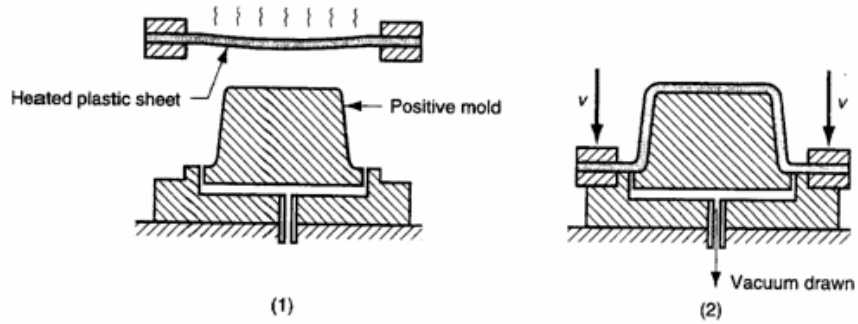
3.7 Isıyla Şekillendirme

Isı ile şekillendirme yöntemleri, düz levha ve film şeklindeki termoplastik malzemelerin kalıplanmasında kullanılan yöntemlerdir. Gıda maddelerinin paketlenmesinden küvet imalatına, motor gövde elemanlarının üretiminden buzdolabı iç yüzeylerinin imalatına kadar oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem temel olarak iki adımdan meydana gelir. Bunlardan ilki ısıtma ikincisi şekillendirmedir. Isıtma işlemi plastik malzemenin yaklaşık olarak 125mm uzağına tek taraflı veya çift taraflı ısı kaynağının yerleştirilmesi ile yapılır. Isı transferi ışıyım ile gerçekleştirilir. Malzeme camsı geçiş sıcaklığının altındaki

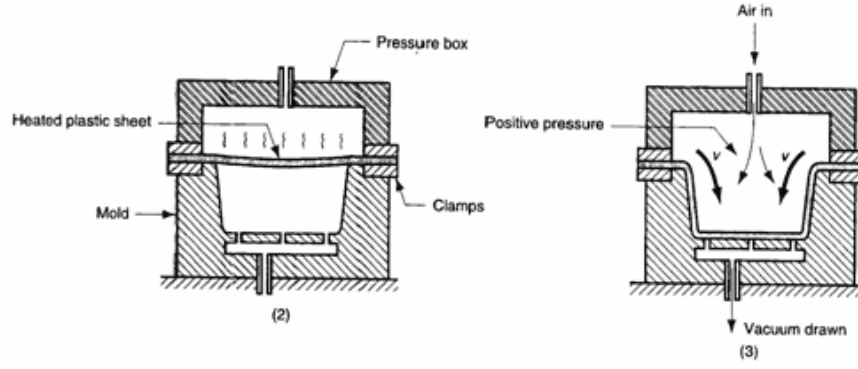
sıcaklığa kadar ısıtılarak şekillendirmeye hazır hale getirilir. Şekillendirme işlemi ise vakumlu, basınçlı ve mekanik olmak üzere üçe ayrılır. Bu bölümde sadece levha şeklindeki parçaların şekillendirilmesi anlatılacaktır. Aşağıdaki resimlerde bu şekillendirme yöntemleri görülebilir. Isı ile şekillendirme işlemi düşük basınç işlemlerinden biridir. Vakumlu ısı şekillendirme yönteminde malzeme ısıtıldıktan sonra kalıp kapatılır ve kalıp üzerine açılan 0.8mm'lik vakum delikleri ile kalıp içerisinde yaklaşık 1atm negatif basınç oluşturarak malzemenin kalıp boşluğunun şeklini alması sağlanır. Basınçla şekillendirme yönteminde kalıp kapatıldıktan sonra, plastik malzemenin alttan vakum ile kalıp üzerine çekilirken üstten uygulanan hava basıncı yardımıyla kalıbın şeklini alması sağlanır. Bu yöntemde malzemeyi şekillendirmek için uygulanan basınç değeri 3-4atm civarındadır. Mekanik ısı şekillendirme yönteminde ise ısıtılan parça pres arasında sıkıştırılarak şekillendirilir. Bu üç yöntemde ölçü tamlığı ve homojenlik en iyi mekanik şekillendirme yöntemi ile sağlanır. Isı ile şekillendirme yöntemleri ile üretilecek parçalarda açıklık veya delik bulunamaz. Kullanılan kalıplar genellikle alüminyum'dan yapılır. Kalıp masrafları oldukça düşüktür. Çevrim süresi kısadır. Bu yöntemde sıklıkla kullanılan termoplastik malzemeler başta polystyrene olmak üzere, cellulose acetate, cellulose acetate butyrate, ABS, PVC, acrylic (polymethylmethacrylate), polyethylene, and polypropylene dir (Groover, 2002).



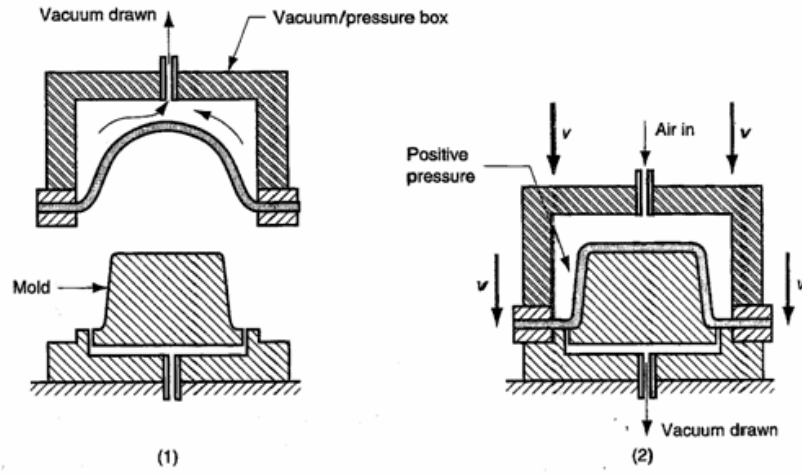
Şekil 3.57 Dişi kalıba vakumlu ısı kalıplama yönteminin şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>).



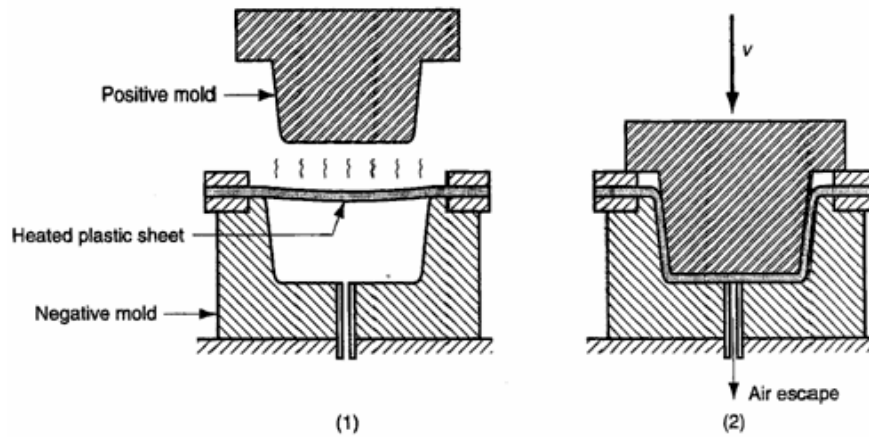
Şekil 3.58 Erkek kalıba vakumlu ısı kalıplama yönteminin şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>).



Şekil 3.59 Dişi kalıba basınçlı ısı kalıplama yönteminin şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>).



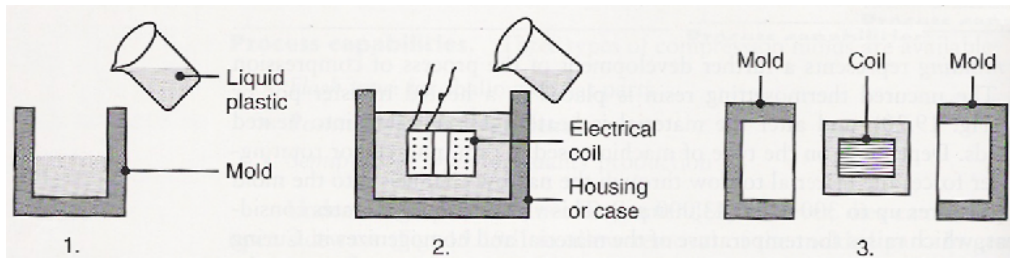
Şekil 3.60 Erkek kalıba basınçlı ısı kalıplama yönteminin şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>).



Şekil 3.61 Mekanik ısı kalıplama yönteminin şematik gösterimi (<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>).

3.8 Döküm

Döküm işlemi erimiş plastiğin kalıp içerisine dökülerek yer çekimi kuvvetinin etkisinde kalıp boşluğunun doldurulması işlemidir. Döküm işlemi hem termoplastik hem termoset malzemelerin kalıplanması için kullanılabilen bir yöntemdir. Bu işlemde rijit kalıplara basit şekilli parçalar dökülebildiği gibi esnek kalıplara karmaşık şekilli parçalar dökülebilir. Bu yöntemde kullanılan malzemeler; akrilikler, polistren, polyamitler (nylon), viniller (PVC), epoksilerdir (Groover, 2002). Döküm kalıbı içerisinde termoplastik parçaların üretimi yüksek sıcaklıkta sıvılaştırılmış malzemenin kalıp içerisine dökülerek zamanla soğuyup katılaşmasıyla sağlanır. Termoset parçalar ise döküm kalıbı içerisinde iki şekilde üretilirler. Bunlardan ilki eritilerek sıvı hale getirilen monomerlerin vakit geçirilmeden döküm kalıbı içerisine dökülerek polimerizasyon işleminin kalıp içerisinde meydana gelmesini sağlayarak üretimdir. İkincisi ise PVC malzemeli ürünlerin şekillendirilmesinde olduğu gibi polimerler ve katalist malzemeleri jel halinde döküm kalıbına döküp dışarıdan ısı vererek polimerizasyonun kalıp içerisinde oluşmasını sağlamaktır. Döküm yöntemi az sayıdaki üretim adetleri için uygundur. Döküm yönteminin aşamaları şekil 3.62 de görülmektedir.



Şekil 3.62 Döküm işleminin aşamaları (Kalpakjian ve Schmid, 2003).

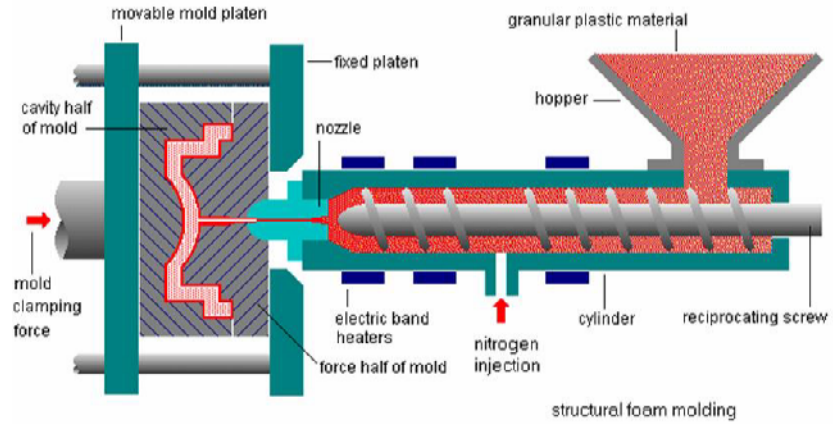
3.9 Polimer Köpük Kalıplama

Köpük malzemeler, yapısı polimer malzeme ve gaz karışımından meydana gelen malzemelerdir. En çok kullanılan polimer köpükler ticari adı “styrofoam” olan polistren ve poliüretandır bu malzemeleri doğal kauçuk ve polivinilklorid (PVC) takip etmektedir.

Polimer köpükler; düşük yoğunluğa sahip, düşük ağırlıkta yüksek dayanım gösteren, termal iletim katsayısı düşük olan dolayısıyla iyi izolasyon sağlayan, İyi darbe emme özelliği olan malzemelerdir. Polimer köpükler fiziksel özellikleri açısından üç grup altında toplanırlar. Bunlardan ilki elastomerik köpüklerdir. Elastomerik köpüklerin matris yapısını kauçuk oluşturur. Kauçuk yapı malzemeye büyük şekil değiştirebilme özelliği kazandırmıştır. İkincisi esnek köpüklerdir. Matris yapısında büyük miktarda plastik malzeme bulunduran bu yapının özelliklerini yapısındaki ana plastik malzeme belirler. Bu grubun en çok bilinen üyesi yumuşak PVC dir. Üçüncü grup ise Rijit köpükler grubudur. Bu gruptaki köpüklerin matris yapısının büyük bir kısmını polistren gibi sert termoplastik malzemeler veya fenolikler gibi çapraz bağlı termoset malzemeler oluşturur. Polimer köpük üretiminde sıkça kullanılan bir malzeme olan poliüretan malzeme yapısındaki çapraz bağ miktarı ve serbestlik derecesine göre yukarıdaki üç gruba da girebilmektedir.

Polimer malzemelerin karakteristik özellikleri bu malzemelere geniş bir kullanım alanı kazandırmıştır. Bunların örnek olarak; tek kullanımlık kahve bardakları, gıda depolama kapları, ısı yalıtım malzemeleri, mobilya ve yataklar, otomotiv, dolgu ve koli içi destek ve koruma elemanları gösterilebilir.

Polimer malzemelerin yapısında bulunan boşluk hava veya azot gazı ile elde edilir. Bazı köpük malzemelerde boşluk oranı %90'a kadar çıkabilmektedir. Boşluk malzeme içerisinde üç değişik yöntem ile oluşturulur. Bunlardan ilki olan mekanik karıştırma yöntemidir. Bu yöntemde sıvı eriyik hava ile birlikte mekanik olarak çalkalanmakta ve daha sonra şekillendirilerek boşluklu yapı elde edilmektedir. İkinci yöntem fiziksel ajanlarla boşluk oluşturma yöntemidir. Bu yöntemde yüksek basınç altında bulunan polimer sıvı eriyik ve içerisinde ayrıışmayan azot ve pentan (C_5H_{12}) gazlarının bulunduğu sistem üzerindeki basıncın, aniden kaldırılması ile eriyik içerisindeki gaz moleküllerinin hacminde ani bir genişleme sağlanmaktadır. Son yöntem kimyasal ajanlarla oluşturma yöntemidir. Bu yöntemde ise eriyik içerisine katılan ve kimyasal şişirme ajanları olarak adlandırılan kimyasal bileşiklerin yüksek sıcaklık altındaki tepkimesi ile malzemeye boşluklu bir yapı kazandırılmaktadır.



Şekil 3.63 Enjeksiyon köpük kalıplama yöntemi (<http://www.egr.uri.edu/ime/Courses/ime240/Polymer%20processing.ppt>).



Şekil 3.64 Köpük kalıplama yöntemi ile üretilen bazı ürünler (<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/processing.pdf>).

BÖLÜM DÖRT

PLASTİK ÜRÜN TASARIMI

Kalıp tasarımı belirleyen en önemli iki faktör parça geometrisi ve üretim yöntemidir. Bu faktörleri üretim miktarı ve kalıp masrafları takip eder. Üretimin ekonomikliğı, bu faktörlerin en uygun kombinasyonunun bulunması ile gerçekleştirilir. Genel olarak kalıp tasarımı kullanılacak ürünün malzemesinin belirlenmesi ile başlar. Malzeme seçimini ürün tasarımı, şekillendirme yönteminin seçimi ve kalıp tasarımı takip eder. Kalıp tasarımı; malzeme bilgisi ve tasarım-imalat bilgisinin yanında yaratıcılık ve tecrübe gerektiren bir alandır.

Yukarıda da bahsedildiğı gibi kalıp tasarımı belirleyen önemli faktörlerden biri üretim yöntemidir. Bu tezin kapsamı içerisinde, plastik malzemelerin şekillendirilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri olan plastik enjeksiyon yöntemi kalıplarının tasarımı anlatılacaktır.

İyi bir kalıp tasarımı başarılı bir ürün tasarımı ile başlar. Bunun anlamı üretim sonrası parça üzerinde meydana gelebilmesi muhtemel hataları, önlemenin veya azaltmanın en basit ve ekonomik yolu tasarım kurallarına uygun ürün geometrileri kullanmak demektir.

Herhangi bir ürünün tasarımında dikkat edilecek temel prensipler sekiz başlık altında toplanabilir;

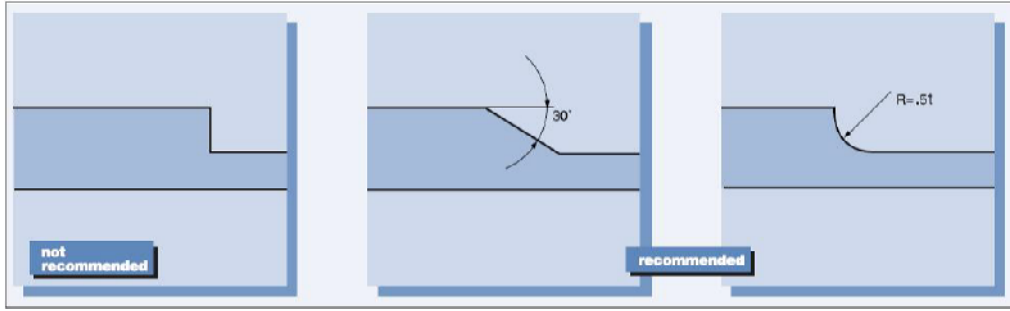
- 1) Ürün tasarımı, yük altında iken oluşan gerilmeleri uniform olarak dağıtacak şekilde yapılmalıdır.
- 2) Ürün tasarımında yük altında oluşan kuvvet hatlarının, minimum değışecek şekilde oluşmasına dikkat edilmelidir.
- 3) Ürün tasarımında yerel gerilme oluşturabilecek şekillendirmelerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- 4) Ürün tasarımı parçadan beklenen fonksiyonları yerine getirmelidir.

- 5) Ağırlığı küçük olmalıdır.
- 6) Üretimi ve montajı kolay olmalıdır.
- 7) Maliyeti düşük olmalıdır.
- 8) Doğru malzeme kullanılmalıdır.

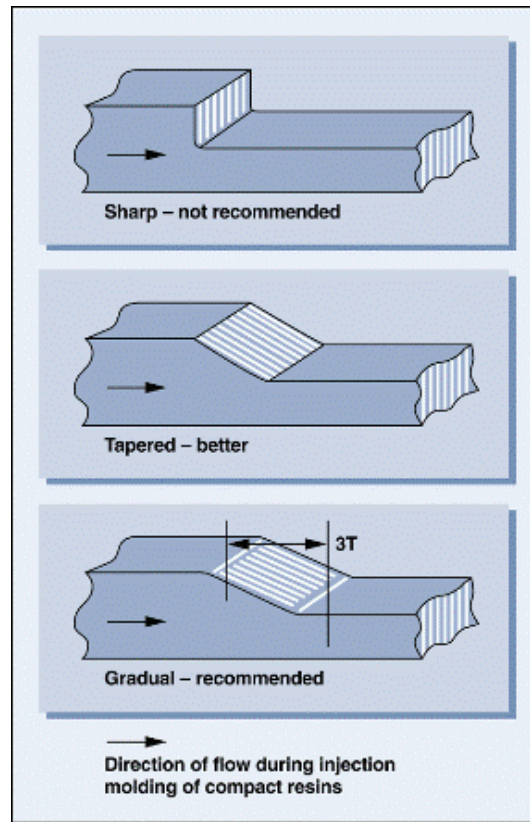
4.1 Plastik Enjeksiyonla Üretilcek Ürünlerde Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

4.1.1 Cidar Kalınlığı

Cidar kalınlığı plastiğin akış, katılaşma, parçanın kalıptan çıkması, dayanım ve hassasiyeti göz önüne alınarak yapılmalıdır. Genel olarak plastik enjeksiyonla üretilen malzemelerin cidar kalınlığı 0.5mm ile 4mm arasında değişmektedir. Termoplastik malzemelerde meydana gelen çekme davranışının nedeni, parçanın proses sıcaklığından (enjeksiyon sıcaklığından) çevre sıcaklığına olan sıcaklık değişimidir. Üretilmiş olan parça üzerindeki çekmeyi minimuma düşürmek uygun soğutma ile sağlanır. Parça tasarımında parçadan istenilen temel fonksiyonlar yerine getirilmek koşuluyla, parçanın cidar kalınlığı mümkün olduğunca ince ve uniform olmalıdır. Bu yolla kalıp boşluğunun başarılı bir şekilde doldurulmasına olanak sağlanırken kalıplanan parçada çekme mümkün olduğunca az olacaktır. Ayrıca malzeme tasarrufu sağlanırken ısı transferi için gerekli süre kısılacağından üretim hızı artışı sağlanacak ve parça ağırlığı azaltılacaktır. Enjeksiyonla kalıplanacak parça cidar kalınlığında ayrıca erimiş malzemenin kalıp içerisindeki akış hareketine de dikkat edilmelidir. Akış, cidar kalınlığının değiştiği bölgelerde kademeli olarak veya yuvarlatılmış kesitlerle sağlanmalıdır. Böylece erimiş plastiğin soğuması sonrası meydana gelebilecek olan iç gerilmeler azalacak dolayısıyla parçadaki çatlama riski düşecektir. Şekil 4.1 de tavsiye edilen tasarım görülebilir.

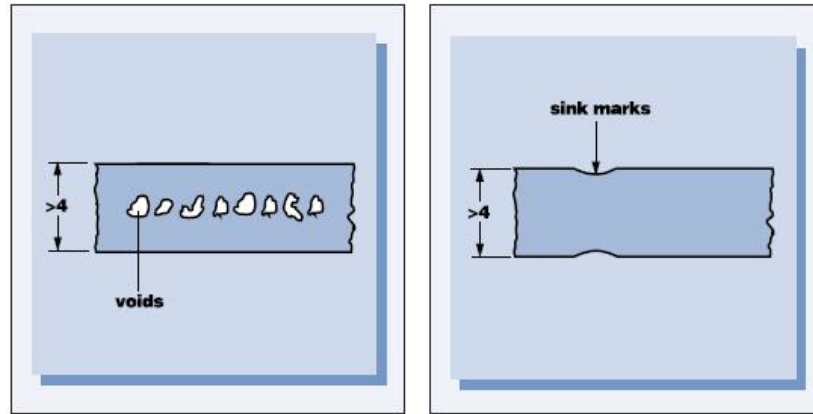


Şekil 4.1 Kesit kalınlığı değişimlerinde tavsiye edilen geçiş şekilleri ve ölçüleri (<http://www.dsm.com>).



Şekil 4.2 Lineer kesit geçişlerinde tavsiye edilen geçiş uzunluğu (<http://www.dsm.com>).

Cidar kalınlığı 4mm den fazla olan parçaların soğutulması için gerekli çevrim süresi artmakta ayrıca parça içerisinde gözeneklerin oluşması ve parça yüzeyinde çökmelerin meydana gelme riski artmaktadır.



Şekil 4.3 Kalın kesitli parçalarda meydana gelmesi muhtemel gözenek ve çökme hataları (<http://www.dsm.com>).

Aşağıdaki tabloda çeşitli termoplastik malzemeler için önerilen cidar kalınlıkları görülmektedir (Jaarsma, 2000).

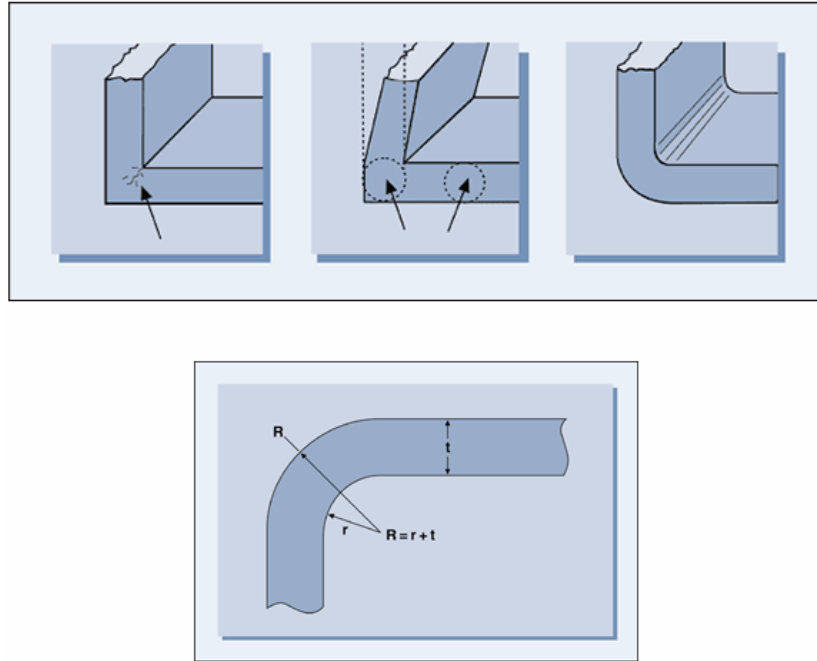
Tablo 4.1 Termoplastik malzemeler için tavsiye edilen cidar kalınlıkları (Jaarsma, 2000).

Table 1 Typical Nominal Thickness for Various Thermoplastics	
Acrilonitrile-butadiene-styrene (ABS)	0.045-0.140
Acetal	0.030-0.120
Acrylic	0.025-0.150
Liquid crystal polymer	0.008-0.120
Long-fiber reinforced plastics	0.075-1.000
Nylon	0.010-0.115
Polycarbonate	0.040-0.150
Polyester	0.025-0.125
Polyethylene	0.030-0.200
Polyphenylene sulfide	0.020-0.180
Polypropylene	0.025-0.150
Polystyrene	0.035-0.150
Polyurethane	0.080-0.750
Polyvinyl chloride	0.040-0.150

4.1.2 Yuvarlatmalar

Temel prensip olarak plastik parçaların tasarımında keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Plastik parçalar genellikle kabuk şeklindeki parçalardır. Bu nedenle köşelerde parçanın dış yüzeyindeki alan/hacim oranı iç yüzeydeki alan/hacim

oranından büyüktür. Bu farklılık sebebiyle dış yüzeyin soğutulması iç yüzeyin soğutulmasından daha etkili gerçekleştirilmektedir. Böylelikle daha geç soğuyan iç köşelerde çekme nedeniyle kalıp cidarları içe doğru çarpılırlar hatta bu noktalarda çatlamlar gerçekleşebilir. Köşelerin yuvarlatılmasıyla gerilme yığılmaları azaltılır, plastik akışkanın kalıbı daha kolay doldurması, basınç kayıplarının azaltılması, parçanın kalıptan daha kolay çıkarılması ve çentik darbe mukavemetinin artması sağlanır. Köşelere verilen yarıçap ölçüsü parça et kalınlığının %25 ve %60'ı arasında değişmektedir. Büyük yarıçaplar yüksek kuvvet altındaki parçaların tasarımında kullanılırken, küçük yarıçapların kullanımı malzeme tasarrufu sağlamaktadır. Parçaya verilebilecek minimum yarıçap 0.508 mm ve parçada bulunan keskin köşelerin en az 0.127 mm ile yuvarlatılması önerilmektedir (<http://www.dsm.com>).



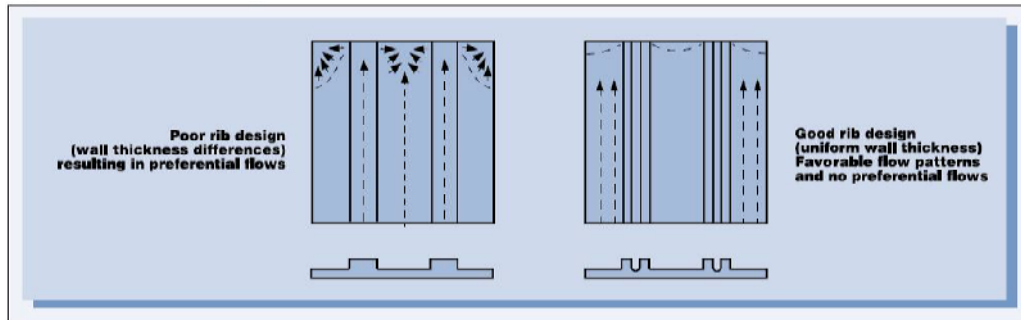
Şekil 4.4 Plastik parça üzerinde bulunan köşeler için tavsiye edilen tasarım ve ölçüler (<http://www.dsm.com>).

4.1.3 Kaburgalar ve Profilli Yapılar

Eğer parça üzerine uygulanan kuvvet 4 mm lik cidar kalınlığı ile sağlanamıyorsa, gerekli dayanım kaburgalar veya kutu şeklindeki yapılar vasıtasıyla sağlanır.

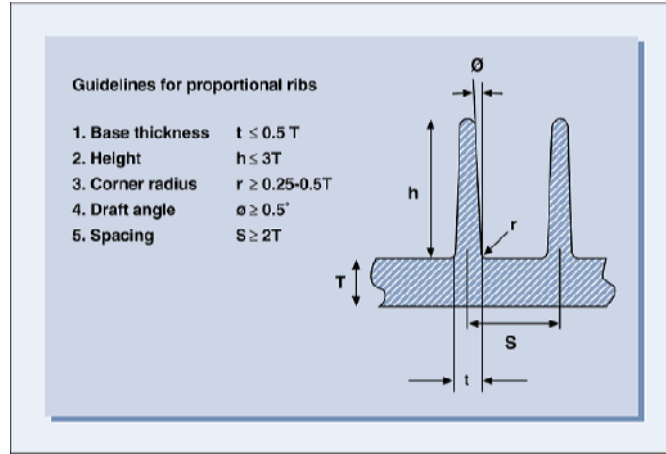
Kaburga ve kutu şeklindeki yapıların parçada kullanılması parçanın yük taşıma kapasitesini artırırken, ağırlığının ve cidar kalınlığının azaltılmasını sağlamaktadır. Böylelikle kalıplama süresi azalmakta prodüktivitede artış sağlanmaktadır. Her ne kadar kalın kesite kıyasla kaburga yapılarının kullanılması artık gerilmeleri azaltmakta ise de kaburgalar parçanın yüzeyinde çökme izlerine ve çarpılmaya neden olabilmektedir.

Kaburgalar genellikle erimiş malzemenin kalıp içerisindeki akış doğrultusunda yerleştirilir. Kaburgaların kalınlığı malzeme cidar kalınlığından azdır. Kaburgaların kesit kalınlığı cidar kalınlığının yarısını geçememelidir. Dayanımın görünümünden çok daha önemli olduğu ve çekme miktarının düşük olduğu parçaların tasarımında kaburga kesit kalınlığı cidar kalınlığının yarısını geçebilmektedir. Bu durumda kaburganın yerleştirildiği yüzeyin karşısındaki yüzeylerde çökme izlerine rastlanabilmektedir.



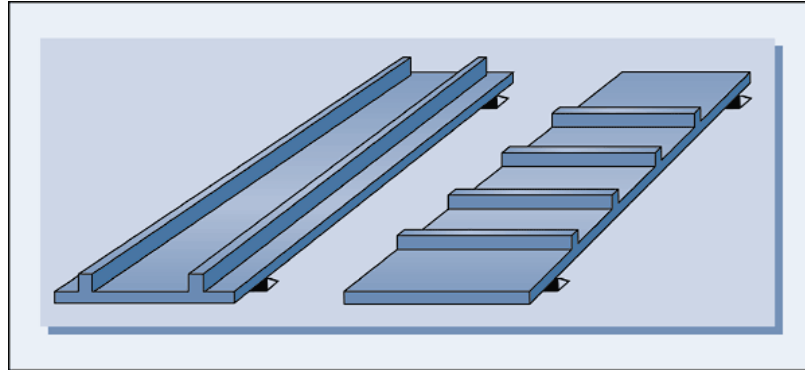
Şekil 4.5 Hatalı kaburga tasarımında meydana gelen birleşme hatası ve tavsiye edilen tasarım (<http://www.dsm.com>).

Kaburgalar nedeniyle akış dengesi bozulan parçaların köşelerinde hava gözenekleri meydana gelebilmektedir. Genel olarak kaburgaların eğim açısı her iki tarafa 1 veya 1,5° verilerek yapılır. Kaburgalarda verilebilecek minimum kaburga eğimi 0,5° dir. Kaburgaların dip kısmına verilen yuvarlatma radyüsü parça kalınlığının %25i ile %50 si arasında değişmektedir. Radyüsün minimum değeri 0.4 mm dir. Bu radyüs kaburgalar etrafındaki yerel gerilme yığılmalarını azaltmaktadır.



Şekil 4.6 Tavsiye edilen kaburga tasarım ölçüleri
(<http://www.dsm.com>)

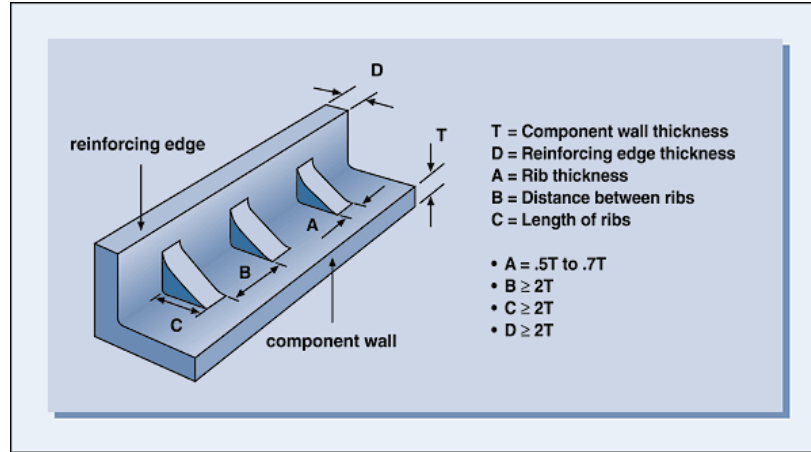
Paralel kaburgaların yerleştirilmesinde meydana gelebilecek soğuma ve boşluk problemlerini önceden azaltabilmek için kaburgalar arasında cidar kalınlığının iki katından fazla boşluk bırakmak gerekmektedir.



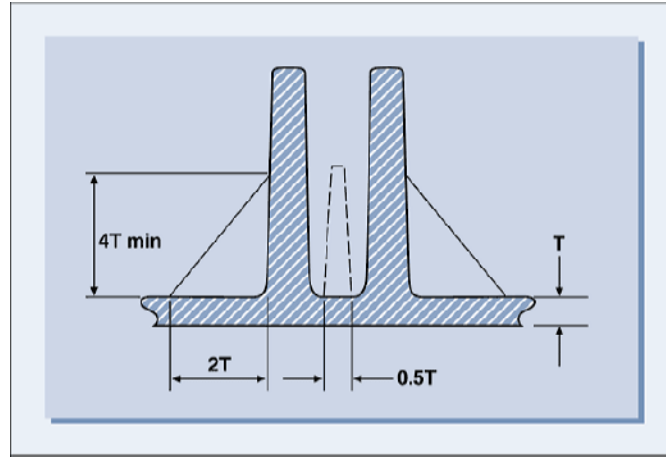
Şekil 4.7 Kaburgalar arasında bırakılan boşluklar
(<http://www.dsm.com>).

4.1.4 Federler

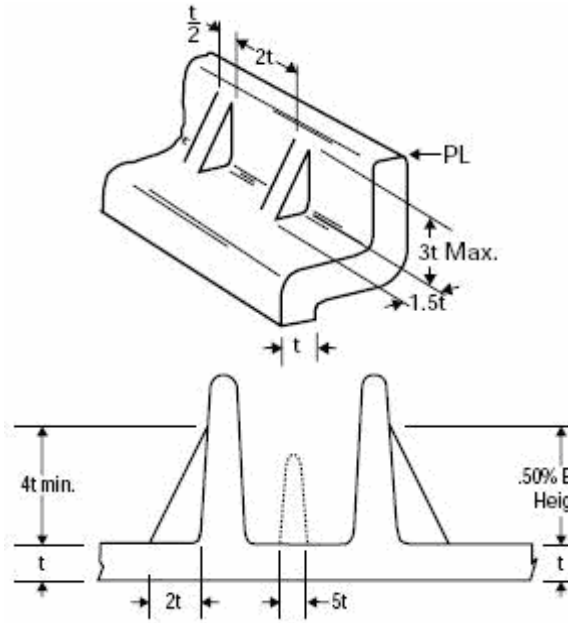
Federler kaburgaların bir alt sınıfı olarak kabul edilebilir. Federlerin kullanılma amacı köşeleri, cidar kenarlarını ve delik çevrelerini güçlendirmektir. Aşağıda federler ile ilgili tavsiye edilen tasarım ölçüleri görülmektedir.



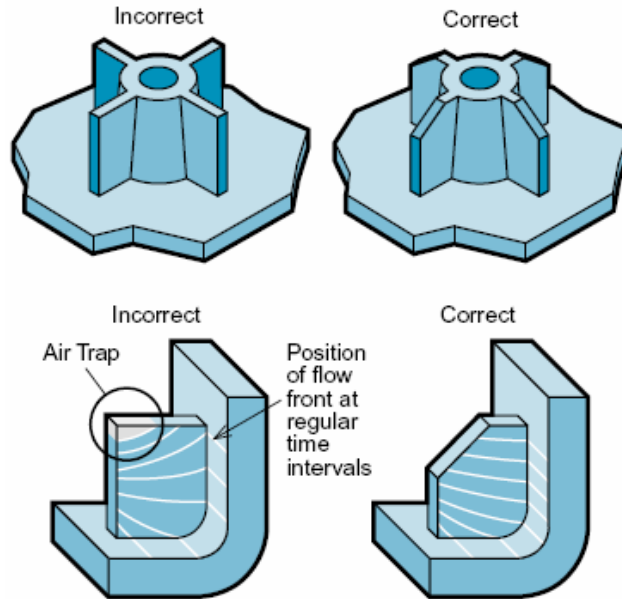
Şekil 4.8 Federlerin şekillendirilmesinde tavsiye edilen tasarım ölçüleri (<http://www.dsm.com>).



Şekil 4.9 Federlerin şekillendirilmesinde tavsiye edilen tasarım ölçüleri (<http://www.dsm.com>).



Şekil 4.10 Federlerin şekillendirilmesinde tavsiye edilen tasarım ölçüleri (<http://kingkong.me.berkeley.edu/3dp/zonohedra/GE%20Plastics.pdf>).



Şekil 4.11 Delikli çıkıntılarını güçlendirmek için delik kenarlarına yerleştirilen alternatif feder tasarımları (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5AA1620C9377EF02F584E7>).

Buna göre federlerin maksimum yüksekliği yerleştirildiği dik cidar veya delik cidarının % 95'i kadar olabilmektedir. Federin yerleştirildiği cidar, federsiz haline

oranla yaklaşık olarak dört kat daha fazla yüke dayanabilmektedir. Tipik olarak federlerin uzunluğu (base length=C) yerleştirildiği parça kalınlığının iki katıdır. Bu ölçü ve Feder yüksekliğinin ölçüsü federin etkinliğini belirleyen temel ölçülerdir. Federin kalınlığı cidar kalınlığının yarısıdır bunun nedeni federin yerleştirildiği yüzeyin karşısında oluşması muhtemel çökme izini minimize etmektir. Federin cidara bitişik kenarlarına cidar kalınlığının %25'i oranında radyus verilir. Bunun sebebi feder diplerinde meydana gelecek olan yerel gerilmeleri azaltmak ve akışkanın kalıp içerisindeki hareketini kolaylaştırmaktır. Federler arasındaki yerleşme mesafesi barçanın cidar kalınlığının iki katından fazla olmalıdır. Bunun sebebi kaburgalardaki mantıkla aynı olup soğuma ve boşluk problemlerini azaltmak ve dayanımı artırmaktır.

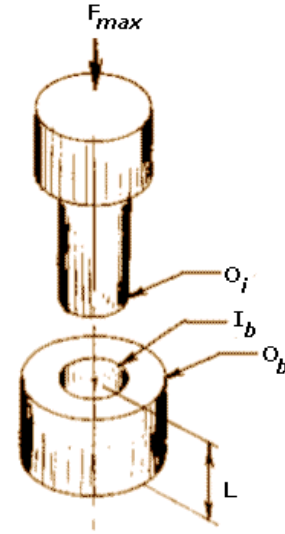
4.1.5 Çıkıntılı Delikler

Çıkıntılı delikler eş çalışan parçaları birleştirmek için veya montaj için, plastik parça üzerine yerleştirilen geometrilerdir. Bu şekillerin tasarımında dikkat edilmesi gereken iki önemli husus dayanım ve estetik görünümüdür. Bu nedenle delikli çıkıntının tasarımında bu iki özellik parçanın kullanıldığı yere göre farklı önem kazanacak ve bu iki faktörün bir noktada uzlaşması gerekecektir. Cidar kalınlığı geniş olan delikli çıkıntılar diğer yüzeyde çöküntü izleri yaratarak estetik görünümde kusurlara neden olmaktadır. Delikli çıkıntılar, plastik parçaya vida veya insört şeklindeki parçaların montajında kullanılırken çıkıntı cidarında meydana gelebilecek yırtılmalara dayanıklı tasarlanmalıdırlar. Delikli çıkıntıya uygulanan kuvvetin, cidarında meydana getirdiği gerilmenin hesabı Şekil 4.12'deki gibidir

$$F_{\max} = \frac{\mu \pi L \delta}{\frac{1}{E_b} \left(\frac{O_b^2 + I_b^2}{O_b^2 - I_b^2} + \nu_b \right) + \frac{1}{E_i} (1 - \nu_i)}$$

and

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{\mu \pi I_b L} \left(\frac{O_b^2 + I_b^2}{O_b^2 - I_b^2} \right) = \frac{\delta}{I_b} \frac{\left(\frac{O_b^2 + I_b^2}{O_b^2 - I_b^2} \right)}{\frac{1}{E_b} \left(\frac{O_b^2 + I_b^2}{O_b^2 - I_b^2} + \nu_b \right) + \frac{1}{E_i} (1 - \nu_i)}$$



INSERTION OF INSERT
INTO A BOSS

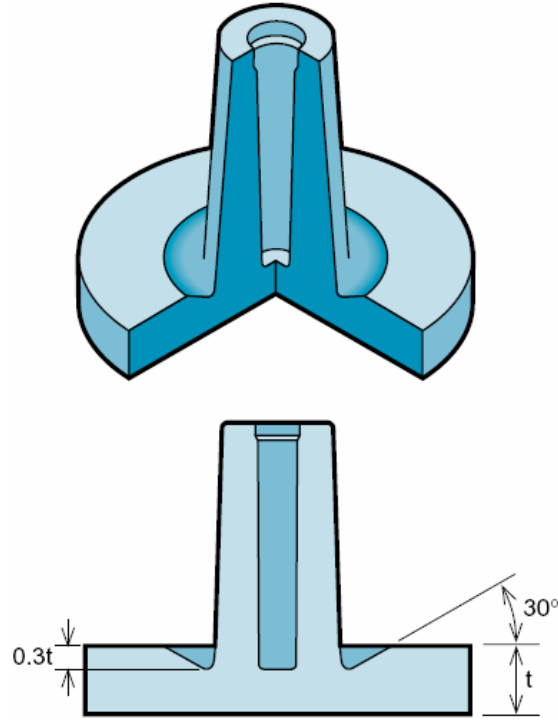
where,

- $F_{\max}$ = Maximum Insertion/Withdrawal Force
(ignoring effects of static/dynamic friction and assuming constant friction)
- $\sigma_{\max}$ = Maximum Hoop Stress (happens to be at the inner diameter of the boss)
- O_b = Outer Diameter of boss
- I_b = Inner Diameter of boss
- ν_b = Poisson Ratio of the boss
- E_b = Young's Modulus of the boss
- E_i = Young's Modulus of the insert
- ν_i = Poisson Ratio of the insert
- μ = Coefficient of friction, usually ranges from 0.35 to 0.55 for most plastics
- δ = Interference on Diameters, $O_i - I_b$
- O_i = Outer Diameter of Insert
- L = Length of engagement

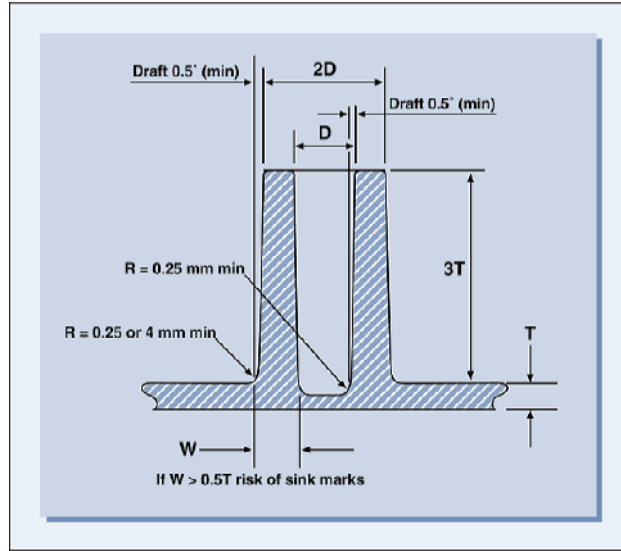
Şekil 4.12 Delikli çıkıntı kesitinde meydana gelen gerilme hesabı (http://www.efunda.com/designstandards/plastic_design/boss.cfm).

Delikli çıkıntıların cidar kalınlığı, ürünün cidar kalınlığının %75'ine kadar verilebilir. Cidar kalınlığının %50'yi geçmesi durumunda çökme izleri problemleri oluşma riski yüksektir. Bu riski azaltmak için çıkıntı diplerinde oyuk oluşturularak çökme izleri azaltılabilir. Şekil 4.13'de bu tavsiye edilen oyuk ölçüleri görülmektedir. Şekil 4.14'de delikli çıkıntıların tasarımında tavsiye edilen ölçüler görülmektedir. Delikli çıkıntılar için kullanılan köşe radyüsü değerinin ürün cidar kalınlığının %25 oranında verilmesi tavsiye edilmektedir. Böylece erimiş malzemenin enjeksiyon safhasında kalıp içerisinde akması kolaylaştırılarak lokal gerilme yığılmalarının azaltılması sağlanmaktadır. Delikli çıkıntılara verilebilecek minimum radyüs değeri 0.4 mm dir. Delikli çıkıntı ile eş çalışan insörtede en az 0.25

mm radyüs verilmesi insört dibinde gerilme yığılmasını azaltacak ve dolum sırasında türbülanslı akışı engelliyecektir. Kalıptan delikli çıkıntının kolay çıkmasını sağlayabilmek için en az 0.5° eğim açısı verilmelidir. Ayrıca kapanma anında insörtün delikli çıkıntı içerisine girişini hızlandırmak ve kolaylaştırmak için delik içine minimum 0.25° açı verilmelidir. Şekil 4.14’de bu ölçüler görülmektedir.

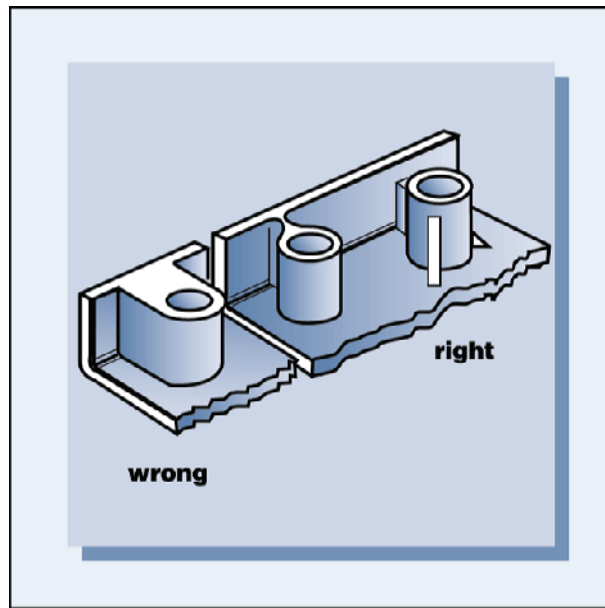


Şekil 4.13 Çökme önlemek için delik dibinde oluşturulacak oyuğa tavsiye edilen ölçüler (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7>).

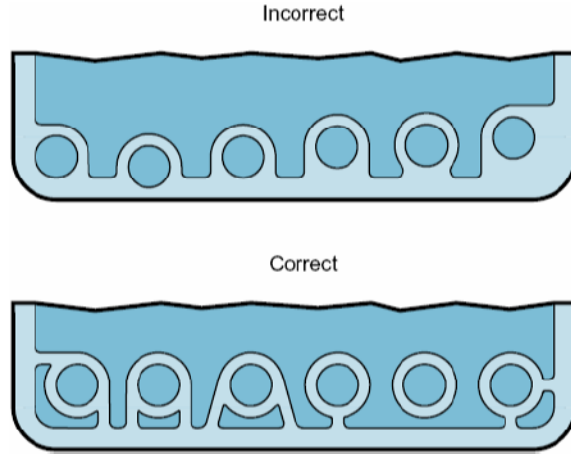


Şekil 4.14 Delikli çıkıntılarının tasarımında tavsiye edilen ölçüler (<http://www.dsm.com>).

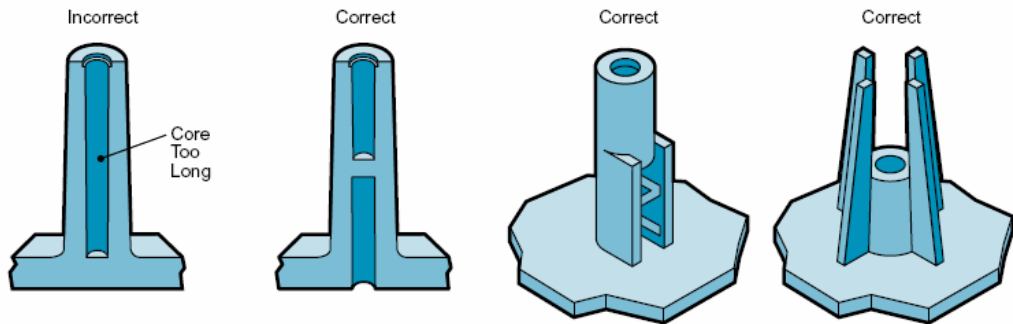
Delikli çıkıntılarda dayanımın artırılması, feder eklenerek ve delikli çıkıntıyı cidara temas ettirerek sağlanır. Aşağıdaki şekilde dayanımı artırılmış delikli çıkıntılar görülmektedir. Cidar kenarına yerleştirilen delikli çıkıntılarda, cidar yüzeyinde meydana gelebilecek çökmeyi engellemek için, cidardan delikli çıkıntı yüzeyine olan yerleştirme uzaklığı en az 3 mm olmalıdır.



Şekil 4.15 Tasarımı yanlış olan ve alternatif olarak tavsiye edilen delikli çıkıntı tasarımları (<http://www.dsm.com>).

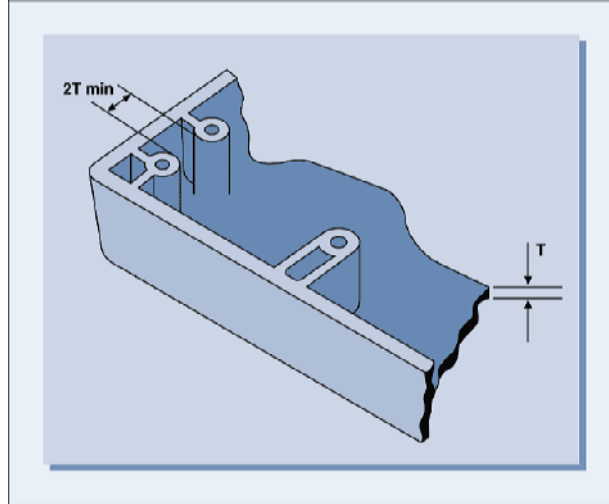


Şekil 4.16 Tasarımı yanlış olan ve alternatif olarak tavsiye edilen delikli çıkıntı tasarımları (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7>).



Şekil 4.17 Uzun delik çıkıntıları için tavsiye edilen tasarımlar (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7>).

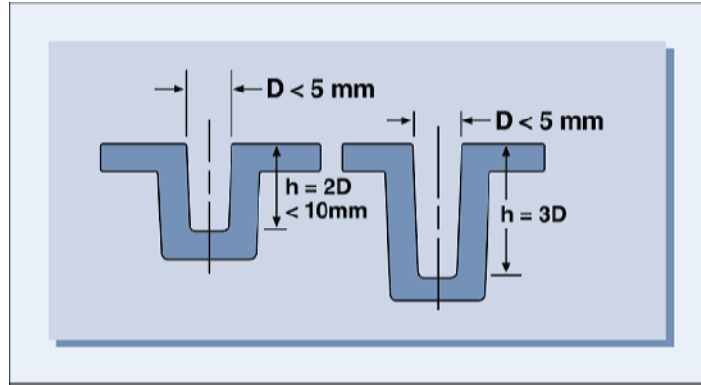
Delikli çıkıntılar arasına verilebilecek minimum boşluk cidar kalınlığının iki katıdır. Bunun sebebi soğumayı kolaylaştırmak, yerel gerilme yığılmalarını engellemek ve çevrim süresini azaltarak prodüktivite artışı sağlamaktır.



Şekil 4.18 Delikli çıkıntılar arasında bulunması tavsiye edilen minimum ölçü (<http://www.dsm.com>).

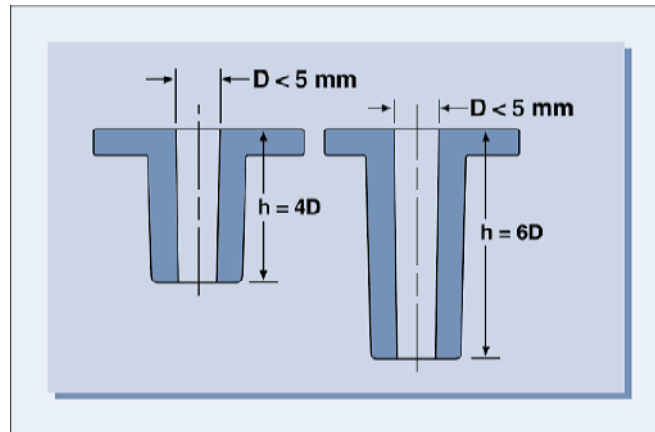
4.1.6 Delikler

Plastik parçalar kalıp üzerindeki erkek pimlerle kolaylıkla üretilebilen şekillerdir. Açık delikleri üretmek, kör delikleri üretmeye nazaran daha kolaydır çünkü deliği oluşturan pim kalıbın her iki tarafı ile desteklenmektedir. Kör delikler ise sadece kalıbın tek tarafından desteklenen pimler ile oluşturulmaktadır. Bu nedenle deliğe verilebilecek derinlik miktarı kullanılan pimin akış sırasında ve çekme sırasında meydana gelebilecek kuvvetlere karşı dayanımına bağlıdır. Akış sırasında meydana gelen termal genleşme veya eğilme delik ekseninde sapmalara neden olacaktır. Genel olarak parça üzerinde, delik çapının üç katından fazla kör delik derinliğinin verilmesi uygun değildir. Parçada oluşturulan deliklerin çapı da mümkün olduğunca 5mm nin aşağısına düşürülmemelidir. Bu gibi küçük deliklerin kullanılması gereken kör deliklerde delik boyu, çapın iki katını geçmemelidir.

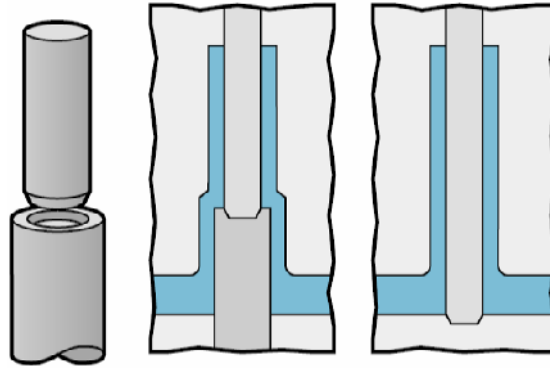


Şekil 4.19 Kör deliklerin tasarımında tavsiye edilen ölçüler
(<http://www.dsm.com>).

Açık delikler kalıbın öteki yüzüne kadar uzandıkları için serbest uçları kalıbın öteki yarımıyla desteklenmektedir. Bu nedenle açık deliklerde daha büyük delik boyları kullanılabilir. Fakat çok uzun deliklerde kullanılan pimlerin enjeksiyon safhasında oluşan yüksek basınçlar nedeniyle deforme olma olasılığı da unutulmamalıdır. Bu nedenle bu tip deliklerde pim, kalıbın karşı yüzüne açılan konik bir yuvaya oturtulur. Böylelikle pimin eğilmeye ve delik içerisinde kırılmaya karşı direnci artırılır. Şekil 4.20’de açık deliklerin tasarımında tavsiye edilen ölçüler ve Şekil 4.21 de uzun delik boylarında delik tasarımı için alternatif tasarım örnekleri görülmektedir.

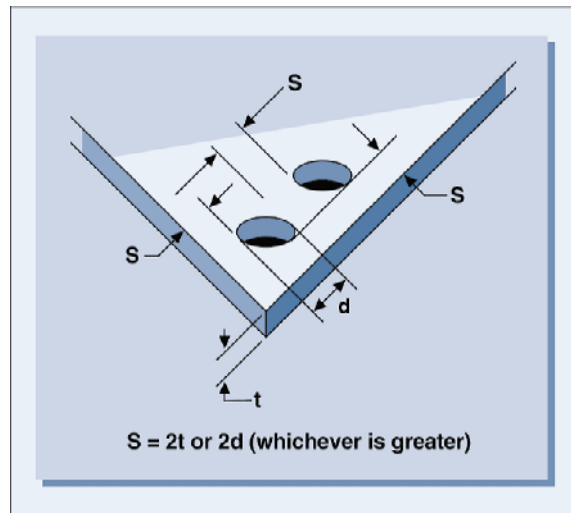


Şekil 4.20 Açık deliklerin tasarımında tavsiye edilen ölçüler
(<http://www.dsm.com>).



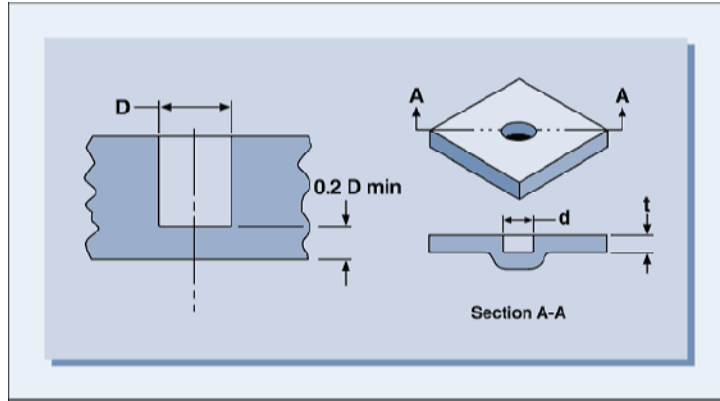
Şekil 4.21 Uzun deliklerin şekillendirilmesinde önerilen tasarım örnekleri (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7>).

Deliklerde dikkat edilmesi gereken diğer önemli konu deliklerin parça üzerindeki konumlarıdır. Deliklerin dikkatsizce yerleştirilmesi parça üzerinde kaynak çizgilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Kaynak çizgileri estetik görünüşü etkilemekte ayrıca parçanın dayanımını azaltmaktadır. Bu nedenle delikler mümkün olduğunca gözle görünmeyen ve dayanımı azaltmayacak yerlere yerleştirilmelidir. Ayrıca parça üzerine yerleştirilen delikler arasındaki minimum mesafe cidar kalınlığının veya delik çapının iki katı olmalıdır.



Şekil 4.22 Deliklerin yerleştirilmesinde tavsiye edilen ölçüler (<http://www.dsm.com>).

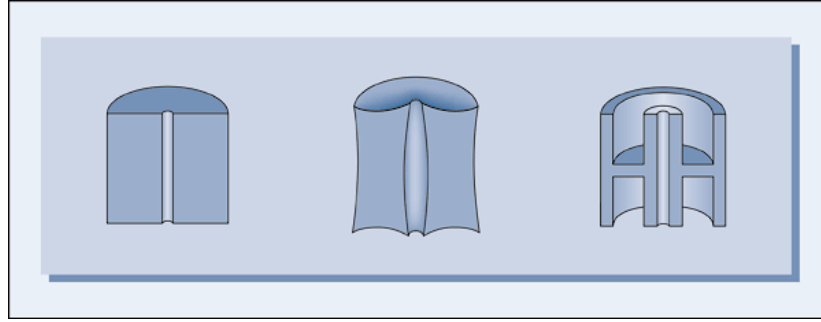
Kör deliklerde delik tabanında bırakılan kesit kalınlığı delik çapının minimum %20'si kadar olmalıdır. Bu karşı yüzeyde oluşan yüzeysel hataların oluşmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. Ucu radyüslü pimlerle, kör deliklerin tabanındaki köşelerinde radyüs oluşturmak delik etrafında birikmesi muhtemel yerel gerilmeleri azaltarak enjeksiyon safhasında akış özelliklerini iyileştirecektir.



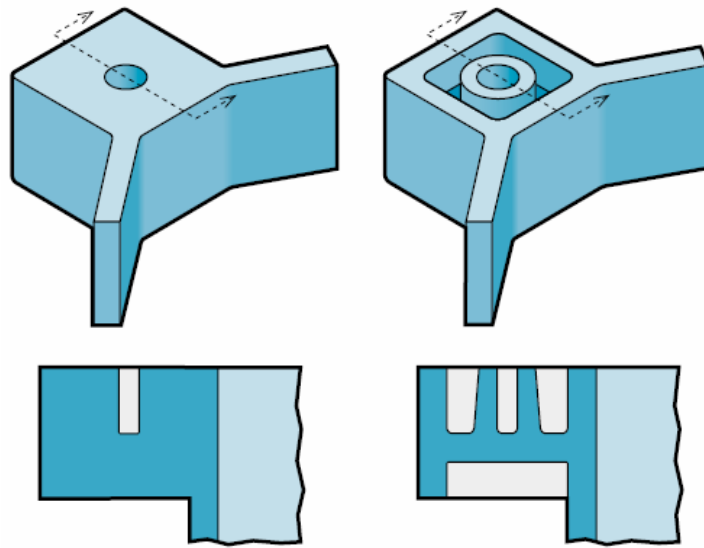
Şekil 4.23 Kör deliklerin altında bulunan yüzeyin estetik özelliklerini iyileştirmek için tavsiye edilen ölçü ve tasarım (<http://www.dsm.com>).

4.1.7 Cep Oluşturma

Cep oluşturma işlemi parça üzerindeki büyük geometrilerin fonksiyonel ölçülerinin bozulmadan üretilebilmesi için uygulanan tasarım değişiklikleridir. Cep oluşturma dişi ve erkek kalıplar üzerindeki insert şeklindeki çıkıntılar ile sağlanabildiği gibi hidrolik maçalar ve kam düzenekleri gibi yapılarda cep oluşturmak için kullanılabilir. Maçalarla ve kam mekanizmaları ile cep oluşturma düzenekleri kalıp maliyetini artırmaktadır.



Şekil 4.24 Üzerinde cep oluşturularak şekillendirilmiş tasarım örneği (<http://www.dsm.com>).



Şekil 4.25 Aynı görevi yerine getiren üzerinde cep oluşturularak şekillendirilmiş tasarım örneği (<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7>).

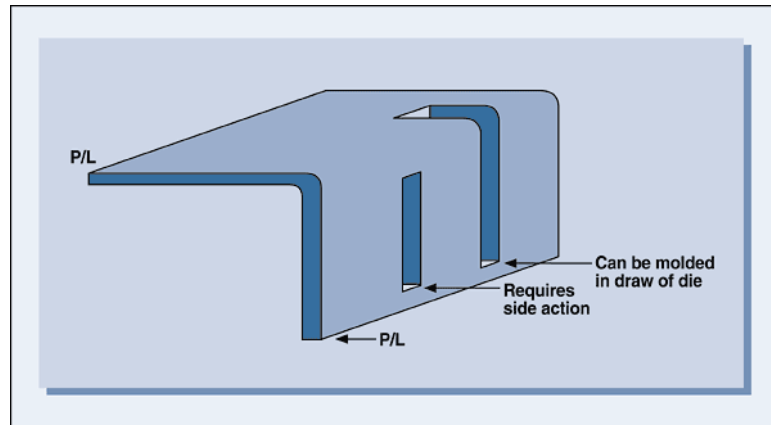
4.1.8 Eğim Açıları

Eğim açıları kalıp içerisinde soğumuş parçayı kalıptan kolay çıkarabilmek için, parçanın itme eksenine paralel yüzeylerine verilen açılardır. Eğim açıları erkek kalıp yarımı üzerine çekmiş parçanın iticilerin vurması ile deforme olmaksızın rahatça dışarı atılmasını sağlar. Kalıp boşluğu yüzeylerine herhangi bir kimyasal veya mekanik yöntemle doku oluşturulmamış ise verilmesi gereken minimum eğim açısı, her 0,1mm için 0,5° dir. Çıkma yüzeylerinin parlatıldığı ve çıkma sırasında meydana gelecek olan sürtünme kuvvetinin azaltıldığı durumlarda eğim açısı 0,1mm derinlik

için $0,5^\circ$ den daha az verilebilir. Dokulu yüzeylere verilmesi gereken eğim açısı ise 0,1mm derinlik başına $0,9^\circ$ ye çıkabilmektedir.

4.1.9 Oyuklar

Oyuklardan eğer kaçınılabilecekse parça yeniden dizayn edilmeli veya oyuğun tasarımı değiştirilerek kalıba hareketli elemanlar takmadan oyuğun şeklini oluşturabilecek yeni tasarımlar düşünülmelidir. Şekil 4.26 da öndeki oyuk için hidrolik veya açılı pim sistemlerinin kullanılması gerekir iken ikinci şekildeki oyuk kalıbın dişi yarımı üzerinde oluşturulan çıkıntı bir geometri yardımıyla ekonomik olarak üretilmektedir. Oyukların oluşturulması için kullanılan ve kalıp açılma eksenine dik yönde hareket eden açılı pimler, hidrolik ve pnömatik sistemler ve maçalar, kalıp maliyetini artırmakta ve kalıp tasarımını daha kompleks hale getirmektedir.



Şekil 4.26 Parça üzerinde oluşturulan oyuk örnekleri
(<http://www.dsm.com>).

4.1.10 İnsörtler

İnsörtler parça üzerinde bulunan cıvata bağlantılarında plastik malzemenin aşınmasını önlemek için delik içerisine yerleştirilen metalik parçalardır. Kalıplama ile veya kalıplama sonrası parça üzerine yerleştirilebilirler. Fenolik kompozitlerle pirinç ve alüminyum malzemelerin termal özellikleri oldukça uyumludur. İnsörtlerin dış yüzeyine tırtıl çekmek en iyi sabitleme yöntemidir. Kalıplama sonrası presle

yerleştirme işlemi çekme nedeniyle üç dakika içerisinde yapılmalıdır. Böylelikle plastik parçada bulunan deliğe yerleştirilen insört malzemenin çekmesi nedeniyle meydana gelen çap küçülmesiyle plastik malzeme tarafından daha sıkı kavranabilecektir. Parça üzerine insört yerleştirilecek olan deliğin ölçüleri, plastik malzemenin cinsine yerleştirilecek olan insört çeşidine ve insörtün plastik malzemeye yerleştirme yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca çekme payı büyük ve ince kesitli parçalarda insört yerleştirme sonrası delik yüzeyi boyunca oluşan gerilmeler nedeniyle çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu gerilmelerin hesaplanması çıkıntılı deliklerdeki hesaplama yöntemine benzer.



Şekil 4.27 Plastik parça üzerinde bulunan insörtler
(<http://www.durez.com/product.pdfs/phen.mold.comp/phen.molding.guide.pdf>).

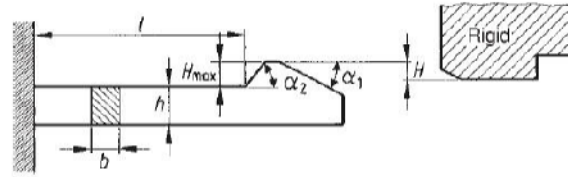
4.1.11 Tırnaklar

Tırnaklar genellikle plastik parçaların montajında ve demontajında kullanılan yardımcı tasarımlardır. Montaj işlemini basitleştirir ve ekonomik hale getirirler. Tırnak tasarımları öncelikle tek sefer kullanılan ve sürekli kullanılan olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek sefer kullanılan tırnaklar tek kullanımlık ürünlere uygulanırken, sürekli kullanılan tırnaklar uzun süre montaj ve demontajda kullanılabilirler. Tırnaklı

tasarımlar bugün pek çok mühendis tarafından civatalı tasarımlara tercih edilmesine rağmen, bu tasarımlar kalıp imalat masraflarını artırmakta ve kalıp tasarımını daha kompleks hale getirmektedir. Tırnaklar yay elemanı bakımından; halka, konsol ve torsiyonel olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır. Aşağıda bu üç ana grubu ait örnekler verilmiştir.

Dimensions and their designations for snap-fit hooks

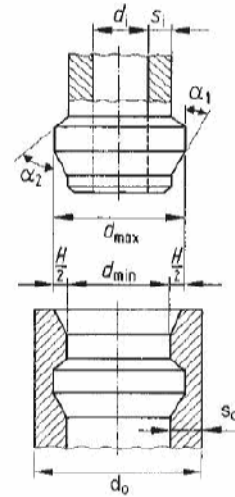
- α_1 = Joining angle
- α_2 = Retaining angle
- b = Breadth of cross section (hook breadth)
- h = Height of cross section
- l = Snap-fit length
- H = Snap-fit height (undercut)



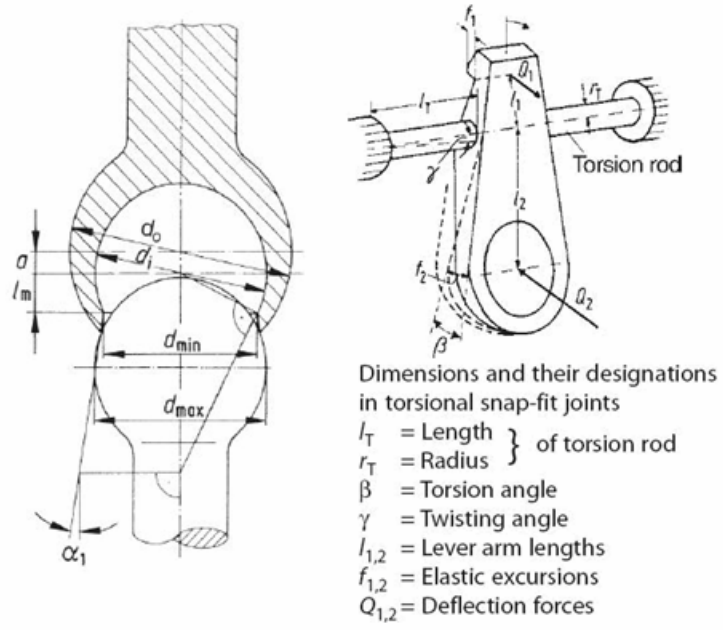
Şekil 4.28 Konsol kilit mekanizması (Erhard, 2006).

Dimensions and their designations in cylindrical annular snap-fit joints

- d_{max} = Greatest diameter } of the snap-fit joint
- d_{min} = Smallest diameter } of the snap-fit joint
- d_o = Outer diameter } of the outer part
- s_o = Wall thickness } of the outer part
- d_i = Inner diameter } of the inner part
- s_i = Wall thickness } of the inner part

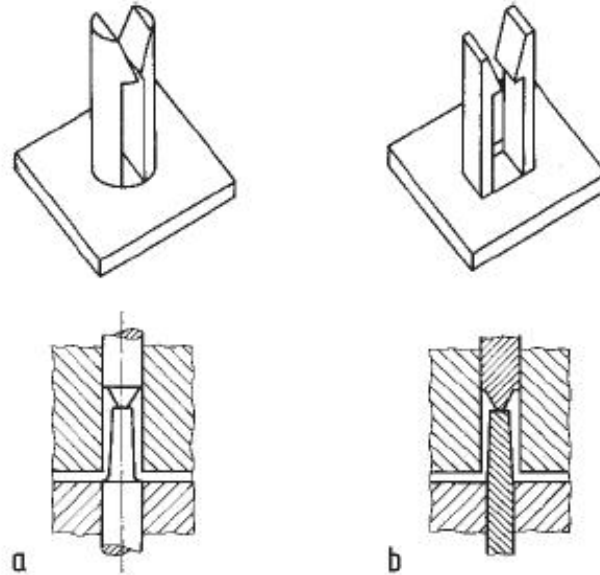


Şekil 4.29 Silindirik-halka tırnak mekanizması (Erhard, 2006).



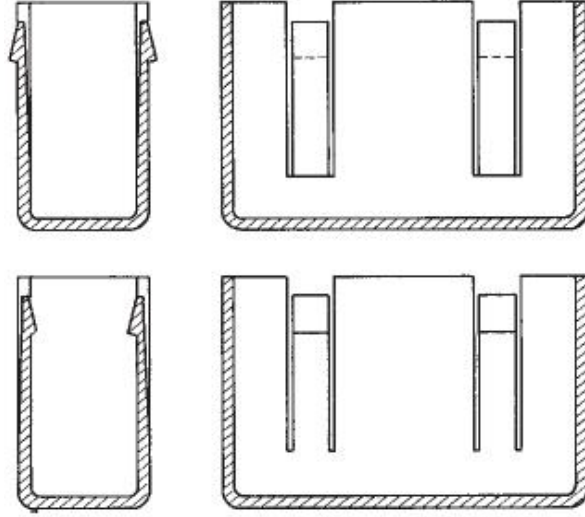
Şekil 4.30 ve 4.31 Küresel-halka tırnak ve Torsiyonel Tırnak mekanizması (Erhard, 2006).

Şekil 4.32 ve 4.34 arasında tırnaklı tasarımlar ile ilgili tasarım tavsiyeleri görülmektedir (Erhard, 2006). Çift kancalı mafsallarda silindirik kesitli tasarımın kalıp maliyetleri daha düşüktür.



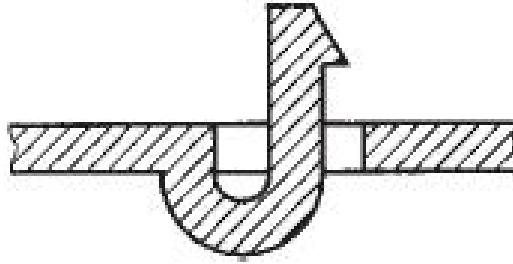
Şekil 4.32 Çift kancalı tasarımlarda tavsiye edilen tasarım örneği (Erhard, 2006).

Tırnaklar mümkünse içe doğru değil dışa doğru tasarlanmalıdır. Bu parçanın üretimini kolaylaştıracak ve kalıp masraflarını azaltacaktır.



Şekil 4.33 Parça üzerinde tırnaklar kalıp maliyetini azaltacak şekilde tasarlanmalıdır (Erhard, 2006).

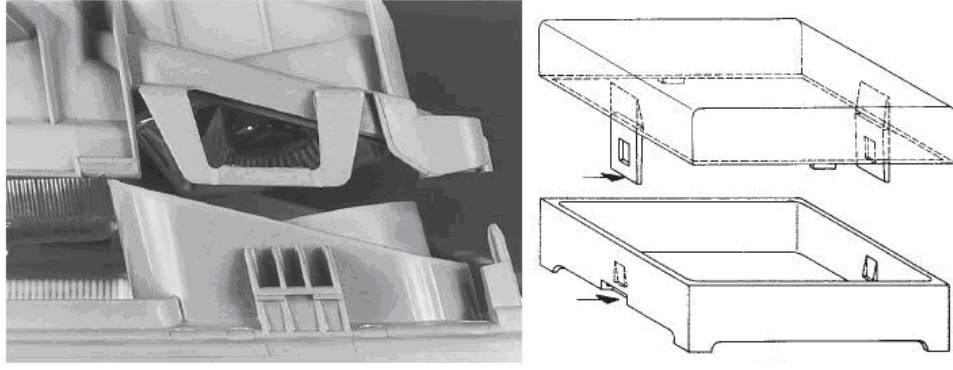
Konsol tırnak tasarımlarında kanca yüksekliği, kancanın elastik bölümünün uzunluğunu artırarak sağlanabilir.



Şekil 4.34 Kanca yüksekliğinin artırılması için tasarımı önerisi (Erhard, 2006).

Aşağıdaki şekillerden görülebileceği gibi içten kilitlemeli tırnak tasarımlarıyla birden fazla pozisyonda kilitleme işlemi yapılabilir.

Bazı tasarımlarda kanca ve kilit deliği yer değiştirmesi daha avantajlı olabilmektedir.



Şekil 4.35 Kanca ve kilidin yer değiştirmesinin daha uygun olacağı tasarım örnekleri (Erhard, 2006).

4.1.12 Esnek Menteşeler

Esnek menteşeler bir parçanın iki rijit bölümünü birbirine bağlayan ve onların açılıp kapanmasına izin veren ince ve esnek yapılarıdır. Esnek menteşeler ilk olarak endüstriye 1963 yılında reçete kutusu olarak girmişlerdir. 40 yılı aşkın bir süredir kullanılan esnek menteşe tasarımları tasarımcılar tarafından ilaç kapaklarından otomobil gaz pedallarına, takım çantalarından CD kutularına kadar yüzlerce farklı tasarımda kullanılmaktadır.

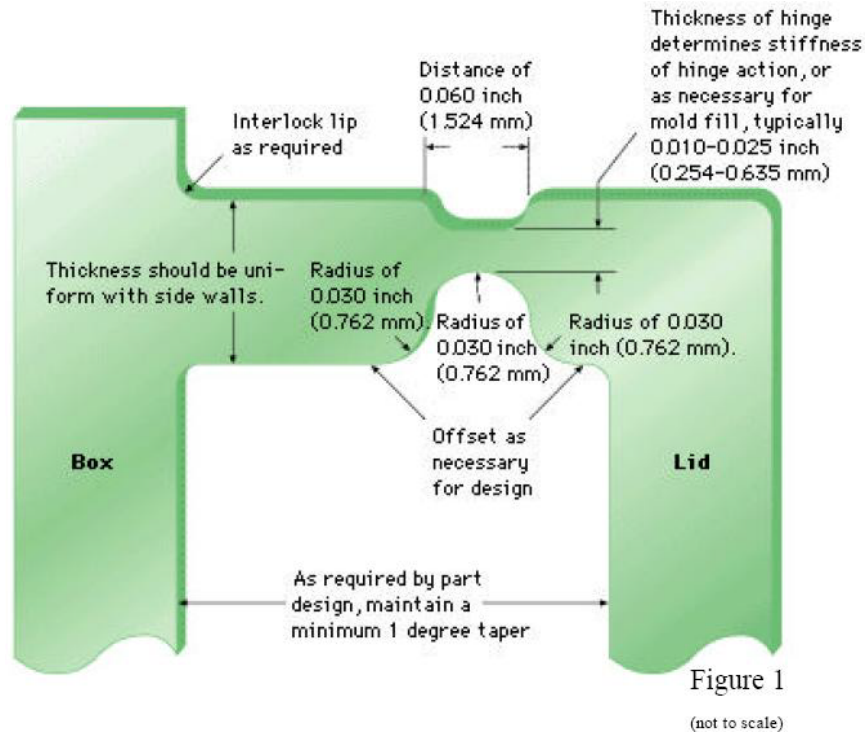


Şekil 4.36 Esnek menteşe tasarımlarının kullanıldığı farklı plastik ürün örnekleri.

Esnek menteşe tasarımı polipropilen ve polietilen malzemeler gibi esnek malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler ile yapılan menteşeler binlerce kez kullanılabilir. Eğer menteşe uzun süreli kullanılmayacaksa malzeme olarak naylon veya asetal kullanılabilir. Esnek menteşeler kullanım sürelerine göre üçe ayrılır (http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plastic design/living_hinge.htm).

- 1) Tam elastik menteşe(binlerce açma kapama işlemi yapılabilir).
- 2) Tam plastik menteşe(birkaç açma kapama yapılabilir).
- 3) Elastik-plastik menteşe(yüzlerce açma kapama yapılabilir).

Esnek menteşelerin tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar; menteşe altında bulunan radyüs, menteşenin kalınlığı ve menteşe üst kısmında bulunan boşluk miktarıdır. Şekil 4.37 de polipropilen malzeme için esnek menteşe tasarımında tavsiye edilen ölçüler görülmektedir.



Şekil 4.37 Poipropilen esnek menteşe tasarımında tavsiye edilen ölçüler (http://www.huntsman.com/polymers/Media/Living_Hinge_Tips.PDF).

Menteşe kalınlığı, malzemenin menteşeden geçiş anındaki moleküler oryantasyonu üzerinde oldukça etkilidir. Menteşe erimiş malzemenin bir bölümden öteki bölüme geçişi sırasında bir kısıtlama getirmek zorundadır.

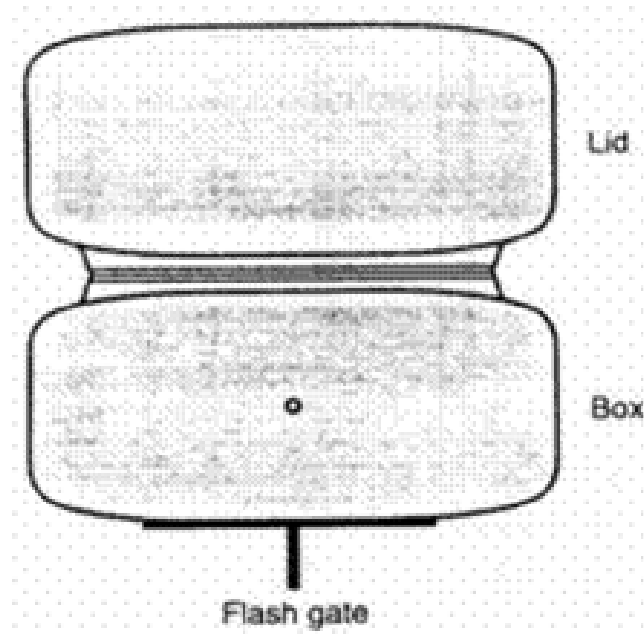
Menteşe kalınlığı 0.015 inch değerini aştığında moleküler oryantasyonda önemli ölçüde sapmalar (bozulmalar) meydana gelmektedir (Beal, 2002). 0.015inch üzerindeki kalınlıklarda menteşe tarafından bükülmeye karşı koyulan direnç artmaktadır. Bu nedenle bükülme sırasında radyüs üzerinde meydana gelen çeki gerilmeleri akma gerilmelerini aşmakta ve yüzeyde mikro çatlaklar meydana getirerek parçanın ömrünü azaltmaktadır (Beal, 2002). Polipropilen malzemenin elastik sınır içerisindeki uzama miktarının yüksek olması onu esnek menteşe tasarımlarında en çok tercih edilen malzeme haline getirmiştir.

Menteşenin altında bulunan radyüs değeri erimiş malzemenin menteşeden geçmesi sırasında akış işlemine karşı koyulan direnci azaltarak malzeme içerisindeki iç gerilmelerin şiddetini azaltmaktadır. Radyüs değeri için en ideal ölçünün 0.03 inch olduğu belirtilmiştir (Beal, 2002).

Bu kaynaklarda kapanma sırasında keskin bir bükülmeye engel olması için esnek menteşenin üst kısmında bulunan oyukun orta noktası radyüs merkezi ile çakışacak şekilde 0.06inch uzunluğunda ve en az 0.005inch kalınlığında yapılması tavsiye edilmektedir (Beal, 2002).

Enjeksiyon ile üretilen parçalarda dikkat edilmesi gereken en önemli kurallardan biri uniform malzeme kalınlığıdır. Esnek menteşeli tasarımlarda bu kuralın ihlal edilmesi menteşe bölgesinde basınç düşümlerine neden olmaktadır. Bu nedenle malzemenin çekme miktarı artırmakta ve kalıplama işlemi sonrası menteşe ile kapatılan parçalar birbiri üzerine oturtulamamaktadır. (www.huntsman.com/polymers/Media/Living_Hinge_Tips.PDF). Radyüs değeri ve üst kısımdaki boşluk malzemenin akışını kolaylaştırmakta ve basınç düşümlerini azaltmaktadır ayrıca parça içerisinde oluşacak gerilme azaltılmaktadır. Basınç düşümlerini azaltmanın bir yolu da menteşenin her iki tarafından aynı anda enjeksiyon yapmaktır.

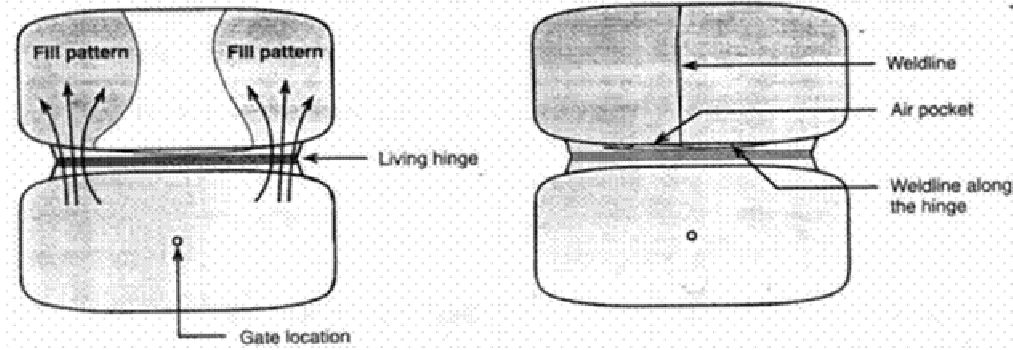
Bu işlem masraflı olmakla birlikte menteşe kısmında kaynak çizgilerinin oluşumuna izin verilmemelidir. Ayrıca moleküler oryantasyonu artırmak için giriş noktasının yeri iyi seçilmelidir. Giriş, menteşe üzerinde kaynak çizgilerinin oluşumuna izin vermemeli ve malzeme akışı menteşeye dik meydana gelmelidir menteşeye paralel değil. Bu nedenle girişlerin yan taraftan yelpaze giriş şeklinde yapılması önerilmektedir (http://engr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/living_hinge.htm).



Şekil 4.38 Esnek menteşelerde tavsiye edilen giriş tipi (http://engr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/living_hinge.htm).

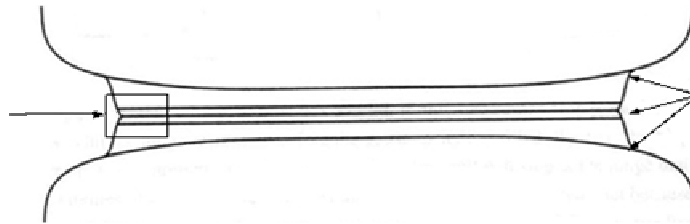
Şekil 4.39’da yanlış giriş şekli ve yeri kullanılmış bir kalıpta enjeksiyon sırasında meydana gelen akış işlemi görülmektedir. Bu şekle göre enjeksiyon işleminin başlamasıyla ilk parça içerisine gönderilen akışkan, menteşenin gösterdiği direnç nedeniyle karşı bölüme geçememiş, ilk parçanın tamamen dolmasını beklemiştir. İlk parçanın dolması iç basıncın artmasına neden olmuş ve menteşenin yırtılmaya karşı mukavemetini artırmak için ortaya nazaran 0.01-0.02 inch daha kalın yapılan kenar kesitler üzerinden karşı tarafa geçmesi için zorlamıştır. Bu bekleme süresi içerisinde soğuyan akış önyüzü karşı parçanın doldurulması sırasında kaynak çizgisinin oluşumuna neden olmuş ve menteşe üzerinde hava sıkışmasına neden olmuştur. Kaynak çizgisi ve hava sıkışması mukavemet özelliklerini düşüren, estetik kaliteyi bozan faktörlerdir. Üretim sonrası malzeme oryantasyon miktarının artırılması için

Üretilen malzemeler kalıptan çıktıktan sonra operatör tarafından bir kaç defa bükülüp, esnetilmelidir (http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/living_hinge.htm).



Şekil 4.39 Yanlış giriş tipinin seçilmesi sonrası meydana gelen hava sıkışması (http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/living_hinge.htm).

Yırtılmaya karşı mukavemeti artırmanın bir yolu, menteelerden parçalara geçişlere radyüs vermektir.



Şekil 4.40 Yırtılmaya karşı menteeyi kuvvetlendirmek için mentee kenarlarına verilen radyüs (http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/living_hinge.htm).

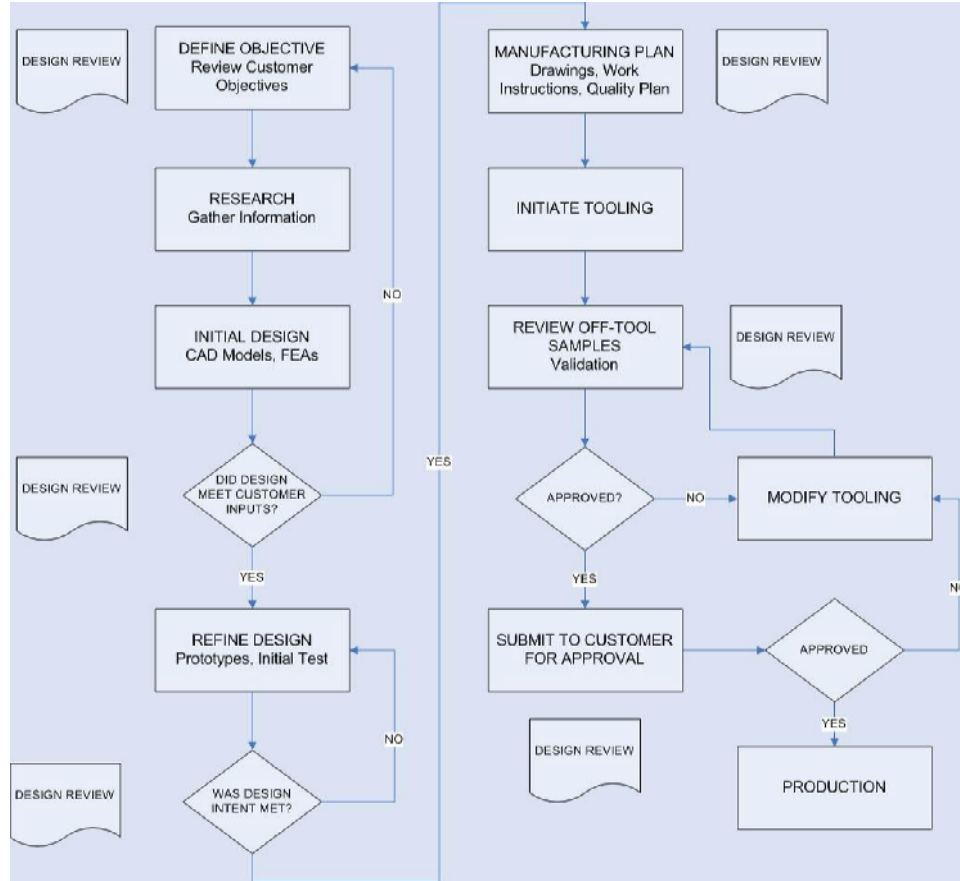
Esnek menteelerin tek sefer veya uzun süre kullanılabilir olması bükülme sırasında meydana gelen maksimum gerilmenin elastik bölgede veya plastik bölgede olasına göre değerlendirilir. Bükülme sırasında menteede meydana ekil değişimi nedeniyle, menteenin ortasından geçen tarafsız eksenin üzerinde bası gerilmeleri, altında ise çeki gerilmesi oluşur. eki gerilmeleri molekülleri birbirinden ayırmaya, bası gerilmeleri birbirine yanatırmaya çalıştığından hesaplama maksimum çeki gerilmesine göre yapılmalıdır. Maksimum eki gerilmesi menteenin en alt noktasında meydana gelir.

4.2 Ürün Tasarımı Yöntemleri

Bundan önceki konuda plastik ürünlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken kurallara değinilmişti. Bu kurallar çerçevesinde ürün tasarımı farklı yöntemlerle yapılabilir.

4.2.1 Klasik Tasarım Yöntemi

Bu yöntemlerin başında klasik tasarım yöntemi gelmektedir. Klasik ürün tasarımı Şekil 4.41 de görülmektedir. Klasik ürün tasarımı yöntemi tasarlanacak olan ürünün ve ondan beklenen özelliklerin tanımlanması ile başlar, daha sonraki adımda ürün ile direkt veya dolaylı yoldan ilgili her türlü bilgi ve benzer tasarım örnekleri toplanır, elde edilen bilgiler değerlendirilerek sınıflandırılır ve ön tasarım aşamasına geçilir. Ön tasarım aşamasında tasarım ekibi, tasarım ve imalat kurallarını dikkate alarak ihtiyaçlar doğrultusunda ilk tasarıma ait eskiz çalışmalarını tamamlar. Eskiz çalışmalarını tasarıma ait kaba ölçülerle şekillendirilmiş model resimler ve bu ölçülere bağlı olarak yapılmış kaba mühendislik hesapları kapsamaktadır. Eskiz çalışmalarının müşteri taleplerini ve mühendislik gereksinimlerini yerine getirmesi durumunda detaylı tasarım aşamasına geçilir. Detaylı tasarım aşamasında ürünün detaylı teknik resimleri ve mühendislik hesapları yapılır ayrıca ürüne ait prototip oluşturularak ürün test edilir. Testten geçen tasarımın üretim planlaması yapılır. Üretim planlamada Üretim aşamaları, üretim yöntemleri, imalat resimleri, imalat akış diyagramları, kalite planlaması yapılır ve ön imalat adımına geçilir. Ön imalat adımı tamamlandığında numuneler yeniden gözden geçirilir ve müşteri grubuna sunularak görüşleri alınır. Bu işlemi başarıyla geçen tasarımın artık seri üretimine geçilebilir.



Şekil 4.41 Klasik ürün tasarımı adımları (<http://www.oemdesigns.com>).

4.2.2 Eş Zamanlı Mühendislik Yöntemi

Teknoloji, artan rekabet, maliyet, kalite ve zaman yönetimindeki gelişmeler tasarım yöntemleri üzerinde oldukça önemli değişikliklere neden olmaktadır. Eş zamanlı mühendislik yöntemi bu faktörler tarafından şekillendirilen yeni tasarım metotlarından biridir. Bu metot, başta kalite, maliyet, program ve kullanıcı gereksinimleri olmak üzere, kavram aşamasından, kullanımdan kaldırılmasına kadar geçen dönem süresince bir ürünü etkileyen tüm etmenlerin tasarımcılar tarafından dikkate alınmasını sağlamayı hedefler (Özbakır, 2006).

Eşzamanlı mühendislik, özellikle müşterinin gereksinimlerine uygun olarak belirlenmiş ürünün, tasarım, üretim, servis, pazarlama ve kalite kontrol disiplinlerinin bir arada çalışmaları yoluyla en az tekrarla, en kısa zamanda, en düşük maliyetle geliştirilmesi ve optimum maliyet-performans dengesine sahip olarak müşteriye

sunulmasıdır (Özbakır, 2006). Bu metotta pazarlama, satın alma, kalite, üretim, teknik servis ve diğer departmanların temsilcileri tasarım tavsiyeleri sunan ve bunları tekrar gözden geçiren takımlar halinde çalışırlar.

Firmadan firmaya eş zamanlı mühendislik uygulama yöntemi akışında küçük değişiklikler olmakla birlikte eş zamanlı mühendislik yöntemi ile ürün tasarımı dört temel bölümden meydana gelir. Aşağıdaki örnekte Toyota firmasında kullanılan eş zamanlı mühendislik uygulaması görülmektedir (Özbakır, 2006);

1) Tasarım alanını belirlenmesi

Tasarım ve üretim mühendisliği olmak üzere iki fonksiyon kendi uzmanlık alanlarından yapılabilir çözümler kümesini tanımlar. Ürün geliştirmede Toyota bu aşamaya iki seviyeli olarak yaklaşmaktadır. Birinci aşamada Toyota mühendisleri ve tasarımcıları birçok alternatif üzerinde tartışırlar. Araştırmalar, analizler ve görüşmeler hangi olasılıkların kar veya maliyet ya da üretim koşulları nedeniyle çalışma alanının dışında bırakılacağını göstermektedir. Bu aşamada finans ve pazarlama biriminde gelen ekip üyelerinin desteği maksimum seviyede alınmaya çalışılır. Amaç, problem için uygulanabilecek çözüm kümelerini belirleyebilmektir. İkinci aşama ise süre gelen tabana ekip üyelerinin her projeden öğrendikleri alternatifleri, teknik tasarım standartlarını ve ticari kuralları doküman haline getirip, ekleyerek tabanı geliştirmek şeklindedir. Tasarım alanının sınırlarını belirlemenin üç elemanı; uygulanabilir alanları tanımlamak, çok alternatifli tasarım yaparak verilmesi gereken ödünleri araştırmak ve tasarım ihtimalleri üzerinde tartışmak olarak sıralanabilir.

2) Kesişen alanların entegrasyonunun sağlanması

Tasarım mühendisleri bu aşamada üretim mühendisliği ve diğer (pazarlama-finance) departmanların perspektifince uygulanabilir olmayan düşünce ve çözümleri elimine eder. Fakat fonksiyonel gruplar kendi açılarından ve diğerleri açısından durumu kavramaya başladıkça tasarım takımları, alt sistemleri her grup için çalışabilir bir çözüm tanımlayarak entegre eder. Bu aşamasında kendi içinde üç alt aşaması vardır;

Bunlardan ilki, olası çözümlerden oluşan kesişim kümelerini araştırmaktır: Olasılık üzerinde tartışıldıkça her grup için olası çözümlerden oluşan bir kesişim kümesi ortaya çıkar.

Daha sonraki aşama minimum sınırları ortaya koymaktır: Toyota bir zaman diliminde, ilerleyen araştırma safhalarının ve gelişim entegrasyonunun esnekliğinin sınırlanmaması için o dilime gerekli minimum sınırlamalarla çalışır.

Son aşama güçlü konseptlerin araştırılmasıdır: Güçlü tasarım, hava koşulları ve dış kaplama gibi fiziksel çeşitliliklerden etkilenmeden her durumda fonksiyonel olan tasarımıdır.

3) Karardan önce fizibiliteyi (yapılabilirliği) oluştur.

İki grup, üretim projesinin tasarımında ve fabrikasyonunda bir başlangıç hamlesi yaparak, üretilebilir olduğundan emin olarak düşünülen kümeler hakkında iletişime devam eder. Ürün geliştirmesine esnek yaklaşım, bütün sistemin optimizasyonunu mümkün kılar çünkü tasarımcılar bir ürün tasarımına karar vermeden bütün olasılıkları ve etkileşimleri anlamak için araştırma yaparlar. Bütün tasarım alternatiflerini paralel olarak araştırmak ve sonunda birinin üzerinde mutabık kalmakla Toyota sadece geç kalınmış noktalarda ortaya çıkacak olan problemleri önlemekle kalmayıp aynı zamanda sistem performanslarıyla ilgili kararları da almış olmaktadır. Bu aşama da üç alt aşama da ele alınmalıdır. Bu aşamalar aşağıda görülmektedir.

1-Detayların artmasıyla daralan kümeleri elde etmek

2-En az bir uygun çözüm içeren kümelerle çalışmayı sınırlandırmak

3-Proses aşamalarına başlamadan önce şüpheleri ortadan kaldırmak

4) Nihai tasarım kararı

Aşamalı olarak bir noktada birleşerek nihai bir tasarıma ulaşmak, geliştirme takımının her aşamada güvenilir/emini tasarım kararları almalarına yardım eder. Bu

ayrıca, her iki fonksiyonun az bir yeniden çalışma riskiyle (aynı işi tekrarlama) dayanışma içinde çalışmasını sağlar.

Bir çizelge olarak elimizin altında bulunması gerekli olan safhaları da şu şekilde belirtebiliriz (Özbakır, 2006).

Ürün planlama

Tasarım

Prototip onayı

Ön seri üretim onayı

Gerekli araç/gereç hazırlıkları

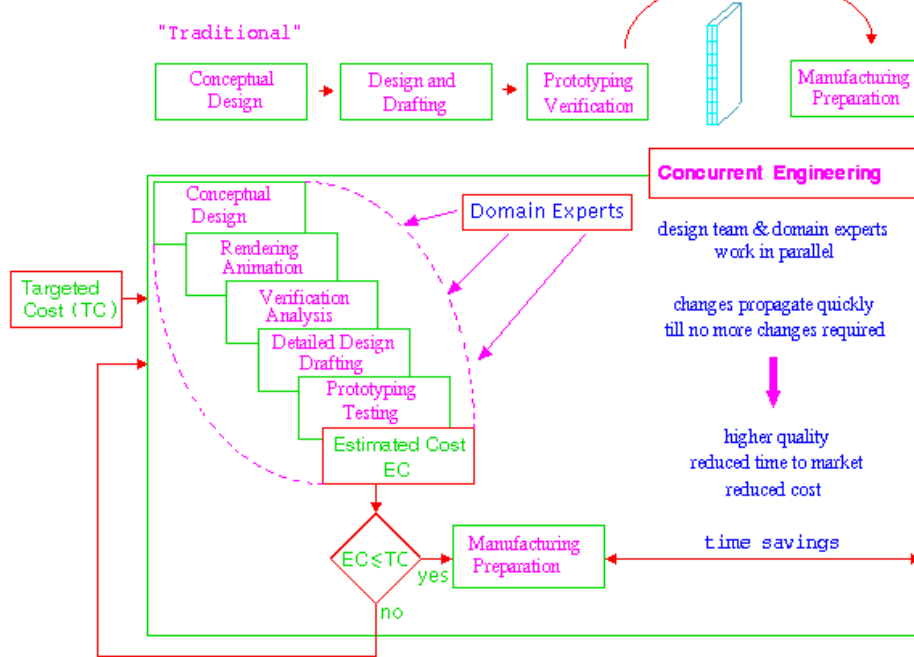
Testler

Seri üretim

Bu çizelge bize eşzamanlı mühendislik sürecinin hangi aşamasında olduğumuzu anlayabilmemiz açısından çok faydalı olacaktır(Özbakır, 2006)

Şekil 4.42 de eş zamanlı mühendislik uygulaması ve klasik tasarım uygulamalarının adımlarını karşılaştırılması görülmektedir.

CONCURRENT ENGINEERING DESIGN STAGES



Şekil 4.42 Klasik tasarım yöntemi adımları ve eş zamanlı mühendislik tasarımı adımlarının karşılaştırılması (http://www.ewh.ieee.org/soc/es/Aug1996/030/cd/en495w_03/conc32.htm).

4.2.3 Tersine Mühendislik Yöntemi

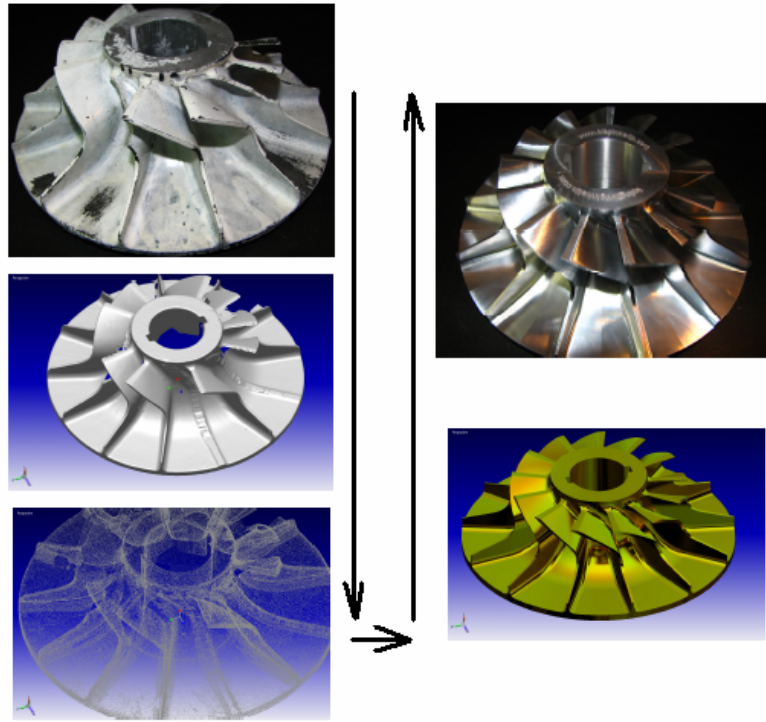
Tersine mühendislik yöntemi, var olan bir nesnenin tasarım bilgilerinin bulunmadığı durumlarda, nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla, ürünün üç boyutlu uzayda sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesidir (Dereli ve Baykasoğlu, 2005). Bu yöntem eş zamanlı mühendislik yöntemi içerisinde tasarım aşamasında ve hızlı prototipleme yöntemi için gerekli dataların elde edilmesinde çok sık kullanılmaktadır.

Günümüzde tersine mühendislik yöntemi, etik ve yasal olmamakla birlikte, sık olarak başka bir firma tarafından üretilmiş olan bir ürünün kopyalanmasında kullanılmaktadır. Gerçekte bu yöntemin geliştirilmesindeki temel neden, ürün henüz tasarım aşamasında iken devreye girerek üretim problemlerini çözmek, ürün geliştirme ve üretim süresini kısaltmaktır. Tersine mühendislik yöntemi kısa zamanda çok sayıda farklı prototiplerin oluşturulabilmesine ve kıyaslanabilmesine

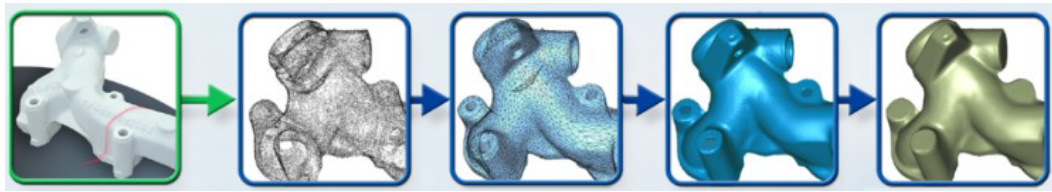
olanak sağlamaktadır. Bu metodun diğer bir avantajı ise üretime geçmeden, daha tasarım aşamasında oluşabilecek problemlerin tespit edilmesine olanak sağlamasıdır.

Tersine mühendislik yöntemini kullanmaya ihtiyaç duyulmasının sebepleri aşağıda belirtilmiştir (Çakır, 2005):

- 1)Üreticinin bir parçayı uzun zamandır üretmemesi ve tekrar üretmek istemesi.
- 2)Orijinal dizaynın yetersiz dokümantasyona sahip olması.
- 3)Bir ürünün orijinal üreticisinin artık bulunmaması fakat müşterilerin bu ürüne ihtiyacının olması.
- 4)Ürünün orijinal dokümantasyonunun kaybolması veya hiç var olmamış olması.
- 5)Ürünün bazı kötü özelliklerinin yeniden tasarlanmasına ihtiyaç duyulması.
- 6)Ürünün uzun süreli kullanımına dayanarak ürüne ait iyi özelliklerin güçlendirilmesi.
- 7)Rakip ürünün iyi ve kötü özelliklerinin analiz edilmesi.
- 8)Ürünün performansını ve özelliklerini geliştirmede sonuca götürecek yeni yolların keşfedilmesi.
- 9)Rakip ürünlerin anlaşılması ve daha iyi ürünlerin geliştirilmesinde rekabete dayalı kıyaslama metodlarının elde edilmesi.
- 10)Orjinal CAD modelinin değişiklikler ya da güncel üretim yöntemleri için yeterli olmaması.
- 11)Orjinal üretici firmanın ek/yedek parçalar sağlamada yetersiz ya da isteksiz olması.
- 12)Orjinal üretici firmanın parça sağlamada aşırı ücret talep etmesi.
- 13)Modası geçmiş parçaların ya da eski üretim işlemlerinin bugünkü ve daha ucuz teknolojilerle güncellenmesi.



Şekil 4.43 Tersine mühendislik yöntemi ile hasar görmüş türbin kanadından yeni türbin kanadının oluşturulması, (Bozkurt, 2005).



Şekil 4.44 Otomobil egzoz manifoldunun gerçek parçadan tersine mühendislik ile elde edilen poligon modeli, (Dereli ve Baykasoğlu, 2005).

Tersine mühendislik yönteminin en önemli üç elemanı: sayısallaştırıcı/tarayıcılar, hızlı prototipleme makinaları ve tersine mühendislik yazılımlarıdır (Dereli ve Baykasoğlu, 2005). Sayısallaştırma işlemi mevcut parça geometrisinin bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Bu aktarma işlemi için kullanılan cihazlar: temas ederek kullanılan problu cihazlar ve temas edilmeden kullanılan kameralı ve lazerli cihazlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte: hepsinin temel görevi model geometrisini, nokta bulutu şeklinde bilgisayar ortamında sayısal verilere dönüştürmektir. Daha sonra bu veriler, uygun yazılımlar yardımıyla düzenlenerek yüzeyler oluşturulur, CAD dosyası haline dönüştürülür ve hızlı prototipleme makinaları ile gerçek modeller elde

edilir. Hızlı prototipleme makinaları ile üretim, model malzemesinin katman katman, üst üste eklenmesi ve yapıştırılmasıyla elde edilir. Hızlı prototipleme makinalarında farklı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler ve karşılaştırılması Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1 Hızlı prototipleme makinalarında kullanılan sistemlerin karşılaştırılmaları

(http://end.aytasarim.com/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=47).

Ölçüsel Doğru	OBJ	FDM	SLS	SLA	3DP	Ölçüsel Daha Az Doğru
Mekanik Direnci Çok	FDM	SLS	SLA	OBJ	3DP	Mekanik Direnci Az
İyi Çözünürlük	OBJ	SLA	FDM	SLS	3DP	Kaba Çözünürlük
Pürüzsüz Yüzey	OBJ	SLA	FDM	SLS	3DP	Pürüzlü Yüzey
Ucuz	3DP	OBJ	SLS	FDM	SLA	Pahalı
Hızlı	3DP	SLA	OBJ	SLS	FDM	Yavaş

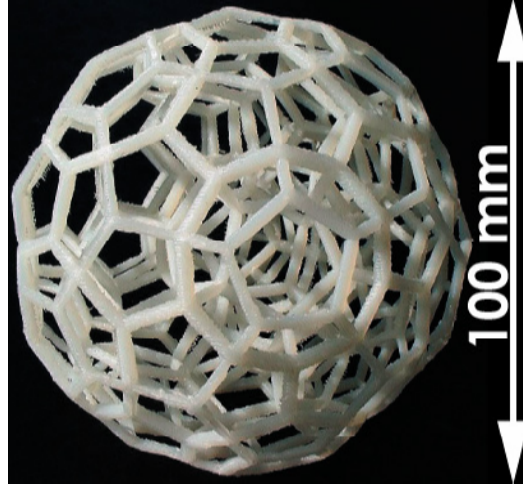
SLA (Stereolithography Apparatus): Işığa duyarlı reçinenin lazer ışını tarafından katman katman katılaştırılması esasıyla çalışan sistemdir. SLA yöntemiyle yüksek doğruluk oranındaki nesneler, pek çok farklı malzemede seçme özgürlüğüyle üretilir.

SLS (Selective Laser Sintering): Işığa duyarlı bir tozun CO2 lazer ile katman katman sinterlenmesi esasıyla çalışan sistemdir. SLS doğru ve kuvvetli parçalar üretir ancak makinadan çıkan parçanın yüzey kalitesi göreceli olarak düşüktür.

FDM (Fused Deposition Modeling): Eritilmiş plastiğin ya da mumun bir memeden sıkılıp katman katman birleştirilmesiyle çalışan sistemdir. FDM malzeme olarak ABS kullanır. Bu sayede kuvvetli, ısıya ve kimyasal maddelere mukavim parçalar üretilir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen plastik parçaların yüzde 60 ile 80 kuvvetine sahip parçalar üretilir. Her türlü ikincil işleme tabi tutulabilir. Fonksiyonel parçalar kullanmak için çok avantajlıdır.

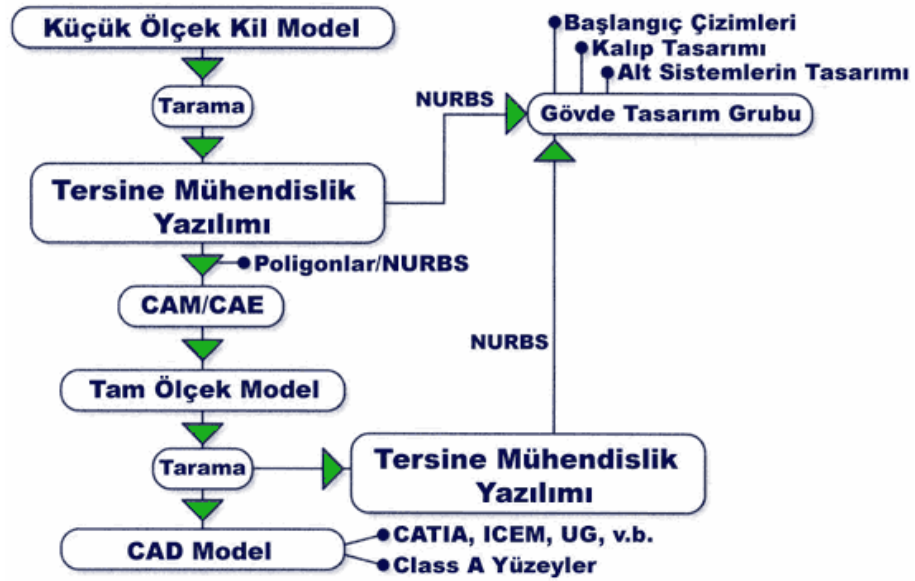
3DP (Z Corp Three-Dimensional Printing): Tozdan malzemenin ink-jet teknolojisine dayalı olarak üst üste yapıştırılmasıyla hızlı ve ucuz parçalar üreten sistemdir. Doğruluğu, sertliği, yüzey kalitesi düşüktür. Parçalar hızlıca ve ucuza üretilir.

OBJ (Objet Polyjet): Bu sistem stereolithography gibi ışığa duyarlı reçine kullanarak üretim yapar. Farkı, reçinenin uygulanma ve katılaştırılma yöntemindeydir.



Şekil 4.45 Hızlı prototipleme yöntemi ile üretilmiş örnek parça (http://end.aytasarim.com/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=47).

Tersine mühendislik tasarımı yöntemi akış diyagramı firmadan firmaya bazı farklılık gösterse de aşağıdaki örnekte Japon otomotiv firmalarında kullanılan örnek bir tersine mühendislik uygulaması verilmiştir. Bu yöntemi kullanarak Japon otomotiv firmaları, tam ölçekli bir otomobili tamamlamak için kullanılan üç aylık süreyi, üç güne indirgemeyi başarmışlardır (Bingöl, 2004).



Şekil 4.46 Japon otomotiv firmaları tarafından kullanılan tersine mühendislik iş akışı (Bingöl, 2004).



Şekil 4.47 Japon otomotiv firmaları tarafından kullanılan tersine mühendislik yöntemi adımları (Dereli ve Baykasoğlu, 2005).

Bu süreç tasarımcının otomobil gövdesini dörtte bir veya beşte bir ölçeğinde kilden çalışması ile başlıyor. Küçük ölçekli bu model bir 3D optik tarama cihazı ile

ölçülüyor. Bu tarama cihazı ile birçok parçadan oluşan yoğun 3D nokta bulutu dataları elde ediliyor. Bu nokta bulutu verileri hizaya getirilip birleştiriliyor ve yoğunluğu da uygun seviyeye getirilerek tek bir nokta bulutu elde ediliyor. Tersine mühendislik yazılımları yardımıyla, kafes (mesh) yapısında poligon model veya NURBS yüzeyler elde ediliyor. Poligon modeller mühendislik hesaplamaları için analiz (FEA, CFD) yazılımlarına ve hızlı prototip imalatı için otooınşa cihazlarına (STL formatında) veri aktarmakta kullanılıyor. Tersine mühendislik yazılımları yardımıyla elde edilen NURBS yüzeyler de CAD/CAM yazılımlarına (IGES formatında) veri aktarmak için kullanılıyor. Elde edilen bu dijital model güncellemeler için yüzey tasarım grubuna ve ilk imal kısıtlamalarını hesaplamaları için üretim grubuna gönderiliyor. Üretime gidecek dijital model tam boyutuna büyütülüyor ve kil veya başka bir malzemeden işleniyor. Yine optik tarama cihazı ile işlenen tam boyuttaki model taranıyor. Buradan elde edilen yoğun nokta bulutu üretilen fiziksel model ile işlenen dijital model arasındaki toleransı doğrulamak için kullanılıyor. Eğer bu değer tolere edilebilir ise tasarımcılar RE yazılımını tam boyuttaki CAD yüzeyini çıkarmak için, geleneksel CAD yazılımını da fonksiyonel tasarımını yapmak için kullanıyorlar. Eğer değer tolere edilebilir değil ise kil model modifiye ediliyor ve tarama, modelleme, kıyaslama aşamaları tekrar ediliyor ve bu aşamalar, tolere edilebilir değerler tasarımda istenen değerler elde edilinceye kadar sürdürülüyor (Bingöl, 2004).

BÖLÜM BEŞ

KALIP TASARIMI

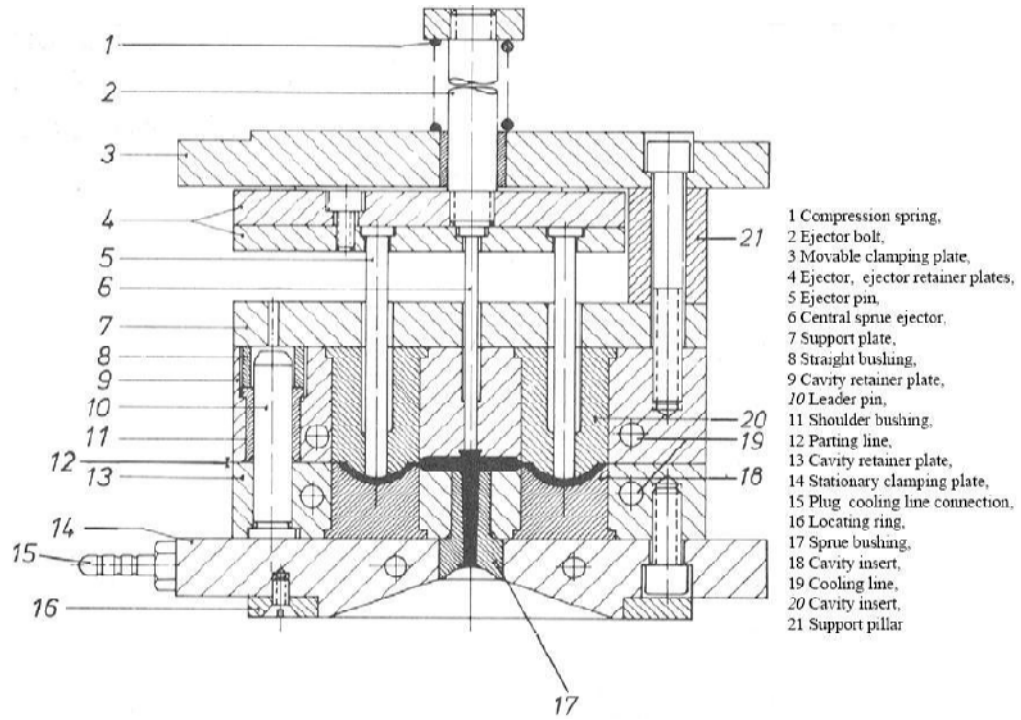
Plastik enjeksiyon ile imalat yöntemi; bilgi, hüner ve deneyim gerektiren bir imalat yöntemidir. Üretilecek parça kusursuz bir şekilde tasarlanırsa bile, kalıp tasarımında yapılan hatalar plastik enjeksiyon işleminin düşük verimle gerçekleştirilmesine neden olacaktır. Eğer üretimi tamamlanan kalıplardan enjeksiyon işlemi sonrası istenilen verim alınamazsa, üretilen kalıplarda revizyona gidilir. Revizyon işlemlerinde güdülen temel mantık, üretimi için para, emek ve zaman harcanmış kalıp üzerinde çeşitli imalat yöntemleri ile ufak değişiklikler yaparak deneme yanılma yöntemleri ile enjeksiyon işleminin performansını artırmaktır. Görüldüğü gibi revizyon işlemlerinin artması maliyeti artırmakta toplam verimi düşürmektedir. Bu nedenle kalıp tasarımı plastik parçaların üretiminde büyük bir önem taşımaktadır.

5.1 Kalıp Çeşitleri

Enjeksiyon kalıpları, içerisinde kalıplanan plastik malzemenin türüne göre dörde ayrılır;

- 1) Enjeksiyon kalıpları (Termoplastik malzemeler için)
- 2) Termoset kalıplar
- 3) Elastomer kalıplar (Kauçuk kalıpları)
- 4) Köpük malzemelerin kalıpları

Kalıpların ilk görevi erimiş malzemeye rehberlik ederek kalıp boşluğuna istenilen koşullarda ulaşmasını sağlamaktır. Diğer görevleri malzemeyi kalıp boşluğunda soğutarak (termoset ve elastomer malzemeleri ısıtarak) şekil vermek ve kalıplanan malzemenin kalıp dışına atılmasını sağlamaktır.



Şekil 5.1 Montaj kesit resmi görülen plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve bileşenleri
 (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1.pdf).

Kalıplar konstrüktif özelliklerine göre 11 gruba ayrılabilir. Bu grupları belirleyen temel özellikler Tabloda 5.1 de görülmektedir.

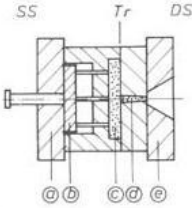
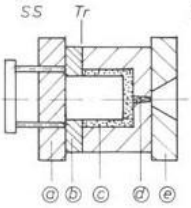
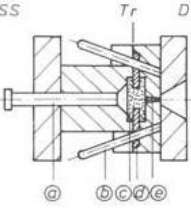
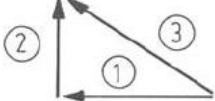
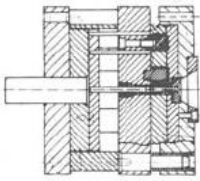
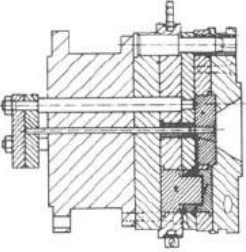
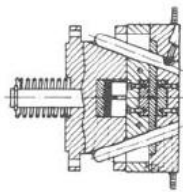
Tablo 5.1 Konstrüktif özelliklerine göre kalıp tasarımı çeşitlerinin ayırt edici özellikleri
(http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1.pdf).

Designation	Criteria
1. Standard mold	Simplest design ("standard"); one parting line; one-directional opening motion; demolding primarily by gravity, with ejector pins or sleeves
2. Slide mold	One parting line; opening motion in main direction and transverse with slide actuated by cam pin
3. Stripper mold	Similar to 1., but demolding with stripper plate
4. Mold designed for cutting off molding	Similar to 1., but separation of runner and molding by cutting with additional plate moving transverse (like 3.)
5. Split-cavity mold	One parting line; opening motion in main direction and transverse; cavity halves slide on inclined planes and can withstand lateral forces
6. Unscrewing mold	Rotational motion for automatically demolding a thread is mechanically actuated
7. Mold designed for tearing off molding	Two parting lines for demolding runner and molding separately after they have been torn apart; one-directional opening motion in two stages
8. Stack mold	Cavity plates stacked with several parting lines
9. Insulated-runner mold	Two parting lines; no conventional runner system but channels with enlarged cross section permitting formation of a hot core insulated by a surrounding frozen skin
10. Hot-runner mold	Runner is located in an electrically heated manifold
11. Special molds	Combinations of 2. to 10. for moldings with special requirements which do not permit a simple solution

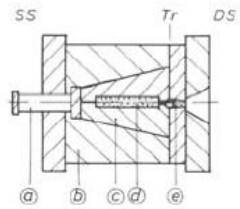
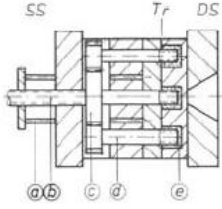
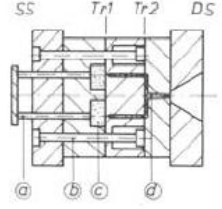
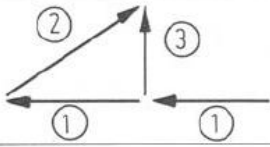
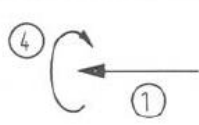
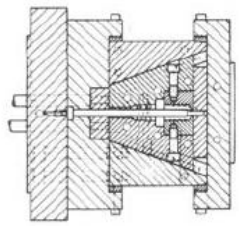
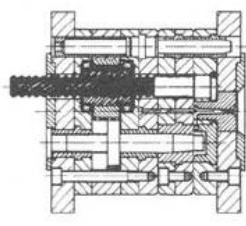
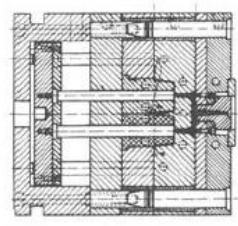
Tablo 5.2’de Tablo 5.1’de sınıflandırması yapılan kalıpların yaptığı hareketler ve kullanım yerlerine örnekler verilmiştir. Bu resimlerde gösterilen ok işaretleri üzerindeki numaraların ifade ettikleri hareketler aşağıda belirtilmektedir.

- 1-Temel açılma hareketi (Pimler tarafından rehberlik edilen hareket).
- 2-Kayma ve temel açılma hareketinin beraber yapıldığı bağlı hareket.
- 3-Kalıptan malzemenin atılması sırasında yapılan kayma hareketi (Mutlak hareket).
- 4-Vida profili verilmiş parçaların kalıptan çıkarılması sırasında yapılan bağlı dönme hareketi.

Tablo 5.2 Kalıp gruplarının şematik gösterimi, temel bileşenleri, karakteristik özellikleri, açılma hareketleri, örnek kalıp tasarımları ([http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1 .pdf](http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1.pdf)).

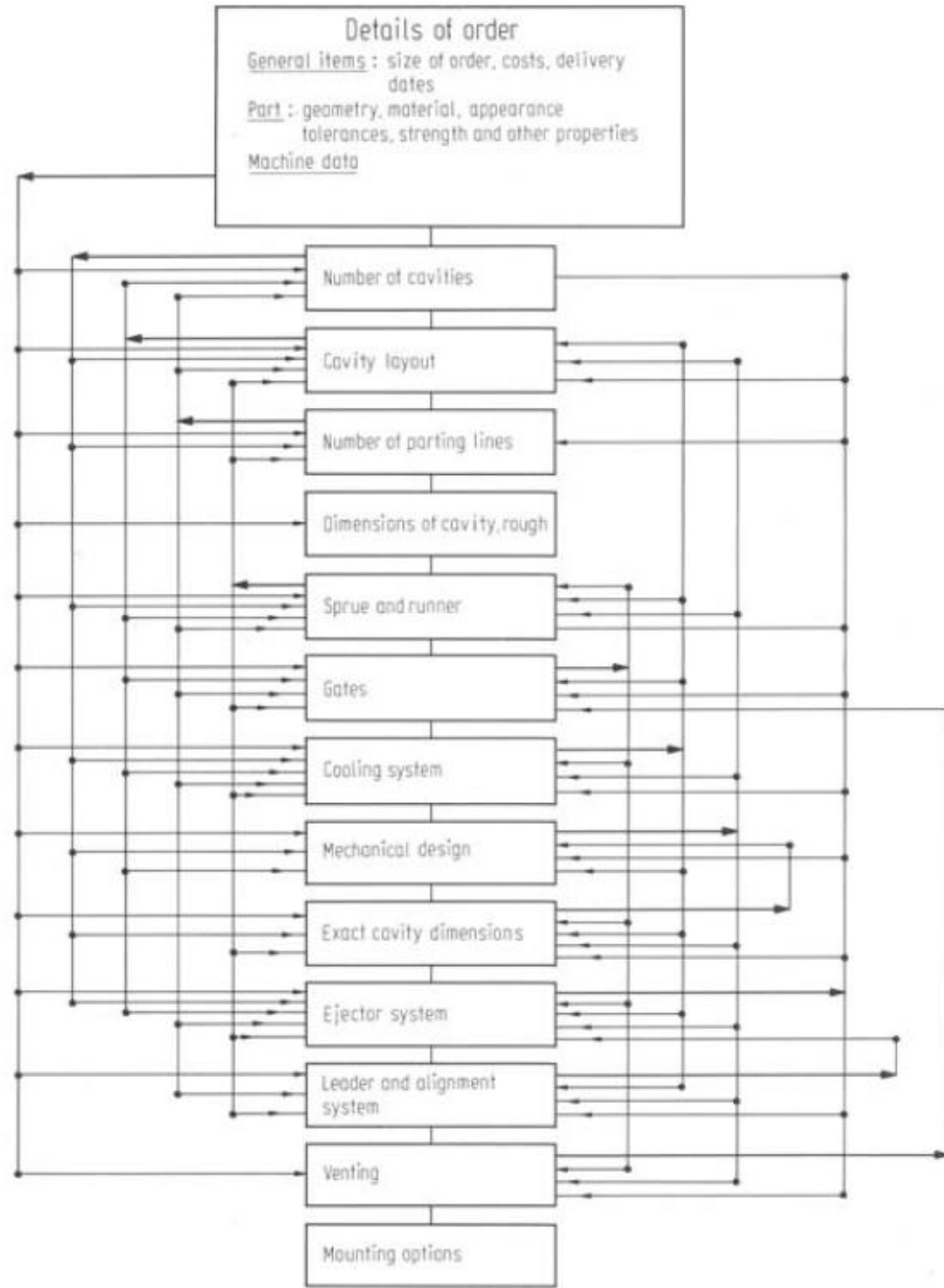
Standard mold	Mold with stripper plate	Slide molds	
			Schematic diagram
a. Clamping plate SS b. Ejector system c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate DS	a. Clamping plate SS b. Stripper plate c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate DS	a. Ejection system b. Cam pin c. Cavity d. Slide e. Sprue	Major components
most simple design; two mold halves; one parting line; opening in one direction; demolding by gravity, ejector pins or sleeve	design similar to standard mold but with stripper plate for ejection	design similar to standard mold but with slides and cam pins for additional lateral movement	Characteristic
			Opening path
			Example

Tablo 5.2 (Devam) Kalıp gruplarının şematik gösterimi, temel bileşenleri, karakteristik özellikleri, açılma hareketleri, örnek kalıp tasarımları (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1.pdf).

Split cavity mold	Mold with unscrewing device	Three-plate mold	
			Schematic diagram
a. Ejector system b. Retainer block c. Split cavity block d. Cavity e. Sprue	a. Ejection system b. Lead screw c. Gear d. Core e. Cavity	a. Ejector system b. Stripper bolt c. Cavity d. Sprue and runner	Major components
Design similar to standard mold but with split cavity block for moldings with undercuts or external threads	Thread-forming core is rotated by built-in and mechanically actuated drive	two parting lines; movement of floating plate actuated by latch or stripper bolt; two-step opening movement	Characteristic
for oblong or wide moldings with undercuts or threads	for moldings with internal or external threads	automatic separation of molding and runner	Moldings
			Opening path
			Example

5.2 Kalıp Tasarımı Adımları

Enjeksiyon kalıp tasarımında dikkat edilecek ilk nokta kalıp içerisinde şekil verilecek plastik malzemenin türüdür. Plastik malzemeler üç ana gruba ayrılmaktadır. Termoplastik malzemeler ısı enerjisi ile eriyerek soğutulduğunda katılaştıran plastik malzemelerdir. Bu nedenle enjeksiyon makinası içerisinde eritilmiş termoplastik malzemeler soğutma sistemine sahip kalıplar içerisinde şekillendirilirler. Daha sonra ayrıntılı bir şekilde anlatılacak olan bu soğutma sistemleri kalıbı 100C° den daha düşük sıcaklıklarda tutmak ve erimiş malzemenin kalıp içerisinde katılaşarak şekillendirilmesini sağlamaktadırlar. Tutma safhasında malzemenin tamamı henüz katılaşmadığı için kalıp ayırım çizgisi üzerinde 0.03mm den fazla boşluk bulunmamalıdır, aksi takdirde kalıp ayırım çizgisi üzerinden kalıp dışına malzeme taşmaları meydana gelerek çapak denilen üretim hataları oluşacaktır. Elastomer ve termoset malzemelerin molekül zincirleri arasında enjeksiyon işlemi sonrası çapraz bağlar meydana gelir. Bu nedenle bu tip malzemeler enjeksiyon ünitesinde olabildiğince düşük sıcaklıklarda muhafaza edilerek ısıtma sistemi bulunan kalıplar içerisine gönderilirler. Kalıp ısıtma sistemi vasıtasıyla kalıp boşluğu cidarlarından kalıp içerisindeki malzemeye ısı enerjisi verilerek malzemenin çapraz bağlarının kalıp içerisinde oluşması sağlanır. Bu nedenle bu malzemelerin kalıp ısıtma sistemleri enjeksiyon ünitesi sıcaklığından elastomer malzemeler için yaklaşık olarak 60C° termoset malzemeler için yaklaşık olarak 100C° daha yüksektir. Ayrıca kalıp içerisinde malzeme daha yüksek sıcaklıkla karşılaştığı için viskozitesi katılaşma öncesi düşmektedir. Bu nedenle elastomer malzemelerin kalıp ayırım çizgisi üzerinde 0.02, termoset malzemelerin kalıp ayırım çizgisi üzerinde 0.015mm den daha fazla boşluk bulunmamalıdır. Kalıp tasarımının yapılması için takip edilmesi tavsiye edilen prosedür Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2 Kalıp tasarımında işlem prosedürü (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_2.pdf).

5.2.1 Maksimum Kalıp Boşluğu Sayısının Belirlenmesi

Maksimum kalıp boşluğu sayısının hesaplanmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki makina kapasitesi dikkate alınarak yapılan hesaplamadır [13]. Bu hesaplama (shot size) enjeksiyon makinasının tek bir strokta enjeksiyon memesinden

kalıp içerisine enjekte edebileceği plastik malzeme hacminin, ürün, yolluk ve giriş hacimlerinin toplamına bölünmesi ile elde edilir. Makinanın tek bir strokta kalıp içerisine enjekte edebileceği malzeme hacmi makina katalogundan bakılarak veya vida (helezon) çapı ve boyu ile hesaplanabilir. İnce cidarlı plastik malzemelerin kalıplanması için maksimum kalıp boşluğu hesaplanırken makinanın tek seferde kalıp içerisine enjekte edebileceği hacim yerine, makinenin (plasticating rate) plastikleştirme hızının, dakikada plastikleştirilebilen parça yolluk ve giriş hacmine oranı kullanılmalıdır [14]. Amprik olarak bulunan ilişkilere göre birinci denklemde bulunan kalıp boşluğu sayısı ile ikinci denklemde bulunan kalıp boşluğu sayısı arasında [15] bağıntısı bulunmaktadır. (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_2.pdf).

$$N1 = \frac{\text{max. shot size } S_v \text{ in cm}^3}{\text{volume of part and runner } M_v \text{ in cm}^3} \quad [13]$$

$$N2 = \frac{\text{plasticating rate } R \text{ in cm}^3/\text{min.}}{\text{number of shots } Z/\text{min (part + runner volume in cm}^3)} \quad [14]$$

$$0.4 N1 \leq N2 \leq 0.8 N1 \quad [15]$$

İkinci yöntem sipariş adedi baz alınarak hesaplanan yöntemdir (Dragomatz, 2005). Öncelikle standart sipariş frekansının(sıklığının) 50 gün olduğu bilinmelidir. Eğer yıllık çalışma süresi 50 hafta kabul edilirse bu haftada 5 iş günü çalışan bir şirket için yıllık 250 iş günü demektir. Böylelikle yıllık üretim 50 günlük 5 periyota bölünebilir. Çalışma sırasında kalıp bağlama sökme, plastik hammadde hazırlama, parametrelerin ayarlanması gibi pek çok nedenden ötürü üretimde aksamalar olmaktadır. Bu nedenle periyot başına standart üretim hedefi 200 saattir. Periyot başına 200 saatlik çalışma hedefi tek vardiya için olup vardiya sayısı ile üretim miktarı doğru orantılı olarak artmaktadır;

- Tek vardiya 5 iş gününde 40 saatlik çalışma ile
- Çift vardiya 2,5 iş gününde 80 saatlik çalışma ile
- Üç vardiya 1,7 iş gününde toplam 120 saatlik çalışma ile yerine getirilebilir.

Önemli olan soru, bu süre içerisinde kaç adet parça üretilebileceğidir. Kalıp çevrim süresi ve her çevrimde üretilen parça adedi bilindiği takdirde saatlik üretim miktarı belirlenebilir. Kalıp çevrim süresi; parçanın soğuma süresine, makinenin enjeksiyon süresine, plastikleştirme hızına bağlı olduğu için hesaplanması karışıktır. Her faktör etkisinin önceden tahmininin zor olması, gerekli boşluk sayısının tahminini zorlaştırmaktadır. Örneğin herhangi bir parça için çevrim süresinin 60 çevrim/saat olduğunu kabul edelim. Buna göre periyot başına üretilebilecek parça adedi [16] denklemi ile hesaplanabilir. Kalıp boşluğu sayısının hesaplanmasında [17] denklemi kullanılır.

$$\text{Parça Adedi} = \text{Kalıp boşluğu sayısı} \times 200 \times \text{çevrim süresi} \quad [16]$$

$$\text{Kalıp boşluğu} = \text{Grup başına üretilen parça miktarı} \times \text{çevrim süresi} / 200 \quad [17]$$

Örneğin; Yıllık 100000 adet üretilecek bir parça için tek vardiya çalışan bir işletmede periyot başına üretim miktarı 20000 parça dır. Çevrim süresinin 60 parça/saat olduğu varsayımıyla;

Kalıp boşluğu sayısı = $20000 / (200 \times 60) = 1.67 \approx 2$ olarak hesaplanabilir (Dragomatz, 2005).

5.2.2 Kalıp Boşluğu Sayısı Belirlenen Kalıba Uygun Enjeksiyon Makinası Seçimi

Kalıp boşluğu sayısı belirlendikten sonra bu kalıba uygun makinaya karar verilmelidir. Karar aşamasında aşağıdaki özelliklerin kalıbın ihtiyaçlarını karşılamasına bakılır.

5.2.2.1 Shot Size

Enjeksiyon makinasının tek seferde kalıp içerisine enjekte edebileceği maksimum erimiş malzeme miktarı (makina kataloğu üzerinde yazan shot size değeri), o

makinanın kalıp içerisine enjekte edebildiği maksimum polistren miktarını göstermektedir. Eğer bu makine ile farklı bir plastik malzeme kalıp içerisine enjekte edilecekse shot size miktarı değişecektir. Yeni malzemenin shot size miktarını hesaplamanın iki şekli vardır. Bunlardan ilkinde malzemelerin bulk modülleri ve özgül ağırlıkları dikkate alınarak hesaplama yapılır. İkincisinde ise bulk modülü ihmal edilerek sadece özgül ağırlıklar kullanılır. İki yöntemde [18] ve [19] formülleri ile açıklanmaktadır (Dragomatz, 2005).

$$NM_SS = PS_SS.(NM_SG/PS_SG) \times (PS_BF/NM_BF) \quad [18]$$

$$NM_SS = (PS_SS.NM_SG)/(PS_SG) \quad [19]$$

NM_SS=Yeni malzeme shot size.

PS_SS=Polistren shot size

NM_SG=Yeni malzeme özgül ağırlığı

PS_SG=Polistren özgül ağırlığı

PS_BF=Polistren bulk faktörü

NM_BF=Yeni malzemenin bulk faktörü

Bulk faktörü erimemiş malzemenin erimiş malzemeye oranıdır. Bulk faktörünün genellikle ihmal edilmesinin nedeni makinanın malzeme hunisi içerisinde yeterli miktarda malzeme depo edilebilmesidir (Dragomatz, 2005).

5.2.2.2 *Plasticating Rate*

Enjeksiyon makinasının saatte eritebileceği malzeme miktarıdır. Makina kataloğunda yazan plastikleştirme hızı makinanın bir saatte veya bir dakikada eritebileceği polistren malzeme miktarıdır(katalogda yazan birime göre). Polistrenden farklı bir malzeme kalıplanacak ise yeni malzemeye göre makinanın plastikleşme oranı [20] denklemine göre hesaplanır;

$$NM_PR = PS_PR \times (PS_SH/NM_SH) \times (PS_T/NM_T) \quad [20]$$

NM_PR = Yeni malzemenin plastikleştirme hızı

PS_PR = Polistrenin plastikleştirme hızı

PS_SH = Polistrenin özgül ağırlığı

NM_SH = Yeni malzemenin özgül ağırlığı

PS_T = Polistrenin kalıplama sıcaklığı

NM_T = Yeni malzemenin kalıplama sıcaklığı

Genellikle makinaların maksimum plastikleştirme hızının %60-80'i kullanılır (Dragomatz, 2005).

5.2.2.3 Maksimum Enjeksiyon Basıncı

Makinanın verebileceği maksimum enjeksiyon basıncı helezonun malzemeyi ileri doğru iterken oluşturduğu basınçtır. Bu basınç enjeksiyon memesi (nozulu) çıkışında yaklaşık olarak 20000psi (140MPa) civarındadır. Bu basınç şiddetiyle kalıp içerisine enjekte edilen plastik malzeme kalıp boşluğu içerisinde ilerleyerek kalıbı doldurmaktadır. Kalıp boşluğu sayısı, kalıp boşluğu içerisinde malzemeden kalıba olan ısı transferi nedeniyle artan viskozite, cidar kalınlığındaki değişimler, köşeler, dar geçişler vs. basınç düşmelerine neden olarak enjeksiyon memesi ucundaki basıncın 1/2 sini veya 2/3'nü malzemenin en son katılan akış çizgisi ucuna iletebilmektedir. Enjeksiyona başlangıcından kalıp boşluğunun tamamen doldurulmasına kadar geçen süre zarfında basınç olabildiğince yüksek tutulmalıdır. Plastik enjeksiyon makinesinin verebileceği enjeksiyon basınç ne kadar büyük olursa o kadar karmaşık şekilli, çok gözlü ve büyük kalıplar tezgaha bağlanabilir. Özellikle kalıp boşluğu sayısının belirlenmesinde tasarımcı makinanın verebileceği maksimum basınç değerini göz ardı etmemelidir.

5.2.2.4 Tezgah Mengene Boyutları (*Platen Size, Tie Bar Clearance, Daylight Opening*)

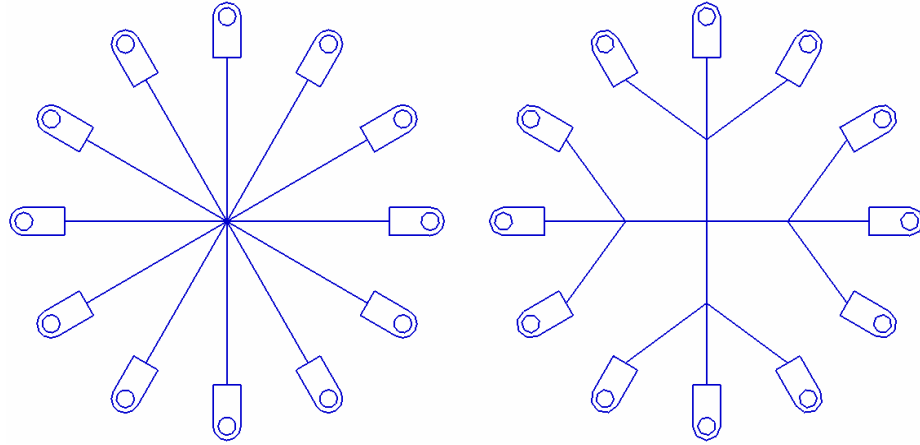
Enjeksiyon kalıpları sabit ve hareketli yarım olmak üzere iki parça halinde üretilirler. Bu yarımalar enjeksiyon tezgahı üzerindeki sabit ve hareketli mengene levhalarına bağlanırlar. Bu levhaların yüzeyleri ne kadar büyükse tezgaha o kadar büyük (geniş) kalıp bağlanabilir. Hareketli mengene plakasına bağlanmış kalıp yarımının merkezlenmiş bir şekilde sabit mengene plakasına ulaşmasını sağlayan miller arasındaki mesafe ne kadar büyükse onunla bağlantılı olarak kalıp bağlama yüzeyi de büyüyecektir. Bu tezgaha daha büyük (geniş) kalıpların bağlanmasına olanak tanıyacaktır. Hareketli mengene plakası en geri pozisyonunda iken sabit mengene levhası ile arasında bulunan maksimum açıklık (strok) ne kadar büyükse tezgaha bağlanabilecek kalıp yüksekliği bununla bağlantılı olarak artmaktadır. Kalıp yüksekliği ile parçanın kalıptan atılması için gerekli uzunluğun toplamı enjeksiyon tezgahı strok ölçüsünden küçük olamaz. Tasarımlarda ve tezgah seçiminde, kalıbın montajının yapılacağı bu ölçülere dikkat edilmelidir.

5.2.2.5 Kalıp Kapama Kuvveti

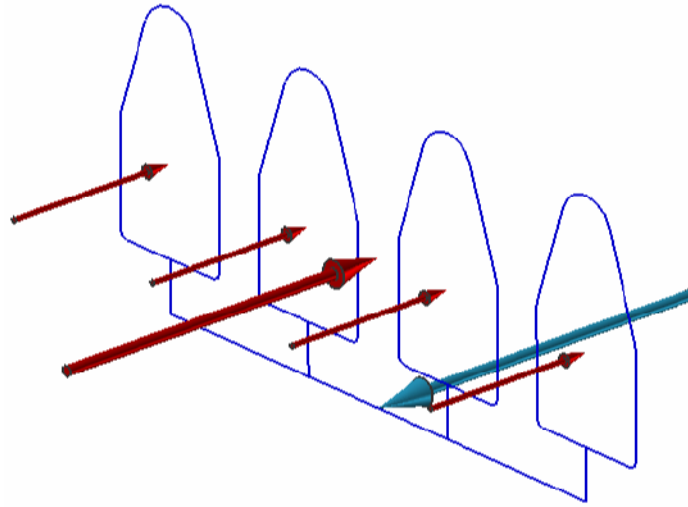
Kalıp kapama kuvveti, tutma işlemi sırasında meydana gelen basınca karşılık tezgah mengene ünitesinin kalıbı kapalı tutmak için uyguladığı kuvvete denilir. Maksimum kalıp kapama kuvvetine kalıp kilitleme kuvveti denir ve tezgah mengene ünitesinin kalıp yarımalarını kapalı tutabilmek için oluşturabildiği maksimum kuvvettir. Bir parçanın enjeksiyon tezgahında kalıplanması sırasında gerekli minimum kalıp kapama kuvvetini hesaplayabilmek için ilk olarak enjeksiyon işlemi ve tutma sırasında meydana gelen en büyük basıncı bilmek gerekir. Daha sonra parçanın kalıp ayırma çizgilerinin, kalıp açılma eksenine dik izdüşüm alanı hesaplanır. Son olarak enjeksiyon basıncı iz düşüm alanına bölünerek gerekli kuvvet hesaplanır (Akyüz, 2006). Pratik olarak kalıp kapama kuvveti izdüşüm alanı içerisindeki cm^2 başına 0,4-0,8 ton kuvvet etkidiği varsayımına göre hesaplanabilir (<http://www.dsm.com>).

5.2.3 Kalıp Boşluklarının Yerleştirilme Düzeni

Kalıp boşluğu sayısına karar verildikten sonraki adım kalıp boşluğunun kalıp içerisine yerleştirme düzenini (cavity layout) belirlemektir. Yerleştirme düzeni, erimiş malzemenin tüm kalıp boşluklarına aynı anda eşit basınç ve sıcaklıkta dolmasına olanak sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Bu tip dolma işlemlerine balanslı (dengeli) dolum işlemi denilmektedir. Balanslı dolum işlemi sadece kalıp boşluklarının yerleşimine değil aynı zamanda yollukların (dağıtıcıların) tasarımına da bağlıdır. Bu aşağıdaki şekilde açık olarak görülmektedir. Kalıp boşluklarının yerleşiminin belirlenmesinde enjeksiyon sonrası kalıp içerisinde oluşan kuvvetlerin bileşkesinin yolluk ekseninde meydana gelecek şekilde tasarlanmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun nedeni hareketli mengene sistemi tarafından kalıbı kapatmak için uygulanan kuvvetlerin bileşkesinin bağlama plakasının tam ortasında olmasıdır. Aynı zamanda mengene tarafından oluşturulan bileşke kuvvet enjeksiyon memesinin ortasından da geçmektedir. Bu nedenle kalıp gözleri doğru yerleştirilmez ise mengene kapma kuvveti ve enjeksiyon sonrasında oluşan kuvvetin eksenleri arasındaki fark moment oluşturmaya çalışacaktır. Moment kalıp yarımlarını birbiri üzerinde kaydırmaya çalışıp çapak oluşumuna neden olabileceği gibi, yüksek basınçlarda kalıba veya makina merkezleme barlarına zarar verebilir. Bu eksantrik yükleme aşağıdaki şekilde görülebilir. Kırmızı ile görülen küçük oklar kalıp boşluğu dik izdüşüm alanının ağırlık merkezine geldiği varsayılan bileşke basınç kuvvetleri, büyük kırmızı ok kalıp boşluklarına gelen bileşke kuvvetlerin toplam bileşkesi, mavi ok ise mengene tarafından uygulanan kalıp kapama kuvvetlerinin bileşkesidir.



Şekil 5.3 Balanslı ve balanssız kalıp boşluğu yerleştirme düzeni.



Şekil 5.4 Enjeksiyon işlemi sırasında meydana gelen kuvvetler, ekzantrik yükleme.

Yakın geçmişte yapılan bir çalışmada (Hu ve Masood, 2002) kalıp boşluğu şeklinin ön tasarım aşamasında belirlenmesinin enjeksiyon yöntemi ile kalıplanarak üretilen ürünlerin kalitesinde artış sağlayacağını vurgulamıştır. Weigang Hu ve Syed Masood, ürünün kalıp boşluğu yerleşim düzeninin belirlenmesinde etkili olan, kalıp tipi, giriş şekli ve pozisyonu, ürünün oryantasyonu, yolluk tasarımı ve konfigürasyonu, soğutma sistemi tasarımı, ekonomik etkenler, işlenebilirlik, üretkenlik, itici sistemlerinin performansı gibi faktörlerin dolaylı olarak ürünün kalitesini etkileyen faktörler olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle çok gözlü kalıplarda, kalıp boşlukları yerleşim şeklinin belirlenmesi için tüm faktörler aynı anda dikkate alınmalı ve optimum sonuç buna göre değerlendirilmelidir. Değerlendirme işlemi için çeşitli bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Kalıp

boşluklarının belirlenmesi teknik bilginin yanısıra tecrübe gerektiren bir işlemdir. Bu nedenle tecrübenin de daha doğrusu daha önceki karşılaşılmış benzer problemlerde oluşturulan çözümlerinde, teknik bilgilerle değerlendirildiği yapay zekâ uygulamalarının kullanıldığı programlar geliştirilmiş olup “Akıllı kalıp boşluğu tasarım sistemi” bu programlardan biridir. Bu program kullanıcısının geçmişteki deneyimlerini kendi veri tabanına eklemesine izin vermektedir. Böylece yeni problem yazılıma tanıtıldığında problemin çözümü için veritabanında hazır bulunan teknik bilgilerin yanında kullanıcının deneyimlerinden de yararlanılmaktadır. Bu programın karar verme aşamasında kullandığı akış diyagramı aşağıdaki gibidir (Hu ve Masood, 2002).

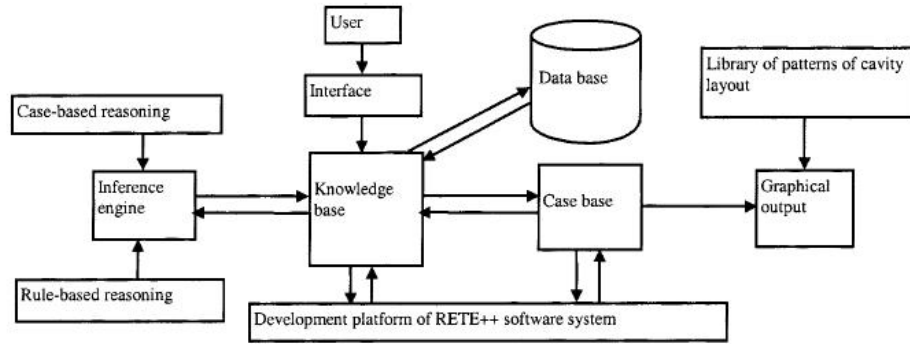
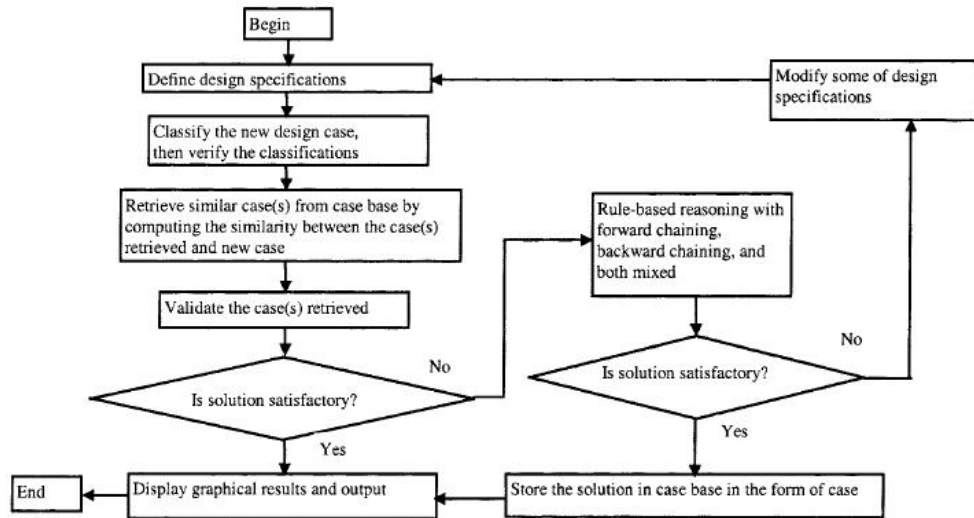


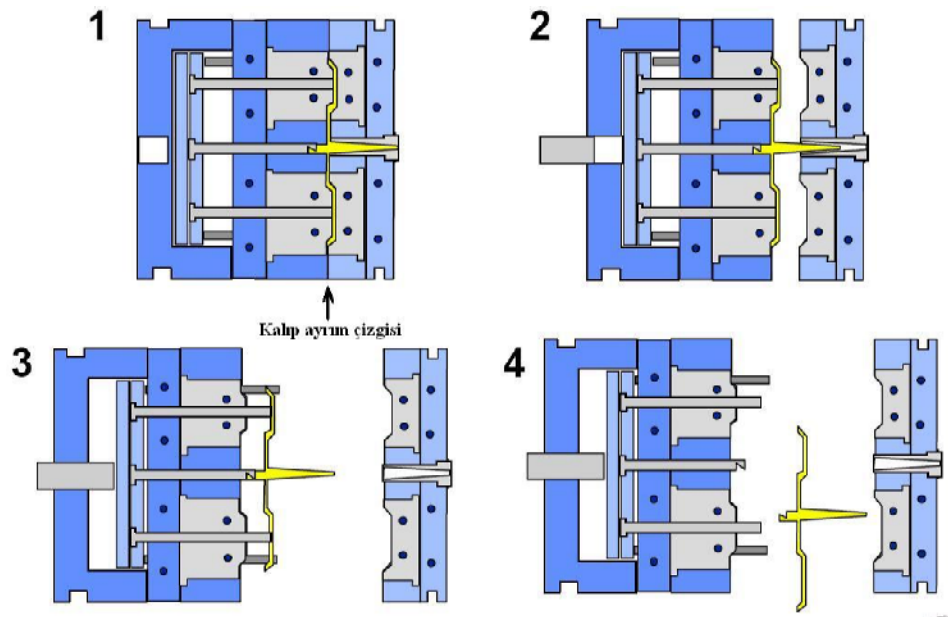
Fig. 4. Overall structure of ICLDS.



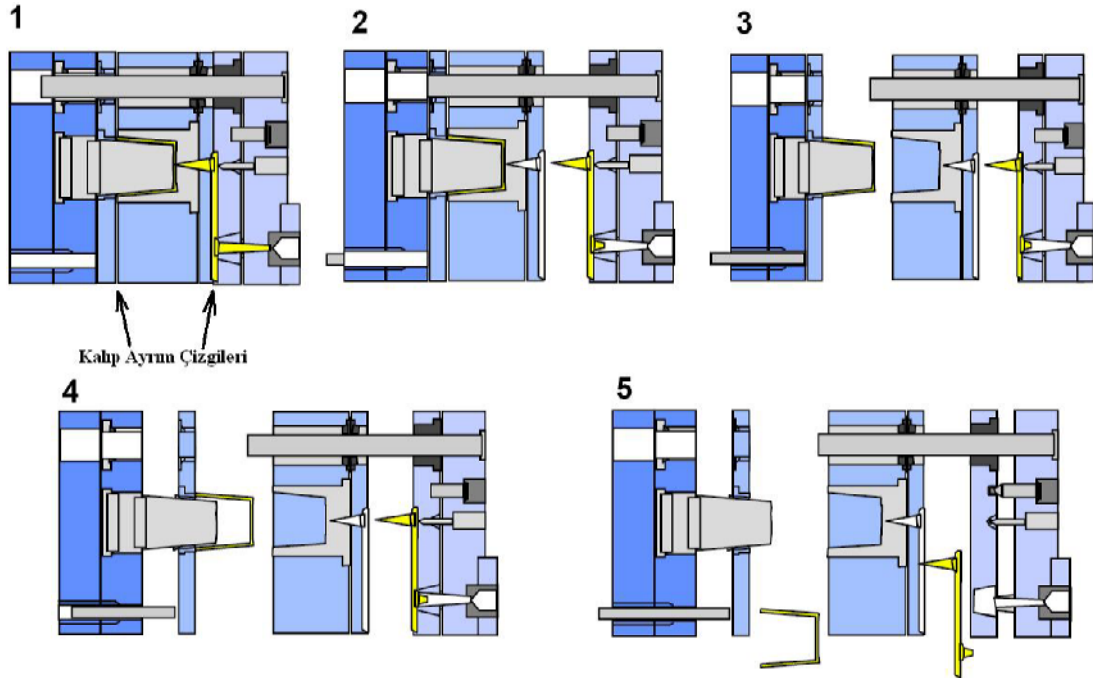
Şekil 5.5 Akıllı kalıp boşluğu tasarım sistemi işlemi yapısı ve akış diyagramı (Hu ve Masood, 2002).

5.2.4 Kalıp Ayrım Çizgilerinin Belirlenmesi

Kalıp yarımlarının açılıp kapandığı ve kalıplanan parçanın açılma düzlemi üzerinde meydana gelen çizgiye, kalıp açılma çizgisi denir. Kalıplanan parçanın şekline ve boyutlarına göre, kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Açılma çizgisi sayısına göre de kalıplar birkaç parçaya ayrılır. Ayrıca kalıplanacak parçanın şekli, üretim sayısı, boyutsal toleranslar, enjeksiyonla kalıplama metodu, parçanın estetik görünüşü, ön kalıplama işlemleri (Multi injection’da olduğu gibi), parça içerisine konulacak plastik taşıyıcılar, hava tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı, yerleşim planı ve giriş kanalı tipi kalıp açılma çizgisi sayısını belirlemede etkili olan faktörlerdir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de tek ve iki kalıp ayrım çizgisine sahip kalıp örnekleri görülmektedir.



Şekil 5.6 Tek kalıp ayrım çizgisine sahip kalıp tasarımı
(http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_PlasticsGeneralInjectionMoldingGuide.pdf).



Şekil 5.7 iki kalıp ayırım çizgisine sahip kalıp tasarımı (http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf).

5.2.5 Yolluk, Dağıtıcılar ve Girişlerin Tasarımı

Yolluk, dağıtıcı ve girişlerin oluşturduğu sisteme yolluk sistemi denilmektedir. Yolluk tasarımının görevi enjeksiyon makinasından kalıp boşluğuna gönderilmek istenen erimiş malzemeye rehberlik etmektir. Konfigürasyonu, yerleştirme şekli, boyutları malzemenin enjeksiyon safhasını birinci dereceden etkilediği için ürün kalitesi üzerindeki önemi büyüktür. Yolluk tasarımları soğuk ve sıcak yolluk tasarımları olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Yolluk sistemlerinden beklenen temel özellikler şunlardır;

1) Yolluk sistemlerinde olabildiğince az basınç kaybı meydana gelmelidir. Basınç kayıpları enjeksiyon ve sıkıştırma safhası açısından oldukça önemlidir. Akış esnasında meydana gelen basınç kayıpları enjeksiyon safhasının uzamasına, parçayı doldurmak için yüksek basınçlara gereksinim duymaya neden olmaktadır.

2) Boyutları malzeme tasarrufu açısından mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Her ne kadar termoplastik malzemeler geri dönüşümlü malzemeler olsa da yolluk sistemlerinin tasarımında malzeme sarfiyatını, ürün kalitesinden ödün vermeden mümkün olduğunca küçük hacimde tasarlanmak gerekir.

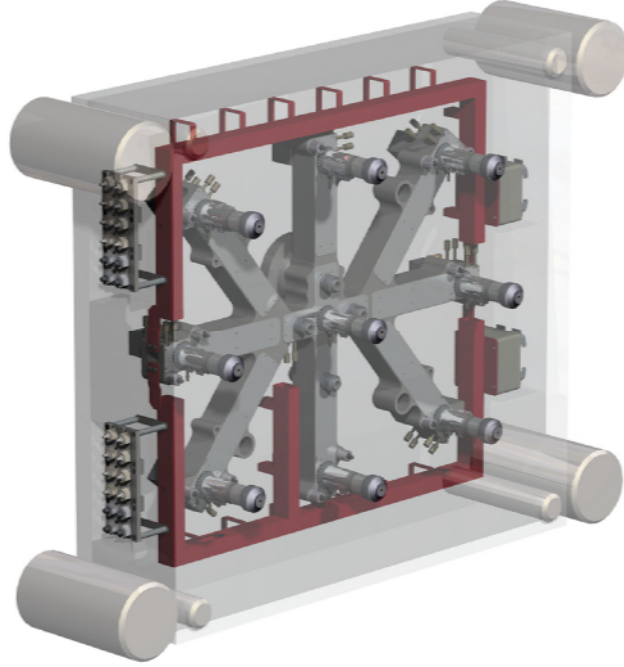
3) Yolluk sistemleri parçadan kolay ayrılabilir olmalıdır. Bu parçanın üretim maliyetini azaltacaktır.

4) Yolluk sistemleri Kalıp boşluğuna erimiş malzemenin arzu edilen basınç, sıcaklık ve hızda dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Soğuk yolluklu burçlarda akışkanın içerisinden aktığı boşluk ne kadar büyük olursa içinden akan malzemenin sıcaklığı ısı transfer yüzey alanının artmasından ötürü düşecektir. Dolayısıyla yolluk burcunun boyutlarının belirlenmesinde bu etkili bir faktördür.

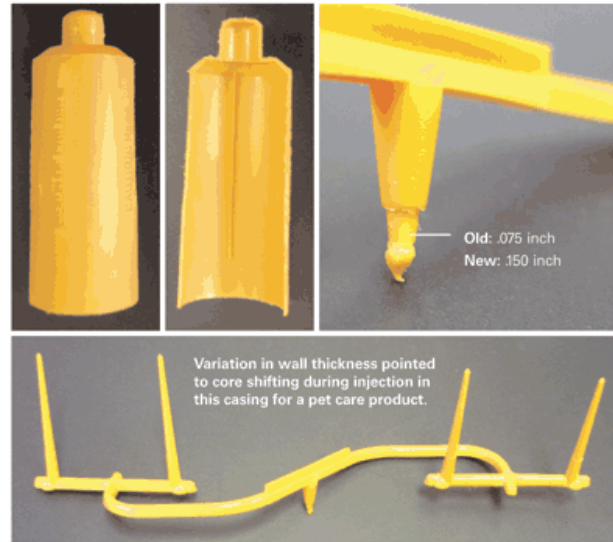
5) Birden fazla kalıp boşluğuna sahip kalıplarda yolluk tasarımı tüm kalıp boşluklarının aynı anda dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ancak bu şekilde eşit ağırlıkta ve aynı geometrik özelliklere sahip parçalar üretilebilir.

Sıcak yolluklu sistemler soğuk yolluklu sistemlere nazaran çok daha pahalı sistemlerdir. Sıcak yolluklar ile ilgili örnek Şekil 5.8'de görülmektedir. Sıcak yolluklar içerisinde malzeme, elektrik dirençleri ile önceden belirlenmiş bir sıcaklık değerinde erimiş durumda çevrim boyunca muhafaza edilirler. Sıcak yolluk manifoldu içerisinde bulunan malzemenin sıcaklığı kullanılan termoplastik malzemenin cinsine göre değişmekle birlikte genellikle 180°C 'nin 20 ila 120°C üzerinde olabilmektedir. Sıcak yolluklu sistemler kalıba giren malzeme sıcaklığı düşünülürse akışın sanki enjeksiyon memesinden direk kalıp boşluğuna yapıldığı dolum işlemlerine benzetilebilir. Soğuk yolluklu sistemlerin sıcaklığı kalıp yüzeyine yapılan ısı transferi nedeniyle $160-180^{\circ}\text{C}$ değeri arasındadır. Sıcak yolluklu sistemlerde artık malzeme oluşmaz. Malzeme korunan sıcaklık nedeniyle düşük viskozite ile kalıp boşluklarını doldurur. Bu nedenle büyük hacimli parçaların kalıplanmasında sıcak yolluk sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Soğuk yolluklu tasarımlarda ise yolluk burcu içerisinde katılaştıran malzeme her çevrimde malzeme ile

birlikte katılaşmakta ve çevrim sonunda dışarı atılmaktadır. Şekil 5.9'da üretim sonrası atılan parça görülmektedir.



Şekil 5.8 Sıcak yolluk sistemi (http://www.jobwerx.com/news/synv_bizid=947843_233.html).



Şekil 5.9 Soğuk yolluk sistemi (<http://www.immnet.com/articles?article=3060>).

5.2.5.1 Yolluk

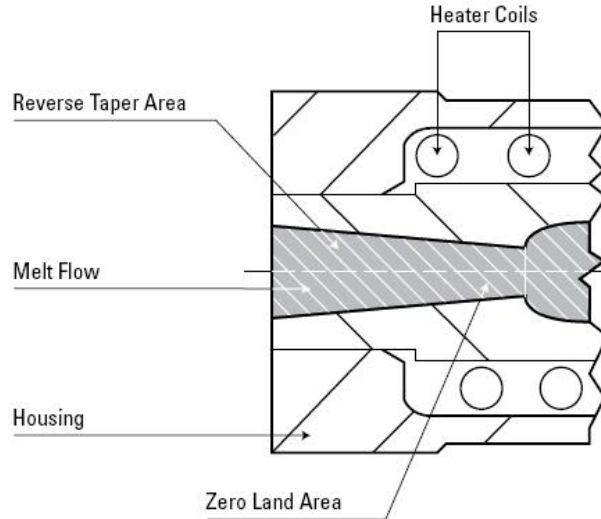
Yolluk, erimiş plastiğin kalıba ilk giriş noktasından dağıtıcılara veya kalıp boşluğuna kadar olan bölümdür. Yolluklar kalıp standart elemanları olan yolluk burçları tarafından şekillendirilirler. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de soğuk ve sıcak yolluk sistemlerine ait standart yolluk memeleri görülmektedir. Şekil 5.12 de sıcak yolluk memesinin kesiti görülmektedir.



Şekil 5.10 Soğuk yolluk memeleri.

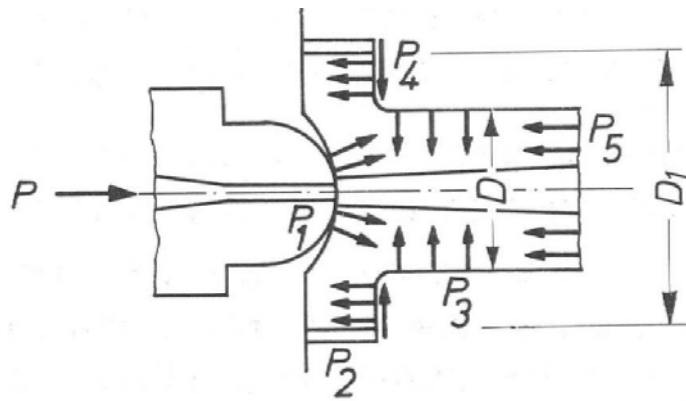


Şekil 5.11 Sıcak yolluk memeleri.



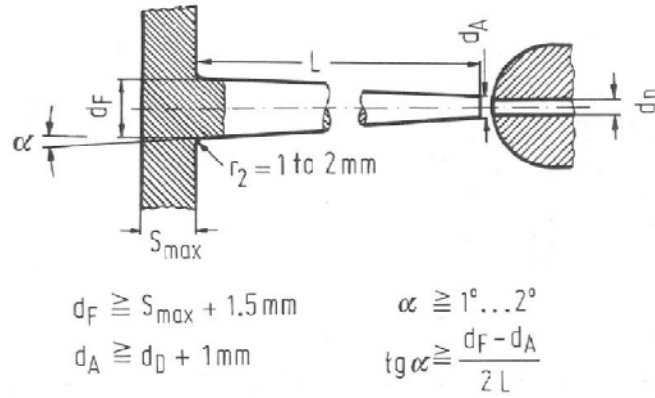
Şekil 5.12 Sıcak yolluk burçlarına ait kesit görünümü ([http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMolding Guide.pdf](http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf)).

Enjeksiyon ünitesinin yolluk burcuna dayanması sırasında oluşan darbeli yük ve enjeksiyon sırasında yolluk ve meme arasından sızmayı önlemek amacıyla sürekli olarak uygulanan kuvvet nedeniyle yolluk burçları darbe ve aşınmaya dayanıklı krom-nikelli paslanmaz çeliklerden ve yüksek sertlikleri yanında kalıp çeliklerine nazaran 9 kata kadar daha yüksek termal iletim katsayısına sahip berilyum-bakır alaşımlarından imal edilmektedirler. Şekil 5.13’de enjeksiyon işlemi sırasında memede meydana gelen kuvvetler görülmektedir.



Şekil 5.13 Enjeksiyon işlemi sırasında yolluk burcu üzerinde oluşan kuvvetler (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_3.pdf).

Yolluk memesi ölçüleri ve malzeme kalınlığı arasındaki tasarım tavsiyeleri Şekil 5.14’de görülmektedir. Katılaşma sonrası yolluğun, yolluk burcu içerisinden kolayca çıkarılmasını sağlamak için yolluk burcu içerisine $\alpha = 1-3^0$ ’lik açı verilmektedir.

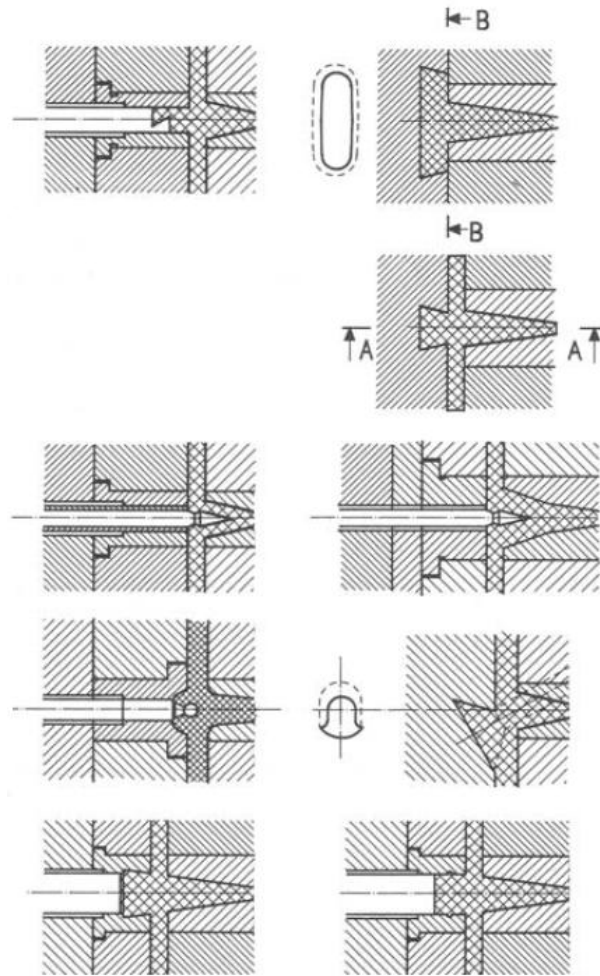


Şekil 5.14 Yolluk burcu ölçüleri için tavsiye edilen değerler,
http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HA_NDOOTS/AMD_III_3.pdf.

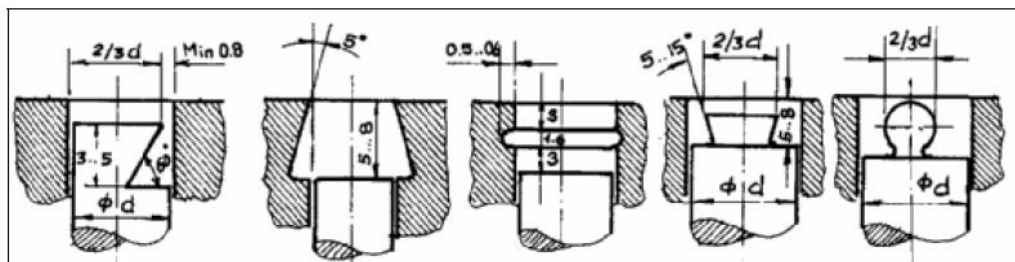
Tablo 5.3 d_A yolluk giriş çapının malzeme cidar kalınlığı ve kalıp boşluğu dik iz düşüm alanına göre tavsiye edilen değerleri aşağıda görülmektedir (Dragomatz, 2005).

Wall Thickness	Projected Area	"O" Dim
$\leq 0.06"$	10 in ²	5/32" (4mm)
0.06 – 0.12"	10 – 45 in ²	7/32 – 9/32 (5.6 – 7mm)

Şekil 5.15’de yolluk sisteminin erkek kalıplar üzerinde kalmasını sağlamak için kullanılan tasarım örnekleri ve Şekil 5.16’da tasarım için tavsiye edilen ölçüler görülmektedir.



Şekil 5.15 Yolluk çekici sistemleri örnekleri.



Şekil 5.16 Yolluk çekici sistemlerinin tasarımı için tavsiye edilen ölçüler
(www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_3.pdf).

5.2.5.2 Dağıtıcılar

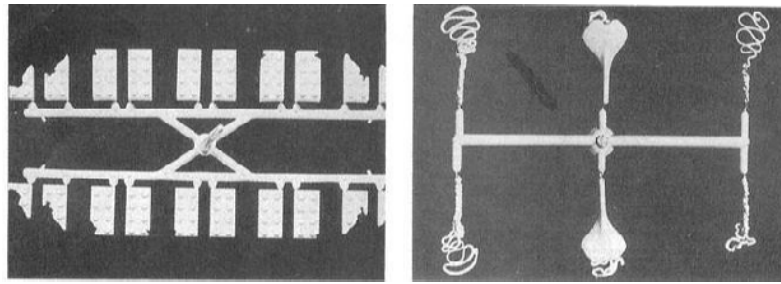
Dağıtıcıların görevi, yolluktan gelen erimiş malzemeyi kalıp girişlerine iletmektir. Sıcak yolluklu sistemlerde yolluklar, etrafına sarılmış elektrik dirençleri sayesinde sürekli belirli bir sıcaklıkta tutulurlar. Bu nedenle sıcak yolluklu sistemlerde

dağıtıcılar içerisindeki malzeme çevrim süresince erimiş halde bulunmaktadır. Soğuk yolluk sistemine sahip kalıplarda dağıtıcılar diğer tüm yolluk sistemi elemanları gibi soğutma fazında katılarak, ürün ile birlikte dışarı atılırlar.

Dağıtıcı sistemlerinin tasarımında aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir;

1) Eriyik malzeme en kısa yoldan minimum sıcaklık ve basınç kaybıyla kalıp boşluklarına gönderilmelidir.

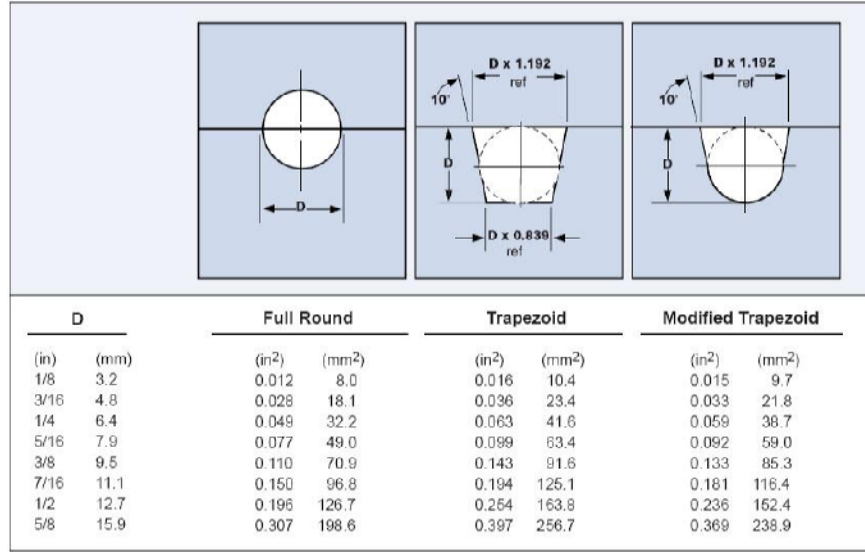
2) Erimiş malzemelerin kalıp boşluklarına aynı sıcaklık ve basınçta girmesi sağlanmalıdır. Aksi takdirde her kalıp gözünde üretilen ürün özellikleri birbirinden farklı olacaktır.



Şekil 5.17 Blanssız yolluk tasarımı (www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_3.pdf).

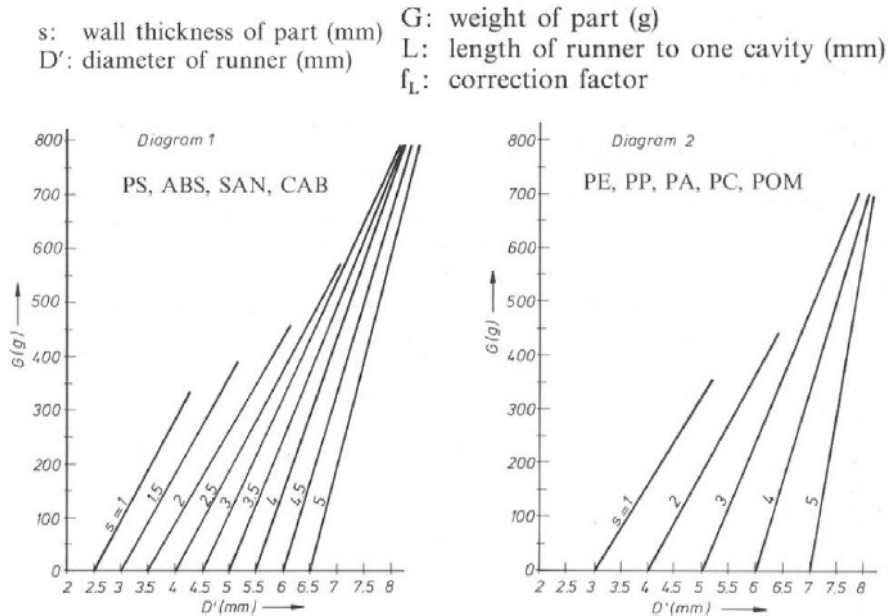
3) Dağıtıcı soğutma çevrimini en kısa, dolum işlemini en ideal gerçekleştirecek kesit alanına sahip olmalıdır. Kalın kesit alanlarında malzeme, kalıp boşluklarına daha iyi dolma özelliği gösterirken soğutma süresinin artmasına neden olmaktadır. İnce kesitli dağıtıcı kanalları malzeme tasarrufu sağlamaktadır.

4) Dağıtıcı kanalları yüzey alanı toplamının, kanalların toplam hacmine oranı mümkün olduğunca minimum olmalıdır. Şekil 5.18’de kanal kesitlerinin kesit tipine göre değerleri verilmiştir.

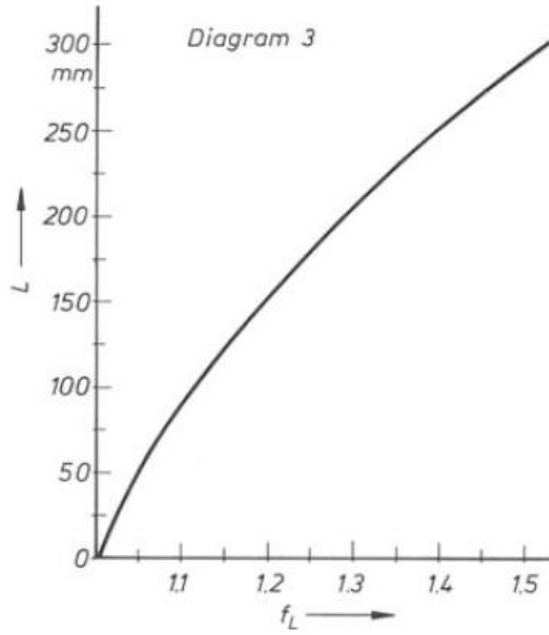


Şekil 5.18 Farklı kanal tasarımlarına ait kesit alanlarının karşılaştırılması (http://www.dsm.com/en_US/html/dep/coldrunnersystems.htm).

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de dairesel kesitli dağıtıcıların çaplarının parça cidar kalınlığı ve akış uzunluğuna göre dağıtıcı kanalının çapının hesaplanması görülmektedir. Buna göre dağıtıcı kanal çapı hesabı [21] denklemine göre hesaplanır.



Şekil 5.19 Dairesel kesitli dağıtıcı çaplarının parça cidar kalınlığı ve akış uzunluğuna göre hesaplanması (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/A MD_III_3.pdf).



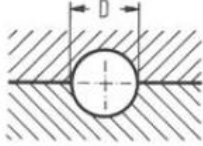
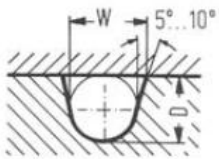
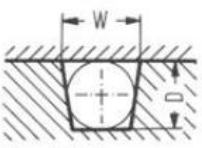
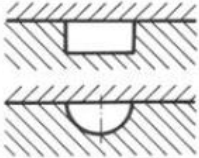
Şekil 5.20 Dairesel kesitli dağıtıcıların çaplarının parça cidar kalınlığı ve akış uzunluğuna göre tavsiye edilen değerler (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_3.pdf).

$$D = D' \times f_L \quad [21]$$

Genel olarak viskozitesi düşük ve kalıp cidarlarına yapışma özelliği olmayan çoğu plastik malzeme için dağıtıcı kanallarında parlatma işlemine gerek yoktur fakat PVC, polikarbonat, asetal gibi malzemelerin kalıplanmasında parlatmanın yeterli olmadığı durumlarda yolluklar krom kaplanabilir.

Tabloda 5.4’de dağıtıcı kanallarında kullanılan kesit profilleri ve bunların avantaj ve dezavantajları görülmektedir.

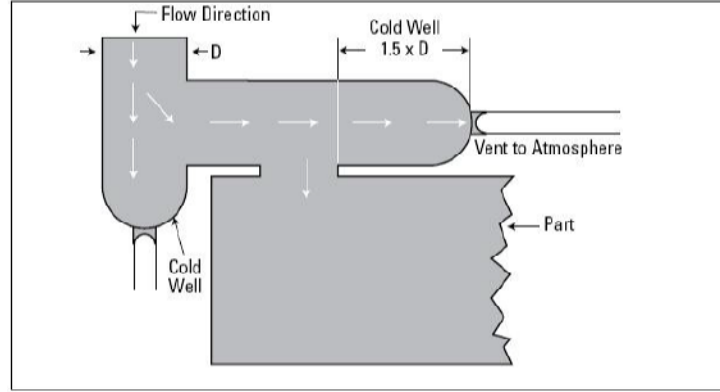
Tablo 5.4 Dağıtıcı kanal kesitleri profilleri ve bunların avantaj ve dezavantajları (http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_3.pdf).

Circular cross-section	Cross sections for runners
 $D = s_{max} + 1,5 \text{ mm}$	<i>Advantages:</i> smallest surface relative to cross-section, slowest cooling rate, low heat and frictional losses, center of channel freezes last therefore effective holding pressure <i>Disadvantages:</i> Machining into both mold halves is difficult and expensive
Parabolic cross-section  $W = 1,25 \cdot D$ $D = s_{max} + 1,5 \text{ mm}$	<i>Advantages:</i> best approximation of circular cross section, simpler machining in one mold half only (usually movable side for reasons of ejection) <i>Disadvantages:</i> more heat losses and scrap compared with circular cross section
Trapezoidal cross-section  $W = 1,25 \cdot D$	Alternative to parabolic cross section <i>Disadvantages:</i> more heat losses and scrap than parabolic cross section
	Unfavorable cross sections have to be avoided

Soğuk yolluk sistemli kalıpların tasarımında, yolluktan kalıp boşluğuna kadar olan ve serbest akış uzunluğu denilen malzemenin içerisinde aktığı kanallarda akışkan hızını artırabilmek için yolluktan kalıp boşluğuna doğru kullanılan kanallarda kademe kademe çap azaltılması yoluna gidilir. Aşağıdaki resimde ana dağıtıcıdan yardımcı dağıtıcılara geçiş sırasında bu kurala uygun ölçülendirme bilgileri görülmektedir.

Çok gözlü kalıplarda serbest akış boyu uzun ise akışkanın yön değiştirdiği köşelere akış çizgisi önündeki sıcaklığı daha düşük olan malzeme katmanını

yakalayacak soğuk çukuru denilen çıkıntılar yapılır. Şekil 5.21’de soğuk çukurunun ölçülendirilmesi ile ilgili tavsiye edilen ölçüler görülmektedir.



Şekil 5.21 Soğutma çukurlarının tasarımında tavsiye edilen ölçüler
([http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMolding Guide.pdf](http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf)).

5.2.5.3 Girişler

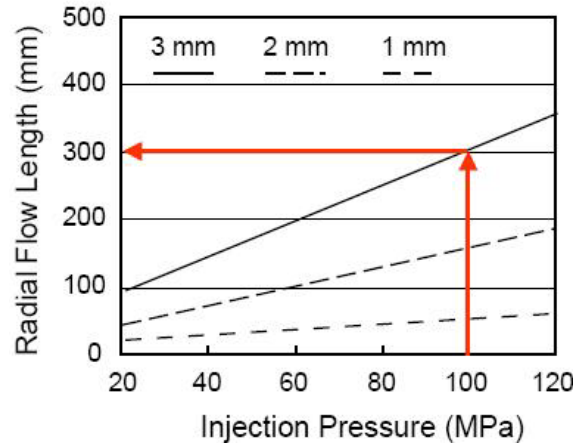
Girişler dağıtıcıların kalıp boşluklarına açılan kapılardır. Giriş çeşidine karar vermede dikkat edilen unsurlar parçanın geometrisi, malzemesi, estetik ve mekanik gereksinimleri, erimiş malzemenin akış özellikleri, kullanıcının belirlemiş olduğu ihtiyaçlardır. Girişlerin ölçülendirilmesinde parçanın malzemesinin cinsi ve geometrisindeki en büyük cidar kalınlığı dikkate alınır.

Girişlerin tasarımında aşağıdaki bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır;

1) Birden fazla giriş gerektiren büyük parçaların kalıplanmasında girişler arasındaki uzaklık ne kadar az olursa parça üzerindeki kaynak çizgilerinin meydana geldiği bölgelerde dayanım özellikleri o kadar iyi olur.

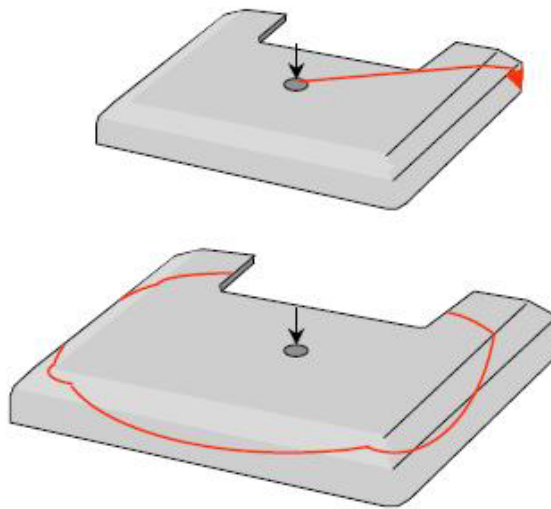
Birden fazla giriş kullanılmasına enjeksiyon işleminin yapılacağı makine kapasitesine, estetik ve mekanik gereksinimlere göre karar verilir. Karar verme aşamasında makine kataloğu üzerinde yazan maksimum enjeksiyon basıncının %75'inin hesaba katılması tavsiye edilmektedir. Daha sonra girişin koyulmasının

düşünüldüğü noktadan, en uzak noktaya radyal akış uzunluğu malzeme cinsine göre tespit edilir. Örnek olarak Norly®GFN3 adlı plastik malzeme için 100Mpa basınç ve 3mm ortalama cidar kalınlığı için radyal akış uzunluğu Şekil 5.22'deki gibi hesaplanır.



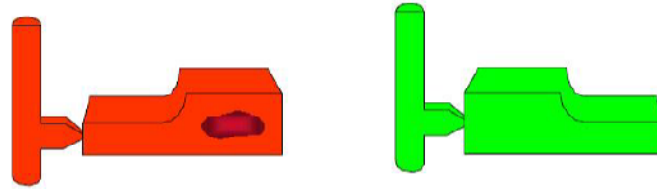
Şekil 5.22 Radyal akış uzunluğunun tablodan tespiti (Lahtenmaki, 2005).

Sıradaki işlem giriş noktasından parçanın en uzak noktasına olan uzaklık ile radyal akış uzunluğunun karşılaştırılmasıdır. Eğer tablodan okunan radyal akış uzunluğu girişten en uzak noktaya olan akış uzunluğundan küçükse parça üzerine birden fazla giriş konulmalıdır.



Şekil 5.23 Girişten en uzak noktaya olan uzaklık ve radyal akış uzunluğu (Lahtenmaki, 2005).

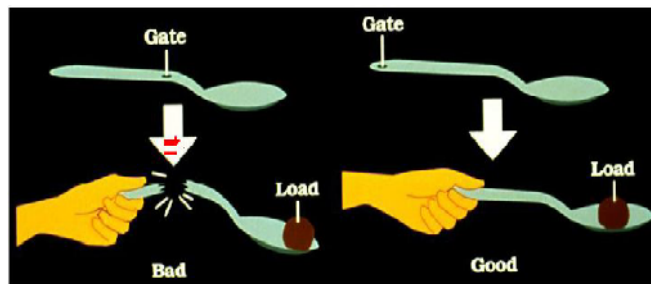
2) Girişler malzemenin cidar kalınlığının maksimum olduğu noktalara yerleştirilmelidir. Bunun nedenlerinden bir tanesi enjeksiyon işlemi sırasında ince kesitlerin kalın kesitlere göre daha çabuk katılaşması bu nedenle kalıp boşluğunun tutma safhası süresince sıkıştırılamamasıdır.



Şekil 5.24 Giriş bölgesinin seçimi (Lahtenmaki, 2005).

Ayrıca enjeksiyon işlemi sırasında parçanın kalın kesitinden giriş verilmesi akış işlemini kolaylaştıracak ve parça içerisinde daha az iç gerilme kalmasına olanak sağlayacaktır.

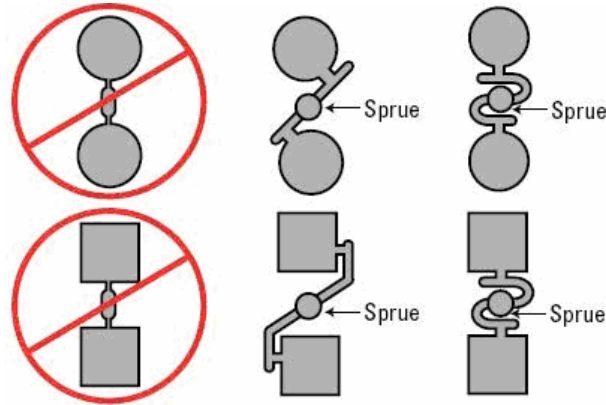
3) Girişler parçanın en geç soğuyan noktaları olduğu için termal farklılıklardan dolayı çevrelerinde iç gerilme yığılmaları görülür. Bu nedenle girişler yüke, ısıya, basınca, güneş ışınlarına ve kimyasal malzemelere maruz kalan kritik noktalara yerleştirilmemelidir.



Şekil 5.25 Giriş bölgesinin seçimi (Lahtenmaki, 2005).

4) Estetik öneme sahip olan ve kaplama yapılacak yüzeylere girişler konulmamalıdır.

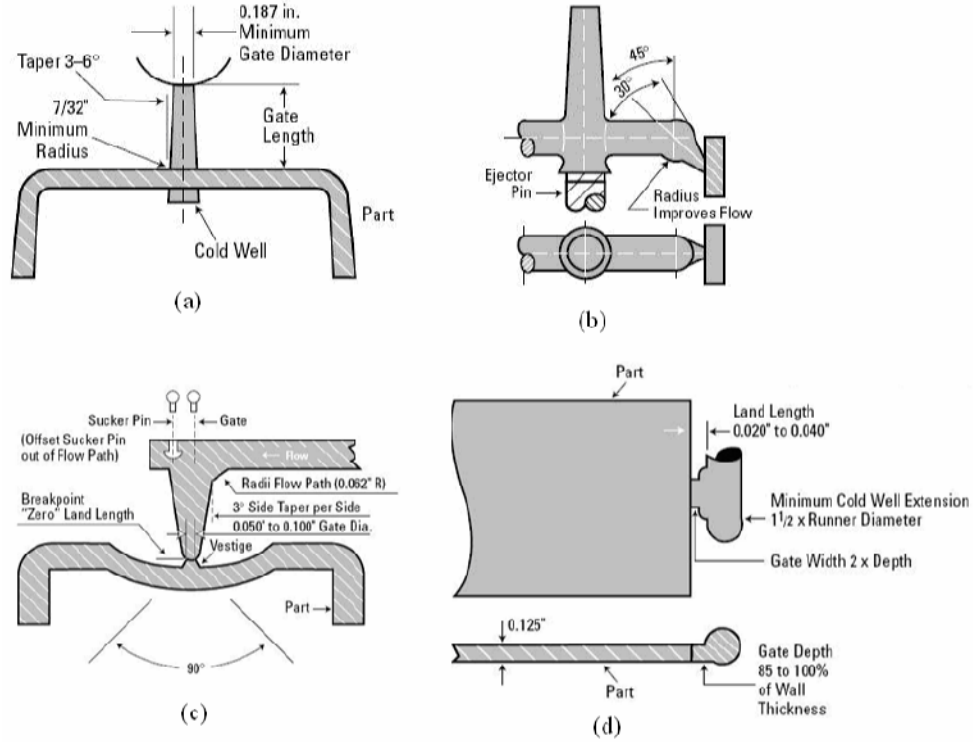
5) Girişler gereğinden küçük olarak tasarlandığında jetting olayından ötürü parça yüzeyinde görsel ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyen hatalar meydana gelir. Jetting olayı erimiş malzemenin kalıp boşluğuna yüksek hızla girerek girişin karşısındaki boşluk yüzeyine çarparak dolmasıdır. Jetting olayına giriş içerisinde akışkanın kesit daralmasından ötürü hızının artması neden olmaktadır. Jetting olayını önlemek için tavsiye edilen yolluk tasarımı Şekil 5.26 da görülmektedir.



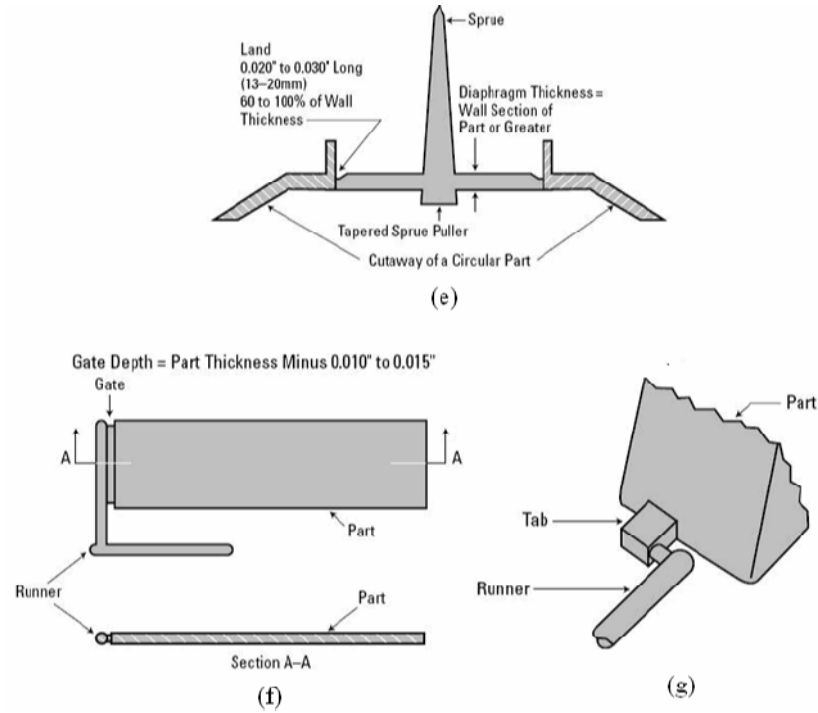
Şekil 5.26 Jetting olayını önlemede etkili olan yolluk tasarımları (http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMolding Guide.pdf).

Girişler kalıp içerisinde erimiş malzeme akışına en çok direnç gösterilen noktalardır. Girişlerin ölçüleri çok önemlidir. Malzeme giriş içerisine girdiğinde basıncı düşüp akış hızı yükselir. Akış sırasında küçük bir delik içerisinde akmaya zorlanan plastik malzeme molekülleri arasında meydana gelen sürtünme kuvveti nedeniyle akışkanın sıcaklığı artar ve viskozitesi azalır. Kalıp boşluğunun rahat doldurulması açısından olumlu bir durum olan bu özellik, kalıp içerisindeki malzemenin soğutulması için gerekli süreyi artırdığı ve kalıp yüzeyin sıcaklığı ile malzeme sıcaklığı farkını artırıp iç gerilmelerin artmasına yol açtığından dolayı olumsuz bir özelliktir. Ayrıca dar girişlerin enjeksiyon safhasından sonra hızlı katılaştığı unutulmamalıdır. İnce cidarlı ürünlerin kalıplanması, dolum işlemi sırasında kalıp yüzeyi ile temas eden malzeme katmanının soğuması ve akış için kullanılan kesit alanını azaltıp daha yüksek basınçlar gerektirmesi nedeniyle zordur. Aynı şekilde yüksek viskoziteli plastik malzemelerin kalıplanması da zordur. Bu nedenle ince cidarlı malzemelerin kalıplanması ve yüksek viskoziteli malzemelerin

kalıplanmasında girişler geniş tutulmalıdır. Şu da unutulmamalıdır ki giriş kalınlığı ne kadar geniş olursa parçadan koparılması o kadar zor olacaktır. Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de giriş çeşitleri ve bunların tasarımı için tavsiye edilen ölçüler görülmektedir.



Şekil 5.27 Farklı giriş tasarımları ve tavsiye edilen ölçüler: (a) direk yolluk giriş, (b) tünel giriş, (c) nokta giriş, (d) kenar giriş (http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf).



Şekil 5.28 Farklı giriş tasarımları ve tavsiye edilen ölçüler: (e) diyafram giriş, (f) yelpaze giriş, (g) kutu giriş (http://www.socia.si/pdf/publikacija/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf).

5.2.6 Kalıp Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Tasarımı

Kalıp ısı transfer sisteminin özellikleri kalıplanacak olan malzemenin türü tarafından belirlenir. Örneğin termoset malzemeler çapraz bağların oluşabilmesi için kalıplama sırasında belirli bir sıcaklığın üzerine ısıtılması gerekirken termoplastik malzemelerin soğutulması gerekmektedir. Malzeme türü açısından düşünüldüğünde ısıtma ve soğutma sistemleri arasındaki temel fark sistemlerin içerisinde devir daim yapan akışkanın sıcaklığıdır.

Kalıp soğutma sisteminin temel amacı kalıp boşluğunu doldurmuş plastik malzemeden ısıyı hızlı ve uniform bir biçimde uzaklaştırmaktır. Hızlı soğutma ekonomik nedenlerden, uniform soğutma parçanın kalitesi açısından oldukça önemlidir. Kalıp boşluğuna enjekte edilen erimiş malzeme kalıp yüzeyine dokunduğu anda kalıp çeliğine ısı transferi yapmaya başlar. Bu nedenle kalıp içerisine oluşan akış çizgisi önündeki malzeme, girişten yeni giren malzemeye göre daha düşük bir sıcaklığa sahiptir. Soğutma sisteminin tasarımında soğutma

girişlerinin mümkün olduğunca en yüksek sıcaklığın meydana geldiği girişlere yakın noktalardan çıkışlarında girişlerden en uzak noktalardan olmasına dikkat edilmelidir. Eğer kalıplarda soğutma sistemi olmamış olsaydı erimiş malzemenin sahip olduğu ısı enerjisi iletimle kalıp elemanlarına ve enjeksiyon makinesine, kalıp ve makinadanda taşınım ve ışınlama ile çalışma ortamına aktarılacaktı. Sıcaklığın kalıp elemanlarına aktarılması sırasında meydana gelen termal genleşmeler kalıp açılıp kapanması sırasında merkezleme hatalarına, sürtünmelere aşınmalara ve hatta kalıp ve makinenin zarar görmesine neden olacaktı. Ayrıca çalışma ortamına aktarılan ısı yaz mevsimlerinde çalışma ortamının sıcaklığının aşırı miktarda artmasına ve çalışanların veriminde düşüşe neden olacaktı. Bu nedenle kalıp soğutma sisteminin çalışma prensibi malzemenin kalıp boşluğuna dolmasıyla kalıp cidarlarına iletilen ısıyı kalıp elemanlarına dağılmadan içerisinden sürekli olarak akan akışkana aktarmak ve kalıptan uzaklaştırmaktır. Isıyı uzaklaştırma işleminde, basınçlı hava, su veya su/etilen-glikol karışımı kullanılır. Bu akışkan türleri içerisinde en çok kullanılan ekonomik özellikleri yanında uygun termal özelliklere sahip olması nedeniyle sudur. Havanın taşınım katsayısı düşüktür, bu nedenle soğutma sistemi içerisinden ziyade kalıp dışında doğal taşınım sayesinde kalıp çeliği üzerinden ısı transferi yaparak kalıbın soğutulmasına yardımcı olur. Yüksek hızda soğutmanın gerektiği durumlarda su/etilen-glikol karışımları kullanılır. Bu karışımın kullanılabilmesi için “chilling unit” ünitesinin çevrime dâhil edilmesi gerekir. Ayrıca az olmakla birlikte kalıp yüzeyinden de bir miktar ısı, ışınlama ile transfer edilmektedir.

Termoplastik malzemelerin enjeksiyonu sırasında ısı, kalıp boşluğunu doldurmuş malzeme tarafından ilk olarak kalıp boşluğunu çevreleyen kalıp metaline, oradan kalıp soğutma sisteminde akan akışkana, diğer kalıp elemanlarına ve ortama aktarılır. Soğutma için gerekli olan su miktarının hesaplanması [22] ve [23] ile gösterilen denklemler yardımıyla yapılmaktadır (Güneş, 2005). Bu denklemde debinin belirlenmesinde kullanılan temel mantık, enjeksiyon işlemi ile kalıbı dolduran, yüksek sıcaklığa sahip malzemenin kalıp dışına çıkarılacak sıcaklığa düşene kadar kalıp cidarlarından yaptığı ısı transferinin, soğutucu akışkan tarafından

uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Buradan $\dot{m}$ (kg/h) çekilerek gerekli kütleli debi hesaplanabilir.

$$Q_1 = G[c(T_1 - T_2) + q] \text{ (l/h)} \quad [22]$$

$$Q_2 = \dot{m}K(T_4 - T_3) \text{ (l/h)} \quad [23]$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_1 = \text{Kalıba verilen ısı (l/h)}$$

$$Q_2 = \text{Kalıptan çekilen ısı (l/h)}$$

$$G = \text{Enjeksiyon makinasında 1 saatte kalıplanacak malzeme ağırlığı (kg/h)}$$

$$c = \text{Kalıplanan malzemenin özgül ısısı (Kcal/kg)}$$

$$T_1 = \text{Enjeksiyon sıcaklığı (C}^0\text{)}$$

$$T_2 = \text{Kalıptan çıkarma sıcaklığı (C}^0\text{)}$$

$$\dot{m} = \text{Soğutma suyunun kütleli debisi (kg/h)}$$

$$K = \text{Kanal durumunu belirten katsayı}$$

$$T_4 = \text{Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (C}^0\text{)}$$

$$T_3 = \text{Soğutma suyu giriş sıcaklığı (C}^0\text{)}$$

$$q = \text{Plastik ergime ısısı (Kcal/kg)}$$

Tablo 5.5 Bazı plastik malzemelere ait c ve q değerleri (Güneş, 2005).

Plastik Cinsi	c	q
Seliloz Asetat	0,3-0,4	62
Poliyamid	0,4	160
Polistiren	0,32	70
Polietilen	0,5	160

Soğutma süresi erimiş malzemenin kalıp boşluğunu doldurduğu andan kalıp dışına atılincaya kadar geçen süredir. Enjeksiyon işlemi sırasında kalıplanan parçaların cidar kalınlıkları genelde uzunluk ve genişlikleri yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu nedenle akış işlemi iki boyutlu kabul edilebilir. Akış çizgisi önündeki malzeme sıcaklığı ile kalıp girişindeki malzeme sıcaklık farkı, kalıp boşluğunu dolduran malzemenin kalıp cidarı ile olan sıcaklık farkının yanında ihmal

edilebilecek kadar küçük olması nedeniyle ısı akışı tek boyutlu olarak kabul edilmektedir. Bu kabullere göre Fourier Yasası [24] denkleminde olduğu gibi yazılabilir.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad [24]$$

$$a = \frac{k}{\rho C_p} = \text{Termal yayılma katsayısı}$$

Enjeksiyon işlemi biter bitmez kalıp boşluğunu dolduran malzemenin sıcaklığının her yerde T_m sıcaklığında sabit olduğu ve enjeksiyon işlemi biter bitmez kalıp sıcaklığının birden bire T_c sıcaklığında sabitlendiği kabul edilirse soğutma süresi t_c [25] denkleminde göre hesaplanabilir (<http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/injection.pdf>).

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 a^2} \ln \left(\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right) \quad [25]$$

ρ = Yoğunluk (kg/m^3)

C_p = Özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)

k = Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)

a = Termal yayılma katsayısı (m^2/s)

T_E = Ürünün çıkarıldığı andaki sıcaklık ($^\circ\text{C}$)

T_W = Kalıp boşluğunu çevreleyen metal sıcaklığı (Kalıp sıcaklığı) ($^\circ\text{C}$)

T_M = Enjeksiyon sıcaklığı (Malzemenin kalıba gönderildiği sıcaklık) ($^\circ\text{C}$)

s = Cidar kalınlığı (m)

t_c = Kalıp soğutma süresi (s)

Soğutma süresinin yaklaşık olarak hesaplanmasında kullanılan farklı bir formül Şekil 5.29’da görülmektedir.

The diagram contains the following text and formulas:

$$\text{Cooling time} = \frac{(\text{Heaviest wall thickness})^2}{\text{Thermal diffusivity of polymer melt}}$$

$$\text{Cooling time} = \frac{(\text{Largest runner diameter})^{1.6}}{\text{Thermal diffusivity of polymer melt}}$$

where the thermal diffusivity of polymer melt is defined as

$$\text{Thermal diffusivity} = \frac{(\text{Thermal conductivity})^{1.6}}{(\text{Density})(\text{Specific heat})}$$

Şekil 5.29 Soğutma süresinin hesaplanması
(<http://www.dsm.com>).

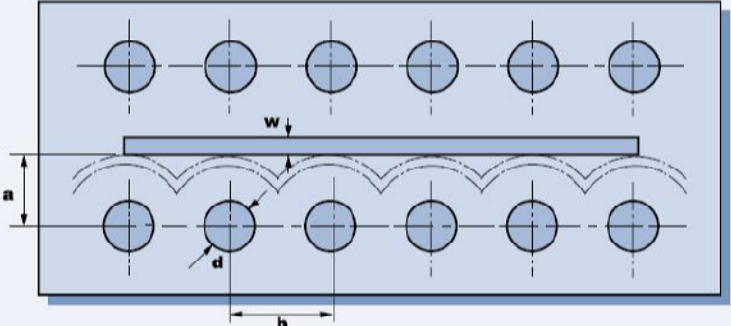
Akyüz (2006), cidar kalınlığının soğutma süresi üzerindeki en etkili faktörlerden biri olduğunu ve soğutma süresinin yaklaşık olarak [26] denkleminde hesaplanabileceğini belirtmiştir. Buna göre soğutma süresi;

$$t = (2-3)s^2 \text{ (s)} \quad [26]$$

s = parça cidar kalınlığı (mm)

Turaçlı (2003), soğutma yolları ve soğutma devresini, kalıp sıcaklığını belirlenen sıcaklıkta tutmak için kalıp içinde açılmış kanallara ve deliklere soğutma yolları, sisteme de soğutma devresi denilir şeklinde açıklamaktadır. Soğutma devresinin tasarımında tavsiye edilen ölçüler Şekil 5.30’da görülmektedir.

"w"	"d"	"a"	"b"
wall thickness of the product mm (in)	diameter of the cooling channels mm (in)	center distance with respect to mold cavity	center distances between cooling channels
2 (0.08)	8 - 10 (0.31 - 0.40)		
2 - 4 (0.08 - 0.16)	10 - 12 (0.40 - 0.47)	1.5 - 2 d	2 - 3 d
4 - 6 (0.16 - 0.24)	12 - 14 (0.47 - 0.55)		



Şekil 5.30 Soğutma devresi tasarımında tavsiye edilen ölçüler (http://www.dsm.com).

Soğutma sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar;

1) Soğutma kanalları kalıp yüzeyine çok yakın yapılmamalıdır. Enjeksiyon sırasında meydana gelen ani termal genleşmeler mikro çatlaklara ve istenmeyen deformasyonlara neden olabilir. Tasarım için tavsiye edilen ölçüler Şekil 5.30'da görülmektedir.

2) Soğutma kanalları kalıp yüzeyinden çok uzağa açılmamalıdır. Bu soğutma işleminin verimini düşürecek dolayısıyla çevrim süresinin uzamasına neden olacaktır. Tasarım için tavsiye edilen ölçüler Şekil 5.30'da görülmektedir.

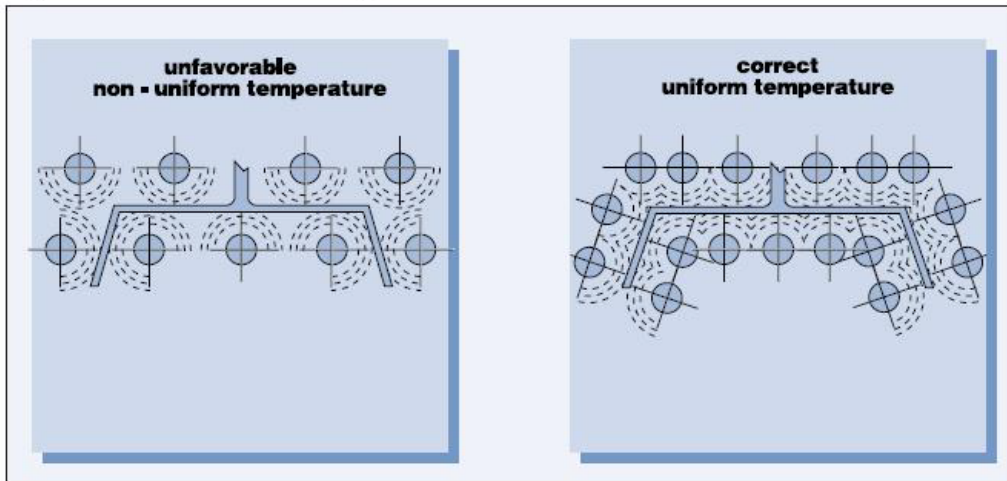
3) Soğutma sistemlerinin tasarımında devre içindeki akışkanın basınç ve hızının değişimi minimum olacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

4) Soğutma suyunun debisi yeterli olmalıdır.

5) Soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı minimum olmalıdır (Kısa soğutma kanalları için $5C^{\circ}$).

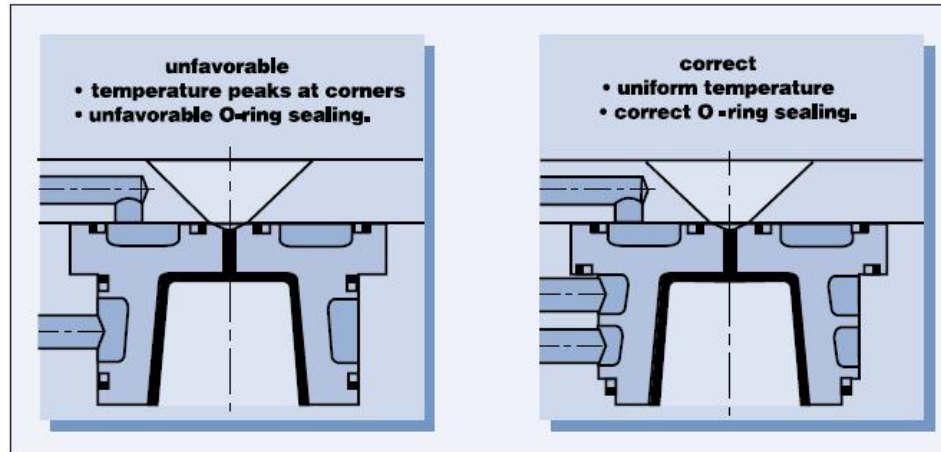
6) Uzun soğutma kanallarında soğutma suyuna olan ısı transferi soğutma kanalı çıkışına doğru soğutma suyunda sıcaklık artışına neden olduğu için uzun soğutma kanalları yerine kısa ve simetrik akış gösteren birden fazla soğutma kanalı kullanılmalıdır. Böylelikle soğutma suyu giriş ve çıkışı arasında sıcaklık farkı daha az olacak ve soğutma verimi artacaktır.

7) Plastik parçaların köşelerinin soğutulmasında dış tarafta kalan yüzeyin içteki yüzeye göre daha büyük alana sahip olduğu ve uniform bir soğutma için büyük yüzey alanına sahip tarafa, daha fazla soğutma kanalı yerleştirmenin gerekli olduğu unutulmamalıdır. Bu durum Şekil 5.31’de görülebilir.



Şekil 5.31 Parça köşelerinde oluşturulan soğutma devreleri (<http://www.dsm.com>).

8) İki yüzey arasına sızdırmazlık için yerleştirilecek contaların (sızdırmazlık halkalarının) montaj sırasında keskin köşeler tarafından zarar görmesini engellemek ve sızdırmazlık görevini tam anlamıyla yerine getirebilmesini sağlamak için tasarım dikkatli yapılmalıdır.

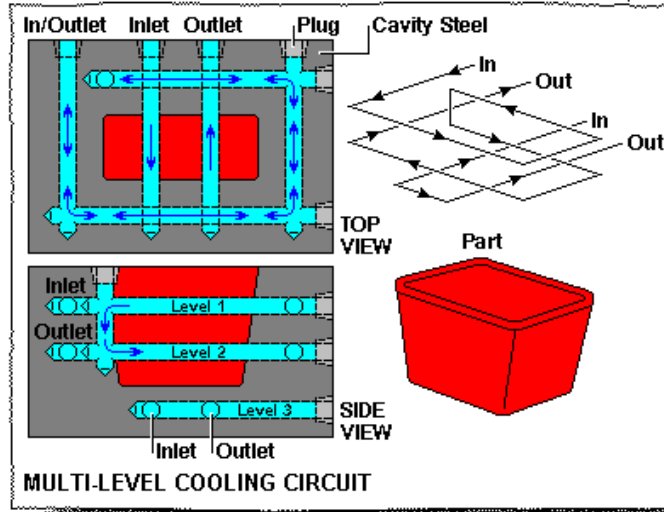


Şekil 5.32 Lokma parçaların çepeçevre soğutulurken sızdırmazlık için kullanılan conta yuvaları için tavsiye edilen tasarım (<http://www.dsm.com>).

9) Soğutma kanallarının imalatı dişi ve erkek plakaların matkap ile delinmesi ile gerçekleştirilir. Uzun matkap uçlarının imalat sırasında eksenden kaçması nedeniyle 150mm civarındaki soğutma kanal boyları için 3mm, 150mm uzun kanal boyları için 5mm sapmanın olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Güneş, 2005). Bu durum özellikle erkek plakaların itici pimleri ve delikleri, bağlama elemanları arasından dolaşan soğutma kanalları açısından oldukça önemlidir.

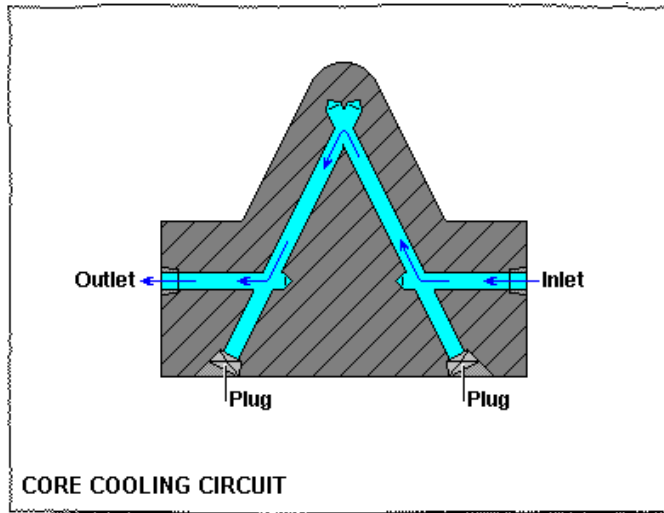
Şekil 5.33 ve Şekil 5.46 arasında kalıplarda kullanılan soğutma sistemi tasarımlarına ait örnekler görülmektedir.

Şekil 5.33’de ince kesitli derin bir parçanın dişi kalıp yarımının soğutulması için kullanılan soğutma kanalları görülmektedir. Soğutucu akışkanın yönlendirilmesi için plakaya yardımcı kanallar açılmış ve daha sonra konik tıkaçlarla dışa açık uçları kapatılmıştır.



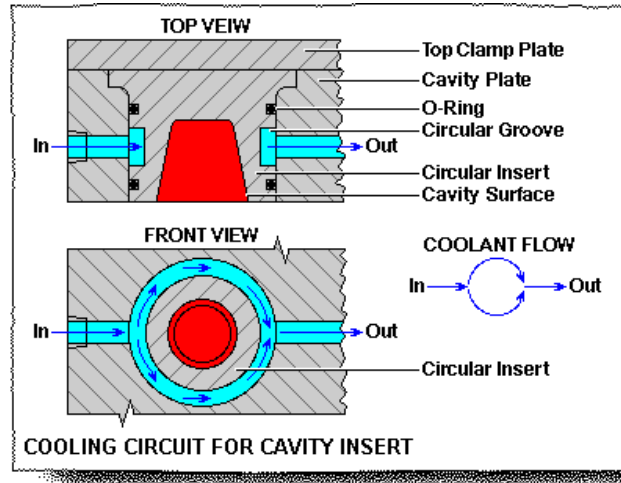
Şekil 5.33 Derin parçaların soğutulması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.34 erkek plakanın soğutulması görülmektedir. Açılı yüzeylere matkap ile delik delinmez. Bu nedenle açılı soğutma kanallarının matkapla işlenebilmesi için matkabın gireceği noktanın çevresi parmak freze ile matkabın delik eksenine dik olacak şekilde düzeltilmelidir. Ayrıca delik delme sırasında eksen kaçıklıklarını önlemek için parça rijit bir şekilde tezgaha bağlanmalıdır.



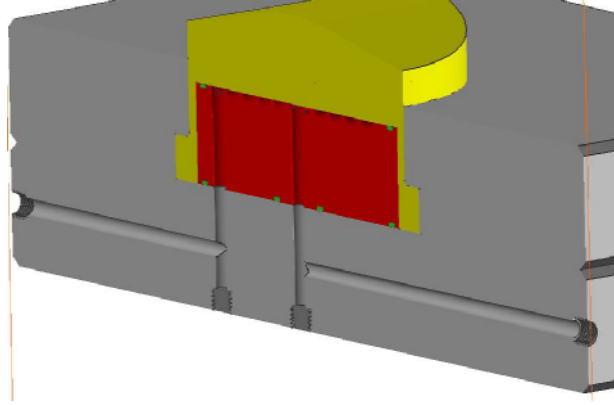
Şekil 5.34 Erkek plakanın soğutulması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.35 deki kalıp tasarımında görüldüğü gibi kalıplanan parçanın dış yüzeyinin şekli dişi plakaya monte edilen maça (lokma) tarafından verilmektedir. Bu maçanın soğutulması çepeçevre etrafına açılmış olan dikdörtgensel kanal içerisinde soğutucu akışkanın geçirilmesi ile sağlanmaktadır. Dişi plaka ve maça arasındaki sızdırmazlık kanallar içerisine yerleştirilmiş radyal yönde deforme edilen sızdırmazlık halkaları (O-ring) tarafından sağlanmaktadır.

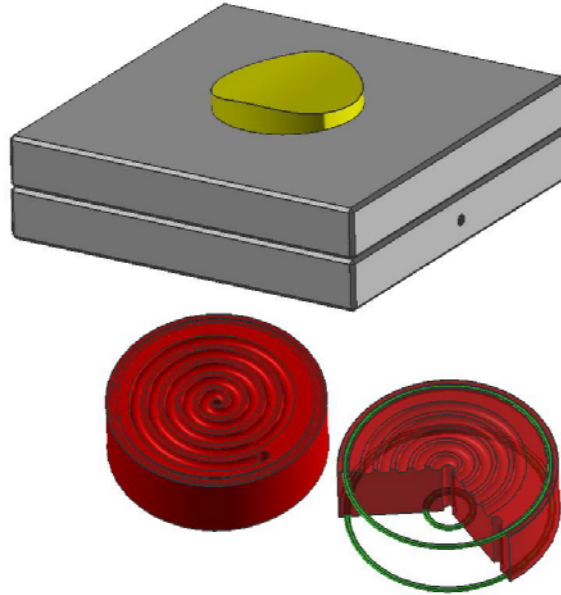


Şekil 5.35 dişi lokmaların soğutulması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.36 ve 5.37’de kalıbın erkek yarımına ait bir resim görülmektedir. Bu kalıpta parça içerisindeki boşluk kalıbın erkek yarımına monte edilmiş (sarı parça) sabit bir maça ile verilmektedir. Maça, içerisine yerleştirilen kırmızı lokma ile soğutulmaktadır. Soğutma için lokma üzerine radyal yönde yarım daire şeklinde kanallar açılmıştır. Soğutma suyu destek plakasına açılmış delikten girer lokmanın orta noktasındaki boşluktan yukarı çıkar, radyal kanallar içerisinde dolanıp lokmanın kenarındaki deliğe ulaşır ve son olarak tekrar destek plakasına gelen su kalıp dışına çıkar.



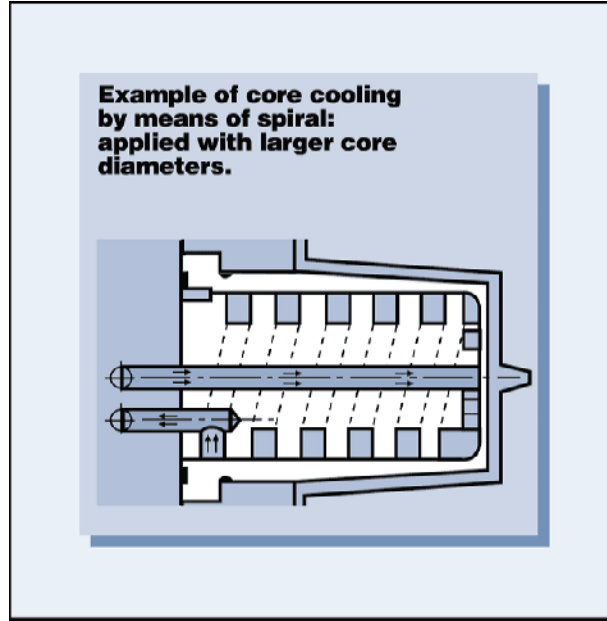
Şekil 5.36 Erkek lokmaların içten radyal kanallarla soğutulması.



Şekil 5.37 Erkek lokmaların içten radyal kanallarla soğutulması.

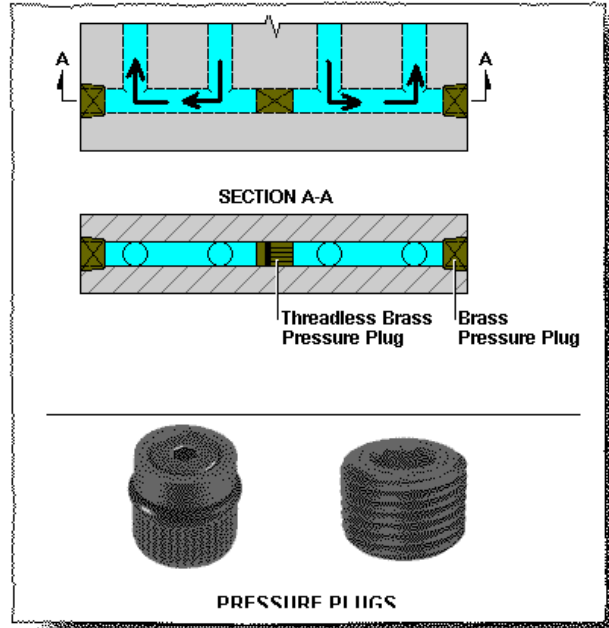
Şekil 5.38’de geniş ve uzun erkek maçaların soğutulmasında etkili bir yöntem görülmektedir. Bu yöntem spiral ayırıcılar ile yapılan soğutma sistemine benzemektedir. Tasarımda maça içerisine açılan boşluğa, üzerine radyal yönde soğutma kanalları açılmış bir lokma yerleştirilir. Maça destek plakası içerisinden soğutucu kanallar ile lokma merkezine kadar taşınan su, lokma merkezinden en üsteki, lokma ve maça arasındaki boşluğa gönderilir. Su buradan radyal yöndeki kanalı takip eder ve lokmanın en altındaki noktadan maça destek plakası içerisindeki

soğutma kanallarına aktarılır. Bu yöntemde büyük maçalar verimli bir şekilde soğutulabilir.



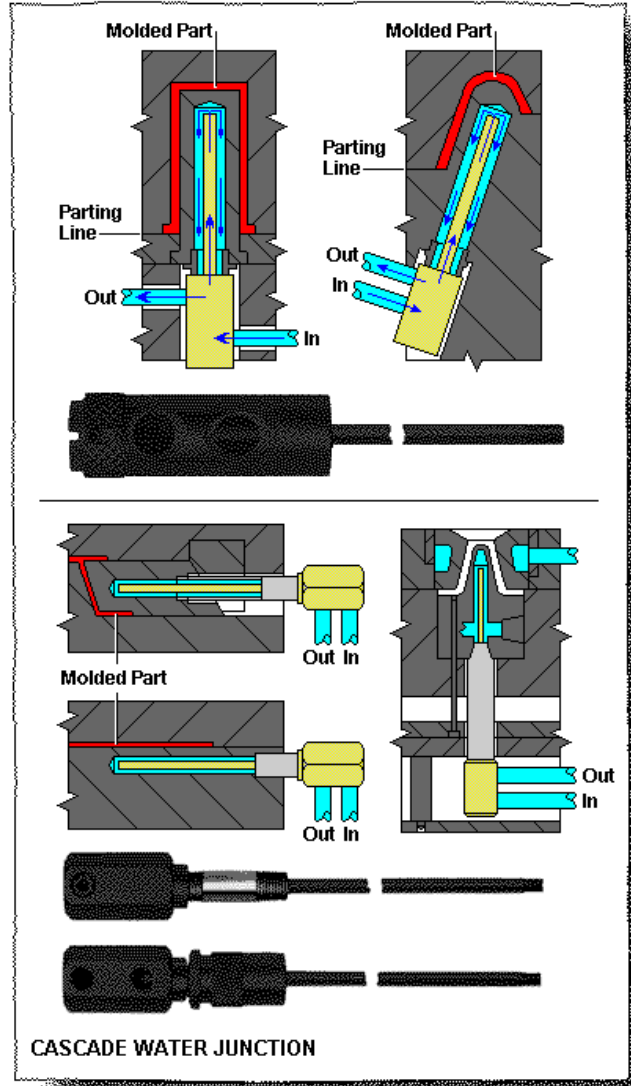
Şekil 5.38 Erkek lokmaların çevresel kanallar ile soğutulması (http://www.dsm.com/en_US/html/dep/coolingchannelconfiguration.htm).

Şekil 5.39’da uzun soğutma kanalının, standart soğutma elemanlarından biri olan tıkaç yardımıyla iki küçük soğutma kanalı haline getirilmesine bir örnek gösterilmiştir. Ok işaretleri soğutma suyunun akış yönünü göstermektedir.



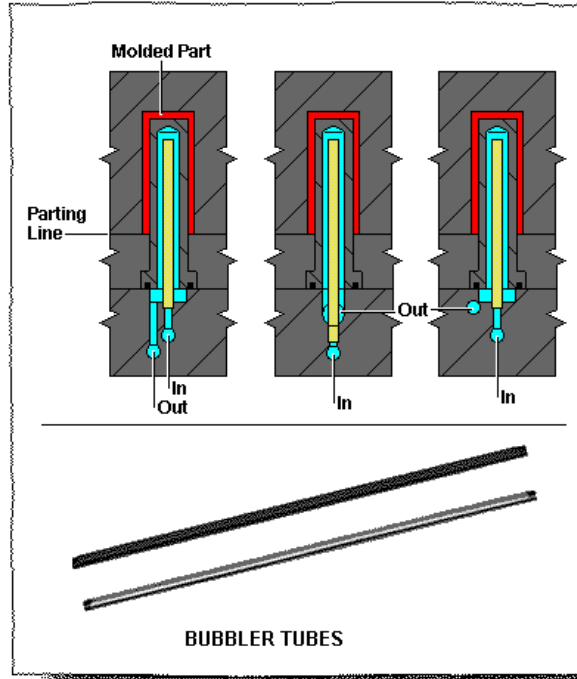
Şekil 5.39 Tıkaçlar vasıtasıyla paralel soğutma devrelerinin oluşturulması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.40'da standart kalıp soğutma elemanı olan, kaskad soğutma sistemi ile yapılan soğutma görülmektedir. Kaskad soğutma; erkek maçaları, erkek kalıp çekirdeğini ve kalıp içerisinde soğutulması zor olan noktaları soğutmada en verimli soğutma tekniklerinden biridir. Soğutma suyu kaskad sistemin içine girdikten sonra boruyu takip edip fiskiye şeklinde içinde bulunduğu deliğe dökülür ve deliği çepeçevre soğutur. Bu sistemlerin montajı oldukça kolaydır.



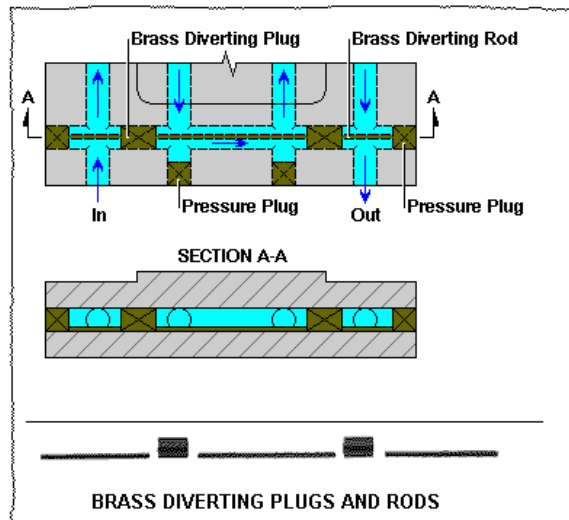
Şekil 5.40 Kaskad soğutma sistemi (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.41’de standart soğutma elemanı olan fışkiye tüpleri ile, küçük çaplı erkek maçaların soğutulması görülmektedir. Fışkiye tüplerinin su girişleri genellikle maça destek plakasına monte edilir. Destek plakasına açılan su kanalları fışkiye tüplerinin girişi ile birleştirilir. Su, fışkiye tüpünün içerisinden maça içerisindeki deliğe dökülür. Dökülen su erkek maçayı çepeçevre soğutarak gene destek plakası üzerine açılan su kanallarından kalıbı terk eder.



Şekil 5.41 Fıskiye tüpleri ile soğutma (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.42’de pirinç tıkaçlar ve bunların kanal içerisinde pozisyonlanmasında kullanılan pirinç çubuklar yardımıyla, soğutma suyunun erkek kalıp plakası içerisinde yönlendirilmesi görülmektedir.



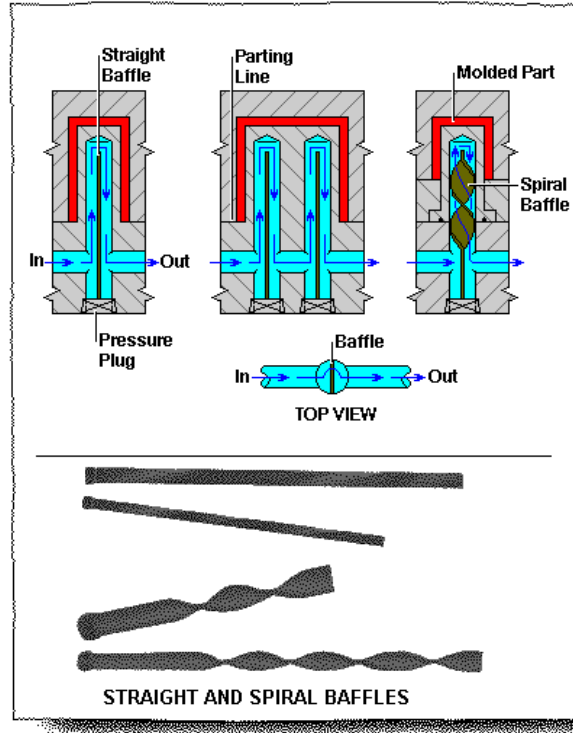
Şekil 5.42 Pirinç çubuklar yardımıyla tıkaçların pozisyonlanması(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.43’de erkek lokma ve erkek çekirdeklerin soğutma sistemlerinde kullanılan spiral ve düz ayırıcılar görülmektedir. Düz ve spiral ayırıcılar maça içerisine açılan deliklere kayar geçme şeklinde geçirilip, maça veya maça destek plakasına altlarındaki tıkaçlarla birlikte vidalanarak monte edilirler. Ayırıcılar, içinde bulundukları deliği iki parçaya ayırırlar. Soğutma suyu ilk olarak ayırıcının ikiye ayırdığı deliğin ilk bölümüne gelir. Daha sonra ayırıcının üzerinden aşarak ikinci bölüme geçer ve soğutma kanallarını takip ederek kalıp içerisinden uzaklaşır. Spiral ayırıcının düz ayırıcıya nazaran soğutma verimi daha yüksektir. Bunun nedeni spiral ayırıcı içerisinde akışkanın tüm yüzeyleri dengeli bir şekilde soğutması ve içerisinde meydana gelen türbülanslı akıştır. Türbülanslı akış reynold sayısı ile belirlenir. Reynold sayısı [27] denkleminde yararlanılarak hesaplanır.

$$Re = \frac{(V.d)}{\nu} \quad [27]$$

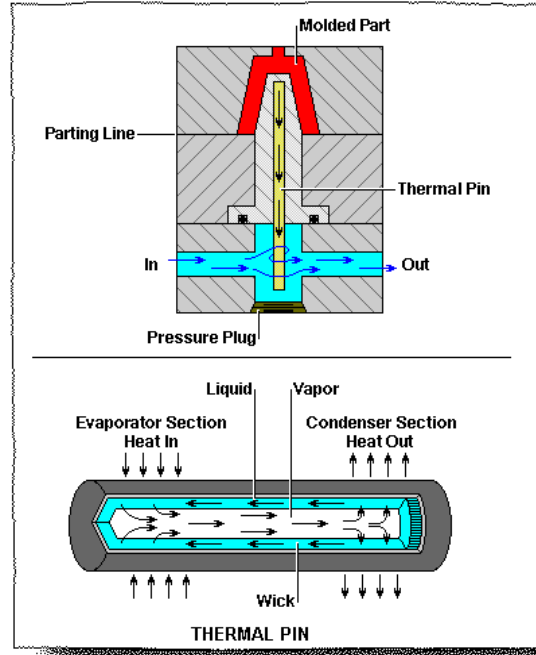
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Burada $V(m/s)$ soğutma suyunun hızı, $d(m)$ soğutma suyunun içerisinde aktığı kanalın çapı ve $\nu(m^2/s)$ soğutucu akışkanın kinematik viskozitesidir. Kinematik viskozite mutlak viskozitenin(kgm/s) yoğunluğa(kg/m^3) bölünmesi ile bulunur. Eğer reynold sayısı 4000’den büyük ise akış türbülanslı akış demektir. Reynold sayısının yüksek olması akışın daha türbülanslı ve soğutma verimin daha yüksek olması anlamına gelir. İyi bir soğutma için Reynold sayısının 10000-20000 arasında olması tavsiye edilmektedir (http://files.hanser.de/hanser/docs/20040401_244515439-9186_3-446-21587-5.pdf).



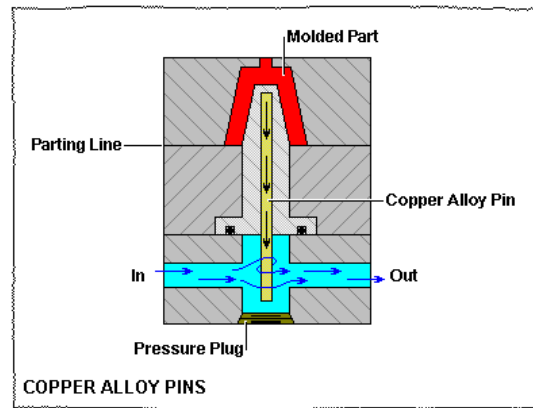
Şekil 5.43 Düz ve helisel ayırıcı ile soğutma
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.44’de standart soğutma elemanı olan termal pim ile erkek maçaların soğutulması görülmektedir. Termal pimler soğutulacak olan maça içerisine yerleştirilir ve iletimle maça içerisindeki ısıyı soğutma suyuna aktarırlar. Termal pimlerin ısı iletim katsayısı oldukça yüksektir bu nedenle soğutma verimleri yüksektir. Kesitinden de görüldüğü gibi termal pimler dışta vakumlu bakır tüp, bakır tüp altında içinde kılcal delikler bulunan filitre malzemesi ve içerisinde az miktarda su, aseton veya metanolden oluşmaktadır. Maçadan alınan ısı filitre içerisindeki soğutucu akışkanı buharlaştırır. Buharlaşan soğutucu akışkan genişterek sıcaklığın düşük olduğu termal pimin soğutma suyunun içerisinde bulunan ucuna yönelir. Burada soğuk bakır yüzeyi ile karşılaşan akışkan yoğunlaşır ve kılcal delikler içerisinde yükselerek yeniden buharlaşır ve bu işlem sürekli tekrarlanır. Böylelikle sürekli olarak ısı maça içerisinde soğutma suyuna aktarılır.



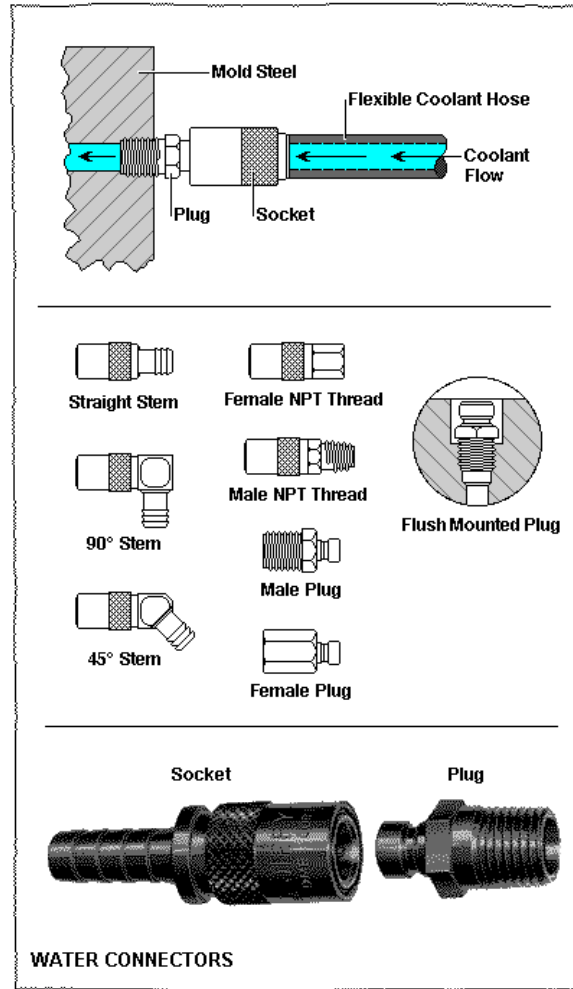
Şekil 5.44 Termal pim ile soğutma
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>)

Şekil 5.45’de ise termal pime çok benzeyen fakat içi dolu bakır, bakır-berilyum veya bakır-tungsten alaşımından imal edilmiş pimler ile yapılan erkek maça soğutulması görülmektedir. Bu sistemin iletim katsayısı termal pime göre daha düşük olduğu için soğutma verimi daha küçüktür. Bakır alaşımlı pimler termal pimlere nazaran daha ucuzdur.



Şekil 5.45 Bakır alaşımlı pimle soğutma
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>)

Soğutma sisteminde eğer soğutma kanalları dışarıdan hortumlar vasıtası ile birleştirilecekse delik giriş ve çıkışlarına dış açılarak hortum bağlama aparatları takılır. Bu standart bağlama aparatları şekil 5.46’da görülmektedir.



Şekil 5.46 Hortum bağlama aparatları (<http://www.dmeuniversity.net/english/f.cfm>).

Kalıp ısıtmanın kalıp soğutmadan temel farkı içerisinde dolaşan akışkanın sıcaklığıdır. Kalıp soğutmada kullanılan tüm konstrüktif tasarımlar ve hesaplamalar kalıp ısıtma içinde kullanılabilir. Tek fark ısının parçadan uzaklaştırmak yerine parçaya verilmeye çalışılmasıdır. Isıtıcı akışkan olarak sıcak su, buhar, sıcak yağ kullanılabilir. Yağ ve suyun ısıtılması ve sıcaklığının kontrol edilmesi enjeksiyon tezgahı yanında bulunan ısıtma ünitesi tarafından gerçekleştirilir. Isıtma işleminde

elektrik dirençleri kullanılır. Buhar, sıcaklığının kalıp içerisindeki kontrolünün zor olması nedeniyle çok sık kullanılmamakla birlikte genellikle soğuk yolluklu sistemlerde tercih edilir. Ayrıca buhar ile ısıtılan kalıplarda çevre güvenliğine daha çok dikkat edilmelidir.

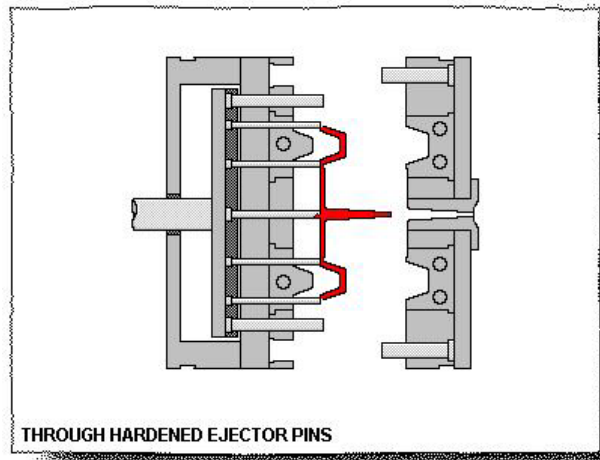
5.2.7 Çıkarma Sistemlerinin Tasarımı

Yeni bir çevrim başlamadan önce kalıp içerisinde katılaşmış iş parçası dahil tüm malzemenin kalıp dışına çıkarılması gerekmektedir. Çıkarma işleminin yapılabilmesi için parça üzerinde bulunan maçalar da dahil tüm hareket engelleyicilerin parça üzerinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle kalıp çıkarıcı sistemlerinin görevi sadece katılaştıran malzemeyi kalıptan dışarı atmak olmayıp parçanın atılması sırasında parçanın itilme hareketini önleyecek tüm kalıp elemanlarını uygun pozisyonlara hareket ettirmektir. Parça geometrisine göre çıkarıcı sistemleri çok farklı tasarımlarda olabilmekle birlikte hepsindeki temel mantık, hareketli mengene sisteminin geriye çekilmesinden sonra enjeksiyon tezgahı tarafından itici sistemine hareket verilmesi ve bu hareketin kalıp üzerindeki maçalara, parça ve yolluklara iletilerek ürünün kalıp dışına atılmasını sağlamaktır.

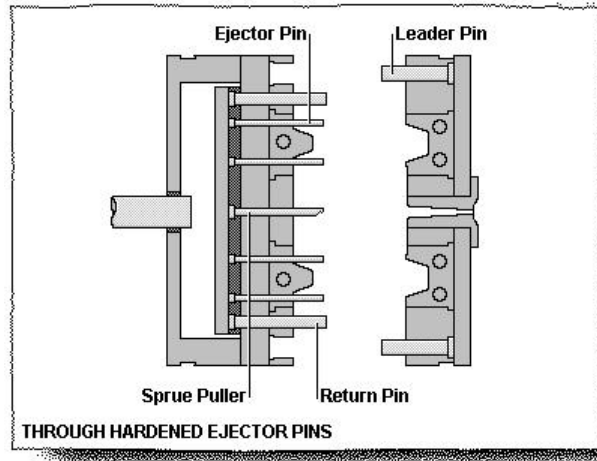
Kalıplama esnasında katı faza geçen plastik malzemenin makro molekülleri arasındaki boşluk azalır. Bu nedenle plastik malzeme içerisinde üç boyutlu bir çekme meydana gelir. Bu çekme sırasında parça tutunabileceği yüzeyleri sarmaya çalışır. Genellikle kalıplama işlemi sırasında üretilecek parça içerisindeki boşluk erkek kalıp yarımı tarafından oluşturulduğu için çevrim tamamlanıp kalıp yarımları açıldığında parça erkek kalıp üzerinde kalır. Bu nedenle parçanın dışarı atılması için kullanılan çıkarıcı sistemleri kalıp erkek yarımı üzerinde pozisyonlandırılırlar. Çıkarıcı sisteminin performansı ürün tasarımı ile yakından ilgilidir. Ürün tasarımı sırasında kalıp cidarlarına açı vermenin amacı çıkarıcı sistemin görevini yerine getirirken parçaya zarar vermesini engellemektir. Parçalara verilen eğim açısı parçanın küçük bir kuvvetle kalıp dışına atılmasını sağlar. Eğim açısı verilmeyen yüzeylerde ise parça dışarı atılana kadar sürtünme kuvvetine maruz kalır. Bu nedenle iticilerin parça ile temas ettikleri yüzeylerde şekil bozuklukları meydana gelebilir.

Kalıplanan parçanın geometrisi çıkarıcı sistemini belirlemedeki en önemli faktördür. Çıkarıcı sistemi kalıplanan plastik parçayı zarar vermeden ve dengeli bir şekilde kalıptan çıkarmalıdır. Bu noktada iticilerin vuruş hızı, parça üzerindeki yerleştirilme noktaları, sayıları ve cinsi önem arz etmektedir. Şekil 5.47 ve Şekil 5.48 arasında kalıplarda kullanılan çıkarıcı tasarımlarına örnekler verilmiştir.

Şekil 5.47 ve 5.48’de itici pimler kullanılan klasik çıkarıcı sistemi görülmektedir. Pimler kalıp içerisinde merkezleme, itici sistemini pozisyonlama, yolluk sisteminin kalıp üzerinde kalmasını sağlama ve kalıplanan malzemeyi dışarı atma gibi görevlerde kullanılırlar. Kalıbın açılması ve kapanması sırasında sürekli olarak dişi ve erkek plakalar içerisinde kendilerine açılmış delikler içerisinde kayarak hareket ettiklerinden dolayı aşınmaya maruz kalırlar. Bu nedenle itici pimler sürtünmeyi azaltmak için taşlanır ve sertleştirilir. Pimlerin kafa bölgesi sıcak dövme ile şekillendirilir. Sıcak dövme ile kafa bölgesinde bulunan kristal yapısında aynı doğrultuda yönelme sağlanır ve pimlerin normal gerilmelere karşı mukavemetinde artış sağlanır. Pimlerin gövdeleri 60-65Rc sertliğinde ve başları 30-35Rc sertliğindedir. Görevlerine ve yerleştirildikleri noktalara göre farklı geometrilere sahip olabilirler. Pimler çıkarma işlemleri sırasında simetrik olmayan kuvvetlerin etkisi altında eğilmeye zorlanabilirler, bu kuvvetler altında kasıntısız bir şekilde hareket etmelidirler.



Şekil 5.47 İtici pimli klasik çıkarıcı sistemi
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

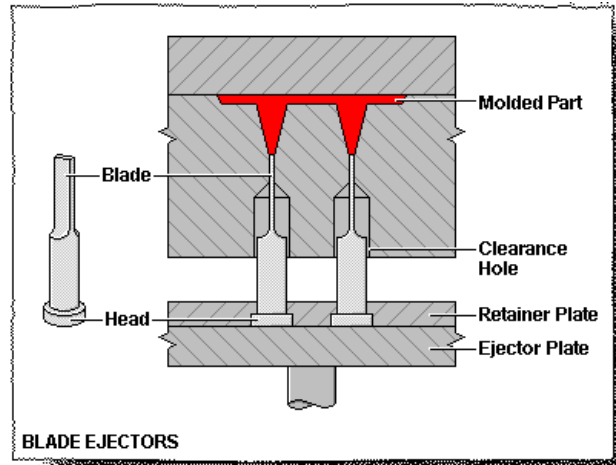


Şekil 5.48 İtici pimli klasik çıkarıcı sistemi
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

İtici pimleri hareket ettiren plakalara itici plakaları denir. İtici plakaları birbirine cıvatalarla sabitlenir. Pimler parçayı itecekleri noktalara göre itici plaka içerisine açılan deliklerden geçirilip yuvalarına oturtulur. Yuvalara oturtulan pimler arkadan itici destek plakası ile yuvalarında sabitlenir ve iki plaka birbirlerine cıvatalar ile sabitlenerek pimlerin tam olarak pozisyonlanması sağlanır. İtici pimlere hareket tezgah çıkarıcı milinin itici plakalarına teması ile verilir ve yolluk sistemi ve parça kalıp üzerinden boşluğa itilerek kalıp içerisinden uzaklaştırılır.

Geri dönüş pimleri kalıp kapanmaya başladığında kalıbın öteki yarımını ile temas ederek itici sistemini başlangıç pozisyonuna getirmek için kullanılan pimlerdir. Kalıplarda geri dönüş pimlerinin kullanılma sebebi kalıbın kapanması sırasında itici pimlerin kalıbın karşı yüzeyine sürtünerek yüzeyi bozmasını engellemek ve pimleri tam olarak pozisyonlamaktır. Şekil 5.48’de itici plakaları ve geri dönüş pimleri görülebilir.

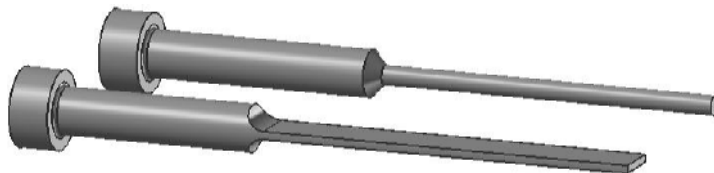
İtici plakasına bağlanan pimlerden biri de yolluk çekici pimleridir. Yolluk çekici pimlerinin kullanılma sebebi çevrim sonunda kalıp yarımını açıldığında parçanın ve yolluk sisteminin kalıp yarımını üzerinde kalmasını sağlamak ve iticilerin katılaştıran malzemeyi kontrollü olarak dışarı atmasını sağlamaktır. Bu nedenle yolluk çekici pimler yolluk altına yerleştirilir.



Şekil 5.49 Lama iticili çıkarıcı sistemi
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

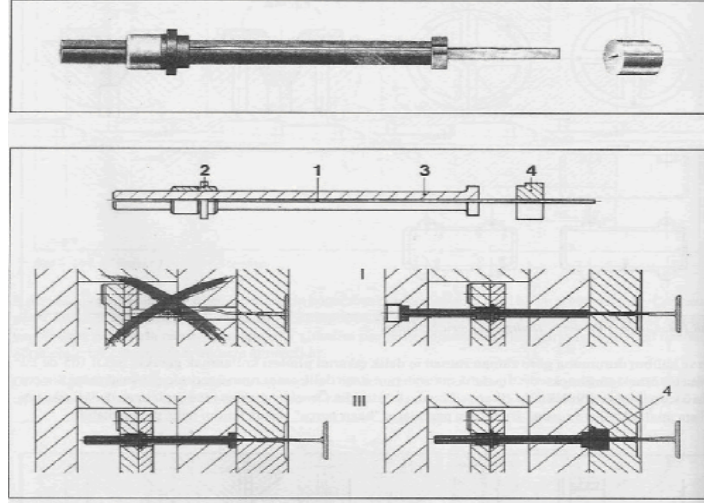
Şekil 5.49’da lama itici pim adı verilen ve standart kalıp malzemeleri grubu içerisinde yer alan itici pim ile yapılan çıkarma işlemi görülmektedir. Lama iticiler genellikle dar, ince ve kompleks geometriye sahip parçaların çıkarılmasında kullanılırlar. Bu pimlerin tasarımda kullanılması sırasında flambaj kontrolü yapılmalıdır. Ayrıca lama kesitin içerisinde hareket ettiği boşluk ile arasında plastik malzemenin çapak yapmaması hassas toleransların kullanılması gerekmektedir. Yuvarlak deliklere tolerans vermenin, dikdörtgen kesitli deliklere tolerans vermekten her zaman daha zor olduğu unutulmamalıdır.

Lama iticiler ile benzer olan ve uç profili yuvarlak olan kademeli itici için yukarıda anlatılan lama iticiler ile ilgili olarak anlatılan tüm bilgiler geçerlidir. Aşağıdaki resimde lama itici ve kademeli itici pimler görülmektedir.



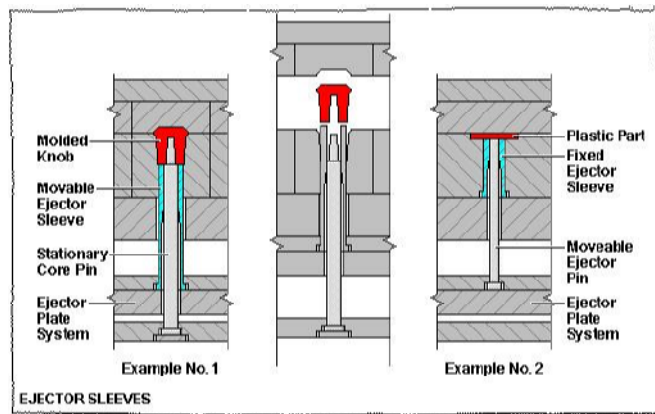
Şekil 5.50 Lama ve kademeli iticiler.

Şekil 5.51’de lama iticilerle benzer profile sahip fakat kılavuzları sayesinde burkulmaya karşı daha dayanıklı olan itici pimler ve montajı görülmektedir.



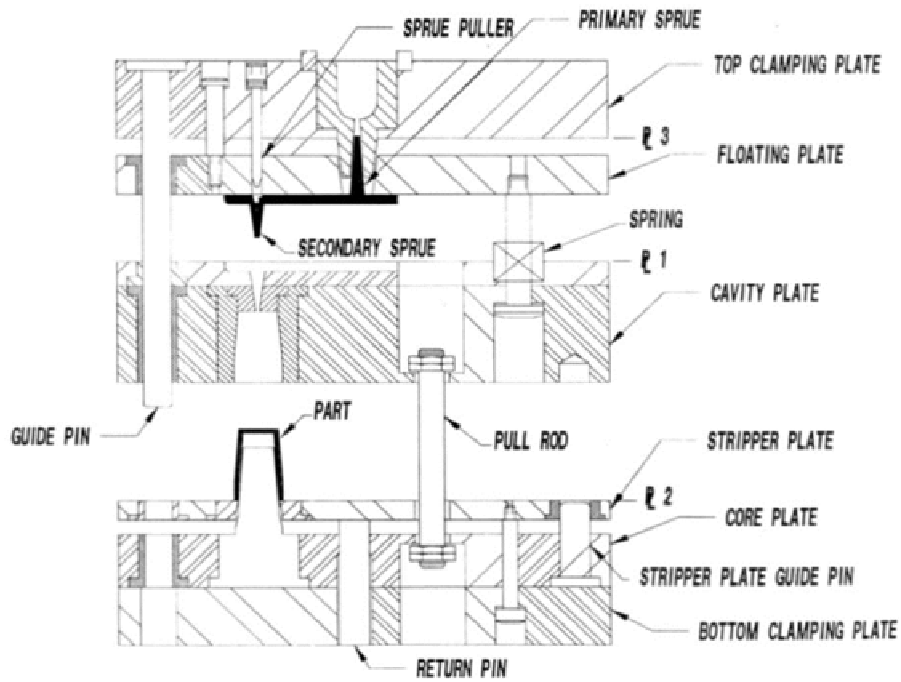
Şekil 5.51 Yaprak iticiler ve yaprak itici sistemi (Güneş, 2005).

Şekil 5.52’nin ilk örneğinde çoğunlukla silindirik parçaların kalıptan çıkarılmasında kullanılan boru şeklindeki iticiler görülmektedir. Kırmızı kesitli parça kalıp erkek yarımının mengene ünitesi vasıtasıyla geri çekilmesi sırasında tezgâh çıkarıcı mili tarafından itilen itici plakaları yeşil kesitle gösterilen boru iticiyi, parçanın içerisindeki boşluğu veren pim etrafından kaydırarak iter ve parçanın kalıp dışına atılmasını sağlar. Ayrıca boru iticiler ikinci örnekte gösterildiği gibi itici pimlere kılavuzluk etmesi amacıyla da kullanılabilirler.



Şekil 5.52 Boru iticili çıkarma sistemi
(<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Eğer kalıplanan parçalar boru iticili pimlerle çıkarılamayacak kadar geniş ve derin ise bu parçaların kalıptan çıkarılmasında sıyrıcı plakalar veya kovan şeklinde sıyrıcı bilezikler kullanılır. Sıyrıcı plakalar ağırlıkları nedeniyle hareket sırasında kasıntılara neden olacağı için şekil 5.53'deki sıyrıcı plaka, maça destek plakasına kılavuz pimlerle merkezlenmiştir.

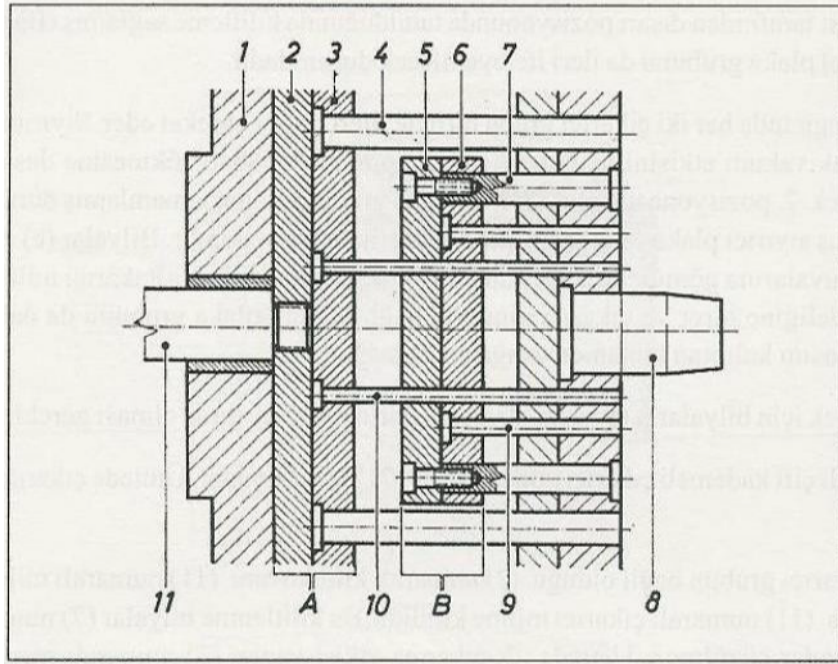


Şekil 5.53 Sıyrıcı plakalı çıkarıcı sistemi (http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/mold_types.htm).

Şekil 5.62 de enjeksiyon işlemi sonrasında dişi kalıp yarımı üzerinde kalan parçanın kalıptan çıkarılması için kullanılan çıkarıcı sistemi görülmektedir. Bu sistemde dişi kalıp yarımına yerleştirilen sıyrıcı plaka, erkek kalıp yarımının geriye çekilmesi sırasında saplamalar vasıtasıyla çekilerek parçayı kalıp dişi plakası üzerinden düşürmektedir.

Şekil 5.63 de çıkarıcı tasarımında iç içe iki çıkarıcı grubu bulunmaktadır. 11 nolu çıkarıcı mili ilk olarak A ile gösterilen ilk itici grubunu ve ona sabitlenmiş olan 10 nolu itici pimleri hareket ettirir. A itici pimi içteki B itici grubuna temas ettiği anda B itici grubunu öne doğru iter ve 9 numara ile gösterilen itici pimlerinin devreye

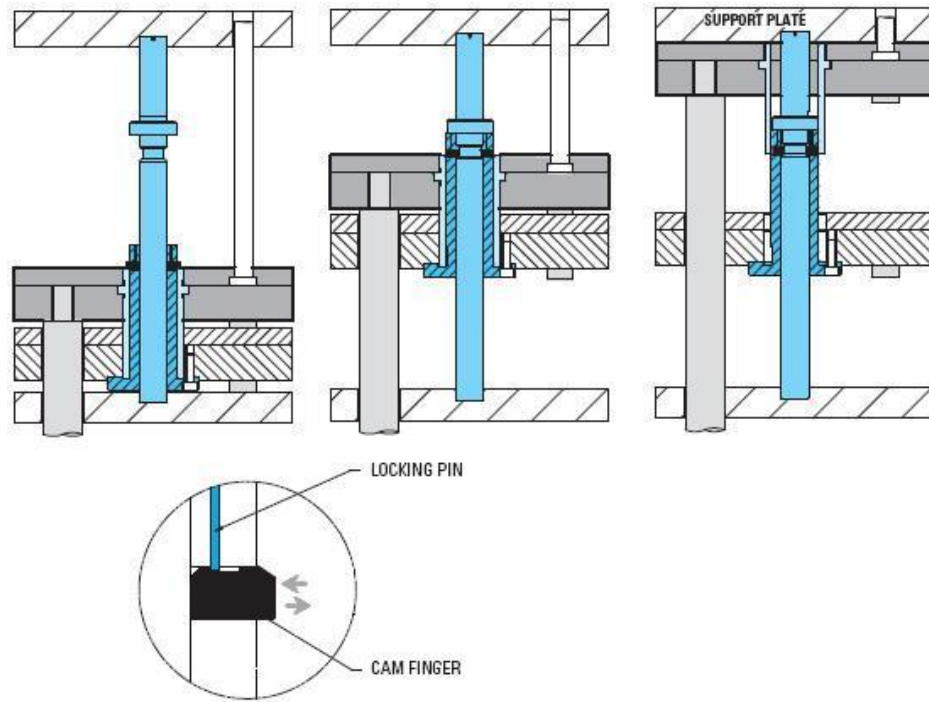
girmesi sağlanır. Kalıp kapanırken ilk olarak 4 nolu geri dönüş pimleri kalıp dişi plakası ile temas eder ve A itici grubunu geriye iter. A ve B itici grubu arasındaki boşluk mesafesi kadar A grubu geri itildiğinde 7 numara ile gösterilen şapkalı miller de kalıp dişi yarımı ile temasa geçer ve B grubu A grubu ile birlikte geriye hareket etmeye başlar. Kalıp dişi ve erkek yarımları birbirine dokunduğu anda iki itici grubu da başlangıç konumlarına pozisyonlanmış olur.



Şekil 5.56 Çift kademeli itici pimli çıkarıcı sistemi (Güneş, 2005)

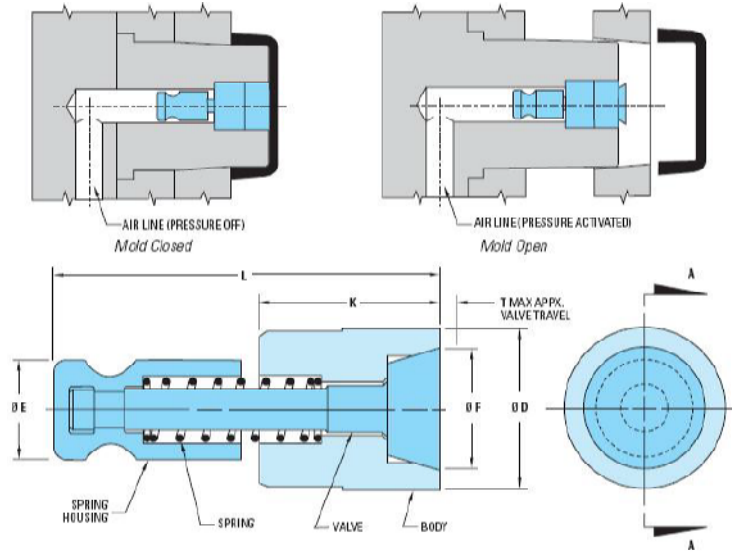
Şekil 5.57’de standart eleman olarak temin edilebilecek farklı bir çift kademeli itici sistemi görülmektedir. Bu tasarımda tezgâh çıkarıcı mili ilk olarak içi koyu renkle boyanmış ilk itici grubunun itici destek plakasını itmektedir. İtici destek plakası kendisine cıvata ile bağlanmış itici yerleştirme plakasını iterken, itici yerleştirme plakası ile arasına monte edilen çıkarıcı ünitesinin kayar sıyrıcısını ve üzerindeki çıkarıcı elemanları da ileri doğru itmektedir. Kayar sıyrıcı, merkez mili tarafından dışarı itilmiş halde duran kam tırnaklara takıldığı için ileri doğru hareketinde kam tırnakları ile birlikte, kam tırnaklarının kayar şekilde içine yerleştirildiği burcu ve burcun cıvata ile sabitlendiği taralı çizgilerle gösterilmiş ikinci destek plakası ve ona bağlı çıkarıcı elemanlarını ileri doğru hareket ettirmektedir. Bu hareket kam tırnaklarının merkez mili etrafındaki kanala girmesine

dek sürmektedir. Tırnakların kanala girmesine kadar, iki itici plakası ve çıkarıcı elemanları aynı anda ilk itme kademesini yerine getirmektedirler. Kam tırnakları merkez milin üzerinde açılan kanala girdiğinde kayar sıyrıcı, kam tırnakları üzerinden kayarak içi koyu renkle boyanmış olan itici plakaları ve onlara monte edilmiş itici elemanları ikinci itme kademesi yerine getirmesi için itmekte ve parça tamamen kalıptan atılmaktadır.

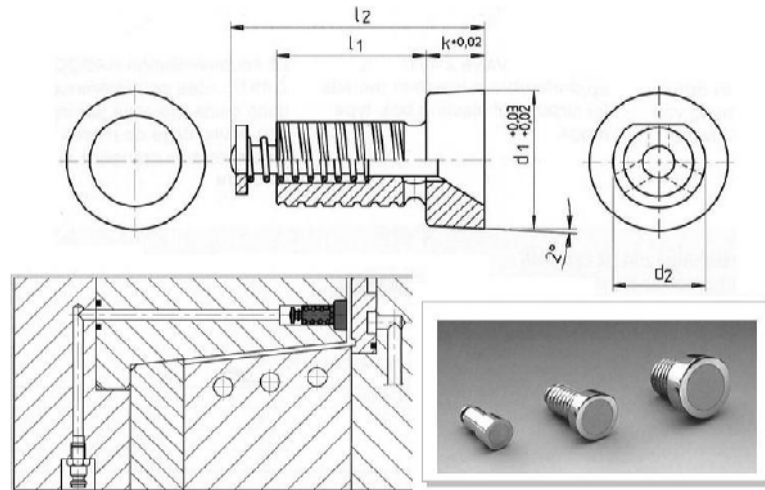


Şekil 5.57 Çift kademeli çıkarma sistemi (<http://www.dme.net>).

Şekil 5.58 ve 5.59’da havalı itici valf tasarımları görülmektedir. Derin parçalar erkek maçalar üzerinden çıkarılırken meydana gelen vakum nedeniyle itici tarafından kuvvet uygulanan noktalardan deforme olmaktadır. Bu parçaların kalıptan herhangi bir zarar görmeden çıkarılmasını sağlamak için havalı iticiler kullanılır. Bu iticiler maçalara açılan ve hava kanalları ile basınçlı hava ünitesine bağlanan deliklere monte edilirler. Kalıp açıldıktan sonra basınçlı hava yardımıyla yay deforme edilip maça yüzeyi ve parça arasında pozitif basınç meydana getirilir ve parça maça üzerinden fırlatılır. Havalı itici valfler standart kalıp elemanlarındandır.



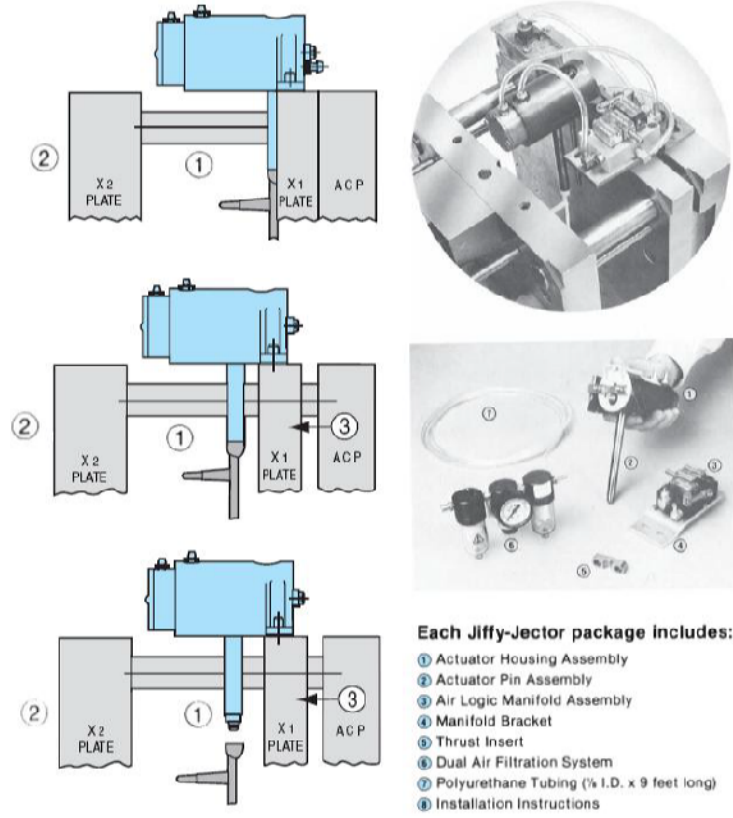
Şekil 5.58 Havalı itici sistemleri (<http://www.dme.net>).



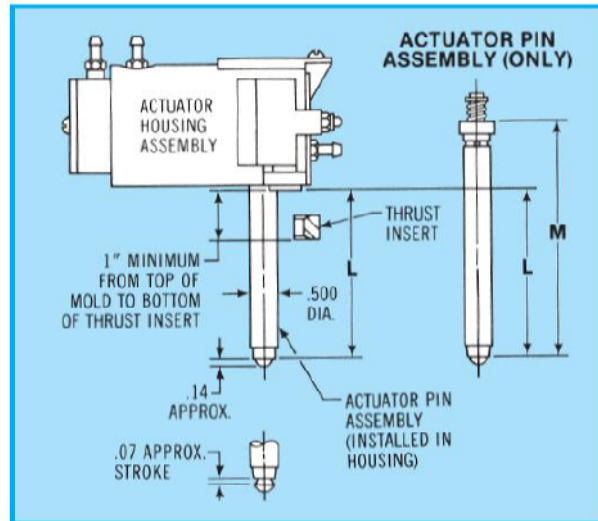
Şekil 5.59 Havalı itici sistemleri (http://www.jtdtky.co.jp/catalog_pdf/HASCO_AirValve.pdf).

Şekil 5.60, Şekil 5.61’de üç plakalı kalıplardan yolluk sistemi çıkarmak için kullanılan bir tasarım görülmektedir. Plakalar kalıp ayırım çizgilerinden ayrıldığında X1 ile gösterilen kayar plaka pnömatrik swiçi aktif hale getirir ve hava silindiri aktivatör pim grubunu ve yolluk sistemini kayar plakadan ayırır. Hava silindiri yaklaşık 25mm’lik strokun sonuna ulaşırken basınçlı havayı gevşemiş olan yolluğa pim içerisindeki kanal vasıtasıyla gönderir ve yolluk sistemini aşağı fırlatır. Fırlatma işleminden sonra ayarlanabilir kısa bir süre içerisinde basınçlı hava kesilir ve aktivatör pim grubu X1 kayar plakası içerisindeki yerine geri dönerek bir sonraki

çevrime hazır hale gelir. Bu sistem standart kalıp elemanları içerisinde yer almaktadır.

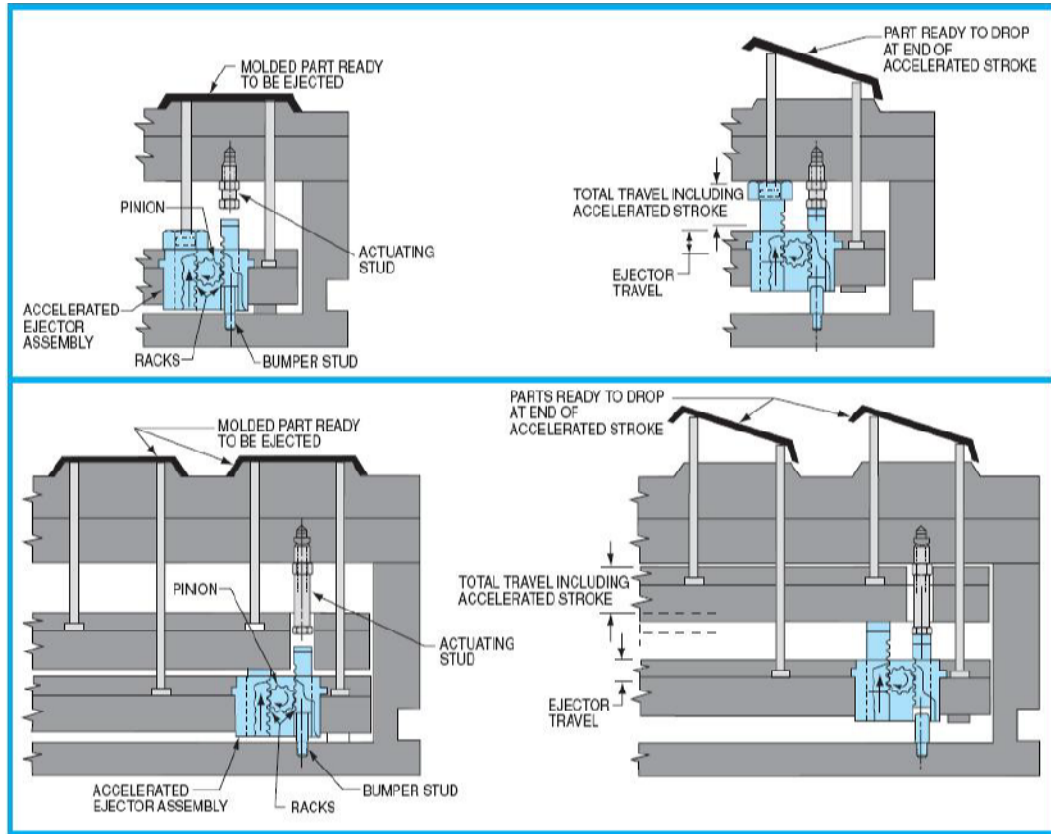


Şekil 5.60 Havalı, yolluk çıkarıcı sistemi (<http://www.dme.net>).

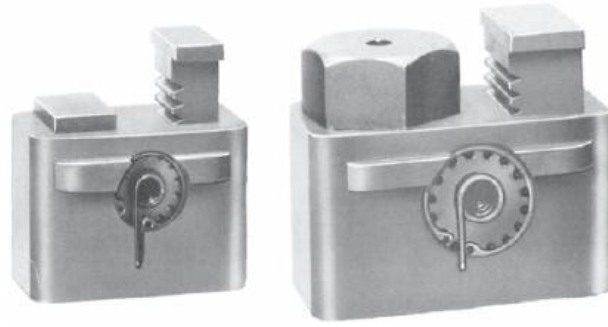


Şekil 5.61 Havalı, yolluk çıkarıcı sistemi (http://216.91.69.172/DCatalog/pages/K29_frame.htm).

Şekil 5.62 ve Şekil 5.63’de itici hızlandırıcı sistemi görülmektedir. Bu sistem basit bir pinyon-kremayer dişli düzeneğidir. İtici stroğunun yaklaşık 15mm artırılmasına olanak sağlar. İticilerin sıyrıcıların, komple tüm itici sisteminin hızlandırılması için kullanılabilir. İtici milinin itici grubunu ileri itmesiyle itici levhaları arasına monte edilen itici hızlandırıcı sistemi hareket eder. Pinyon-kremayer dişli grubu, hızlandırıcı saplama ile temas edene kadar parça üzerindeki tüm pimler eşit hızda hareket etmektedir. Temas sonrası pinyon-kremayer dişli grubuna bağlanan itici pim diğer pimlere göre hızlanarak parçanın kolay bir şekilde kalıp dışına atılmasını sağlar. İtici grubu geri çekilip ilk pozisyonuna geri dönerken pinyon dişli üzerinde itme sırasında burulan kangal yay pinyon-kremayer dişli grubunu başlangıç pozisyonuna geri getirmektedir.

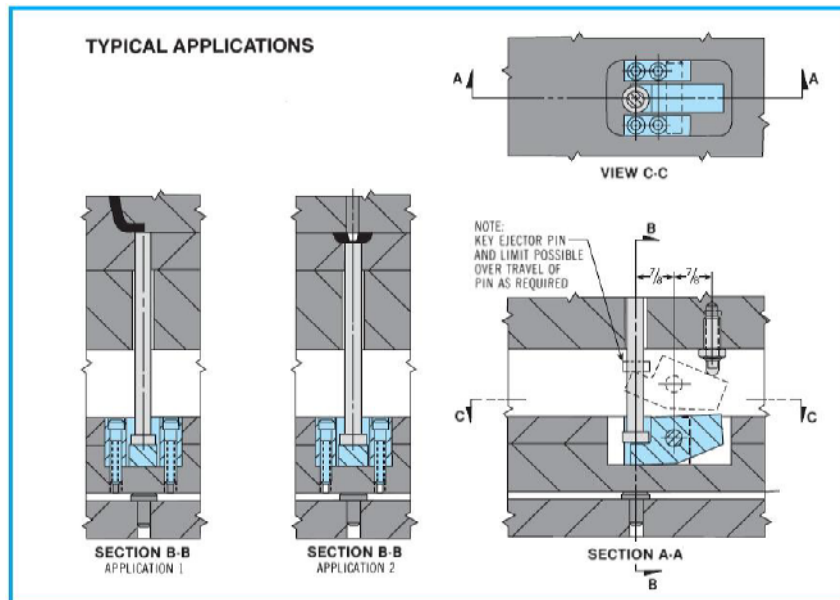


Şekil 5.62 Yaylı itici hızlandırıcı sistemi (<http://www.dme.net>).

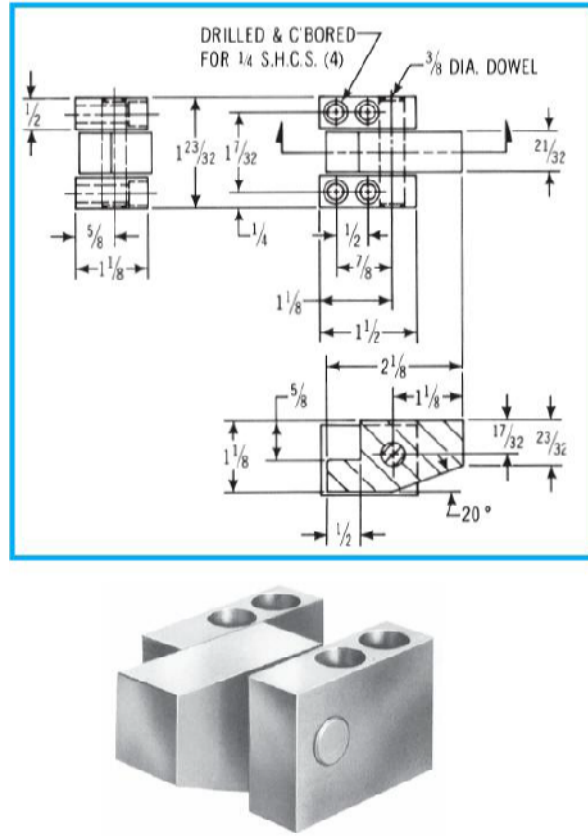


Şekil 5.63 Yaylı itici hızlandırıcı sistemi
(<http://www.dme.net>).

Şekil 5.64 ve 5.65 de itici pimleri hızlandırmak için kullanılan farklı bir tasarım görülmektedir. 9mm üzerindeki pimlerin hızlandırılmasında kullanılan bu sistem basit tasarımı sayesinde itici plakalarına şekilde gösterildiği gibi monte edilir. Tezgah çıkarıcı mili itici grubunu ileri doğru itmeye başladığında itici plakalarına civatalar yardımıyla monte edilmiş hızlandırma sistemi ve çıkarıcı grubuna ait tüm itici pimler aynı hızda parçayı itmeye başlar. Hızlandırma işlemi, hızlandırıcı sistemin kuvvet kolunun hızlandırıcı saplama ile temas etmesiyle başlar. Saplama, hızlandırıcı sistemin kuvvet koluna temas edip yük koluna yerleştirilmiş itici pimin hızlandırılmasını sağlar böylelikle parçalar basit bir şekilde kalıp dışına çıkarılabilir.



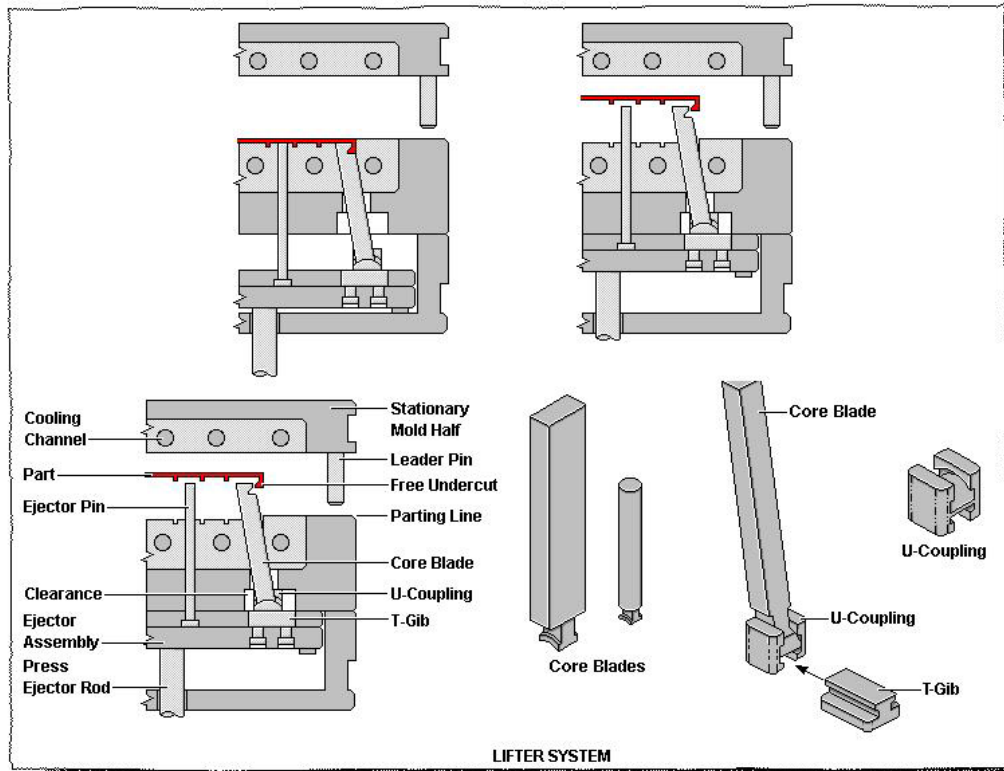
Şekil 5.64 Kaldıraç itici hızlandırıcı sistemi (<http://www.dme.net>).



Şekil 5.65 Kaldıraç itici hızlandırıcı sistemi
(<http://www.dme.net>).

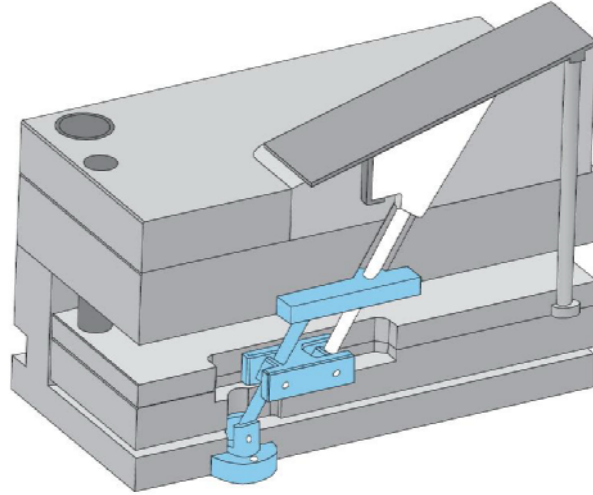
Şekil 5.66 ve şekil 5.67'de farklı tasarımlarda kaldırıcı sistemleri görülmektedir. Kompleks şekillere sahip parçaların geometrileri çoğunlukla kalıbın kapanması sırasında kalıp içerisinde belirlenen yerlere pozisyonlanan hareketli parçalar ile sağlanır. Parçanın geometrisine şekil veren bu parçalar erimiş malzemenin kalıp boşluğunda katılaşmasından sonra parçanın kalıptan çıkarılabilmesi için uygun pozisyonlara hareket ettirilmek zorundadırlar. Bu hareketli parçaların kalıplama ve kalıptan çıkarma sırasında uygun noktalara pozisyonlanması veya parça üzerinde istenilen geometrilerin direk olarak oluşturulmasında kullanılan tasarımlardan biri Şekil 5.66. Bu tasarım sadece tek bir eksende dönme serbestisine sahip küresel mafsala benzetilebilir. Bağlantının küre şeklinde yapılmasının nedeni itme ve çekme sırasında pimlin yaptığı açısal hareketlere otomatik olarak yataklama sağlamaktır. Küresel mafsallarda T kızaklar üzerinde hareket ettirilebildiği gibi sabit olarak da itici plakalarına monte edilebilir. Parçaya tırnak oluşturmada kullanılan Şekil 5.66'da

kullanılan tasarımda, itici milinin kalıp itici grubunu ileri itmesi ile ona civatalar yardımıyla monte edilen T şekilli kayma elemanı ileri itilir. T eleman üzerinde küresel mafsallın ayrılmadan kaymasını sağlayan elemandır. Pimin parça üzerindeki tırnak geometrisinden kurtulmasına yetecek genişlikte seçilir. İtme hareketi ile T eleman üzerindeki küresel mafsallı doğrusal olarak ileri itmeye çalışır fakat küresel mafsallı açılı bir delik içerisinde pimi itmek zorunda olduğu için hem T eleman üzerinde kayarak açılı olarak pimi ileri doğru itmektedir. İleri doğru itilen pim tırnaktan ayrılmakta ve aynı zamanda itici grubuna bağlı itici pimin yardımıyla parça üzerinden atılmaktadır.

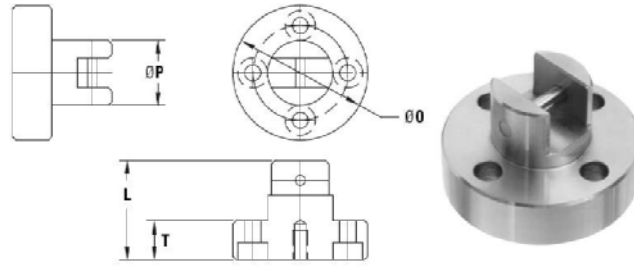


Şekil 5.66 Kaldırıcı sistemleri (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.67’de görülen ve altta içe doğru çıkıntısı bulunan parçanın kalıptan çıkarılmasında farklı bir kaldırma tasarımı kullanılmıştır. Bu tasarımda kullanılan kayma serbestisi bulunmayan ve sadece tek eksenli dönme serbestisi bulunan küresel mafsallı, hareketli mengene bağlama plakasına civatalar yardımıyla monte edilmiştir. Bu mafsallı Şekil 5.68’de görülmektedir.

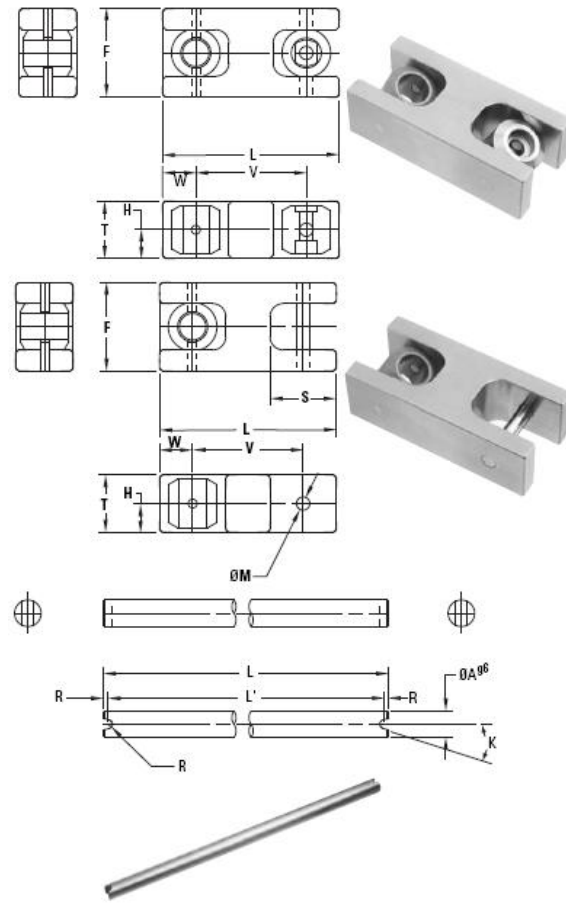


Şekil 5.67 Kaldırıcı sistemleri, (<http://www.dme.net>).



Şekil 5.68 Kaldırıcı sistemi elemanları
(<http://www.dme.net>).

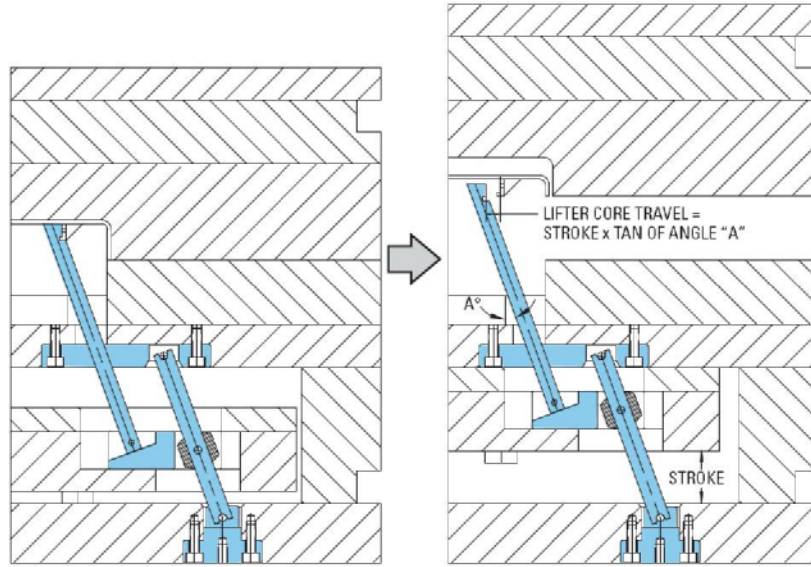
Sistemde iki adet pim kullanılmıştır. Beyaz renkli pimin bir ucuna parçanın ters girinti şeklini veren maça, diğer ucuna ise kayar mafsala monte edilmiştir. Mavi renkli pimin ise bir ucu hareketli mengene bağlama plakasına, diğer ucu ise maça destek plakasına sabitlenmiş beyaz pimin merkezlenmesinde görev yapan mafsala sabitlenmiştir. Şekil 5.69’da kayar mafsala, merkezleme mafsalı ve pimler görülmektedir.



Şekil 5.69 Kaldırıcı sistemi elemanları
(<http://www.dme.net>).

Enjeksiyon tezgahının itici mili, itici grubunu öne doğru itmesiyle başlayan çıkarma işlemi İtici plakaları içerisine açılan kanal içerisinde kayma hareketi yapan ve mavi pim tarafından kılavuzlanan kayar mafsallı iter. Kayar mafsallı kayma hareketiyle eş zamanlı olarak beyaz pimi itici yerleştirme plakası, maça destek plakasına temas edinceye dek kanal doğrultusunda ileri iter. Aynı zamanda itici plakasına bağlı olan diğer pimler parçayı maça ile eş zamanlı olarak ileri doğru itmektedir. Maça açılı bir kanal içerisinde ilerlediği için iki eksende hız vektörüne sahiptir. Bu nedenle kaldırma sisteminin parça ile temas eden kısmı iki eksende aynı anda hareket eder. Böylece yatayda yaptığı ilk hareket ile engelden kurtulmayı başarırken dikeydeki ikinci hareketi ile parçayı diğer itici pimlerle birlikte iterek kalıptan düşürmeye çalışır. Taşıyıcı silindirin yatayda yaptığı kayma mesafesi aşağıdaki şekilden daha açık olarak görüldüğü gibi itici grubun stroğu ile parçayı

şekillendirmek için kullanılan pimin dikeyle yaptığı açının tanjantının çarpımına eşittir.



Şekil 5.70 Kaldırıcı sistemin yatay hareket miktarının hesaplanması (<http://www.dme.net>).

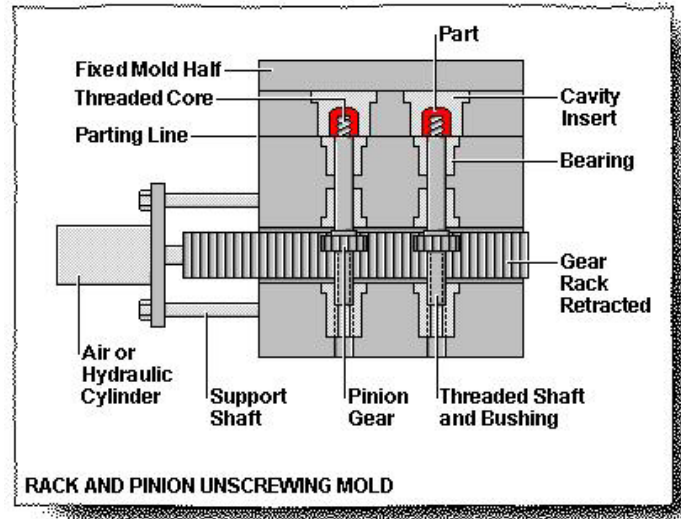
Şekil 5.71’de görülen tasarımda parça yan yüzeyinde oyuk, boşluk veya çeşitli geometriler oluşturmak için kullanılan maça sistemi görülmektedir.



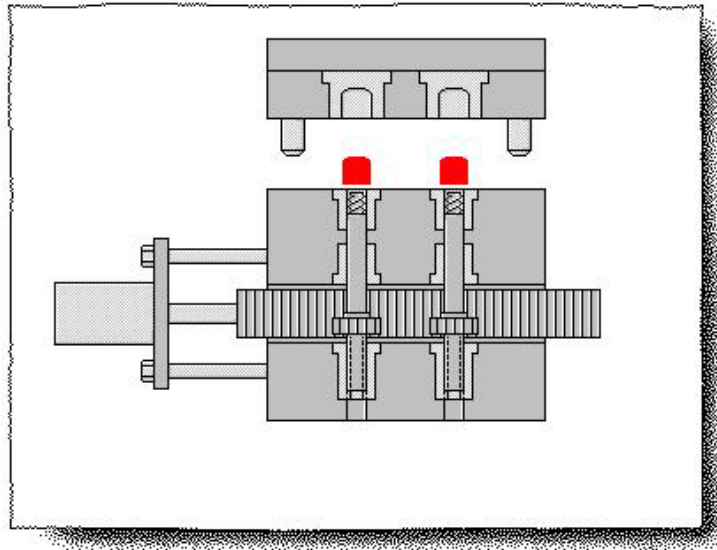
Şekil 5.71 Açılı pim sistemi ile maçaların hareketlendirilmesi (<http://www.dme.net>).

Şekil 5.72 ve Şekil 5.73’de iç kısmında vida deliği bulunan parçaların üretilmesi ve çıkarılmasında kullanılan bir tasarım görülmektedir. Bu tasarımda vida profili

kendi eksenini etrafında dönme ve kalıp açılma ekseninde kayma serbestisi bulunan maçalar tarafından verilmektedir. Vida profilini veren maçalar dolayısıyla hem şekil vermek hem de kalıplanan parçanın kalıptan atılmasında görevlidir. Maçalara dönme hareketi çalışma zamanı ayarlanabilen hidrolik veya pnömatik ünitenin silindrine bağlı kremayer dişli tarafından verilmektedir. Kremayer dişli hidrolik ünitesi tarafından tahrik edildiğinde, kremayer dişli ile temas halinde bulunan pinyon dişlileri ve bu dişlilere bağlı olan maçaları döndürmektedir. Maçalar dönme hareketi nedeniyle ayrılabilen rulman kavuzluğunda arka tarafına açılmış vida dişleri nedeniyle geriye delik içerisine çekilirler. Kremayer dişli stroğunu tamamladığında kalıplanan parçalar tamamen kalıptan atılmış olurlar.

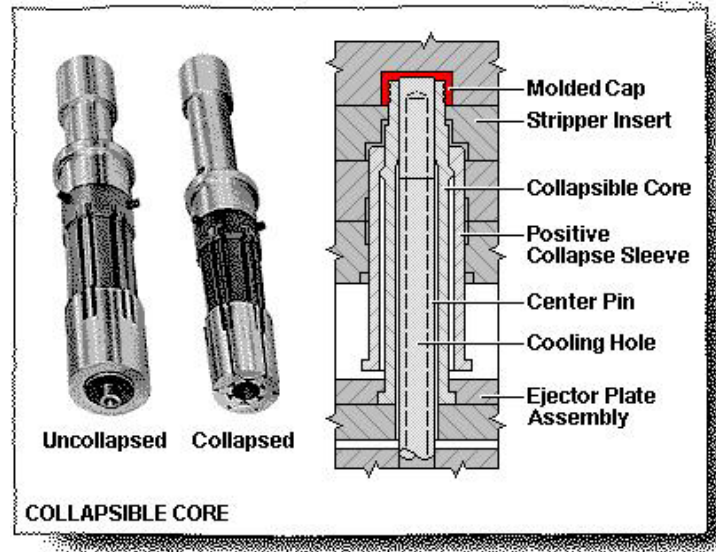


Şekil 5.72 İçten vidalı parçaların kramayer dişli yardımıyla kalıptan çıkarılması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).



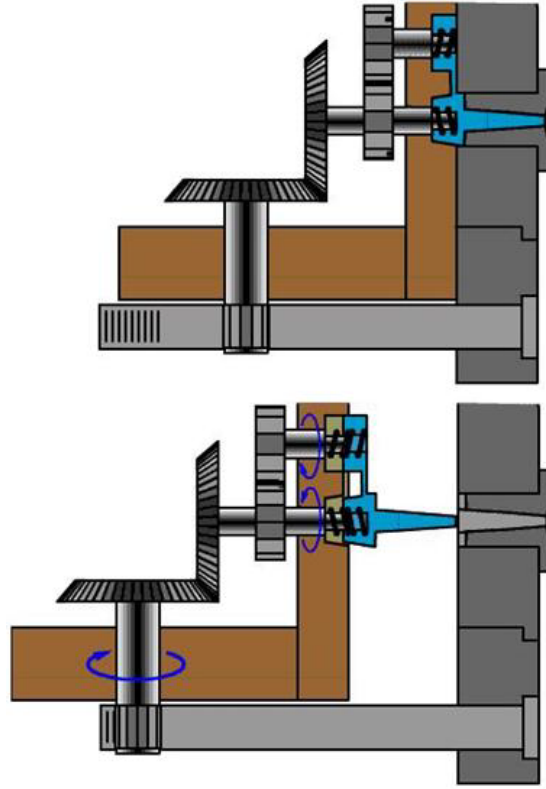
Şekil 5.73 İçten vidalı parçaların kramayer dişli yardımıyla kalıptan çıkarılması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.74’de açılıp kapanabilen standart maça ile parça içerisine diş formu veren kalıp tasarımı görülmektedir. Kalıplama işlemi tamamlandığında hareketli kalıp yarımı açılma stroğunu tamamlayınca kadar geri çekilir. Hareketli mengene yarımının geri çekilmesi sırasında tezgah çıkarıcı mili itici grubunu iter. İtici grubu sıyrıcı plaka, büzülebilir maça ve parçayı hep birlikte ileri iter. İtilme sırasındaki ileri doğru yapılan hareket büzülebilir maça merkezindeki pimin diş formu veren ucundan çekilmesini sağlar. Böylece parça içerisinde büzülen maça diş formundan kurtulur ve itici plakaya bağlı olan ve sıkışmış durumda bulunan gazlı yaylar sıyrıcı plakayı iterek kalıplanan parçaları çıkarır.



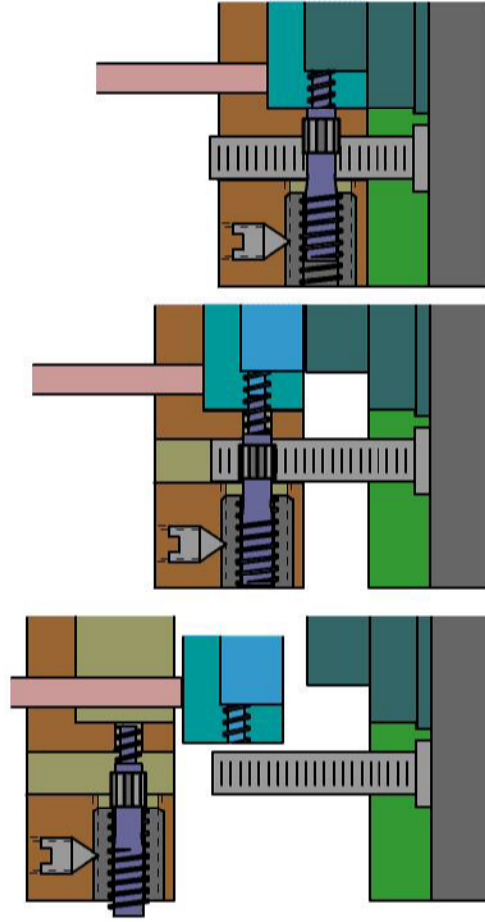
Şekil 5.74 Açılıp kapanabilen tasarımlar ile içten vida geometrisi oluşturma ve bu parçaların çıkarılması (<http://www.dmeuniversity.net/english/default.cfm>).

Şekil 5.75 da içi vidalı parçaların kalıplanması ve çıkarılmasında kullanılan farklı bir tasarım görülmektedir. Bu tasarımda kremayer dişlinin tahrik edilmesi için hidrolik sistemine gerek kalmamıştır. Enjeksiyon işlemi sonrası kalıp yarımları açılmaya başladığında erkek kalıp yarımı üzerine şekildeki gibi yataklanan konik dişli çark pinyonu, dişi kalıp yarımı üzerine monte edilen kremayer dişli tarafından tahrik edilir. Konik dişli dönme hareketini eş çalıştığı maça konik dişli çarkına ve dolaylı olarak üzerindeki alın dişliye ve onun eşlerine iletir. Maçalar sadece dönme hareketi yaparak içinde bulundukları parçaları helis açısı yardımıyla ileri iterek kalıptan atılmalarını sağlarlar. Görüldüğü gibi kalıbın ayrılması sırasında yapılan doğrusal hareket maçalara dönme hareketi olarak dışarıdan ek donanımına ihtiyaç duyulmadan aktarılmıştır. Bu tasarım tek gözlü kalıplara uygulanacaksa ürün tasarımı aşamasında, parçanın maça ile beraber dönmesini engelleyecek bir çıkıntının parça yüzeyine oluşturulması unutulmamalıdır.



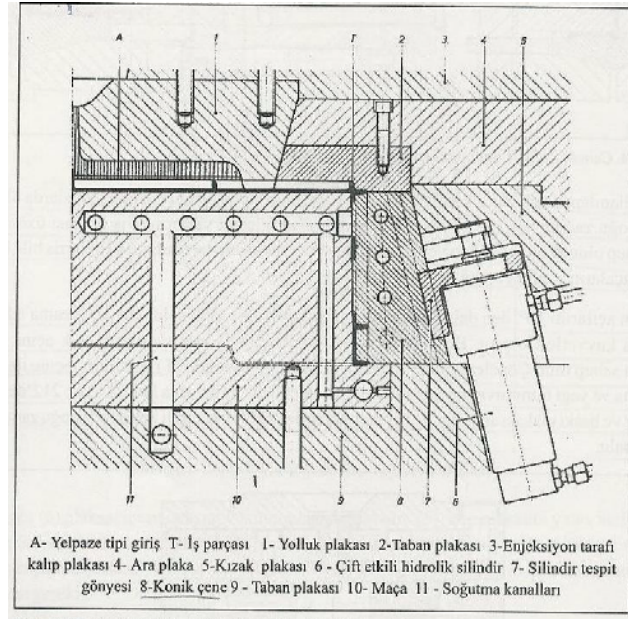
Şekil 5.75 Konik dişli düzeneği ile içten vidalı parçaların çıkarılması (http://club.china.alibaba.com/club/post/view/151_4901714.html).

Şekil 5.76'daki tasarımda parçanın yan tarafına vida dişi oluşturmakta kullanılan bir tasarım görülmektedir. Kalıp yarımalarının açılması ile birlikte dişi kalıp yarımına bağlı olan kremayer dişli, erkek kalıp içerisine monte edilmiş pinyonu tahrik eder. Pinyon üzerinde vida dişi bulunan ve burç içerisine bu dişler vasıtasıyla ileri geri hareket edebilen bir mil (maça) üzerine açılmıştır. Aynı zamanda bu milin öbür ucu kalıp çekirdeğine basarak üzerindeki vida profilini enjeksiyon safhasında plastik parçaya vermektedir. Pinyon dişlinin kremayer tarafından tahrik edilmesi tamamlandığında parça içerisindeki mil tamamen parça içerisinden çıkmıştır. Bu noktada itici miller parçayı iterek kalıptan çıkarır.

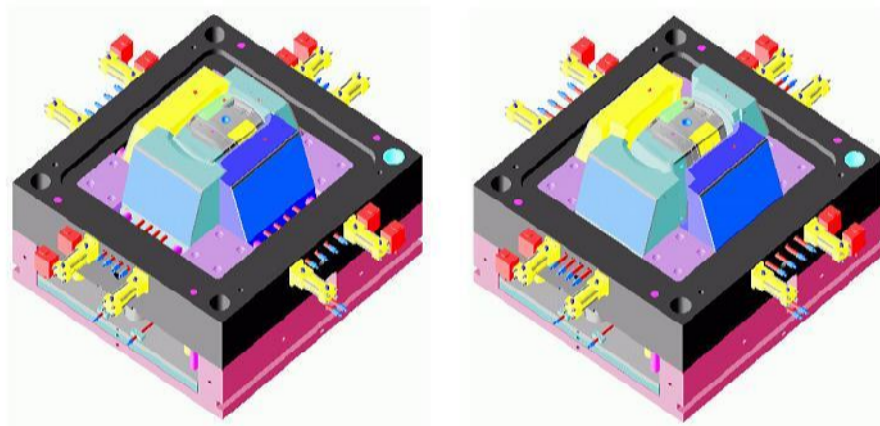


Şekil 5.76 Yandan dişli tasarımların kramayer dişli kullanılarak kalıptan çıkarılması(http://club.china.alibaba.com/club/post/view/151_4901714.html).

Şekil 5.77 ve şekil 5.78’de kalıplanan parçaların kalıp içerisinden çıkarılabilmesi için kullanılan hidrolik maça çekme sistemi görülmektedir. Maçaları pozisyonlama kalıp çevresindeki sarı ile görülen hidrolik üniteler tarafından yapılmaktadır.



Şekil 5.77 Higrolik sistemler ile maçaların hareket ettirilmesi (Güneş, 2005).

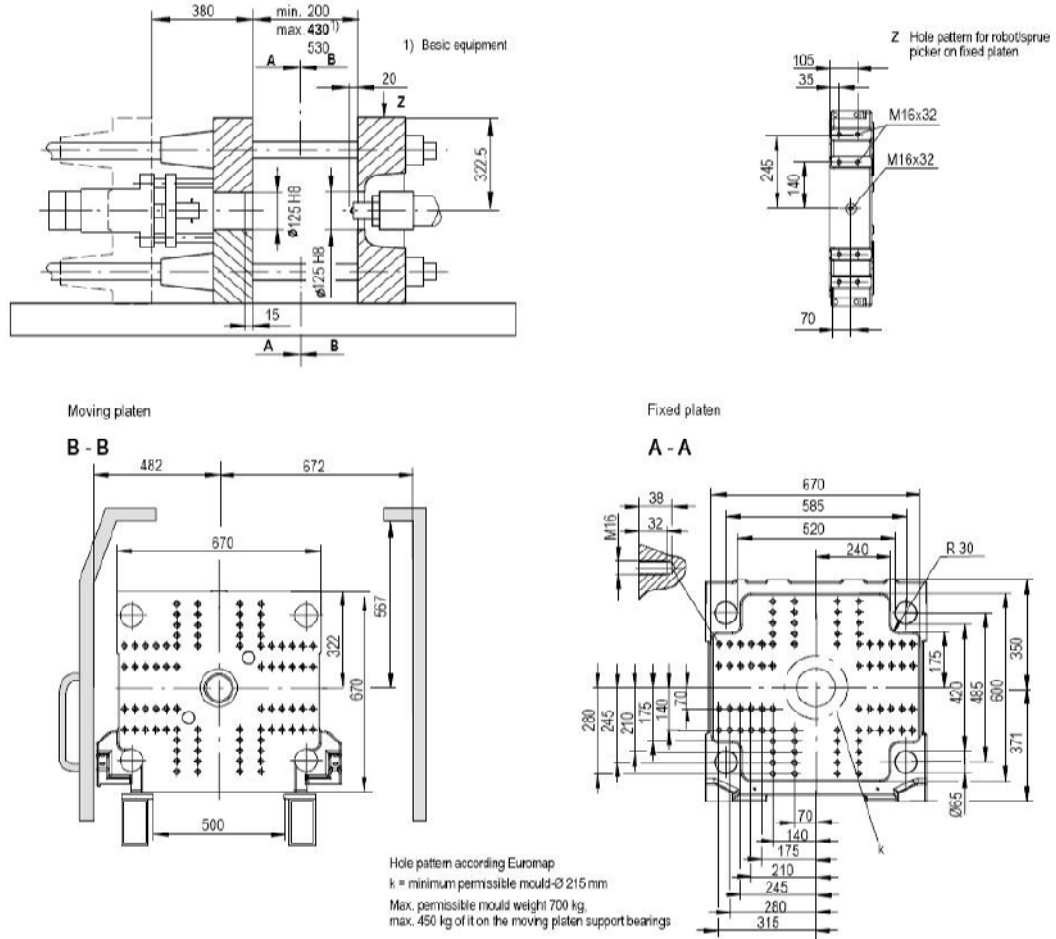


Şekil 5.78 Hidrolik sistemler ile maçaların hareket ettirilmesi (http://www.parallel design.com/moldability_101/slides-a.htm).

5.2.8 Kalıpların Hizalanması (Merkezlenmesi)

Merkezlenmeyen veya hatalı merkezlenen kalıplarda kapanma sırasında, dik kalıp ayırım çizgilerinde darbeli kapanma, parçada çapak oluşumu, parça cidar kalınlıklarında istenilen ölçülerden sapma ve sıkıştırma safhasının verimsiz bir biçimde gerçekleşmesi meydana gelebilir. Tezgâh hareketli ve sabit kalıp bağlama

plakalarının merkezlenmesi, plakalar içerisinden geçen kılavuz miller vasıtasıyla yapılmaktadır.



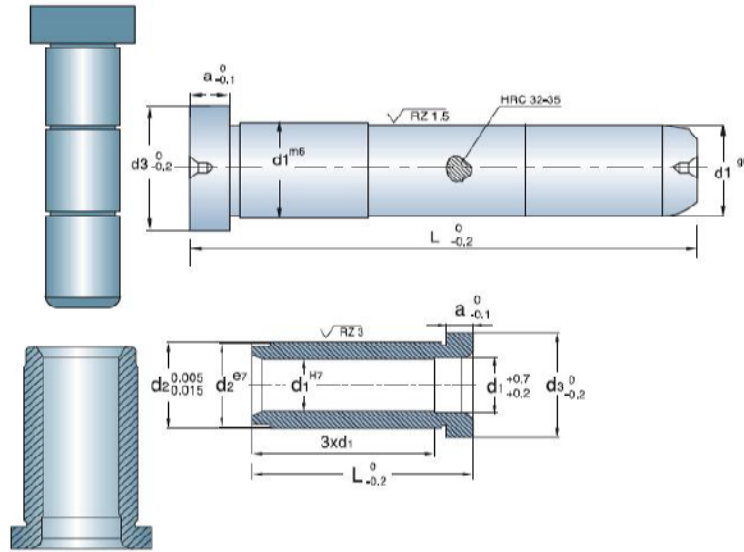
Şekil 5.79 Mengene plakalarının ve kılavuz milleri.

Kalıp erkek ve dişi plakaları bu plakalara bağlandığı için otomatik olarak plaka ve delikler arasındaki toleranslar içerisinde merkezlemiş olurlar, fakat hassas parçaların kalıplanmasında bu toleranslar yeterli olmayabilir. Bu nedenle erkek ve dişi kalıp yarımlarının merkezlenmesi için çok çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Metodun seçiminde etkili olan faktörler kalıplanan parçanın şekli, toleransı ve hatta kalıp ömrü ile bağlantılı olan üretim miktarıdır. Bu faktörlerin etkisinde merkezleme ile ilgili üç durum söz konusu olabilir;

1) Kalıp içerisinde merkezleme ile ilgili herhangi bir girişimin yapılmayan durum. Bu durum sadece erkek kalıp yarım içerisine açılan boşlukta kalıplanıp diğer kalıp

yarımına herhangi bir profilin verilmediği düz parçaların şekillendirildiği kalıp tasarımlarında kullanılır. Bu parçalara örnek olarak yer döşemelerinde kullanılan parçalar veya cetvel gibi düz parçalar verilebilir.

2) Merkezleme pimleri (kolon pimleri) ve burçları ile yapılan merkezleme;



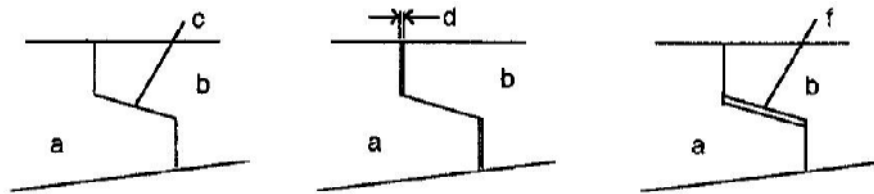
Şekil 5.80 Kolon pimi ve burcu.

Kolon pimleri ile yapılan merkezleme, erkek ve dişi kalıp yarımlarının merkezlenmesinde kullanılan en genel yöntemdir. Kolon pimlerinin kullanılış amacı, kalıp yarımlarının kalıp bağlama plakalarına bağlanmadan önce kendi aralarında tam olarak merkezlenmesini sağlamaktır. Kalıplar üretim başlangıcında kren yardımıyla enjeksiyon tezgahına taşınırlar. Enjeksiyon tezgâhı kılavuz milleri arasından geçirilen kalıp, yolluk burcu sabit mengene plakasındaki deliğe oturtularak diğer taraftan hareketli mengene tarafından sıkıştırılır. Daha sonra bağlama elemanları yardımıyla hareketli ve sabit mengene plakalarına kalıp dişi ve erkek yarımları montajı yapılır. Görüldüğü gibi kalıplar kapalı iken monte edildikleri için merkezleme görevi kolon pimleri liderliğinde yapılmıştır. Şekil 5.81 de kolon pimi ve eş çalıştığı kolon burcu görülmektedir. Pim ve burcun eş çalışan çaplarının toleranslarına bakıldığında iki elemanın boşluklu geçme durumunda çalıştığı görülmektedir. Elemanlar arasındaki maksimum boşluk 0.035mm ve minimum boşluk 0.006mm dir. Kolon pimlerinin ölçüleri kullanılan kalıp boyutları ile

belirlenmekle birlikte ortalama büyüklükteki kalıplar için 0,75-1,5inç arası büyük kalıplar için 3inç'ten büyük değerler almaktadır. Kolon pimlerinin boyu yaklaşık olarak, bağlandığı ve içerisine girdiği plaka kalınlıklarının toplamı ile belirlenir. Burç ölçüleri içerisine giren pimin ölçüleri ile belirlenir. Burcun uzunluğunun ise iç çapının ölçüsünün 1,5 ila 3 katı arasında olması tavsiye edilmektedir (Bryce, 98). Kolon pimleri ve burçları çelik malzemeden imal edilirler ve kalıbın açılıp kapanması sırasında aşınmaya karşı direnci artırmak için 60-62Rc sertlik değerlerine kadar sertleştirilirler. Hareket sırasında ayrıca sürtünmeyi engellemek için molibdendisülfür gres kullanılır. Kolon pimleri üzerindeki kanallar içerisinde muhafaza edilen gres her açılıp kapanmada burç ve pimi otomatik olarak yağlar. Genellikle kalıplarda dört adet merkezleme pimi kullanılır. Bazı tasarımcılar bu pimlerden bir tanesini simetriyi bozacak şekilde kalıba yerleştirir. Böylece kalıp dişi ve erkek yarımlarının birbirleri üzerine hatayla ters olarak monte edilmesi önlenir.

Kolon pimlerinin merkezleme yanında diğer bir önemli görevi ise kalıbın taşınması sırasında ve elle açılıp kapanması sırasında erkek kalıp yüzeyi ve dişi kalıp yüzeyinin birbirine çarparak fiziki hasar vermesini engellemektir.

3) Kalıp ayırım yüzeyi üzerindeki erkek ve dişi kalıp yarımlarında bulunan açılı yüzey vasıtasıyla merkezleme;

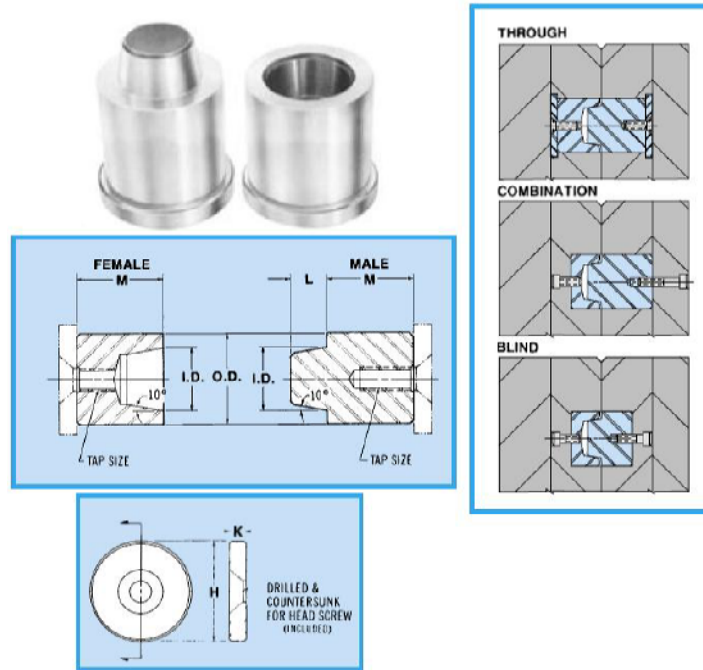


Şekil 5.81 Kalıp sabit(b) ve hareketli(a) plaklarda oluşturulan açılı yüzeyler yardımıyla merkezleme, soldaki şekil ideal merkezleme, ortadaki şekil doğru merkezleme, sağdaki şekil yanlış merkezleme (http://www.plasticmoldmakingdata.com/PDF_files/Mold%20Comstruction%20Basics%20Part%201.pdf).

Şekil 5.81'de açılı bir yüzey ile merkezleme yapılırken imalat toleransları nedeniyle meydana gelebilecek üç farklı durum görülmektedir. Buradaki a kalıp

erkek plakasını, b kalıp dişi plakasını c eğim açısını, d kalıp erkek ve dişi plakası arasında kalan boşluğu, f ise açı verilmiş yüzeyler arasında kalan boşluğu göstermektedir. İlk şekilde görülen yüzey uyumunu sağlamak imalat toleransları nedeniyle mümkün olmayabilir veya çok zor olabilir. Bu nedenle emniyet tedbiri olarak başlangıçta erkek çıkıntı dişiye göre daha büyük imal edilir ve dişi parça açılı yüzeyi, kalıp ayırım yüzeyleri şekil a'daki gibi öpüşünceye dek aşama aşama alıştırılır. Bu işlem kalıp yarımları için kolon pimleri ile yapılan merkezlemeden daha hassas merkezleme sağlamakla birlikte daha fazla zaman ve emek harcanmasına neden olur. Kilitleme için verilen açı 5-20° arasında verilebilir. Daha küçük açılarda meydana gelen sürtünme artışı nedeniyle açılma ve ayrılma sırasında sorunlar yaşanabilirken daha büyük açılar kapama için çok daha fazla kuvvet harcanmasına neden olmaktadır. Eğer tezgah kilitleme kuvveti yetersiz kalırsa kalıp ayırım çizgisinde çapak oluşumu gözlemlenecektir.

Kalıp ayırım çizgisi üzerinde açılı yüzeylerle yapılan bir diğer kilitleme tekniği ise konik kilitleme standart elemanı kullanarak yapılan kilitlemedir. Bunlardan ilki Şekil 5.82'de görülmektedir.

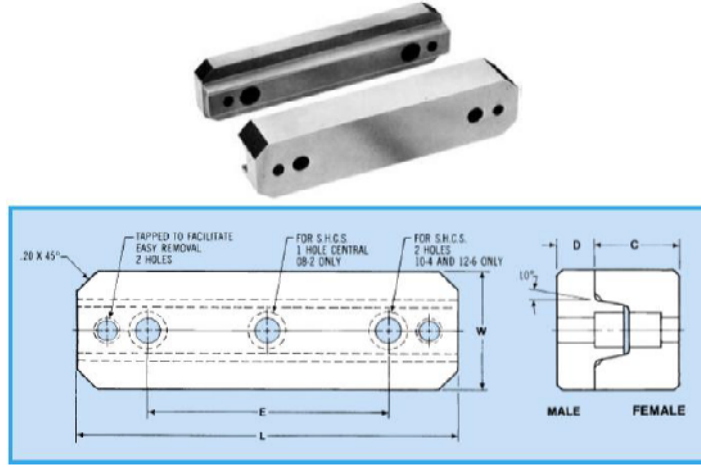


Şekil 5.82 Konik kilitleme elemanları ile yapılan merkezleme (<http://www.dme.net/>).

Bu yöntemde karşılıklı iki plaka birbirine kalıp ayırım yüzeylerine yerleştirilen standart elemanların sahip olduğu açılı yüzeyler vasıtasıyla merkezlenir. Bu yöntem kalıp ayırım yüzeylerini imalat yöntemleri ile şekillendirip, alıştırarak merkezleme işleminden hem daha kısa süren, hem daha kolay, hem de daha ucuz bir yöntemdir. Standart eleman olarak alınan konik kilitleme elemanı dişi ve erkek elemanlar ve bunların bağlama elemanlarından oluşur. Montaj için yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi üç farklı yöntem kullanılabilir. Genellikle küçük kalıplarda küçük konik kilitlemeler, Büyük kalıplarda büyük konik kilitlemeler kullanılmaktadır. Küçük kalıplarda konik kilitleme sistemlerinden en az 2 adet orta büyüklükteki kalıplar için 4 ve büyük kalıplar için 6 ve daha fazla konik kilitleme elemanı kullanılması tavsiye edilmektedir. Başarılı bir uygulama için konik kilitleme elemanlarının yerleştirileceği delikler plakalara eş merkezli olarak hassas bir şekilde delinmelidir. Bunun için kilitleme deliklerinin yerleştirileceği plakaların birbirine monte edilmiş halde ve ikisinin birden aynı anda boydan boya patlatılarak delinmesi tavsiye edilmektedir. Bu uygulama Şekil 5.82'deki ilk montajda görülmektedir. Konik kilitleri eş eksenli monte etmenin en ideal yolu budur. Eğer iki plaka aynı anda boydan boya delinemeyecekse en azından plakalardan birinin boydan boya delinebileceği ikinci montaj şekli seçilmelidir. Eş merkezli konik kilitleme için en zor montaj üçüncü şekilde görülen montajdır. İki yerleştirme deliğinin eş eksende delinmesi dikkat gerektirir.

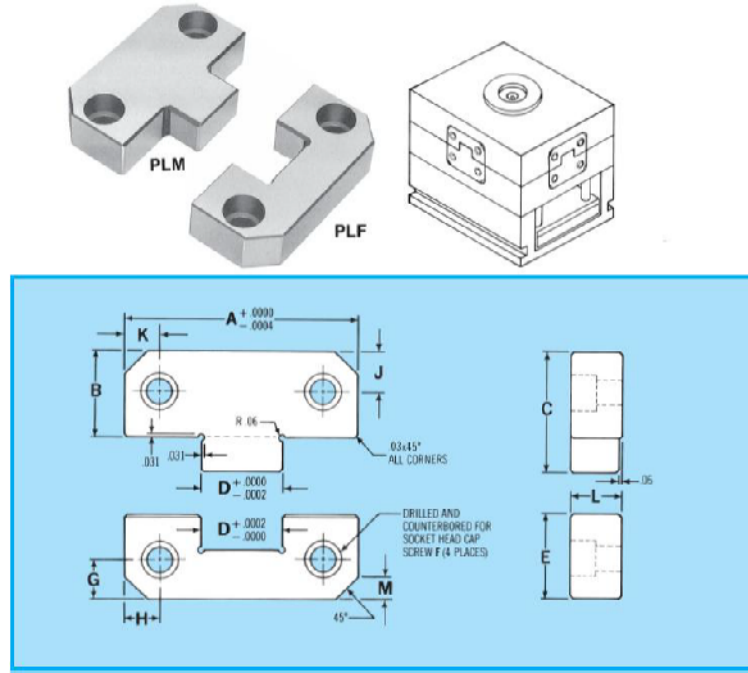
Kalıp ayırım çizgisi üzerinde açılı yüzeylerle yapılan bir diğer kilitleme tekniği ise dikdörtgen konik kilitlerle yapılan kilitleme yöntemidir. Bu yöntem yukarıda anlatılan kilitleme yönteminde olduğu gibi karşılıklı yerleştirilen erkek ve dişi kilitleme elemanı açılı yüzeylerinin teması ile sağlanır. Dikdörtgen kilit elemanlarının yerleştirileceği karşılıklı kalıp yüzeylerinde açılan cepler birbirleri ile hizalı bir şekilde kalıp yüzeylerine açılmalıdır. Açılan ceplerin genişliği kilit elemanlarının hassas olarak merkezleme görevinde büyük öneme sahiptir. Dikdörtgen kilitlerin uzunlukları arttıkça merkezleme işlemindeki başarı artmaktadır. Kilitler birbirlerine paralel veya dik pozisyonda kalıp plakalarına bağlanabilirler.

Aynı doğru üzerine birden fazla dikdörtgen kilit konulabildiği gibi konik kilitlemeler birbirine dik pozisyonda da yerleştirilebilir.



Şekil 5.83 Dikdörtgen konik kilitler (<http://www.dme.net/>).

Şekil 5.84’de kalıp yan yüzeyine açılan ceplere yerleştirilen kenar kilit elemanları ile yapılan merkezleme görülmektedir. Bu merkezleme elamanları ile kolon pimleri ve konik kilitleme yapan elemanlardan çok daha hassas merkezleme yapılabilmektedir. Termal genleşmelerden etkilenmeyi minimuma indirmek için kalıp yan yüzeyine açılan cepler kenar çizgilerinin tam ortasına açılır ve merkezleme elemanları bu ceplere monte edilir. Aşağıdaki resimde kenar merkezleme elemanları görülmektedir.

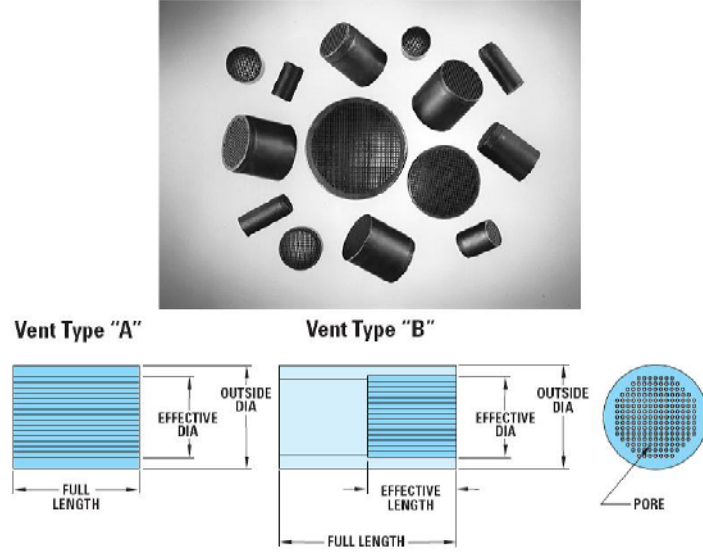


Şekil 5.84 Kenar kilit sistemi ile kalıp plakalarının merkezlenmesi (<http://www.dme.net>).

5.2.9 Kalıpların havalandırılma sistemleri

Kalıp içerisinde kullanılan havalandırmaların kullanılma nedeni enjeksiyon işlemi sırasında yolluk ve kalıp boşlukları içerisindeki havanın plastik malzemenin enjekte edilmesi sırasında eş zamanlı olarak tahliye edilmesini sağlamaktır. Havalandırma işleminin yetersiz yapılması enjeksiyon işlemi sırasında akışkan ön yüzünde sürüklenen havanın kalıp yüzeyleri ve plastik malzeme arasında sıkıştırılmasına neden olur. Sıkışma anında enjeksiyon basıncı sıkıştırılan havanın basıncını yenemez ise kalıp boşluğu tam olarak doldurulamaz veya malzeme içerisinde gözenek şeklinde boşluklar kalır, bu basıncı yenerek kalıbı doldurmak için enjeksiyon basıncını artırmak gerekir. Basınçta meydana gelen yüksek artış sıkıştırılan havanın hacminin küçülmesine aynı anda sıcaklığının aşırı miktarda yükselmesine neden olur. Sıcaklıkta meydana gelen aşırı artış hava içerisindeki oksijenin yanmasına, oksijenin yanması malzeme yüzeyinde yanarak kömürleşen bölgelerin oluşmasına neden olur. Ayrıca malzeme üzerinde meydana getirilen yüksek basınç malzeme içerisinde yüksek miktarda artık gerilmelerin oluşmasına neden olur. Şekil 5.88’de

kalıpların havalandırılmasında kullanılan standart havalandırma elemanı görülmektedir.



Şekil 5.88 Toz metalurjisi ile üretilmiş havalandırma elemanları (<http://www.dme.net>).

BÖLÜM ALTI

BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP TASARIMI

Kalıp tasarımı da diğer endüstri dallarında olduğu gibi bilgisayar teknolojisinin gelişmesine hızla adapte olarak ona paralel bir gelişme göstermiştir. Kalıp tasarımı başlangıçta elle yapılan teknik resimlerle gerçekleştirilirken, günümüzde tasarım işlemi için kalıp tasarımı üzerinde özelleşmiş yazılımlar kullanılmaktadır. Her geçen gün artan rekabet koşulları ve tasarım sürecini ürün kalitesini optimum koşullarda tutarak mümkün olan en kısa zamana indirme çalışmaları bu tip yazılımlara olan talebi giderek artırmaktadır.

Günümüzde bilgisayar destekli tasarım için kullanıcıya oldukça geniş bir seçim imkânı sunulmaktadır. Bu ticari yazılımlar birbirleriyle kıyaslandığında çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptirler bunlara örnek olarak, programda kullanılan modelleme yöntemi, satış sonrası destek ve yardım, fiyat örnek olarak verilebilir. Seçim işlemi bu ve diğer faktörlerin tespit edilip aynı anda değerlendirilerek optimum çözümü ile gerçekleştirilmelidir.

Bilgisayar destekli tasarım iki boyutlu modelleme tekniği ile başlamıştır. Gerek bilgisayarlar donanımlarının o dönemlerde yeterince gelişmiş olmaması, gerekse elle tasarım yapılan zamanlardan kalma bir mantık tasarım işlemlerinin bilgisayarlarda iki boyutlu başlamasına neden olmuştur. Bu programlarda güdülen temel mantık teknik resimleri elle çizmek yerine bilgisayarda çizmektir. İki boyutlu tasarım programları tasarımcılar tarafından ilk kullanıldığı yıllarda devrim niteliğinde bir etki yaratmış, tasarım sürecinde büyük bir zaman tasarrufu sağlamıştır. İki boyutlu tasarım her ne kadar zaman yönetimine katkıda bulunsada, tasarım metotları açısından düşünüldüğünde tasarım metotlarında büyük bir etki oluşturmamıştır.

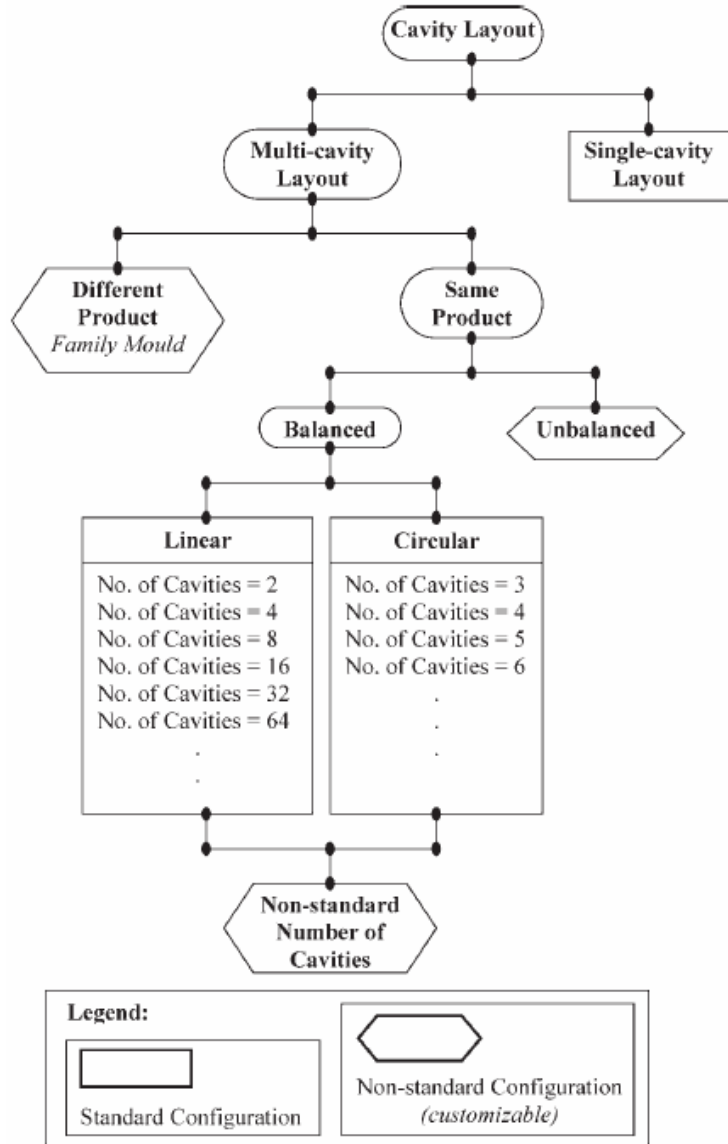
Tasarım metotlarında meydana gelen köklü gelişmeler üç boyutlu tasarım programlarının kullanılmasıyla başlamıştır. Üç boyutlu tasarım programları, iki boyutlu tasarım programlarının aksine direk olarak üç boyutlu tasarımla başlamakta,

iki boyutlu teknik resimler tasarım sonunda herhangi bir ilave tasarım işlemi yapılmadan kullanıcıya hazır olarak sunulan ürünler haline gelmektedir. Üç boyutlu tasarım programlarının gelişimi ile sadece teknik personel değil işletme bünyesindeki tüm çalışanlar modeli görsel olarak anlayabilmiş ve ihtiyaç duyduğunda model üzerinde kendi düşüncelerini ve tavsiyelerini belirtebilir hale gelmiştir. Üç boyutlu tasarım programlarının endüstriye hızla yayılması beraberinde bu programlarda kullanılan modelleme tekniklerinin gelişmesini sağlamış ve farklı modelleme tekniklerine sahip tasarım programlarının meydana gelmesine sebep olmuştur. Üç boyutlu tasarım programları başlangıçta her bir kalıp elemanının teker teker çizilip montajında kullanılırken günümüzde kalıp tasarımı için özelleşmiş programlar kullanılmaktadır. Tüm parçaların bilgisayar ortamında çizilip montajının yapıldığı klasik bilgisayar destekli kalıp tasarımı işleminde kalıp tasarımının tamamı tasarımcıya odaklıdır. Tasarımcı bölüm beşte anlatılan bilgileri yaratıcı gücüyle birleştirerek ortaya bir ürün çıkartır. Bu bir dezavantajdır. Özellikle vardiyalı işletmelerde tasarım işleminin tek vardiyada bitirilememesi kalan tasarım işlemlerinin bir sonraki tasarımcı tarafından tamamlanmasını gerektirmektedir. Bu arada meydana gelen kopukluk, kişisel deneyimler ve yaklaşım farklılıkları tasarımı etkileyecek hatta tasarımcılar arasındaki görüş ayrılıkları detaylı tasarım aşamasında değişikliklere neden olabilecektir. Bu zaman yönetimini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür.

Klasik bilgisayar destekli kalıp tasarımı esnasında tasarımcı kalıp tasarımını etkileyen tüm parametreleri ve etkileşimlerini aynı anda düşünerek optimum kararı almalıdır (Hermaste, Sutt ve Küttner, 2005). Bu gerçekten zor bir karardır. Bu nedenle tasarımcının üzerindeki yükü hafifletmek ve tasarım aşamasının ilk adımlarında isabetli kararlar alınmasını kolaylaştırmak için kalıp tasarımına özel bilgi tabanlı tasarım programları geliştirilmektedir. Mok, Chin ve Ho (2001), bilgi tabanlı sistemi, çözümü uzmanlık gerektirecek kadar zor olan problemlerin çözümünde öğrenme ve sonuç çıkarma prosedürlerini kullanan akıllı bilgisayar programları olarak tanımlamıştır. Hermaste ve diğer. (2005), enjeksiyon kalıp tasarımı ile ilgili bilgi tabanlı kalıp programlarına ait şu örnekleri vermiştir: IMPART Enjeksiyonla kalıplanacak parça tasarımı için yol gösterici program, IMES

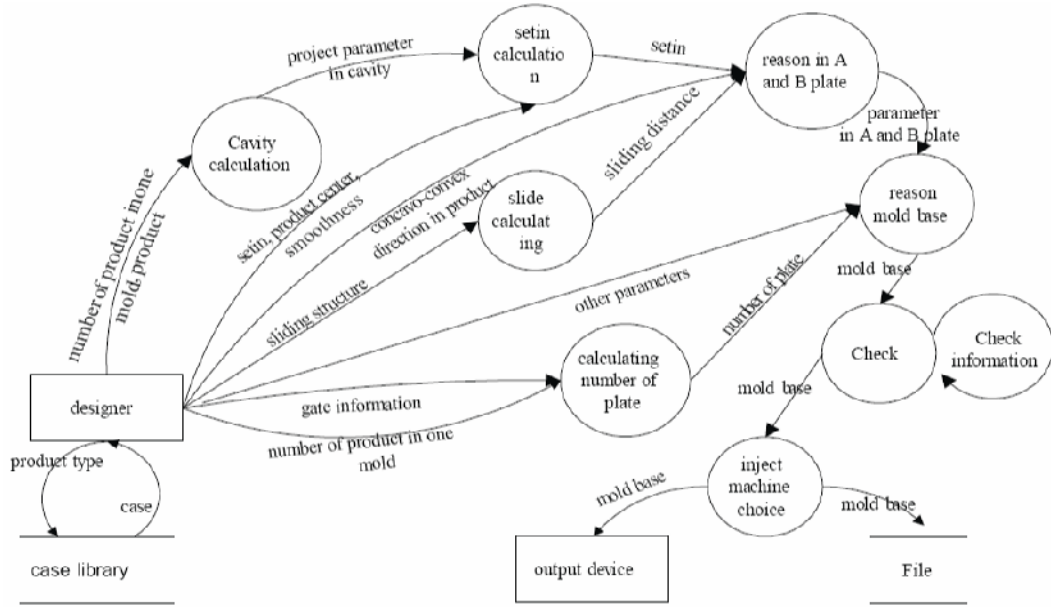
Enjeksiyonla kalıplama sonrası oluşan problemlerin çözümü için kullanılan program, DTMOULD-1 enjeksiyon kalıp ücretlendirilmesinde kullanılan bilgi tabanlı program, MOULDX ve EIMPLAN-1 parça tasarımlarının kalıplanabilirliği ve tasarlanmış parçaların ön tasarım aşamasında geliştirilmesini sağlayan program, ICAD Drexel üniversitesi tarafından enjeksiyon kalıp tasarımı için geliştirilmiş bilgi tabanlı program. Low ve Lee (2004), tüm kalıp sistemine entegre edebilmek amacıyla yıllardır kalıp tasarımı işleminin belirli alanlarında bilgisayar destekli tasarım araştırma çalışmalarının yapıldığını ve günümüzde bu çalışmaların sonucu olarak kalıp tasarımı işlemi için ticari olarak satın alınabilecek IMOLD, ESMOLD, IKMOULD gibi programların geliştirildiğini belirtmiş, fakat bu yazılım paketlerinin itme, soğutma, kalıp çekirdeklerinin oluşturulması gibi detaylı kalıp tasarımının oluşturulmasına yardımcı olduğunu belirtilmiştir.

Low ve Lee (2003), kalıp tasarım sürecinin kısaltılmasında, her kalıp tasarımında ortak olan adımların standardizasyonunun etkili olacağını ve enjeksiyon kalıp tasarımı sürecinin adımlarından biri olan kalıp boşluklarının yerleşim planının geometrik parametreler yardımıyla standart bir şablon içerisinde tasarımının metodolojisini açıklamıştır (Şekil 6.1).

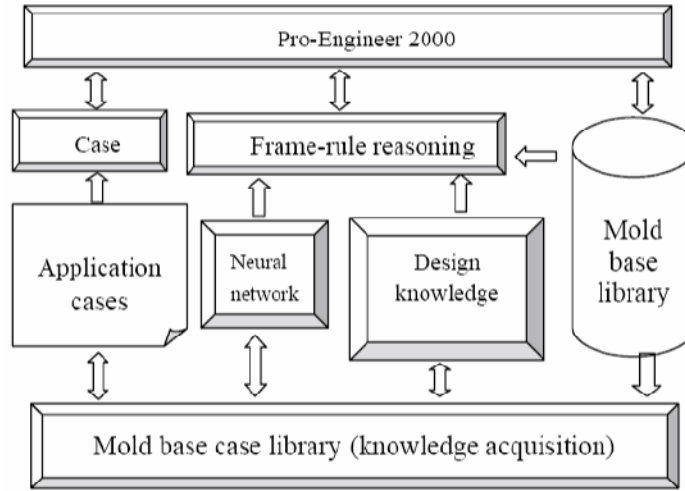


Şekil 6.1 Kalıp boşlukları yerleşim planının standardizasyon prosedürü (Low ve Lee, 2003).

Lou, Jiang ve Ruan (2004), kalıp seti tasarımı için bilgi tabanlı entegre bir sistemin kalıp tasarım sürecinin verimini artıracaklarını ve tasarım sürecini azaltacaklarını savunmuş ve yeni bir tasarım prosedürü oluşturmuştur. Lou ve diğer., (2004), tarafından kalıp seti tasarımı için oluşturulan akış diyagramı Şekil 6.2’de görülmektedir. Bu işlem tamamlandığında başarılı kalıp seti tasarımları örnek olay (vaka) kütüphanesinde depolanmaktadır ve daha sonraki tasarımlarda depolanılan bu bilgilerden yararlanılmaktadır. Şekil 6.3’de akış diyagramı sırasında kullanılan bilgi tabanlı tasarım sistemi görülmektedir.

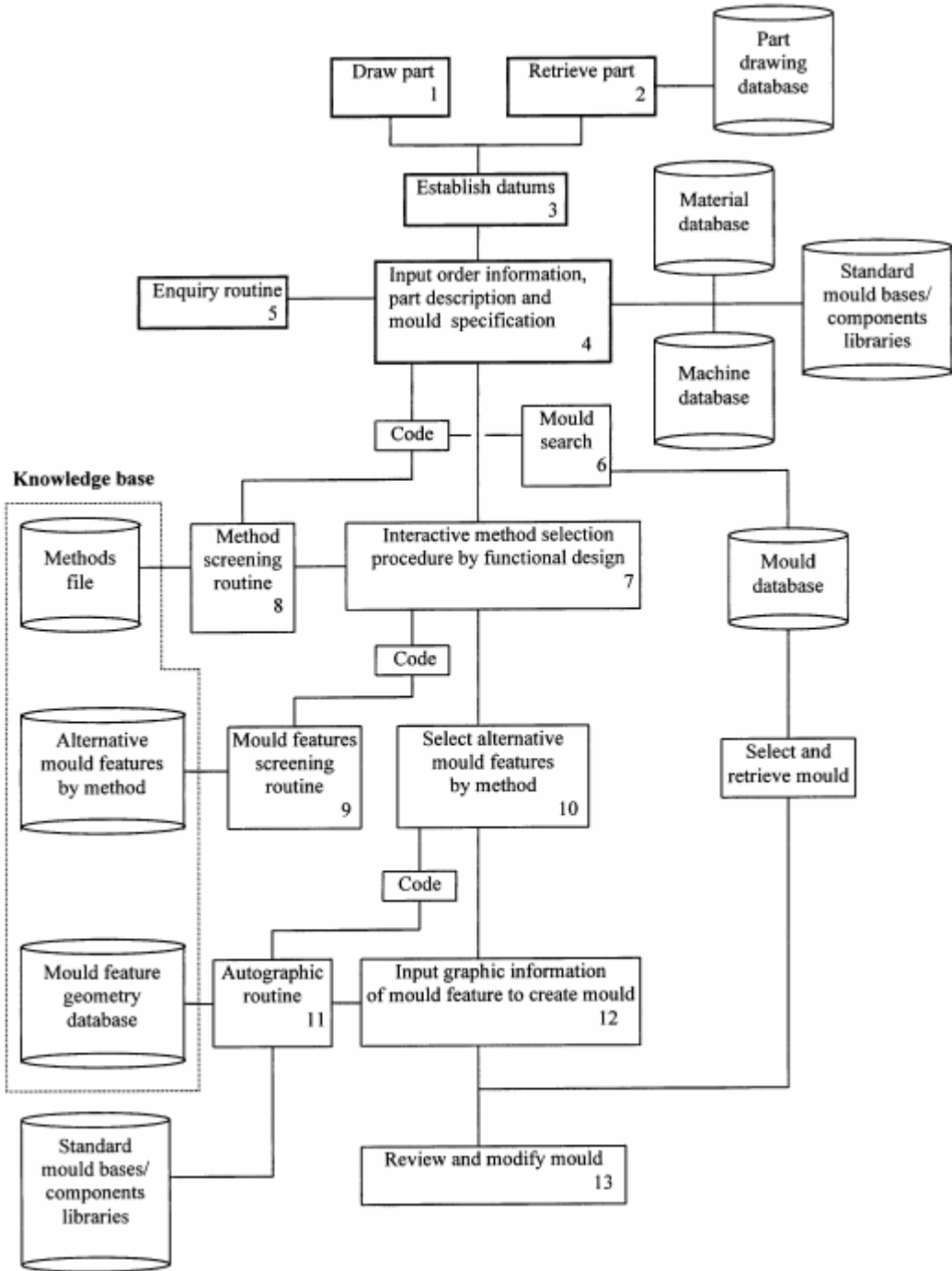


Şekil 6.2 Kalıp seti tasarımı için bilgi akış diyagramı (Lou ve diğer., 2004).



Şekil 6.3 Kalıp seti bilgi tabanlı sistemi (Lou ve diğer., 2004).

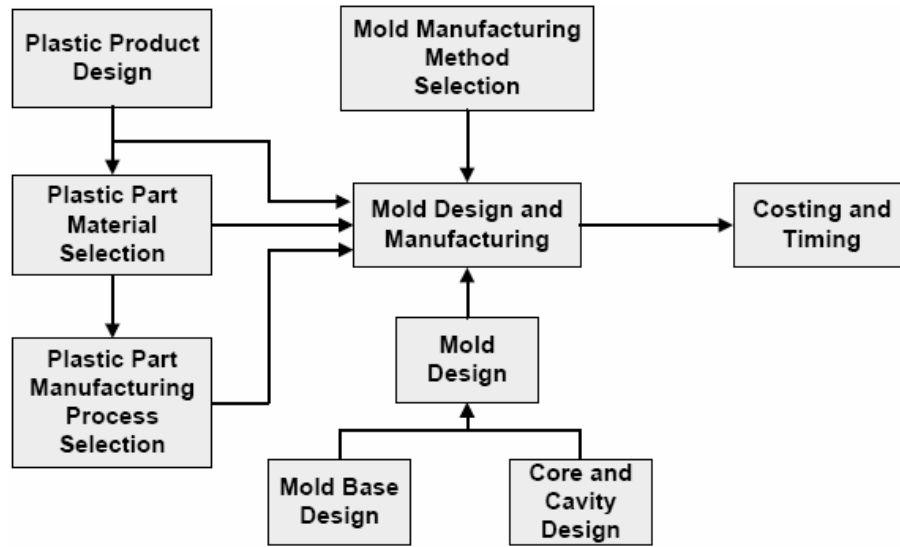
Mok, Chin ve Ho (2001), Enjeksiyon kalıp tasarımının kullanılan kalıp elemanları ve bu elemanların fonksiyonları ile ilgili çok miktarda deneysel veri bulunduğunu ve bunun bilgi tabanlı sistem için iyi bir potansiyel oluşturduğunu belirtmiştir. Mok ve diğer. (2001), bilgi tabanlı sistem yardımıyla CAD tabanlı kalıp tasarımı prosedürünün oluşturulmasını açıklamıştır. Şekil 6.4'de bu prosedür görülmektedir. Prosedür Unix C dilinde yazılarak McDonnell Douglas Unigraphics CAD System'a adapte edilmiştir.



Şekil 6.4 IKMOULD' un akış diyagramı (Mok ve diğer., 2001).

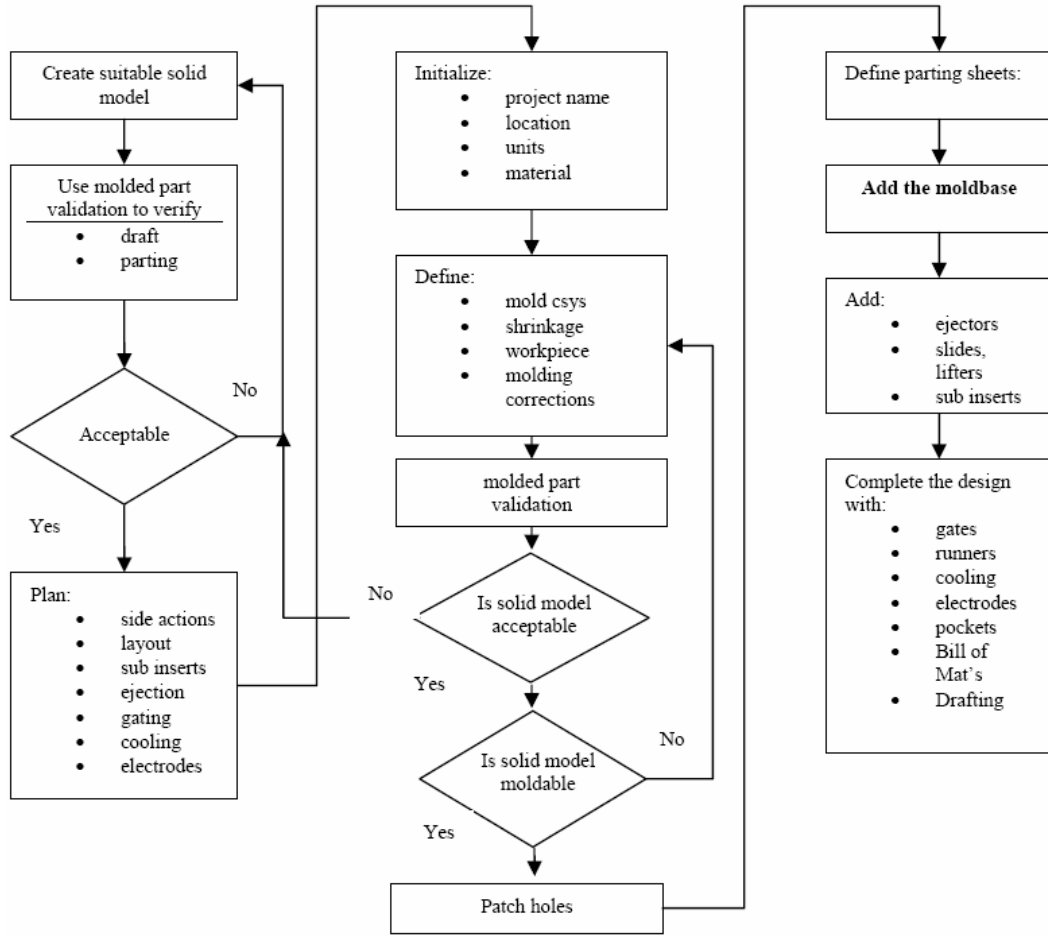
Hermaste, Sutt ve Küttner (2005), bilgisayar destekli tasarım sürecini geliştirmek ve plastik enjeksiyonla ilgili firmaların en iyi uygulamalarını analiz etmek için bir karar analiz yöntemi geliştirmiş ve firmaların en iyi uygulamaları hakkında bilgi toplamak için plastik enjeksiyon kalıp tasarımı üzerine çalışan Estonyalı firmalarda

anket çalışmaları yapmıştır. Karar analiz yöntemi sonuçlarının uygulanmasında Unigraphics Moldwizard programından yararlanmışlardır. Hermaste ve diğer. (2005), Şekil 6.5 de görüldüğü gibi genel olarak kalıp tasarımı işleminin plastik ürün tasarımı, malzeme seçimi, plastik malzeme imalat yöntemi seçimi, kalıp tasarımı ve kalıp imalatı yöntemi seçiminden oluştuğunu belirtmiş ve her bir bölümde çeşitli kararlar alınması gerektiğini belirtmiştir. Doğru kararın verilmesinde geliştirilen karar analiz yöntemi ve firmalardan anketler sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır.



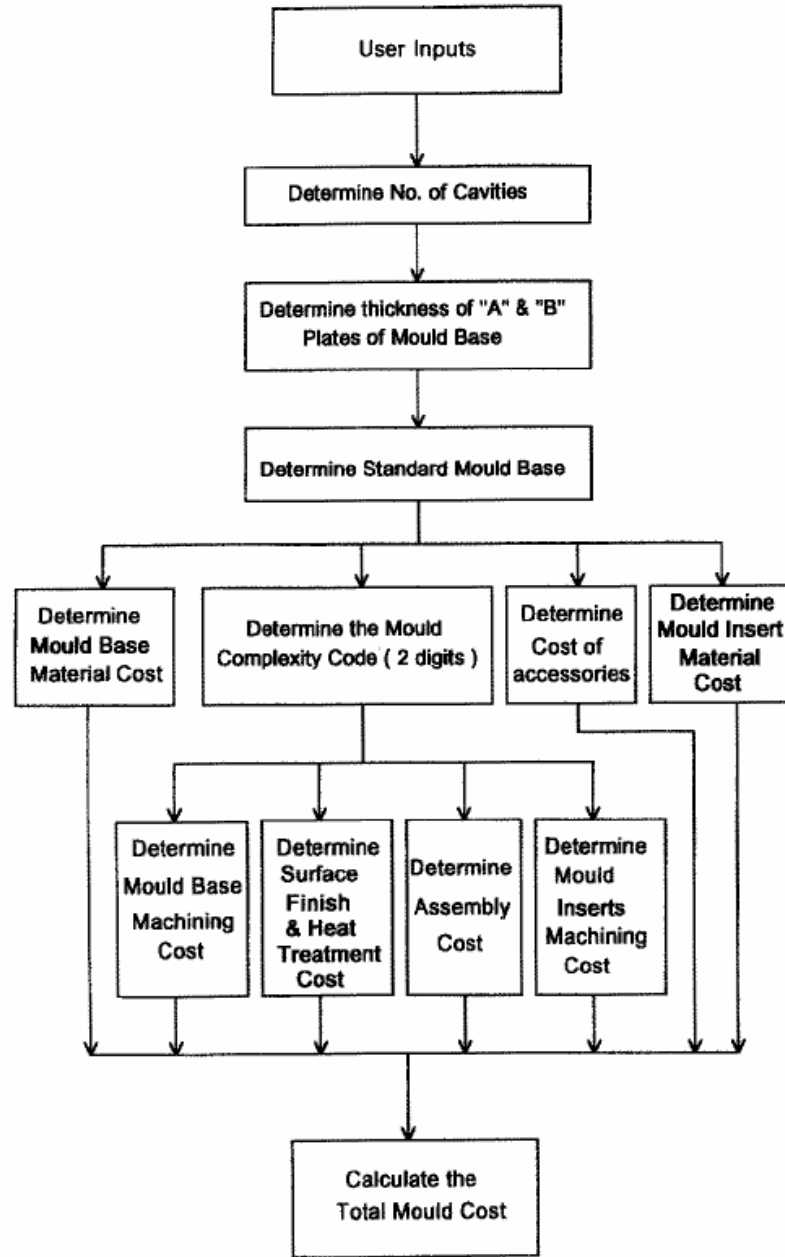
Şekil 6.5 Kalıp tasarımı işleminin bölümleri (Hermaste ve diğer., 2005).

Hermaste ve diğer. (2005), Moldwizard kalıp tasarımı adımlarını Şekil 6.6'da belirterek karar analiz yöntemini kalıp seti seçim aşamasına uyarlamıştır ve bu yöntemin karar gerektiren diğer aşamalar içinde kullanılabileceğini belirtmiştir.



Şekil 6.6 Moldwizard kalıp tasarımı akış diyagramı (Hermaste ve diğer., 2005).

Chin ve Mong (1996), enjeksiyon kalıp ücretinin ön tasarım aşamasında belirlenmesi için bilgi tabanlı bir sistem geliştirmiş ve özellikle az ve orta sayıda üretim yapılacak kalıplar için kalıbın detaylı tasarım ve sonrasında üretimine karar vermede belirleyici bir faktör olduğunu vurgulamıştır. Chin ve Mong (1996), teorik olarak kalıp tasarımı işleminin kalıp özellikleri ve kalıp üretimi için yapılan imalat masrafları ile belirleneceğini fakat günlük yaşamda kalıp masraflarının ön tasarım aşamasında dolayısıyla imalat öncesi belirlenmesi gerektiğini ve bu belirleme işleminin genellikle daha önce yapılmış benzer kalıplara kıyaslama yoluyla yapıldığını belirtmiştir. Gerek kalıp tasarımının ücretlendirilmesinde etkili olan çok sayıda faktör gerekse ücretlendirme işleminde daha önceki uygulamalardan yararlanılması ücretin belirlenmesini zor ve riskli hale getirmektedir. Şekil 6.7’de ücretin hesaplanmasında kullanılan akış diyagramı görülmektedir (Chin ve Mong, 1996).



Şekil 6.7 Kalıp ücretlendirme prosedürü (Chin ve Mong, 1996).

(Fu, Nee ve Fuh, 2001), plastik enjeksiyon döküm ve dövme kalıplarında malzemenin kalıp içerisindeki boşluk yüzeylerle şekillendirildiğini ve kalıp ayırım çizgilerinin ve dolayısıyla kalıp ayırım yüzeylerinin dişi ve erkek kalıp yüzeylerine bağlı olarak şekillendirildiğini belirtmiştir. Fu ve diğer. (2001), çalışmada yüzey ayrılabilirliği ve görünürlüğünü temel alarak kalıp ayırım çizgilerinin belirlenmesinde yeni bir yöntem geliştirmiştir. Fu ve diğer. (2001), kalıp ayırım çizgilerini

belirlemede, görünürlük, kalıp ayırım çizgilerinin düzlüğü, çizim mesafesi, iz düşüm alanı, dış oyuğun hacmi, uzunluğu ve bağıl pozisyonu olduğunu belirtmiştir. Fu ve diğer. (2001), yapmış olduğu çalışmada kalıp ayırım çizgilerinin oluşturulmasında kullandığı algoritma ve formülleri kompleks örneklerde deneyerek uygulanabilir olduğunu belirtmiş ve bu yöntemin kalıp tasarımı üzerinde özelleşmiş programlar içerisinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Paramio, Garcia, Chuece, Idoipe ve Sevillano (2005), üç boyutlu Cad model dikkate alınarak ön tasarım aşamasında parçanın kalıptan çıkarılıp çıkarılamayacağını belirleyen bir metodoloji geliştirmiş ve bu metodolojinin kullanılarak kaydırıcı ve kaldırıcı gibi hareketli sistemlerle oluşturulacak geometrilerin kolaylıkla belirlenebileceğini belirtmiştir.

BÖLÜM YEDİ

PLASTİK PARÇALARIN ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ SONRASI MEYDANA GELEN ÇARPILMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

7.1 Çarpılmanın Tanımı

Plastik malzemelerin üretimi sonrası sıklıkla karşılaşılan imalat problemlerinden biri çarpılma dır. Plastik malzemeler için kullanılan çarpılma terimi çekme terimi ile yakından ilişkilidir. Çekme plastik malzemenin üretimi sırasında sıvı fazdan katı faza geçişi ve oda sıcaklığına soğuması sırasında meydana gelen hacim küçülmesidir. Çarpılma, üretim sonrası plastik parça üzerinde belirli bölge veya yönlerde plastik malzemenin genelindeki çekme değerlerinden farklı çekme değerleri oluşması nedeniyle sadece parçanın ölçülerinde değil aynı zamanda geometrik şeklinde meydana gelen bozulmadır.

Enjeksiyonla üretilmiş parçalarda meydana gelen çarpılma problemini çözmeye çalışmadan önce çarpılmaya neden olan faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Çarpılma problemine neden olan faktörler: plastik malzeme seçimi, ürün tasarımı, kalıp tasarımı ve plastik parça üretimi, çevresel etkenler olmak üzere beş grupta toplanılabilir. Bunun anlamı, çarpılmanın plastik malzemenin tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar geçen her bir adımdan etkilendiğidir.

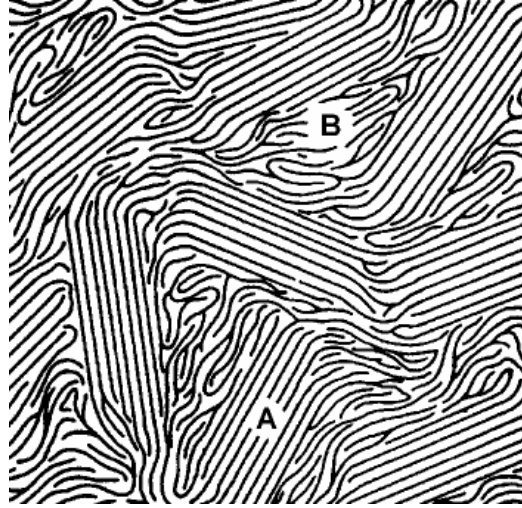
7.2 Çarpılmayı Etkileyen Faktörler

Çarpılmayı etkileyen faktörler: malzeme, ürün tasarımı, kalıp tasarımı, imalat parametreleri ve çevresel faktörler olmak üzere beş bölümde incelenebilir.

7.2.1 Plastik Malzeme

Amorf plastikler sahip oldukları hızlı gevşeme özellikleri nedeniyle izotropik çekme gösterirler. İzotropik çekme, kalıplanan plastik parça üzerinde akış yönünde ve akışa dik yönde eşit çekmenin meydana gelmesi demektir.

Yarı kristalin malzemelerin kristalin grubu soğuma sırasında düzenli bir molekül grubu oluştururken çevre molekülleri düzensiz amorf bir dağılım oluşturur. Bu nedenle kristalin gruplarının olduğu bölgelerde amorf gruba kıyasla daha çok hacim küçülmesi meydana gelmektedir. Yarı kristalin malzemelerde anizotropik çekme meydana gelir. Bunun anlamı yarı kristalin malzemelerin akış doğrultusu ve akışa dik doğrultuda meydana gelen çekmesi eşit değildir. Yarı kristalin malzemelerin kristalinite derecesi soğuma hızı ile yakından ilişkilidir. Soğuma hızının azalması kristalinite derecesinin artmasına neden olmaktadır. Kristalinite derecesinin sıcaklıkla değişimi yarı kristalin malzemelerin şekillendirileceği kalıbın soğutma sistemlerinin tasarımı için oldukça önemlidir. Kalıp soğutma sisteminin yanlış tasarımı nedeniyle parçanın bazı bölgelerinin soğutma hızının diğer bölgelerden düşük olması o bölgelerde kristalinite derecesinin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle bu bölgeler diğer bölgelere nazaran daha fazla çekerek parça geometrisinde bozukluklara neden olacaktır. Dallanmış moleküler yapıya sahip yarı kristalin malzemelerin dallanma miktarı ne kadar artarsa kristalinite yüzdesi de buna paralel olarak artacaktır. Şekil 7.1’de yarı kristalin malzemelere ait şematik molekül yapısı görülmektedir.

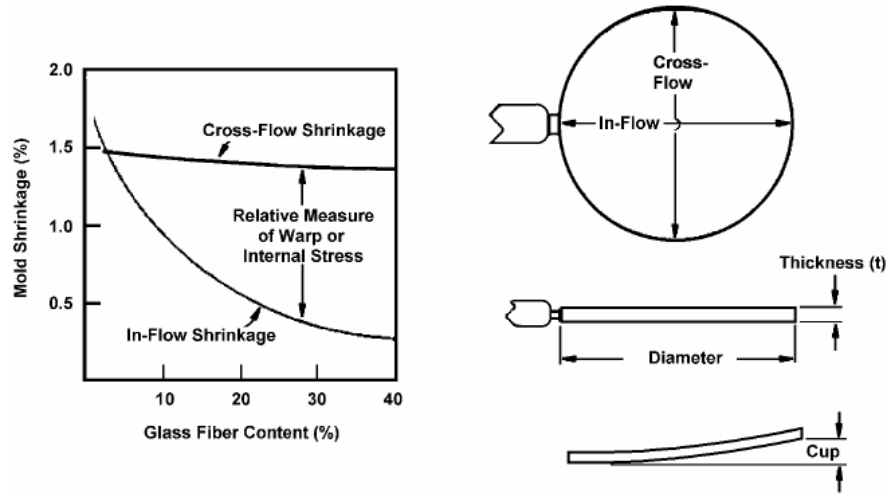


Şekil 7.1 Yarı kristalin malzemenin molekül yapısı: A kristalin yapı. B amorf yapı (<http://www.plasticmoldingdata.com>).

Plastik malzemelerin moleküler ağırlığı, çekmeyi dolayısıyla çarpılmayı etkileyen diğer bir faktördür. Molekül ağırlığının artması plastik malzemenin viskozitesinin artmasına neden olduğu için enjeksiyon işlemi sırasında helezon tarafından uygulanan basıncın akış çizisi ön yüzüne iletilmesi basınç kayıplarının artması nedeniyle zorlaşmaktadır. Bu nedenle plastik malzemeye uygulanan sıkıştırma kuvveti girişten uzaklaştıkça akış ön yüzünde giderek azalmakta ve giriş tarafında giderek artmaktadır. Parçanın en son doldurulan bölgelerinde ve gereğinden fazla sıkıştırılan giriş bölgesinde çekme miktarı diğer bölgelerden farklılaşmakta ve bu bölgelerdeki düzensiz çekme geometrik bozulmalara başka bir deyişle çarpılmalara neden olmaktadır.

Plastiklerin içerisine mekanik özelliklerini artırmak için katılan toz, tanecik ve fiberler plastik malzemelerin çekme ve çarpılma özelliklerinde değişikliklere neden olmaktadır. Plastik malzemelerin içerisine katılan çoğu dolgu maddesi ve güçlendiriciler inorganik malzemelerdir ve bu malzemelerin termal genleşme katsayıları içine karıştırıldıkları plastik malzemeyle kıyaslandığında daha düşüktür. Bu nedenle enjeksiyonla kalıplama işlemi sırasında meydana gelen soğuma sırasında, amorf veya yarı kristalin plastik malzeme içerisine katılan çoğu dolgu maddesi plastik malzemenin normalden daha az çekmesine neden olacaktır. Çekmedeki

değişiklik katkı maddelerinin plastik malzeme içerisindeki yoğunluğu ile değişmektedir. Katkı malzemelerinin plastik malzeme içerisindeki yoğunluğunun artması çekmeyi azaltacaktır. Toz ve tanecik halindeki dolgu maddeleri plastik malzeme içerisinde homojen olarak dağılır iken, fiber dolgu malzemeleri malzeme içerisinde heterojen olarak dağılmaktadırlar. Bu nedenle toz ve tanecik haldeki dolgu maddeleri hem akış hem de akışa dik yönde çekmeyi engellediği için izotropik olarak çekmeyi azaltmaktadırlar. Fiber dolgu malzemeleri akış doğrultusunda malzeme içerisinde yönlenmekte ve akış doğrultusuna paralel yöndeki ekseninde çekmeyi azaltmaktadırlar. Akışa dik yönde meydana gelen çekme akış doğrultusunda meydana gelen çekmeden daha büyüktür. Akış yönünde ve akışa dik yönde farklı çekme değerleri oluşturduğu için fiber dolgu malzemeleri çekmede anizotropi meydana getirirler. Şekil 7.2 de fiber dolgu malzemelerinin çekmede meydana getirdiği anizotropi nedeniyle parça üzerinde meydana gelen çarpılma görülmektedir.

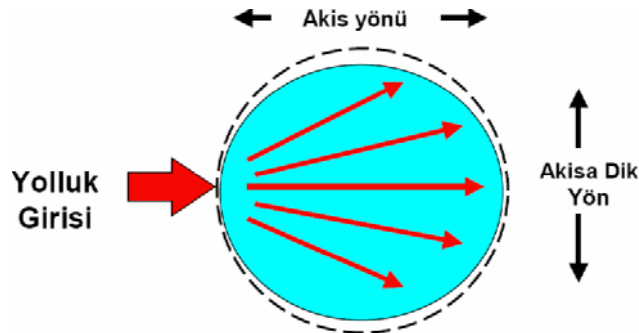


Şekil 7.2 Fiber katkılı plastik malzemelerde meydana gelen anizotropik çekme nedeniyle meydana gelen çarpılma (<http://www.plasticmoldingdata.com>).

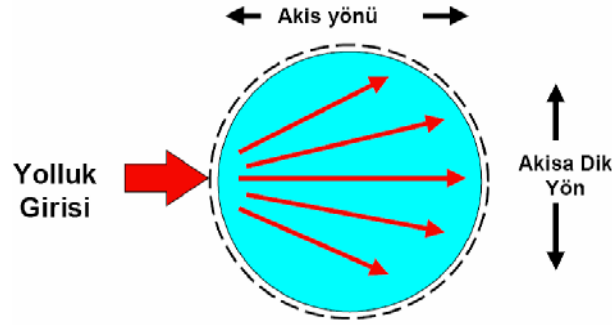
Kalıplama işlemi sırasında meydana gelen hatalı parçalar termoplastik malzeme kullanılmışsa kırılarak yeniden kullanılabilir. Fiber dolgu malzemesi kullanılarak şekillendirilmiş termoplastik malzemeler içinde bu durum geçerlidir fakat kırma işlemi sırasında plastik malzeme içerisindeki fiberler koparak daha kısa hale gelmektedirler. Kısalan fiberlerin malzeme içerisindeki oryantasyonu kırılma işlemi öncesindeki kalıplama işleminden oldukça farklıdır. Bu nedenle malzemenin çekme

davranışı fiber dolgu malzemeli parçaların çekme davranışından farklılık göstermektedir.

Plastik malzemelerin renklendirilmesinde kullanılan organik pigmentler malzemenin akış ve akışa dik yöndeki çekme farklılığı olan anizotropik çekmeyi %300 den daha fazla artırmaktadır (<http://www.plasticmoldingdata.com>). Pigmentler nedeniyle kalıplanmış parçalarda meydana gelen çarpılmayı enjeksiyon işlemi parametreleriyle kontrol etmek oldukça zordur. Organik pigmentler, plastik malzemeler içerisinde kristalin çekirdeklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Organik pigmentler nedeniyle meydana gelen erken çekirdeklenme soğumanın da etkisiyle malzemede bölgesel çekmelere ve çarpılmalara neden olmaktadır. Özellikle yarı kristalin malzemelerde organik pigmentler akışa dik yöndeki çekmeyi artırmaktadır. Yarı kristalin bir malzeme olan polipropilen malzeme için herhangi bir katkı malzemesi katılmadan akış yönüne dik çekme akış yönündekinden yaklaşık %10 fazla iken kırmızı veya mavi organik pigment karıştırıldığında %40'a kadar yükselmektedir. İnorganik pigmentler ise plastik malzemelerin çekmesinde organik pigmentlere benzer fakat daha az bir etki göstermektedir (<http://www.plasticmoldingdata.com>).



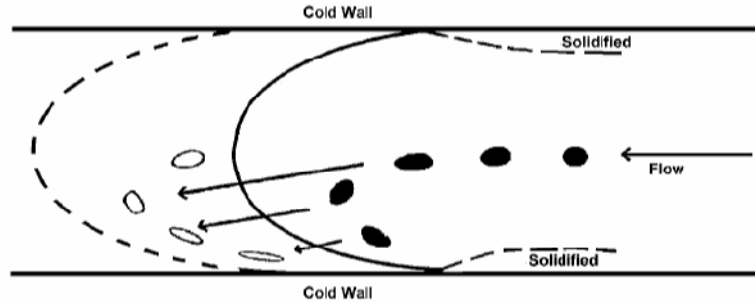
Şekil 7.3 Anizotropik çekme (<http://www.dupont.com.tr/ppt/Proses%20Egitim%201.pdf>).



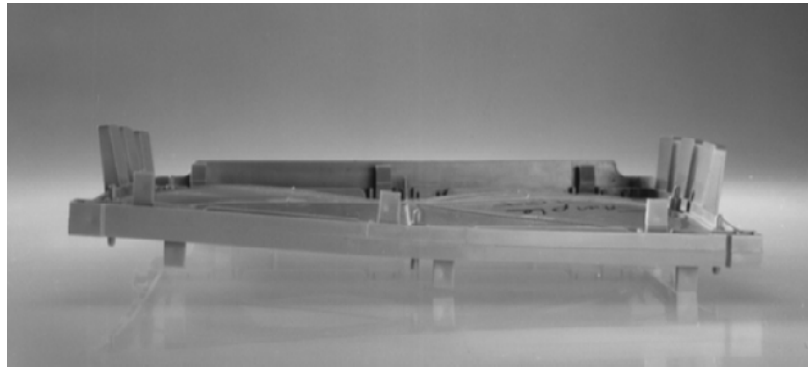
Şekil 7.4 İzotropik çekme (<http://www.dupont.com.tr/ppt/Proses%20Egitim%201.pdf>).

7.2.2 Ürün Tasarımı

Düzeltilmesi en zor olan çarpılma problemleri ürün tasarımında yapılan hatalar nedeniyle meydana gelen çarpılma problemleridir. Değişken cidar kalınlığı başlı başına büyük bir çarpılma nedenidir. Farklı cidar kalınlıklarında farklı çekmeler meydana gelir. Çekmedeki bölgesel değişim çarpımalara neden olur. Kalın kesitlerde daha çok çekme meydana gelmektedir. Bunun nedeni şekil 7.5 ten de görüldüğü gibi plastik malzemenin kalıp içerisinde tabakalar halinde soğuma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Plastik malzeme kalıp içerisinde akarken ilk olarak kalıp yüzeyi ile temas eden plastik malzeme katılaşır. Kesiti, katılaşan plastik nedeniyle azalmış olan kanal içerisinden akan plastik malzeme zamanla katman katman katılaşarak kalıp boşluğunu doldurur. Kalıp boşluğunun doldurulması sırasında malzemenin en son katılaşan bölgesi cidar kesitinin ortasıdır. Parça cidar kalınlığının fazla olması kalıp yüzeyi ile temas edip soğumaya başlayan yüzey katmanı ile orta katmanın arasındaki sıcaklık farkının yüksek olmasına neden olacaktır. Zamanla kesit kalınlığının azalması kesit içerisinden akan plastik malzemenin hızında artışa neden olduğu için malzeme molekülleri arasındaki sürtünme artmakta bu da cidar merkezinin sıcaklığını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Sıcaklık farkı plastik malzemenin içerisinde ve dışarısında farklı çekmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Çekmedeki farklılık malzeme içerisinde iç gerilmelere neden olmakta ve parçanın çarpılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle yarı kristalin kalın cidarlı plastik parçalar yüksek iç gerilmeler nedeniyle ince cidar kalınlığına sahip parçalardan daha çok çarpılmaya meyillidirler.

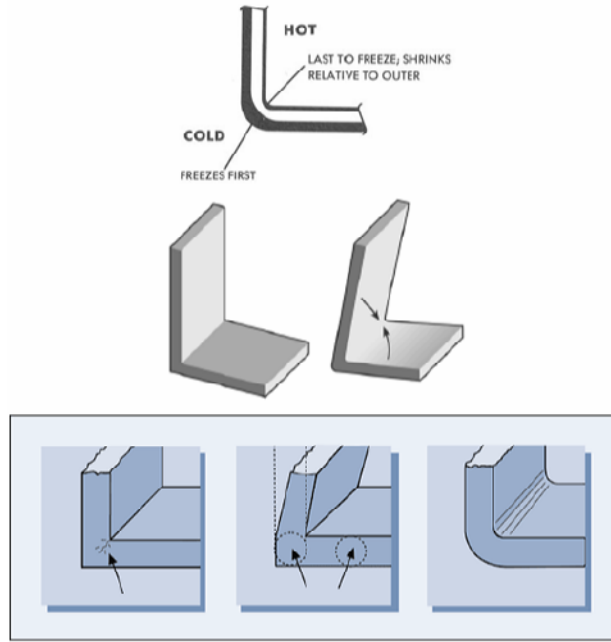


Şekil 7.5 Plastik malzemenin kalıp içerisinde soğuma mekanizması (<http://www.plasticmoldingdata.com>).



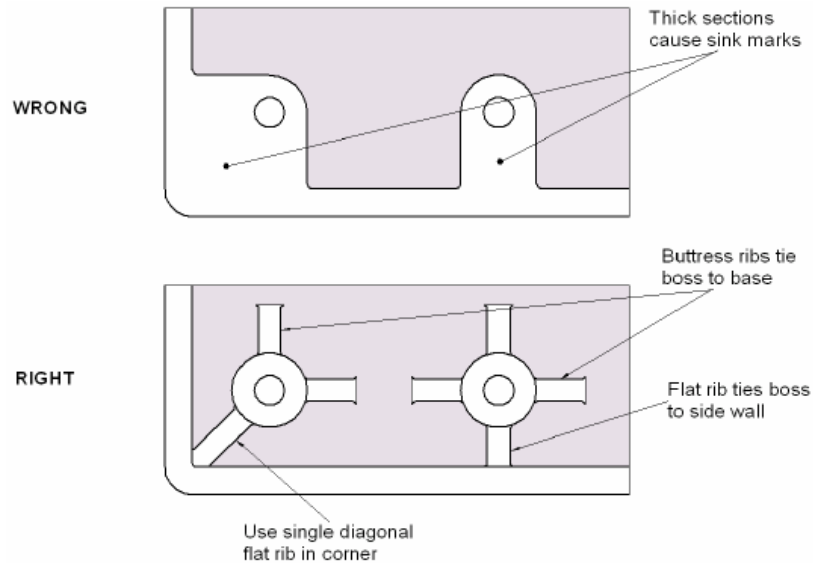
Şekil 7.6 Değişken cidar kalınlığı nedeniyle meydana gelen çarpılma örneği (<https://www.hansergardner.com/sample/1-56990-291-7.pdf>).

Plastik ürün tasarımında çarpılmayı etkileyen bir diğer faktör keskin köşelerdir. Keskin köşelerde meydana gelen kesit artışı ve bu bölgelerdeki ısınmın dışı ve erkek kalıp çekirdeğindeki soğutma kanalları vasıtasıyla homojen olarak çekilememesi keskin köşelerin iç ve dış kısımlarında farklı çekmelerin oluşmasına neden olur böylece keskin köşelerde iç gerilme yığılması meydana gelir. Bu gerilme yığılmaları kalıplanan parçada çarpılma veya mikro çatlakların meydana gelmesine neden olur.



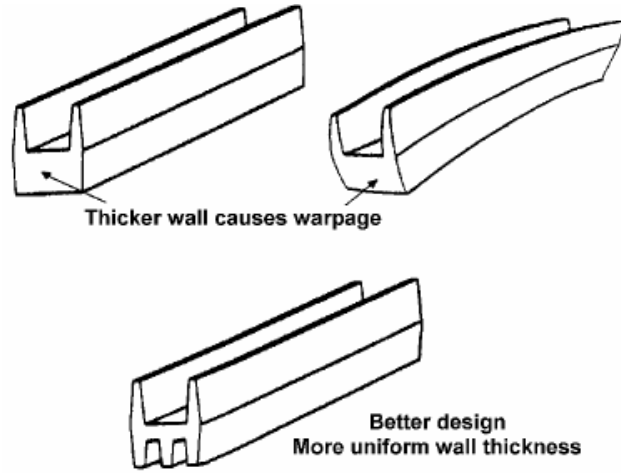
Şekil 7.7 Keskin köşelerde meydana gelen gerilim yığılmaları nedeniyle meydana gelen çatlama ve çarpılma örneği (<http://www.dme.net>).

Çıkıntılı deliklerin hatalı tasarımı sonrasında parça üzerinde meydana gelecek olan değişken cidar kalınlıkları çarpılma açısından düşünüldüğünde yukarıda anlatılan değişken cidar kalınlıklarındaki etkiye benzer bir etkiyi oluşturacaktır.

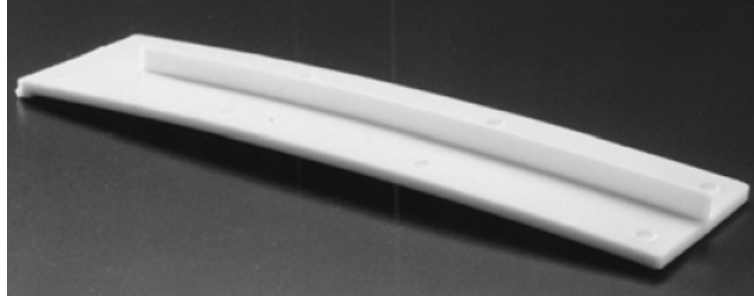


Şekil 7.8 Çıkıntılı deliklerin yanlış tasarımı nedeniyle cidar kalınlığında meydana gelen değişim ve doğru tasarım (<http://www.tangram.co.uk/Design%20Guides%20for%20Plastics.PDF>).

Plastik parçaların dayanımını artırmak için kullanılan kaburga tasarımları parçada çökme izi denilen lokal çarpımlara neden olmaktadır. Çökme izlerinin nedeni kaburgalar nedeniyle parça cidar kalınlığında meydana gelen ani kesit değişimidir. Çökme izleri bölüm dörtteki tasarım tavsiyeleri ile azaltılabilir fakat tamamen yok edilmeleri oldukça zordur. Kaburga tasarımları ve federler parçada potansiyel çarpılma sebepleridir. Özellikle yarı kristalin malzeme kullanılan parçalarda kesit kalınlaşmasının bulunduğu bölümde soğuma hızının yavaşlaması ince kesitlere nazaran kalın kesitli bölgede daha fazla karistalin yapının oluşmasına neden olmaktadır. Bu farklılık malzemede anizotropik çekmeye neden olmaktadır. Her ne kadar kaburga tasarımları çarpılmayı tetikleyici bir tasarım faktörü olsa da tasarımcılar tarafından çarpımları önlemek amacıyla da kullanılabilmektedirler. Şekil 7.9 daki parça üzerinde oluşturulan kaburga parçanın cidar kalınlığını homojen hale getirerek çarpılmayı önlemek için kullanılmıştır.



Şekil 7.9 Kaburga yardımıyla çarpılmanın azaltılması
(<http://www.plasticmoldingdata.com>).



Şekil 7.20 Kaburga nedeniyle düz levhada meydana gelen çarpılma
(<https://www.hansergardner.com/sample/1-56990-291-7.pdf>).

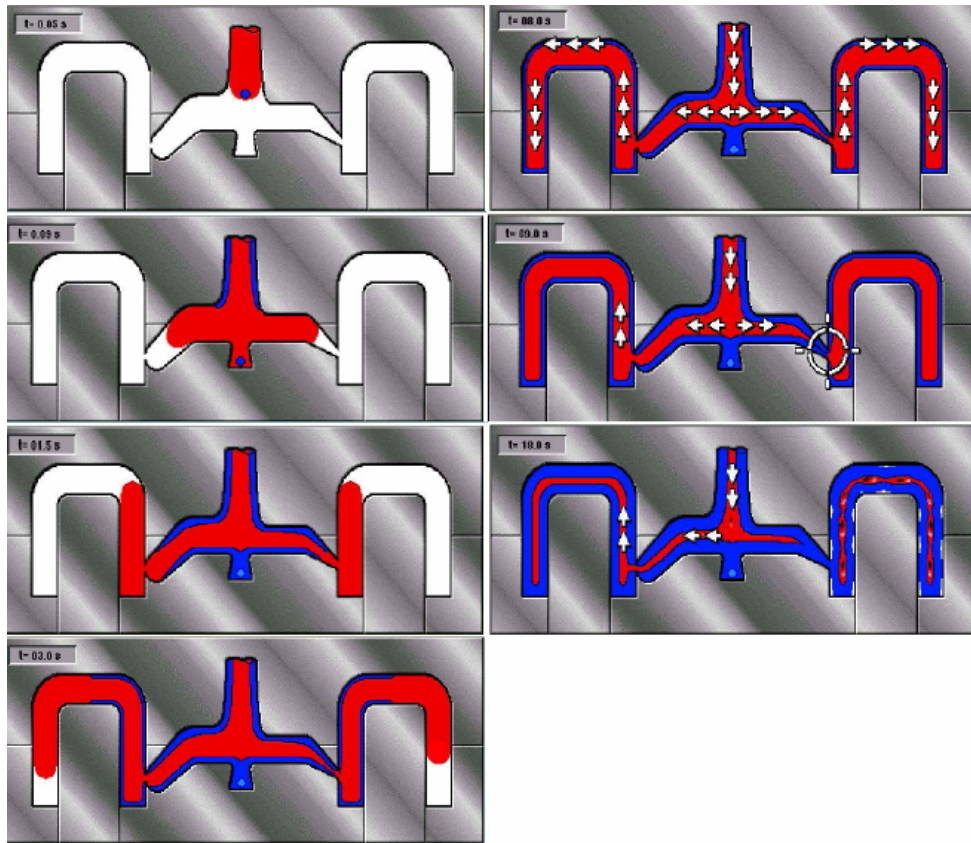
7.2.3 Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı nedeniyle meydana gelen çarpılma problemleri, kalıbı oluşturan sistemlerin tasarımındaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu problemler, bölüm beşte anlatılan tasarım kurallarına uyularak azaltılabilir hatta tümüyle önlenabilir, fakat çoğu zaman parçaların sahip oldukları kompleks geometriler, kalıp maliyetindeki artış veya imalat zorluğu, kalıp tasarımında çarpılmayı artırıcı hataların kalmasına neden olmaktadır.

Yolluk sistemi, enjeksiyon makinası nozılından kalıp boşluğuna erimiş plastiğin iletildiği kanalların tümüne birden verilen addır. Yolluk sistemi bir ucuyla enjeksiyon makinasının nozılına, diğer ucuyla kalıp boşluğuna bağlıdır. Dolayısıyla helezonun ileri doğru itme hareketi sırasında plastik malzemenin kalıbı doldurması ve plastik malzemenin sıkıştırılması yolluk sistemi ile yakından ilgilidir. Yolluk sistemi yolluk, dağıtıcı ve girişlerden oluşmaktadır. Girişlerin parça üzerine yerleştirilmesinde etkili olan çok fazla faktör bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak mekanik, estetik veya geometrik özellikler verilebilir. Girişlerin yerleştirilmesinde etkili olan geometrik özellikler çarpılma ile yakından ilişkilidir çünkü çarpılma parça geometrisinde istenmeyen bozukluklara neden olmaktadır. Erimiş plastik malzeme kalıp içerisinden akar iken katılaşma, ilk olarak soğuk kalıp yüzeyi ile temas eden plastik malzeme tabakasında meydana gelmekte ve akış süresi boyunca kesit giderek daralmaktadır. Bundan dolayı kalıp tasarımında girişler parçanın en kalın kesitlerine yerleştirilmelidir. Girişler eğer ince kesitli bölgelere yerleştirilir ise ince kesitli bölgedeki erimiş halde akan malzeme kalınlığı yukarıda anlatılan katılaşma mekanizması nedeniyle sürekli

azalacak ve akışkan malzemeye iletilen basınç azalarak kalıp boşluğunun yeterince doldurulamamasından dolayı içte gözenek oluşumuna, eğer doldurulabilirse yeterli olmayan sıkıştırma basıncı nedeniyle parçada çarpılmalara neden olacaktır.

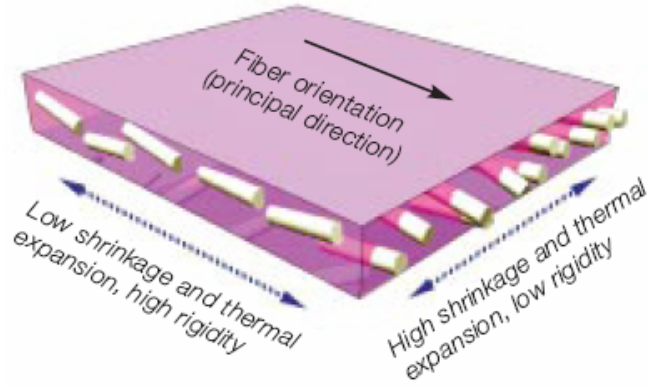
Şekil 7.21 de görülebileceği gibi girişlerin boyutları çarpılmayı etkileyen bir diğer faktördür. Gereğinden küçük kesitler sıkıştırma fazında malzemeden önce katlaşıp malzemenin katılma sırasında meydana gelen hacim küçülmesi nedeniyle oluşan boşluğu dolduramamaktadır. Başka bir ifade ile sıkıştırma safhası tam anlamıyla gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle malzemede meydana gelen yüksek çekme çarpılmayı tetiklemektedir.



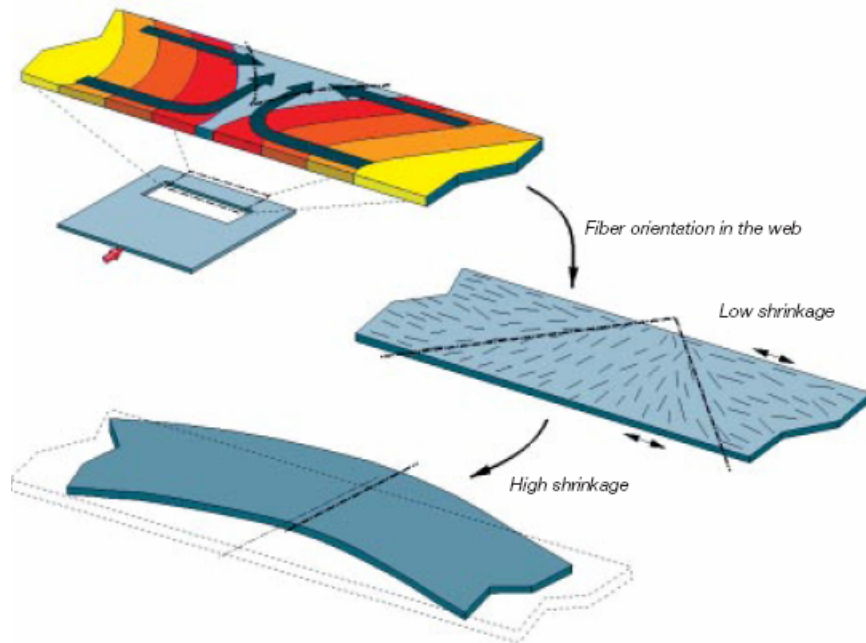
Şekil 7.21 Hatasız ve hatalı giriş ölçülerinin kalıplama sırasındaki malzeme üzerindeki etkileri: Sol giriş hatasız ölçülendirilmiş, sağ giriş hatalı ölçülendirilmiş girişi örneklemektedir (Tuğyan, 2007).

Enjeksiyon işlemi sırasında girişin yerleştirildiği bölge plastik malzeme moleküllerinin oryantasyonunu yakından etkilememektedir. Özellikle fiber katkılı plastik malzemelerin kalıplanması sırasında, fiber oryantasyonu parça üzerinde

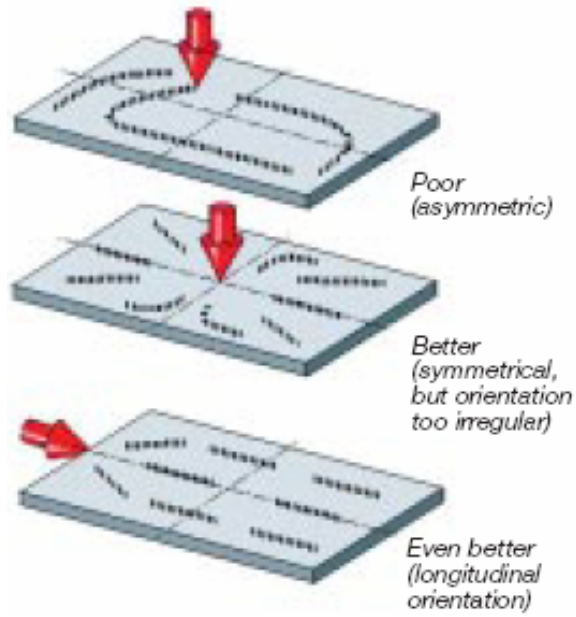
bölgesel çekme farklılıklarına neden olmaktadır. Bunun nedeni fiberlerin akış doğrultusunda yönelmeleri nedeniyle akış ve akışa dik doğrultularda çekmenin farklı olmasıdır.



Şekil 7.22 Fiberlerin yönelmesi sonucu plastik parça özelliklerinde meydana gelen değişim (<http://www.basf.com/PLASTICSWEB/displayanyfile?id=0901a5e180004876>).

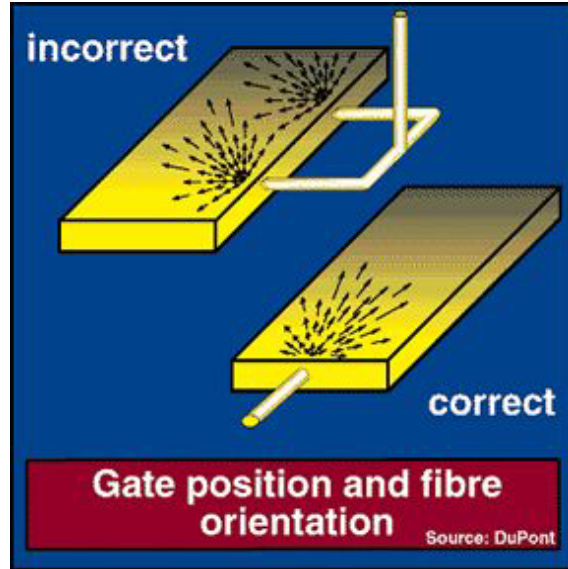


Şekil 7.23 Fiber oryantasyonundaki farklılık nedeniyle meydana gelen çarpılma (<http://www.basf.com/PLASTICSWEB/displayanyfile?id=0901a5e180004876>).



Şekil 7.24 Giriş yerinin fiber oryantasyonuna etkisi
<http://www.basf.com/PLASTICSWEB/displayanyfile?id=0901a5e180004876>.

Girişlerin sayısı da çarpılmayı etkileyen faktörler arasındadır. Giriş sayısının artması, kalıp maliyetini artırdığı gibi parça üzerinde kaynak çizgilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Kaynak çizgileri parçanın estetik görünümünü bozan, mekanik özelliklerini azaltan ve akış sırasında molekül oryantasyonunu etkileyen bir faktördür. Özellikle fiber katkılı plastiklerin enjeksiyonu sırasında giriş sayısındaki artış çarpılmayı artırıcı yönde etki etmektedir.



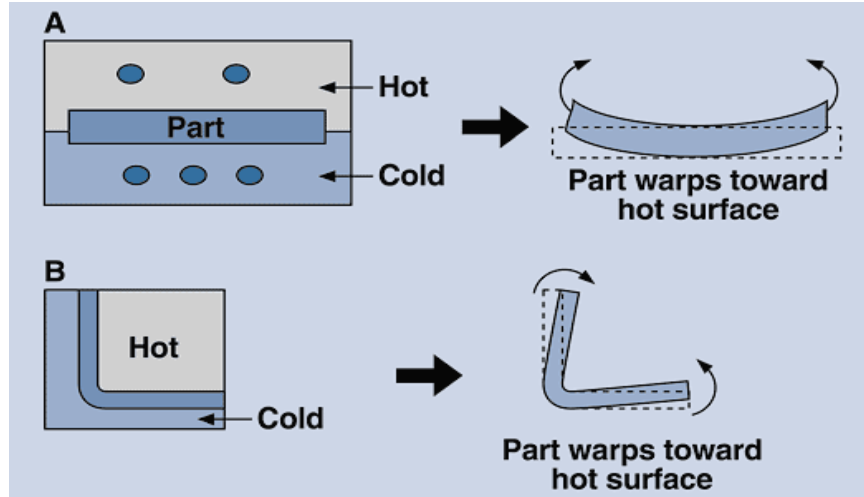
Şekil 7.25 Giriş sayısı ve çarpılmaya neden olan fiber oryantasyonundaki değişim (http://plastics.dupont.com/myplastics/Mediator?id=537&locale=en_US).

Girişlerin tasarımı parça geometrisine bağlı olarak çeşitlilik göstermekte olup tasarım kuralları ayrıntılı olarak bölüm beşte açıklanmıştır.

Dağıtıcı kanalların tasarımı sırasında balanssız dağıtıcı seçimi, kalıp boşluklarının homojen dolum şartları altında doldurulamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle kalıp boşluklarından bazıları yüksek basınç altında, kısa sürede doldurulurken, bazıları düşük basınç altında uzun sürede doldurulmaktadır. Bu nedenle malzemelerin başta moleküler yapısı olmak üzere sahip oldukları tüm özelliklerde farklılıklar meydana gelmektedir. Yolluk tasarımı nedeniyle dolum işleminde meydana gelen bu olumsuz durum parçalarda çarpılmayı etkileyen önemli faktörlerden birini oluşturmaktadır. Dağıtıcı tasarımlarının ölçüleri basınç kayıplarına neden olduğundan kalıp boşluğunda oluşturulacak basıncı etkilemektedir.

Çarpılma üzerinde büyük etkisi olan bir diğer kalıp sistemi soğutma sistemidir. Soğutma sistemi tasarımında parçayı şekillendiren dişi ve erkek kalıp yarımlarının eşit hızda ve şiddette soğutulmasına büyük önem gösterilmelidir. Kalıp yarımlarının eşit hız ve sıcaklıkta soğutulmasına ek olarak, parça üzerinde meydana gelen lokal

soğuma farklılıkları parça üzerinde lokal çekme farklılıklarına ve iç gerilmelere neden olacağı için çarpılmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 7.26 da soğutma sisteminde meydana gelen tasarım hataları nedeniyle oluşan çarpılma görülmektedir. Soğutma sisteminin tasarımı ile ilgili kurallara bölüm beşte ayrıntılı olarak değinilmiştir.



Şekil 7.26 Soğutma sistemi nedeniyle meydana gelen çarpılma A kalıp çekirdeklerinin benzer özelliklerde soğutulamaması nedeniyle oluşan çarpılma, B kalıp tasarımında soğutma sisteminin yetersizliğinden dolayı meydana gelen bölgesel soğuma farklılıkları nedeniyle oluşan çarpılma (<http://www.dme.net>).

Çarpılmayı etkileyen bir diğer kalıp sistemi, itici sistemidir. Kalıplanan parçanın faz değişimi dolayısıyla iç bükey tarafı onu şekillendiren kalıp yarımı üzerinde kalmasına neden olmaktadır. Genellikle iç bükey tarafın erkek kalıp yarımı ile şekillendirilmesi nedeniyle itici sistemi erkek kalıp yarımında bulunmakta ve kalıp yarımının açılması sonrası devreye girerek parçayı dışarı doğru itip düşürmektedir. İticilerin parçayı kolaylıkla kalıp yarımı üzerinden düşürebilmeleri için kalıp açılma eksenine paralel yüzeylere eğim açısı verilmektedir. Çıkarma işlemi çarpılma açısından düşünüldüğünde özellikle ince cidarlı parçaların üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Balanssız, küçük çaplı, gereğinden az sayıda yerleştirilmiş itici pim sistemleri çıkarma işlemi sırasında parçayı deforme edip çarpılmasına neden olabilmektedir. Çıkarma işlemi sırasında çıkarma sistemi kusursuz olarak tasarlanırsa bile tezgah ayarları nedeniyle parçaya hızlı vuran iticiler parça geometrisinde bozulmalara neden olabilmektedir. Kalıp çıkarıcı sistemleri genellikle özel olarak

soğutulmazlar. Bu nedenle enjeksiyon işlemi sırasında kalıp çekirdeğine göre daha yüksek sıcaklığa sahip hale gelebilirler. Özellikle ince cidarlı parçaların kalıplanmasında bu durum çarpılmaya eğilimi artırmaktadır. İtici sistemlerinin tasarımı ile ilgili detaylı bilgi bölüm beşten edinilebilir.

Çarpılmayı etkileyen bir diğer kalıp sistemi de havalandırma sistemidir. Enjeksiyon sırasında kalıp içerisindeki havanın tahliye edilememesi kalıp içerisinde havanın sıkıştığı bölgelerde lokal yüksek sıcaklık ve basınç artışlarına neden olmaktadır. Bu nedenle malzemede çekme sırasında anizotropi meydana gelmesi nedeniyle çarpılmalar oluşmaktadır.

7.2.4 Plastik Parça Üretimi

Plastik parçaların üretimi sırasında meydana gelen çarpılma sadece üretim parametrelerinin seçimindeki hatadan kaynaklanmamaktadır. Üretim parametreleri optimize edilse dahi önceki aşamalarda çarpılma ile ilgili dikkate alınması gereken noktalara dikkat edilmediği için çarpılma değerleri tolerans sınırları içerisinde çekilememekte veya çekilebilse bile çarpılmayı yok etmek için geçen ön imalat süresi ve çevrim süresinde meydana gelen artış nedeniyle üretimi ekonomik olmaktan uzaklaştırmaktadır.

Plastik parçalarda meydana gelen çarpılma probleminin üretim aşamasında kontrol edilebilen faktörlerin en iyi kombinasyonunun belirlenmesi ile minimumuma indirilmesi demek, üretim işlemi sırasında ve üretim öncesindeki adımlarda çarpılmaya neden olabilecek olan hatalardan kaynaklanan tüm çarpılma problemlerini aynı anda minimize etmek demektir. Bu nedenle çoğu araştırmada yapıldığı gibi çarpılma işlemini sadece üretim sürecinde optimize etmeye çalışmak yanlış bir yaklaşımdır.

Şekil 7.27’de enjeksiyon parametrelerinin çekme üzerindeki etkileri görülmektedir. İkinci bölümde anlatıldığı gibi plastik malzemelerin termal genişleme katsayıları yüksektir. Kalıp içerisine gönderilen plastik malzeme soğuk kalıp boşluğu

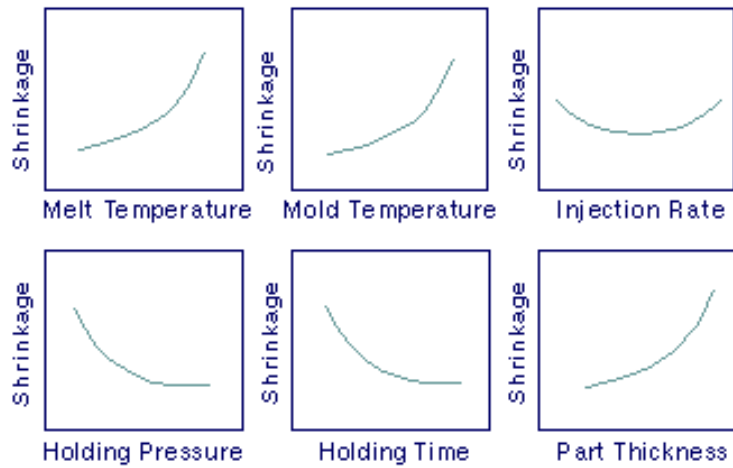
yüzeyi ile temas ettiğinde ısı transferi yaparak soğuyup katılaşır. Bu nedenle sıcaklık farkının yüksek olması büzülme oranının yüksek olmasına neden olacaktır. Aşırı yüksek erime sıcaklıkları kullanılarak kalıplanan plastik malzemelerde girişler tutma basıncı tamamlandığında henüz donmamış olabilir. Bu durumda malzeme cidar kalınlığının ortasında bulunan ve hala akışkan halindeki malzeme girişten yolluğa doğru geriye akabilir ve bu nedenle parçada çarpılmalar meydana gelebilir. Sıcaklığın alt sınırı girişlerle yakından ilgilidir. Düşük sıcaklıklarda girişler daha kısa sürede donduğundan plastik malzeme kalıp boşluğunu zar zor doldurabilmektedir ve sıkıştırma işlemi tam olarak yapılamamaktadır. Bunun sonucunda çarpılmalar oluşabilmektedir.

Optimum enjeksiyon hızında artış ve azalış yönünde meydana gelen değişiklikler çekme miktarında artışlara neden olacaktır. Düşük enjeksiyon hızındaki akışlarda akış sırasında kalıp cidarı ile temas eden yüzeylerde meydana gelen donmuş malzeme kalınlığı kalıp boşluğunda hızlı akan malzemeye oranla daha büyüktür. Bu nedenle akış kesitinin küçülmesi plastik malzemenin kalıp boşluğuna sürülmesi sırasında girişte uygulanan basıncın, girişten uzak noktalara iletilmesi sırasında basınç kayıplarına neden olacaktır. Bu nedenle yeterince sıkıştırılamayan bölgelerde bölgesel çekme farklılıkları ve çarpılmalar meydana gelecektir. Enjeksiyon hızının yüksek olması, akışkan malzemenin girişten kalıp boşluğuna akması sırasında malzeme moleküllerinin küçük bir delikten birbirlerine ve giriş çevresindeki metale yüksek hızda sürtünerek akmasına neden olduğu için kalıp boşluğuna akan plastik malzemenin sıcaklığında artışa neden olacaktır. Kalıp boşluğu ve erimiş malzeme sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkındaki artış termal gerilmeleri ve çekme miktarını artıracığı için çarpılmayı artırıcı yönde etkileyecektir.

Enjeksiyon işlemi sırasında soğuk kalıp boşluğu yüzeyi ile temas eden erimiş plastik malzemenin hacminde çekme nedeniyle azalma görülmektedir. Bölüm ikiden de hatırlanacağı gibi plastik malzemeler sıkıştırılabilir malzemelerdir. Bu nedenle tutma işlemi sırasında plastik malzeme eğer yeterince yüksek basınçla kalıp içerisine sıkıştırılabilirse molekül zincirlerinin arasındaki boşluklar azalacak ve soğuma sırasında moleküller arasında yeterince boşluk olmadığı için çekme miktarında

azalma meydana gelecektir. Aynı şekilde tutma süresinin artması giriş donuncaya kadar uygulanan basıncın etkisinin kalıp boşluğunda devam etmesini sağlayacaktır. Bu nedenle genel anlamda tutma basıncının ve süresinin artışı kalıplanan parçanın çekmesini ve çarpılmasını azaltıcı yönde etki etmektedir.

Kalıp sıcaklığı: kalıp soğutma sistemi tasarımı, soğutucu akışkanın sıcaklığı, cinsi, debisi ve soğutma süresi ile yakından ilişkilidir. Kalıp sıcaklığının artması soğuma için gerekli süreyi artırmakta ve basılan ürün kalıp dışına çıkarıldığında malzeme ve çevre koşulları arasındaki sıcaklık farkının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kalıp sıcaklığındaki artış çekme ve çarpılmayı artırıcı yönde etki etmektedir.



Şekil 7.27 Enjeksiyon parametrelerinin çekme üzerindeki etkileri, (CMOLD programı yardım dokümanı).

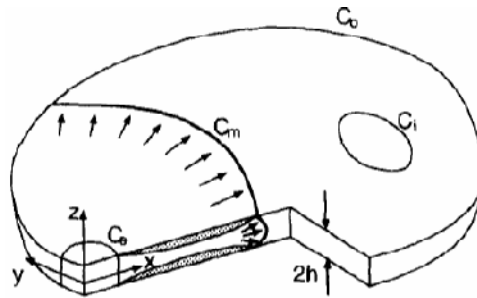
Yukarıda anlatılan faktörlerin dışında üretim ortam sıcaklığı, Ortamdaki nem miktarı, Ortamda meydana gelen hava akımı ve makina donanımındaki hatalarda çarpılmayı etkileyen fakat kontrol edilmesi zor olan faktörlerdir.

7.3 Plastik Parçalarda Meydana Gelen Çarpılma Üzerine Yapılan Araştırmalar

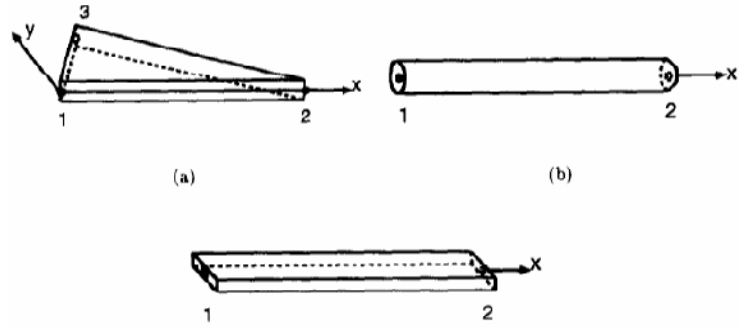
Plastik enjeksiyonla üretilen parçalarda en sık rastlanan ve kontrolü en zor olan hata çarpılma değildir. Çarpılma problemine neden olan sebepler yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı gibi çok sayıda ve birbirlerinin etkilerini artıracak veya azaltacak yönde

etkileşim içerisindedirler. Bu sebepler çarpılma problemini kompleks bir problem haline getirmektedir. Bu kompleks problemi etkileyen faktörlerin belirlenmesi, faktörlerin etkilerinin araştırılması ve bu faktörlerin problemi azaltmak için nasıl kullanılacağına dair çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

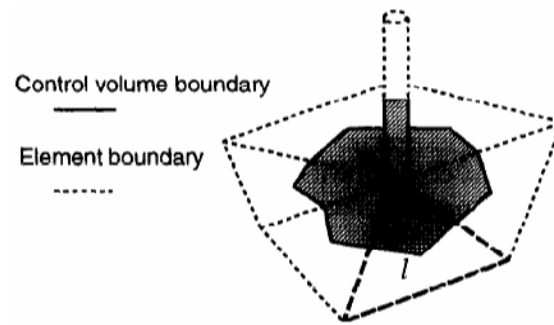
Han ve Im (1997), plastik enjeksiyon yöntemi ile kalıplanmış parçalarda meydana gelen çekme, çarpılma ve mekanik özellikleri tahmin etmek için enjeksiyon işleminin gelen akış bölümünde meydana gelen olayların bilinmesi gerektiğini vurgulamış, dolum ve dolum sonrasında meydana gelen olayların tahmin edilmesi için bir analiz programı geliştirmişlerdir. Kalıplama koşullarının gerçeğe uygun olarak modellenebilmesi için Newton akışı olmayan akış modellerinden Hell-Saw modelini kullanmışlardır. Bu modelin kullanılmasıyla plastik malzemenin sıkıştırılabilir ve faz değişimi etkilerinin dikkate alındığı belirtilmiştir. Çözüm tekniği olarak sonlu elemanlar, sonlu fark ve kontrol hacmi tekniği kullanılmıştır. Araştırmacılar, geliştirdikleri programdan elde edilen sonuçların doğrulanmasını deneysel sonuçlar ile karşılaştırarak yapmışlar ve geliştirdikleri programın faz değişimi etkileri dikkate alındığında dolum ve dolum sonrasında meydana gelen olayların tahmin edilmesinde güvenilir olduğunu belirtmişlerdir.



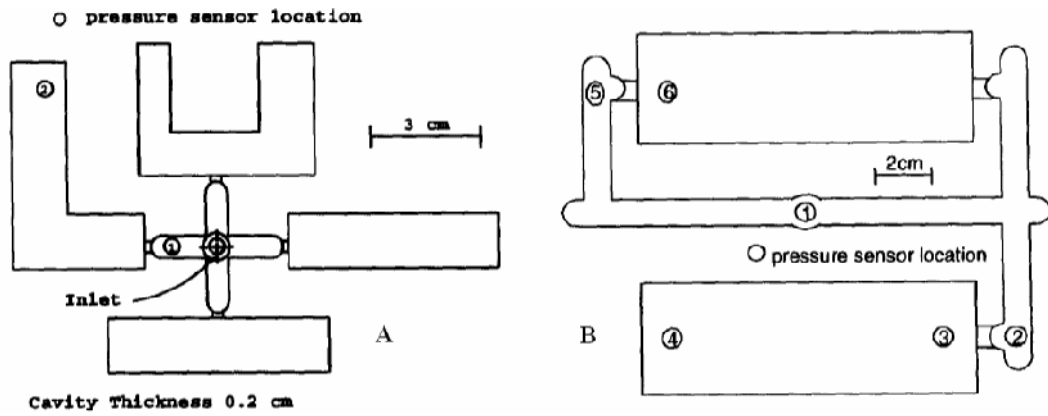
Şekil 7.28 Kalıp içerisindeki akışın şematik gösterimi (Han ve Im, 1997).



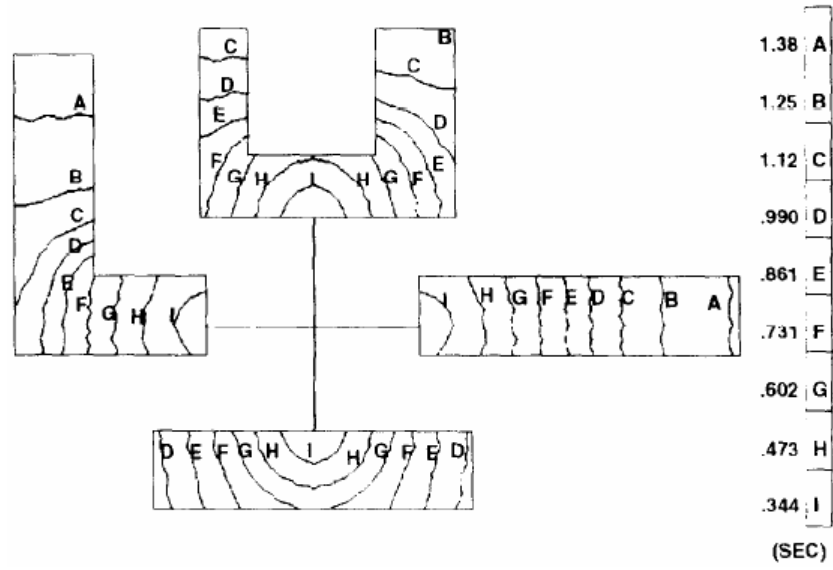
Şekil 7.29 Analizde kullanılan üçgensel, silindirik ve dikdörtgensel lineer sonlu elemanlar (Han ve Im, 1997).



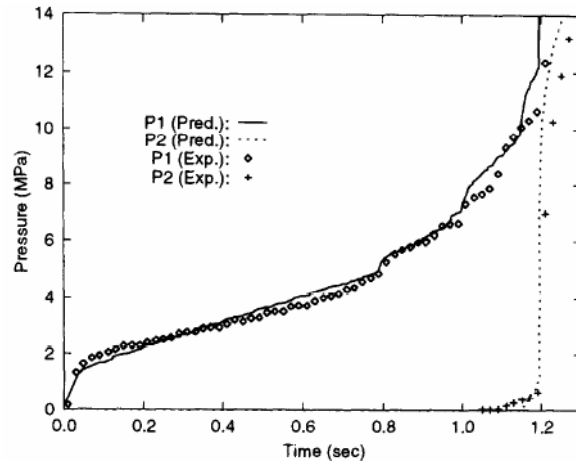
Şekil 7.30 Kontrol hacmi ve eleman sınırları (Han ve Im, 1997).



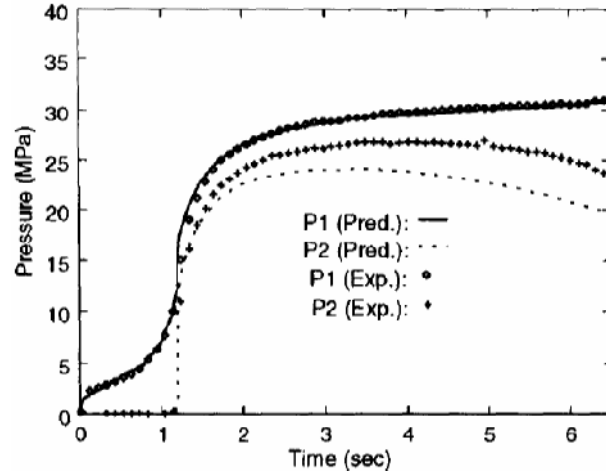
Şekil 7.31 Analiz sonuçlarının doğrulanması için oluşturulmuş iki kalıp modeli ve yuvarlaklar içerisinde rakamlar ile gösterilen basınç sensörü yerleştirme noktaları (Han ve Im, 1997).



Şekil 7.32 A Kalıbı içerisinde dolum sırasında meydana gelen akışın zamana göre değişim tahmini (Han ve Im, 1997).

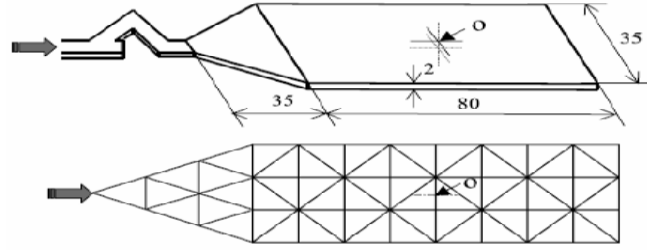


Şekil 7.33 A kalıbı içerisinde dolum sırasında programdan elde edilen tahmini basınç değerleri ve sensörlerden okunan gerçek basınç değerlerinin karşılaştırılması (Han ve Im, 1997).

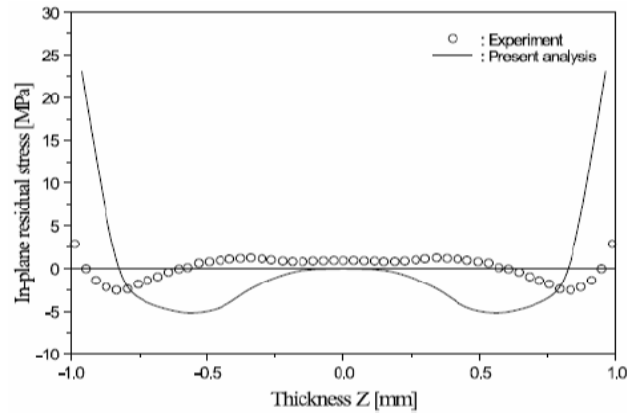


Şekil 7.34 A kalıbı içerisinde dolum ve dolum sonrası programdan elde edilen tahmini basınç değerleri ve sensörlerden okunan gerçek basınç değerlerinin karşılaştırılması (Han ve Im, 1997).

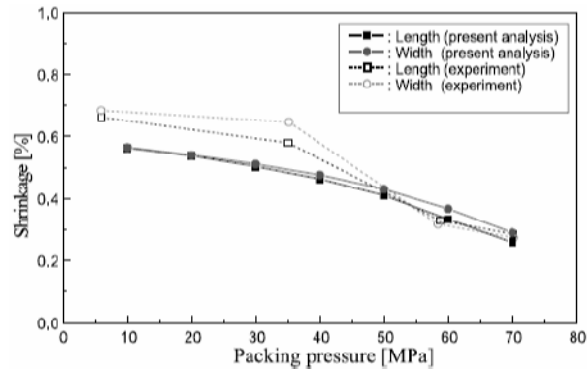
Choi ve Im(1999), plastik enjeksiyonla üretilmiş amorf parçalarda meydana gelen çekme ve çarpılmanın nümerik analizi için, plastik enjeksiyon yönteminin tutma ve soğutma fazında meydana gelen artık gerilmeleri dikkate almıştır. Analiz için üç boyutlu elastik lineer sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Choi ve Im(1999), Enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş parçaların çarpılmasında en çok tutma ile soğutma safhası ve bu fazlarda meydana gelen yüksek basınç, sıcaklık değişiminin etkili olduğunu belirtmiştir. Choi ve Im geliştirdikleri programdan elde ettikleri analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde literatürlerinde bulunan gerçek deney sonuçlarını kullanmışlardır. Karşılaştırma sonucunda analiz programından elde edilen artık gerilme profili ve gerçek deneyler sonrasında elde edilen artık gerilme profili tam olarak çakışmamakla birlikte çekme ve çarpılma analizleri için uygun olduğu ve karmaşık modellerde kullanılabileceği belirtilmiştir.



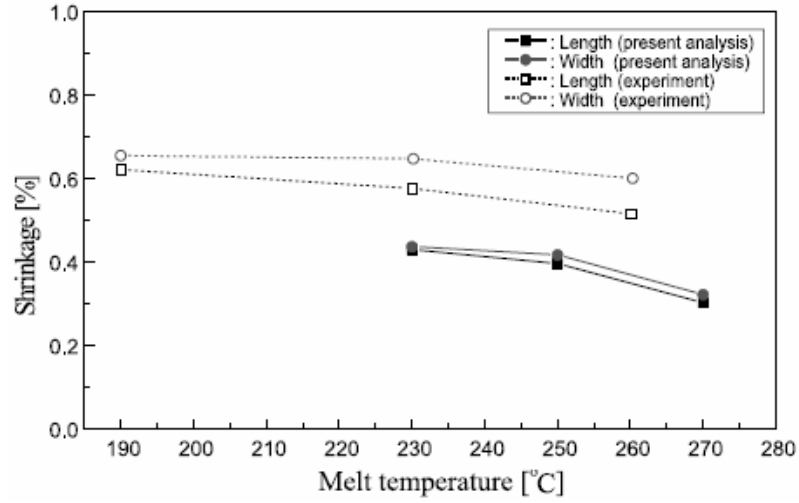
Şekil 7.35 Analizde kullanılacak parça ve parçanın sonlu elemanlara bölündükten sonraki görünümü (Choi ve Im, 1999).



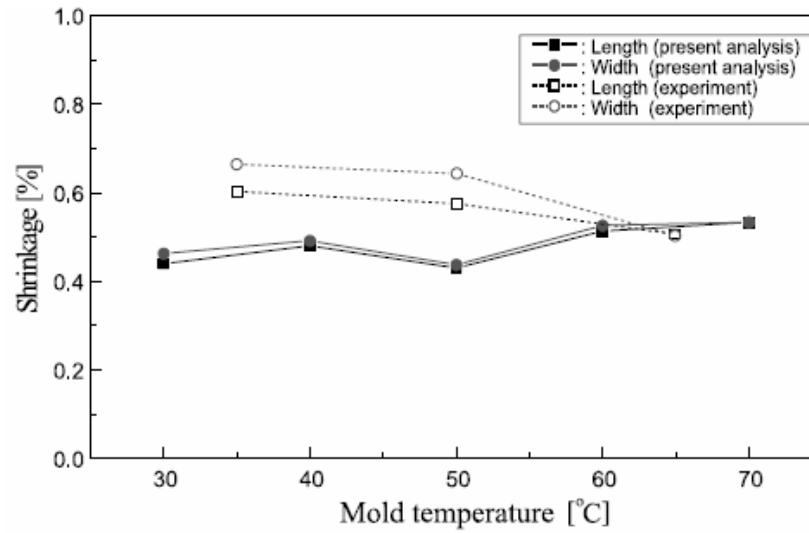
Şekil 7.36 Parça kalınlığında meydana gelen artık gerilmelerin bilgisayar analizi sonuçları ile gerçek deney sonuçlarının karşılaştırılması (Choi ve IM, 1999).



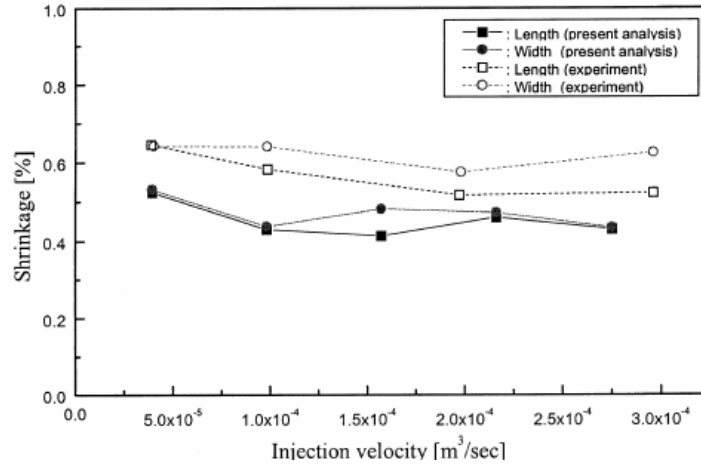
Şekil 7.37 PS malzemenin tutma basıncının çekme üzerindeki etkilerinin bilgisayar analizi ve gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılması (Choi ve Im, 1999).



Şekil 7.38 PS malzemenin tutma erime sıcaklığının çekme üzerindeki etkilerinin bilgisayar analizi ve gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılması, (Choi ve Im, 1999).

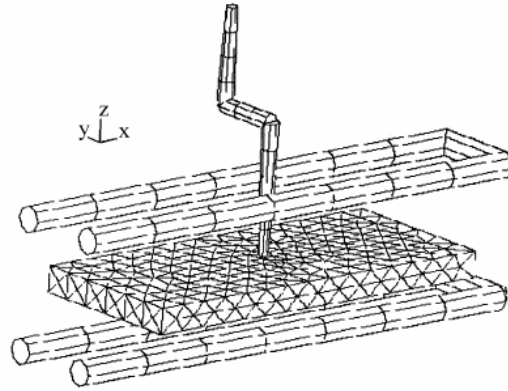


Şekil 7.39 PS malzemenin şekillendirildiği kalıp sıcaklığının çekme üzerindeki etkilerinin bilgisayar analizi ve gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılması (Choi ve Im, 1999).



Şekil 7.40 PS malzemenin enjeksiyon hızının çekme üzerindeki etkilerinin bilgisayar analizi ve gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılması (Choi ve Im, 1999).

Haung ve Tai (2001), iletişim ve elektronik ürünlerinde meydana gelen teknolojik gelişmelere paralel olarak bu ürünlerin incelik, hafifleyip, küçüldüğünü ve bu eğilimin beraberinde tasarımlarda kullanılan plastik malzemelerin kesitlerinin azaltılarak hem iç hacmin genişletilmesi hem de hafiflik sağlanması ihtiyacını beraberinde getirdiğini belirtmiştir. Bu nedenle ince kesitli plastik malzemelere ihtiyacın gün geçtikçe artacağı ve bu ürünlerin enjeksiyon yöntemi ile üretilmesinin giderek daha da artan bir öneme sahip olacağı belirtilmiştir. Haung ve Tai (2001), ince kesitli parçaların enjeksiyonla üretiminde çarpılmaya etki eden: kalıp sıcaklığı, erimiş malzeme enjeksiyon sıcaklığı, dolum süresi, giriş ölçüleri, tutma basıncı, tutma süresi faktörlerinin üç seviyeli etkilerini Taguchi L27 deney tasarımı ve C-Mold programı analiz sonuçlarını kullanarak araştırmıştır. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre tutma basıncının %15,59 ile çarpılma üzerinde en büyük etkide bulunan faktör olduğu belirlenmiş ve bunu %12,14 ile kalıp sıcaklığı, % 10, 76 ile erime sıcaklığı, %9.61 ile tutma süresinin takip ettiği belirtilmiştir. Araştırma sonuçları enjeksiyon süresi ve giriş ölçülerinin çarpılma üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı göstermektedir. Haung ve Tai (2001), deney parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde Taguchi metodunun oldukça etkili bir metot olduğunu belirtmiştir.



Factors	Levels		
	1	2	3
Mold temperature, x1 (°C)	55	70	85
Melt temperature, x2 (°C)	240	265	290
Filling time, x3 (s)	0.1	0.3	0.5
Gate dimension, x4 (mm)	0.8	1	1.2
Packing pressure, x5 (MPa)	60%	75%	90%
Packing time, x6 (s)	0.6	0.8	1

Şekil 7.41 Tai ve Haung (2001), tarafından CMOLD programı çarpılma analizi için kullanılan sonlu elemanlara bölünmüş model, deneyde kullanılacak faktörle ve seviyeleri.

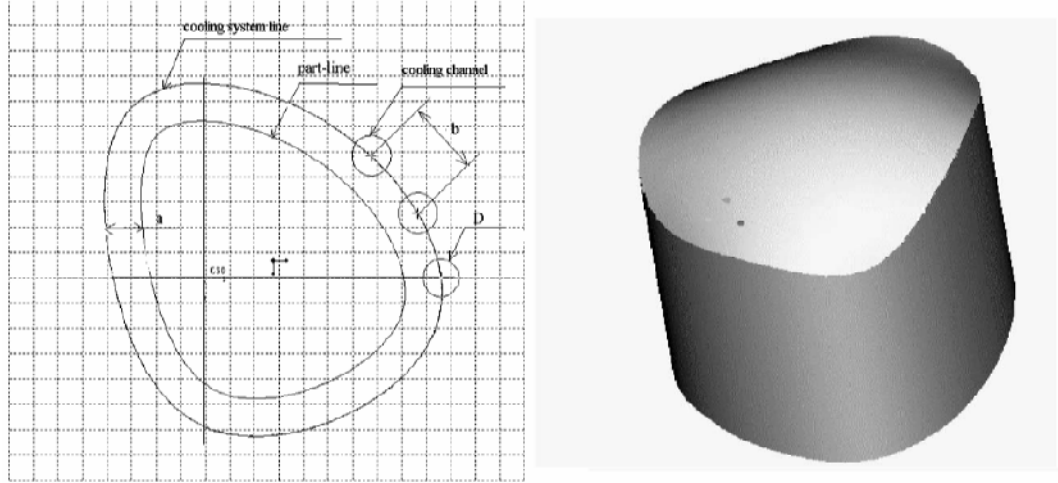
Tablo 7.1 Analiz sonuçları (Tai ve Haung, 2007).
Analysis of variance

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean of square	F_0	$F_{0.05}$	SS'	Percent sum of squares
x1	0.063	2	0.0315	6.18 ^a	3.7389	0.0528	12.14
x2	0.057	2	0.0285	5.59 ^a	3.7389	0.0468	10.76
x3	0.011	2	0.0055	1.08	3.7389		
x4	0.003	2	0.0015	0.29	3.7389		
x5	0.078	2	0.0390	7.65 ^a	3.7389	0.0678	15.59
x6	0.052	2	0.0260	5.10 ^a	3.7389	0.0418	9.61
x1 × x2	0.113	4	0.0285	4.92 ^a	3.1122	0.1028	23.63
x2 × x3	0.022	4	0.0055	1.08	3.1122		
<i>e</i>	0.036	6	0.006				
Total	0.435	26				0.435	100.0
Pooled <i>e</i>	0.072	14	0.0051			0.123	28.27

^a Significant items.

Lin (2002), çalışmasında enjeksiyon işleminin en uzun safhasının soğutma safhası olduğunu ve bu safhadaki parametrelerin çarpılma işlemini yakından etkilediğini belirtmiştir. Araştırmacı, soğutma sistemi ile ilgili olarak soğutucu kanal çapı, soğutucu kanalların kalıp boşluğundan uzaklığı ve soğutucu kanalların birbirleri

arasındaki mesafe parametrelerinin optimizasyonu ile enjeksiyon işleminin soğutma safhasının kısaltılabileceğini ve parçada meydana gelen çarpılmanın azaltılabileceğini belirtmiştir. Lin (2002), çalışmasında optimizasyon işlemi için simulated annealing optimization algorithm yöntemini kullanmıştır.

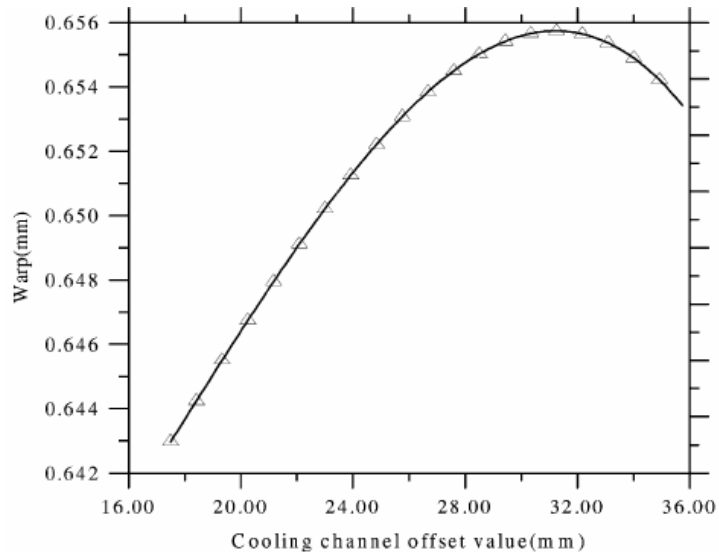


Şekil 7.42 Soğutma sisteminin optimizasyonunda kullanılmış olan soğutma sistemi ölçüleri ve katı model (Lin, 2002).

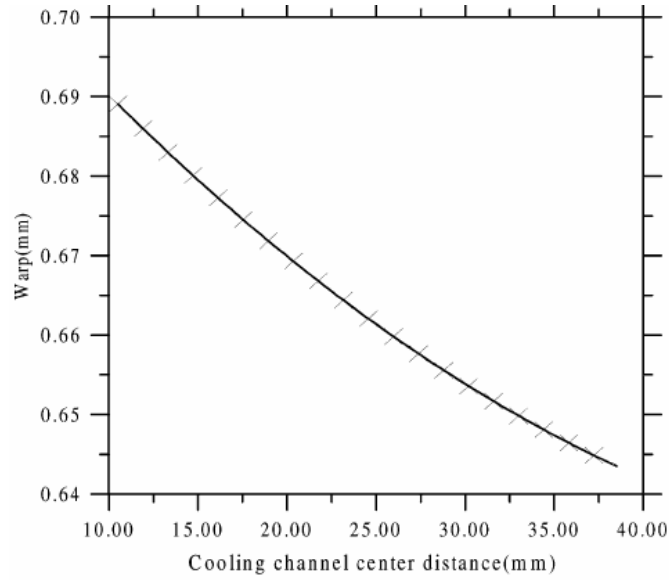
Tablo 7.2 Soğutma sistemi parametreleri ve maksimum çarpılma değerleri (Lin 2002).

Cooling system parameters and the maximum warpage relationship

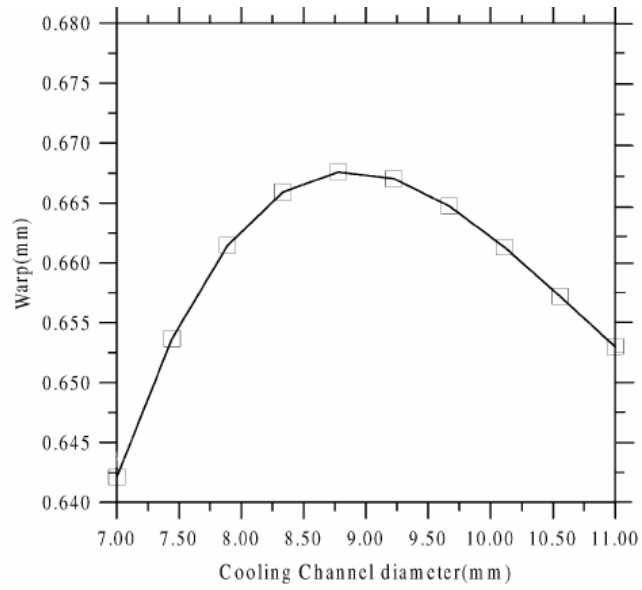
Set No.	Parameter a (mm)	Parameter b (mm)	Diameter d (mm)	Maximum warpage (mm)
1	15.75	10.5	7	0.6989
2	15.75	17.5	7	0.6762
3	15.75	24.5	7	0.6606
4	19.25	14	7	0.6885
5	22.75	10.5	7	0.7047
6	22.75	17.5	7	0.650
7	22.75	24.5	7	0.6636
8	20	12	8	0.6919
9	20	20	8	0.6721
10	20	28	8	0.6562
11	24	16	8	0.6790
12	24	24	8	0.6640
13	24.75	16.5	11	0.6821
14	24.75	27.5	11	0.6574
15	24.75	38.5	11	0.6466
16	30.25	22	11	0.6698
17	30.25	33	11	0.6500
18	35.75	16.5	11	0.6770
19	35.75	27.5	11	0.6555
20	35.75	38.5	11	0.6436
21	20.25	13.5	9	0.6923
22	20.25	22.5	9	0.6633
23	20.25	31.5	9	0.6560
24	24.75	18	9	0.6773
25	24.75	27	9	0.6617
26	29.25	22.5	9	0.6605
27	29.25	31.5	9	0.6554
28	25	15	10	0.6825
29	25	25	10	0.6610
30	25	35	10	0.6484
31	30	20	10	0.6680
32	30	30	10	0.6534



Şekil 7.43 Analizler sonucunda elde edilen ve soğutma kanalının kalıp boşluğuna olan yakınlığının çarpılmaya olan etkisi (Lin, 2002).



Şekil 7.44 Analizler sonucunda elde edilen, soğutma kanalları merkezleri arasındaki uzaklığın çarpılmaya olan etkisi (Lin, 2002).



Şekil 7.45 Analizler sonucunda elde edilen, soğutma kanalı çapının çarpılmaya olan etkisi (Lin, 2002).

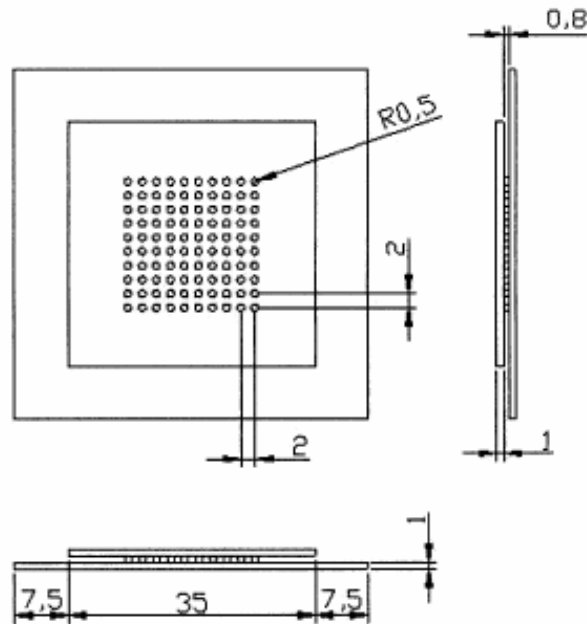
Shen, Liao ve Zhao (2004), Enjeksiyon yöntemi ile entegre devrelerin üzerinin kaplanması plastik enjeksiyon yönteminin ekonomik bir yöntem olduğu için sıklıkla kullanıldığını belirtmiştir. Shen ve diğer. (2004), enjeksiyon işlemi sonrasında entegre devrelerde meydana gelen çarpılmayı analiz etmek için sonlu

elemanlar yöntemi ile analiz yapan ANSYS programını ve Taguchi L16 deney tasarımı kullanarak etkili faktörleri belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, entegre devrelerin enjeksiyon sonrası çarpılmasında en önemli parametrenin kalıp sıcaklığı olduğunu ve tek taraftan girişin daha az çarpılmaya sebep olduğu belirtilmiştir.

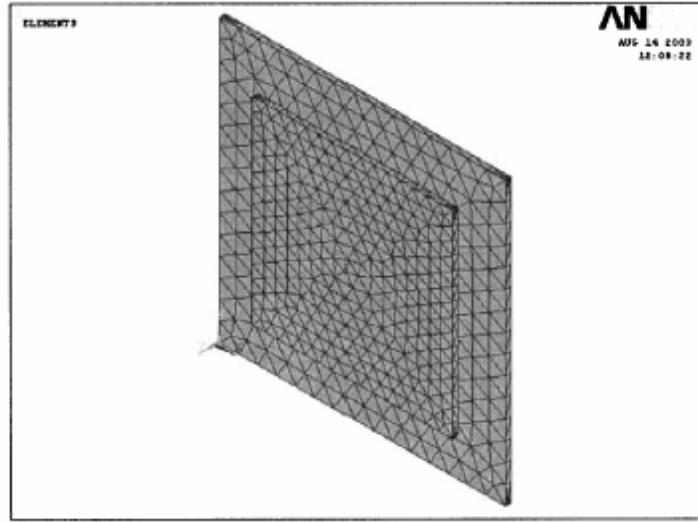
Tablo 7.3 Çiplerin enjeksiyon yöntemi ile kaplanmasında kullanılan enjeksiyon parametreleri ve seviyeleri (Shen ve diğer., 2004).

The levels of operating parameter for flip chip package.

Index	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3	LEVEL4
A-Mode of Gate	Central point	One line	L line	U line
B-Mold Temp.	180(°C)	170(°C)	160(°C)	150(°C)
C-injection Time	7(sec)	5(sec)	3(sec)	1(sec)
D-Melt Temp.	60(°C)	50(°C)	40(°C)	30(°C)
E-injection Press.	20(MPa)	15(MPa)	10(MPa)	5(MPa)



Şekil 7.46 Çip geometrisi (Shen ve diğer., 2004).



Şekil 7.47 Çip geometrisinin bilgisayar destekli analiz için sonlu elemanlara bölünmüş şekli (Shen ve diğer., 2004).

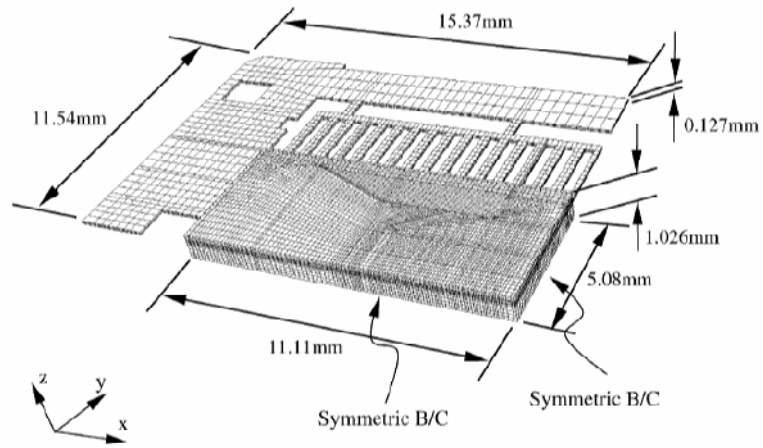
Tablo 7.4 Analiz sonuçları, (Shen ve diğer., 2004).

EXP.	Press. (MPa)	Shear rate (1/s)	Temp. (°C)	Velocity(cm/s)
1	0.1502	0.0001~0.0024	74~180	0~0.0002
2	0.1706	0.0003~0.0025	61~170	0~0.0001
3	0.3006	0.0004~0.0028	54~160	0~0.0001
4	0.9840	0.0011~0.0191	37~170	0~0.0029
5	0.0891	0.0004~0.0329	102~180	0~0.0001
6	0.0976	0.0002~0.0477	129~170	0~0.0002
7	0.4643	0.0008~0.1125	67~160	0~0.0008
8	0.3024	0.0003~0.0648	84~150	0~0.0003
9	0.1133	0.0004~0.1516	102~180	0~0.0005
10	0.3380	0.0009~0.2694	63~170	0~0.0009
11	0.1314	0.0004~0.0636	139~160	0~0.0002
12	0.2252	0.0005~0.0349	122~150	0~0.0003
13	0.1098	0.0011~0.2058	71~180	0~0.0015
14	0.0687	0.0002~0.1204	123~170	0~0.0006
15	0.0731	0.0004~0.2475	128~160	0~0.0004
16	0.0797	0.0004~0.2743	134~150	0~0.0004

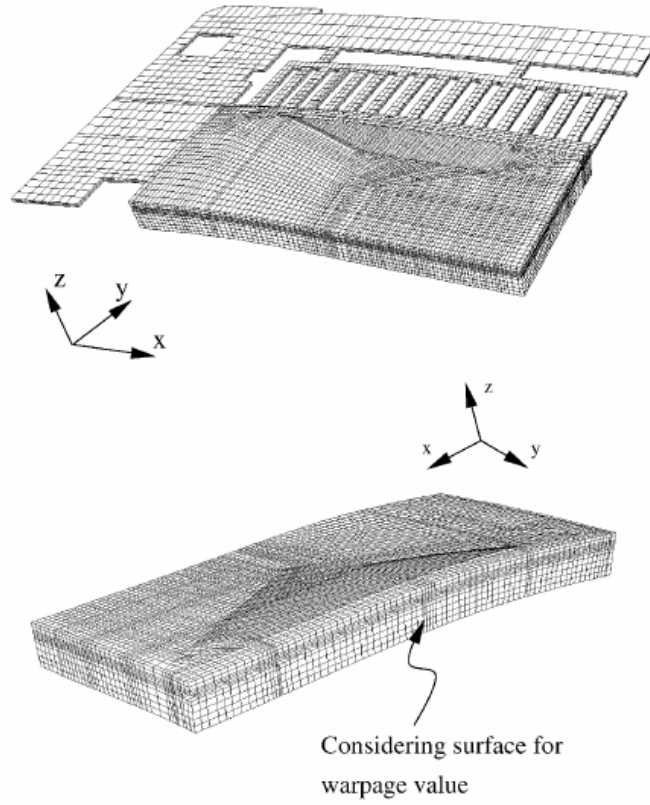
Tablo 7.5 Analiz sonuçları (Shen ve diğer., 2004).

EXP.	Deformation (max. value(m))	Stress Compression (Pa)	Stress Tension (Pa)
1	0.006058	0.144E-6	0.357E+8
2	0.021830	0.143E-6	0.338E+8
3	0.005486	0.138E-6	0.138E+8
4	0.001263	0.145E-6	0.298E+8
5	0.001136	0.114E-6	0.358E+8
6	0.006408	0.145E-6	0.338E+8
7	0.002061	0.110E-6	0.318E+8
8	0.003472	0.735E-7	0.298E+8
9	0.001953	0.108E-6	0.358E+8
10	0.003067	0.164E-6	0.338E+8
11	0.016111	0.149E-6	0.318E+8
12	0.006503	0.892E-7	0.298E+8
13	0.004572	0.123E-6	0.355E+8
14	0.002155	0.652E-7	0.335E+8
15	0.003314	0.619E-7	0.316E+8
16	0.000678	0.154E-6	0.296E+8

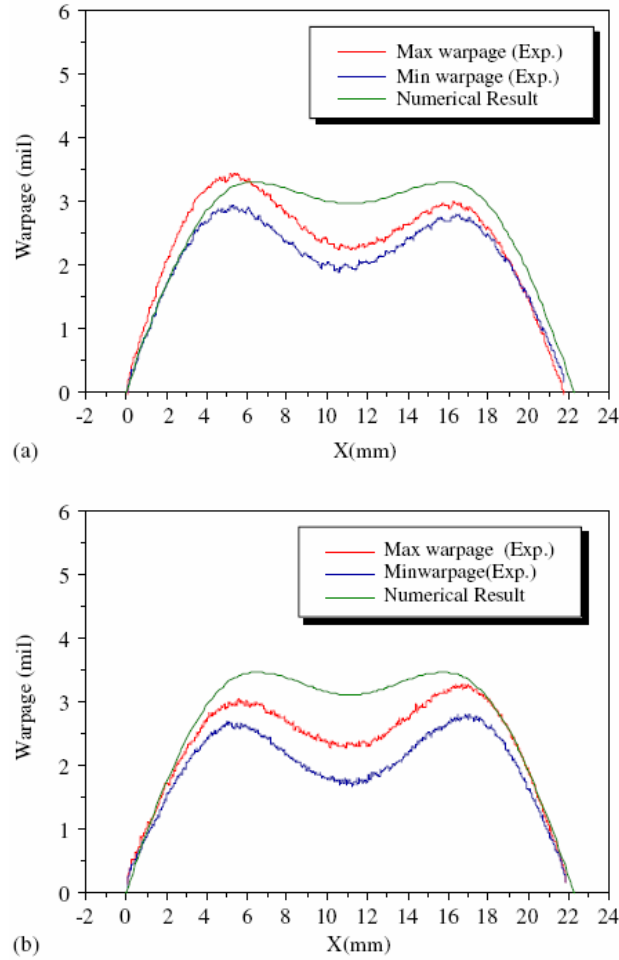
TSOP tipi ince ve küçük enetegre devreler üzerinde yapılan bir diğer çalışma Cho ve Joen (2004)'e aittir. Araştırmacılar TSOP tipi entegre devrelerde epoksi kalıplama sonrası meydana gelen çarpılmanın Young modülü, Poisson oranı, termal genişleme katsayısı ve geometrik yapı gibi malzeme özelliklerinin uyumsuzluğundan meydana geldiğini belirtmiştir. Cho ve Joen (2004), geometrik yapının ve malzeme özelliklerinin optimizasyonu yapılarak çarpılmaların azaltılmasında nümerik analiz yönteminin büyük bir önem taşıdığını vurgulamıştır. Analiz için 256 MB Ram için kullanılan iki tip TSOP'nin sonlu elemanlar yöntemi ile çarpılma analizi yapılmış ve üretim sonrası deneysel çalışmalardan elde edilen çarpılma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları ile elde edilen çarpılma değerleri, gerçek değerlerden daha yüksek değerlerde çıkmış fakat sonuçların entegre devrelerin kaplanmasıda güvenilir olduğunu belirtilmiştir.



Şekil 7.48 Entegre devrenin sonlu elemanlara bölünmüş hali (Cho ve Joen, 2004).



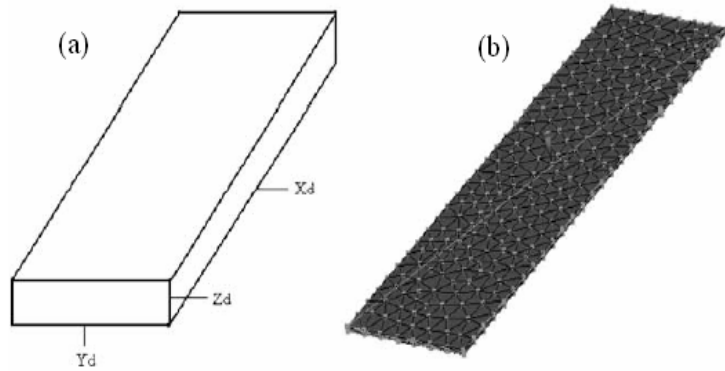
Şekil 7.49 Entegre devrede meydana gelen çarpılma (Cho ve Joen, 2004).



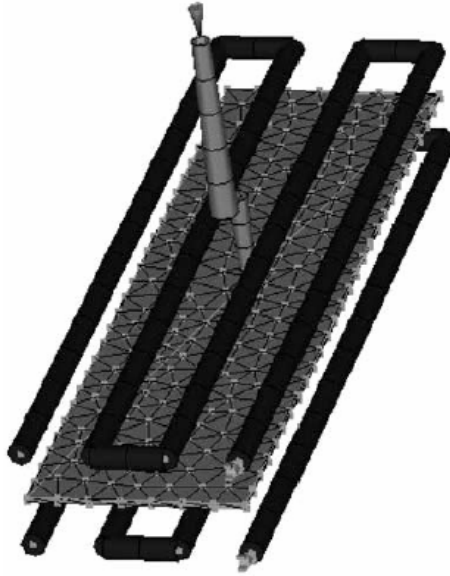
Şekil 7.50 TSOP tip 1(a) ve TSOP tip 2(b) için analiz sonuçları ve çarpılma sonuçlarından elde edilen değerlerin karşılaştırılması (Cho ve Joen, 2004).

Erzurumlu ve Özçelik (2005), ince cidarlı plastik parçaların kullanımının hızla arttığını ve ince cidarlı parçaların enjeksiyon yöntemiyle üretiminin kalın cidarlı parçaların üretiminden daha zor olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılara göre enjeksiyon işlemi sırasında meydana gelen bazı kalite problemleri plastik parçanın tasarımındaki boyutsal ölçülerin oranından kaynaklanmaktadır. Erzurumlu ve Özçelik (2005), ince cidar kalınlığına sahip parçalar üzerinde yeterince çalışma olmadığını var olan çalışmaların içinde optimizasyon ile ilgili olanların çok az miktarda olduğunu belirterek, çalışmalarında çarpılma probleminin optimizasyonu için bilgisayar ortamında yapılan sonlu elemanlar analizlerinden yararlandıklarını ve analizlerde kullanılan parametrelerin kombinasyonunun belirlenmesinde tam faktörlü deneysel tasarım yöntemini kullandıklarını belirtmişlerdir. Sonlu elemanlar fusion

mesh yöntemi ile oluşturulmuştur. Çalışmada parçanın X, Y ve Z ölçüleri çarpılmayı etkileyen ölçüsel parametreler olup kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon süresi gibi parametreler sabit kabul edilmiştir. Çarpılmanın tahmini olarak modellenmesinde yanıt yüzeyi metodolojisi kullanılmış ve optimum işlem parametrelerinin tespitinde genetik algoritma yöntemi ile birleştirilmiştir böylelikle çarpılmada %40,4 lük bir azalma sağlanmıştır.



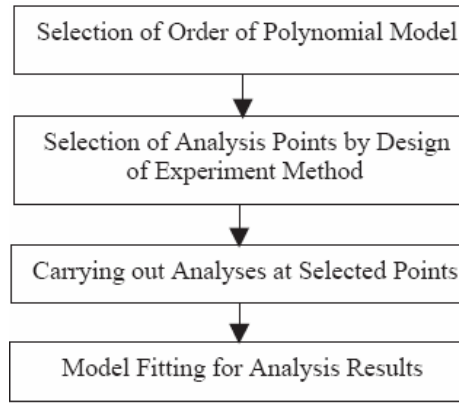
Şekil 7.51 Çarpılma analizi kullanılan parça geometrisi ve sonlu elemanlara bölünmüş parça (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).



Şekil 7.52 Çarpılma analizi kullanılan sonlu elemanlara bölünmüş parça, soğutucu sistemi ve yolluk sistemi (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Tablo 7.6 Bilgisayar destekli çarpılma analizinde kullanılan imalat parametreleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Manufacturing parameters employed in MoldFlow analysis	
Injection time (s)	1.45
Injection pressure (MPa)	85
Packing pressure (MPa)	90
Packing time (s)	10
Cooling time (s)	12
Cooling channel diameter (mm)	6
Between cooling channel's center distance (mm)	18
Number of gate	1
Between cooling channel's (circuit) center and parting surface distance (mm)	10
Cooling channel of only one section departure length (mm)	According to Xd values varies
Water inlet temperature (°C)	20
Water flow/rate (l/min)	2.29
Reynolds number	10,000



Şekil 7.53 Yanıt yüzey modelinin oluşturulma adımları (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Tablo 7.7 Analizlerde kullanılacak işlem parametreleri ve seviyeleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Three factors and three levels			
Factors	Level 1	Level 2	Level 3
Xd	30	85	160
Yd	5	45	85
Zd	0.8	1.2	1.6

Tablo 7.8 Analiz sonuçlarında elde edilen çarpılma değerleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Training data sets blocks				
Experiment no.	Training data sets blocks and results			
	X dimension, Xd (mm)	Y dimension, Yd (mm)	Z dimension, Zd (mm)	Warp (mm)
1	30	5	0.8	0.0977
2	95	5	0.8	0.3017
3	160	5	0.8	0.4978
4	30	45	0.8	0.1737
5	95	45	0.8	0.3063
6	160	45	0.8	0.5101
7	95	85	0.8	0.3871
8	160	85	0.8	0.5411
9	30	5	1.2	0.0990
10	95	5	1.2	0.3106
11	160	5	1.2	0.5011
12	30	45	1.2	0.1758
13	95	45	1.2	0.3491
14	30	85	1.2	0.2905
15	95	85	1.2	0.4173
16	160	85	1.2	0.5578
17	30	5	1.6	0.0995
18	95	5	1.6	0.3160
19	160	5	1.6	0.5062
20	30	45	1.6	0.1766
21	160	45	1.6	0.5227
22	30	85	1.6	0.2917
23	95	85	1.6	0.4201
24	160	85	1.6	0.5699

Check data sets blocks				
Experiment no.	Check data sets blocks and results			
	X dimension, Xd (mm)	Y dimension, Yd (mm)	Z dimension, Zd (mm)	Warp (mm)
1	30	85	0.8	0.2847
2	160	45	1.2	0.5149
3	95	45	1.6	0.3524

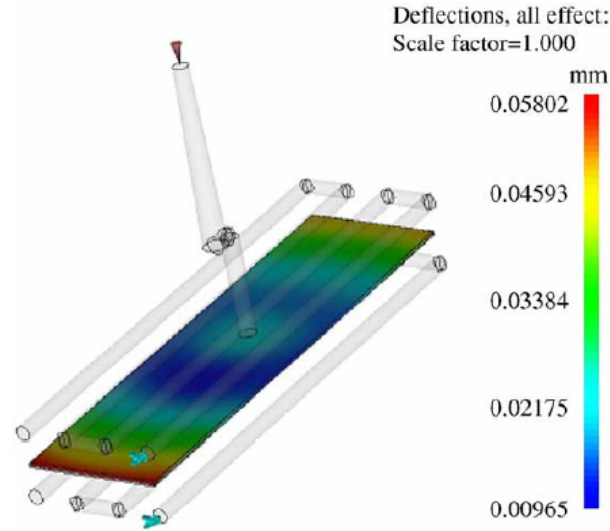
Tablo 7.9 Sonlu elemanlar analizleri ve yanıt yüzeyi sonuçlarından elde edilen çarpılma değerlerinin karşılaştırılması (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Comparison of training data sets results for cubic polynomial function and FE		
Experiment no.	Comparison of training data sets results (mm)	
	FE results	Cubic polynomial function results
1	0.0977	0.0998
2	0.3017	0.2959
3	0.4978	0.5002
4	0.1737	0.1683
5	0.3063	0.3202
6	0.5101	0.5038
7	0.3871	0.3853
8	0.5411	0.5417
9	0.0990	0.1004
10	0.3106	0.3091
11	0.5011	0.5034
12	0.1758	0.1769
13	0.3491	0.3432
14	0.2905	0.2943
15	0.4173	0.4117
16	0.5578	0.5618
17	0.0995	0.0979
18	0.3160	0.3191
19	0.5062	0.5034
20	0.1766	0.1767
21	0.5227	0.5248
22	0.2917	0.2898
23	0.4201	0.4234
24	0.5699	0.5672

Comparison of check data sets results for cubic polynomial function and FE			
Experiment no.	Comparison of check data sets results (mm)		
	FE results	Cubic polynomial function results	Error (%)
1	0.2847	0.2842	0.17
2	0.5149	0.5188	0.75
3	0.3524	0.3574	1.43

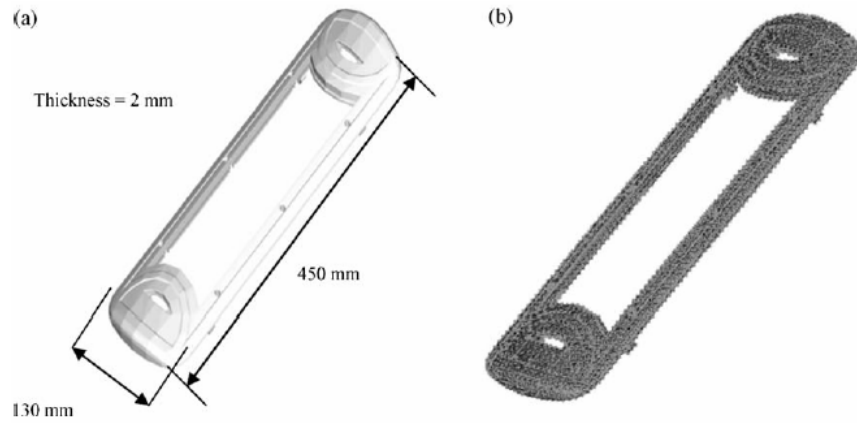
Tablo 7.10 Optimizasyon sonuçları (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Dimension parameters of minimum warpage condition values and after optimization			
	Injection molding process parameters		
	Xd (mm)	Yd (mm)	Zd (mm)
After optimization	30	5	0.9

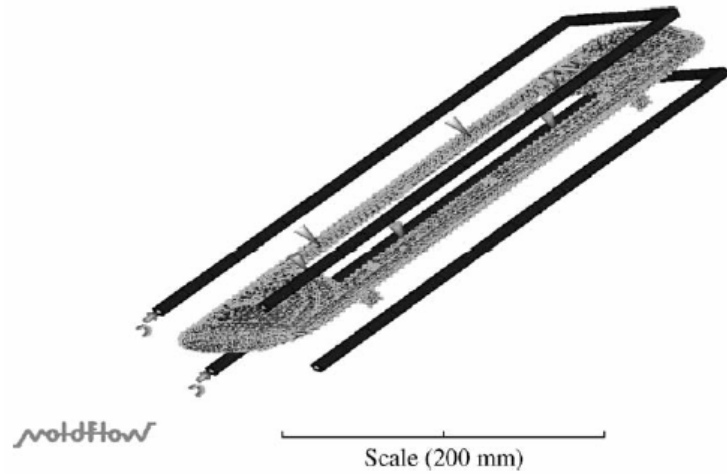


Şekil 7.54 Optimizasyon işlemi sonrasında meydana gelen çarpılma sonucu (Erzurumlu ve Özçelik, 2005).

Kurtaran, Özçelik ve Erzurumlu (2005), Kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, tutma basıncı, tutma basıncı süresi, soğutma süresi parametrelerini sonlu elamanlar, istatistiksel deney tasarımı, yapay sinir ağları ve genetik algoritma yöntemlerinden yararlanarak optimize ederek otobüs tavan lambası gövdesinde meydana gelen çarpılmaları yaklaşık olarak %46,5 oranında azaltmışlardır.



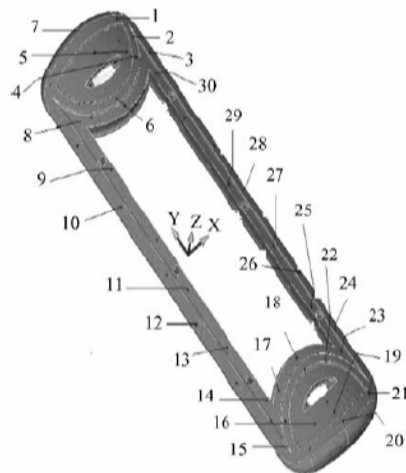
Şekil 7.55 Otobüs tavan lambasına ait (a) katı model ve (b) sonlu elemanlara ayrılmış model (Kurtaran ve diğer., 2005).



Şekil 7.56 Analiz de kullanılan giriş yerleri ve sonlu elemanlara bölünmüş soğutma sistemi (Kurtaran ve diğer., 2005).

Tablo 7.11 İmalat işlemi ve bilgisayar analizinde kullanılan işlem parametreleri (Kurtaran ve diğer., 2005).

Manufacturing parameters employed in MoldFlow analysis	
Injection time (s)	4.74
Injection pressure (MPa)	15
Packing pressure (MPa)	60
Packing time (s)	8
Cooling time (s)	15
Cooling channel diameter (mm)	10
Between cooling channel's center distance (mm)	105
Between cooling channel's center-parting surface distance (mm)	15
Upper inlet water temperature (°C)	45
Lower inlet water temperature (°C)	20
Number of gates	6



(a)



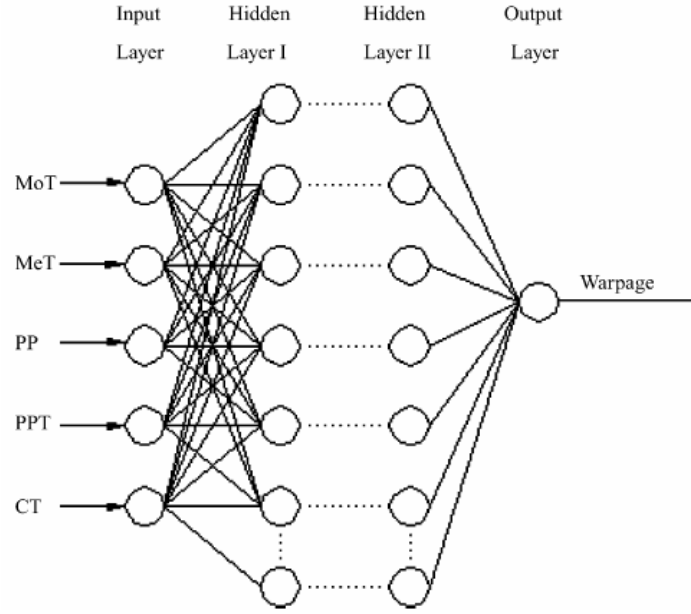
(b)

Şekil 7.57 Ölçüm alınan noktalar, ve ölçüm işlemi (Kurtaran, Özçelik ve Erzurumlu, 2005).

Tablo 7.12 İşlem parametreleri dikkate alınarak yapılan bilgisayar destekli çarpılma analizi sonuçları ve üretilmiş parça üzerinden koordinat ölçüm cihazı ile ölçülen çarpılma değerlerinin karşılaştırılması (Kurtaran ve diğer., 2005).

Comparison of warpage values predicted from FE analyses with those measured on the actual lamp base by CMM

Reference points	Warpage values on reference points (mm)	
	FE analysis	CMM measurement
1	1.420	1.29
2	1.427	1.02
3	0.90	0.83
4	1.905	1.60
5	1.222	1.32
6	0.447	0.51
7	0.86	1.24
8	1.016	1.10
9	2.295	1.74
10	2.173	1.86
11	2.201	1.97
12	2.044	1.64
13	0.443	0.397
14	0.594	0.72
15	2.47	2.43
16	0.99	0.70
17	0.61	0.87
18	1.956	1.42
19	1.407	1.48
20	1.436	1.45
21	0.84	0.60
22	1.102	1.56
23	1.445	1.70
24	1.38	1.35
25	1.076	1.085
26	1.359	1.479
27	1.834	1.80
28	1.457	1.093
29	1.642	1.76
30	1.377	1.076



Şekil 7.58 Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı modeli (Kurtaran ve diğer., 2005).

Tablo 7.13 Optimizasyon işleminden önce ve optimizasyon işleminden sonra referans noktalardan alınan çarpılma değerlerinin karşılaştırılması (Kurtaran ve diğer., 2005).

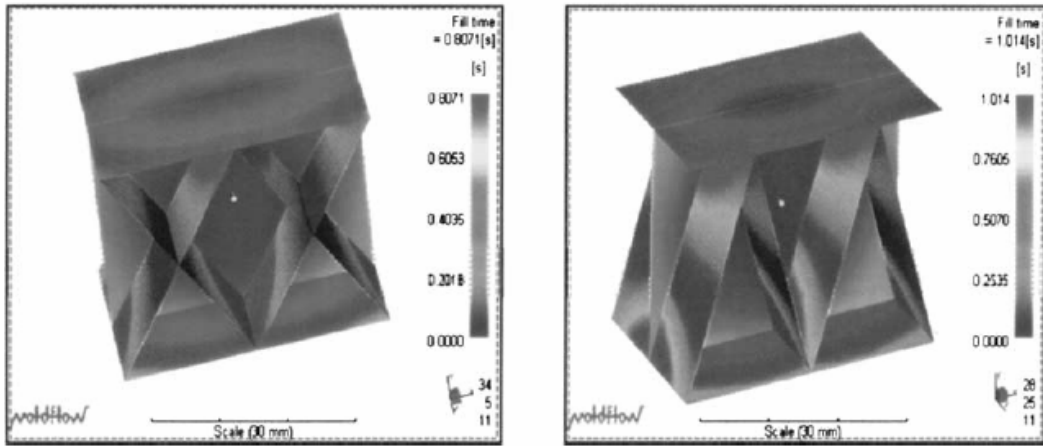
Warpage values at reference points before and after optimization			
Reference points	Warpage values on reference points (mm)		Change in warpage (%)
	Before optimization	After optimization	
1	1.420	1.271	-10.49
2	1.427	1.111	-22.14
3	0.90	1.003	11.44
4	1.905	0.996	-47.72
5	1.222	0.79	-35.35
6	0.447	0.85	90.16
7	0.86	1.373	59.65
8	1.016	1.042	2.56
9	2.295	0.706	-69.24
10	2.173	0.591	-72.80
11	2.201	0.445	-79.78
12	2.044	0.441	-78.42
13	0.443	0.59	33.18
14	0.594	0.88	48.15
15	2.47	1.162	52.96
16	0.99	1.176	18.79
17	0.61	0.857	40.49
18	1.956	0.756	-61.35
19	1.407	1.237	-12.08
20	1.436	1.320	-8.08
21	0.84	1.288	53.33
22	1.102	0.921	-16.42
23	1.445	0.982	-32.04
24	1.38	0.898	-34.93
25	1.076	0.622	-42.19
26	1.359	0.619	-54.45
27	1.834	0.411	-77.59
28	1.457	0.238	-83.67
29	1.642	0.263	-83.98
30	1.377	0.875	-36.46
Maximum value	2.47	1.32	-46.5

Tablo 7.14 Optimize edilen işlem parametrelerinin optimizasyon öncesindeki işlem parametreleri ile karşılaştırılması (Kurtaran ve diğer., 2005).

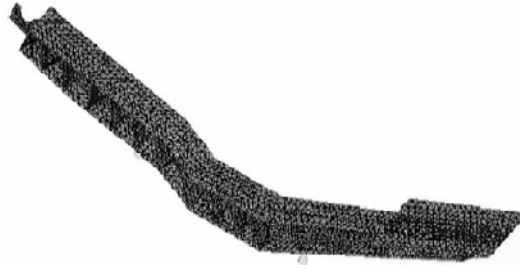
Injection molding process parameters before and after optimization

	Injection molding process parameters				
	MoT (°C)	MeT (°C)	PP (MPa)	PPT (s)	CT (s)
Before optimization	60	240	60	8	15
After optimization	80	269.8	60	7.8	15.1

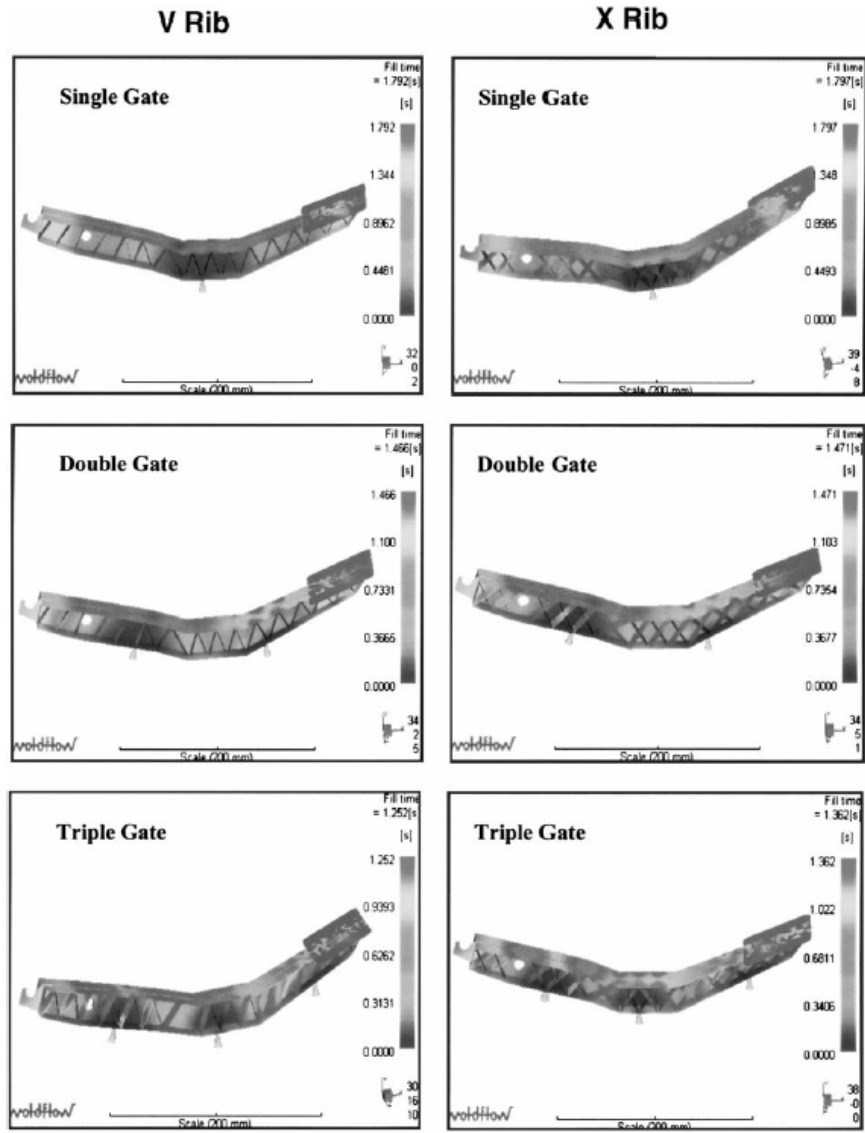
Imihezri, Sapuan, Ahmad ve Sulaiman (2005), çalışmalarında V ve X kaburga profili kullanılmış kompozit debriyaj pedalı tasarımlarına ait, giriş sayısının dolum süresi, basınç, kaynak çizgileri ve sıcaklık üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla bilgisayar destekli analiz çalışması gerçekleştirmiştir. Analizlerde sonlu elemanlar midplane mesh yöntemi ile oluşturulmuştur. Imihezri ve diğer. (2005), analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda V tipi kaburga profiline sahip tasarımın X tipine oranla enjeksiyon süresinin daha kısa olduğu, her iki tasarım tipinde de yüksek basınç düşümü meydana geldiği, iki tasarımda da belirgin bir sıcaklık değişimi olmadığı, giriş sayısının artmasının sıcaklık değişimini azalttığı ve giriş sayısının artmasıyla her iki tipte de balanssız akış meydana geldiği belirtilmiştir.



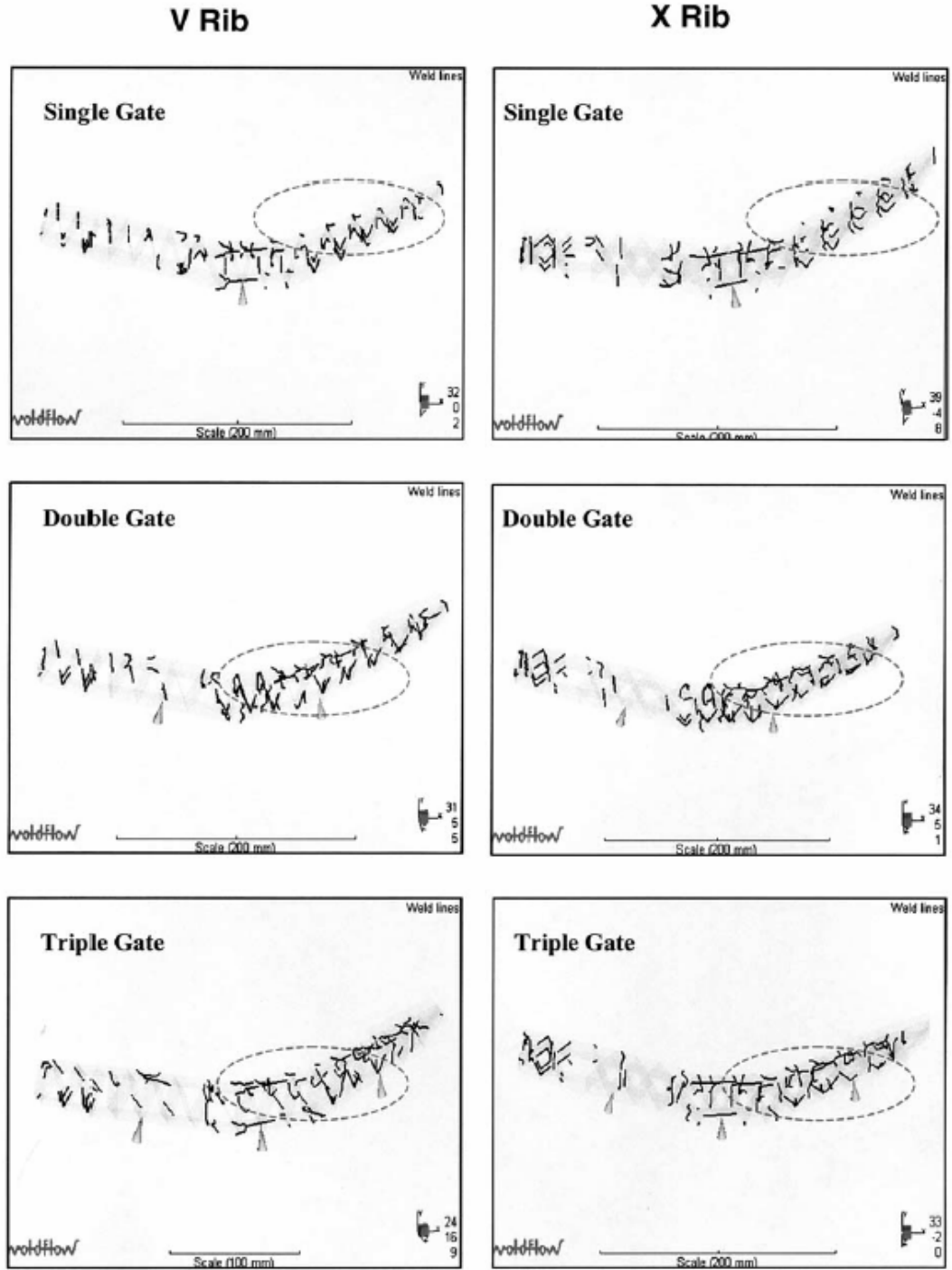
Şekil 7.59 Analiz de kullanılan X ve V kaburga profilleri (Imihezri ve diğer., 2005).



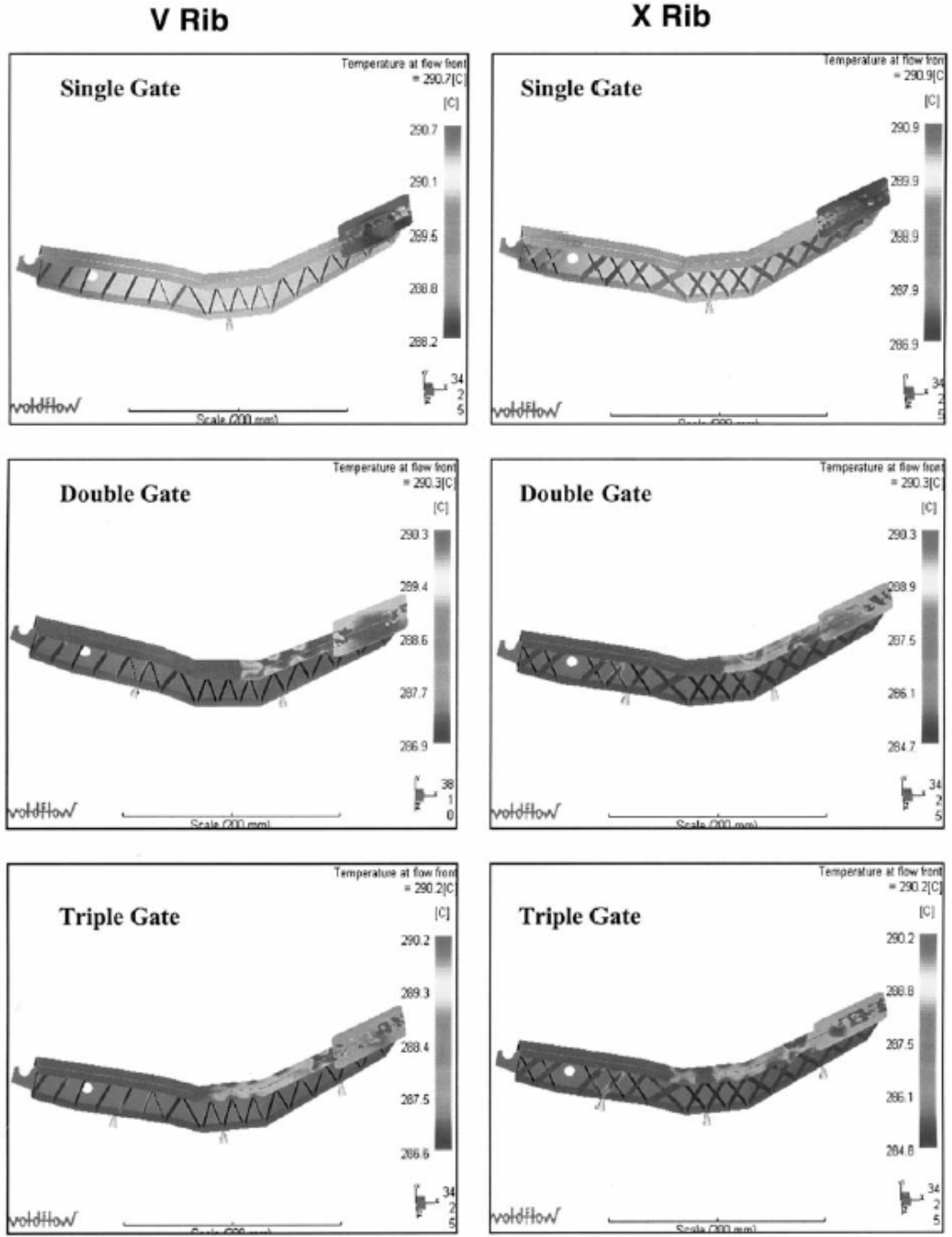
Şekil 7.60 Pedalın sonlu elemanlara bölünmüş geometrisi (İmihezri ve diğer., 2005).



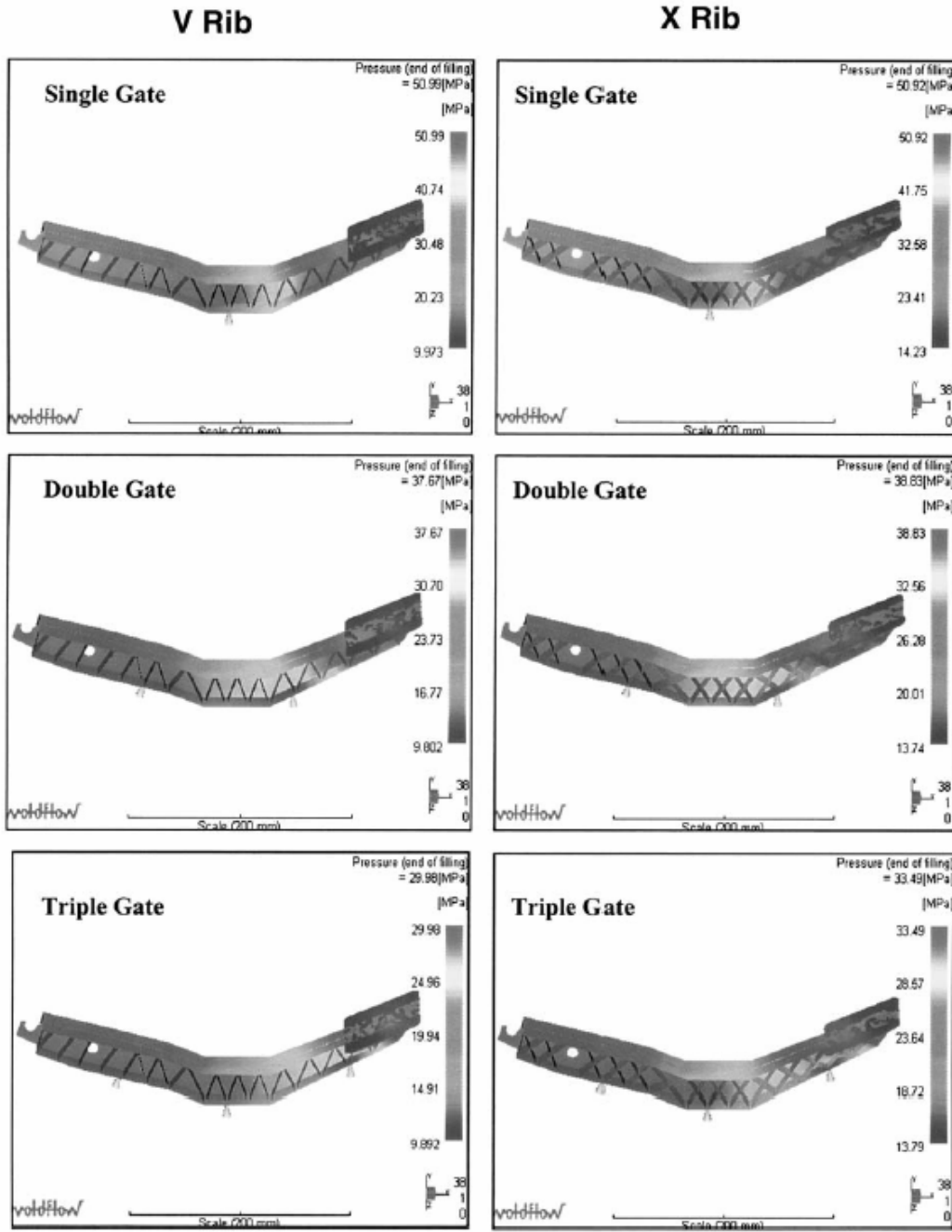
Şekil 7.51 V ve X profilli pedalların giriş sayısının dolum süresi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması (İmihezri ve diğer., 2005).



Şekil 7.52 V ve X profilli pedalların giriş sayısının kaynak çizgisi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması (İmihezri ve diğer., 2005).



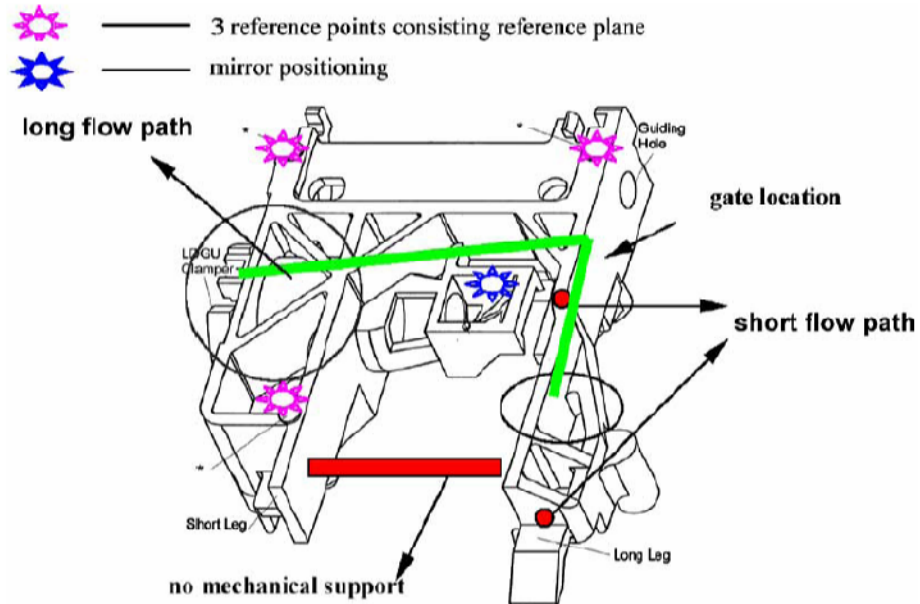
Şekil 7.53 V ve X profilli pedalların giriş sayısının sıcaklık dağılımı üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması (İmihezri ve diğer., 2005).



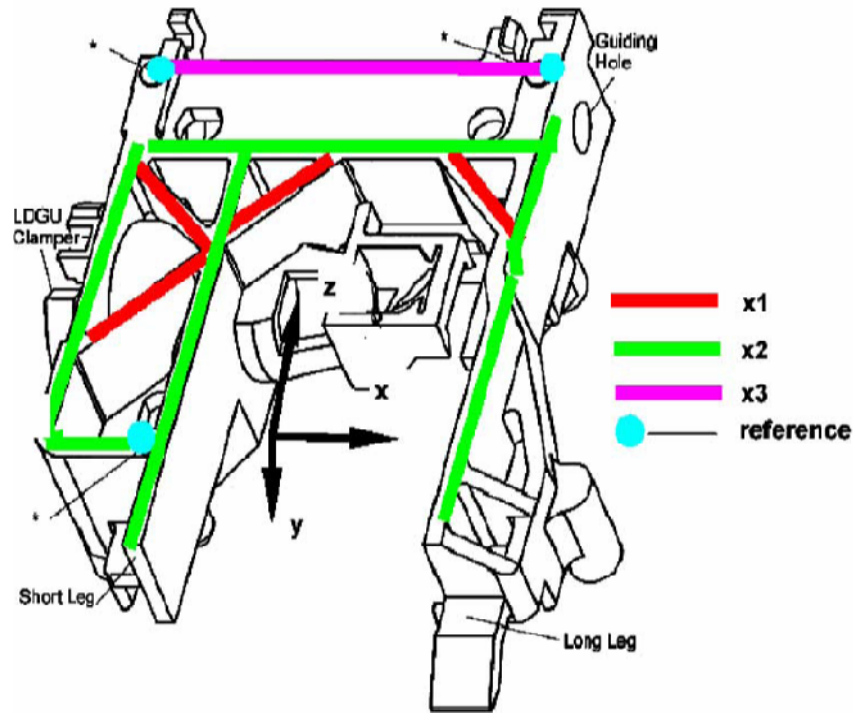
Şekil 7.54 V ve X profilli pedalların giriş sayısının basınç üzerindeki etkisi (İmihezri ve diğer., 2005).

Subramanian, Leon ve Seng (2005), analiz programları ve optimizasyon yöntemlerindeki gelişmeler ile optik CD pikap içine yerleştirildiği yuvanın stabilize ve referans düzleminin ölçüsel tamlığının mikron seviyesinde geliştirilebileceğini belirtmiş ve optimizasyon yöntemi olarak kullanılacak karmaşık optimizasyon metodu için imalat işlem parametrelerinin yanında giriş noktası ve parça üzerindeki

kaburga kalınlığı parametrelerini kullanmışlardır. CD sistemi içerisindeki lazer pikap CD üzerinden bilgi okumak için kullanılmaktadır. Pikap içerisindeki optik yuvanın görevi ise içerisindeki elemanları hizalamak ve yataklık yapmaktır. Subramanian ve diğer. (2005), plastik enjeksiyon işlemi sırasında optik yuvada imalat parametreleri ve parçanın mekanik tasarımı nedeniyle çarpılmanın meydana geldiğini ve bu çarpılmanın sistemin performansı üzerinde büyük bir öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Yuvada meydana gelen çarpılmanın etkili olduğu kritik noktalar uzun bacak ve kısa bacak olarak belirtilen bölgelerdeki kesit birleşmeleri, simetrik olmayan giriş ve mekanik olarak desteklenmeyen yuva boşluğu bölgeleridir. Subramanian ve diğer. (2005), analizler sonucunda şekil 9.39 da yeşille gösterilmiş köprü kaburganın yatay çarpılmada etkili olduğu ve bu kaburganın kalınlığını artırmanın yatayda oluşan çarpılmayı azaltacağını belirtmiştir. Referans düzlemden olan çarpılma yatağın cidar kalınlığı değişimine oldukça duyarlıdır fakat enjeksiyon işlemi parametrelerinden oldukça az etkilenmektedir. Tasarıma ilave çapraz kaburga eklenmesinin referans düzlemin çarpılmasında etkisi yoktur. Kaburga kalınlıklarını artırarak eş zamanlı olarak cidar kalınlıklarını azaltmak referans düzlemden olan çarpılmayı azaltmaktadır.



Şekil 7.55 Çarpılmanın gözlemlendiği kritik bölgeler (kırmızı ile işaretli) (Subramanian ve diğer., 2005).



Şekil 7.56 Kırmızı yeşil ve mor kaburgalar (Subramanian ve diğer., 2005).

Tablo 7.15 Kesit kalınlıklarının çarpılma üzerine etkilerinin CMOLD programı ile analiz sonuçları (Subramanian ve diğer., 2005).

Optical housing shrinkage and warpage analysis by C-MOLD													
Case	Thickness of wall (mm)			Leg displacement (mm)									Remark
				Long leg			Short leg			Relative displacement (mm)			
	x1	x2	x3	dx	dy	dz	dx	dy	dz	(Short leg-long leg)			
				dx	dy	dz	dx	dy	dz	dx	dy	dz	
0	0.7	1	0.9	-0.074	-0.359	-0.275	0.358	0.146	-0.264	0.432	0.505	0.011	Average
1	1.23	1.64	0.98	-0.474	-0.167	-0.265	0.466	-0.23	-0.3	0.94	0.063	0.035	Average(+)
2	1.95	1.75	1.2	-0.419	-0.14	-0.253	0.3713	-0.218	-0.29	0.79	0.078	0.037	Average(+)
3	0.85	1.79	1.69	-0.933	-0.179	-0.251	0.712	-0.192	-0.307	1.645	0.013	0.056	Reject(x)
4	1.4	1.54	0.97	-0.424	-0.131	-0.265	0.404	-0.269	-0.295	0.83	0.138	0.03	Average(+)
5	0.81	1.8	1.37	-0.829	-0.238	-0.248	0.676	-0.177	-0.302	1.506	0.061	0.054	Reject(x)
6	1.7	0.83	0.6	0.223	0.0743	-0.2736	0.0648	-0.18	-0.2929	0.16	0.25	0.02	Better
7	1	1	1	-0.5767	-0.2	-0.2764	0.5034	-0.112	-0.2934	1.08	0.09	0.017	Reject(x)
8	2	0.63	0.6	0.212	0.072	-0.296	0.115	-0.115	-0.332	0.097	0.18	0.036	Best
9	1.6	1	0.9	-0.245	-0.098	-0.27	0.303	-0.129	-0.285	0.548	0.031	0.015	
10	1.8	1	0.9	-0.213	-0.094	-0.266	0.28	-0.006	-0.28	0.493	0.088	0.014	
11	0.7	1	0.9	-0.427	-0.261	-0.28	0.388	-0.014	-0.302	0.815	0.247	0.022	*1
12	0.7	1	0.9	-0.424	-0.267	-0.282	0.423	-0.009	-0.289	0.847	0.258	0.007	*2
13	0.7	1	0.9	0.048	-0.249	-0.271	0.2	0.073	-0.322	0.152	0.322	0.051	*3
14	0.7	1	0.9	-0.46	-0.16	-0.232	0.525	-0.045	-0.314	0.985	0.115	0.082	*4

*1 Extra diagonal rib of thickness 0.7 mm.

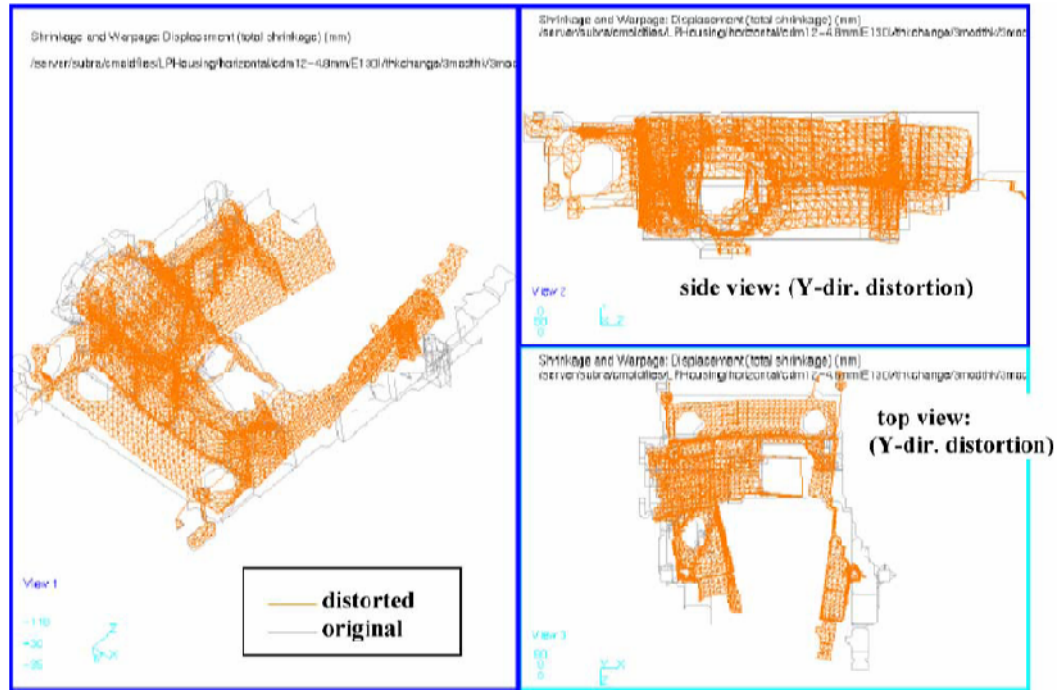
*2 Cross-rib connecting legs-thickness 1 mm.

*3 Bridge rib connecting legs-thickness 1 mm.

*4 Gate relocation to front slotted base.

Tablo 7.16 Çarpılma sonrası meydana gelen deformasyon nedeniyle referans düzlemden sapmalar (Subramanian ve diğer, 2005).

Influence of warpage on reference plane in the optical housing													
Case	Pad no.	Coordinate displacement (mm)								Node no.	Node coordinate (mm)		
		dx	dy	dz	x disp. (mm) improvement		y disp. (mm) improvement		Remarks		x	y	z
0	1	-0.1274	-0.0411	0.2023	0.3612	0	0.1415	0	Original	1806	7.35	4.3	-9.65
	2	0.0763	-0.1769	0.1444						1807	-15.05	4.3	-9.65
	3	0.2338	-0.0354	-0.2197						2169	-9.1	4.99	13.1
6	1	-0.2195	-0.0802	0.1195	0.3352	7.20%	0.14	0	Better	1806	7.35	4.3	-9.65
	2	0.1157	-0.0942	0.1644						1807	-15.05	4.3	-9.65
	3	-0.0356	-0.2329	-0.1448						2169	-9.1	4.99	13.1
8	1	-0.2209	-0.07131	0.1293	0.328	9.20%	0.08	42%	Best	1806	7.35	4.3	-9.65
	2	0.1078	-0.0886	0.1735						1807	-15.05	4.3	-9.65
	3	-0.0162	-0.1534	-0.1589						2169	-9.1	4.99	13.1
3	1	-0.1402	-0.0078	0.1302	0.6792	-88%	0.16	-14%	Worst	1806	7.35	4.3	-9.65
	2	0.1088	-0.1677	0.209						1807	-15.05	4.3	-9.65
	3	0.539	-0.1504	-0.2306						2169	-9.1	4.99	13.1



Şekil 7.57 Subramanian ve diğer. (2005), tarafından yapılan çarpılma analizlerinden bir örnek.

Erzurumlu ve Özçelik (2006), çarpılma ve çökme izlerinin optimizasyonunda işlem parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, tutma basıncına ek olarak kaburga tipi ve yerleştirme açısını kullanmıştır. Çarpılma işleminin optimizasyonunda sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar destekli analiz programı sonuçları ve Taguçi istatistiksel optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Analizler üç farklı malzeme için benzer şekilde gerçekleştirilmiş ve elde edilen analiz sonuçlarına göre, PC/ABS malzeme için çarpılmayı etkileyen parametrelerin etkileri tutma basıncı %36,61; kaburga kesit tipi %30, 98; kaburga yerleştirme açısı

%23,66; erime sıcaklığı %8,01 ve kalıp sıcaklığının %0,72 olarak belirlenmiştir. PC/ABS malzeme için bu faktörlerin çökme izi üzerindeki etkilerinin tutma basıncı %91,97; kaburga yerleştirme açısı %3,91; kaburga kesit tipi %2, 17; erime sıcaklığı %1,847; kalıp sıcaklığı %1,103 oranında olduğu görülmüştür. POM malzeme için ise kaburga yerleştirme açısı %30,9; kaburga kesit tipi %26,92; tutma basıncı %20,2; kalıp sıcaklığı %13,6; erime sıcaklığı %8,4 oranında etki etmektedir. Aynı malzeme için parametrelerin çökme sonuçlarına etkisi kaburga kesit tipi %61,31; kalıp sıcaklığı %23,9; tutma basıncı %12,19; erime sıcaklığı %1.75 ve kaburga yerleştirme açısı %0,777 oranındadır. PA66 malzeme için çarpılmayı etkileyen parametrelerin etkilerinin, erime sıcaklığı %27,73; kalıp sıcaklığı %23,82; kaburga yerleştirme açısı %22,47; tutma basıncı %14,29; kaburga kesit tipi %11,67 oranında olduğu görülmüştür. Aynı malzemeye ait parametrelerin çökmeye etkisi, kaburga yerleştirme açısı %22,6; tutma basıncı %22,35; kaburga kesit tipi %19,3; kalıp sıcaklığı %18,08; erime sıcaklığı %17,4 olduğu gözlenmiştir. Optimizasyon işlemi sonrası PC/ABS malzeme için 0,803 mm çarpılma ve % 1,105 çökme izi, POM malzeme için 1.136mm çarpılma ve % 0,096 çökme izi ve PA66 malzeme için 0,81mm çarpılma ve %0.0017 çökme izi tahmin edilmiş ve doğrulama deneyi sonucunda PC/ABS malzeme için 0,901mm çarpılma ve % 1,265 çökme izi, POM malzeme için 1.721mm çarpılma ve % 0,098 çökme izi ve PA66 malzeme için 0,8311mm çarpılma ve %0.0021 çökme izi elde edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda optimizasyon sonuçlarına göre PC/ABS malzeme için beklenen %26 lık çarpılma azalması %17 oranında elde edilmiş, POM malzeme için %69,2lik çarpılma azalması %53,4 oranında elde edilmiş ve PA66 malzeme için beklenen %7.1 lik çarpılma azalması oranı %4.7 oranında elde edilebilinmiştir.

Tablo 7.17 Bilgisayar analizlerinde kullanılacak parametreler ve seviyeleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

The process parameters and their levels

Materials	Levels	Process parameters				
		X_1 : Mold temperature (°C)	X_2 : Melt temperature (°C)	X_3 : Packing pressure (MPa)	X_4 : Rib cross-section types ^a	X_5 : Rib layout angle (°) ^b
PC/ABS	1	50	230	60	1	0
	2	75	265	75	2	45
	3	100	300	90	3	90
POM	1	60	190	60	1	0
	2	90	210	75	2	45
	3	120	230	90	3	90
PA66	1	65	290	60	1	0
	2	90	300	75	2	45
	3	120	310	90	3	90

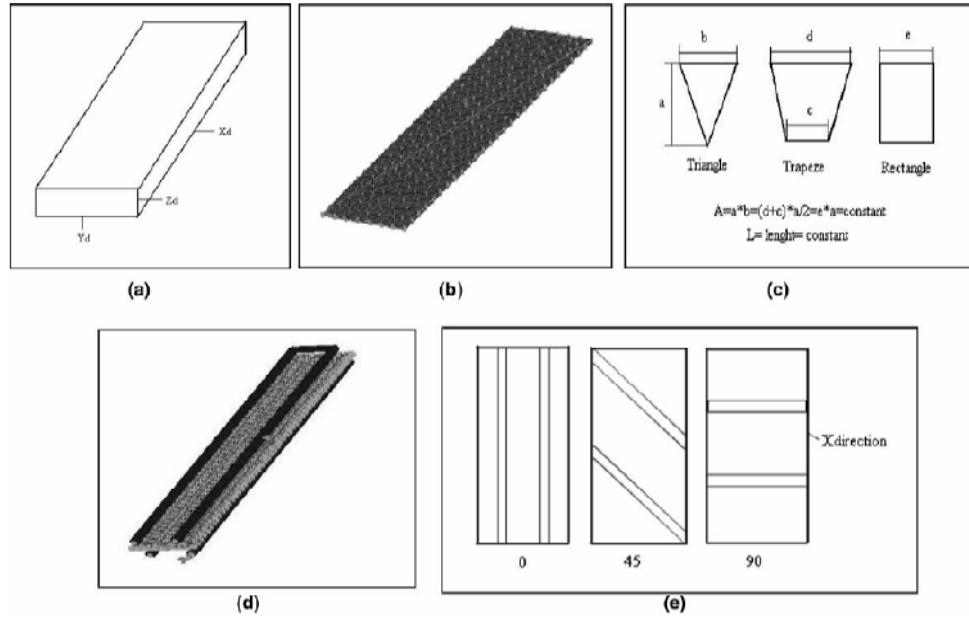
^a Triangle, trapeze, and rectangle ribs are 1, 2, and 3, respectively.

^b According to X direction.

Tablo 7.18 Taguchi L18 Deney tasarım matrisi (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

An orthogonal array L₁₈ (3**5) of Taguchi

Experiment No	Process parameters				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2
5	2	2	2	3	3
6	2	3	3	1	1
7	3	1	2	1	3
8	3	2	3	2	1
9	3	3	1	3	2
10	1	1	3	3	2
11	1	2	1	1	3
12	1	3	2	2	1
13	2	1	2	3	1
14	2	2	3	1	2
15	2	3	1	2	3
16	3	1	3	2	3
17	3	2	1	3	1
18	3	3	2	1	2



Şekil 7.58 Analizde kullanılan model(a), sonlu elemanlara bölünmüş model(b) kaburga kesit tipleri(c), sonlu elemanlara bölünmüş model girişyeri ve soğutma sistemi, kaburgaların yerleştirme açıları(e) (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

Tablo 7.19 Bilgisayar analizi için kullanılan imalat parametreleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

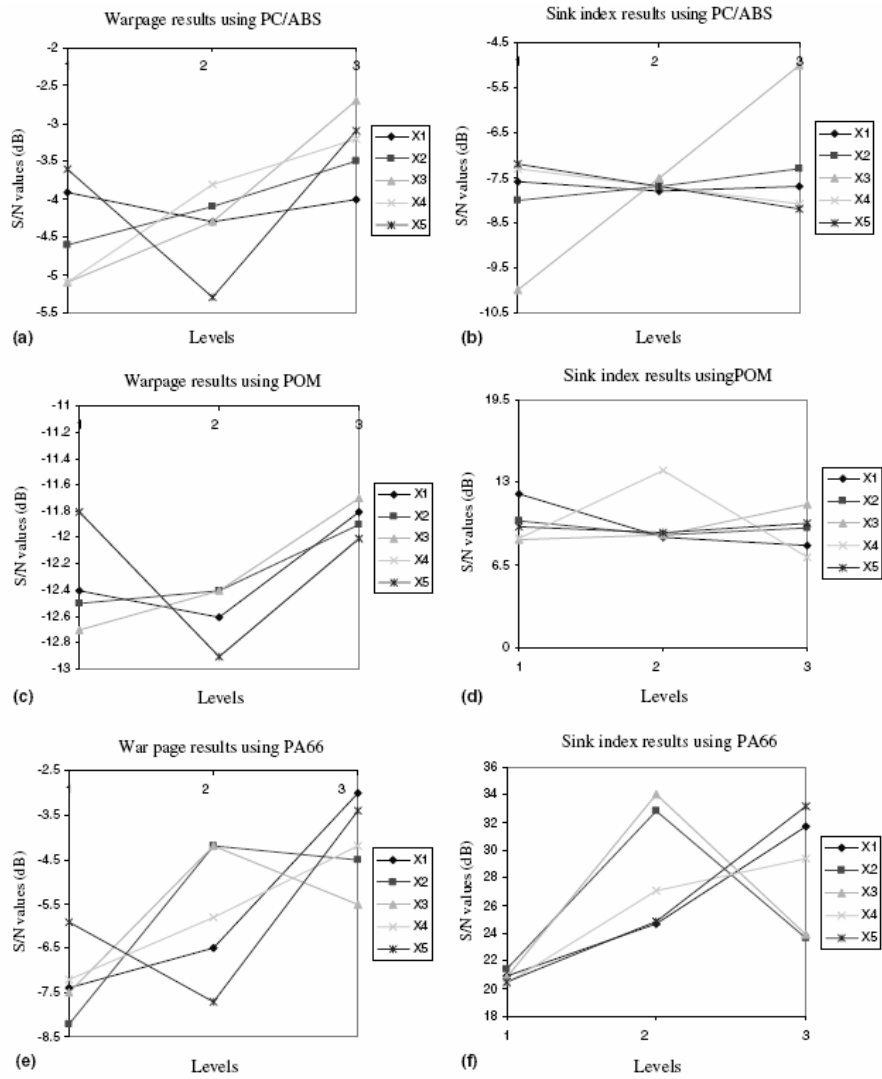
Manufacturing parameters employed in MoldFlow analysis

Injection conditions	PC/ABS, Polyacetal (POM), Polyamide PA66
Injection time (s)	1.974
Injection pressure (MPa)	60
Packing time (s)	10
Cooling time (s)	15
Cooling channel diameter (mm)	8
Between cooling channel's center distance (mm)	20
Number of gate	1
Between cooling channel's (Circuit) center and parting surface distance (mm)	10
Cooling channel of only one section departure length (mm)	300
Water inlet temperature (°C)	20
Water flow/rate (l/min)	3.82
Reynolds number	10,000

Tablo 7.59 Çarpılma ve çökme analiz sonuçları (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

The warpage and sink index values

Experiment No	PC/ABS		Polyacetal POM		Polyamide PA66	
	Warpage (mm)	Sink index (%)	Warpage (mm)	Sink index (%)	Warpage (mm)	Sink index (%)
1	2.299	2.984	4.099	0.2840	3.959	0.3147
2	1.718	2.448	5.334	0.1257	3.257	0.0899
3	1.133	1.610	3.900	0.3288	0.9587	0.0140
4	2.143	2.829	5.563	0.2587	3.728	0.0620
5	1.440	2.529	4.045	0.4310	1.249	0.0051
6	1.095	1.432	3.688	0.2386	3.600	0.2230
7	1.518	2.543	3.810	0.3077	1.820	0.0032
8	1.184	1.471	3.691	0.2022	0.9089	0.011
9	1.533	3.381	4.071	0.4455	1.862	0.0910
10	1.357	2.040	3.792	0.2658	3.149	0.0873
11	1.583	3.146	3.966	0.3786	1.902	0.0253
12	1.340	2.223	3.846	0.1077	0.8718	0.0109
13	1.564	2.546	4.145	0.5701	1.287	0.0042
14	2.043	1.952	3.985	0.4013	1.239	0.0058
15	1.538	3.435	4.153	0.2939	1.520	0.0466
16	1.350	2.177	3.924	0.2029	1.411	0.0403
17	1.599	3.092	3.891	0.6023	1.215	0.0034
18	2.288	1.879	3.901	0.6132	1.271	0.0044



Şekil 7.60 Parametre ve seviyelerinin her bir malzeme için Taguchi S/N oranları (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

Tablo 7.21 Varyans analizi sonuçları (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

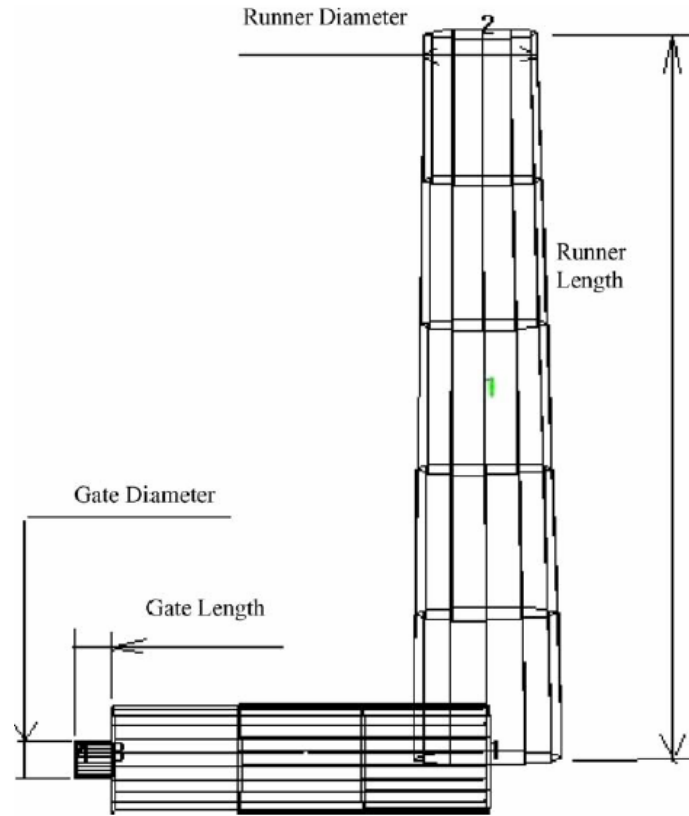
ANOVA results for warpage-sink index										
Polymer materials	Warpage (mm)					Sink index (%)				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
PC/ABS										
Sum of squares (s)	0.014	0.159	0.727	0.615	0.47	0.006	0.113	5.62	0.13	0.24
Variance (V)	0.007	0.079	0.363	0.307	0.235	0.003	0.056	2.81	0.06	0.12
F ratio (F)	503.4	5575.6	25475.8	21552.4	16465.5	223.3	3955.4	196830.2	4645.7	8366.7
P value (P)	0.005	0.003	0.0001	0.0025	0.002	0.006	0.003	0.0001	0.0035	0.002
Percent P (%)	0.72	8.01	36.61	30.98	23.66	0.103	1.847	91.97	2.17	3.91
POM										
Sum of squares (s)	0.47	0.29	0.70	0.92	1.06	0.07	0.01	0.04	0.19	0.002
Variance (V)	0.23	0.14	0.35	0.46	0.53	0.036	0.002	0.018	0.093	0.001
F ratio (F)	16309	10035	24265	32373	37117	2546	187	1299	6532	84
P value (P)	0.0005	0.0007	0.00025	0.0002	0.0001	0.0003	0.002	0.0005	0.0001	0.003
Percent P (%)	13.6	8.4	20.2	26.96	30.9	23.9	1.75	12.19	61.31	0.777
PA66										
Sum of squares (s)	2.81	3.281	1.691	1.381	2.659	0.012	0.011	0.015	0.013	0.015
Variance (V)	1.41	1.64	0.85	0.69	1.33	0.006	0.005	0.007	0.006	0.007
F ratio (F)	98655	114863	59200	48352	93071	436.8	419.6	539.8	466.01	544.7
P value (P)	0.0002	0.0001	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001
Percent P (%)	23.82	27.73	14.29	11.67	22.47	18.08	17.4	22.35	19.3	22.6

Note: Degree of freedom (DOF) is 2 for each analysis. The error and the total error are 7 and 17 each analysis, respectively
(Total error = DOF (Parameter * 2) + Error. $5 * 2 + 7 = 17$).

Tablo 7.22 Optimizasyon işlemi sonrası tahmin edilen çarpılma değerleri (Erzurumlu ve Özçelik, 2006).

Optimized and S/N response values for polymeric materials		
Polymeric materials	Average response values	S/N response values
PC/ABS		
Warpage (mm)	0.803	$-5.3 < -3.9 < +\infty$
Sink index (%)	1.105	$-10 < -3.6 < +\infty$
POM		
Warpage (mm)	1.136	$-12.9 < -2.1 < +\infty$
Sink index (%)	0.096	$+8 < +9.7 < +\infty$
PA66		
Warpage (mm)	0.81	$-8.2 < -6.8 < +\infty$
Sink index (%)	0.0017	$+20.4 < 37.6 < +\infty$

Yen, Lin, Li ve Huang (2006), sonlu elemanlar ve yapay sinir ağları yöntemleri yardımıyla malzeme kalınlığı, yolluk çapı, yolluk uzunluğu, giriş çapı ve giriş uzunluğu parametrelerinin çarpılma üzerindeki etkilerini araştırarak parametrelerin optimizasyonu ile çarpılmayı azaltmışlardır.



Şekil 7.61 Analizde kullanılan yolluk sistemi parametreleri (Yen ve diğer., 2006).

Tablo 7.23 Deney parametreleri ve seviyeleri (Yen ve diğer., 2006).

The three levels of factors in the orthogonal array (unit mm)

Selected factors	Level 1	Level 2	Level 3
A. Runner diameter (D_R)	2	2.5	3
B. Runner length (D_L)	30	40	50
C. Gate diameter (G_R)	0.7	1.4	2.1
D. Gate length (G_L)	0.5	0.65	0.8
E. Material thickness (M_t)	1	2	3

Tablo 7.24 Sonlu elemanlar analizi sonuçları (Yen ve diğer., 2006).

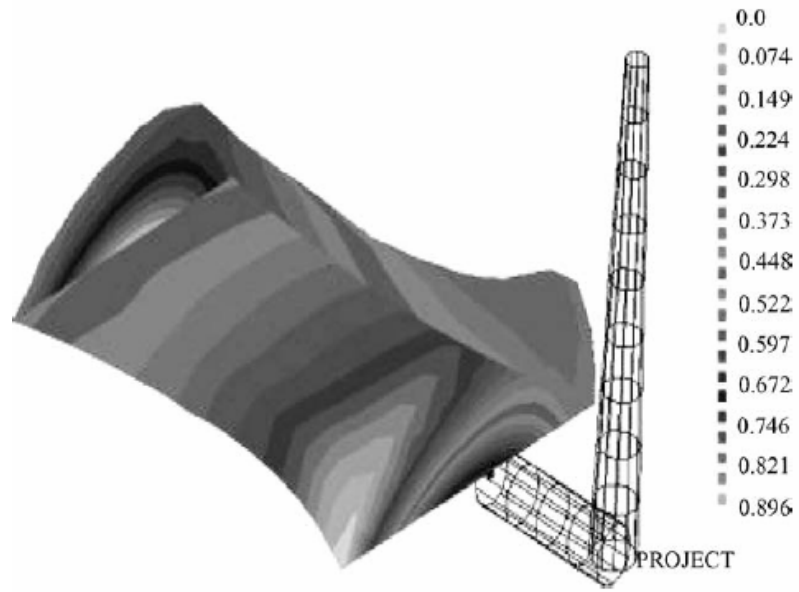
The results of mould-flow simulation in difference runner-system

Set no.	Material thickness (mm)	Runner diameter (mm)	Runner length (mm)	Gate diameter (mm)	Gate length (mm)	Warp (mm)
1	1	2	50	0.7	0.5	0.8907
2	1	2	50	1.4	0.65	0.8862
3	1	2	50	2.1	0.8	0.9007
4	1	2	40	0.7	0.5	0.9272
5	1	2	40	1.4	0.65	0.8978
6	1	2	40	2.1	0.8	0.8993
7	1	2	30	0.7	0.5	0.9172
8	1	2	30	1.4	0.65	0.8978
9	1	2	30	2.1	0.8	0.9025
10	2	2.5	50	0.7	0.5	0.9002
11	2	2.5	50	1.4	0.65	0.8871
12	2	2.5	50	2.1	0.8	0.8924
13	2	2.5	40	0.7	0.5	0.9393
14	2	2.5	40	1.4	0.65	0.8956
15	2	2.5	40	2.1	0.8	0.8939
16	2	2.5	30	0.7	0.5	0.9318
17	2	2.5	30	1.4	0.65	0.8944
18	2	2.5	30	2.1	0.8	0.8961
19	3	3	50	0.7	0.5	0.9209
20	3	3	50	1.4	0.65	0.8950
21	3	3	50	2.1	0.8	0.8881
22	3	3	40	0.7	0.5	0.9501
23	3	3	40	1.4	0.65	0.9061
24	3	3	40	2.1	0.8	0.9017
25	3	3	30	0.7	0.5	0.9410
26	3	3	30	1.4	0.65	0.9030
27	3	3	30	2.1	0.8	0.9015

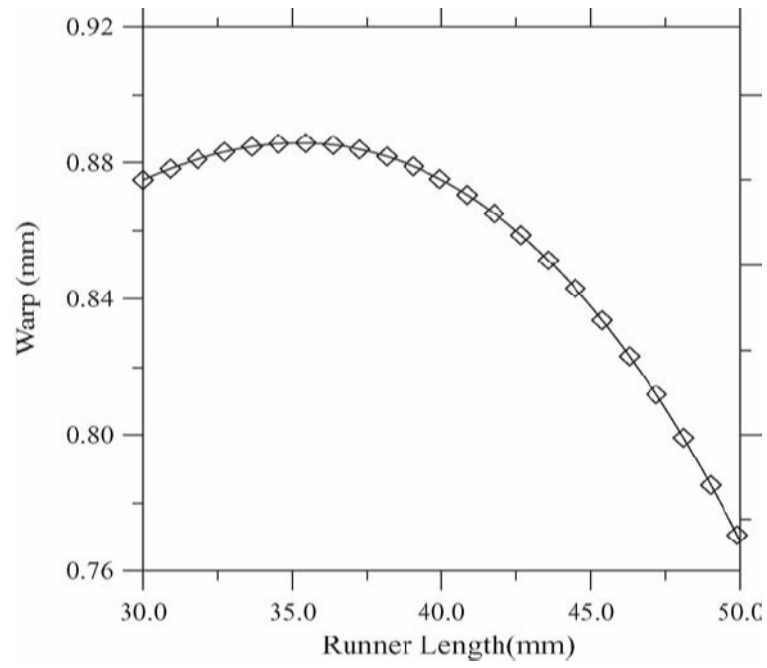
Tablo 7.25 Sonlu elemanlar ve yapay sinir ağları arasındaki hata tahmini (Yen ve diğer., 2006).

Error between the neural network prediction and FEM simulation (it is not included in any original 27 sets data base)

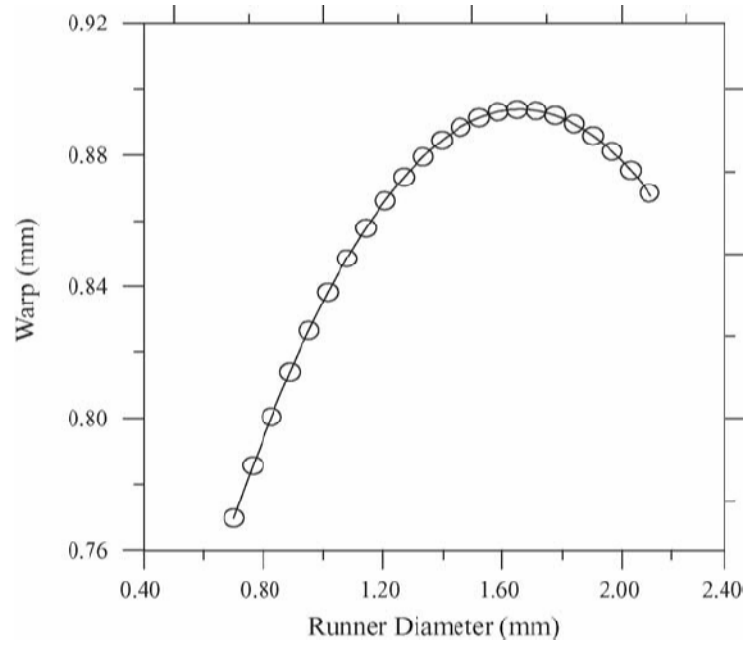
Item	Simulation method	Material thickness (mm)	Runner diameter (mm)	Runner length (mm)	Gate diameter (mm)	Gate length (mm)	Warp (mm)
Set 1	FEM (mould-flow)	2.5	2.8	45	1.3	0.7	0.8814
Set 1	Neural network	2.5	2.8	45	1.3	0.7	0.9031
Error	FEM-NEURAL NETWORK						0.0246
Set 2	FEM (mould-flow)	1.5	2.3	35	1.7	0.6	0.8929
Set 2	Neural network	1.5	2.3	35	1.7	0.6	0.8862
Error	FEM-NEURAL NETWORK						0.0075



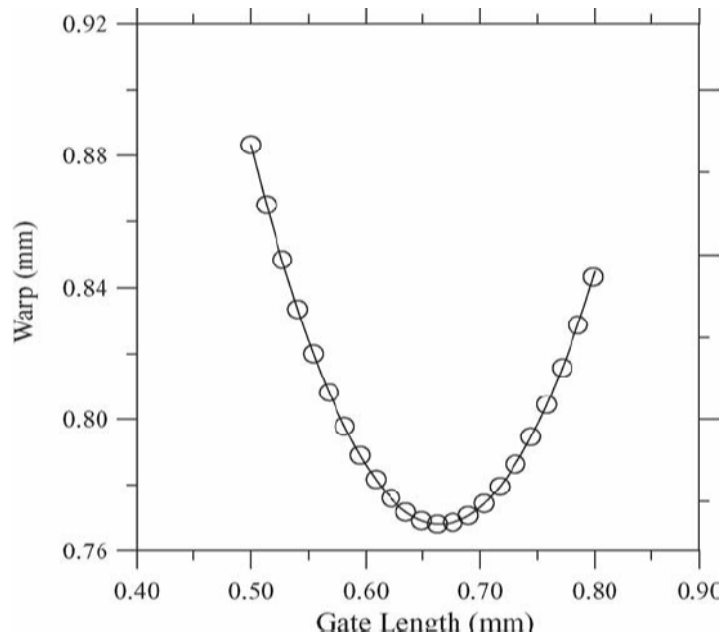
Şekil 7.62 Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çarpılma analizi sonuçlarından biri (Yen ve diğer, 2006).



Şekil 7.63 Yolluk uzunluğunun çarpılmaya olan etkisi (Yen ve diğer, 2006).



Şekil 7.64 Yolluk çapının çarpılmaya olan etkileri (Yen ve diğer., 2006).



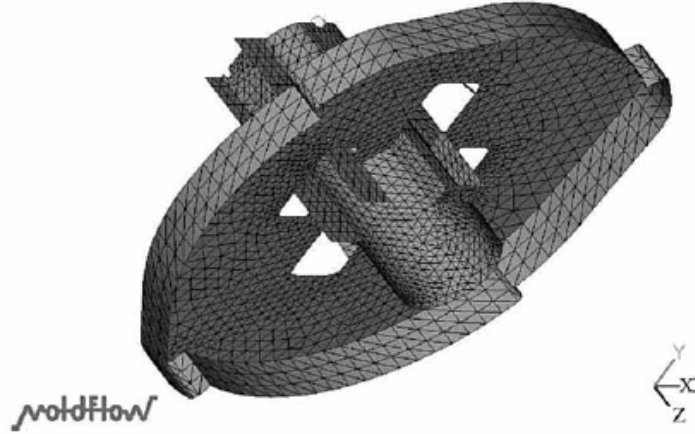
Şekil 7.65 Yolluk uzunluğunun çarpılmaya olan etkileri (Yen ve diğer., 2006).

Tablo 7.26 Yapay sinir ağı ile sonlu elemanlar analizi ile elde edilen maksimum çarpılmanın karşılaştırılması (Yen ve diğer, 2006).

The maximum warp compared of the runner-system selection and FEM method

Item	Material thickness (mm)	Runner diameter (mm)	Runner length (mm)	Gate diameter (mm)	Gate length (mm)	Warp (mm)
Neural network	1.5	2.7	50	0.7	0.64	0.76677
FEM (mould-flow)	1.5	2.7	50	0.7	0.64	0.7842
Error: $\frac{FEM - NETWORK}{FEM - NETWORK} (\%)$						2.2%

Özçelik ve Erzurumlu (2006), kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, tutma basıncı, tutma süresi, soğuma süresi, dağıtıcı tipi ve giriş yerinin optimizasyonu ile çarpılmayı minimize etmeyi hedeflemişler, çarpılmanın analizi ve optimizasyonu için, sonlu elemanlar, Taguchi optimizasyon metodu, yapay sinir ağı yöntemi ve genetik algoritma yöntemlerini kullanmışlar ve elde edilen sonuçları, gerçek deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır.



Şekil 7.66 Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan sonlu elemanlara bölünmüş model (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

Tablo 7.27 Analizlerde kullanılacak olan enjeksiyon imalat parametreleri, (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

Manufacturing parameters employed in moldflow analysis

Injection time (s)	2.71
Injection pressure (MPa)	60
Packing pressure (MPa)	67.5
Packing time (s)	15
Cooling time (s)	12
Cooling channel diameter (mm)	10
Between cooling channel's center distance (mm)	35
Number of gate	4

Tablo 7.28 Analizlerde kullanılacak değişken faktörler ve seviyeleri (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

Variable factor levels

Controllable factors	Level 1	Level 2	Level 3
A: Mold temperature (°C)	60	90	120
B: Melt temperature (°C)	120	200	280
C: Packing Pressure (MPa)	60	67.5	75
D: Packing time (s)	10	15	20
E: Cooling time (s)	9	12	15
F: Runner types	Circular R (1)	Hexagon A (2)	Trapeze T (3)
G: Gate location	Side (1)	Top corner (2)	Top inner (3)

Tablo7.29 Taguchi L27 Deney tasarımı matrisi (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

The layout of the L₂₇ OA

Experiment No.	1	2 (A)	3 (B)	4 (C)	5 (D)	6 (E)	7 (F)	8 (G)	9	10	11
1	1	60	120	60	10	9	1	1	1	1	1
2	1	60	120	60	10	12	2	2	1	2	2
3	1	60	120	60	10	15	3	3	1	3	3
4	1	60	200	67.5	15	9	1	1	2	1	1
5	1	60	200	67.5	15	12	2	2	2	2	2
6	1	60	200	67.5	15	15	3	3	2	3	3
7	1	60	280	75	20	9	1	1	3	1	1
8	1	60	280	75	20	12	2	2	3	2	2
9	1	60	280	75	20	15	3	3	3	3	3
10	2	90	120	67.5	20	9	2	3	3	1	2
11	2	90	120	67.5	20	12	3	1	3	2	3
12	2	90	120	67.5	20	15	1	2	3	3	1
13	2	90	200	75	10	9	2	3	1	1	2
14	2	90	200	75	10	12	3	1	1	2	3
15	2	90	200	75	10	15	1	2	1	3	1
16	2	90	280	60	15	9	2	3	2	1	2
17	2	90	280	60	15	12	3	1	2	2	3
18	2	90	280	60	15	15	1	2	2	3	1
19	3	120	120	75	15	9	3	2	2	1	3
20	3	120	120	75	15	12	1	3	2	2	1
21	3	120	120	75	15	15	2	1	2	3	2
22	3	120	200	60	20	9	3	2	3	1	3
23	3	120	200	60	20	12	1	3	3	2	1
24	3	120	200	60	20	15	2	1	3	3	2
25	3	120	280	67.5	10	9	3	2	1	1	3
26	3	120	280	67.5	10	12	1	3	1	2	1
27	3	120	280	67.5	10	15	2	1	1	3	2

Tablo 7.30 Taguchi L27 Deney tasarımı matrisi (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

Results of the L₂₇ experiment

Experiment No.	Warpage value (mm)	S/N value
1	2.011	-6.06
2	2.001	-6.02
3	1.998	-6.01
4	1.872	-5.44
5	1.863	-5.40
6	1.851	-5.35
7	1.775	-4.98
8	1.744	-4.83
9	1.739	-4.81
10	1.811	-5.15
11	1.799	-5.10
12	1.789	-5.05
13	1.731	-4.76
14	1.723	-4.72
15	1.711	-4.66
16	2.071	-6.32
17	2.059	-6.27
18	2.041	-6.19
19	1.729	-4.75
20	1.712	-4.67
21	1.703	-4.62
22	2.025	-6.12
23	2.014	-6.08
24	2.006	-6.04
25	1.752	-4.87
26	1.760	-4.91
27	1.774	-4.97

Tablo 7.31 Varyans analizi sonuçları (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

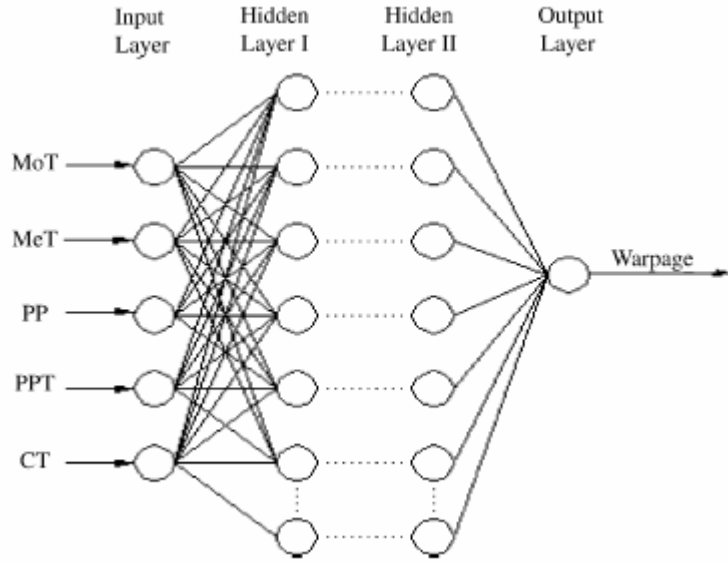
ANOVA table for responded raw data

Source of variation	Degree of freedom (DOF) (<i>f</i>)	Variance (<i>V</i>)	Percent <i>P</i> (%)	Sum of squares (<i>S</i>)	F-ratio (<i>F</i>)	<i>p</i> -value (<i>p</i>)
C	2	0.042	33.7	0.085	128.77	0.0001
A	2	0.027	21.6	0.055	82.74	0.0002
B	2	0.026	20.5	0.052	78.53	0.0002
D	2	0.020	16.1	0.04	61.23	0.0002
E	2	0.006	5.1	0.012	19.46	0.0003
F	2	0.01	1.5	0.003	5.94	0.0010
G	2	0.01	1.3	0.003	4.99	0.0010
Error	3					
Total	17		100%			

Tablo 7.32 Çarpılmayı minimum yapan faktörler ve seviyeleri (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

The minimum warpage condition resulted in response values

Factor of process parameters	Level description	Level
A	120	3
B	280	3
C	67.5	2
D	20	3
E	12	2
F	1	1
G	3	3



Şekil 7.67 Yapay sinir ağı tasarımı (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

Tablo 7.33 Yapay sinir ağıları ve sonlu elemanlar tahmini çarpılma değerlerinin karşılaştırılması (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

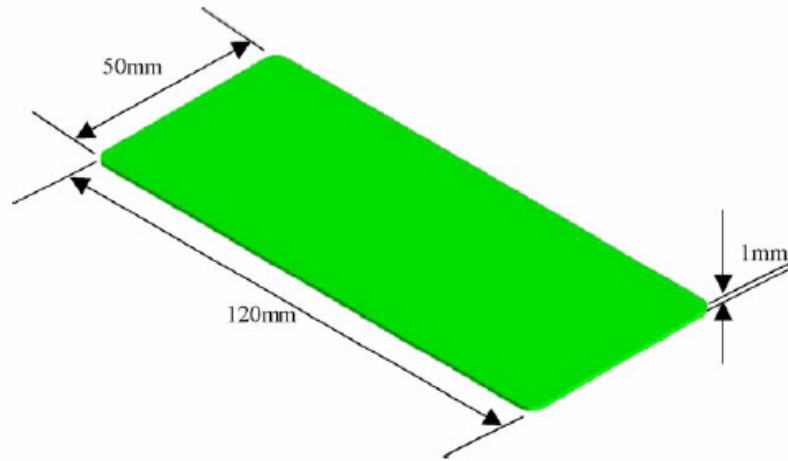
Comparison of ANN check set warpage predictions with simulation

Set number	Process parameters					Warpage (mm)		
	A	B	C	D	E	FE analysis	ANN model	Error (%)
1	60	280	75	20	9	1.775	1.771	0.2
2	90	200	75	10	15	1.711	1.556	9.0
3	120	200	60	20	15	2.006	2.056	2.4

Tablo 7.33 Varyans analizi sonrasında elde edilen optimum işlem parametreleri ve optimizasyon sonrası parametreler (Özçelik ve Erzurumlu, 2006).

	Injection molding process parameters				
	A	B	C	D	E
Optimum values of process parameters using ANOVA	120	280	67.5	20	12
After optimization	120	260	70	20	10

Tang, Kong, Sapuan, Samin ve Sulaiman (2006), çalışmasında şekil 9.49 da çarpılma test numunelerini üretmek için gerekli kalıbın tasarımı imalatı ve termal analizi üzerine çalışmışlardır. Analiz sonuçları kalıbın çarpılma numunelerini üretmeye uygun olduğunu göstermiştir.

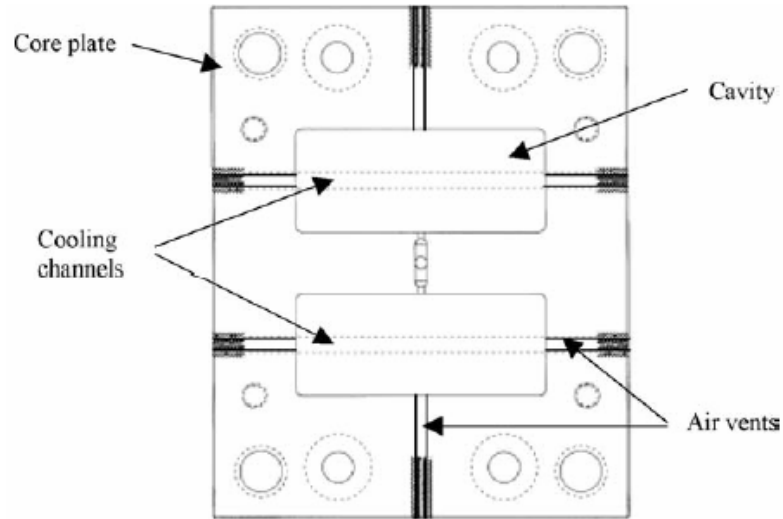


Şekil 7.68 Üretilecek olan test numuneleri (Tang ve diğer., 2006)

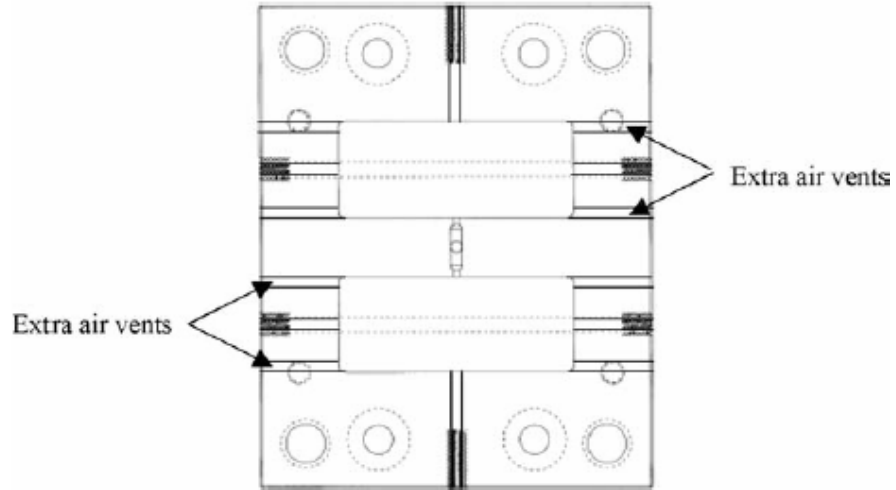
Tablo 7.34 Kalıp tasarımında kullanılan plaka ölçüleri (Tang ve diğer., 2006)

Mould plates dimensions.

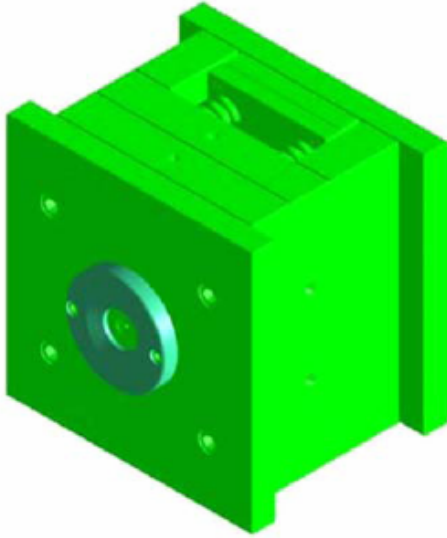
Components	Size (mm) – width × height × thickness
Top clamping plate	250 × 250 × 25
Cavity plate	200 × 250 × 40
Core plate	200 × 250 × 40
Side plate/support plate	37 × 250 × 70
Ejector-retainer plate	120 × 250 × 15
Ejector plate	120 × 250 × 20
Bottom clamping plate	250 × 250 × 25



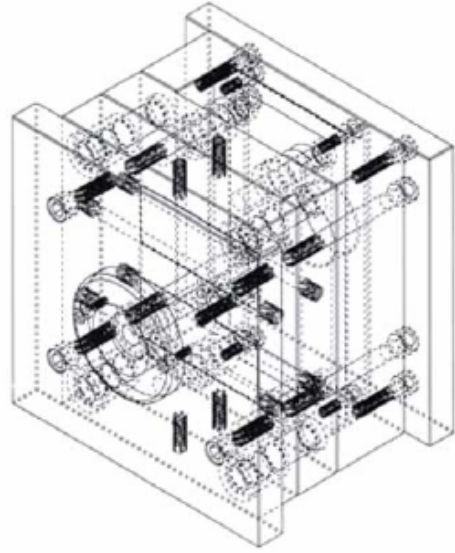
Şekil 7.69 Deneme baskısı öncesi kalıp tasarımı (Tang ve diğer., 2006).



Şekil 7.70 Deneme baskısı sonrası kalıp tasarımı (Tang ve diğer., 2006).

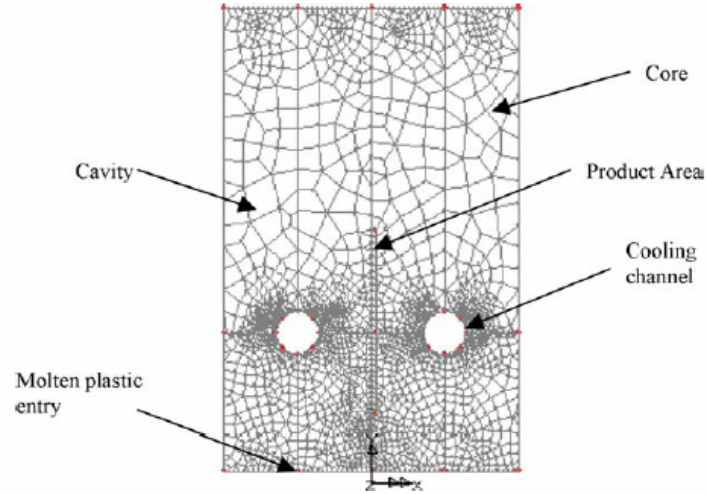


(a) – 3D solid modeling



(b) – Wireframe modelling

Şekil 7.71 Kalıp tasarımının üç boyutlu görünümü: katı model (a), tel çerçeve model (b) (Tang ve diğer., 2006).

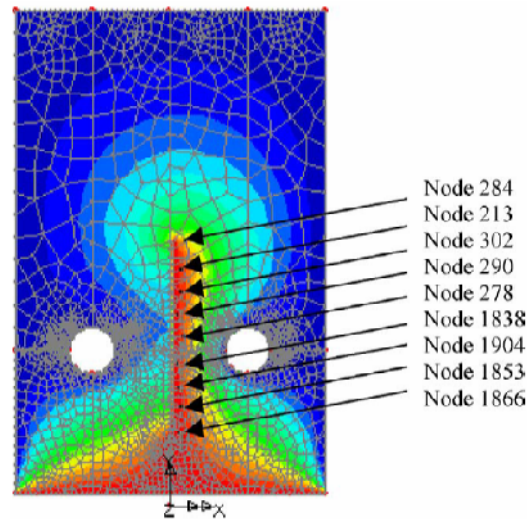


Şekil 7.72 Kalıp çekirdeklerinin termal analiz için sonlu elemanlara bölünmüş görünümü (Tang ve diğer., 2006).

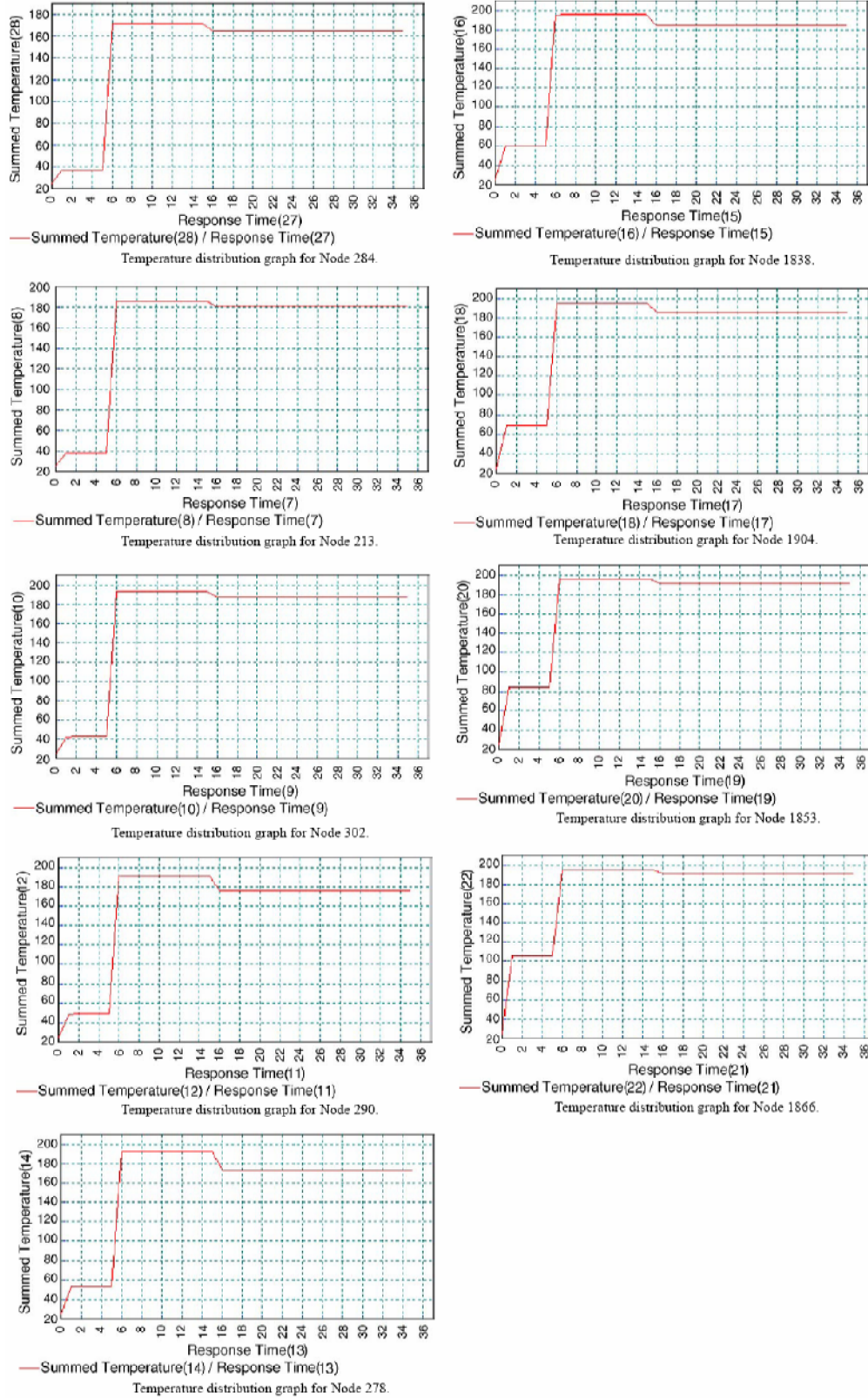
Tablo 7.35 Analizde kullanılacak kalıp çeliği özellikleri (Tang, Kong, Sapuan, Samin ve Sulaiman, 2006).

Material properties for mould and product

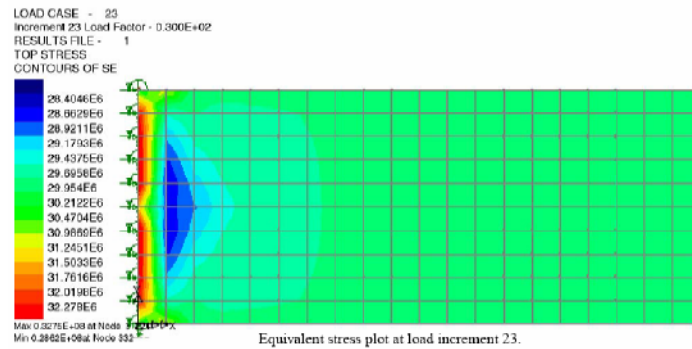
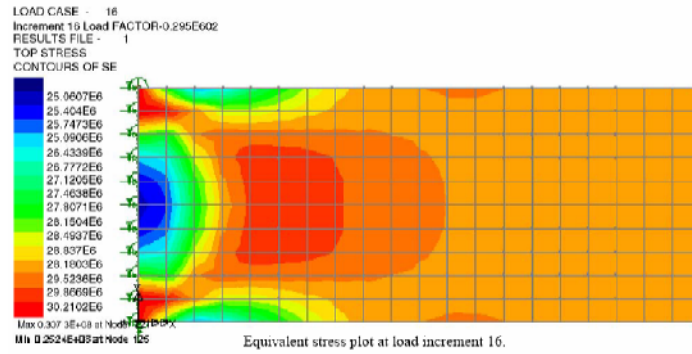
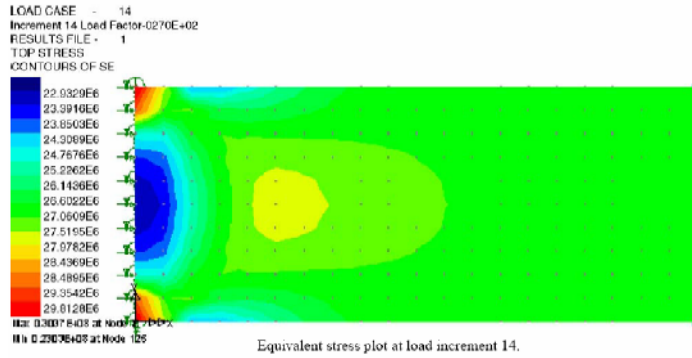
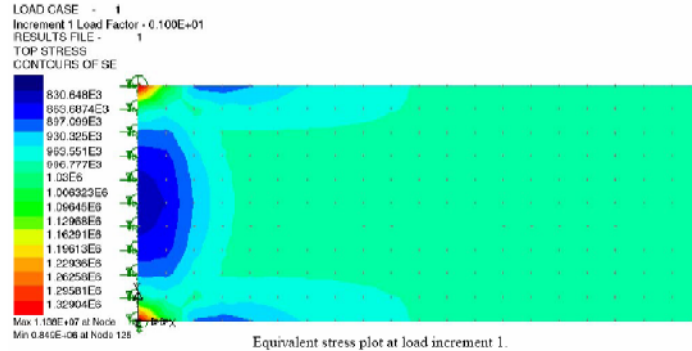
Carbon Steel (AISI 1050), mould		ABS Polymer, product	
Density, ρ	7860 kg/m ³	Density, ρ	1050 kg/m ³
Young's modulus, E	208 GPa	Young's modulus, E	2.519 GPa
Poisson's ratio, ν	0.297	Poisson's ratio, ν	0.4
Yield strength, S_y	365.4 MPa	Yield strength, S_y	65 MPa
Tensile strength, S_{UTS}	636 MPa	Thermal expansion, α	$65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Thermal expansion, α	$11.65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Conductivity, k	0.135 W/(mK)
Conductivity, k	49.4 W/(mK)	Specific heat, c	1250 J/(kg K)
Specific heat, c	477 J/(kg K)		



Şekil 7.73 Sıcaklık değişimi analizi (Tang ve diğer., 2006).



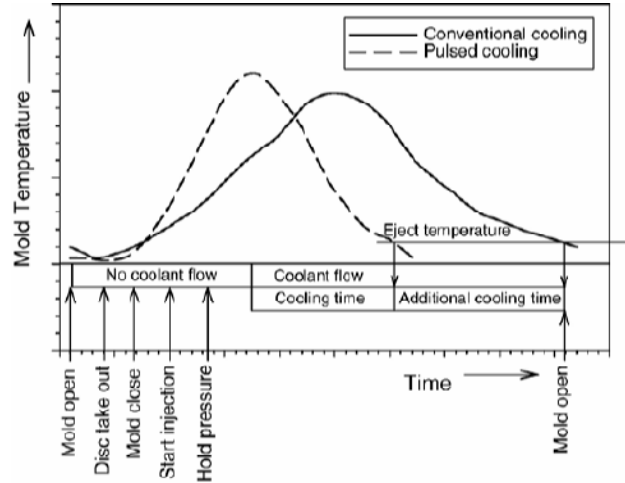
Şekil 7.74 Referans alınan nodlar üzerinde zamanla meydana gelen sıcaklık değişimi (Tang ve diğer., 2006).



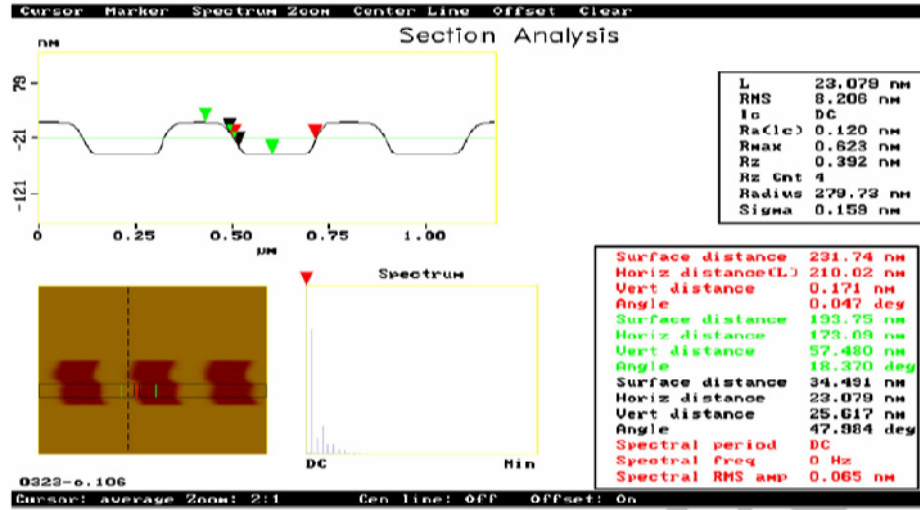
Şekil 7.75 Termal gerilme analizleri (Tang ve diğer., 2006).

Chen, Chang, Chan, Chin (2007), enjeksiyon işlemi için geliştirdikleri darbeli soğutma sistemi ile enjeksiyon işleminin verimini artırmayı hedeflemişlerdir. Darbeli soğutma sistemi konvansiyonel soğutma sisteminden farklı olarak plastik enjeksiyon

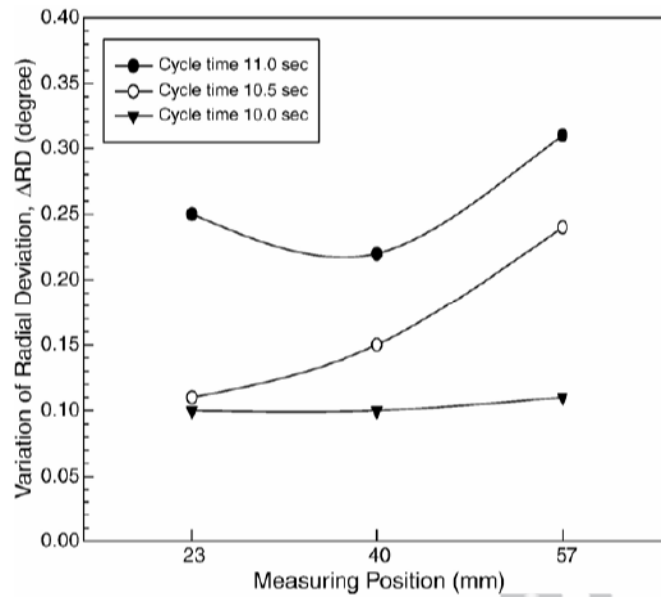
işleminin enjeksiyon ve çıkarma safhasında soğutucu akışkanın kalıp içerisindeki çevrimini durdurarak plastik akışkanın daha hızlı ve kolay olarak kalıbı doldurmasını sağlamak ve soğutma safhasında akışkanın devreye girerek kalıbı ve dolayısıyla parçayı soğutmasından ibarettir. Sistem hertürlü soğutma sistemi ve enjeksiyon makinasına adapte edilebilmektedir. İmalat işlemi sonunda darbeli soğutma sistemi konvansiyonel soğutma sistemi ile kalıp sıcaklığı açısından karşılaştırıldığında soğutma sisteminin tasarımı ve soğutma süresiyle değişmekle birlikte kalıp sıcaklığının enjeksiyon fazında 10-15C° daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu sıcaklık artışının üretilen parçaların kalitesini olumlu yönde etkilediği ve parçanın kalıptan atılma sıcaklığını çok fazla oranda etkilemediği belirtilmiştir. Konvansiyonel soğutma sistemi ve darbeli soğutma sistemine ait imalat işlemi sırasındaki sıcaklık değişimini gösteren grafik Şekil 9.57 de görülmektedir. Chen ve diğer. (2005), Blu-Ray disklerin enjeksiyonla üretiminde yeni geliştirdikleri sistemi denemişler ve soğutucu akışkanın sıcaklığını 8C° düşürmeyi başarmışlardır. Soğutucu akışkanın sıcaklığındaki bu düşüş: düşük çarpılma, yüksek tamlıkta mikroboşluk tekrarlanması, çevrim süresinin %10 civarında düşürülmesini sağladıklarını belirtmektedirler.



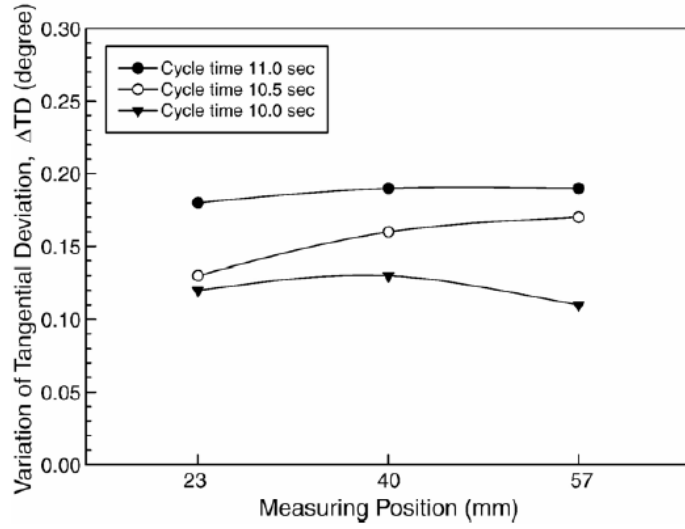
Şekil 7.76 Konvansiyonel ve darbeli soğutma sistemindeki kalıp sıcaklıklarının karşılaştırılması (Chen ve diğer., 2007).



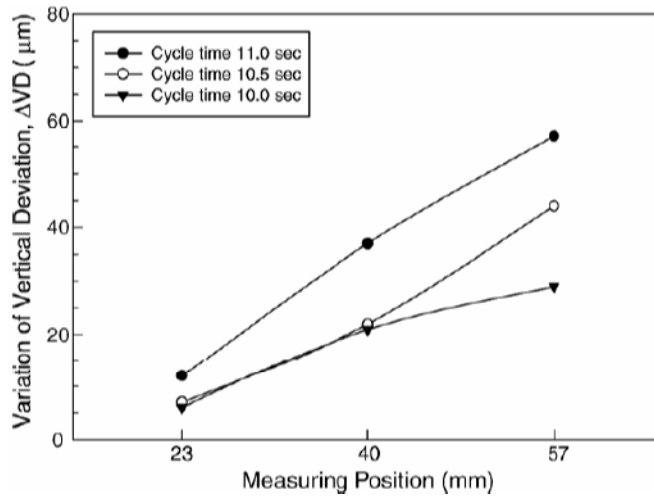
Şekil 7.77 Blu-Ray disklerin Atomik Kuvvet Mikroskopi(AFM) ölçüm yöntemi ile analiz örneği (Chen ve diğer., 2007).



Şekil 7.78 Çevrim süresi, ölçüm pozisyonu ve radyal sapmadaki değişiklik arasındaki ilişki (Chen ve diğer, 2007).



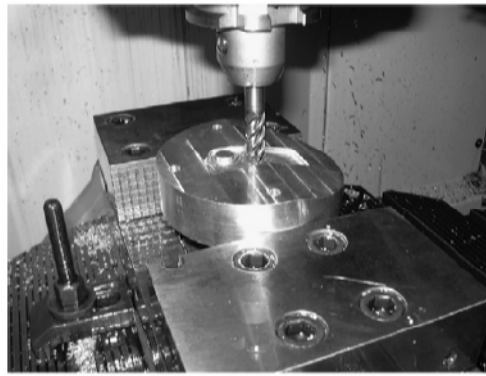
Şekil 7.79 Çevrim süresi, ölçüm pozisyonu ve teğetsel sapmadaki değişiklik arasındaki ilişki (Chen ve diğer., 2007).



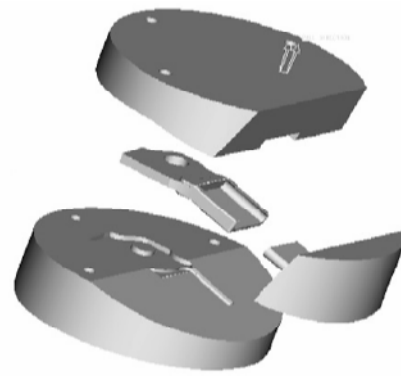
Şekil 7.80 Çevrim süresi, ölçüm pozisyonu ve dikey sapmadaki değişiklik arasındaki ilişki (Chen ve diğer., 2007).

Oktem, Erzurumlu ve Uzman (2007), çalışmalarında ince cidarlı plastik parçaların üretimi sonrası meydana gelen çarpılma problemi üzerinde çalışmışlar ve çarpılma değerlerinin bilgisayar destekli analizinde sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan ticari yazılımdan yararlanmıştır. Optimizasyon işleminde Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır ve elde edilen minimum çarpılma değeri yine bilgisayar analizi yardımıyla elde edilen doğrulama deneyi ile karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonucu ile doğrulama deneyinden elde edilen sonuç arasında %1,26 hata gözlenmiştir. Çarpılma analizi için Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmıştır.

Kullanılan parametrelerin her biri üç seviyelidir ve bu parametreler: enjeksiyon süresi, tutma basıncı, tutma basıncı süresi ve soğutma süresidir. Elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde varyans analizi sonuçları çarpılma üzerinde %58,3 ile en etkili parametrenin tutma basıncı olduğunu ve bunu %23, 03 ile tutma süresi, %15,17 ile enjeksiyon süresi ve %3.68 ile soğutma süresi olduğu belirtilmiştir. Optimizasyon işlemi sonrası elde edilen minimum çarpılma değeri 0,405mm ve L9 deney tasarımı sonucunda elde edilen minimum çarpılma değeri 0,414mm den daha küçüktür. Bu çarpılmanın %2.17 geliştirildiği anlamına gelmektedir.



a) Milling operation

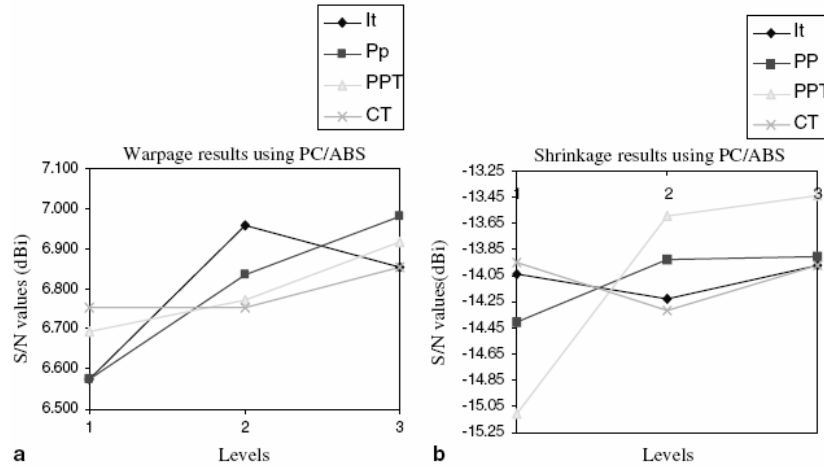


b) mold components

Şekil 7.81 Çarpılma analizi numunelerinin üretileceği kalıbın imalatı kalıbın elemanlarından bazıları (Oktem ve diğer., 2007).

Tablo 7.36 Taguchi L9 deney tasarımı matrisi ve analiz sonuçları (Oktem ve diğer., 2007).

The warpage-shrinkage and their <i>S/N</i> ratio values (<i>L</i> ₉ 3 ⁴)								
Set No.	<i>I</i> _t (s)	<i>P</i> _p (MPa)	<i>P</i> _{PT} (s)	<i>C</i> _T (s)	Warpage (mm)	Shrinkage (%)	<i>S/N</i> ratio values for warpage (dBi)	<i>S/N</i> ratio values for shrinkage (dBi)
1	1	1	1	1	0.457	6.300	+6.802	-15.99
2	1	2	2	2	0.439	5.240	+7.151	-14.39
3	1	3	3	3	0.421	4.910	+7.514	-13.82
4	2	1	2	3	0.428	5.440	+7.371	-14.71
5	2	2	3	1	0.414	5.034	+7.660	-14.04
6	2	3	1	2	0.418	6.340	+7.576	-16.04
7	3	1	3	2	0.432	5.414	+7.290	-14.67
8	3	2	1	3	0.425	5.964	+7.432	-15.51
9	3	3	2	1	0.419	4.937	+7.556	-13.87

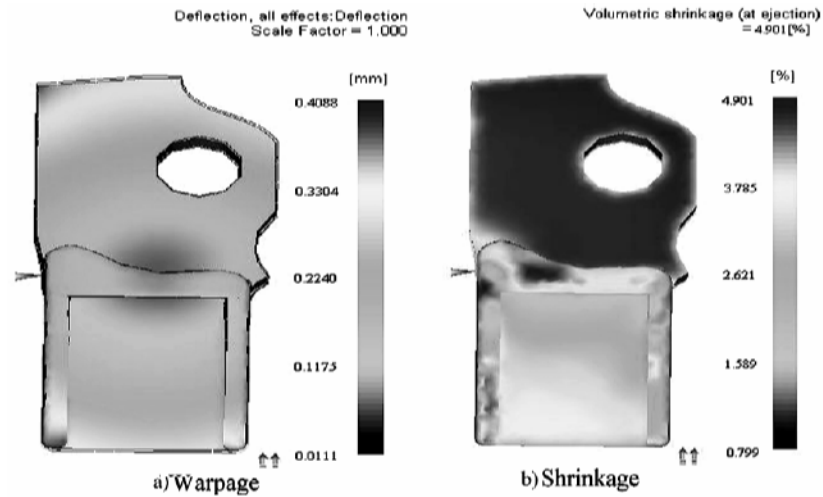


Şekil 7.82 Taguchi çarpılma (a) ve çekme (b) S/N oranları (Oktem ve diğer., 2007).

Tablo 7.37 Varyans analizi sonuçları (Oktem ve diğer., 2007).

ANOVA results for warpage and shrinkage

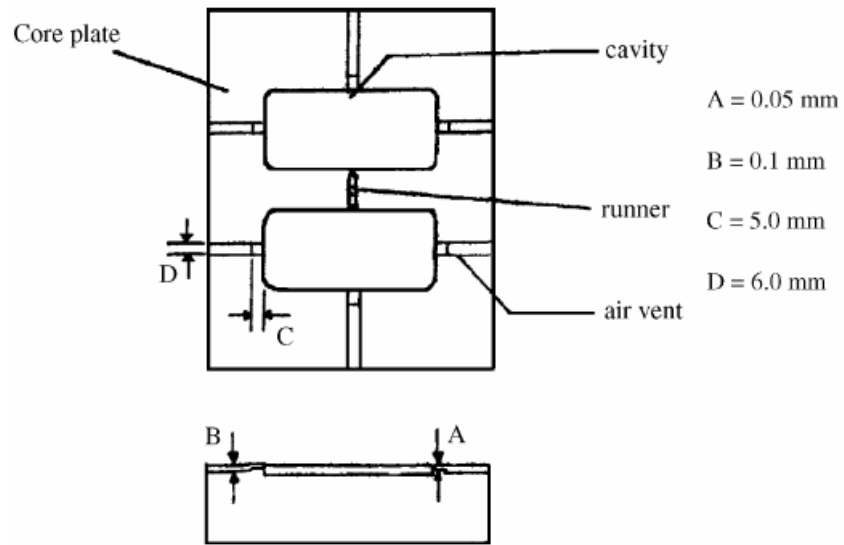
	Warpage (mm)				Shrinkage (%)			
	I_t	P_p	P_{PT}	C_T	I_t	P_p	P_{PT}	C_T
Sum of sq. (s)	1.691	3.19	2.169	0.375	0.554	0.846	5.82	0.281
Variance (V)	0.85	2.093	1.008	0.16	0.29	0.425	3.627	0.145
F ratio (F)	59200	160532	78009	11050	20015	29389	30723.5	9899
P value (P)	0.0003	0.0001	0.0002	0.0015	0.0009	0.0006	0.0001	0.0021
Percent (%)	15.17	58.03	23.03	3.68	5.528	7.830	84.054	2.588



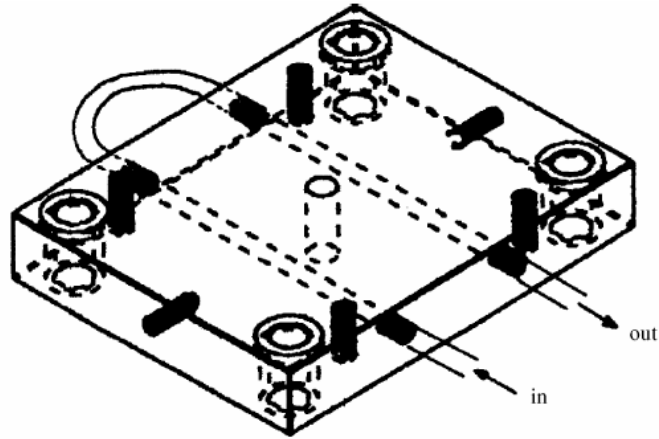
Şekil 7.83 Doğrulama deneyi sonucu (Oktem ve diğer., 2007).

Tang, Tan, Sapuan, Sulaiman, Ismail ve Samin (2007), çarpılma probleminin ince cidarlı parçaların üretiminde en sık rastlanan problemlerden biri olduğunu vurgulayarak bu problemin minimize edilmesinde Taguchi optimizasyon yönteminden yararlanmıştır. Çalışmalarında 120mm×50mm×1mm ölçülerine sahip

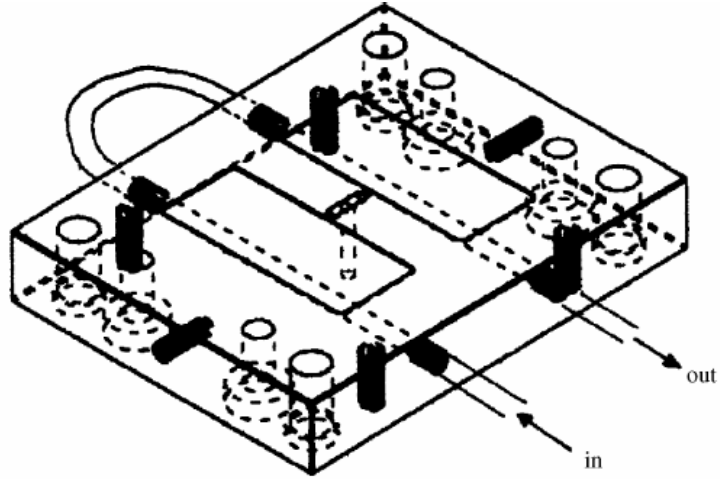
deney numunesinden yararlanmışlardır. Bu numunelerin üretimi için kalıp imal edilmiş ve çalışmada imalat işlemi adım adım açıklanmıştır. İmalat işleminde kullanılan faktörler erime sıcaklığı, dolma süresi, tutma basıncı ve tutma süresidir. Çalışma sonuçları %47,3 ile numunelerin çarpılmasını etkileyen en önemli faktörün erime sıcaklığı olduğunu göstermiştir. Erime sıcaklığını, %28,93 ile tutma süresi, %17,26 ile tutma basıncı ve %6,51 ile dolma süresinin izlediği belirlenmiştir.



Şekil 7.84 Çarpılma deney numunelerini üretecek kalıba ait havalandırma sistemi (Tang ve diğer., 2007).



Şekil 9.85 Çarpılma deney numunelerini üretecek kalıbın dışı yarımına ait soğutma sistemi tasarımı (Tang ve diğer., 2007).



Şekil 7.86 Çarpılma deney numunelerini üretecek kalıbın erkek yarımına ait soğutma sistemi tasarımı (Tang ve diğer., 2007).

Tablo 7.38 imalat işelmi sırasında kullanılacak parametreler ve seviyeleri (Tang ve diğer., 2007).

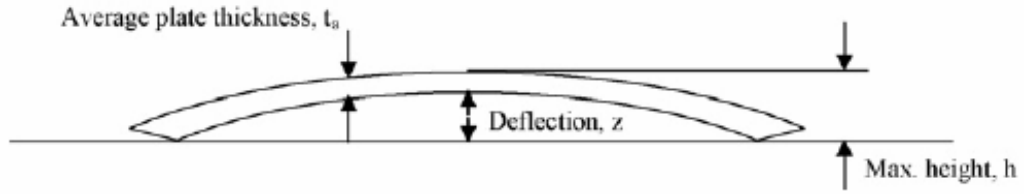
The parameter for three levels of selected factors

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
Melt temperature, A (°C)	240	265	290
Filling time, B (s)	0.1	0.3	0.5
Packing pressure, C (%)	60	75	90
Packing time, D (s)	0.6	0.8	1.0

Tablo 7.39 Taguchi L9 deney tasarımı matrisi ve faktör seviyelerinin tasarımda kullanılması (Tang ve diğer., 2007).

The combination parameters for the effective factors

Trial no.	Melt temperature, A (°C)	Filling time, B (s)	Packing pressure, C (%)	Packing time, D (s)
1	240	0.1	60	0.6
2	240	0.3	75	0.8
3	240	0.5	90	1.0
4	265	0.1	75	1.0
5	265	0.3	90	0.6
6	265	0.5	60	0.8
7	290	0.1	90	0.8
8	290	0.3	60	1.0
9	290	0.5	75	0.6



Şekil 7.87 Parçalarda meydana gelen çarpılma şekli ve çarpılma miktarı z 'nin ölçümü (Tang ve diğer., 2007).

Tablo 7.40 Deney sonuçlarına ait varyans analizi tablosu (Tang ve diğer., 2007).

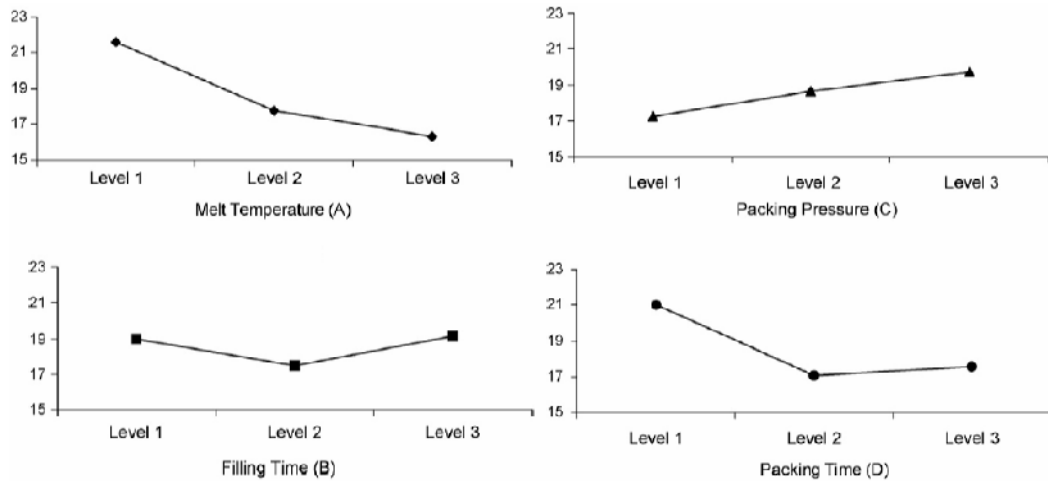
Summarize of the experimental result

Trial no.	Control factor				Average deflection, z_a (mm)	S/N
	Melt temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Filling time (s)	Packing pressure (%)	Packing time (s)		
1	240	0.1	60	0.6	0.0679	23.23
2	240	0.3	75	0.8	0.1066	19.16
3	240	0.5	90	1.0	0.0735	22.28
4	265	0.1	75	1.0	0.1301	17.35
5	265	0.3	90	0.6	0.0941	20.33
6	265	0.5	60	0.8	0.1613	15.52
7	290	0.1	90	0.8	0.1486	16.42
8	290	0.3	60	1.0	0.2133	13.03
9	290	0.5	75	0.6	0.1049	19.49

Tablo 7.41 Seviyelere ait S/N oranları (Tang ve diğer., 2007).

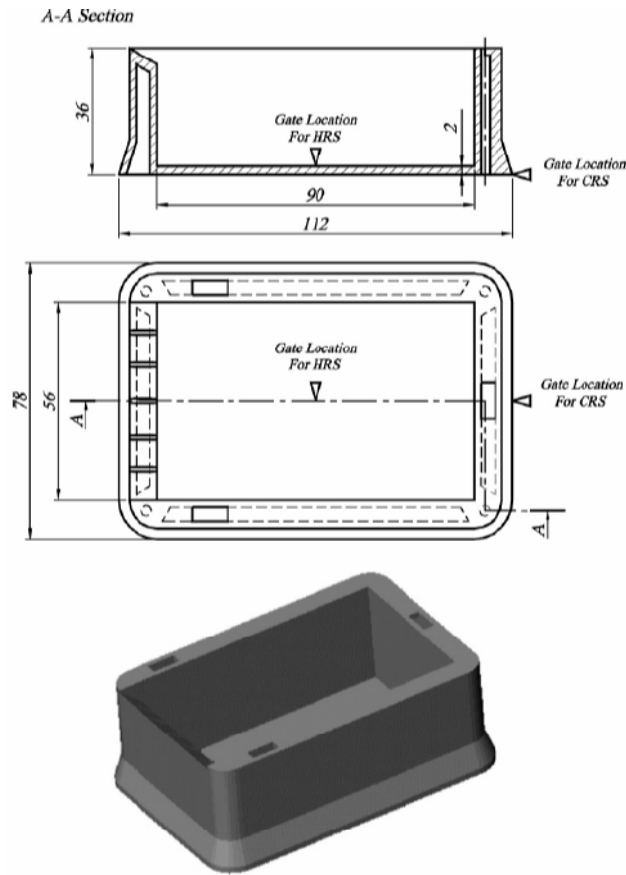
The response table of S/N ratio

	Melt temperature (A)	Filling time (B)	Packing pressure (C)	Packing time (D)
Level 1	21.557	19.000	17.260	21.017
Level 2	17.733	17.507	18.667	17.033
Level 3	16.313	19.097	19.677	17.553
Difference	5.244	1.590	2.417	3.984



Şekil 7.88 Seviyelere ait S/N oranlarının grafik gösterimi (Tang ve diğer., 2007).

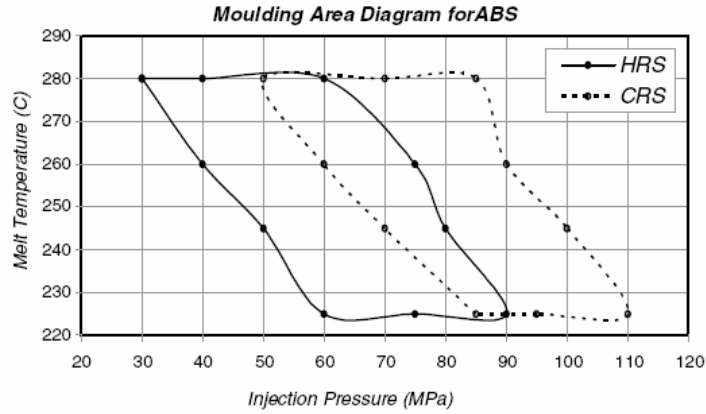
Demirer, Soydan ve Kaptı (2007), çalışmalarında konvansiyonel ve sıcak yolluklu sistemlerin kalıplanabilirlik, çekme, çarpılma ve yoğunluk üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Analiz için tasarımı ve imalatı yapılan kalıpta üretilmiş gerçek deney numunelerinden yararlanılmıştır. ABS ve PP malzeme kullanılarak üretilen numunelere ait analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak aşağıda görülmektedir.



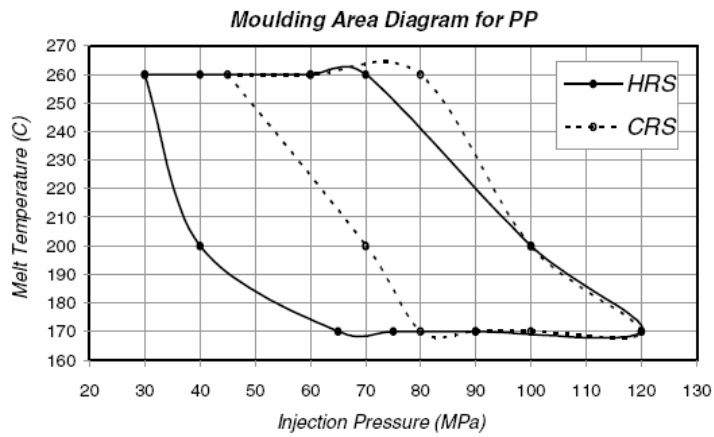
Şekil 7.89 Üretimi yapılacak numune resmi ve giriş düzlemi (Demirer ve diğer., 2007).

Tablo 7.42 Enjeksiyon işleminde kullanılan üretim işlemi parametreleri (Demirer ve diğer., 2007).

Experimental conditions for injection moulding process							
Base polymer	Process temperature (°C)	Injection pressure (MPa)		Packing pressure (MPa)	Mould temperature (°C)	Cycle time (s)	Injection velocity (m/s)
		HRS	CRS				
ABS	225	60, 70, 75, 80, 90	70, 85, 95, 110	% 50 of injection pressure	40	50	0.012
	245	50, 65, 80	70, 100				
	260	40, 75	60, 90				
	280	30, 40, 60	50, 70, 90				
PP	170	65, 75, 80, 90, 100, 110	80, 90, 100, 110, 120	40	40	60	0.015
	200	40, 100	70, 100				
	260	30, 40, 60, 70	45, 60, 80				



Moulding area diagram for ABS material when using HRS and CRS.

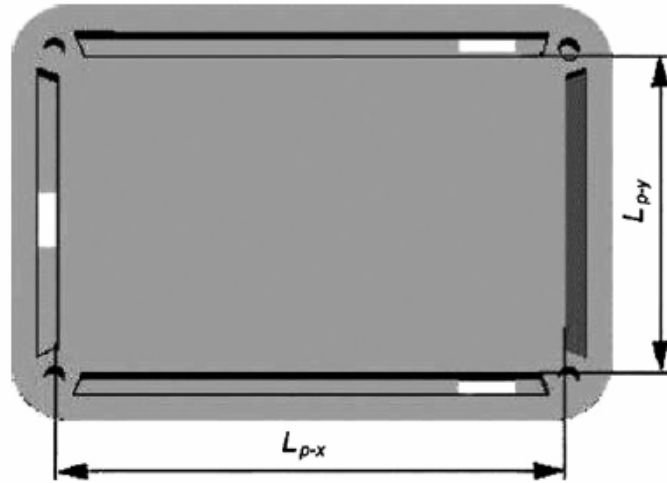


Moulding area diagram for PP material when using HRS and CRS.

Şekil 7.90 Konvansiyonel ve sıcak yolluk sistemine ait ABS ve PP malzeme için erime sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı dikkate alınarak oluşturulmuş imalat yapılabilir bölgelerin grafikte gösterimi (Demirer ve diğer., 2007).

Tablo 7.43 Sıcak yolluk kullanılmasıyla ABS malzeme kullanılan numunelerde ve PP malzeme kullanılan numunelerde kazanılan enjeksiyon basınç artışı (Demirer ve diğer., 2007).

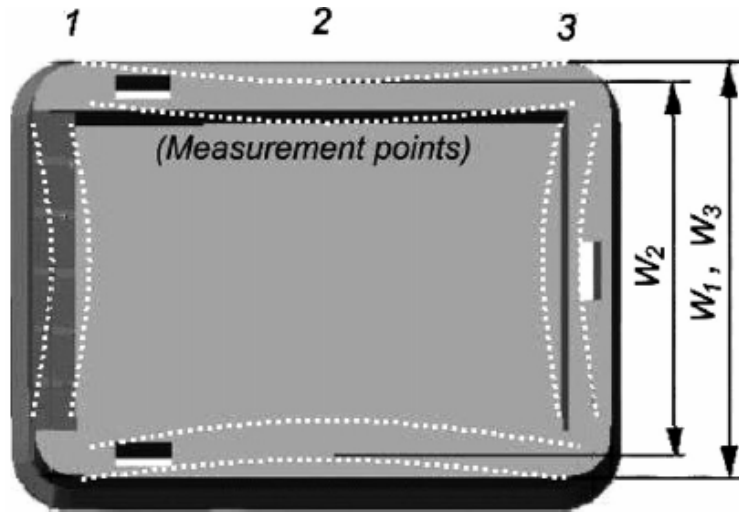
Injection pressure gain with the use of HRS for ABS and PP polymers			
Base polymer	Process temperature (°C)	Injection pressure gain with the use of HRS	
		(MPa)	(%)
ABS	225	20	20.51
	245	20	23.53
	260	17.5	23.33
	280	22.5	33.33
PP	170	7.5	7.5
	200	15	17.64
	260	12.5	20



$$\text{Length-wise shrinkage rate (\%)} = 100 \cdot (L_{m-x} - L_{p-x}) / L_{m-x} \quad (1)$$

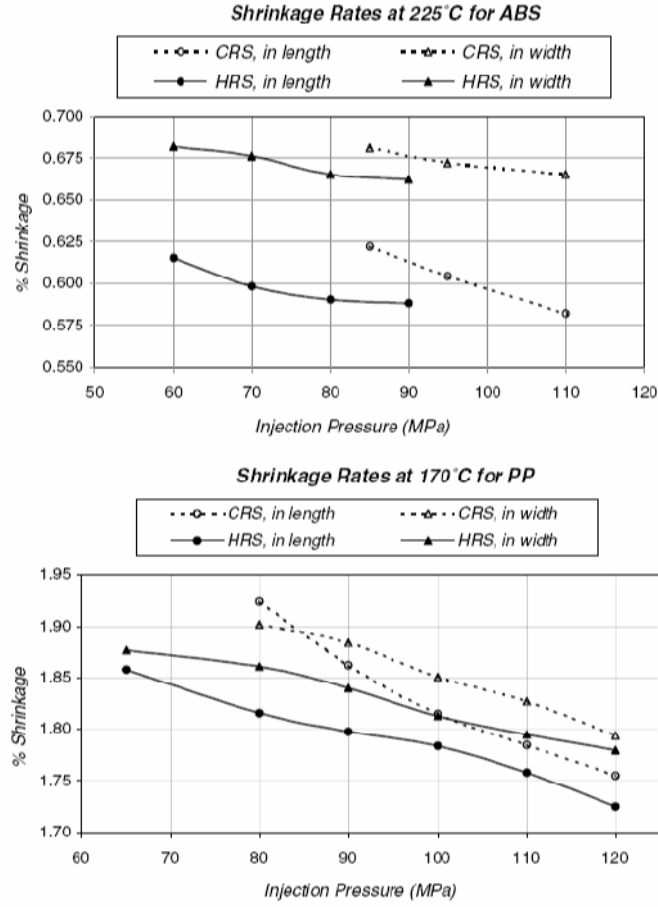
$$\text{Width-wise shrinkage rate (\%)} = 100 \cdot (L_{m-y} - L_{p-y}) / L_{m-y} \quad (2)$$

Şekil 7.91 Konvansiyonel ve sıcak yolluk sistemi kullanılarak üretilen parçaların çekme analizinde kullanılacak ölçüler: (1) Boyda oluşacak çekmenin hesaplanması, (2) genişlikte meydana oluşacak çekmenin hesaplanması (Demirer ve diğer., 2007).

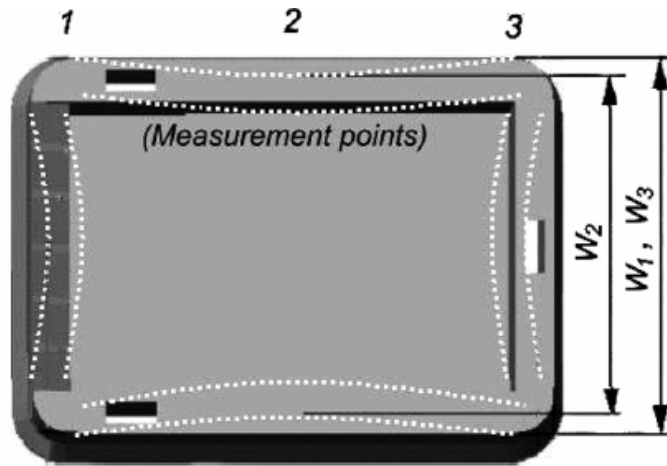


$$\text{Single-side warpage : } W = [(W_1 + W_3)/2 - W_2]/2$$

Şekil 7.93 Konvansiyonel ve sıcak yolluk sistemi kullanılarak üretilen parçaların çarpılma analizinde kullanılacak ölçüm noktaları ve çarpılmanın hesaplanması (Demirer ve diğer., 2007).

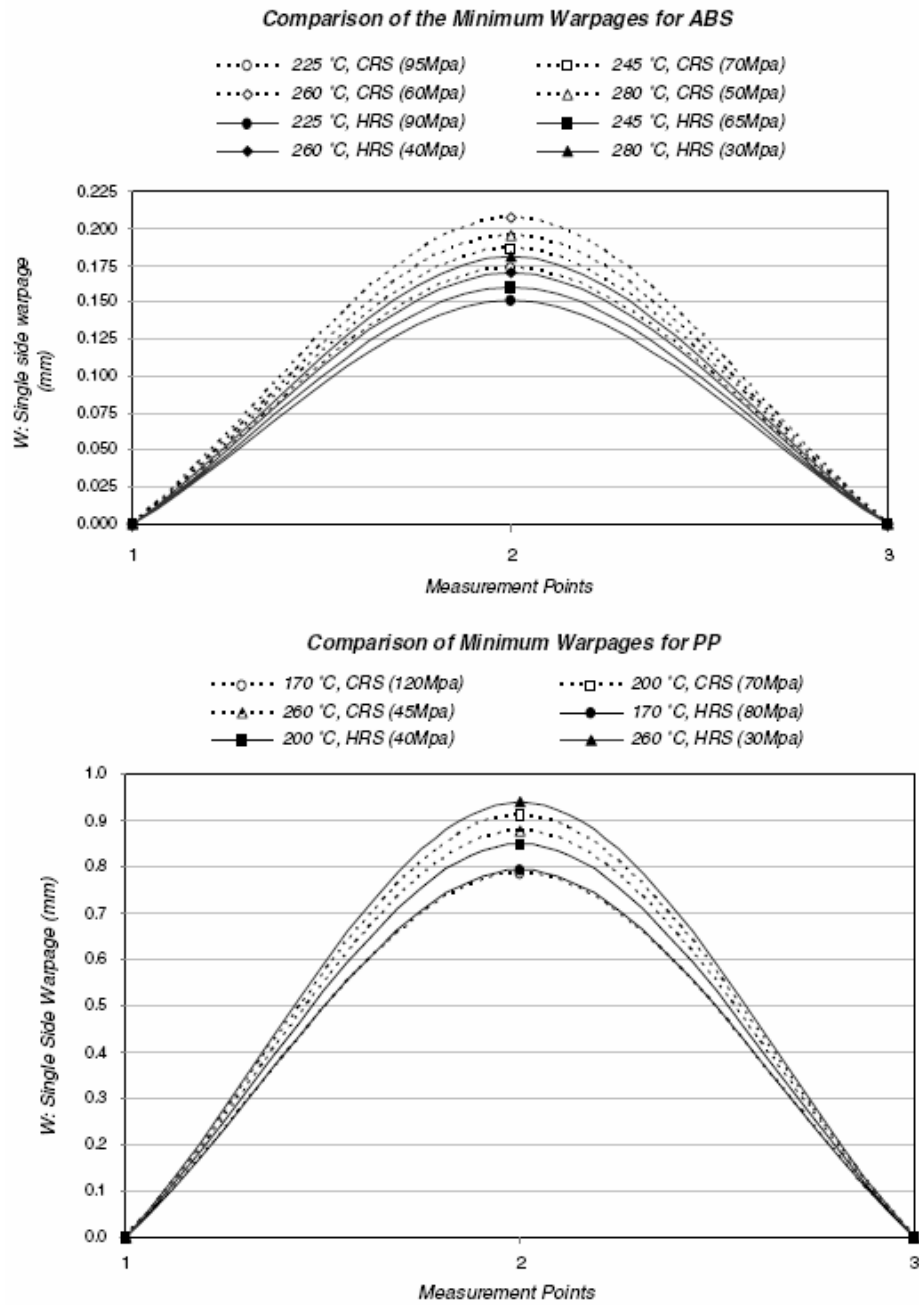


Şekil 7.92 ABS ve PP malzemeli numuneler için çekme analizi sonuçları (Demirer ve diğer., 2007).

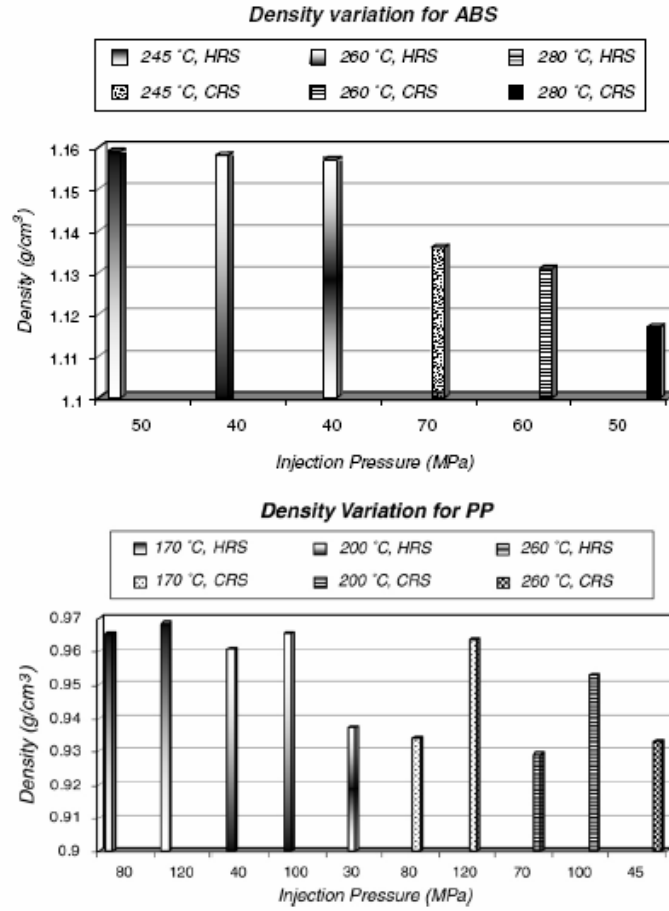


$$\text{Single-side warpage : } W = [(W_1 + W_3)/2 - W_2]/2$$

Şekil 7.93 Konvansiyonel ve sıcak yolluk sistemi kullanılarak üretilen parçaların çarpılma analizinde kullanılacak ölçüm noktaları ve çarpılmanın hesaplanması (Demirer ve diğer., 2007).

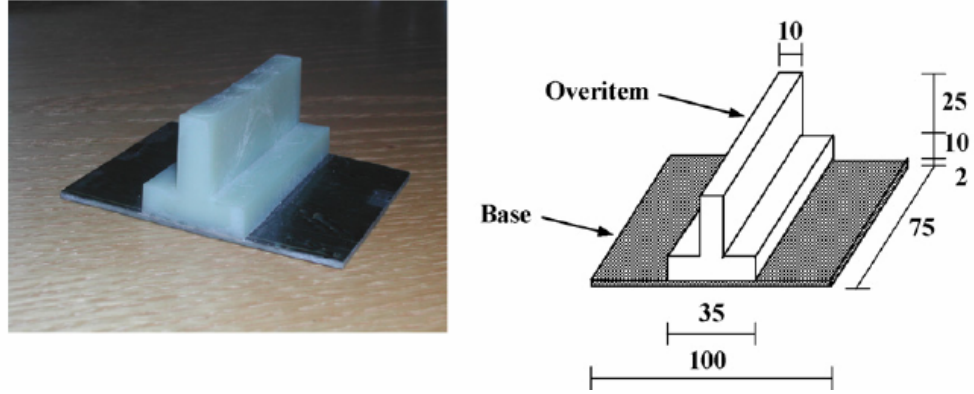


Şekil 7.94 Çarpılma analizlerinin karşılaştırılması (Demirer ve diğer.,2007).

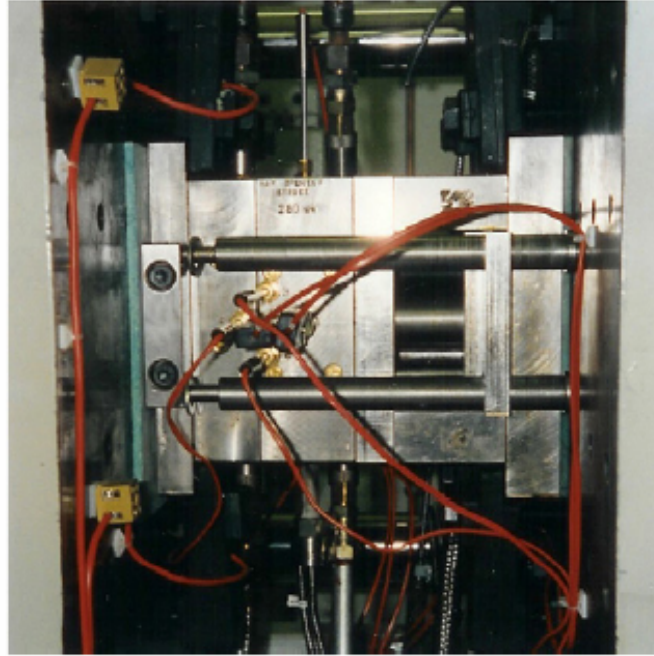


Şekil 7.95 Enjeksiyon işlemi sonrası meydana gelen yoğunluk değişimi karşılaştırılması (Demirer ve diğer, 2007).

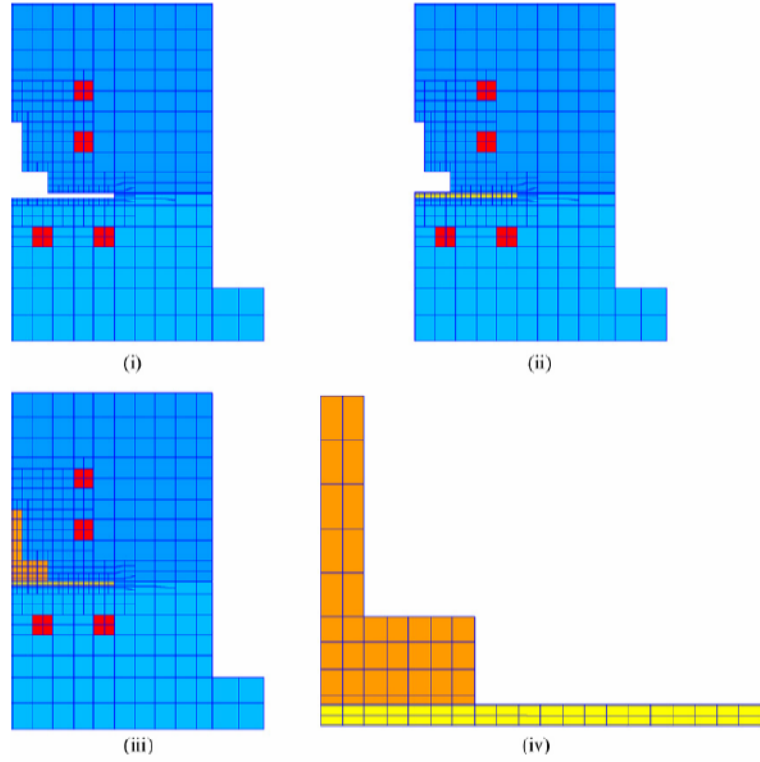
Harte ve Namara (2007), çalışmalarında uzun fiber takviyeli kompozit termoplastik taban üzerine kısa fiber takviyeli kompozit termoplastik malzemenin üst üste enjeksiyonu sonrasında meydana gelen çarpılma işleminin optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Harte ve Namara (2007), enjeksiyon işleminin termomekanik safhalarını bilgisayar ortamında analiz ederek meydana gelecek olan çarpılma değerini önceden tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalar çarpılma değerinin %29 luk bir hata ile belirlenebildiğini göstermiştir.



Şekil 7.96 Üst üste enjeksiyon yapılacak kompozit plaka ve kaburga (Harte ve Namara, 2007).



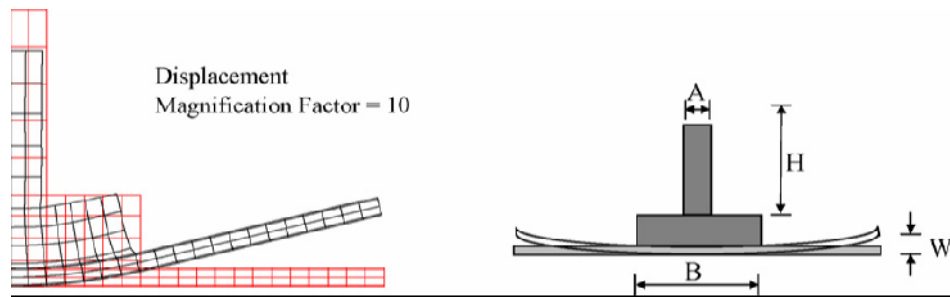
Şekil 7.97 Üretim işleminin yapılacağı kalıp (Harte ve Namara, 2007).



1. preheating of mould;
2. insertion of base in mould;
3. base heating;
4. injection of overliem;
5. cooling in mould;
6. ejection of part from mould;
7. cooling in air.

Thermal analysis model: (i) Stage 1; (ii) Stages 2 and 3; (iii) Stage 5; (iv) Stage 7.

Şekil 7.98 Enjeksiyon işleminin safhalarında termal analizler için kullanılacak modeller (Harte ve Namara, 2007).



Şekil 7.90 Enjeksiyon işlemi sonrasında meydana gelen çarpılma (Harte ve Namara, 2007).

Tablo 7.44 Tahmin edilen bilgisayar analizleri yardımıyla tahmin edilen çekme ve çarpılma değerleri ile üretim sonrasında ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırılması (Harte ve Namara, 2007).

Deformation of the part after cooling in air—Stage 7

Deformation (mm)	Measured value	FEM model	Error %
Warping, W	0.90	1.16	29
Shrinkage in dimension A	0.10	0.18	80
Shrinkage in dimension B	0.10	0.11	10
Shrinkage in dimension H	0.59	0.55	7

BÖLÜM SEKİZ

TAGUCHI DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ

8.1 Kalite, Kalite Kontrol, Toplam Kalite Yönetimi

Günümüz sanayi ve ticaret dünyasında en çok kullanılan kelimelerden biri olan kalite, Latince “qualitas” demektir ve nasıl oluştuğu anlamına gelen “qualis” kelimesinden gelmektedir. Sözcük anlamı hangi nesne için kullanılıyorsa onun gerçekte ne olduğunu belli etmek amacını taşır. TSE ISO 9005’te yer alan tanımına göre kalite, bir ürünün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerinin toplamıdır. Kalite kullanım amacına göre farklılık gösterdiği için, pek çok kişinin bildiği veya tanımlamaya çalıştığı gibi mutlak anlamda en iyi demek değildir (Kobu, 1987). Müşteri memnuniyeti ve üretimde istikrar için kalite kontrol altında tutulmalıdır. Kalite kontrol, ürün ve hizmetlerin belirlenmiş standartlara ne kadar uyduğunu gösteren bir ölçüdür. Kalitenin kontrol altında tutulmasında uygulanan yöntemlerden biri toplam kalite yönetimidir. ‘Toplam kalite yönetiminin tanımlanmasında uzmanlar tarafından yapılan çok sayıda tanım olmakla birlikte Masters (1996), toplam kalite yönetimini; katılımcı yönetimi kullanan ve müşterinin gereksinimlerine yoğunlaşmış sürekli bir iyileştirme sistemi olarak tanımlamaktadır’ (Yılmaz, 2003).

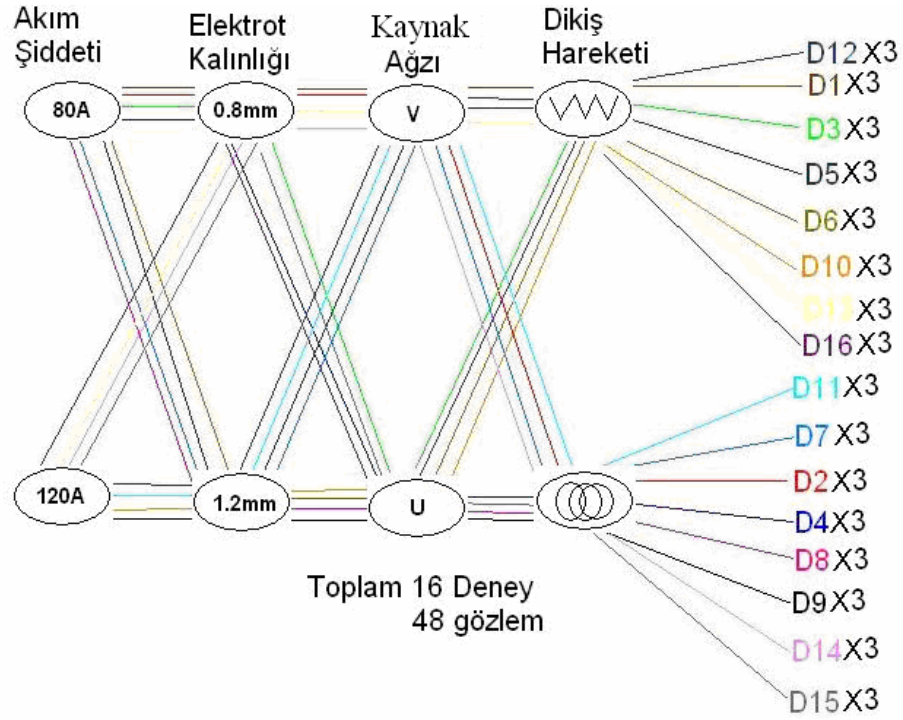
8.2 Deney Tasarımı

Deney tasarımı, toplam kalite yönetimi uygulamalarında kalitenin elde edilmesinde sık kullanılan yöntemlerden biridir. İlk olarak 1920’li yıllarda istatistik biliminin babası sayılan İngiliz Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Fisher bu yöntemi, araştırmalarında elde ettiği sonuçlara, kullandığı değişkenlerin eş zamanlı olarak etkilerini belirleyebilmek amacıyla geliştirmiştir. Fisher bu amaca yönelik yaptığı ilk çalışmalarda en iyi mahsul için gerekli olan; yağmur, su, gübre, güneş ışığı vb. miktarlarını bulmayı hedeflemiştir. Buradaki yağmur, su, gübre gibi bağımsız değişkenlere *faktör* veya *parametre*, mahsul kalitesine *bağımlı değişken*

veya *yanıt*, aynı parametreye ait farklı değerlere *seviye* denilmektedir. Seviyelere örnek olarak gübre miktarı faktörüne ait 50gr., 75gr. 100gr. lık ağırlık değişimleri verilebilir.

Deney yapmanın amacı, bir süreç veya sistem hakkındaki bazı bilgilerin doğru olup olmadığını kontrol etmek veya yeni bir takım bilgileri ortaya çıkarmaktır. Her deney en az bir ve daha fazla sonuca cevap bulmak için yapılır. Deneylerde kullanılan bağımlı değişkenler bağımsız değişkenlerin ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisi altında değişim gösterirler. Aynı deneyin birden fazla tekrar edilerek sonuçların gözlemlendiği deneylere tekrarlı deneyler, sadece tek bir gözlemin yapıldığı deneylere tekrarsız deneyler denilmektedir. Tekrar sayısının artması maliyeti artırmakla birlikte deney sonuçlarının daha güvenilir olarak elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı durumlarda bir deney, bir veya daha fazla bağımlı değişkeni gözlemlemek için kullanılabilir, bu tip deney gruplarına çok yanıtlı deney grupları denilmektedir. Faktörlerin tüm olası kombinasyonlarının denendiği deney grubuna (tasarımına) tam faktöriyelli, belli bir bölümünün denendiği deney tasarımlarına ise kesirli faktöriyelli deney tasarımı denilmektedir. İstatistiksel deney tasarımının amacı hedeflenen veya araştırılan sonuçları ve bu sonuçlardan meydana gelen sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek, analiz işlemi için kullanılan deney gurubunu etkili bir şekilde planlamak ve bunu bir prosedüre oturtmaktır. Bu amaçla 1920’li yıllardan günümüze çeşitli tasarım matrisleri başka bir deyişle deney tasarımları oluşturulmuştur ve bu yöntem beraberinde deney sonuçlarının değerlendirilmesi için varyans analizi yöntemi başta olmak üzere çeşitli istatistiksel metotların gelişimine neden olmuştur. Günümüzde deney tasarımlarının yorumlanmasında en çok kullanılan yöntemler, grafik yöntem ve varyans analizi yöntemleridir. Geliştirilen her yöntemin kaynağında bir ihtiyaç yatar. Birden fazla tekrar yapma ihtiyacı duyulmadan, tek faktörlü deneyler dediğimiz ve tek bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini araştırdığımız deneylerde deney sonuçlarını yorumlamak için çoğu zaman istatistiksel yöntemlere ihtiyaç duyulmayabilir. Fakat içerisinde çok sayıda kontrol edilebilen ve edilemeyen bağımsız değişkenlerin bulunduğu ve her bir deneyin birden fazla tekrarlanarak bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin araştırıldığı ve faktörler arasında etkileşimin

önemli olduğu deneyleri yorumlayabilmenin tek yöntemi istatistiksel analiz yöntemleridir. Günümüzde kullanabileceğimiz çok sayıda tasarım matrisi mevcuttur. İster toplam kalite yönetiminin bir parçası olsun ister bilimsel bir araştırma olsun eğer bir deney tasarımı kullanılacaksa bunun ilk basamağı hedefin ve hedefe ulaşmakta kullanılacak araçların net olarak belirlenmesidir. İkinci adım uygun tasarım matrisinin seçilmesidir. Amaç ve tasarım matrislerinin belirlenmesi ile ilgili olarak Taguchinin belirlemiş olduğu prosedüre Bölüm 8.3’de değinilecektir fakat bu konuya başlamadan önce tam faktöriyelli, kesirli faktöriyelli ve ortagonal tasarım matrislerin kısaca açıklanması yararlı olacaktır. Deney tasarımının 1920’li yıllarda temellerinin atılmasına karşın imalat sektörüne Japonya’da 1940’lı yıllarda, Amerika Birleşik Devletlerinde 1980’li yıllarda girmesindeki en büyük nedenlerden biri bu tekniğin uygulanmasının ekonomik olmayışı ve uzun zaman gerektirmesidir. Deney tasarımı üzerine çalışmalar tam faktöriyelli deney tasarımı uygulamalarıyla başlamıştır. Bir deney tasarımında kullanılan her bir faktörün tüm seviye kombinasyonlarına karşılık gelen deneyler yapılıyorsa bu tip tasarımlara tam faktöriyelli deney tasarımları denilmektedir. Örneğin bir gazaltı kaynak yöntemiyle yapılmış kaynak işlemi sonrası numuneler üzerinde meydana gelen çekme mukavemetine akım şiddeti, elektrot kalınlığı, kaynak ağzı ve kaynak sırasındaki dikiş çekme yönteminin etkileri araştırılmaktadır. Bu amaca yönelik yapılacak deneyde akım şiddeti için 80A ve 120A, elektrot kalınlığı için 0,8mm ve 1,2mm, kaynak ağzı için V ve U, kaynak dikişi el hareketleri için dairesel ve zig-zag faktör seviyeleri olarak belirlenmiştir. Bu örnek için tam faktöriyelli deney tasarımı olan L16 tasarım matrisi seçildiğinde bu deney tasarımı için uygulanacak kombinasyon sayısı faktörlerin seviye sayısının çarpımı olan $2^4=16$ olarak bulunur. Bunun anlamı tüm faktörlerin etkilerini tam olarak açıklayabilmek için en az 16 adet deneye ihtiyaç duyulduğudur. Her bir deney için üç tekrar yapıldığı düşünülürse toplam 48 adet gözlem yapılması gerekmektedir. Şekil 8.1’de deneylere karşılık gelen faktör seviye kombinasyonları görülmektedir.



Şekil 8.1 Örnek deney tasarımında her bir deneye karşılık gelen seviye kombinasyonlarının gösterimi.

Şekil 8.1 kullanılan tasarım matrisine L16 tam faktöriyelli deney tasarımı denilmektedir. L16 tasarım matrisi kullanılarak mukavemet üzerinde etkili olan akım şiddeti, elektrot kalınlığı, kaynak ağzı, kaynak dikişi şekli gibi ana faktörlerin etkileri yanında, bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin de kaynak mukavemeti üzerine etkileri gözlemlenebilmektedir. Örnek olarak bu dört ana faktöre sırayla A, B, C, D indislerini verdiğimizizi düşünürsek ikili etkileşimlerinin (AB, AC, AD, BC, BD, CD) sayısı 4'ün ikili kombinasyonuna karşılık gelen 6, üçlü etkileşimlerinin sayısı (ABC, ABD, ACD, BCD) dördün üçlü kombinasyonları sayısına karşılık gelen 4 ve dördlü etkileşim sayısı (ABCD) dördün dördlü kombinasyonu olan 1 bize deneyden elde edebileceğimiz etkileşim sayılarını vermektedir. Buna göre tam faktöriyelli L16 serisi ile 4 tane ana faktör etkileşiminin, 6 tane ikili faktör etkileşiminin, 4 tane üçlü faktör etkileşiminin, bir tane dördlü faktör etkileşiminin, toplamda 15 parametrenin mukavemet değeri üzerindeki etkileri gözlemlenebilmektedir. İkili ve üçlü ve dördlü etkileşimlerin sonuca etkisinin önemli olmadığı durumlarda 15'e kadar ana faktörün mukavemet değeri üzerindeki etkileri belirlenebilmektedir. Tekrar sayısının artması deney için kullanılacak malzeme miktarı ve zamanının orantılı olarak artmasına

neden olmakla birlikte varyans denilen değişim miktarının tespitinin daha az hata yüzdesiyle hesaplanabilmesine neden olmaktadır. Varyansın daha hassas ölçülmesi analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktadır. Bu nedenle tam faktöriyelli deney tasarımlarında tekrar sayısını azaltmak zorunda kalmadan deney maliyetini düşürmek amacıyla kesirli faktöriyelli deney tasarımı matrisleri geliştirilmiştir. Kesirli faktöriyelli deney tasarımlarının geliştirilmesi ile örneğin 16 deney gerektiren tam faktöriyelli L16 deney tasarımı sonuçları 8 deneyle yaklaşık olarak elde edilebilir hale dönüşmüştür. Deney sayısındaki azalma, zaman ve ekonomik olarak deney tasarımının üzerindeki yükü azaltmasına rağmen faktör etkileşimlerinin sayısında kısıtlamalar getirmiştir. Örneğin L8 kesirli deney tasarımı ile 4 ana etki, 3 adet ikili etkileşim olmak üzere toplamda 7 parametrenin sonuç üzerindeki etkileri hesaplanabilmektedir. Taguchi deney tasarımlarında ortogonal dizinlerin kullanılmasını tavsiye etmektedir (Şirvancı, 1997). Ortogonal dizinler genelleştirilmiş Graeco-Latin kareleridir ve tasarım parametrelerinin değişik sayıda test seviyelerine sahip olmasına imkan verirler. Ortogonal dizin deneylerinde, bir tasarım parametresinin her seviyesi, tüm diğer tasarım parametrelerinin her seviyesi ile aynı sayıda tekrarlandığı için bu tip dizinler dengelidir. Başka bir deyişle ortogonalite, bir faktörün başka bir faktörle bağımsız olarak hesaplanabilmesi demektir. Bir tasarım matrisinin ortogonal olup olmadığını anlamanın en kolay yolu eğer iki seviyeli faktöriyel tasarım kullanılıyorsa, her bir faktörün düşük seviyesine “-1” ve yüksek seviyesine “+1” yazılıp sütun vektörlerinin ikili skaler çarpımlarının sıfıra eşit olup olmadığını kontrol etmekle mümkündür. Eğer tüm ikili çarpımlar sıfıra eşitse tasarım matrisi ortogonaldır demektir. Şekil 8.2 ve Şekil 8.11 arasında sık kullanılan deney tasarımı matrisleri görülmektedir.

L4 (2**3)				L8 (2**7)							L9 (3**4)					
	1	2	3		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2
3	2	1	2	2	3	1	2	2	1	1	2	2	3	1	3	3
4	2	2	1	1	4	1	2	2	2	2	1	1	4	2	1	2
					5	2	1	2	1	2	1	2	5	2	2	3
					6	2	1	2	2	1	2	1	6	2	3	1
					7	2	2	1	1	2	2	1	7	3	1	2
					8	2	2	1	2	1	1	2	8	3	2	3
													9	3	3	2

Şekil 8.2 L4, L8, L9 Deney tasarımı matrisleri, (Minitab programı yardım dokümanı).

L12 (2**11)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

Şekil 8.3 L12 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardım dokümanı).

L16 (2**15)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Şekil 8.4 L16 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardım dokümanı).

L16 (212 4**1)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	3	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	3	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	3	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	4	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	4	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	4	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	4	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Şekil 8.5 L16 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardım dokümanı).

L16 (23 4**4)**

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	1	2	2	2
3	1	3	3	2	3	1	2
4	1	4	4	2	4	2	1
5	2	1	2	2	1	2	1
6	2	2	1	2	2	1	2
7	2	3	4	1	4	2	2
8	2	4	3	1	3	1	1
9	3	1	3	1	4	2	2
10	3	2	4	1	3	1	1
11	3	3	1	2	2	2	1
12	3	4	2	2	1	1	2
13	4	1	4	2	2	1	2
14	4	2	3	2	1	2	1
15	4	3	2	1	4	1	1
16	4	4	1	1	3	2	2

L16 (45)**

	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Şekil 8.6 L16 Deney tasarımı matrisleri, (Minitab programı yardım dokümanı).

L18 (21 3**7)**

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

L18 (61 3**6)**

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	1
6	2	3	3	1	1	2	2
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	1
9	3	3	1	3	2	1	2
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

Şekil 8.7 L18 Deney tasarımı matrisleri, (Minitab programı yardım dokümanı).

L25 (56)**

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4	5
7	2	2	3	4	5	1
8	2	3	4	5	1	2
9	2	4	5	1	2	3
10	2	5	1	2	3	4
11	3	1	3	5	2	4
12	3	2	4	1	3	5
13	3	3	5	2	4	1
14	3	4	1	3	5	2
15	3	5	2	4	1	3
16	4	1	4	2	5	3
17	4	2	5	3	1	4
18	4	3	1	4	2	5
19	4	4	2	5	3	1
20	4	5	3	1	4	2
21	5	1	5	4	3	2
22	5	2	1	5	4	3
23	5	3	2	1	5	4
24	5	4	3	2	1	5
25	5	5	4	3	2	1

L27 (313)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Şekil 8.8 L25 ve L27 Deney tasarımı matrisleri, (Minitab programı yardım dokümanı).

L32 (231) (first 21 columns)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2

Şekil 8.9 L32 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardım dokümanı).

L36 (23 3**13)**

	1	2	3	4	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
5	1	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1
6	1	2	2	1	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
7	2	1	2	1	1	1	2	3	1	2	3	3	1	2	2	3
8	2	1	2	1	2	2	3	1	2	3	1	1	2	3	3	1
9	2	1	2	1	3	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2
10	2	2	1	1	1	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2
11	2	2	1	1	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	3
12	2	2	1	1	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	2	1
13	1	1	1	2	1	2	3	1	3	2	1	3	3	2	1	2
14	1	1	1	2	2	3	1	2	1	3	2	1	1	3	2	3
15	1	1	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	2	1	3	1
16	1	2	2	2	1	2	3	2	1	1	3	2	3	3	2	1
17	1	2	2	2	2	3	1	3	2	2	1	3	1	1	3	2
18	1	2	2	2	3	1	2	1	3	3	2	1	2	2	1	3
19	2	1	2	2	1	2	1	3	3	3	1	2	2	1	2	3
20	2	1	2	2	2	3	2	1	1	1	2	3	3	2	3	1
21	2	1	2	2	3	1	3	2	2	2	3	1	1	3	1	2
22	2	2	1	2	1	2	2	3	3	1	2	1	1	3	3	2
23	2	2	1	2	2	3	3	1	1	2	3	2	2	1	1	3
24	2	2	1	2	3	1	1	2	2	3	1	3	3	2	2	1
25	1	1	1	3	1	3	2	1	2	3	3	1	3	1	2	2
26	1	1	1	3	2	1	3	2	3	1	1	2	1	2	3	3
27	1	1	1	3	3	2	1	3	1	2	2	3	2	3	1	1
28	1	2	2	3	1	3	2	2	2	1	1	3	2	3	1	3
29	1	2	2	3	2	1	3	3	3	2	2	1	3	1	2	1
30	1	2	2	3	3	2	1	1	1	3	3	2	1	2	3	2
31	2	1	2	3	1	3	3	3	2	3	2	2	1	2	1	1
32	2	1	2	3	2	1	1	1	3	1	3	3	2	3	2	2
33	2	1	2	3	3	2	2	2	1	2	1	1	3	1	3	3
34	2	2	1	3	1	3	1	2	3	2	3	1	2	2	3	1
35	2	2	1	3	2	1	2	3	1	3	1	2	3	3	1	2
36	2	2	1	3	3	2	3	1	2	1	2	3	1	1	2	3

Şekil 8.10 L36 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardım dokümanı).

L54 (213**25)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
6	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
7	1	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
8	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
9	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	1	2	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	2	3	2	3	2	3	2	3
11	1	2	1	1	2	2	3	3	2	2	3	3	1	1	2	2	2	2	3	1	3	1	1	3	1	3
12	1	2	1	1	2	2	3	3	3	3	1	1	2	2	3	3	3	3	1	2	1	2	2	1	2	1
13	1	2	2	2	3	3	1	1	1	1	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	1	1	1	1
14	1	2	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3	1	1	3	1	3	1	1	3	1	3	2	2	2	2
15	1	2	2	2	3	3	1	1	3	3	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	3	3	3	3
16	1	2	3	3	1	1	2	2	1	1	2	2	3	3	3	2	3	2	1	1	1	1	2	3	2	3
17	1	2	3	3	1	1	2	2	2	3	3	1	1	1	3	1	3	2	2	2	2	3	1	3	1	1
18	1	2	3	3	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	2	1	3	3	3	3	1	2	1	2
19	1	3	1	2	1	3	2	3	1	2	1	3	2	3	1	1	2	3	1	1	3	2	2	3	3	2
20	1	3	1	2	1	3	2	3	2	3	2	1	3	1	2	2	3	1	2	2	1	3	3	1	1	3
21	1	3	1	2	1	3	2	3	3	1	3	2	1	2	3	3	1	2	3	3	2	1	1	2	2	1
22	1	3	2	3	2	1	3	1	1	2	1	3	2	3	2	3	3	2	2	3	1	1	3	2	1	1
23	1	3	2	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	1	3	1	1	3	3	1	2	2	1	3	2	2
24	1	3	2	3	2	1	3	1	3	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	2	3	3	2	1	3	3
25	1	3	3	1	3	2	1	2	1	2	1	3	2	3	3	2	1	1	3	2	2	3	1	1	2	3
26	1	3	3	1	3	2	1	2	2	3	2	1	3	1	1	3	2	2	1	3	3	1	2	2	3	1
27	1	3	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	2	1	3	3	2	1	1	2	3	3	1	2
28	2	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	2	2	1	1	1	3	2	3	2	2	3	2	3	1	1
29	2	1	1	3	3	2	2	1	2	1	1	3	3	2	2	2	1	3	1	3	3	1	3	1	2	2
30	2	1	1	3	3	2	2	1	3	2	2	1	1	3	3	3	2	1	2	1	1	2	1	2	3	3
31	2	1	2	1	1	3	3	2	1	3	3	2	2	1	2	3	1	1	1	1	3	2	3	2	2	3
32	2	1	2	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	2	3	1	2	2	2	2	1	3	1	3	3	1
33	2	1	2	1	1	3	3	2	3	2	2	1	1	3	1	2	3	3	3	3	2	1	2	1	1	2
34	2	1	3	2	2	1	1	3	1	3	3	2	2	1	3	2	2	3	2	3	1	1	1	1	3	2
35	2	1	3	2	2	1	1	3	2	1	1	3	3	2	1	3	3	1	3	1	2	2	2	2	1	3
36	2	1	3	2	2	1	1	3	3	2	2	1	1	3	2	1	1	2	1	2	3	3	3	3	2	1
37	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	3	2	2	2	3
38	2	1	2	3	1	3	2	2	3	1	2	1	3	2	2	3	1	1	3	2	2	1	3	3	1	1
39	2	1	2	3	1	3	2	3	1	2	3	2	1	3	3	1	2	2	1	3	3	2	1	1	1	2
40	2	2	3	1	2	1	3	1	2	3	1	3	2	2	3	3	2	1	1	2	3	1	1	3	2	2
41	2	2	3	1	2	1	3	2	3	1	2	1	3	3	1	1	3	2	2	3	1	2	2	1	3	3
42	2	2	3	1	2	1	3	3	1	2	3	2	1	1	2	2	1	3	3	1	2	3	3	2	1	1
43	2	3	1	2	3	2	1	1	2	3	1	3	2	3	2	1	1	2	3	3	2	2	3	1	1	1
44	2	3	1	2	3	2	1	2	3	1	2	1	3	1	3	2	2	3	1	1	3	3	1	2	2	2
45	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	2	1	2	1	3	3	1	2	2	1	1	2	3	3	3
46	2	3	1	3	2	3	1	2	1	3	2	3	1	2	1	1	3	2	2	3	3	2	1	1	2	3
47	2	3	1	3	2	3	1	2	2	1	3	1	2	3	2	2	1	3	3	1	1	3	2	2	3	1
48	2	3	1	3	2	3	1	2	3	2	1	2	3	1	3	3	2	1	1	2	2	1	3	3	1	2
49	2	3	2	1	3	1	2	3	1	3	2	3	1	2	2	3	1	1	3	2	1	1	2	3	3	2
50	2	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	3	1	2	2	1	3	2	2	3	1	1	3
51	2	3	2	1	3	1	2	3	3	2	1	2	3	1	1	2	3	3	2	1	3	3	1	2	2	1
52	2	3	3	2	1	2	3	1	1	3	2	3	1	2	3	2	2	3	1	1	2	3	3	2	1	1
53	2	3	3	2	1	2	3	1	2	1	3	1	2	3	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	2	2
54	2	3	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	1	1	2	3	3	1	2	2	1	3	3

Şekil 8.11 L54 Deney tasarımı matrisi, (Minitab programı yardımı dokümanı).

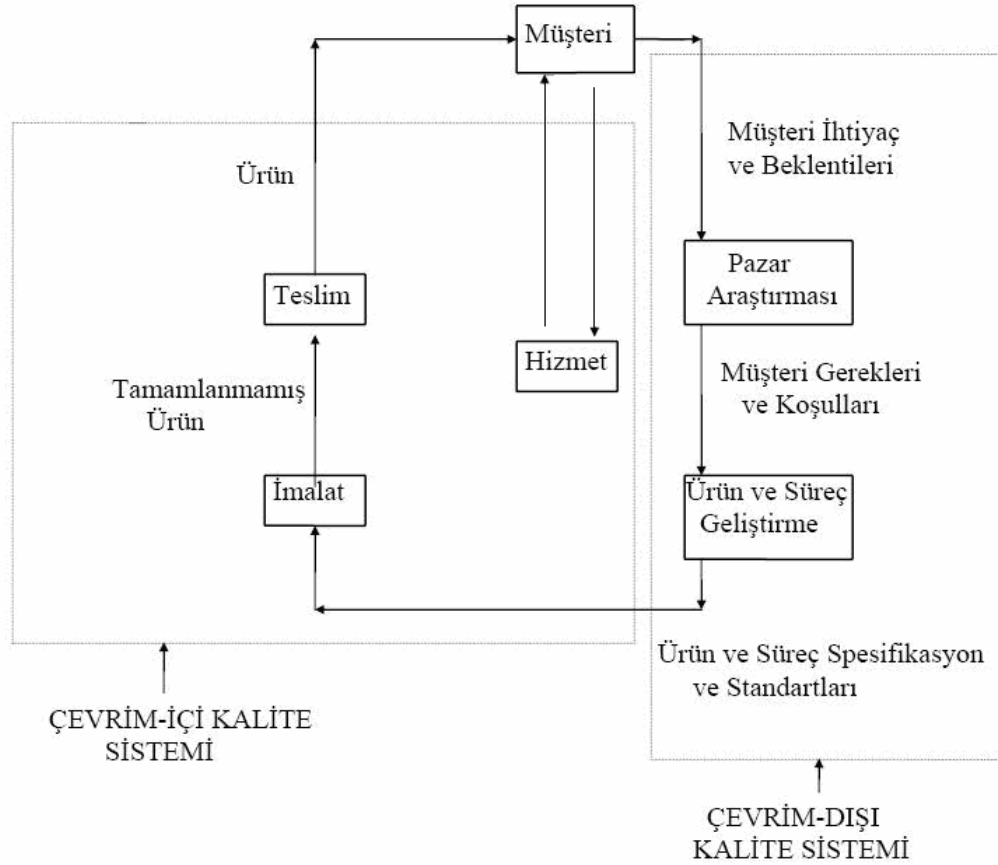
8.3 Taguchi yöntemi

Japonya'nın kalite devrimine fikirleri ile büyük katkıda bulunan yönetim düşünürlerinden birisi olan Genichi Taguchi kalite mühendisliği kavramının fikir babası olarak kabul edilir. Deney tasarımı, ortogonal dizinlerin kullanılmasıyla ilgili yaptığı başarılı çalışmalar toplam kalite yönetiminin gelişmesinde büyük rol oynamıştır. Toplam kalite yönetiminin ana hedeflerinden ilki, ürünün kaliteyi ürünün tasarım aşamasında sağlamaktır. İkinci önemli hedef ise, kaliteyi minimum maliyetle yakalamaktır. Bu iki amacı gerçekleştirmek için en çok kullanılan metotlardan biri Taguchi deney tasarımı metodudur.

Prefesör Taguchi'nin kalite felsefesi yedi bölümde özetlenebilir (Saat, 2000);

- 1) Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.
- 2) Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gerekmektedir.
- 3) Sürekli kalite geliştirme programları, ürün performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermektedir.
- 4) Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterinin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır.
- 5) Ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.
- 6) Ürün veya sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderilerek azaltılabilir.
- 7) İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Taguchinin üretim kalite sistemi Off-Line ve On-Line kalite kontrol olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Şirvancı, 1997). Şekil 8.12 de Taguchi üretim/kalite çemberi görülmektedir.



Şekil 8.12 Taguchi ürün/kalite çemberi (Saat, 2000).

Off-Line kalite kontrol; pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır.

On-Line kalite kontrol; ürünün imalatı sırasındaki ve imalatı sonrası kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetleridir.

Deney tasarımı Taguchinin kalite sisteminde off-line kalite kontrol içerisinde yer almaktadır. Taguchi off-line kalite kontrolü, ürün tasarımıdaki kalite kontrol ve proses tasarımıdaki kalite kontrol olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki kontrol üç kalite aşamasından oluşur. Bunlar sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır.

Sistem tasarımında, müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ön tasarım geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, prototip ürün parametre değerleri seçimi vb., süreç tasarımı aşamasında üretim ekipmanı ve geçici süreç faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur (Saat, 2000).

Parametre tasarımında, Nihai ürünlerdeki varyansa en fazla katkıda bulunan faktörler belirlenir. Mühendislik tasarımlarının varyansın kaynaklarına duyarlılığını, diğer bir deyişle topluma vereceği beklenen zararı minimize eden değerleri belirlemek için bir dizi deneyler yapılır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyansları en aza indirerek ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır (Saat, 2000). Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır (Saat, 2000). Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler). Gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkansız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünler arası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır (Saat, 2000). İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün

belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalat hataları, ürün aşınması vb.'dir. Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı arttırıcı yönde etki yaparlar. Ürünler arası gürültü faktörleri aynı spesifikasyona göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerinin optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına robüst tasarım demektedir (Saat, 2000). Burada robüst, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır (Saat, 2000). Bir ürün veya sürecin robüslüğü, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır. Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robüst tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir (Saat, 2000).

Tolerans Tasarımında, ikinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir (Saat, 2000).

Taguchi'ye göre, ürünün kalitesini iyileştirmede en belirgin çalışmaların yapılabileceği aşama parametre tasarımı aşamasıdır (Şirvancı, 1997). Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı sistemi optimize eden kontrol faktör seviyesi kombinasyonunu belirlemektir. Şekil 8.13'de Taguchi'nin parametre tasarımı deney örneği görülmektedir. Tasarımda üç seviyeli dört adet kontrol faktörü ve üç adet iki seviyeli kontrol edilebilir gürültü faktörü kullanılmıştır. Y_{ij} deney

sonucu sonunda elde edilen yanıtlardan oluşan deney sonuçları matrisidir. Mean ve Std bölümleri deney sonuçlarının ortalamalarını ve standart sapmalarını göstermektedir. Deney tasarımına göre birinci deneyde A kontrol faktörünün 1. seviyesi, B kontrol faktörünün 1. seviyesi, C kontrol faktörünün 1. seviyesi, D kontrol faktörünün 1. seviyesi ile N1 gürültü faktörünün 2. seviyesi, N2 gürültü faktörünün 2. seviyesi ve N3 gürültü faktörünün 1. seviyesi kullanılmış ve deney sonucunda elde edilen yanıt değeri $Y_{1,1}$ bölümüne yazılmıştır. Benzer olarak $Y_{i,j}$ deney sonucu matrisi doldurularak $Y_{i,j}$ deki aynı satırda bulunan deneylerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmış mean ve std bölümüne karşılık gelen bölümlere yazılmıştır.

Noise Orthogonal Array				
4	3	2	1	
2	2	1	1	N1
2	1	2	1	N2
1	2	2	1	N3

Control Orthogonal Array				
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

$Y_{i,j}$			
$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_{1,4}$
$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_{2,4}$
$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_{3,4}$
$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$Y_{4,4}$
$Y_{5,1}$	$Y_{5,2}$	$Y_{5,3}$	$Y_{5,4}$
$Y_{6,1}$	$Y_{6,2}$	$Y_{6,3}$	$Y_{6,4}$
$Y_{7,1}$	$Y_{7,2}$	$Y_{7,3}$	$Y_{7,4}$
$Y_{8,1}$	$Y_{8,2}$	$Y_{8,3}$	$Y_{8,4}$
$Y_{9,1}$	$Y_{9,2}$	$Y_{9,3}$	$Y_{9,4}$

Mean	Std
Y_{mean1}	Y_{std1}
Y_{mean2}	Y_{std2}
Y_{mean3}	Y_{std3}
Y_{mean4}	Y_{std4}
Y_{mean5}	Y_{std5}
Y_{mean6}	Y_{std6}
Y_{mean7}	Y_{std7}
Y_{mean8}	Y_{std8}
Y_{mean9}	Y_{std9}

Şekil 8.13 Taguchinin parametre tasarımı deney örneği, (Unal ve Dean, 1991).

Deneylerin tamamlanması sonrasındaki aşamada gürültü faktörlerini minimize eden kontrol faktörü seviyelerinin tespitinin yapılması gerekmektedir. Seviyelerin tespitinde kullanılmak üzere Taguchi 50 den fazla kalite karakteristiği (S/N oranı) geliştirmiştir (Saat, 2000). Bunlardan en çok kullanılanları en küçük en iyi, hedef

değer en iyi ve en büyük en iyi kalite karakteristikleridir. Her üç kalite karakteristiğinde de amaç S/G oranını maksimize etmektir.

En küçük en iyi, kalite karakteristiğinde Y'nin hedef değeri sıfırdır (Şirvancı, 1997). Plastik enjeksiyon işlemi sonrasında meydana gelen çarpılmanın azaltılması isteniyorsa kalite karakteristiği olarak en küçük en iyi kalite karakteristiği seçilmelidir.

$$S/G = -10\log\left(\sum Y^2/n\right) \quad [28]$$

En büyük en iyi kalite karakteristiği için Y'nin hedef değeri sonsuzdur (Şirvancı, 1997). Örneğin bir fabrikanın üretim performansının artırılması hedefleniyorsa en büyük en iyi kalite karakteristiği seçilmelidir.

$$S/G = -10\log\left[\left(\sum (1/Y^2)/n\right)\right] \quad [29]$$

Bu tür problemlerde Y için belirli bir hedef verilmiştir (Şirvancı, 1997). Örneğin bir transformatörden elde edilecek gerilimin 50V gibi sabit bir değer olmasının istendiği durumlarda hedef değer en iyi kalite karakteristiği seçilmelidir.

$$S/G = 10\log\left(\sum (\bar{Y}^2)/S^2\right) \quad [30]$$

Denklemlerde kullanılan Y deney sonuçlarını, $\bar{Y}$ deney sonuçlarının ortalamasını, S standart sapmayı ve n deney sayısını göstermektedir. Optimum seviyelerin tespitinde S/G oranlarına alternatif olarak kullanılan bir diğer yöntem varyans analizi yöntemidir. Varyans analizi bir deneyde gözlenen bağımlı değişkeni etkileyen faktörlerin gözlem alındığı popülasyonda hangi ölçüde etkili olduğunu ve bu faktörlerin çeşitli seviyelerinin popülasyonda farklılıklar oluşturup oluşturamayacağı sorularını yanıtlamaya çalışan bir analiz yöntemidir. Başka bir deyişle varyans analizi gözlem alınan ortalamalar arasındaki belirgin farklılıkları test etmektir. Analizin mantığında ortalama hata denilen grup içi varyans ile ortalama

kare etki denilen gruplar arası varyansın karşılaştırılması üzerine yapılan test yatmaktadır. Şekil 8.15’de üç kontrol faktörlü ve üç seviyeli bir deney tasarımı ve deney tasarımına göre yapılan deney sonuçlarının ortalamaları görülmektedir. Şekil 8.16 bu deney tasarımı için oluşturulacak olan varyans analizi tablosudur. Bu tabloda bulunan S_A , S_B , S_C , V_A , V_B , V_C , F_A , F_B , F_C , S_A' , S_B' , S_C' , P_A , P_B , P_C değerlerinin hesaplanabilmesi için ilk olarak sonuçların standart sapması S_T ’nin hesaplanması gerekmektedir. S_T [31] denklemi kullanılarak hesaplanır (Fontecchio, 2002). A, B ve C faktörlerinin neden olduğu varyans; karelerin toplamı olarak ifade edilen S_A , S_B ve S_C dir. S_A , S_B ve S_C denklem [32]’den yararlanılarak hesaplanır (Fontecchio, 2002). V_A , V_B ve V_C ; A, B ve C faktörlerine ait ortalama kare varyanstır ve denklem [33]’ten yararlanılarak hesaplanır (Fontecchio, 2002). F_A , F_B , F_C terimleri her deney faktörünün deney sonuçlarını hangi oranda etkilediğini hesaplamak için kullanılır. F_A , F_B , F_C terimleri denklem [34]’ten yararlanılarak hesaplanır (Fontecchio, 2002). S_A' , S_B' ve S_C' net toplam kareleri ifade eder ve denklem [35]’deki gibi hesaplanır. P_A , P_B , P_C her bir deney faktörünün deneydeki yüzdesel olarak etkisini gösterir ve denklem [36]’dan hesaplanır (Fontecchio, 2002).

Condition	A	B	C	Ave Result
Number	Level			
1	1	1	1	R1
2	1	2	2	R2
3	1	3	3	R3
4	2	1	2	R4
5	2	2	3	R5
6	2	3	1	R6
7	3	1	3	R7
8	3	2	1	R8
9	3	3	2	R9

Şekil 8.16 Üç faktör, üç seviyeli L9 deney tasarımı matrisi ve deney sonuçlarının ortalama değerleri (Fontecchio, 2002).

Table A.5: ANOVA Table

Column#/ Factor	DOF (f)	Sum of Squares (S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P(%)
Factor A	2	SA	VA	FA	S'A	PA
Factor B	2	SB	VB	FB	S'B	PB
Factor C	2	BC	VC	FC	S'C	PC
Error	0					0
Total						100%

Şekil 8.17 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için oluşturulan varyans analizi tablosu.

$$S_T = \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \quad [31]$$

A faktörü için;

$$S_A = \frac{A_1^2}{N_{A1}} + \frac{A_2^2}{N_{A2}} + \frac{A_3^2}{N_{A3}} - \left(\frac{T^2}{N} \right) \quad [32]$$

A_1 = A faktörünün 1. seviyesi içeren deney sonuçlarının kareleri toplamı.

A_2 = A faktörünün 2. seviyesi içeren deney sonuçlarının kareleri toplamı.

A_3 = A faktörünün 3. seviyesi içeren deney sonuçlarının kareleri toplamı.

N_{A1} = A faktörünün 1. seviyesini içeren deney sayısı.

N_{A2} = A faktörünün 2. seviyesini içeren deney sayısı.

N_{A3} = A faktörünün 3. seviyesini içeren deney sayısı.

T = Tüm deney sonuçlarının toplamı.

N = Toplam sonuç sayısı.

T^2/N = Düzeltme faktörüdür.

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} \quad [33]$$

f_A = Her bir faktörün serbestlik derecesidir ve faktörün seviye sayısından bir çıkarılarak hesaplanır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad [34]$$

V_e = Hata teriminin varyansıdır ve hata toplam karesinin, hatanın serbestlik derecesine bölünmesi ile hesaplanır.

$$S_A' = S_A - (V_e * f_A) \quad [35]$$

$$P_A = \frac{S_A'}{S_T} \quad [36]$$

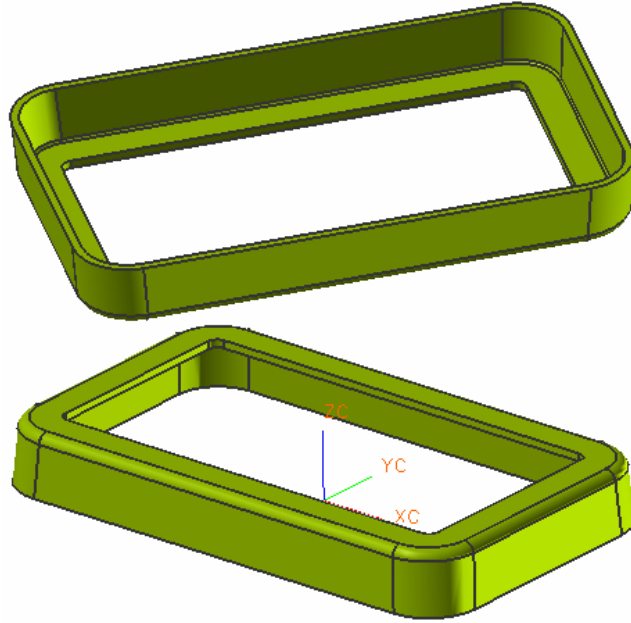
Taguchi yönteminin son adımı doğrulama deneyinin yapılmasıdır. Doğrulama deneyi optimum parametrelerin kullanılarak yeni bir deneyin yapılması ve deney sonuçlarının beklenen sonuçlara yaklaşp yaklaşmadığının kontrolünün yapılmasıdır.

BÖLÜM DOKUZ

DENEYSEL ÇALIŞMA

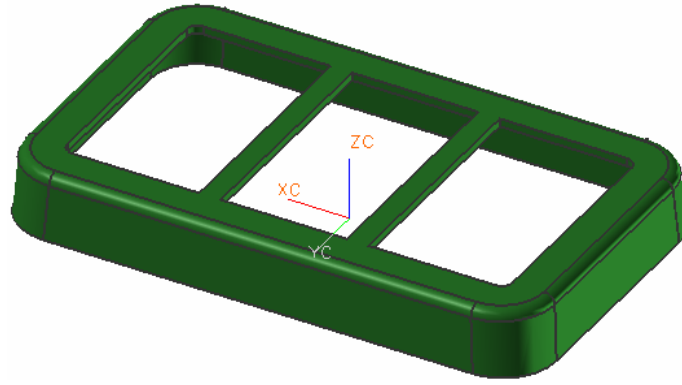
Tez çalışmamda plastik enjeksiyon işlemi sonrası meydana gelen çarpılmalara ürün tasarımı, dağıtıcı kanal tasarımı, giriş sayısı ve giriş tasarımı parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Parametrelerin çarpılma üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde ve optimizasyonunda istatistiksel optimizasyon yöntemlerinden biri olan Taguchi metodu kullanılmıştır ve optimizasyon işlemi sonrasında hedeflenen çarpılma değeri sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapan Moldflow çarpılma analizi sonucu ile karşılaştırılmıştır.

Deneyisel çalışma, çarpılmayı etkileyen parametreler ve seviyelerinin tespiti ile başlamıştır. Bu parametre ve seviyelerin belirlenmesinde literatür araştırması, zaman, ekonomi ve tecrübe etkili olmuştur. Daha sonraki adımda hedeflenen parametrelerin kullanılacağı ürün tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Giriş ve dağıtıcı tasarımlarının parça üzerine kolaylıkla yerleştirilebilmesi için ortası boş bir şeklin gerektiği düşünülmüştür. Bu parçanın tasarımı Şekil 9.1 de görülmektedir.

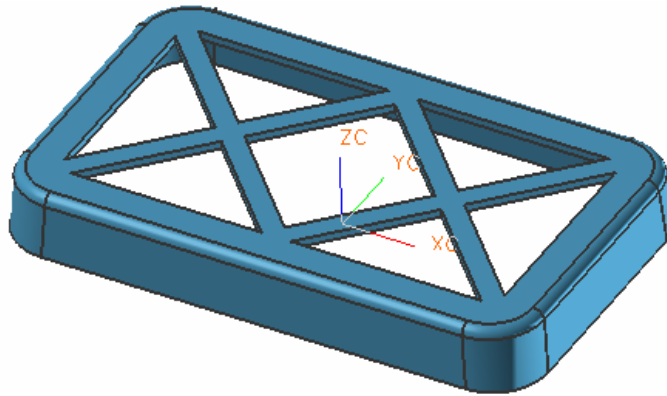


Şekil 9.1 Ön tasarım aşamasında düşünülen temel tasarım.

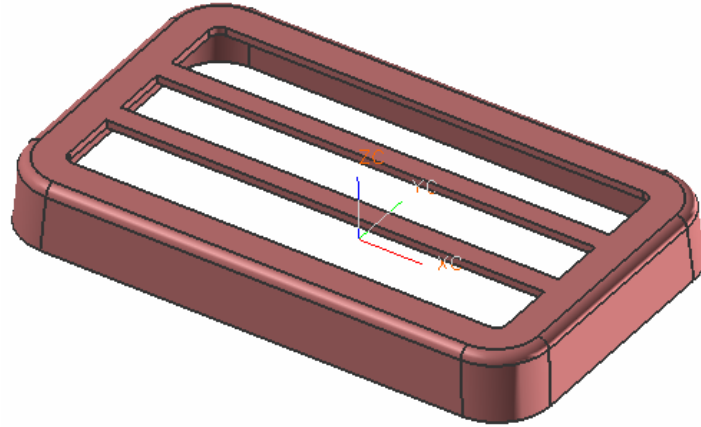
Temel ürün tasarımının belirlenmesinden sonraki adımda ürün tasarımının temel fonksiyonunu değiştirmeyecek, dağıtıcı ve giriş tasarımlarını engellemeyecek, estetik açıdan parçanın görünümüne katkıda bulunacak ve temel tasarımda meydana gelmesi muhtemel çarpılmaları etkileyecek $4 \times 1.5 \text{ mm}^2$ kesite sahip profillerin yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu profiller tasarıma 90° , 45° ve 0° lik açılar ile yerleştirilmiştir. Şekil 9.2, Şekil 9.3, Şekil 9.4’de profillerin temel tasarıma eklenmesinden sonra meydana gelen yeni tasarımlar görülmektedir.



Şekil 9.2 Dikine bağlantı profilleri(Tip A).



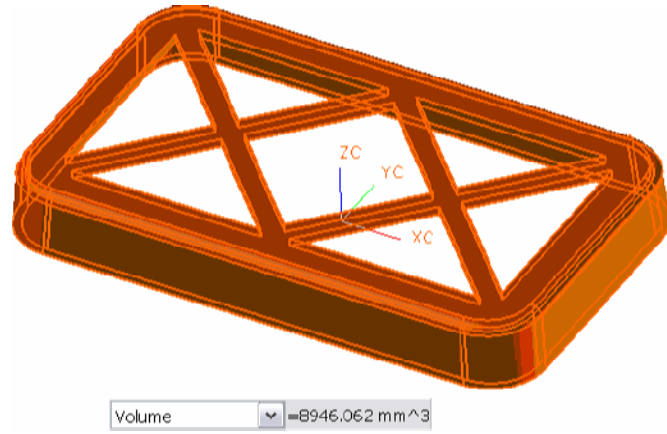
Şekil 9.3 Çapraz bağlantı profilleri(Tip B).



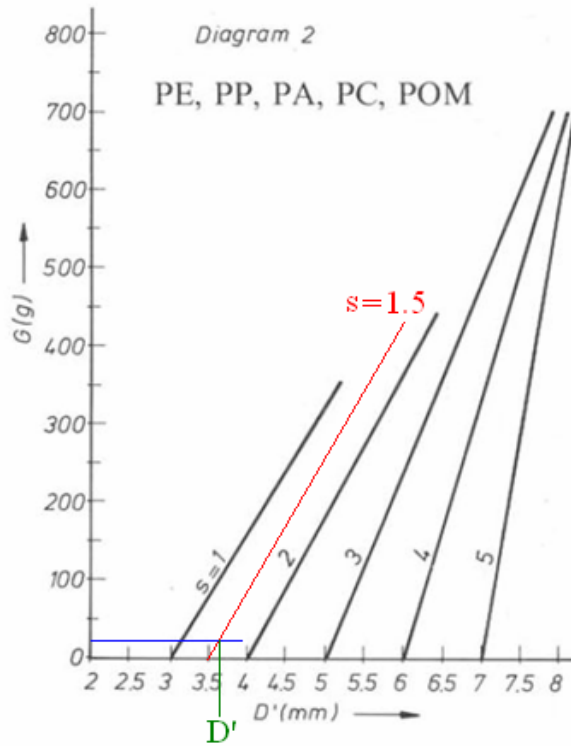
Şekil 9.4 Boyuna bağlantı profilleri(TİP C).

Deneyde kullanılacak ürün tasarımlarının belirlenmesi sonrasında deneyde kullanılacak olan dağıtıcı kanal tasarımları belirlenmiştir. Dağıtıcı kanal tasarımı olarak yarım daire, trapez ve parabolik kanallar kullanılacaktır. Bu kanalların ölçülerinin belirlenmesinde Şekil 5.19 ve 5.20 den yararlanılmıştır. Üretilcek olan parçaların hacmi yaklaşık olarak 9 cm^3 tür. Üretimde kullanılacak PP malzemenin yoğunluğu $0,92888 \text{ g/cm}^3$ tür. Buna göre malzemenin ağırlığı yaklaşık olarak 8.5 g olarak hesaplanmıştır. 8.5 g malzeme ve 1.5 mm cidar kalınlığına karşılık gelen daire kesitli yolluk kesiti Şekil 5.19 Diyagram 2 den PP malzeme için D' 3.7 mm olarak belirlenmiştir. Düzeltme faktörü f_L Şekil 5.20 diyagram 3 den en uzun kanal uzunluğu olan 83 mm için 1.12 olarak hesaplanmıştır. Buna göre minimum dairesel kanal çapı $3.7 \times 1.12 = 4.14 \text{ mm}$ olmalıdır. Kalıp boşluğunun tam olarak doldurulabilmesi ve yeniden talaşlı imalat işlemine gerek kalınmaması için dairesel kanal çapı olarak 5 mm kanal çapı kabul edilmiştir. Kalıp imalatında maliyeti azaltmak için parçanın dişi geometrisini oluşturacak olan figür direkt olarak CNC dik işlem merkezi ile kalıp dişi hamili plakasına oluşturulacak, erkek yarımı ise deney sayısı kadar lokmanın erkek hamili plakasına bağlanması ile elde edilecektir. Dişi kalıp yarımı üzerine bu nedenle dağıtıcı kanal figürü işlenmeyecektir. Başka bir deyişle dağıtıcı kanal figürleri sadece erkek hamili plakasına bağlı bulunan lokmalar üzerine CNC dik işlem merkezi ile işlenecektir. Bu nedenle kesiti dairesel kesit ile yaklaşık olarak benzer olan yarım daire, trapez ve parabolik kanal kesitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kesitler Şekil 9.9 da görülmektedir. Deneylerde kullanılacak giriş tasarımları için referans olarak tek girişin sahip olması gereken minimum ölçü

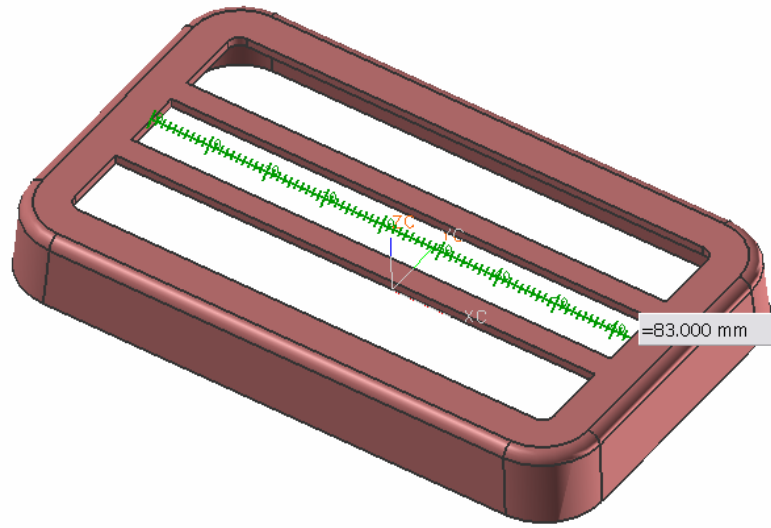
alınmıştır. Bunun nedeni giriş sayısının artmasıyla kalıbın daha kolay doldurulabilmesidir. Kalıp tamamen doldurulamaz ise üretim sonrası çarpılmaları ölçmenin anlamı yoktur. Yolluk tasarımlarında olduğu gibi giriş tasarımlarında maliyeti azaltmak için erkek lokmalar üzerine işlenen profiller yardımıyla oluşturulmuştur. Kalıpta kullanılması düşünülen kesit ölçüleri Şekil 9.10 da görülmektedir.



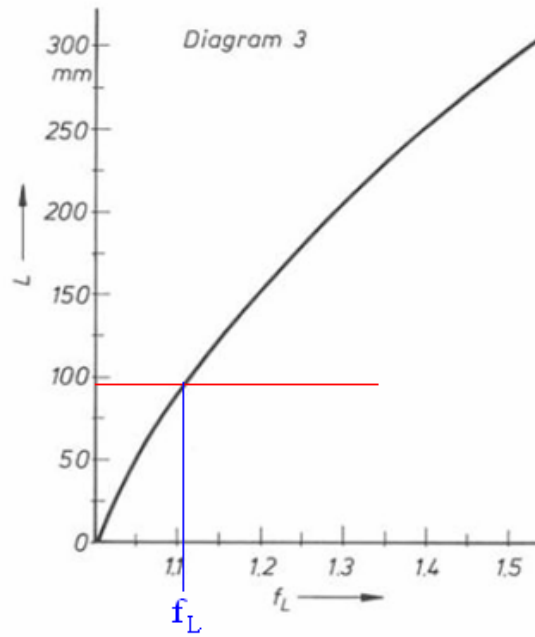
Şekil 9.5 Üretilcek olan malzemenin yaklaşık olarak hacmi.



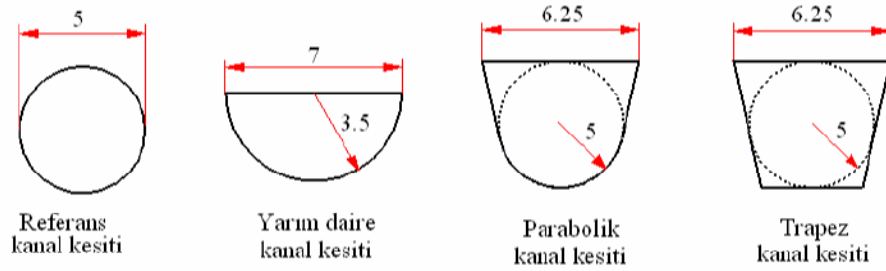
Şekil 9.6 D' çapının hesaplanması.



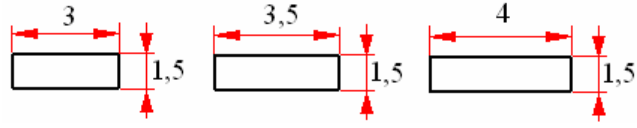
Şekil 9.7 f_L katsayısının hesaplanması için yaklaşık olarak kanal uzunluğunun belirlenmesi.



Şekil 9.8 f_L düzeltme faktörünün hesaplanması.



Şekil 9.9 Deneyde kullanılan dağıtıcı kanal kesitleri.



Şekil 9.10 Deneyde kullanılan giriş ölçüleri.

Deneyde kullanılacak olan ürün tasarımları, dağıtıcı kanal tasarımı, giriş tasarımı ve giriş sayısının belirlenmesinden sonraki adım her bir deneyde kullanılacak olan lokmanın tasarımını ve bu lokmaların yerleştirileceği kalıbın tasarımını yapmaktır. Lokmaların sayısı ve tasarımı Taguchi L9 deney tasarımı matrisi temel alınarak oluşturulmuştur. Taguchi L9 tasarım matrisi Tablo 9.1 den görülebilir. Bu deney tasarımı 9 deneyden oluşmaktadır. Bu nedenle parametrelerin ve seviyelerinin etkilerinin araştırılması için en az 9 lokma kullanmak gerekmektedir. Tablo 9.2 de Çarpılma deneyinde kullanılacak olan faktörler ve parametreleri görülmektedir.

Tablo 9.1 Taguchi L9 deney tasarımı matrisi.

Run	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tablo 9.2 Çarpılma deneyinde kullanılacak faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Ürün Tasarımı	Tip A	Tip B	Tip C
Giriş Sayısı	Bir	İki	Dört
Yolluk Tasarımı	Yarım Daire	Trapez	Parabolik
Giriş ölçüleri	3×1,5 (mm)	3.5×1,5 (mm)	4×1,5 (mm)

Lokmaların üretimi için öncelikle lokmaların bilgisayar ortamında tasarımı gerekmektedir. Şekil 9.11 ve Şekil 9.19 arasında deneylerde kullanılacak olan lokma tasarımları görülmektedir. Şekil 9.20 de üretim işlemi sonrası kalıba yerleştirmeye hazır lokmalar görülmektedir. Şekil 9.21 de lokmaların üretimi için tasarlanan bağlama aparatı ve Şekil 9.22 de bağlama aparatının bilgisayar destekli imalat programı ile sanal imalatı, Şekil 9.23 de CNC dik işlem merkezinde imalatı, Şekil 9.24 de lokmaların bu aparat yardımıyla CNC dik işlem merkezine bağlanarak imalatları görülmektedir.

Taguchi L9 deney tasarımı kontrolünde imal edilecek lokmaların üretiminde taşlama, freze ve CNC dik işlem merkezi kullanılmıştır bunun yanında kılavuz çekme, raybalama ve hassas taşlama işlemleri elle yapılmıştır. Lokmaların imalat operasyonları Şekil 9.25 ve Şekil 9.40 arasında görülmektedir. İlk operasyon lokmalar için kullanılacak olan 20×100×60 mm lik blokların yüzeylerini kenarlarda 0,15 mm talaş kalacak şekilde freze tezgâhında işleyip taşlama tezgâhında bloğun yüzeylerini paralel hale getirmektir. Sonraki adımda lokmanın erkek kalıp hamili plakasına gömülecek tabanı CNC dik işlem merkezinde işlenmiştir. Lokmanın erkek hamili plakasına gömülecek tabanının tamamen işlenmesinin ardından lokma bağlama aparatına bağlanmış ve ilk olarak hamili plakaya çekirtme delikleri CNC dik işlem merkezinde punta matkapı ile delinmiştir. Puntalama işlemi sonrası delikler Ø6,4mm matkap ile patlatılmıştır. Daha sonra Ø6,4mm ile patlatılmış olan delik üst yüzeyden itibaren 7mm derinliğe kadar Ø9mm küt burunlu matkap ile delinmiştir. Sonraki adımda lokmalar ters çevrilerek bağlama aparatına yerleştirilmiş ve bağlama aparatına M6 civatalar yardımıyla çektirilmiştir. Çektirme işlemi tamamlandıktan sonra lokmaların üst yüzeyleri ve 4° eğimli yüzeyleri CNC dik işlem merkezi kullanılarak Ø10, dört ağızlı, köşe radyüsü 0 olan elmas parmak freze ile işlenmiştir. Sonraki adımda lokmalar üzerindeki itici pim delikleri Ø3.9 matkap ile delinerek parça üzerindeki dikey, çapraz ve yatay profiller 4 ağızlı, Ø4, köşe radyüsü 0 olan elmas parmak freze ile oluşturulmuştur. Profiller oluşturulduktan sonra dağıtıcı kanal profiline uygun takımlar bileme yöntemi ile oluşturulmuş ve dağıtıcı kanalları CNC dik işlem merkezinde işlenmiştir. Dağıtıcı kanallarının işlenmesinden sonra girişler Ø3, dört ağızlı köşe radyüsü 0 olan elmas takımla işlenmiştir. Sıradaki işlem Ø4

rayba ile itici pim deliklerini tam ölçüsüne getirmektir. Yapılan tasarımda enjeksiyon işlemi sırasında bir deney tamamlanıp diğer deneye geçilirken kalıp yarımının enjeksiyon tezgahına bağlı kalması, lokmaların değiştirilerek sonraki deney için uygun deney şartlarının oluşturulması hedeflenmektedir. Lokmalar enjeksiyon mengenesine bağlı erkek kalıp yarımına mümkün olduğunca kolay yerleştirilmelidir. Bu nedenle lokmaların altında bulunan itici pim deliklerine kolay merkezleme yapması ve lokmanın itici pimlere zarar vermeden yerleştirilebilmesi için $0,5 \times 45^\circ$ lik pah kırma işlemi freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Lokma kenarları ve erkek hamili plaka arasında meydana gelen boşluk enjeksiyon işlemi sonrasında deney numuneleri etrafında çapağa neden olacağı için lokma ve kalıp erkek hamili plakası arasında 0.01mm lik bir sıkılık bulunmaktadır. Bu sıkılık deneyin tamamlanması sonrası yeni bir deneye geçerken lokmanın kalıptan demontajını ve yeni lokmanın kalıba montajını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle demonte işlemi için lokmalar üzerine simetrik olarak M8 civata delikleri açılmıştır. Lokmalar sökülürken bu deliklere takılan civatalar orantılı olarak sıkıldıklarında lokmaların rahatça kalıptan çıkarılması hedeflenmektedir. Bağlama işleminde ise lokma üzerinde bulunan M6 civataların orantılı olarak sıkılması lokma montajındaki zorluğun üstesinden gelmeyi kolaylaştıracaktır. Dikkat edildiği takdirde lokma tasarımlarının tamamında 1mm'lik radyüs bulunmaktadır. Bu radyüs lokmanın montaj başlangıcında merkezlenmiş olarak erkek kalıp yarımına montajını sağlamaktadır. Lokmalar üzerindeki demonte delikleri, freze tezgahında ilk olarak punta matkabı sonrasında iki ağızlı, HS, Ø6,4 matkap ile gerçekleştirilmiş ve ardından elle M8 klavuz çekilmiştir. Sonraki operasyonda lokmalar üzerinde bulunan 4° eğim açılı yüzler 1000 kumlu gaz taşı ile parlatılmıştır. Bunun sebebi açılı yüzey üzerindeki sürtünme kuvvetini azaltmak ve itici pimlerin ilk vuruş anında parçaya zarar vermeden erkek kalıp yarımı üzerinden atmasını sağlamaktır. Son operasyon dağıtıcı kanalları içerisine yolluk tutucu profillerinin havalı spiral ile oluşturulmasıdır.

Lokmaların tasarım ve imalatının tamamlanmasından sonraki adım kalıp tasarımı ve imalatıdır. Deneyde kullanılacak olan kalıp seti hazır olarak bulunmaktadır. Sete ait elemanlar ve genel ölçüleri şekil 9.41 ve 9.44 arasındaki resimlerden görülebilir. Şekil 9.45 de gerekli imalat işlemleri tamamlandıktan sonra üretime hazır kalıp resmi

görülmektedir. Kalıp imalatında ilk operasyon dişi kalıp boşluğunun CNC dik işlem merkezinde üç takma uçlu Ø25, yuvarlatma radyüsü 0,5 olan takımla kaba ve hassas olarak işlenmesidir. Şekil 9.46 ve şekil 9.53 arasında bilgisayar destekli imalat adımları ve CNC dik işlem merkezinde gerçek imalat işlemi görülmektedir. Dişi kalıp boşluğunun işlenmesi tamamlandıktan sonra CNC dik işlem merkezinde şekil 6.54'te görülen dört ağızlı, 3 mm çaplı elmas parmak freze ile çevresel havalandırma kanalı açılmıştır. Havalandırma kanalının genişliği 5 mm ve derinliği 2mm dir. Sonraki adımda freze tezgahında çevresel havalandırma kanalları Ø4 parmak freze ile 0,02 mm derinlik verilerek kalıp boşluğu ile birleştirilmiştir. Dişi kalıp yarımı ile ilgili bir sonraki işlem kalıp boşluğunda bulunan açılı yüzeyin parlatılmasıdır. Bu parlatma işleminin amacı enjeksiyon işlemi sonrasında üretilen plastik parça ile dişi kalıp yarımı arasındaki sürtünme kuvvetinin azaltılmasıdır. Dişi kalıp hamili plakasına uygulanan diğer işlem Ø8 soğutma kanallarının açılmasıdır. Bunun için ilk olarak Ø 8 soğutma kanallarının delik koordinatları punta matkabı ile delinip daha sonra 100mm uzunluğunda iki ağızlı matkap ile çift taraflı boydan boya hamili plakanın patlatılması ile oluşturulmuştur. Patlatma işlemi sonrası kanal giriş ve çıkışları Ø 13 iki ağızlı matkap ile 15mm uzunluğunda genişletilmiş ve M16 kılavuz çekilerek hortum bağlama aparatları monte edilmiştir. Daha sonraki adımda kalıp dişi yarımının mengeneye merkezlenmesinde kullanılacak merkezleme burcunun dişi mengene bağlama plakasına monte edileceği delik işlenmiştir. Merkezleme halkası ve dişi sabit mengene plakası üzerinde imalat işlemi Şekil 9.62, 9.63, 9.64 ve 9.65 de görülmektedir.

Kalıp erkek hamili plakası üzerinde yapılan ilk operasyon lokmaların gömüleceği havuzun işlenmesidir. Bununla ilgili resim şekil 9.66 da görülmektedir. Havuzun işlenmesinin ardından hamili plakada bulunan itici pim delikleri Ø3,9 matkap ile delinerek Ø4 rayba ile tam boyuna getirilmiştir. İtici pim deliklerinin tam boyuna getirilmesinden sonra geri dönüş pimlerinin delikleri Ø7,8 matkap ile delinerek Ø8'e raybalanmıştır. Daha sonraki adımda erkek hamili plakasına dişi hamili plakasında olduğu gibi Ø8 soğutma kanalı açılmış ve hortum bağlama aparatı monte edilmiştir. Erkek hamili plakasına uygulanan son operasyon kalıbın otomatik

olarak çalışmasını sağlayan ve geri dönüş pimleri etrafına yerleştirilecek olan yayların yay yuvalarının açılmasıdır. Yay yuvaları şekil 9.69 ve 9.70 den görülebilir.

Erkek hamili plakasının imalat işleminin tamamlanmasından sonraki adım itici plakasına ait itici ve geri dönüş pimlerinin deliklerini delip itici pimleri monte etmektir. Şekil 9.71 de itici, geri dönüş pimleri ve itici destek plakası montajı görülmektedir. İticiler ile ilgili son operasyon itici ve geri dönüş pimlerini tam boylarına getirmektir. Bunun için kalıp erkek montajı tamamlanır itici plaka alttan Jhonson mastarı ile desteklenip sabitlenir ve taşlama tezgahında taşlama yapılarak tam boyuna getirilir. Bununla ilgili fotoğraf Şekil 9.72 de görülmektedir.

Kalıp imalatı ile ilgili son adım kalıbın enjeksiyon tezgahına bağlanması sırasında taşıma amacıyla kullanılacak taşıma halkası (mapa), kalıbın taşınırken açılmasını önleyecek kilit ve hortum bağlama aparatlarının kırılmasını önleyecek olan bacakların montajıdır. Kalıbın monte edilmiş hali Şekil 9.73'te, kalıbın demonte hali ise Şekil 9.74'te görülmektedir.

Kalıbın imalatından sonraki adım deneyde kullanılacak plastik parçaların plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatıdır. Kullanılacak olan plastik hammadde Petoplen MH 220 polipropilen(PP)'dir. Malzeme ile ilgili teknik özellikler Tablo 9.3'de görülmektedir. Şekil 9.75'te deneyde kullanılan plastik enjeksiyon tezgahı ve Şekil 9.76'da kalıp dişi ve erkek yarımlarının enjeksiyon tezgahına montajı görülmektedir. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra üretime geçilmiştir. Üretim işleminde her bir deney için toplam 20 baskı yapılmış fakat ilk 15 baskıda tezgah henüz düzenli rejime geçiş evresinde olduğu için bu numuneler hurda malzeme olarak ayrılmış ve ölçme işleminde kullanılmamıştır. Deneylerde kullanılan lokmalar rassal olarak tezgaha bağlanmış ve her bir deney sonrasında kalıp sıcaklıklarının deney sonuçlarını olumsuz etkilememesi için 20 dakika beklenmiştir. Deneyde Tablo 9.4'de görülen imalat parametreleri değiştirilmeden kullanılmıştır. İmalat işleminin tamamlanmasından sonra deney numuneleri 48 saat dinlenmeye bırakılarak ölçüm işlemine hazır hale getirilmişlerdir. Ölçüm işlemi başlangıcında ilk olarak numunelerin gözle muayenesi yapılmış, maksimum çarpılmanın nerede meydana

geldiği gözlenmiş ve maksimum çarpılmanın hesaplanabilmesi için hangi noktalardan ölçüm alınması gerektiğine karar verilmiştir. Şekil 9.80’de çarpılmanın hesaplanabilmesi için ölçüm alınacak noktalar şematik şekil üzerinde görülmektedir. Her bir parçada meydana gelen tek taraflı çarpılma miktarının hesaplanmasında Şekil 9.81’deki L1, L2 ve L3 ölçüsünden yararlanılacaktır. Buna göre tek taraflı çarpılma değeri [38] denkleminde yararlanılarak hesaplanacaktır.

$$L_{tek} = [(L1 + L3) / 2 - L2] / 2 \quad [38]$$

Parçaların ölçümü sırasında, parçanın ölçüm alınan eksen doğrultusunda hareketini engelleyecek fakat parçayı sıkarak deforme etmeyecek bir düzeneğe ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 9.77 ve Şekil 9.78’de ölçüm işleminde kullanılan düzene ve bu düzeneğin ölçüm tezgahına bağlanarak kalibrasyonu görülmektedir. Şekil 9.79’da ölçüm için kullanılacak deney numuneleri ve Şekil 9.77 ve Şekil 9.78’de ölçüm için kullanılan düzeneğin kalibrasyonu görülmektedir. Kalibrasyon işleminin tamamlanmasından sonra ölçüm işlemine geçilmiş ve her bir deney numunesi üzerinden Şekil 9.81 ve Şekil 9.86 arasında görülen altı noktadan ölçüm yapılmıştır.

Tablo 9.3 Deneyde kullanılan Petoplen MH 220 PP malzemeye ait teknik özellikler.

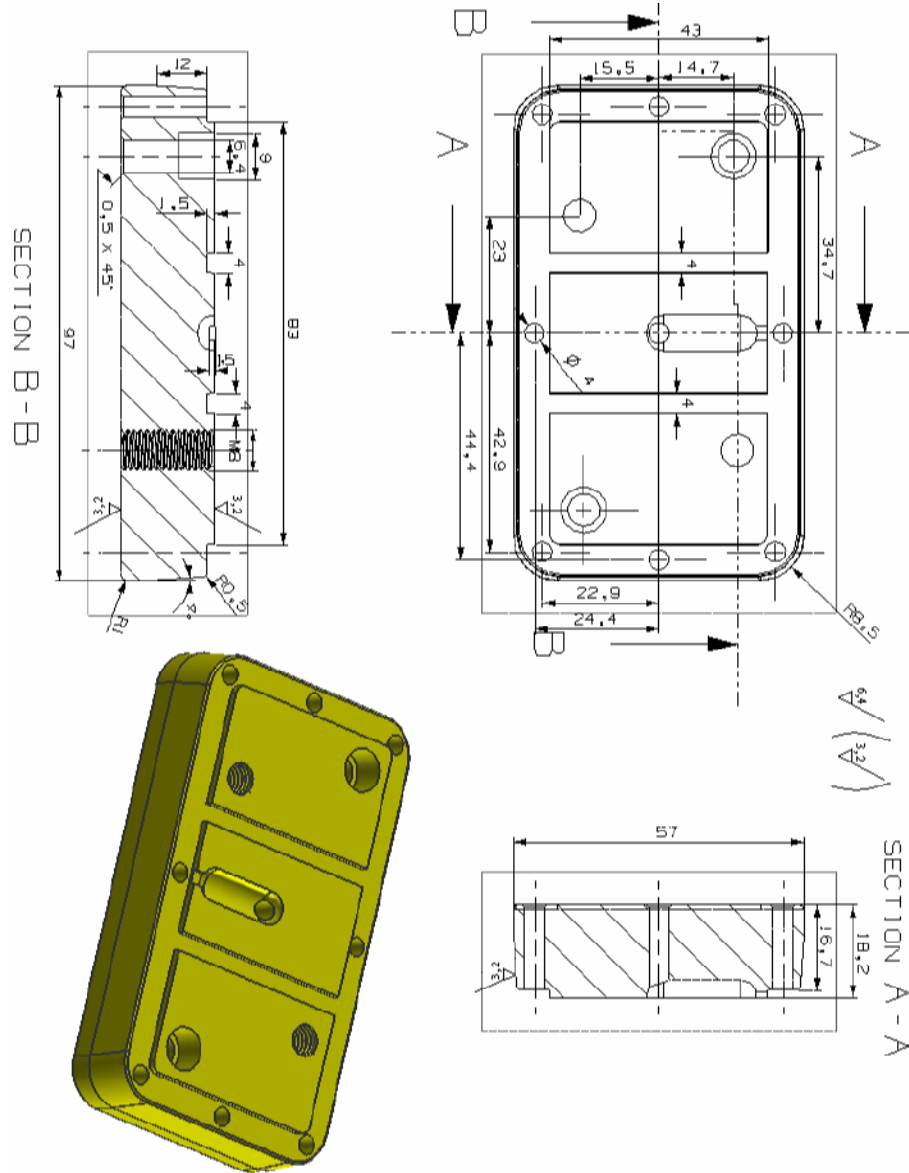
PETOPLen MH 220 SPECIFICATIONS

Trade Name = PETOPLen MH 220

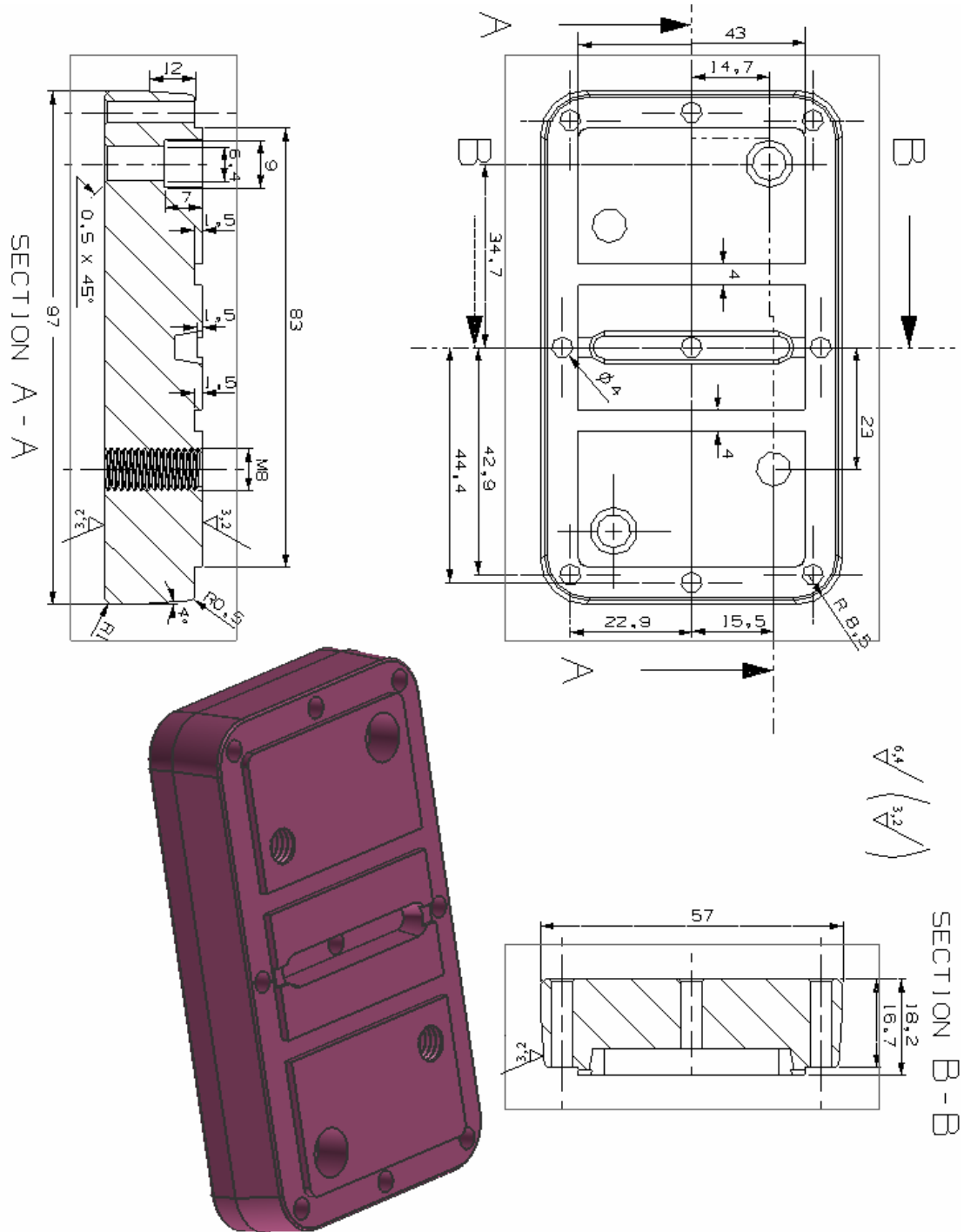
PROPERTY	UNIT	VALUE	TEST METHOD
GUARANTEED VALUES			
Melt Flow Rate (MFR)(2160 g, 230°C)	g/10 min	2.0-3.0	ASTM D-1238
Contamination,100 g	Piece	Max.10	TM-113
Fish Eye	Piece/g	Max.11	TM-125
TYPICAL VALUES			
- At Yield	Kg/cm ²	340	ASTM D-638
- At Break	Kg/cm ²	445	ASTM D-638
Color B 10 D 65	-	1.81	Hunter Lab CQ.

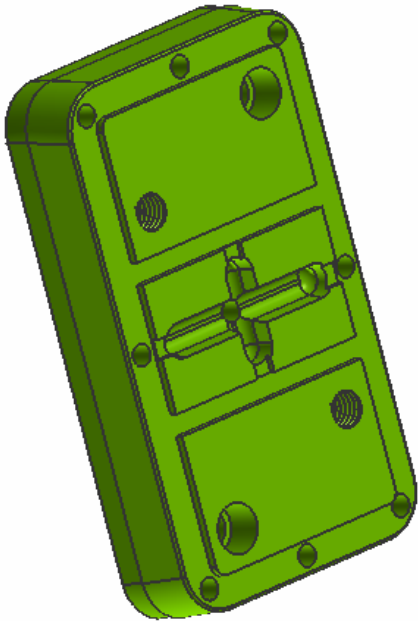
Tablo 9.4 Enjeksiyon işleminde kullanılan imalat parametreleri.

Enjeksiyo süresi (s)	1
Enjeksiyon basıncı (%)	10
Tutma süresi (s)	3
Tutma basıncı (%)	20
Soğutma süresi (s)	5
Soğutma suyu sıcaklığı (C°)	20
Soğutma suyu debisi (l/dak)	15

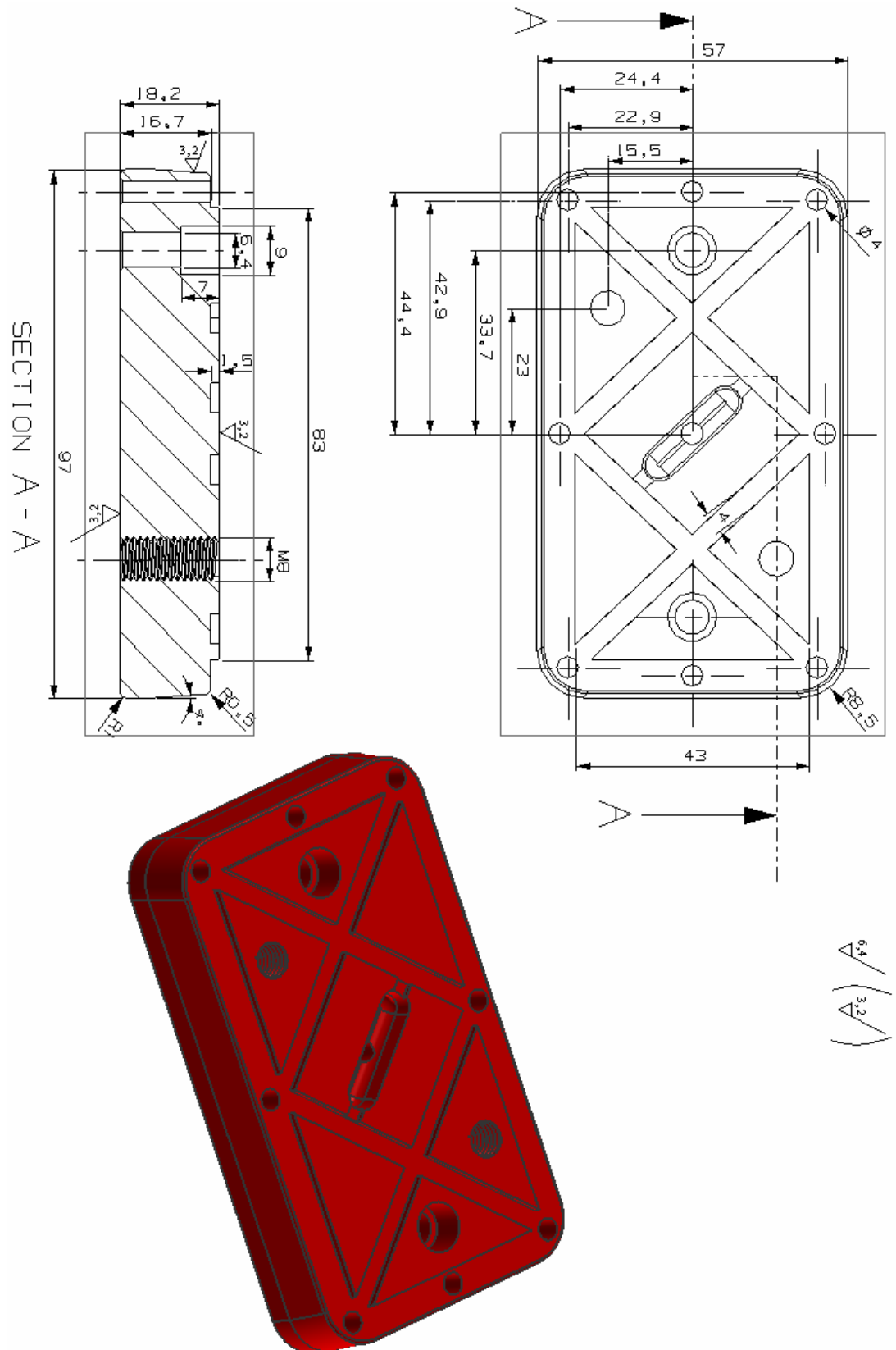


Şekil 9.11 Deney 1 de kullanılacak lokma tasarımı.

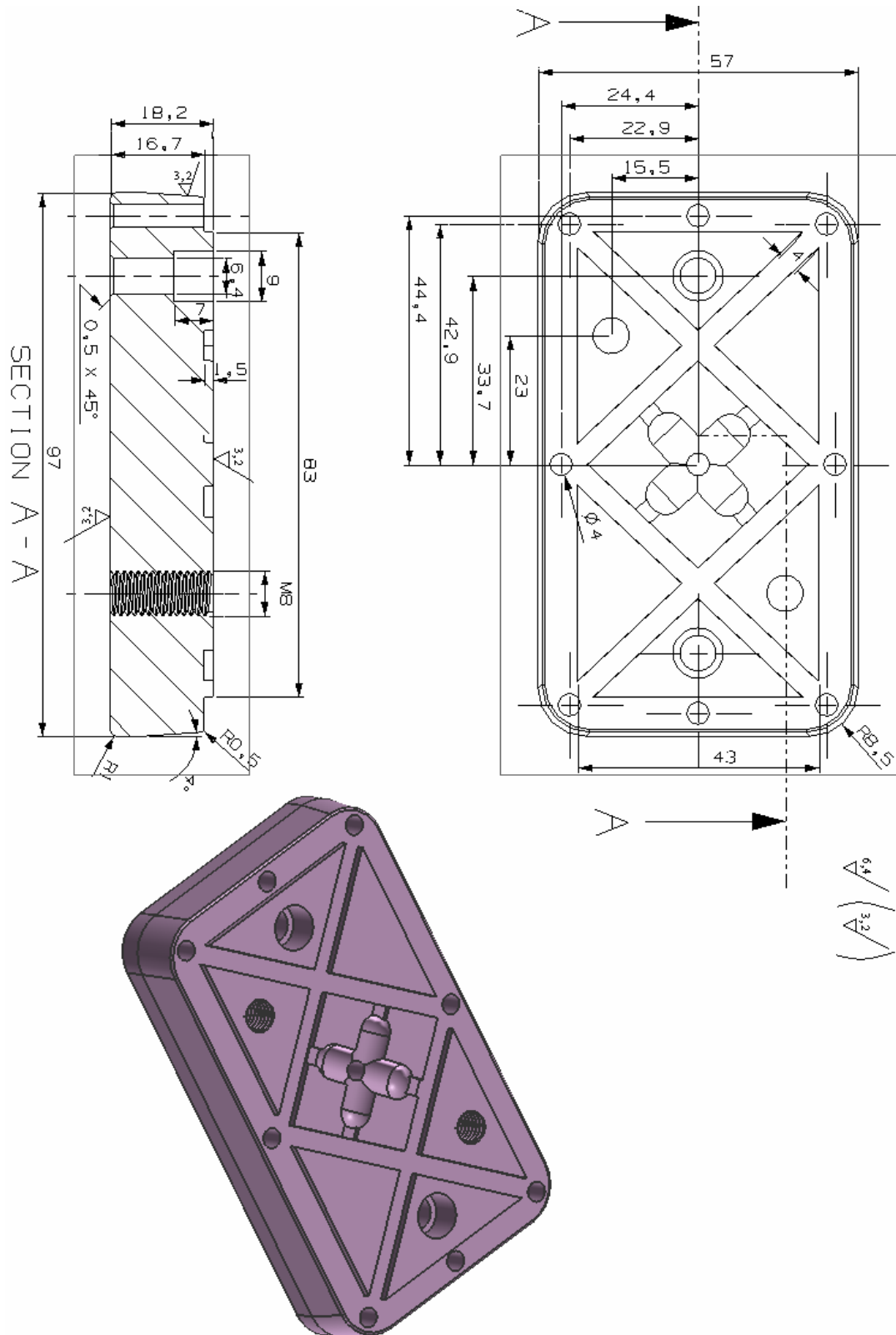




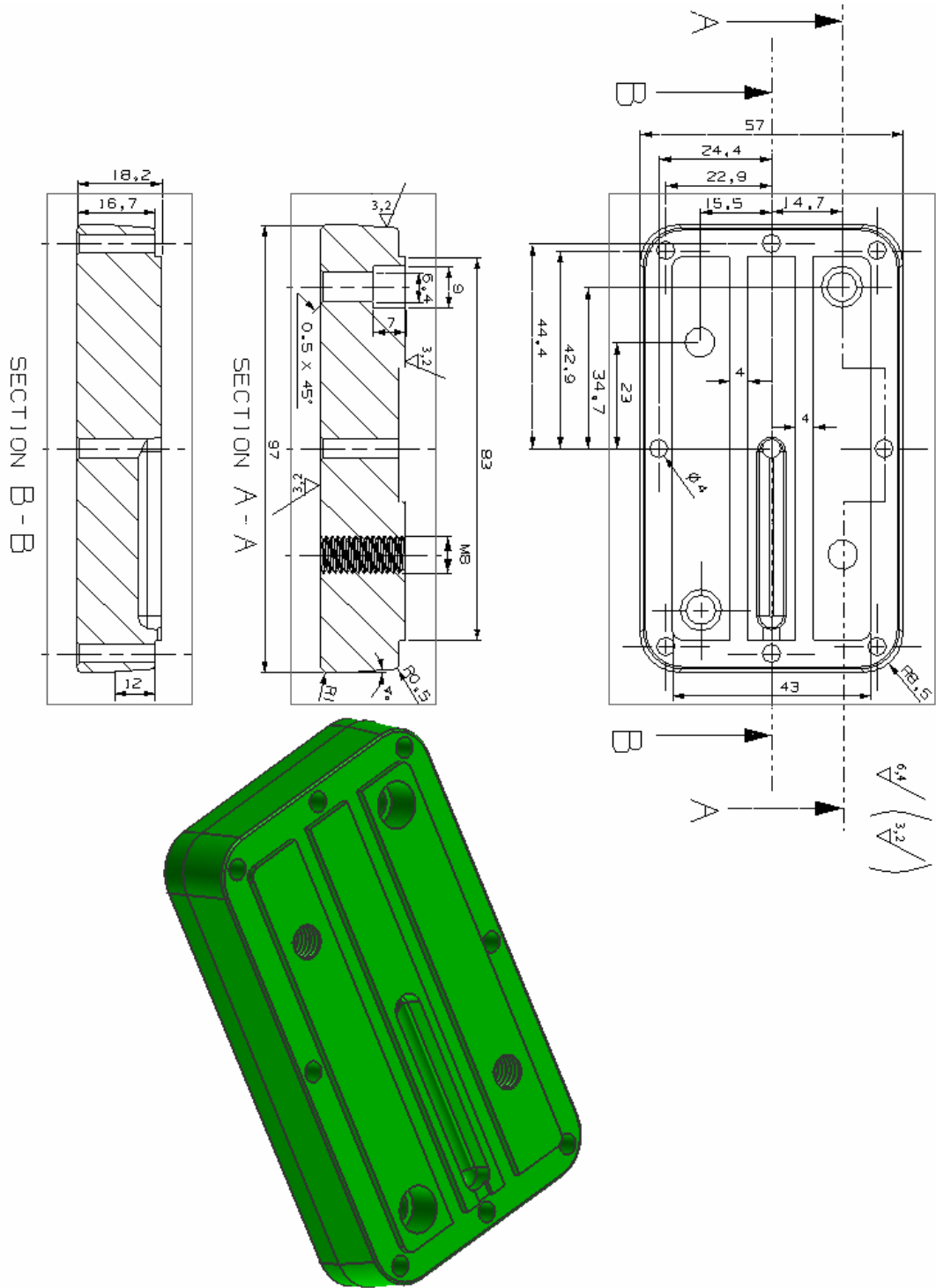
Şekil 9_13 Deney 3 de kullanılacak lokma tasarımı.



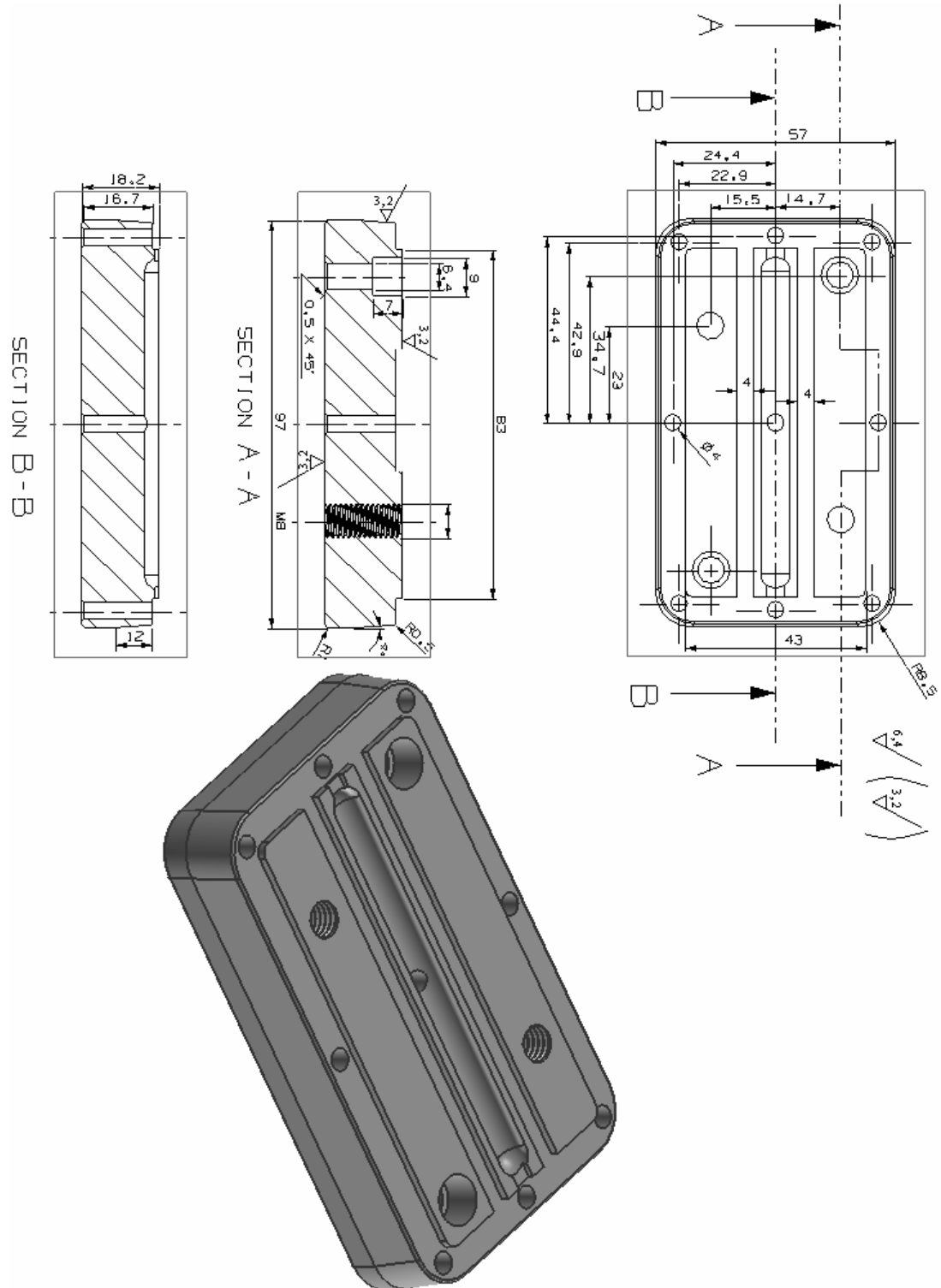
Şekil 9.15 Deney 5 de kullanılacak lokma tasarımı.



Şekil 9.16 Deney 6 da kullanılacak lokma tasarımı.



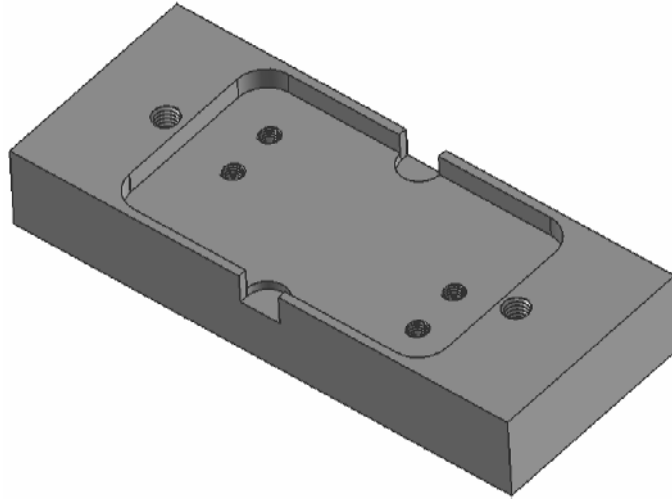
Şekil 9.17 Deney 7 de kullanılacak lokma tasarımı.



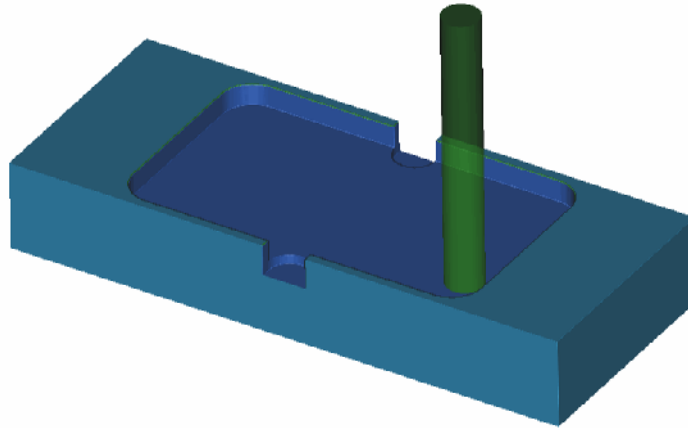
Şekil 9.18 Deney 8 de kullanılacak lokma tasarımı.



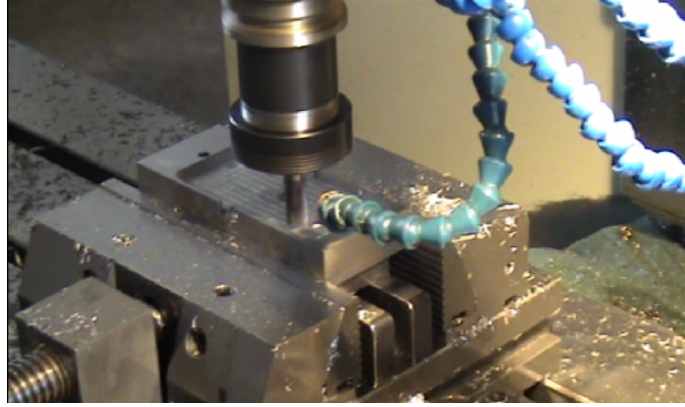
Şekil 9.20 Üretimi tamamlanmış olan lokmalar.



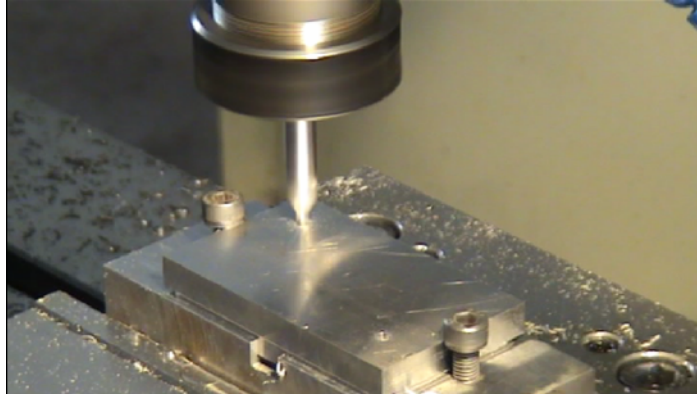
Şekil 9.21 Lokmaların tezgaha ölçü sapması meydana gelmeden seri olarak bağlanabilmesi için tasarlanmış bağlama aparatı.



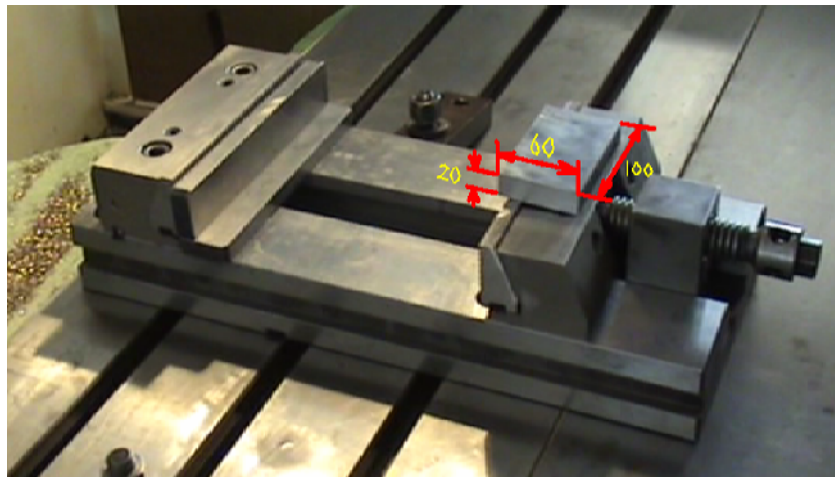
Şekil 9.22 Bağlama aparatının CAM programında yapılmış imalat simülasyonu.



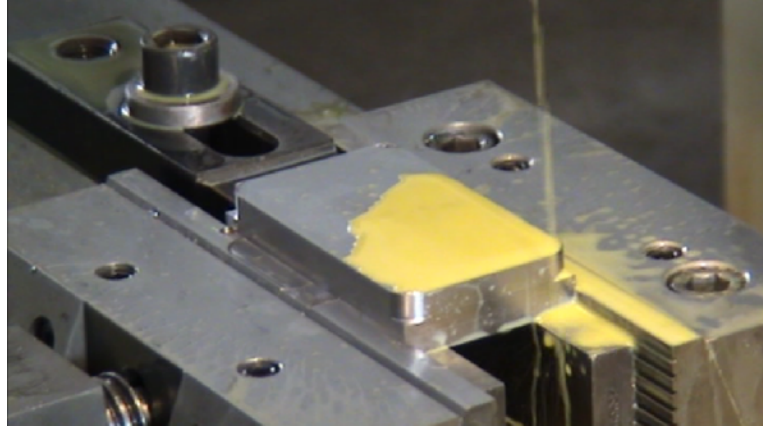
Şekil 9.23 CAM programında oluşturulan takım yollarının CNC dik işlem tezgahına gönderilmesi sonrasında bağlama aparatının bilgisayar kontrollü imalatı.



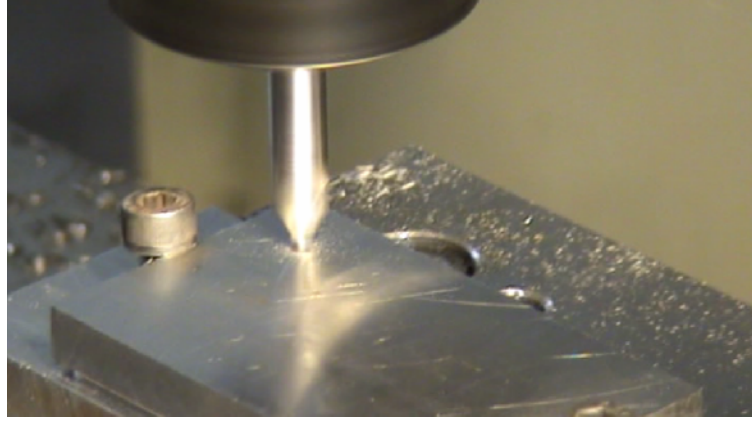
Şekil 9.24 Bağlama aparatının lokma imalatında kullanımı.



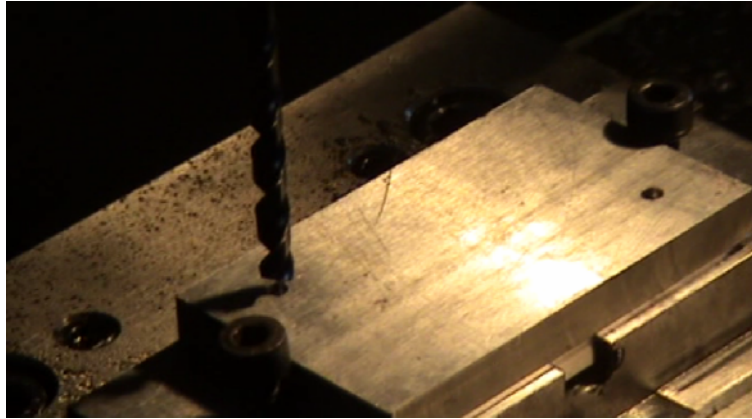
Şekil 9.25 Lokma olarak kullanılmak üzere genişliği 20×100mm hazırlamadan 60mm uzunluğunda kesilip, yüzeyleri taşlama işlemiyle düzeltilmiş bloklar.



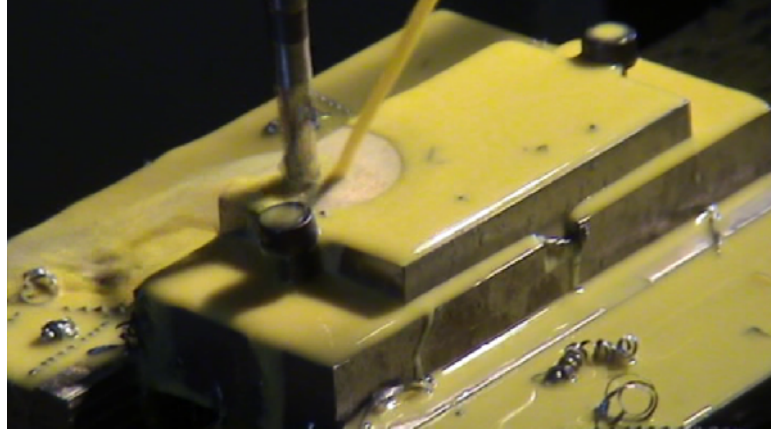
Şekil 9.26 Kalıp erkek hamili plakasına yerleştirilecek lokma tabanını CNC dik işlem merkezinde işlenmesi.



Şekil 9.27 Lokmaların erkek hamili plakaya çektirme deliklerinin punta matkabı ile delinmesi.



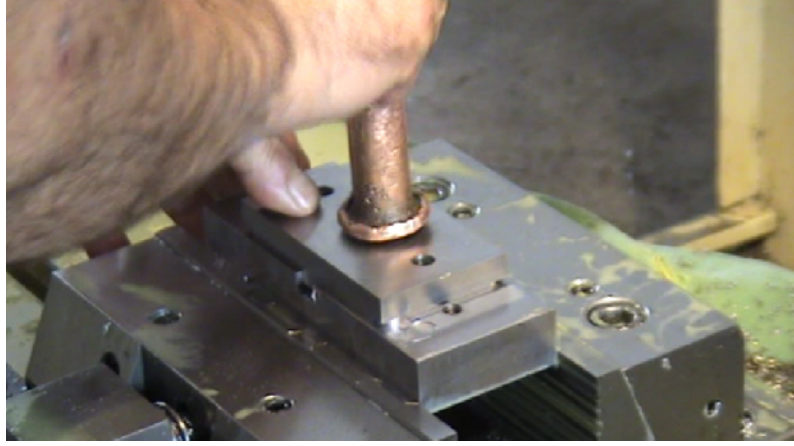
Şekil 9.28 Punta delikleri iki ağızlı Ø6,4 mm iki kesici ağza sahip matkap ile patlatılması.



Şekil 9.29 İki ağızlı Ø9 matkap ile çekirtmede kullanılacak M6 cıvata başının gömüleceği deliğin işlenmesi.



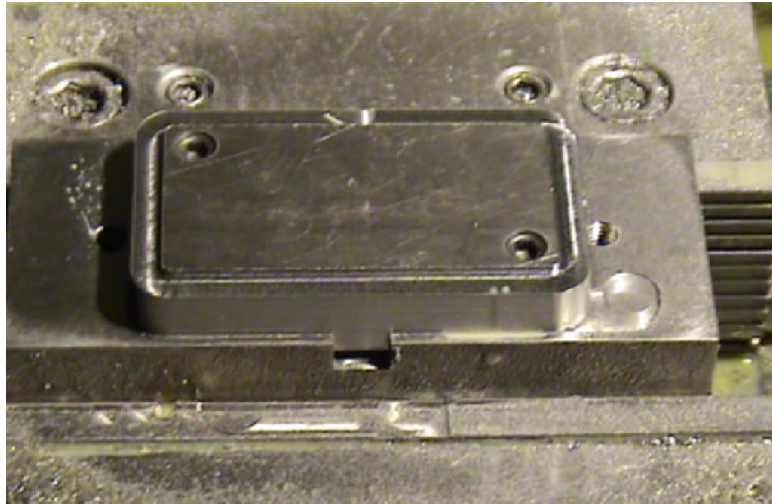
Şekil 9.30 Erkek hamili plakaya gömülecek tabanı ve erkek hamili plakaya M6 cıvata yardımıyla çekirtme için kullanılacak deliklerinin işlenmesinin tamamlanmış görünümü.



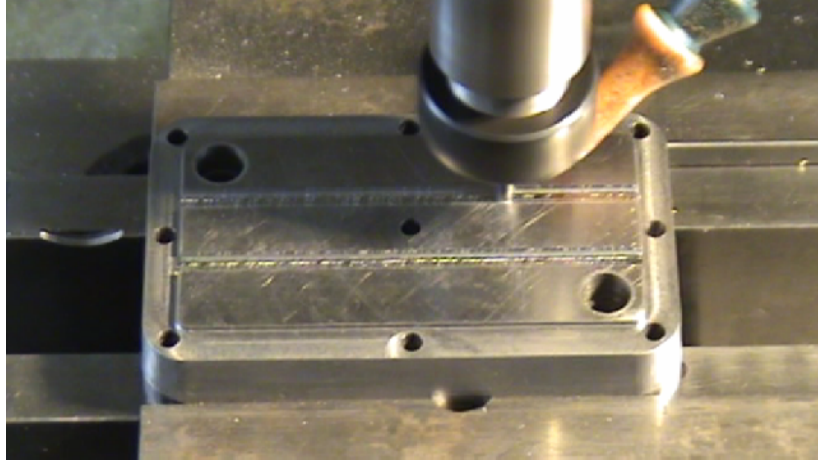
Şekil 9.31 Erkek lokmaların ters çevrilerek bağlama aparatına bağlanması.



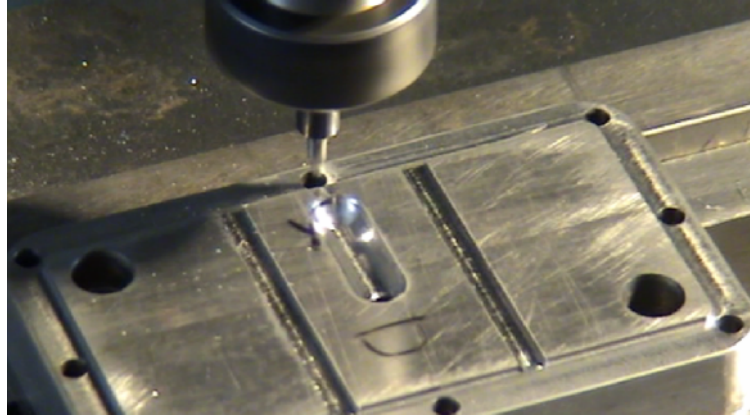
Şekil 9.32 Erkek lokmaların üst yüzeyinin ve 4° açılı dik yüzeylerinin CNC dik işlem merkezinde 4 ağızlı, $\varnothing 10$, köşe radyüsü 0 olan elmas parmak freze ile kaba ve hassas işlenmesi.



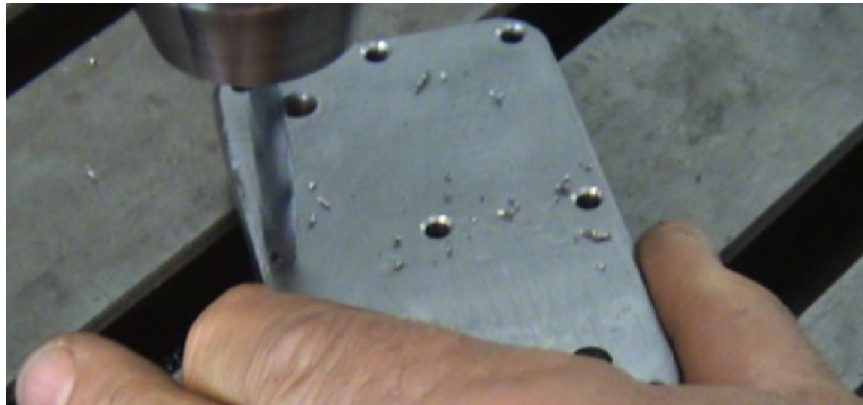
Şekil 9.33 Üst yüzey ve açılı yüzeyin işlenmesinin tamamlanmış durumu.



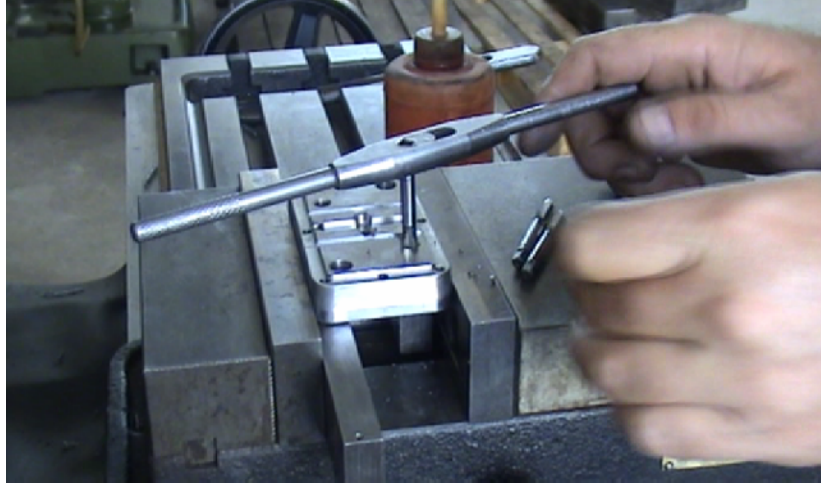
Şekil 9.34 Üst yüzeydeki profillerin Ø4, dört ağızlı, köşe radyüsü 0 olan elmas parmak freze ile CNC dik işlem merkezinde işlenmesi.



Şekil 9.35 CNC dik işlem merkezinde dağıtıcı kanal ve girişlerin işlenmesi.



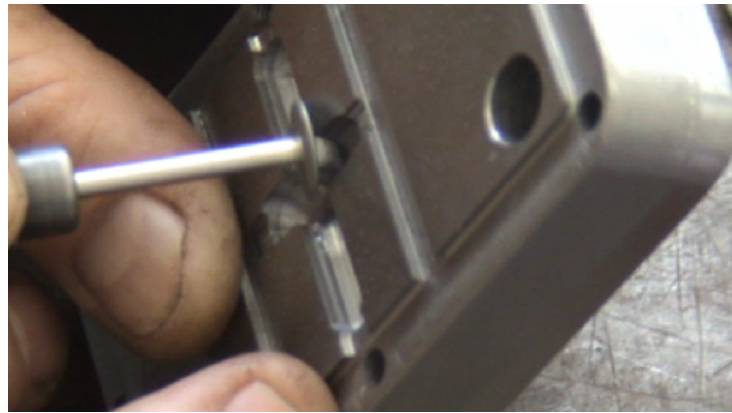
Şekil 9.36 Erkek kalıba lokmaların yerleştirilmesi sırasında merkezleme işlemini kolaylaştırması için $0,5 \times 45^\circ$ pah kırma işleminin freze tezgahında uygulanması.



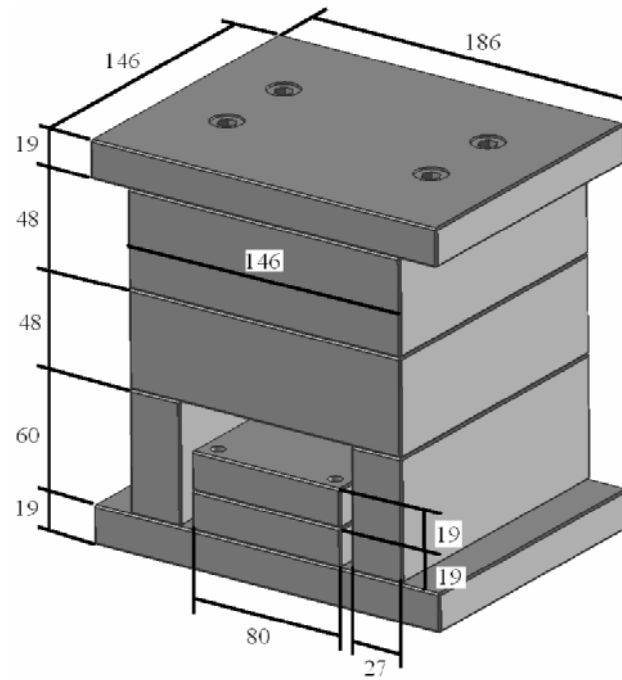
Şekil 9.37 Lokmalar üzerine açılan demonte deliklerine M8 klavuz çekilmesi.



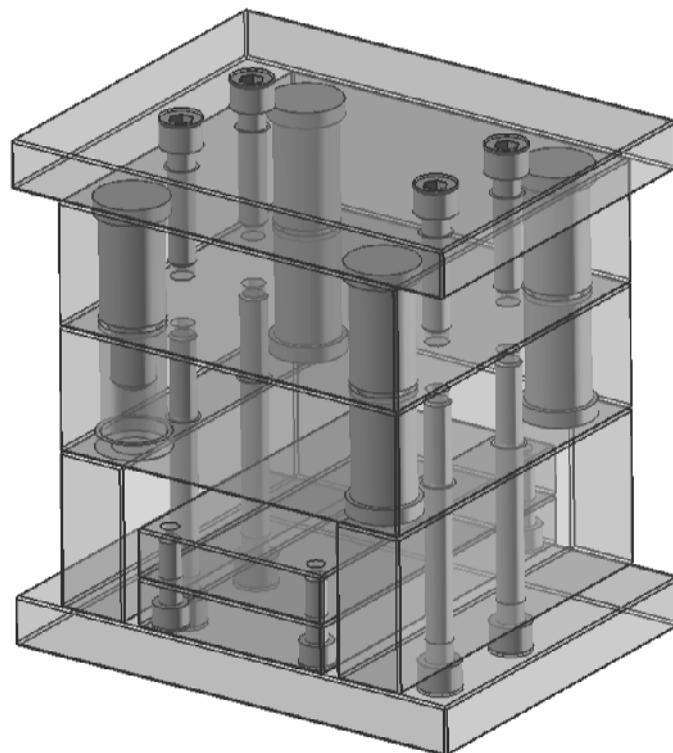
Şekil 9.38 Lokmaların 4° eğimli yüzeylerinin parlatılması işlemi.



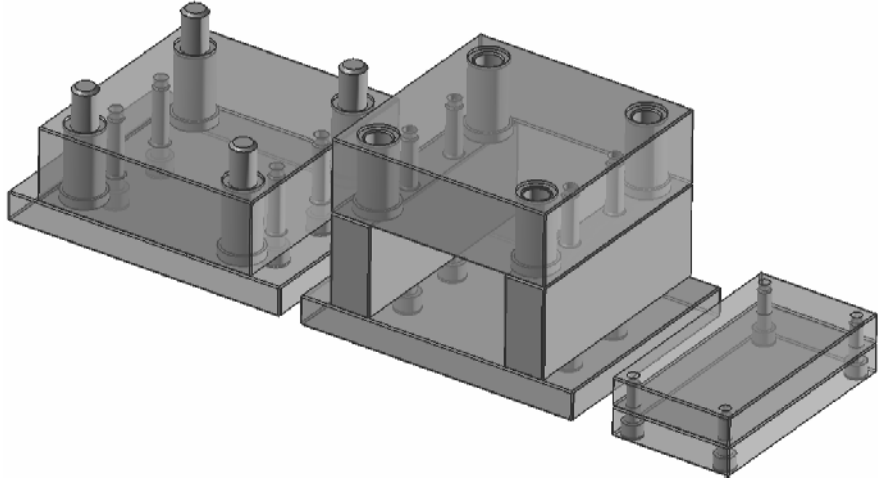
Şekil 9.40 Havalı spiral ile yolluk tutucu profillerin dağıtıcı kanalı içerisine oluşturulması.



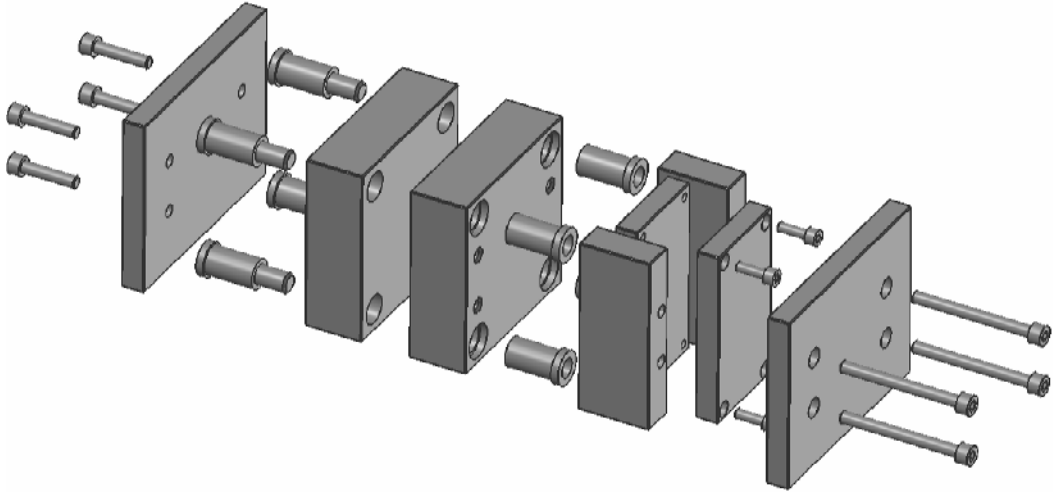
Şekil 9.41 Deneyde kullanılan hazır kalıp setine ait genel ölçüler.



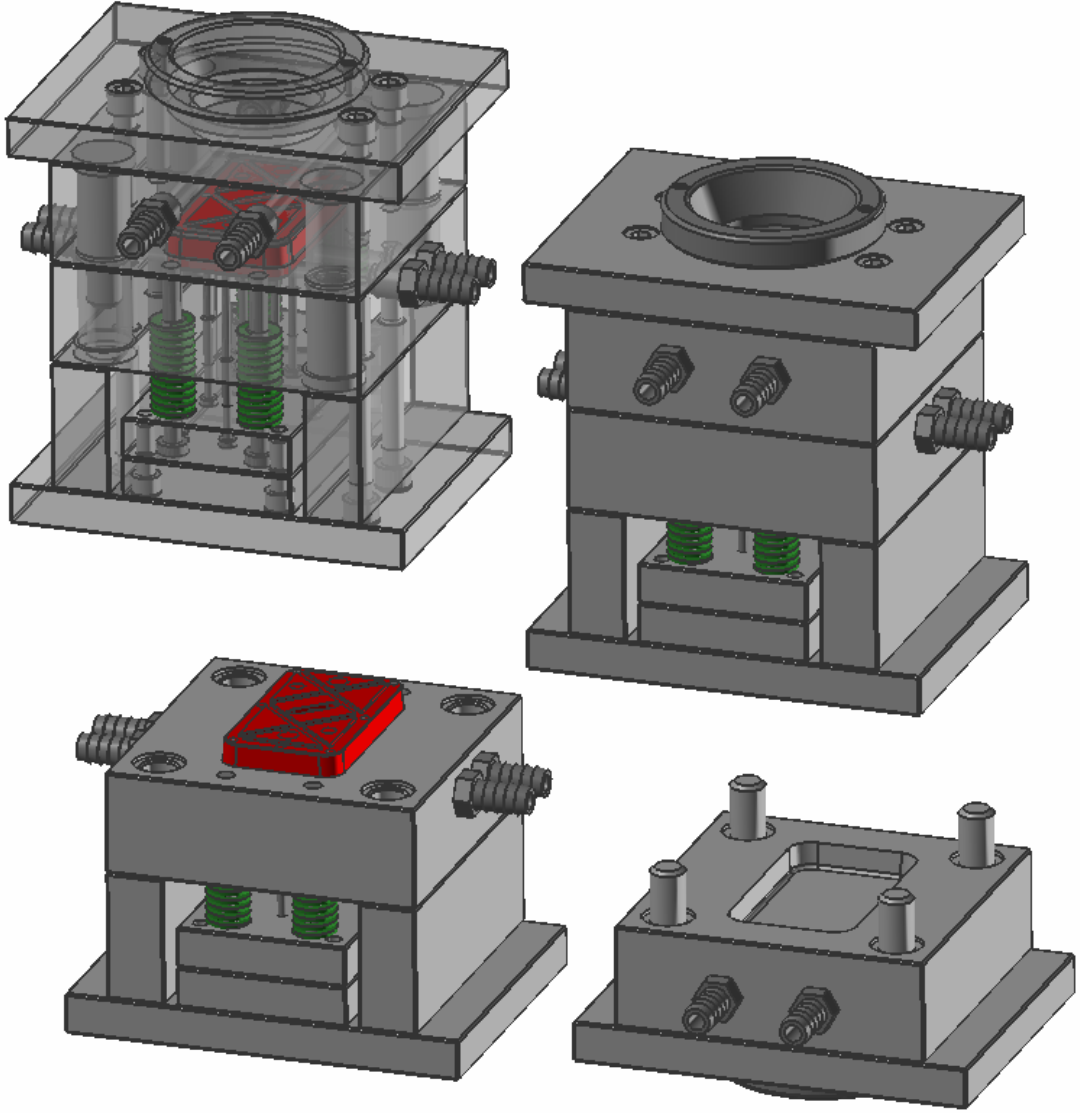
Şekil 9.42 Hazır kalıp seti içerisinde bulunan elemanlar.



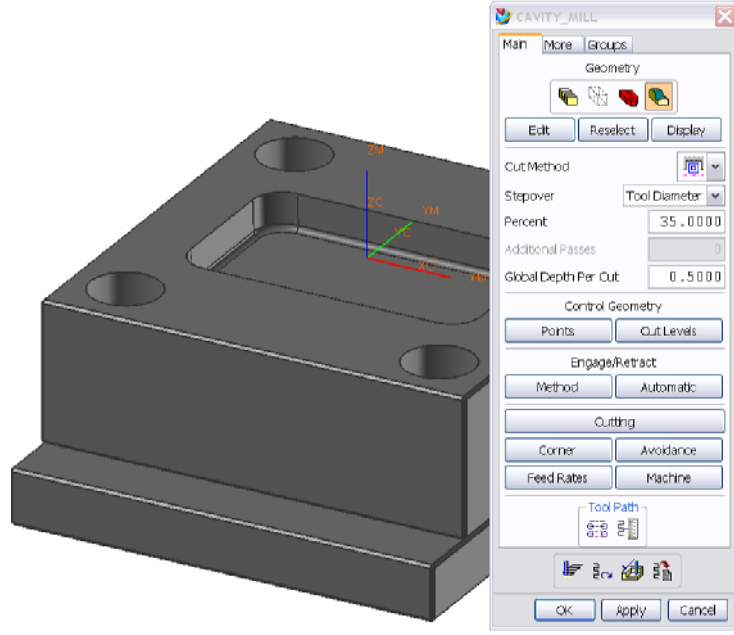
Şekil 9.43 Kalıp setinin dişi yarımı, erkek yarımı ve itici grubu.



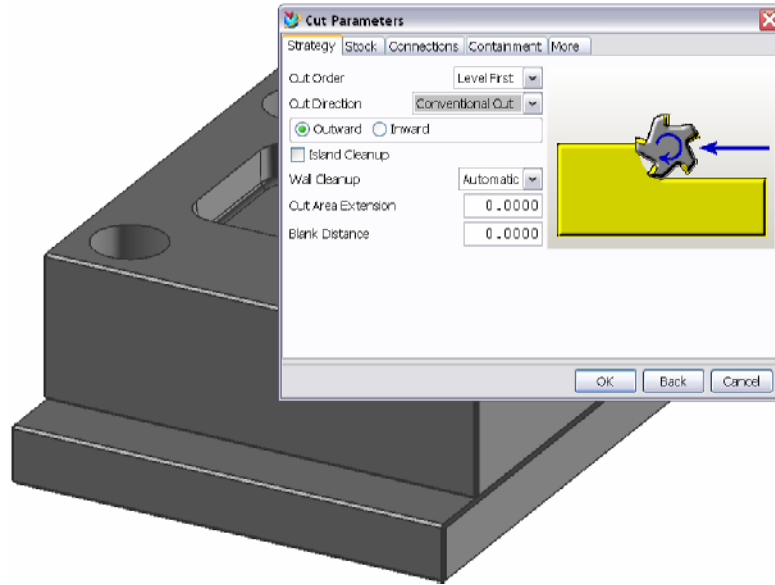
Şekil 9.44 Hazır kalıp setinde bulunan elemanların demonte resmi.



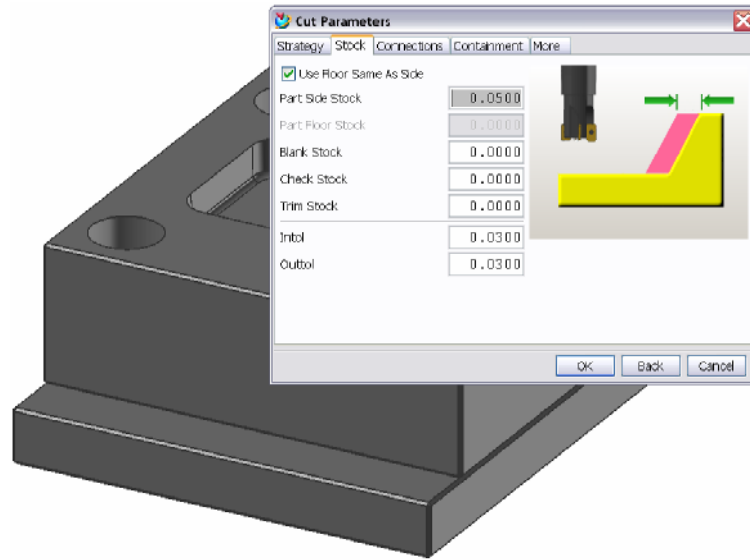
Şekil 9.45 Kalıp seti üzerinde gerekli olan talaşlı imalat işlemlerinin tamamlanması sonrasında deneyde kullanılması hedeflenen kalıp resmi.



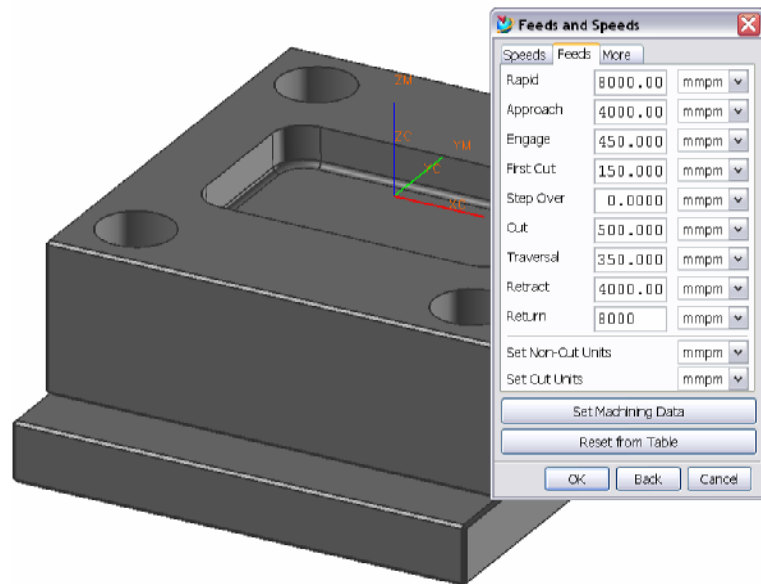
Şekil 9.46 Takımın z ekseninde her pasoda ineceği derinliğin, kesme metodunun ve takım yanıl kayma miktarının belirlenmesi.



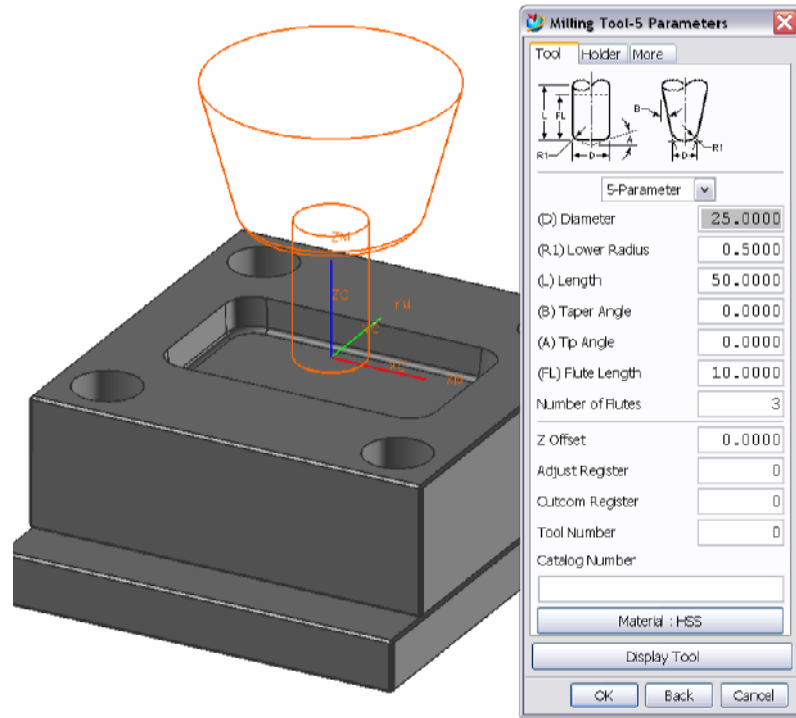
Şekil 9.47 Kesme metodu ve kesme yönünün belirlenmesi.



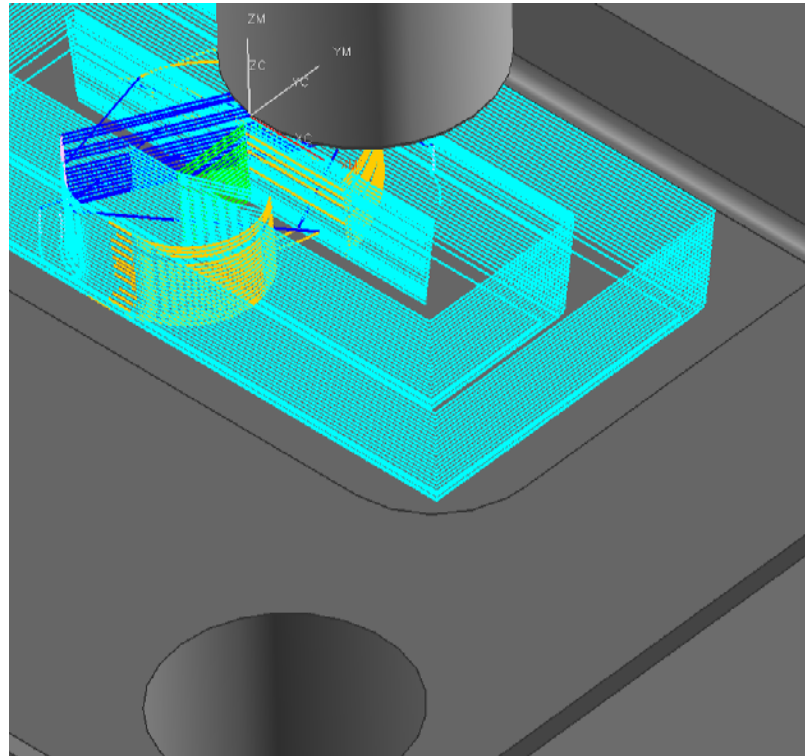
Şekil 9.48 Son pasoya bırakılacak talaş payının belirlenmesi.



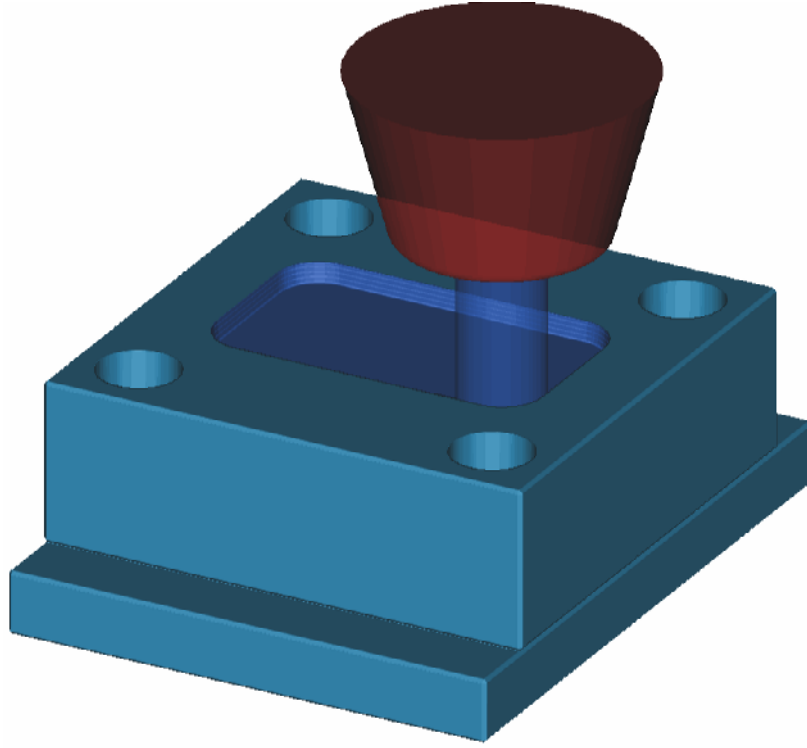
Şekil 9.49 İlerlemelerin belirlenmesi.



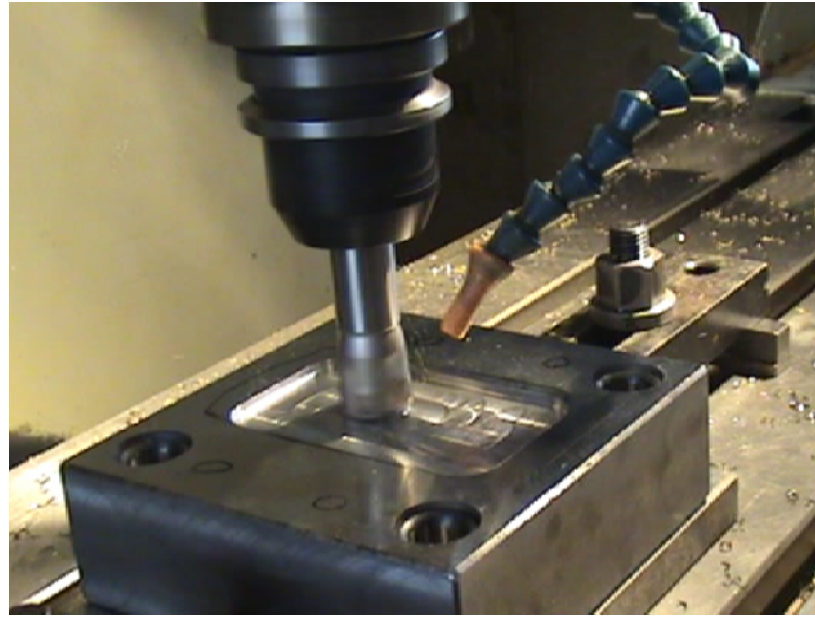
Şekil 9.50 Takım özelliklerinin belirlenmesi.



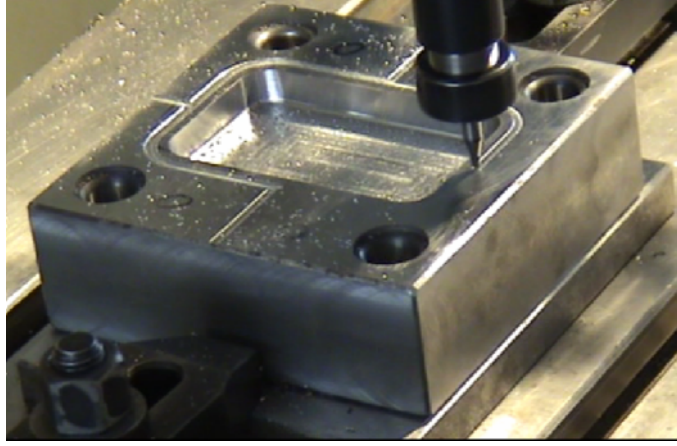
Şekil 9.51 Takımın imalat işlemi yaparken takip edeceği takım yollarının oluşturulması.



Şekil 9.52 Sanal imalat işlemi.



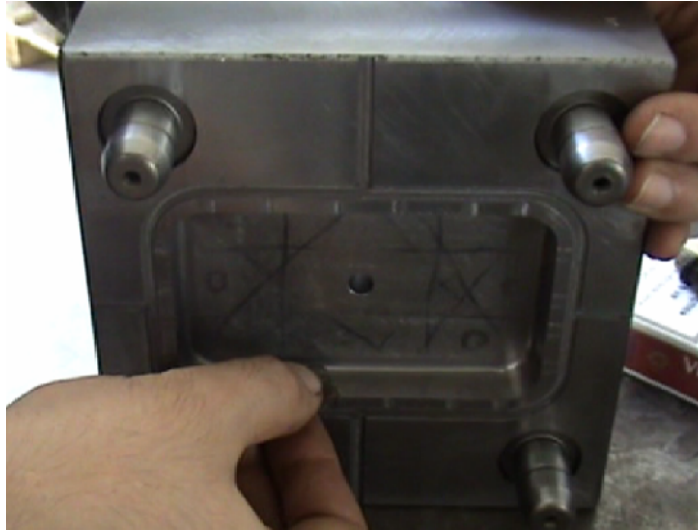
Şekil 9.53 CAM programı aracılığı ile oluşturulan takım yolların CNC dik işlem merkezine gönderilmesi sonrasında dişi kalıp boşluğunda yapılan kaba boşaltma işlemi.



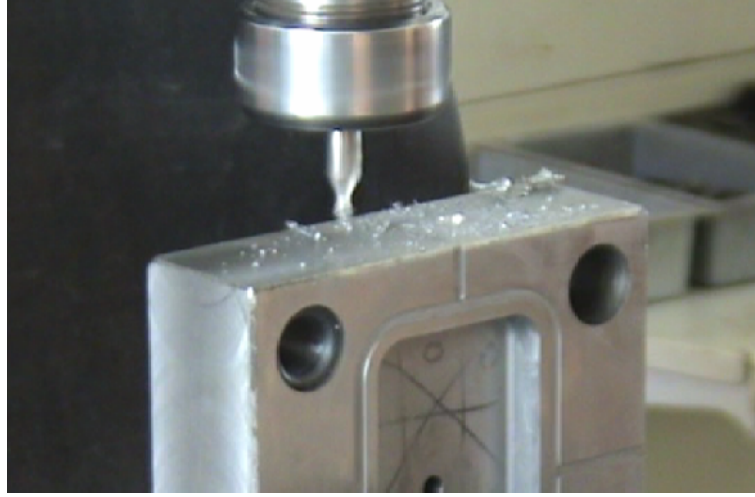
Şekil 9.54 Havalandırma kanallarının CNC dik işlem merkezinde işlenmesi.



Şekil 9.55 Çevresel havalandırma kanallarının kalıp bşluğu ile birleştirilmesi.



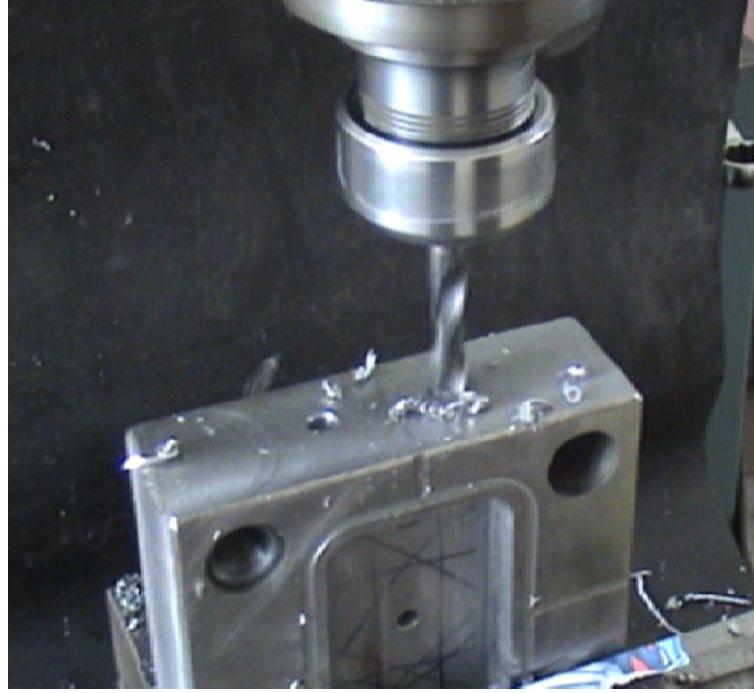
Şekil 9.56 Dişi kalıp yarımında bulunan açılı yüzeylerin parlatılması.



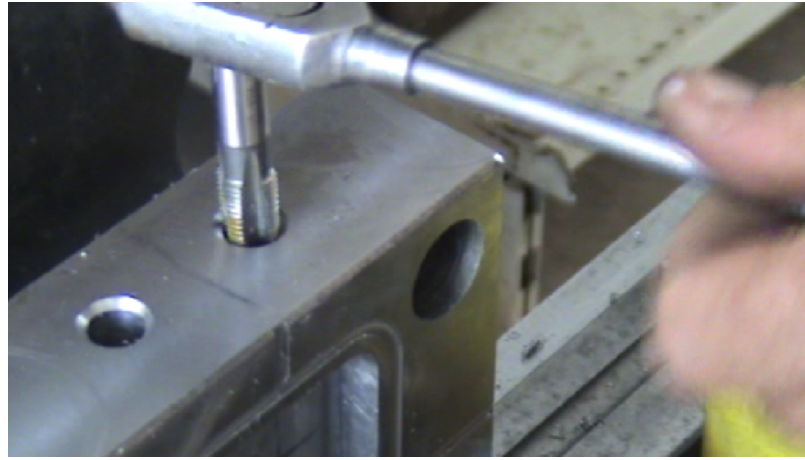
Şekil 9.57 Dişi hamili plakasına ait soğutma kanallarının puntalanması işlemi.



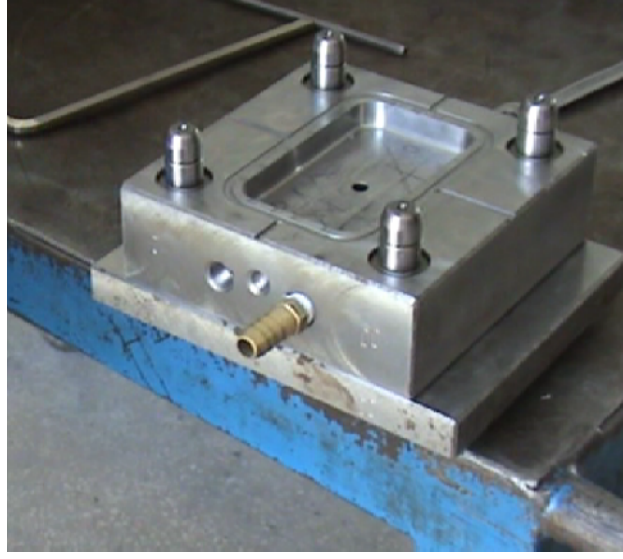
Şekil 9.58 dişi hamili plakaya ait Ø8 Soğutma kanallarının freze tezgahında açılması.



Şekil 9.59 Ø13 matkap yardımı ile Ø8 soğutma deliğinin ilk 15 mm'sinin genişletilmesi.



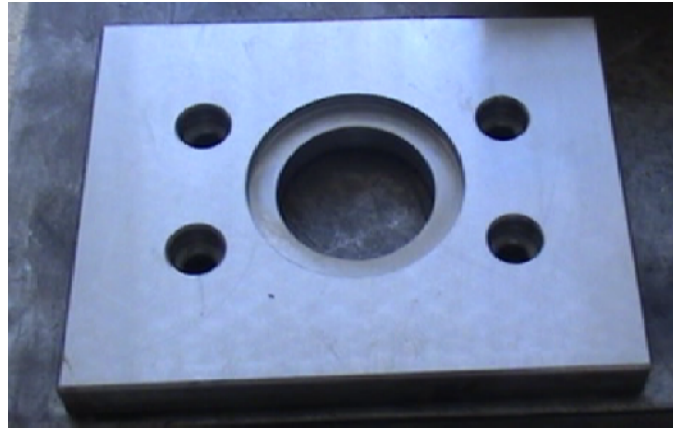
Şekil 9.60 Ø13 deliklere M16 kılavuz çekilmesi.



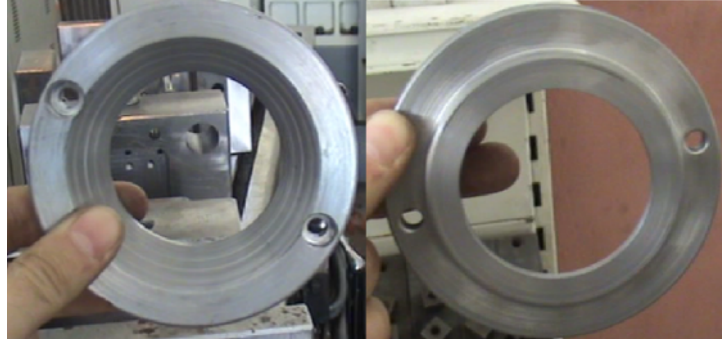
Şekil 9.61 Hortum bağlama aparatının montajı.



Şekil 9.62 Sabit mengene bağlama plakasına merkezleme halkasının monte edileceği deliğin CNC dik işlem merkezinde işlenmesi.



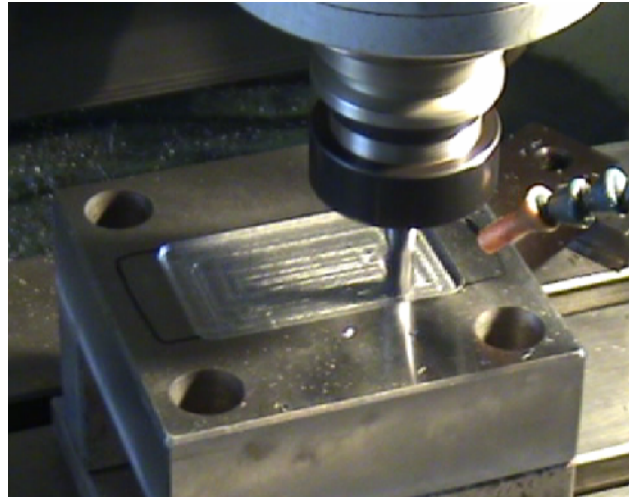
Şekil 9.63 Sabit mengene bağlama plakasının imalatının tamamlanması.



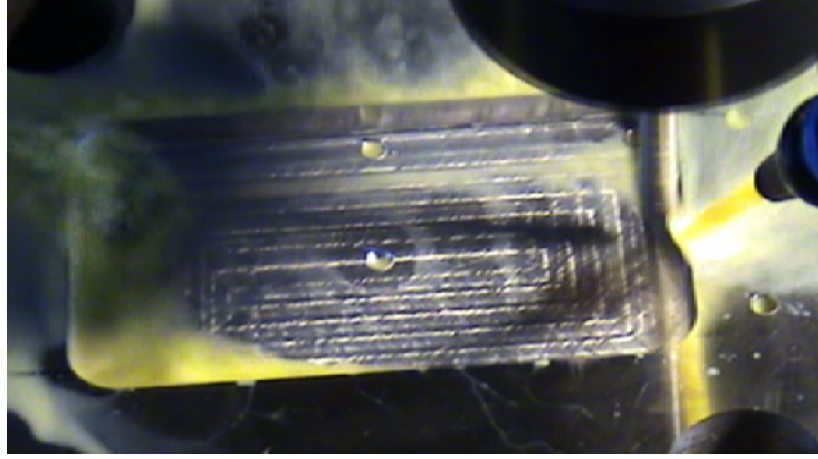
Şekil 9.64 Merkezleme halkası.



Şekil 9.65 Merkezleme halkasının sabit mengene plakasına montajı.



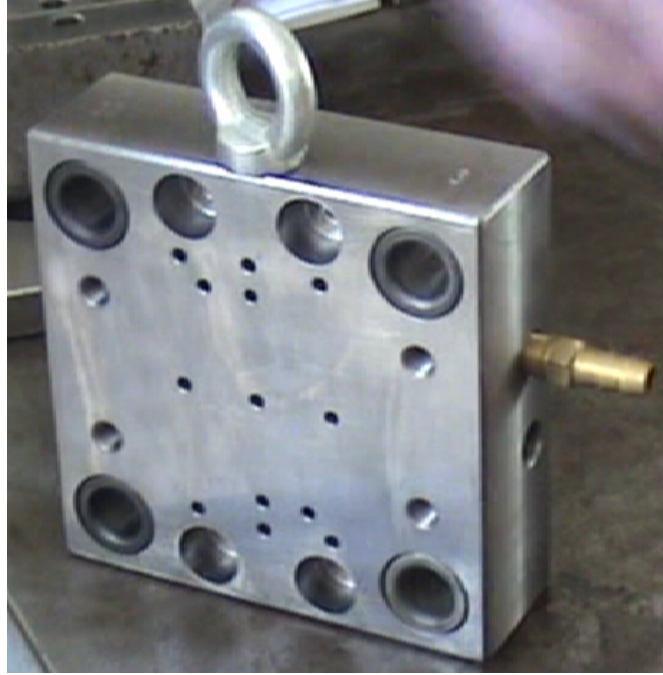
Şekil 9.66 Erkek hamili plakasına lokmaların bağlanacağı havuzun CNC dik işlem merkezinde işlenmesi.



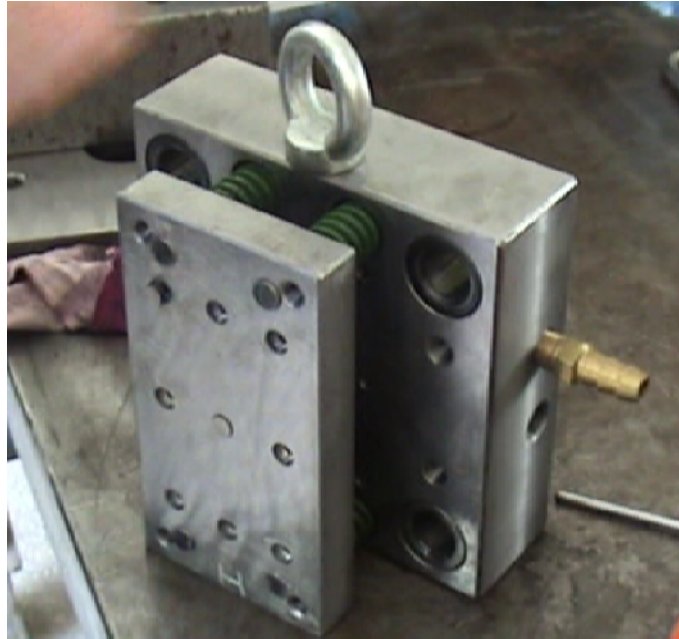
Şekil 9.67 Erkek hamili plakasına itici pim deliklerinin CNC dik işlem merkezinde açılması.



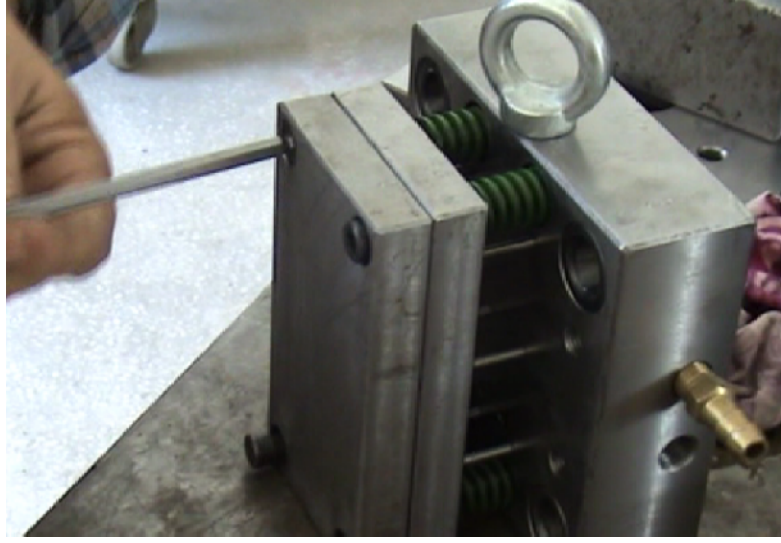
Şekil 9.68 Erkek hamili plakasına geri dönüş pim deliklerinin açılması.



Şekil 9.69 İtici ve geri dönüş pim delikleri açılan erkek hamili plakasına hortum bağlama aparatının montajı.



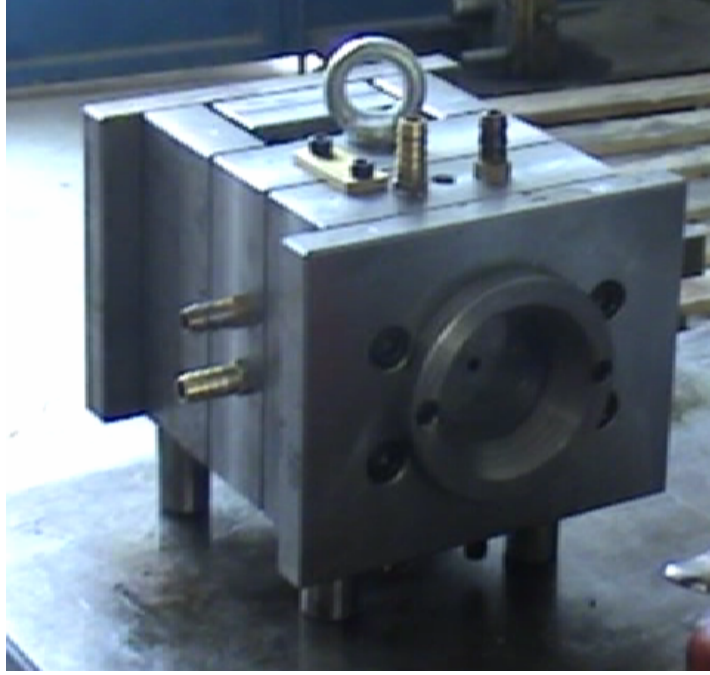
Şekil 9.70 Geri dönüş yaylarının itici plaka ve erkek hamili plakası arasına montajı.



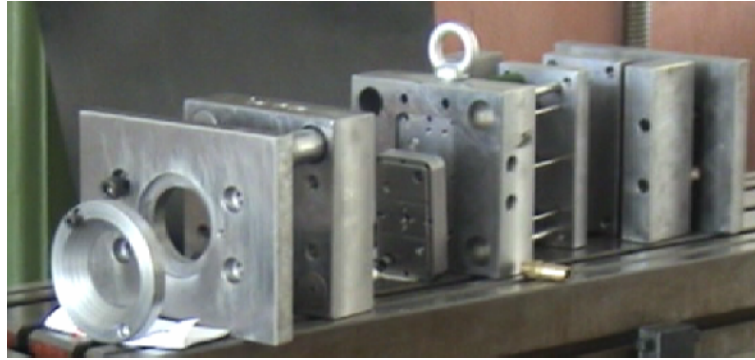
Şekil 9.71 İtici grubunu montajı.



Şekil 9.72 İtici ve geri dönüş pimlerinin taşlama tezgahında tam boy a getirilmeleri.



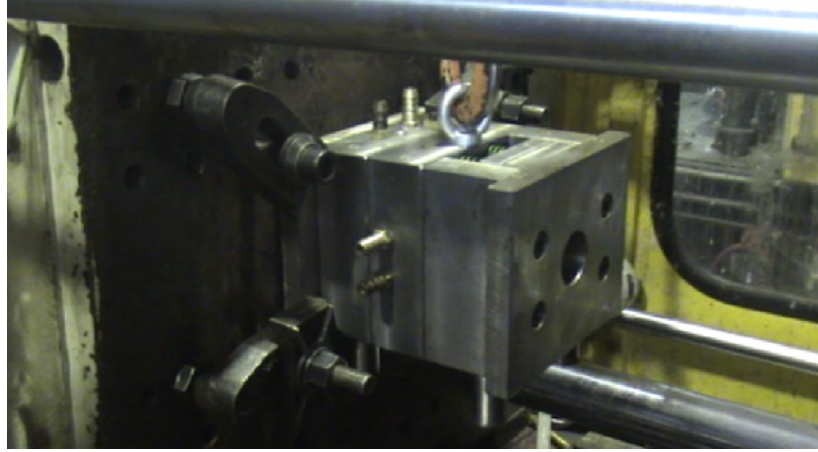
Şekil 9.73 Deneyler için tasarlanmış ve imalatı tamamlanmış enjeksiyon kalıbı.



Şekil 9.74 Deneyde kullanılan kalıbın demonte görünümü.



Şekil 9.75 Deneyde kullanılan enjeksiyon tezgahı.



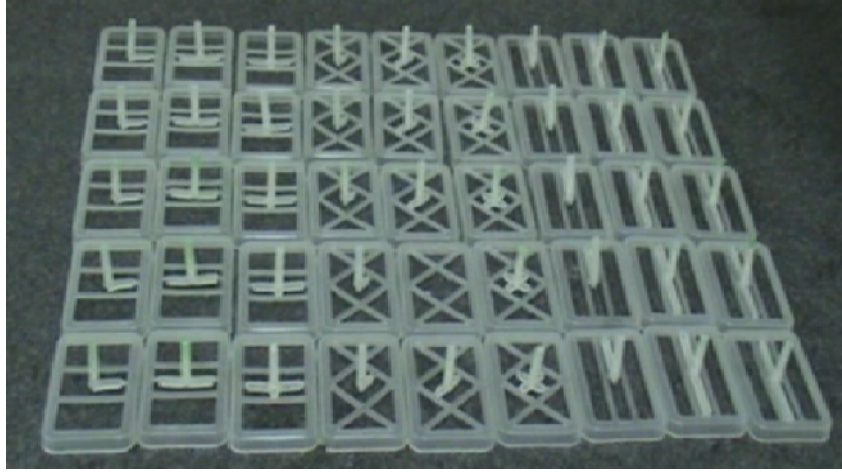
Şekil 9.76 Kalıbın enkesiyon tezgahına bağlanması.



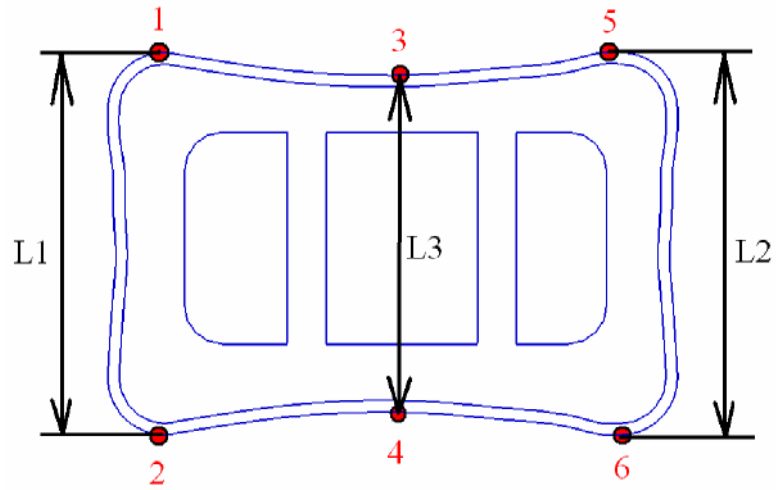
Şekil 9.77 Ölçüm için kullanılacak düzeneğin kalibrasyonu.



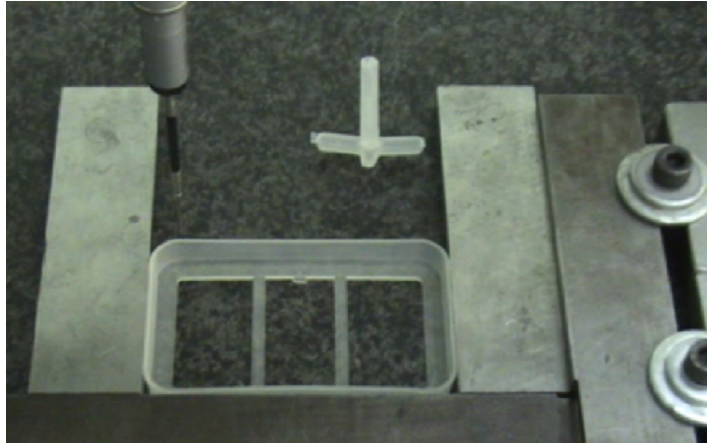
Şekil 9.78 Ölçüm için kullanılacak düzeneğin kalibrasyonu.



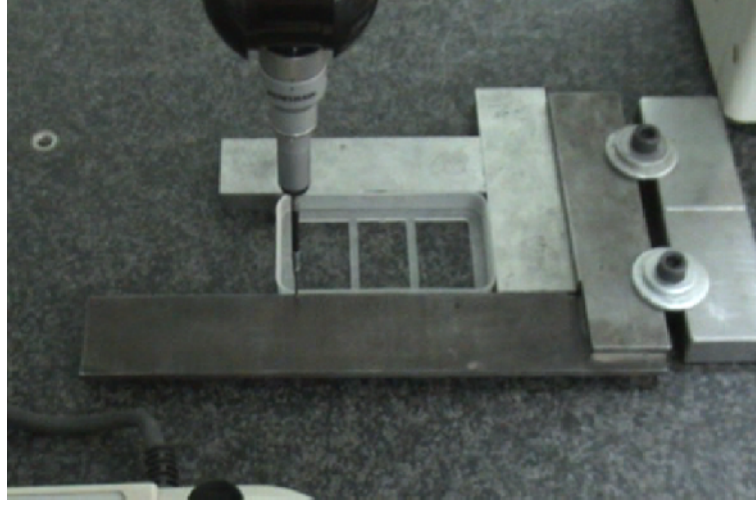
Şekil 9.79 Ölçüm için kullanılacak olan deney numuneleri.



Şekil 9.80 Parça üzerinde meydana gelen maksimum çarpılmanın ölçülmesinde referans olarak alınan ölçüm noktaları ve çarpılmanın hesabında kullanılacak olan ölçüler.



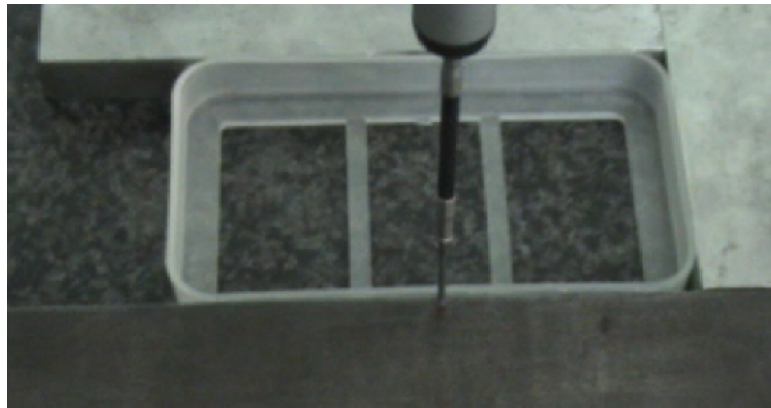
Şekil 9.81 Parça üzerindeki 1. ölçüm noktası.



Şekil 9.82 Parça üzerindeki 2. ölçüm noktası



Şekil 9.83 Parça üzerindeki 3. ölçüm noktası.



Şekil 9.84 Parça üzerindeki 4. ölçüm noktası.



Şekil 9.85 Parça üzerindeki 5. ölçüm noktası.



Şekil 9.86 Parça üzerindeki 6. ölçüm noktası.

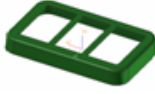
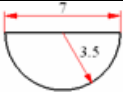
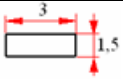
BÖLÜM ON

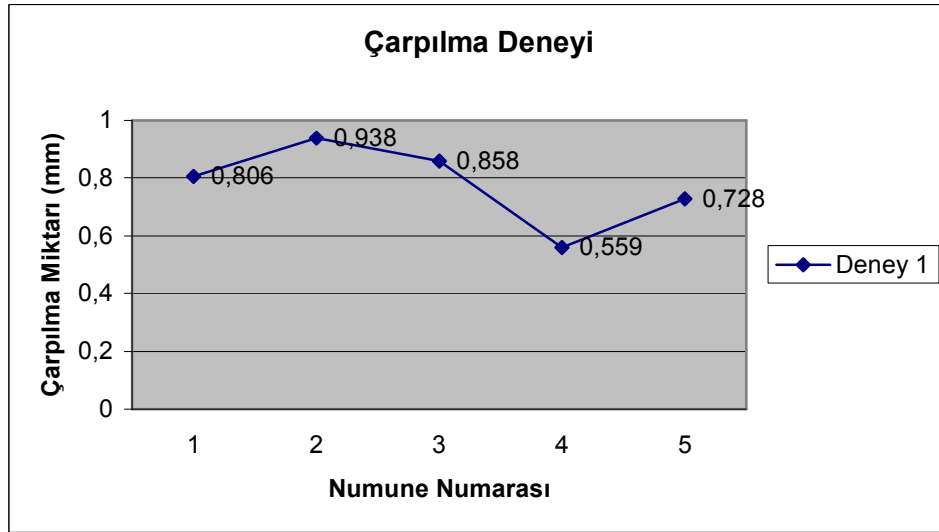
SONUÇ

Tablo 9.2’de görülen faktör ve seviyelerinin, enjeksiyon işlemi sonrasında meydana gelen çarpılmaya ve çarpılmanın değişkenliğine etkilerinin araştırılması için gerekli olan deney guruplarına ait ölçüm sonuçları Şekil 10.1 ve Şekil 10.10 arasında görülmektedir.

Deney 1’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.1’de görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’de belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.1’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.1 Deney 1’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

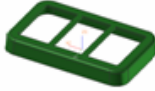
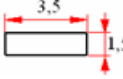
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip A)
Giriş Sayısı	Bir
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Yarım Daire)
Giriş Ölçüleri	 (3x1,5)

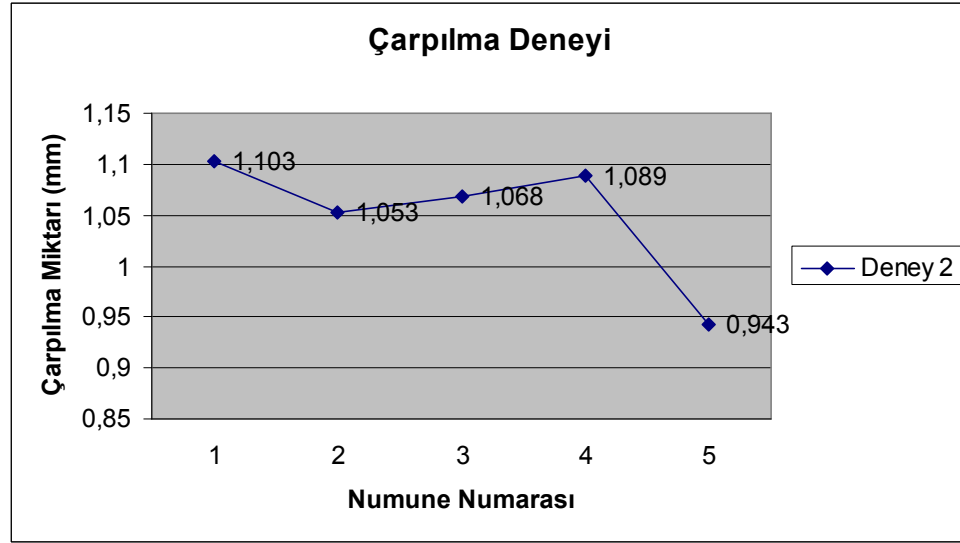


Şekil 10.1 Deney 1’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 2’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.2’de görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’de belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.2’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.2 Deney 2’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

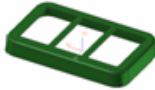
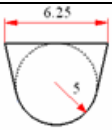
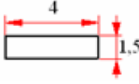
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip A)
Giriş Sayısı	İki
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Trapez)
Giriş Ölçüleri	 (3,5×1,5)

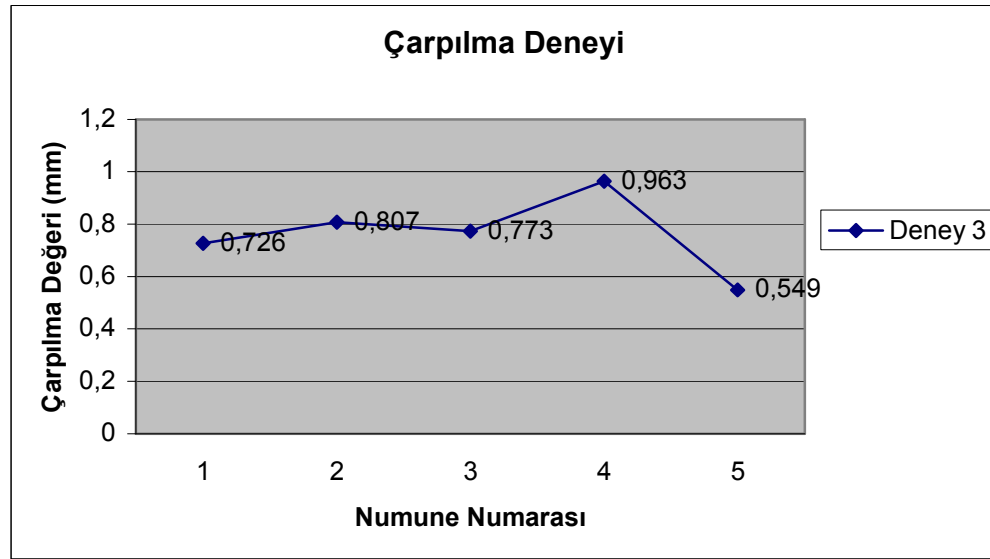


Şekil 10.2 Deney 2’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 3’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.3’te görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’de belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.3’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.3 Deney 3’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

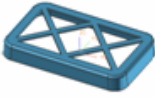
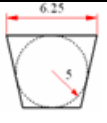
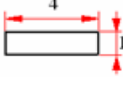
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip A)
Giriş Sayısı	Dört
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Parabolik)
Giriş Ölçüleri	 (4×1,5)

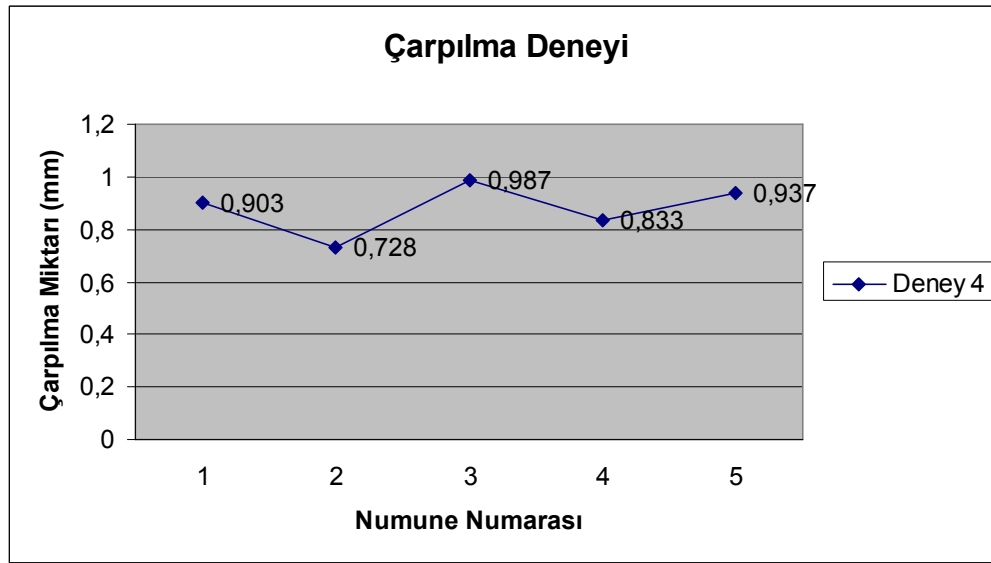


Şekil 10.3 Deney 3’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 4’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.4’te görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’de belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.4’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.4 Deney 4’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

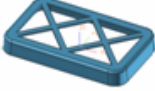
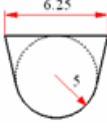
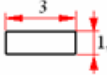
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip B)
Giriş Sayısı	Bir
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Trapez)
Giriş Ölçüleri	 (4×1,5)

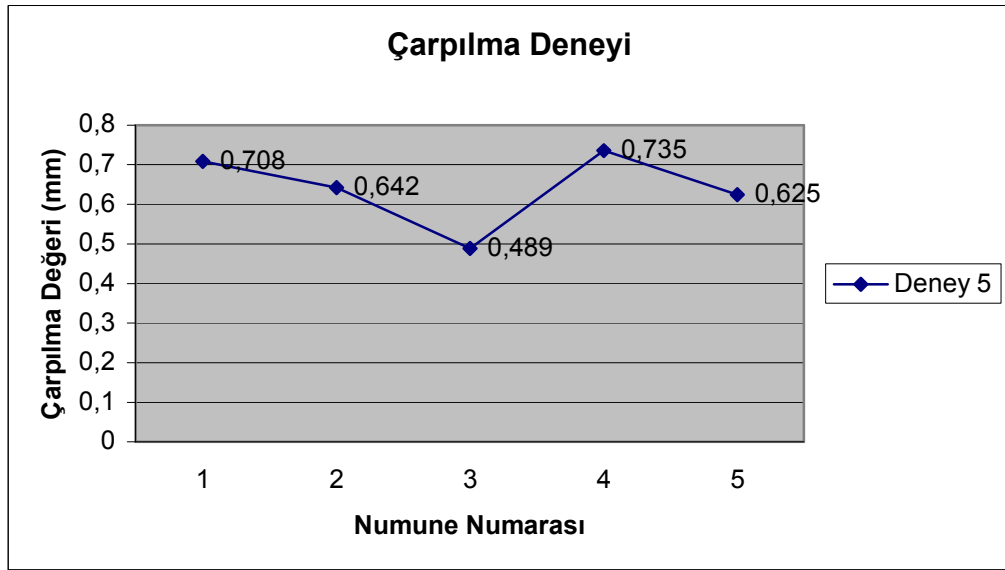


Şekil 10.4 Deney 4’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 5’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.5’te görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’de belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.5’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.5 Deney 5’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

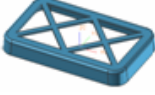
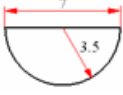
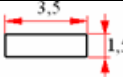
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip B)
Giriş Sayısı	İki
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Parabolik)
Giriş Ölçüleri	 (3×1,5)

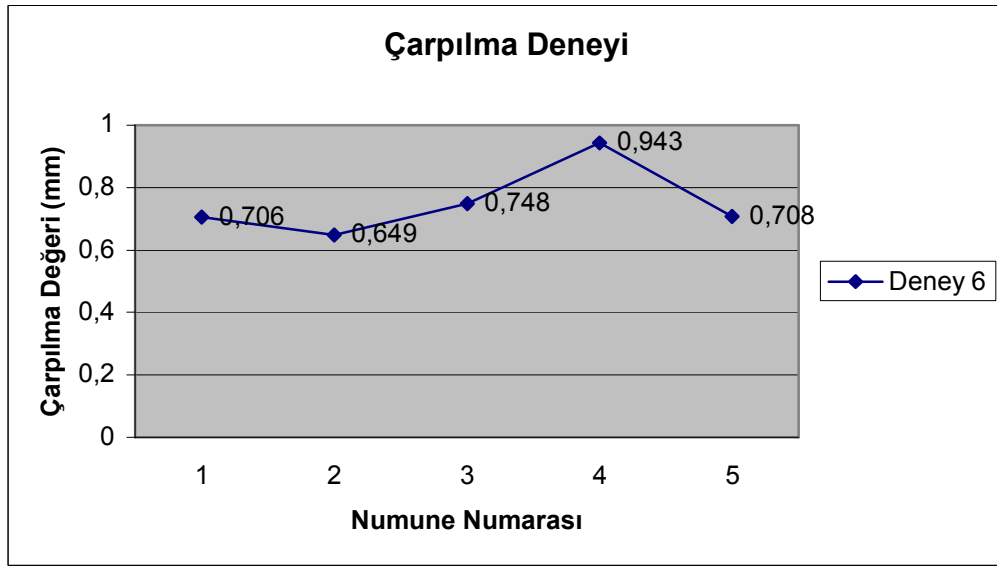


Şekil 10.5 Deney 5’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 6’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.6’da görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’te özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’te belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.6’da görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.6 Deney 6’da kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

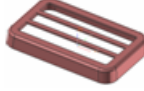
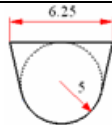
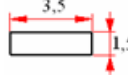
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip B)
Giriş Sayısı	Dört
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Yarım Daire)
Giriş Ölçüleri	 (3,5×1,5)

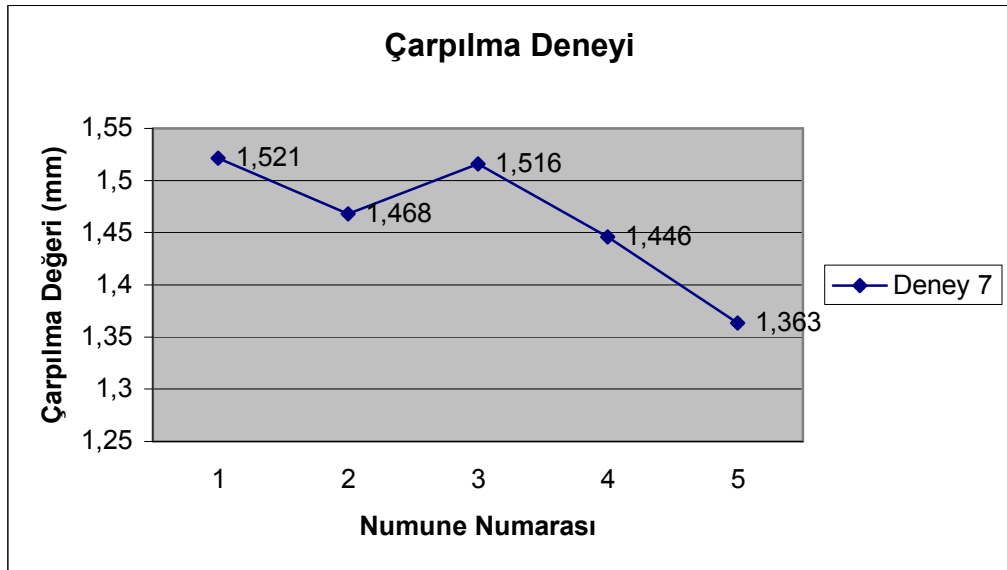


Şekil 10.6 Deney 6'dan elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 7'de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.7'de görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3'de özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4'te belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.7'de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.7 Deney 7'de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

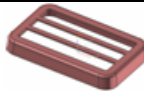
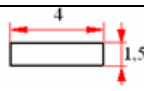
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip C)
Giriş Sayısı	Bir
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Parabolik)
Giriş Ölçüleri	 (3,5×1,5)

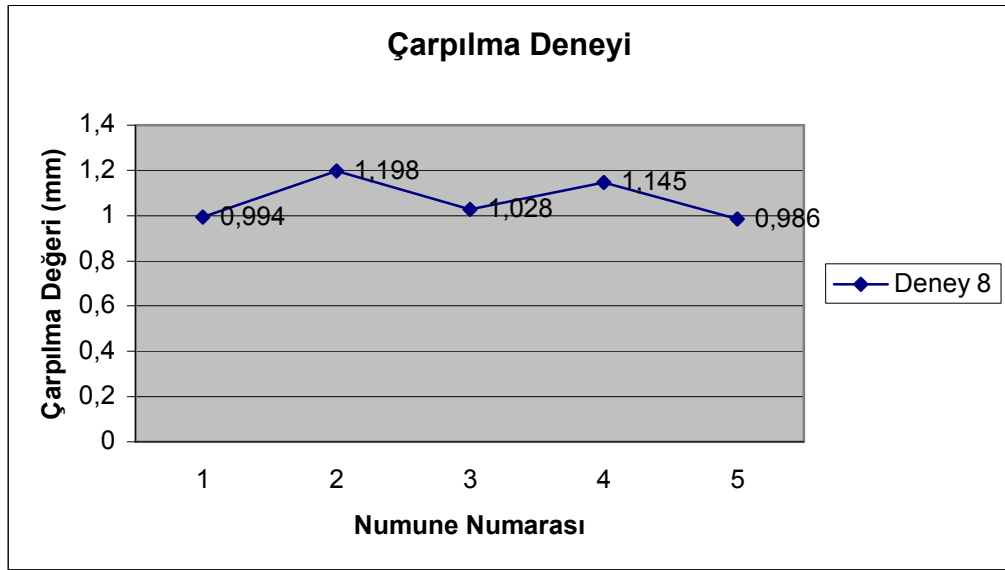


Şekil 10.7 Deney 7’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

Deney 8’de kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.8’de görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’te özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’te belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.8’de görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.8 Deney 8’de kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

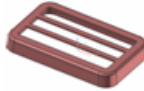
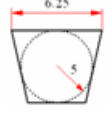
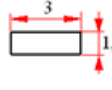
Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip C)
Giriş Sayısı	İki
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Yarım Daire)
Giriş Ölçüleri	 (4×1,5)

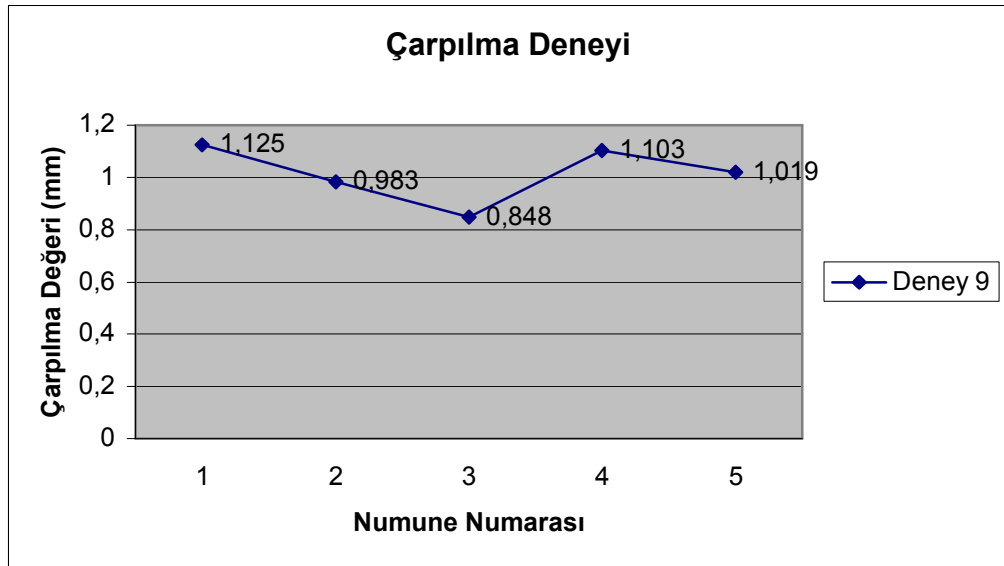


Şekil 10.8 Deney 8’den elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.

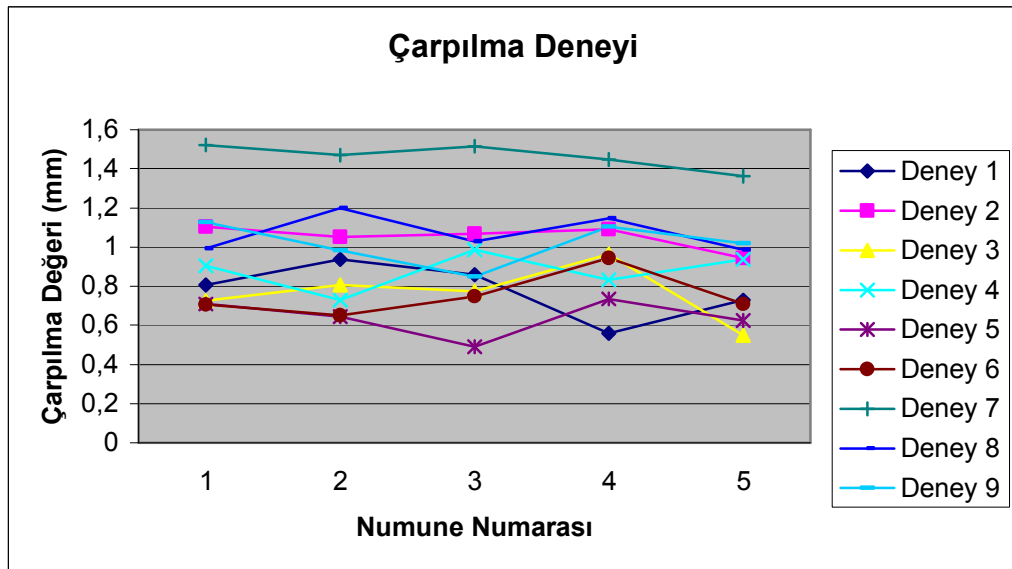
Deney 9’da kullanılan kontrol faktör ve seviyeleri Tablo 10.9’da görülmektedir. Bu kontrol faktörleri kullanılarak Tablo 9.3’te özellikleri belirtilmiş MH 20 Petoplen polipropilen malzeme, Tablo 9.4’te belirtilen imalat parametrelerine göre imal edilmiş ve Şekil 10.9’da görülen çarpılma sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 10.9 Deney 9’da kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Kontrol Faktörleri	Seviyeler
Ürün Tasarımı	 (Tip C)
Giriş Sayısı	Dört
Dağıtıcı Kanal Tasarımı	 (Trapez)
Giriş Ölçüleri	 (3×1,5)



Şekil 10.9 Deney 9'dan elde edilen tek taraflı çarpılma miktarları.



Şekil 10.10 Tüm deneylerden elde edilen tek taraflı çarpılma miktarlarının aynı tabloda gösterilmesi.

Deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak çarpılma miktarı ve çarpılmanın değişkenliği üzerine faktör ve seviyelerin etkilerini araştırmak için S/G analizi ve varyans analizi yapılmıştır. Çarpılma miktarı ve S/G oranlarının hesaplanmasında çarpılma miktarı ve çarpılma miktarının üründen ürüne değişimi minimize edilmeye çalışıldığından en küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılmıştır. Buna göre analiz sonuçları Şekil 10.11' ve Şekil 10.27 arasında görülmektedir.

Şekil 10.14 ve Şekil 10.18 incelendiğinde ürün tasarımı faktörünün 2. seviyesi olan Tip B tasarımının, deney numunelerinin çarpılmasında azaltıcı bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Şekil 10.15 ve Şekil 10.18 incelendiğinde giriş sayısı faktörünün 3. seviyesi olan dört girişin, ürünlerde meydana gelen çarpılmayı azaltıcı yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 10.16 ve Şekil 10.18 incelendiğinde yolluk tasarımı faktörünün ürünün çarpılmasında diğer faktörlere göre daha az etkide bulunduğu ve bu faktörün 1. seviyesi olan yarım daire profilli yolluk tasarımının, ürünlerin çarpılma miktarını azaltacak yönde etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Son olarak giriş ölçüsü faktörünün 1. seviyesi olan $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ lik kesitin parça üzerinde çarpılmayı azaltıcı yönde etki gösterdiği gözlemlenmiştir.

Benzer olarak Şekil 10.22 ve 10.26 incelendiğinde ürün tasarımı faktörünün 2. seviyesi olan Tip B tasarımının, ürünler arasında meydana gelen çarpılma miktarının değişimini azalttığı gözlemlenmiştir. Şekil 10.23 ve Şekil 10.26 incelendiğinde giriş sayısı faktörünün 3. seviyesi olan dört girişin ürünler arasında meydana gelen çarpılma değişimini azalttığı görülmüştür. Şekil 10.24 ve Şekil 10.26 incelendiğinde yolluk tasarımı faktörünün 1 ve 3. seviyesi olan Yarım daire kesitli ve parabolik kesitli tasarımların ürünler arasında meydana gelen çarpılma farklılıklarını azaltıcı yönde etkide bulunduğu fakat az da olsa yarım daire profilli tasarımın parabolik tasarıma göre ürünler arası çarpılma miktarının değişimde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak Şekil 25 ve Şekil 26 incelendiğinde giriş ölçüsü faktörünün ürünler arasındaki çarpılma miktarının değişimine büyük ölçüde etki ettiği ve bu faktörün 1. seviyesi olan $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ lik kesitin ürünler arasındaki çarpılmanın değişimi üzerinde en etkili seviye olduğu gözlenmiştir.

Şekil 10.19 ve Şekil 10.27’de görülen varyans analizi tabloları incelendiğinde Çarpılma miktarını etkileyen en önemli faktörün %50.196’lık bir payla ürün tasarımı olduğu bunu %19, 837 ile giriş ölçülerinin, % 9.313 ile giriş sayısının ve %2,974 ile yolluk tasarımının takip ettiği görülmektedir. Ürünler arasındaki çarpılma farklılıkları dikkate alındığında varyans analizi sonuçları çarpılmanın değişiminde en etkili faktörün %62,084 ile ürün tasarımı, %22,663 ile giriş ölçüsü, %9,853 ile giriş

sayısı ve %5,384'le yolluk tasarımı olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi ve grafik analiz'de Qualitek-4 programından yararlanılmıştır.

Analiz sonuçları göstermektedir ki; ürün tasarımı faktörünün 2. seviyesi olan Tip B tasarımı, giriş sayısı faktörünün üçüncü seviyesi olan dört giriş, kanal tasarımı faktörünün 1. seviyesi olan yarım daire kanal tasarımı ve giriş ölçüsü faktörünün 1. seviyesi olan $3,5 \times 1,5 \text{ mm}^2$ lik faktör seviye kombinasyonu kullanıldığında ürünlerde meydana gelen çarpılma miktarları ve çarpılmanın değişimi minimum olacaktır. Bunu doğrulamak amacıyla optimum parametreler dikkate alınarak 10. doğrulama lokması üretilmiş ve aynı malzeme, aynı imalat koşullarında, diğer deneylere eşit sayıda basılarak benzer noktalardan ölçüm işlemi alınmıştır. Üretilen optimize edilmiş deney numuneleri üzerinden ölçülen çarpılma deneyi sonuçları Şekil 10.28'de görülmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde çarpılma miktarının ve çarpılma varyansının optimizasyon deneyi sonrasında başarılı bir şekilde minimize edildiği görülmektedir.

Conditions	Sample# 6	Sample# 5	Sample# 4	Sample# 3	Sample# 2	Sample# 1
Trial# 1		0.728	0.559	0.858	0.938	0.806
Trial# 2		0.943	1.089	1.068	1.053	1.103
Trial# 3		0.549	0.963	0.773	0.807	0.726
Trial# 4		0.937	0.833	0.987	0.728	0.903
Trial# 5		0.625	0.735	0.489	0.642	0.708
Trial# 6		0.708	0.943	0.748	0.649	0.706
Trial# 7		1.363	1.446	1.516	1.468	1.521
Trial# 8		0.986	1.145	1.028	1.198	0.994
Trial# 9		1.019	1.103	0.848	0.983	1.125

Şekil 10.11 Deney sonuçları.

Data Type: **Average Values**

QC Type: **Smaller is Better**

Conditions	Sample# 6	Sample# 5	Sample# 4	Sample# 3	Sample# 2	Sample# 1	Averages	
Trial# 1		0,728	0,559	0,858	0,938	0,806	0,777	
Trial# 2		0,943	1,089	1,068	1,053	1,103	1,051	
Trial# 3		0,549	0,963	0,773	0,807	0,726	0,763	
Trial# 4		0,937	0,833	0,987	0,728	0,903	0,877	
Trial# 5		0,625	0,735	0,489	0,642	0,708	0,639	
Trial# 6		0,708	0,943	0,748	0,649	0,706	0,75	
Trial# 7		1,363	1,446	1,516	1,468	1,521	1,462	
Trial# 8		0,986	1,145	1,028	1,198	0,994	1,07	
Trial# 9		1,018	1,103	0,848	0,983	1,125	1,015	
							.934	Grand Avg.

Şekil 10.12 Deney grupları ve tüm deney için ortalama çarpılmanın hesaplanması.

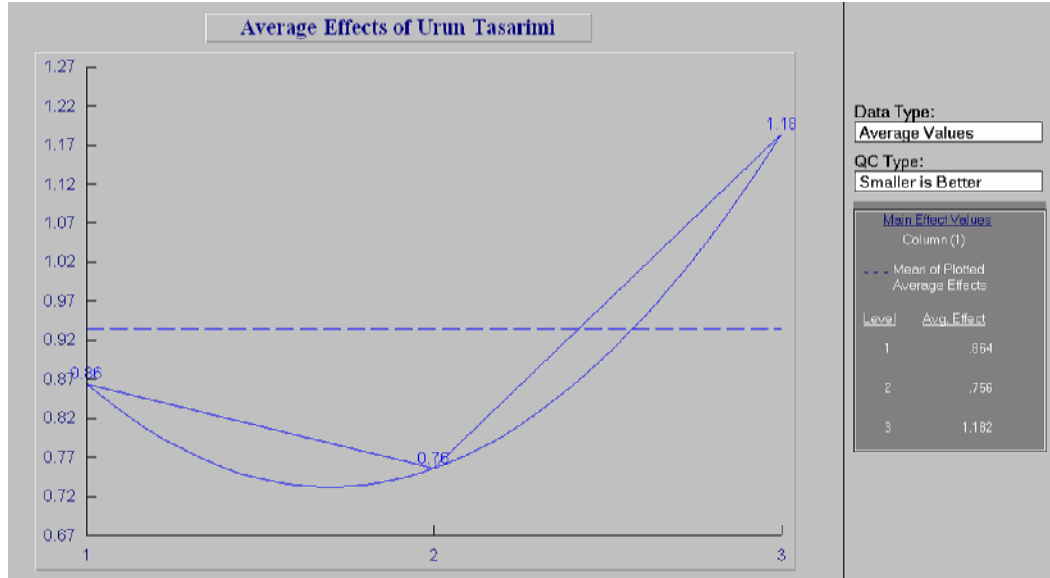
Data Type: **Average Values**

QC Type: **Smaller is Better**

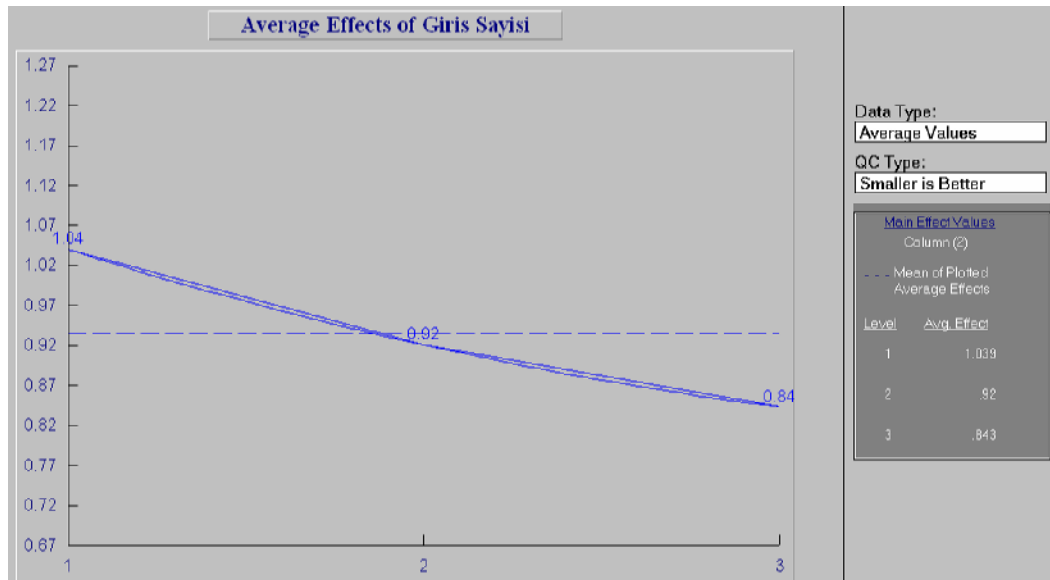
Column # / Factors	Level 1	Level 2	Level 3	L2 - L1
1 Urun Tasarimi	.864	.756	1.182	-.108
2 Giriş Sayısı	1.039	.92	.843	-.119
3 Yolluk Tasarımı	.866	.981	.955	.114
4 Giriş Ölçüleri	.811	1.088	.903	.277

Noise Effects Interactions **Single Plot** Multi Plot Anova

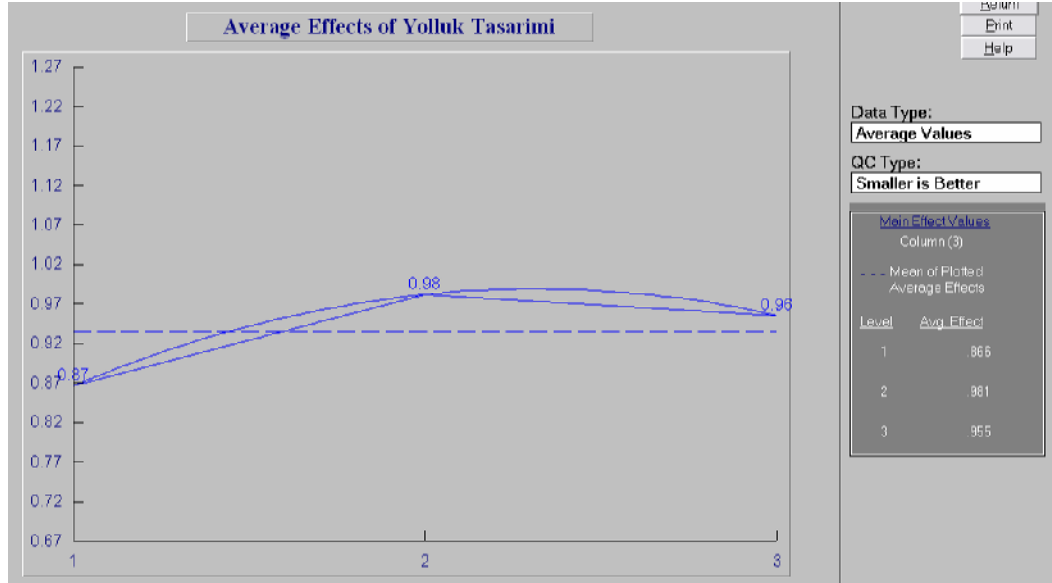
Şekil 10.13 Faktörlerin seviyelerine ait ortalama çarpılma değerleri.



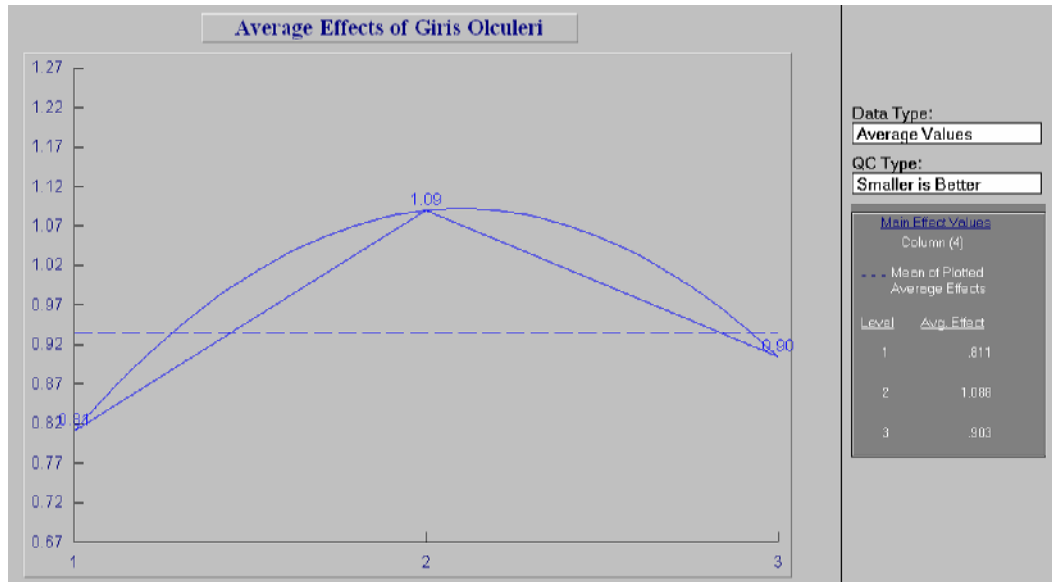
Şekil 10.14 Ürün tasarımı faktörü seviyelerinin çarpılma miktarına etkilerinin grafik gösterimi.



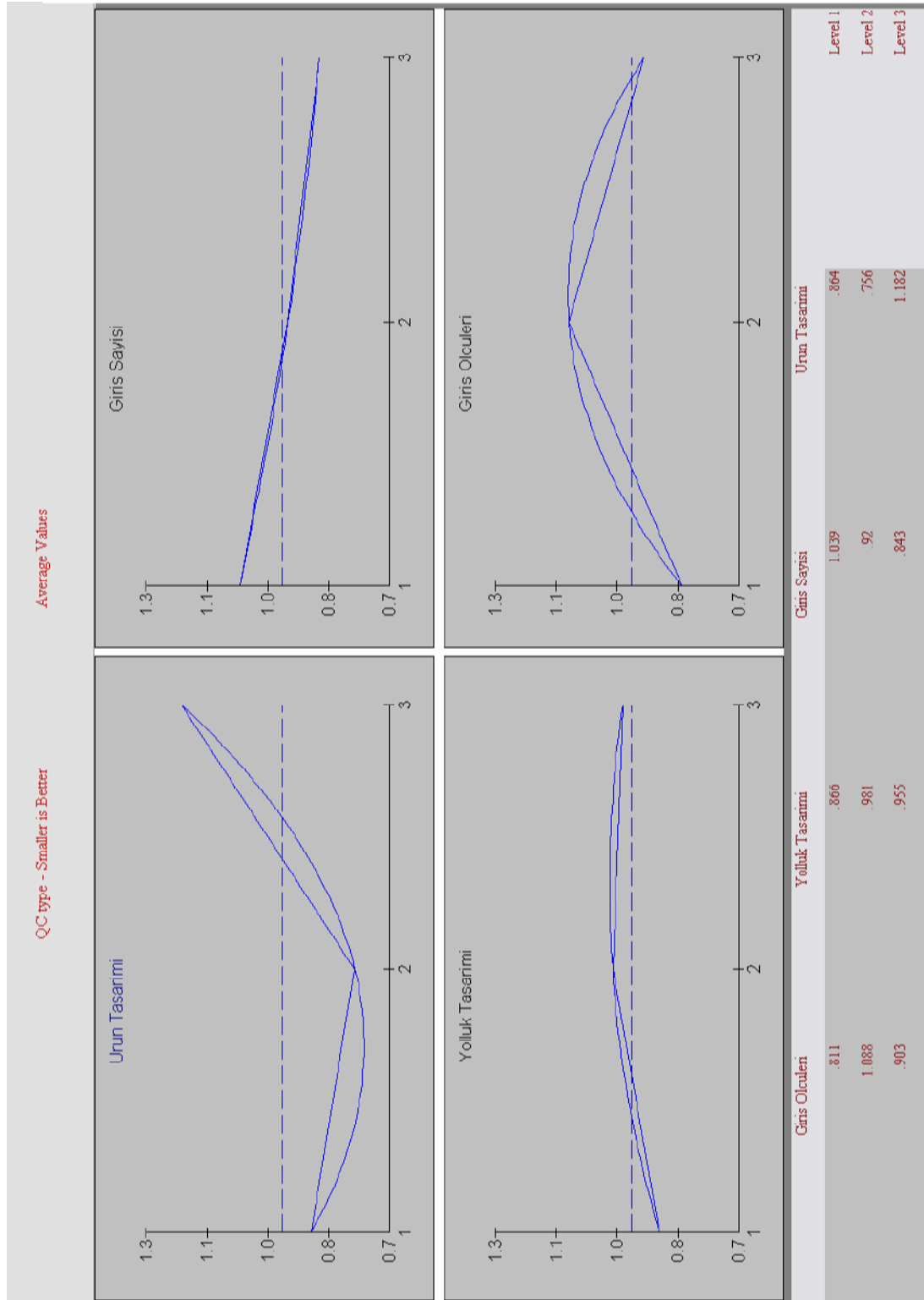
Şekil 10.15 Giriş sayısı faktörü seviyelerinin çarpılma miktarına etkilerinin grafik gösterimi.



Şekil 10.16 Yolluk tasarımı faktörü seviyelerinin çarpılma miktarına etkilerinin grafik gösterimi.



Şekil 10.17 Giriş ölçüleri faktörü seviyelerinin çarpılma miktarına etkilerinin grafik gösterimi.



Şekil 10.18 Tüm faktör ve seviyelerin çarpılma miktarı üzerine etkileri.

Data Type: **Average Values**

QC Type: **Smaller is Better**

Col # / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 Urun Tasarimi	2	1.476	.738	63.467	1.453	50.196
2 Giriş Sayısı	2	.292	.146	12.59	.269	9.313
3 Yolluk Tasarımı	2	.109	.054	4.701	.086	2.974
4 Giriş Ölçüleri	2	.597	.298	25.687	.574	19.837
Other/Error	36	.418	.011			17.68
Total:	44	2.895				100.00%

Main Effect Pool Factor Auto Pool Unpool All CI Function Bar Graph Pie Chart Optimum

Şekil 10.19 Çarpılma miktarı ile ilgili varyans analizi sonucu.

Data Type: **S/N Ratio**

QC Type: **Smaller is Better**

Conditions	Sample# 6	Sample# 5	Sample# 4	Sample# 3	Sample# 2	Sample# 1	S/N Ratio
Trial# 1		0,728	0,559	0,858	0,938	0,806	2,064
Trial# 2		0,943	1,089	1,068	1,053	1,103	-0,447
Trial# 3		0,549	0,963	0,773	0,807	0,726	2,211
Trial# 4		0,937	0,833	0,987	0,728	0,903	1,088
Trial# 5		0,625	0,735	0,489	0,642	0,708	3,801
Trial# 6		0,708	0,943	0,748	0,649	0,706	2,411
Trial# 7		1,363	1,446	1,516	1,468	1,521	-3,311
Trial# 8		0,986	1,145	1,028	1,198	0,994	-0,617
Trial# 9		1,018	1,103	0,848	0,983	1,125	-0,174

781

Şekil 10.20 Deney grupları ve tüm deney için ortalama S/G hesaplanması.

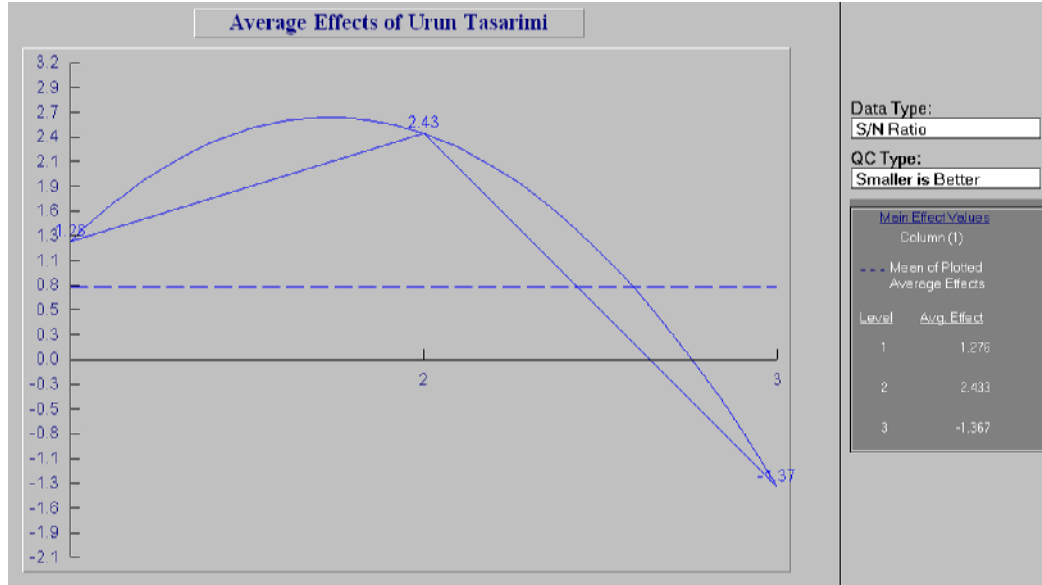
Data Type: **S/N Ratio**

QC Type: **Smaller is Better**

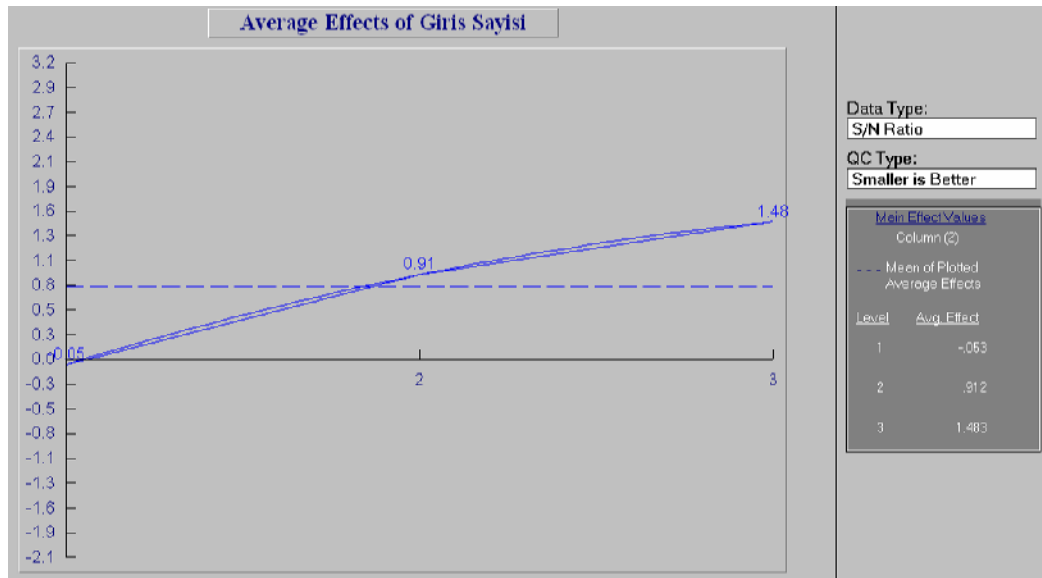
Column # / Factors	Level 1	Level 2	Level 3	L2 - L1
1 Urun Tasarımı	1.276	2.433	-1.367	1.156
2 Giriş Sayısı	-.053	.912	1.483	.965
3 Yolluk Tasarımı	1.286	.156	.901	-1.131
4 Giriş Ölçüleri	1.897	-.449	.894	-2.347

Noise Effects Interactions Single Plot Multi Plot Anova

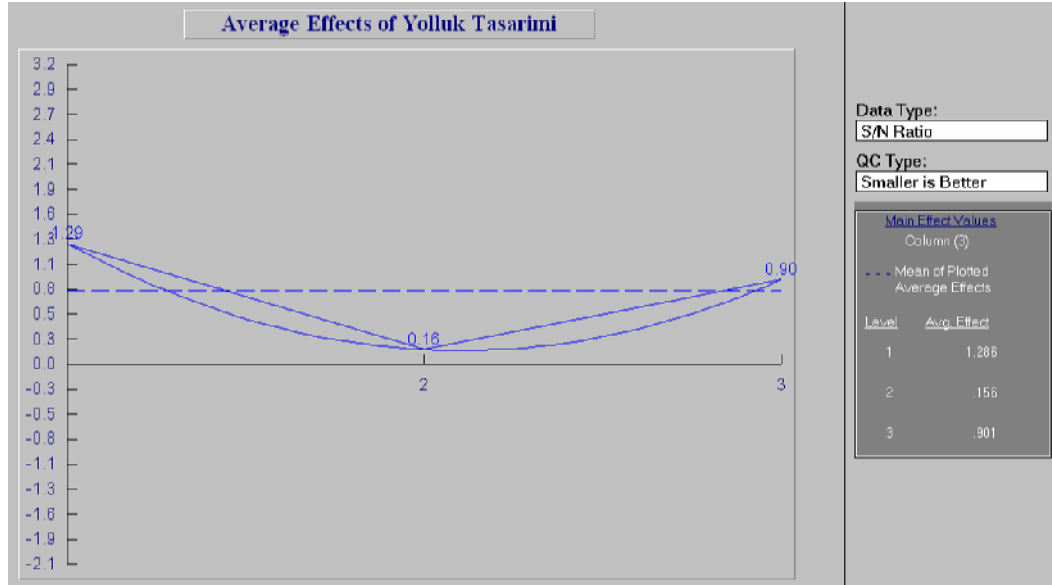
Şekil 10.21 Faktörlerin seviyelerine ait ortalama S/G değerleri.



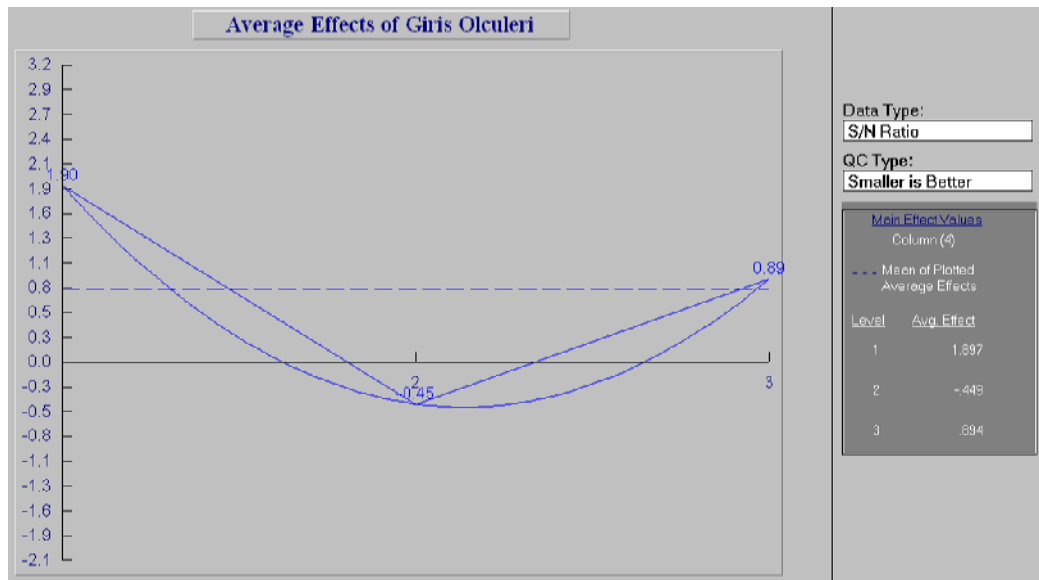
Şekil 10.22 Ürün tasarımı faktörü seviyelerinin S/G üzerindeki etkilerinin grafik gösterimi.



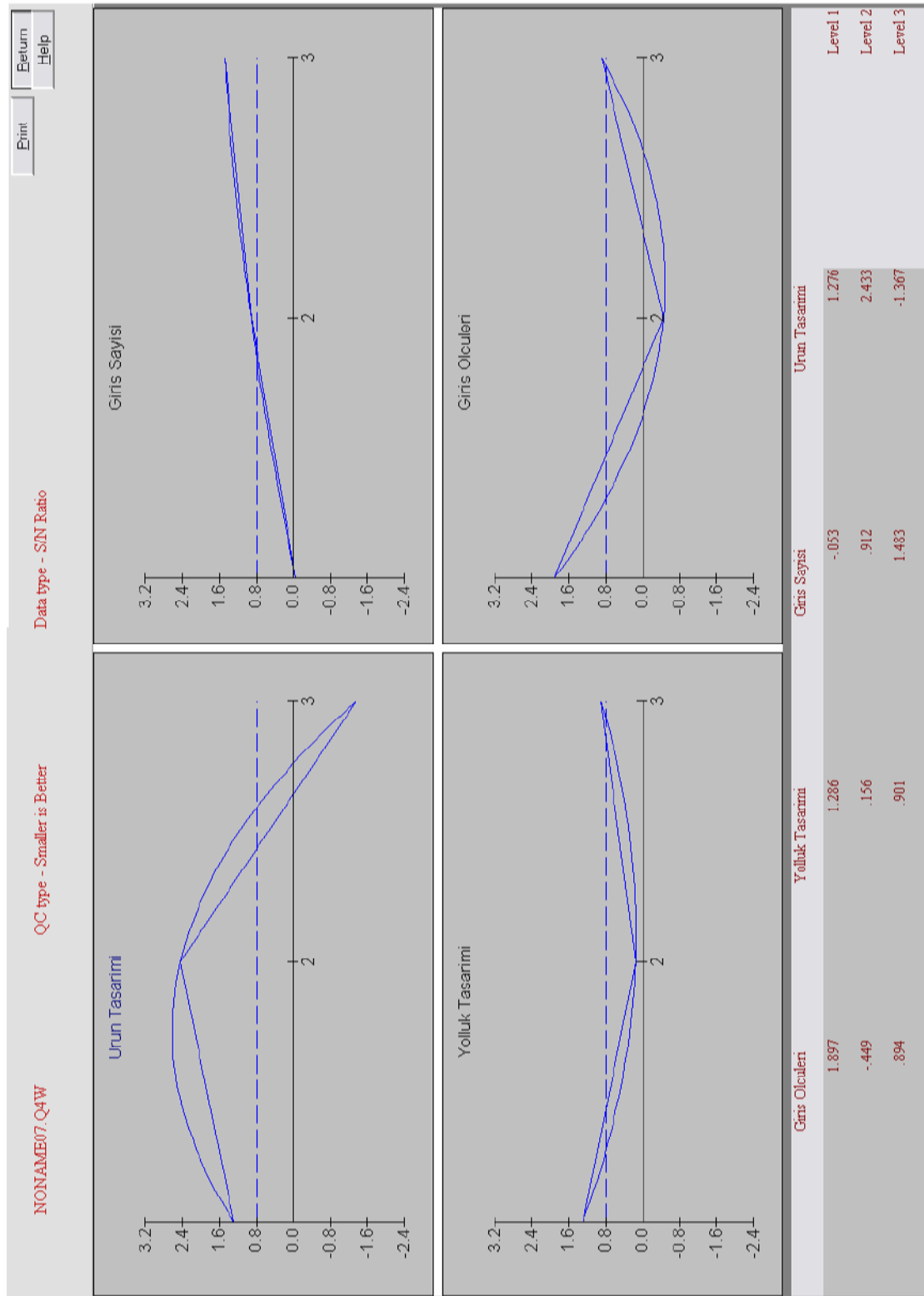
Şekil 10.23 Giriş Sayısı faktörü seviyelerinin S/G üzerindeki etkilerinin grafik gösterimi.



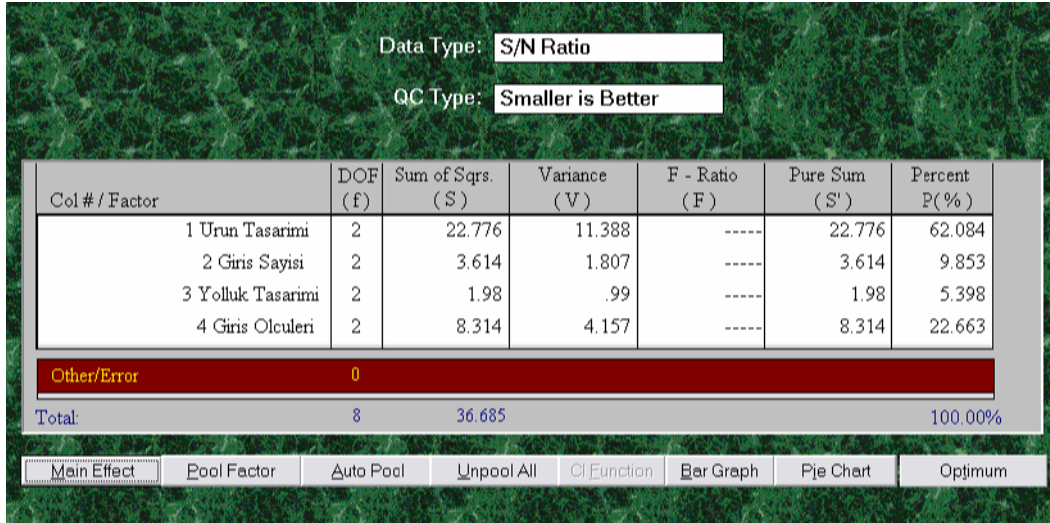
Şekil 10.24 Yolluk tasarımı faktörü seviyelerinin S/G üzerindeki etkilerinin grafik gösterimi.



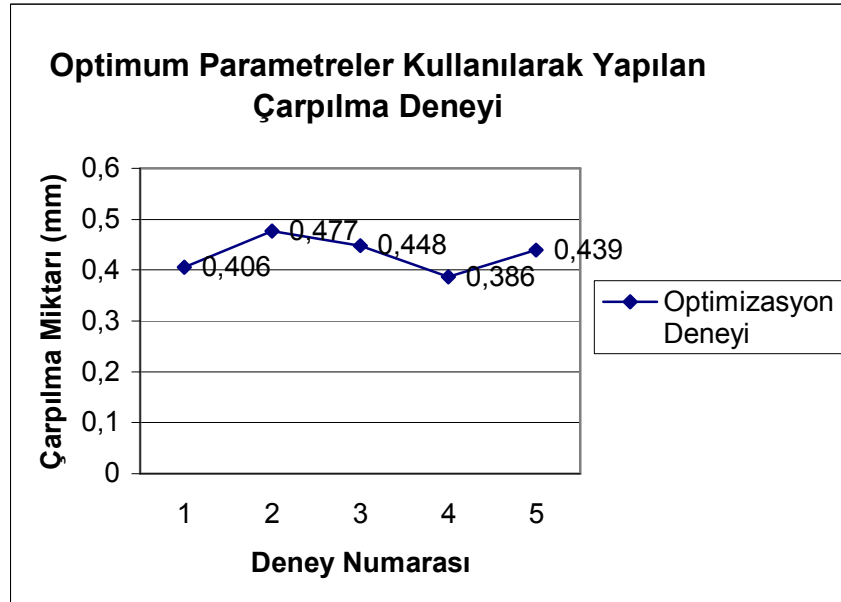
Şekil 10.25 Giriş ölçüleri faktörü seviyelerinin S/G değeri üzerindeki etkilerinin grafik gösterimi.



Şekil 10.26 Tüm faktör ve seviyelerin S/G üzerindeki etkileri.



Şekil 10.27 S/G için yapılan varyans analizi.



Şekil 10.28 Optimum parametreler ile yapılan çarpılma deneyinden elde edilen çarpılma miktarları

REFERANSLAR

Akkurt, S. (1991). *Plastik malzeme bilgisi*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Akyüz, F, Ö. (2006). *Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş*. İstanbul: Pagay Yayıncılık Turizm ve Tic. Ltd. Şti.

Arburg GmbH. (2006). *Arburg injection machines*. Retrieved April 9, 2006, from http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_c/clamping_unit.jsp.

Ay Tasarım. (2007) *Hızlı prototipleme*. 2 Mart 2007, http://end.aytasarim.com/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=47.

Basics of mold construction. (n.d). Retrieved May 3 2006, from http://www.plasticmoldmakingdata.com/PDF_files/Mold%20Comstruction%20Basics%20Part%201.pdf

Bayer Material GmbH. (2006). *Bayer material science*. Retrieved April 26, 2006, from http://tpe-u.com/_cms_live/media/medias/0000/00/00/b9/47539.jpg.

Beal, G. (2002). *Polypropilen part design_living hinges*. Retrieved February 28 2006, <http://www.immnet.com/articles?article=1951>.

Bingöl, E. (2004). *Otomotiv endüstrisinde tersine mühendislik uygulamaları*. 27 Mart 2006, <http://www.turkcadcam.net/rapor/re-otomotiv/index.html>.

Blow molding, (n.d.). Retrieved January 5, 2007, from <http://www.pct.edu/prep/bm.htm>.

Boss design, (n.d.). Retrieved February 2, 2006, from http://www.efunda.com/designstandards/plastic_design/boss.cfm.

Bozkurt, E. S. (2005). *Fan yenilenmesi – geriye dönük mühendislik*. 25 Mayıs 2006, <http://www.defnemuhendislik.com/fanyenilenmesi.pdf>.

BPF Plastic Industry GmbH. (2003). *Blown film process*. Retrieved April 2, 2006, http://www.bpf.co.uk/bpfindustry/process_plastics_blown_film.cfm.

Bryce, D. M. (1998). *Plastic injection molding, mold design and construction Fundamentals*, Michigan: Society of Manufacturing Engineers.

Catalogue of Taguchi designs, Minitab 14 Help Document.

Chen, S. C., Chang, Y., Cahng, T. H., & Chien R. D. (2007), Influence of using pulsed cooling for mold temperature control on microgroove duplication accuracy and warpage of the Blu-ray Disc. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. Retrieved August 13, 2007, from www.sciencedirect.com.

Chin, K. S., & Wong, T.N. (1996). Developing a knowledge-based injection mould cost estimation system by decision tables. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 11, 353-365. Retrieved July 3, 2006, from www.springerlink.com.

Cho, K., & Jeon, I. (2004). Numerical analysis of the warpage problem in TSOP. *Microelectronics Reliability*, 44, 621-626. Retrieved September 11, 2006, from www.sciencedirect.com.

Choi, D. S., & Im, Y. T. (1999). Prediction of shrinkage and warpage in consideration of residual stress in integrated simulation of injection molding. *Composite Structures*, 47, 655-665. Retrieved September 10, 2006, from www.sciencedirect.com.

Concurrent engineering vs traditional approach, (n.d.). May 20, 2006, from <http://www.ewh.ieee.org/soc/es/Aug1996/030/cd/en495w03/conc32.htm>.

Çakır, A. (2005). *Geriye dönük mühendislik ve rapidform*. 20 Mayıs 2006, <http://www.cadcamdizayn.com/makale.asp?Grup=arsiv>.

Demirer, A., Soydan, Y., & Kapti, A. O. (2007). An experimental investigation of the effects of hot runner system on injection moulding process in comparison with conventional runner system. *Materials & Design*, 28, 1467-1476. Retrieved August 30, 2007, from www.sciencedirect.com.

Dereli, T., & Baykasoğlu, A. (2005). *Tersine Mühendislik*, 17 Mayıs 2006, <http://www.turkcadcam.net/rapor/tersine-muh/index.html>.

Design and process strategies, (n.d.). Retrieved July 10, 2007, from <https://www.hanser-gardner.com/sample/1-56990-291-7.pdf>.

DME Corp. (2006). *Catalogue die sets air valve*. Retrieved March 27, 2006, from http://216.91.69.172/D_Catalog/default.htm.

DME Plastics University. (2006). *Mold technology series & training course*. Retrieved May 5, 2006, from <http://www.dmeuniversity.net/english/g.cfm>.

Dragomatz, T. (2005). *Mold design*. Retrieved March 2, 2006, from http://innovation.dc-uoit.ca/dragomatz/tool5131/mould_des.pps.

DSM Engineering Plastics, (June 3, 2005). *Mold design and construction requires special attention for optimal product quality and reliable molding*. Retrieved April 15, 2006, from http://www.dsm.com/en_US/html/dep/molddesign.htm.

DYNALAB Corp. *Plastic properties of polymethylmethacrylate*, Retrieved March 15, 2006, from http://www.dynalabcorp.com/technical_info_acrylic.asp.

Eliot, J. (February 23, 2005). *Industrial aspects of polymer processisng*. Retrieved March 25, 2006, from www.cus.cam.ac.uk/~jae1001/teaching/mphil/MP10/MP10_2.pdf.

Erhard, G. (2006). *Designing with plastics*, Retrieved February 8, 2006, from http://files.hanser.de/hanser/docs/20060105_261515524-85_3-446-22590-0_Leseprobe_2.pdf.

Erzurumlu, T., & Özçelik, B. (2005). Determination of effecting dimensional parameters on warpage of thin shell plastic parts using integrated response surface method and genetic algorithm. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1085-1094. Retrieved September 17, 2006, from www.sciencedirect.com.

Erzurumlu, T., & Özçelik, B. (2006). Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method.

Extrusion machine, (n.d.). March 21, 2006, from <http://cd.tradehelper.or.kr/member/SMPLATEK/TEK58HS.jpg>.

Ferromatic Milacron GmbH. (2005). *Milacron injection machine features*. Retrieved April 26, 2006, from http://www.ferromatik.com/de/information/presse/img/EE_300_auf_weiss.jpg.

Ferromatik Milacron India Ltd. (2005). *Electron technical features*. Retrieved April 6, 2006, from <http://www.milacronindia.com/elektron/features-1.htm>.

Fontecchio, M. (May 3, 2002). *Quench Probe and Quench Factor Analysis of Aluminum Alloys in Distilled Water*. Retrieved April 10, 2006, 10, from <http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-0429102-153911/unrestricted/fontecchio.pdf>.

- Fu, M. W., Nee, A, Y, C., & Fuh J. Y. H. (2001). The application of surface visibility and moldability to parting line generation. *Computer-Aided Design*, 34, 469-480. Retrieved 3 July, 2006, from www.sciencedirect.com.
- GE Plastics Inc. (2003). *Guidelines for injection molded design*. Retrieved January 18 2006, from <http://kingkong.me.berkeley.edu/3dp/zonohedra/GE%20Plastics.pdf>.
- GE Plastics Inc. (2004). *Injection molding gas assist technology guide*. Retrieved April 22, 2006, from <http://kbam.geampod.com/KBAM/Reflection/Assets/8655.pdf>.
- Goldsberry, C. (May, 1997). *Thin-wall warpage*. Retrieved March 18, 2006, <http://www.immnet.com/articles?article=306>.
- Groover, M. P. (2002). *Fundamentals of modern manufacturing*. NJ: Jhon Willey & Sons, Inc.
- Güneş, T. (2005). *Plastik enjeksiyon kalıpları*. Ankara: tmmob.
- Han, K. H., & Im, Y. T. (1997). Compressible flow analysis of filling and postfilling in injection molding with phase-change effect. *Composite Structures*, 38, 179-190. Retrieved September 10, 2006, from www.sciencedirect.com.
- Harte, A. M., & McNamara J. F. (2007). Overinjection of thermoplastic composites: I. Processing and testing of components. *Journal of Materials Processing Technology*, 182, 12-20. Retrieved August 30, 2007, from www.sciencedirect.com.
- HASCO. (2006). *Catalogue die sets air avlve*. Retrieved April 3, 2006, from http://www.jtdtky.co.jp/catalog_pdf/HASCO_AirValve.pdf.

Heat Technology Systems Inc. (2002). *Injection molding screw tips*. Retrieved April 12, 2006, from <http://www.injectionscrewtips.com/>.

Hermaste, A., Sutt, A., & Küttner, R. (October 20, 2005). *Computer-based techniques for decision support of mold design process*. Retrieved May 25, 2006, <http://www.ist-world.org/ResultPublicationDetails.aspx?ResultPublicationId=f81c3ad2015542d687d7c22f3500a1ee&SourceDatabaseId=797aa5356f534449ab300e6054d7219c>.

Hot runner technology. (n.d). Retrieved March 2, 2006, from http://www.jobwerx.com/news/synv_bizid=947843_233.html.

Hu, W., & Masood, S. (2002). *An intelligent cavity layout design system for injection moulds*. Retrieved December 22, 2006, from [http://www.ijcc.org/on-line\(pdf\)/2\(1\)69-75.pdf](http://www.ijcc.org/on-line(pdf)/2(1)69-75.pdf).

Huang M. C., & Tai C. C. (2001) The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature. *Journal of Materials Processing Technology*, 110, 1-9. Retrieved September 10, 2007, from www.sciencedirect.com.

Huntsman Co. (2002). *Design elements of living hinges*. Retrieved February 17, 2006, http://www.huntsman.com/polymers/Media/Living_Hinge_Tips.PDF.

Imihezri, S.S.S., Sapuan, S.M., Ahmad, M. M. H. M., & Sulaiman, S. (2005). A study of the comparison of 'V' and 'X' ribbing in a composite pedal using mold flow analysis software. *Materials & Design*, 26, 157-166. Retrieved September 20, 2006, from www.sciencedirect.com.

Injection mold types, (n.d.). Retrieved April 5, 2006, from http://engr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/mold_types.htm.

- Injection molding*, (n.d.). Retrieved April 12, 2006, from <http://www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/injection.pdf>.
- Jaarsma, F. (2000). *Design considerations for injection molded parts*. Retrieved January 16 2006, <http://www.manufacturingcenter.com/dfx/archives/0800/0800inm.asp>.
- Kalpakistan, S., & Schmid, R. S. (2003). *Manufacturing process for engineering materials* (4th ed.). NJ: Pearson Education, Inc.
- Knights, M. (2007). *Water injection*. Retrieved February 4, 2007, from <http://www.ptonline.com/articles/200509fa1.html>.
- Kobu, B. (1987). *Endüstriyel kalite kontrolü* (2. Baskı). İstanbul: İ.Ü. İşletme Fak. Yay. No:182.
- 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. Retrieved September 17, 2006, from www.sciencedirect.com.
- Lahteenmaki, E. (2005). *Injection molding and part design*. Retrieved February 5, 2006, from http://www.socia.si/pdf/publikacije/GE_Plastics-GeneralInjectionMoldingGuide.pdf.
- Lin J. C. (2002). Optimum cooling system design of a free-form injection mold using an abductive network. *Journal of Materials Processing Technology*, 120, 226-236. Retrieved September 15, 2006, from www.sciencedirect.com.

- Lou, Z., Jiang, H., & Ruan, X. (2004). Development of an integrated knowledge-based system for mold-base design. *Journal of Materials Processing Technology*, 150, 194-199. Retrieved July 2, 2006, from www.sciencedirect.com.
- Low, L. H. M., & Lee, K. S. (2003). A Parametric-controlled cavity layout design system for a plastic injection mould. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 807-819. Retrieved July 2, 2006, from www.springerlink.com.
- Low, L. H. M., & Lee, K. S. (March 16, 2004). *3D rapid realization of initial design for plastic injection molds*. Retrieved July 2, 2006, from http://www.ies.org.sg/journal/past/v44i4/v44i4_2.pdf.
- Low pressure reaction injection machine*, (n.d.). Retrieved April 18, 2006, from http://zjaoli.en.alibaba.com/product/50071104/50325788/Low_Pressure_Reaction_Injection_Machines/Low_Pressure_Reaction_Injection_Machine.html.
- Maier, C. (August 1, 2007) *Design guides for plastics*. Retrieved August 3, from <http://www.tangram.co.uk/Design%20Guides%20for%20Plastics.PDF>.
- Manufacturing with plastics chapter 18*, (n.d.). Retrieved February 3, 2006, from <http://www.engr.siu.edu/staff2/deruntz/IT208/Chapter%2018%20Manufacturing%20with%20Plastics.ppt>.
- Materials & Design*, 27, 853-861. Retrieved July 3, 2007, from www.sciencedirect.com.
- McKinney, K. (2002). *Parallel design moldability 101*. Retrieved April 12, 2006, from <http://www.paralleldesign.com/>.
- Medraj, M. (2004). *Injection molding*. Retrieved April 17, 2006, from <http://users.encs.concordia.ca/~mmedraj/mech421/lecture%2016%20plastics%203.pdf>.

- Mok, C. K., Chin, K. S., & Ho, K. L. J. (2001). An interactive knowledge-based CAD system for mould design in injection moulding processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 27-38. Retrieved July 2, 2006, from www.springerlink.com.
- Nunnery, L. (2005). *Tooling innovations for thermoset molding*. Retrieved April 15, 2006, from http://www.bulkmolding.com/technical_papers/technical_papers/tooling_thermosetmolding.pdf.
- OEM designs Inc. (2005) *Product development*. Retrieved May 3, 2006, from <http://www.oemdesigns.com/Product%20Development.htm>.
- OffShore Solutions Inc. (2007) *Thermoforming*, (b.t) 22 Ocak 2007, <http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>.
- Ophart C. E (2003). *Addition polymers*, (n.d.). Retrieved February 5, 2006, from <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/401addpolymers.html>.
- Özbakır, B. (2006). *Eşzamanlı mühendislik*. Retrieved May 7 2006, <http://www.onlinekalite.com/>.
- Özçelik, B., & Erzurumlu, T. (2006). Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 437-445. Retrieved July 3, 2007, from www.sciencedirect.com.
- Öktem, H., Erzurumlu, T., & Uzman, İ. (2007). Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Materials & Design*, 28, 1271-1278. Retrieved August 20, 2007, from www.sciencedirect.com.

Paramio, M. A. R., Garcia, J. M. P., Chuece, J. R., Idoipe, A.V., & Sevillano, J. J. M. (2005). A procedure for plastic parts demoldability analysis. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 81-92. Retrieved 5 July, 2006, from www.sciencedirect.com.

Part & mold design requirement, (n.d.). Retrieved February 5 2006, from <http://www.durez.com/product.pdfs/phen.mold.comp/phen.molding.guide.pdf>.

Plastic injection mold design, (n.d.). Retrieved March 1, 2006, from http://www.courses.ait.ac.th/AT73.01/AT73.12/AMD_III_HANDOUTS/AMD_III_1.pdf.

Plastic processing, (n.d.). Retrieved January 5, 2007, from <http://www.egr.uri.edu/ime/Courses/ime240/Polymer%20processing.ppt>.

Plastikleri şekillendirme yöntemleri, (n.d.). Retrieved March 25, 2006, from <http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N6.pdf>.

Polymer processing, (n.d.). Retrieved March 22, 2006, from <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/processing.pdf>.

Processing of polymers, (n.d.). Retrieved March 23, 2006, from http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme2/10_ProcessPolim.pdf.

Processing techniques, (n.d.). April 3, 2006, <http://www.hanyang.ac.kr/data/101329/27.pdf>.

Roach, G., Megyesye, J., Casto, M., & Barry, C. (May 5, 2005). *Injection molding structures*. Retrieved April 15, 2006, from http://www.ret.neu.edu/Nanotech-2005/Megyesy-Roach/Injection_Molding.pdf.

Saat, M. (3 Nisan 2000). *Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı*. 2 Kasım 2006, <http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/ye11.htm>.

Schey, J. A. (2000). *Introduction to manufacturing processes*. NY: McGraw-Hill Companies, Inc.

Screw and Barrels for injection machine, (n.d.). Retrieved March 2, 2006, from http://img.alibaba.com/photo/50358046/Screw_and_Barrels_for_Injection_Machine.jpg.

Shen, Y. K., Liao, J. H., & Zhao W. X. (2004). Study on warpage and shrinkage of flip chip encapsulation process. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31, 693-702. Retrieved September 12, 2006, from www.sciencedirect.com.

Snap fit design, (n.d.). Retrived February 12, 2006, from http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/snap_design.htm.

Society of Manufacturing Engineers. (February 20, 2003). *Plastic blow molding*, Retrieved January 5, 2007, from <http://www.sme.org/cgi-bin/get-item.pl?DV03PUB21&2&SME&>.

Subramanian, N. R., Leon, L. T., & Seng, Y. A. (2005). Optimizing warpage analysis for an optical housing. *Mechatronics*, 15, 111-127. Retrieved September 19, 2006, from www.sciencedirect.com.

Şenmak Ltd. Şti. (2003). *Ekstrüzyon vida ve kovanları*. Retrieved April 2, 2006, from <http://www.senmak.com/ekstruzyon.htm>.

Şirvancı, M. (1997). *Kalite için deney tasarımı "Taguchi yaklaşımı"*. İstanbul: Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti.

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. Retrieved August 12, 2007, from www.sciencedirect.com.

Tang, S. H., Tan, Y. J., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Ismail, N., & Samin, R. (2007). The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage. *Journal of Materials Processing Technology*, 182, 418-426. Retrieved August 28, 2007, from www.sciencedirect.com.

Thusty, J. (2000). *Manufacturing process and equipment*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Tuğyan, Y. (2 Haziran, 2007). *Enjeksiyon prosesi*. 9 Temmuz 2007, <http://www.dupont.com.tr/ppt/Proses%20Egitim%201.pdf>.

Turaçlı, H. (2003). *Enjeksiyon kalıpları imalatı*. (3. Baskı). İstanbul: Pagay Yayıncılık Turizm, ve Tic. Ltd. Şti.

Unal, R., & Dean, E. B. (March 18, 1991). *Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview*. Retrieved August 10, 2007, from <http://techreports.larc.nasa.gov/ltrs/PDF/conf-13-ispa-unal+dean.pdf>.

Warpage characteristics of fiber-reinforced injection-molded parts, (n.d.). Retrieved August 2, 2007, from <http://www.basf.com/PLASTICSWEB/displayanyfile?id=0901a5e180004876>.

Yen, C., Lin, J. C., Li, W., & Huang, M. F. (2006). An abductive neural network approach to the design of runner dimensions for the minimization of warpage in injection mouldings. *Journal of Materials Processing Technology*, 174, 22-28. Retrieved July 3, 2007, from www.sciencedirect.com.

Yılmaz, M. (4 Şubat 2003). *Bilgi merkezleri ve toplam kalite yönetimi ilişkisi*. 2 Kasım 2006, www1.dogus.edu.tr/dogustru/journal/cilt_4_sayi_2/M00100.pdf.