

**FARKLI MALZEMELERDEN PLASTİK
ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE MAKİNE PARÇASI
ÜRETİMİ
Güner ASLAN**

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doc. Dr. Nurşen YENİCİ**

2011

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI MALZEMELERDEN PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ
İLE MAKİNE PARÇASI ÜRETİMİ**

Güner ASLAN
(Teknik Öğretmen)

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. NURŞEN YENİCİ

TEKİRDAĞ-2011

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Nurşen (ÖNTÜRK) YENİCİ danışmanlığında, Güner ASLAN tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Nilhan (ÜRKMEZ) TAŞKIN *İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ *İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurşen (ÖNTÜRK) YENİCİ *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Fatih KONUKÇU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI MALZEMELERDEN PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE MAKİNE PARÇASI ÜRETİMİ

Güner ASLAN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurşen YENİCİ

Plastik enjeksiyon süreci plastik parça üretiminde en popüler yöntemdir. Bu sürecin bilgisayar ortamında analizi yapılabilir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen kalıplama parametreleriyle uygun kalıp imalatına geçilebilir.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama prosesi kullanılarak farklı termoplastik malzemelerden parça üretimi yapılmıştır. Üretilen parçanın Solidworks ile kalıp seti tasarımı yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım sonrasında CNC tezgahlarda kalıp parçalarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kalıp seti plastik enjeksiyon tezgahına alınarak içerisine ABS, PP ve PS termoplastik malzemeler enjekte edilmiştir. Farklı termoplastik malzemelerden elde edilen numuneler karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: kalıp, kalıp tasarımı, plastik enjeksiyon kalıbı

2011, 61 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE PRODUCTION OF MACHINE PARTS WITH DIFFERENT MATERIALS PLASTIC INJECTION METHOD

Güner ASLAN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assistant Prof. Dr. Nurşen YENİCİ

Plastic injection process is the most popular manufacturing method for a plastic product. This process can be simulated in computer media. As a result of the analysis with the appropriate parameters obtained from the molding and mold making can begin.

In this study, the production of plastic injection molding process using the different parts made of thermoplastic materials. Set design, made of molded parts produced with Solidworks. CNC machine tools were produced after the design of molded parts. Set is produced in the mold ABS, PP and PS were injected thermoplastic materials. Compared with samples obtained from different thermoplastic materials.

Keywords : mold, mold design, plastic injection mold

2011, 61 pages

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca katkı ve yardımlarıyla beni yönlendiren değerli danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Nurşen YENİCİ'ye, uygulamada kıymetli tecrübelerinden faydalandığım 3DCNC Makine Kalıp San. Tic. ve Ltd. Őti. kurucularından Makine Mühendisi Erhan TEZ ve Teknik Öğretmen Veli PEHLİVANOĞLU'na, yine çalıőmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini üzerimden esirgemeyen aileme teőekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1.GİRİŞ	1
1.1 Plastikler Hakkında Genel Kavramlar	2
1.1.1 Plastiklerin özellikleri	3
1.1.2 Plastiklerin sınıflandırılması	6
1.2 Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi	9
1.3 Özel Plastik Enjeksiyon Yöntemleri	12
1.3.1 Bileşik enjeksiyon yöntemi	12
1.3.2 Co-enjeksiyon yöntemi	13
1.3.3 Kayar kalıplı enjeksiyon yöntemi	14
1.3.4 Gaz enjeksiyon yöntemi.....	14
1.3.5 Ardışık enjeksiyon yöntemi	15
1.3.6 Sıralı enjeksiyon yöntemi	15
1.3.7 GTS enjeksiyon yöntemi.....	16
1.4 Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı	16
1.4.1 Kalıp tasarımında önemli kavramlar	18
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1 Ürün Kalıplamada Kullanılacak Plastikler	29
3.1.1 Akrilonitril Bütadien Stiren termoplastik malzeme	29
3.1.2 Polipropilen termoplastik malzeme	31
3.1.3 Polistiren termoplastik malzeme	32
3.2 Kullanılacak plastiklerin maliyet yönünden karşılaştırılması	34
3.3 CAD Ortamında Ürünün Modellenmesi	34

3.3.1 Solidworks programında ürünün modellenme aşaması	35
3.3.2 Solidworks kalıp araçları	39
3.4 Ürün Kalıbının Modellenmesi	40
3.4.1 Kalıp erkek plakası	41
3.4.2 Kalıp dişi plakası	43
3.4.3 Kalıp itici sistemi	44
3.5 CAM Ortamında Programlama ve Simülasyon	45
3.6 Kalıbın CNC Tezgahta İmalatı	48
3.7 Plastik Enjeksiyon Tezgahı ve Enjeksiyon İşlemi	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	54
4.1 Kalıplanan Ürünlerin Karşılaştırılması	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
6. KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Bazı polimerik malzemelerin termal özellikleri	7
Çizelge 1.2. Çok kullanılan termoplastikler ve kısaltmaları	8
Çizelge 1.3. Kalıplama derinliği ve tek taraflı eğim açısı	22
Çizelge 1.4. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları	24
Çizelge 1.5. Çeşitli malzemeler için parça kalınlığı	25
Çizelge 3.1. ABS termoplastiğine karakteristik özellikler	30
Çizelge 3.2. Genel amaçlı polistirene ait bazı veriler	33
Çizelge 3.3. Enjeksiyonluk plastik hammadde fiyatları	34
Çizelge 3.4. Tipler itibariyle plastik hammadde ithalatı	34
Çizelge 3.5. Enjeksiyon tezgahına ait özellikler	51
Çizelge 3.6. Enjeksiyon işleminde kullanılan parametreler	51
Çizelge 4.1. Numunelerin sahip oldukları ölçüler	55
Çizelge 4.2. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	56
Çizelge 4.3. Numunelerin sertlik değerleri	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Co-enjeksiyon yönteminin şematik görünümü	13
Şekil 1.2. Kayar kalıplı enjeksiyon yönteminin şematik görünümü	14
Şekil 1.3. Gaz enjeksiyon yönteminin şematik görünümü	15
Şekil 1.4. Enjeksiyon kalıbına ait elemanlar	18
Şekil 1.5. Tek açılma çizgisi bulunan kalıp	19
Şekil 1.6. İki açılma çizgisi bulunan kalıp	20
Şekil 1.7. Üç açılma çizgisi bulunan kalıp	21
Şekil 1.8. Soğutucu sistem şematik görünümü	23
Şekil 3.1. Duşakabin köşe bağlantı elemanı	36
Şekil 3.2. Solidworks'de yeni part oluşturma	36
Şekil 3.3. Solidworks çalışma düzlemi seçimi	37
Şekil 3.4. Solidworks sketch arayüzü	38
Şekil 3.5. Features katı modelleme araçları	39
Şekil 3.6. Mold Tools araçları	40
Şekil 3.7. Kalıp erkek plakası	41
Şekil 3.8. Kalıp erkek plaka seti	42
Şekil 3.9. Kalıp dişi plakası	43
Şekil 3.10. Kalıp itici sistemi	44
Şekil 3.11. Montaj modellemesi yapılmış kalıp seti	45
Şekil 3.12. Auton'da yeni model oluşturma	46
Şekil 3.13. Auton'da oluşturulmuş takım yolu	47
Şekil 3.14. Kalıp üretiminin yapıldığı CNC tezgahın görünümü	48
Şekil 3.15. Kalıp erkek plakasının tezgahda üretimi	49
Şekil 3.16. Enjeksiyon işleminin gerçekleştirildiği plastik enjeksiyon tezgahı	50
Şekil 3.17. Şematik vidalı plastik enjeksiyon ünitesi	50
Şekil 3.18. Enjeksiyon tezgahına bağlanmış kalıp seti	52
Şekil 3.19. İtici çubuk ile kalıptan çıkarılan ürün	53
Şekil 4.1. ABS'nin koordinat ölçümü	54
Şekil 4.2. Ürünün kontrol ölçüleri	55
Şekil 4.3. Enjeksiyon sonrasında elde edilen numuneler	56
Şekil 4.4. Shoremetre sertlik ölçüm cihazı	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
K.A.Ç	Kalıp Açılma Çizgisi
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
PA	Poliamid
PBT	Polibütilen Tereftalat
PE	Polietilen
PC	Polikarbonat
PMMA	Polimetil Metakrilat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
POM	Poliasetal
PVC	Polivinil Klorür
T_1, T_2	Silindir sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)
t_1, t_2	Sıcaklıkta kalınan süre

1. GİRİŞ

Plastik endüstrisi diğer endüstri dalları gibi hızlı bir şekilde gelişmiş ve halen gelişmeye devam etmektedir. Plastik malzemeler gelişen teknoloji ile birlikte daha çok kullanım alanı bulmuş ve hayatımızın birçok noktasında vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Plastik malzemelerin çeşitlilik ve mekanik özellikleri başta olmak üzere kullanıcılara sundukları birçok avantaj, onların gittikçe daha fazla tercih edilmelerine sebep olmuştur. Günümüz teknolojisinin temel hedefi kaliteli ürünü en az maliyetle ve hızlı bir şekilde üretebilmektir. Bunun neticesinde ürünlerin imalat şekillerinde yeni yöntemlerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Gelişen yöntemlerden biri de plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemidir.

Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik parça üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Enjeksiyonla kalıplamanın en önemli avantajı, karmaşık geometriye sahip parçaların kontrollü bir kalıplama süreciyle son bir işleme gerek kalmaksızın üretilmesidir. Enjeksiyon kalıplama, dolum, ütüleme ve soğutma olmak üzere üç ana safhadan oluşur. Üretilen ürünün özellikleri, kalıp tasarımı, plastik malzeme, kalıplama şartları gibi değişkenlere bağlıdır (Katmer, 2010).

Günümüzde kalıp endüstrisi her zamankinden daha fazla ürün kalitesi talep etmektedir. Fonksiyonel özelliklerin yanında parça kalitesi de önemlidir. Nihai ürünlerin yüksek kalite beklentisi ile kalıp içi sıcaklık ve basınç parametrelerinin kontrol edilmesi de plastik enjeksiyon prosesinde önemli hale gelmiştir. Kalıp üretimi önemli bir destekleyici endüstridir. İlgili tüketici ürünlerinin %70'inden daha fazlasını teşkil eder. Kısa zamanlı tasarım ve üretim talebi, bütün kalite özellikleri ve olabildiğince hızlı tasarım değişiklikleri bu endüstrideki dar boğazların açılmasını sağlamıştır (Dursun, 2010).

Buna ilave olarak enjeksiyon kalıplama termoplastik parçalar için kısa çevrim zamanları, mükemmel yüzeyli ürünler ve karmaşık şekilli ürünler için kolay kalıplama gibi bir çok avantajlar sağlayan en popüler kalıplama prosesidir.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıbı içerisinde farklı termoplastikler enjekte edilerek hammadde bakımından birbirinden farklı nihai ürünler elde edilecektir. Elde edilen bu ürünler, maliyet, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve çekme sonucu ölçüleri bakımından birbiri ile karşılaştırılacaktır. Aynı zamanda bir plastik enjeksiyon kalıbı imalatı safhalarına yer verilecektir.

Farklı malzemelerden elde edilecek ürün için öncelikle bir enjeksiyon kalıbı tasarımı yapılacaktır. Daha sonra tasarlanan bu kalıbın CAD-CAM ortamında modellemeleri ve CNC programlarının yapılması sürecine geçilecektir. Akabinde CNC kontrollü tezgahlarda kalıbın imalatı gerçekleştirilecektir. Üretilen kalıp plastik enjeksiyon tezgahına alınarak içerisinde farklı plastikler (Akrilonitril bütadien stiren, polipropilen, polistiren) basılacak ve ürünler elde edilecektir.

1.1 Plastikler Hakkında Genel Kavramlar

Plastik enjeksiyon kalıbı ve bilgisayar destekli tasarım konularını ele almadan önce plastikler hakkında bilgilere yer vermek faydalı olacaktır. Polimer, mer adı verilen moleküllerin birleşmesiyle oluşan molekül zinciridir. Bu zincirleri oluşturan merlerin (propilen, stiren, vb.) çeşitleri bu zincirlerin oluşturduğu plastik türünü belirler. Örneğin PS, PP, PA6 vb. Bu merlerin önüne poli eki ilave edilerek plastik türü belirlenir. Bu merler polimerizasyon adı verilen kimyasal bir işlemle birleştirilirler.

Termoplastiği oluşturan bu zincirleri bir arada zayıf Van Der Waals kuvvetleri tutarlar. Plastik ısıtıldığında bu zayıf kuvvetler daha da zayıflar veya kaybolurlar. Buna bağlı olarak plastik esnekleşmeye (kauçuk gibi davranmaya), daha sonra da sıcaklık miktarına bağlı olarak akmaya başlar. Plastiği işlemek için kimyasal yapısını detaylı olarak bilmeye gerek yoktur. Fakat bu yapı hakkında bilinecek ön bilgi plastik kullanıcıları için gereklidir. Çünkü bu bilgilerin ışığında plastiğin kullanıldığı ortamda performansını bilerek mükemmel dizayn yapma imkanı bulunabilir. Plastiğin yapısı hakkındaki bilgi plastiğe uygulanan kuvvetin zamana bağlı olan performansının anlaşılmasını sağlar. Akriliğin neden sert ve saydam, polietilenin opak ve esnek olduğunun anlaşılmasına yardım eder. Polimer ve plastik kelime olarak aynı kabul edilmekle beraber aralarında bir farklılık da vardır. Polimer polimerizasyon sonucunda

oluşmuş, saf, uzun moleküllü malzemedir ve nadiren saf olarak kullanılır. Polimere çeşitli sebeplerle katkı maddesi ilave edilir. Bu halde polimer plastik olarak ifade edilir (Koyun, 2005).

Plastik malzemeler, çok çeşitli biçimlerde ve belirli amaçlar için çeşitli özelliklerde piyasaya sürülürler. Bazı plastikler boya, vernik, yapıştırıcı veya tutkal olarak kullanılırlar. Bazıları ise, tüketici tarafından kullanılmak üzere sıvı levha, çubuk, boru, film, iplik, elyaf ve toz hal olan plastikler çeşitli işler üzerinde devamlı olarak uygulanmaktadır. Plastik endüstrisi, bilinen plastiklere yeni uygulama sahaları bulmak veya yeni plastikler geliştirmek için yüksek bütçeli araştırmalar yapmaktadır. Plastik, yıllarca sadece plastik olarak kendi halinde kullanılmış, diğer malzemelerin yerine kullanılmak üzere düşünülmemiştir. Oysa ki çok kullanışlı ve pratik bir malzeme olmasının yanı sıra yerini başka bir malzemenin alamayacağı tespit edilmiştir. Buna sinema endüstrisinde kullanılan film örnek gösterilebilir.

Plastik sentetik bir malzemedir. Bu malzeme doğada bulunmaz, laboratuarda elde edilir. Doğada ham maddesi vardır. Plastikler organik bileşiklerdir. Organik bileşikler karbon ihtiva ederler. Bu bileşimlerin bünyesinde karbon atomları birbirine bağlıdır. Plastik malzeme bitmiş bir parça haline gelmeden önce şekillenme ve kalıplama yeteneğine sahip olmalıdır.

Plastik malzeme polimer halinde bileşik bir maddedir. Polimer, molekül ağırlığı yüksek iki organik bileşiğin normal moleküllerinin sıcaklık, basınç veya her ikisinin etkisi altında geniş ve değişik bir molekül özelliği göstermesidir. Plastik malzemeler kimyasal bileşikler olarak moleküler yapıdadırlar. Molekülleri doymuştur. Atomları ise kimyasal bağlar ile soy gaz karakterine sahip olmuşlardır. Bu nedenle birçok kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar. Plastik malzemelerin değişik olan bağ ve yapı türü, fiziksel davranışlarının metalik malzemelere göre tamamen farklı olması sonucunu doğurur.

1.1.1 Plastiklerin özellikleri

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

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

Plastiklerin yoğunluğu $0,8\sim 2,5 \text{ g/cm}^3$ arasındadır ve çoğu malzemenin yoğunlu ile karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmektedir. Bundan dolayı ağırlığın önemli olduğu yerlerde plastikler kullanılmaktadır.

Çoğu plastikler geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama gösterirler. Plastiklerin önemli bir özelliği ısı iletkenliğidir. Genellikle plastiklerin ısı iletkenliği düşüktür. Bu yüzden sürtünme veya tekrarlanan gerilmelerin sebep olduğu sıcaklık büyümesi, malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısıl yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı azaltmak için, plastik malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları veya çeşitli elyaflardır, katkılı plastiklerin ısı iletkenlikleri en az 10 kat daha yüksektir.

Genellikle termoplastikler yük uygulanmadığı zaman (kendi ağırlıkları altında) $65\text{-}120^\circ\text{C}$ da, bazı çeşitleri ise 260°C gibi yüksek sıcaklıklarda bozulurlar. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda düşük bir yük altında kullanılmalıdırlar. Termosetler daha sert ve ısıya daha dayanıklıdırlar. Sıcaklık artarsa belirli bir sıcaklığa kadar sert kalırlar fakat yüksek sıcaklıklarda kömürleşir bozulurlar. Genellikle termosetler $150^\circ\text{C}\sim 230^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklığa devamlı maruz kalabilirler. Bazı özel termoset çeşitleri 260°C ye kadar dayanabilir. Asbest ve cam dolgu gibi dolgu malzemeleri plastiklerin ısıl dirençlerini artırır.

Plastikler, metal malzemelere göre kimyasal ortamlara daha dayanıklıdırlar. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Örneğin, polietilen ve polipropilen asit depolama kabı imalinde kullanılmaktadır. Termoplastiklerin çoğu organik solventlerin etkisi altında çözünme veya şişme gösterir, kuvvetli asit veya alkalilerden kimyasal olarak etkilenirler. Termosetler, termoplastiklere göre kimyasal çevreye daha az duyarlıdırlar.

Kimyasal çevre ile birlikte gerilmenin etkisi, plastik malzemenin yüzeyinde gerilmenin konsantre olduğu zayıf bölgeler oluşturur. Örneğin, eğilme ve benzeri gerilmeler malzeme

yüzeyinde çatlaklara sebep olur. Kimyasal madde bir çatlak içine sızar ve kimyasal etki yaparak bozunmayı başlatır. Polimerlerin kimyasal dirençleri reaktif maddenin cinsine ve konsantrasyonuna, polimerik yapıya, sıcaklığa, uygulanan gerilmeye, yüzey pürüzlüğüne ve morfolojisine bağlıdır. Kısa süreli polimer kimyasal çevre etkileşimleri, çekme deneyleriyle ve uzun süreli etkileşimler ise sürtünme deneyleriyle belirlenirler.

Plastikler alev karşı çok hassastırlar. Genellikle termoplastiklerin çoğu alevle veya aşırı ısı ile temas ettikten sonra kullanılmaz hale gelirler. Bir çok plastik, alev uzaklaştırıldıktan sonra yanmaya devam etmez. Bir plastik malzemenin alevlenme kabiliyeti ölçülebilir, fakat genellikle bu özellik yanmanın özel şartları ile ilgili birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, plastikleştirici ihtiva etmeyen, katı PVC, alev uzaklaştırıldığında kendi kendini söndürür. Halbuki plastikleştiricisiz köpük PVC, havada yanmaya devam eder.

Polimerlerin zamanla yıpranmasına malzemenin kimyasal bozulması neden olmaktadır. Bu olay bir veya birçok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Bunların arasında en önemli olanlar termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal faktörlerdir. Hava etkisiyle plastiklerin yıpranması, radyasyon, uçan parçacıkların meydana getirdiği aşınma, yağmur veya dolu erozyonu ve hava kirliliğinin kimyasal etkisinin bir neticesidir. Genelde iklim şartları plastiğin görünüşünü değiştirir, özellikle renginin solmasına veya bozulmasına neden olur (Ekersular, 2007).

Elektriksel özellik bakımından en önemli faktör elektriksel iletkenliktir. Genelde plastiklerin elektrik iletkenlikleri zayıftır. Polimeri yapısında zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirini kuvvetli etkilemesi, yüksek kristalinite ve yönlendirme olayları, elektronların serbest hareketlerini engellemekte ve plastiklerin düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır. Elektrik iletkenliğini ifade etmek için bunun tersi olan elektrik direnç terimi de kullanılmaktadır (Akkurt,1991).

Mühendislik uygulamalarında plastiklerin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- 1) Parça konsolidasyonu
- 2) Montaj kolaylıkları
- 3) Boyama ve yüzey işlemlerinin ortadan kalkması
- 4) Yüksek "Mukavemet/Ağırlık" oranı
- 5) Kimyasal mukavemet
- 6) Darbe mukavemeti

Plastiğe çok kullanılabilme özelliği kazandıran bazı faktörler vardır. Bu faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Hafiflik
- 2) Yüksek kimyasal dayanıklılık
- 3) Yalıtkanlık (elektrik, ısı ve ses)
- 4) Hijyen
- 5) Yüksek esneklik ve darbe mukavemeti
- 6) Yüksek tokluk
- 7) Optik özellikler (şeffaflık)
- 8) Kolaylıkla işlenebilirlik (şekillendirilebilme)
- 9) Özelliklerin istekler doğrultusunda değiştirilebilmesi
- 10) Düşük maliyet (hammadde ve imalat)
- 11) Kolay dizayn edilebilme
- 12) Atmosferik koşullara dayanım

1.1.2 Plastiklerin sınıflandırılması

Plastikler; termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üç guruba ayrılırlar.

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

Çizelge 1.1 Bazı polimerik malzemelerin termal özellikleri.

Polimer	Özgül Isı (kj/kg.K)	İletkenlik (W/m*K)	Yoğunluk (gr/cm³)
ABS	1,40	0,12	1,07
ASETAL	1,45	0,23	1,42
SELÜLOZ ASETAL	1,51	0,25	1,28
PA 66	1,67	0,25	1,14
POLİKARBONAT	1,26	0,19	1,21
POLİETİLEN YÜKSEK Y.	2,30	0,49	0,96
POLİETİLEN ALÇAK Y.	2,30	0,34	0,92
AKRİLİK	1,47	0,2	1,18
POLİPROPİLEN	1,93	0,14	0,91
POLİSTREN	1,34	0,12	1,06
PVC	1,00	0,25	0,41

Çizelge 1.1’de polimerik malzemelerin termal özellikleri verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere metaller, cam ve katkı maddeleri, polimerlerin özellikleri ile karşılaştırıldığında polimerlerin özgül ısısı yüksektir. Genelde cam fiber, toz katkı maddeleri, termoplastiğin çekme kuvvetini, sertliğini ve boyutsal dengesini gerçekleştirmek için katılır. Bunun sonucu olarak da karışım yapılmış kompozit plastiklerin ısı kapasitesi ana plastikten daha düşüktür. Erime sıcaklığı biraz yüksektir. Fakat bu karışımların ısı ihtiyaçları daha azdır. Daha da önemlisi, soğuma esnasında daha az ısının geri alınacak olmasıdır (Ekersular, 2007).

Çizelge 1.2 Çok kullanılan termoplastikler ve kısaltmaları

Termoplastik Adı	Kısaltma
Akrilonitril Bütadien Stiren	(ABS)
Poliamid	(PA – Nylon)
Polietilen	(PE)
Düşük yoğunluklu polietilen	(LDPE)
Yüksek yoğunluklu polietilen	(HDPE)
Polikarbonat	(PC)
Polipropilen	(PP)
Polivinil Klorid	(PVC)
Polimetil Metakrilat	(PMMA)
Poliasetal	(POM)
Termoplast Poliesterler	(PET/PBT)
Polisülfon	(PSU)

Termoset malzemeler, sıcaklık ve basınç uygulamak suretiyle kullanılırlar. Kalıplandıktan sonra tekrar eski haline getirilemezler. Kimyasal reaksiyon ile malzeme kalıplama esnasında veya diğer işlemlerde sertleşir ve bu sertleşme artık sabitleşmiştir. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklı bir hal alır. Kimyasal değişime örnek olarak, yediğimiz gıdaların hazım sistemindeki değişmesini ve şekerin yanmasını gösterebiliriz. Termoset malzemeler kimyasal değişime uğradığı zaman bir daha kalıplama amaçlarında kullanılamazlar. Tıpkı çimentonun donduktan sonra eski haline dönüşemediği gibi. Mühendislik plastikleri yüksek çekme kuvvetine, kırılganlığa, darbeye dayanıklı, eskimeye, kimyasallara ve sıcaklığa dirençli plastik grubudur.

Termosetlerin bozulma sıcaklıkları yumuşama sıcaklıklarından daha düşük olduğundan tekrar ısıtılarak yeniden eritilmezler. Bu plastikler ancak bir kez işlenebilir ve geri dönüşüm imkanı yoktur. Termoset plastikler kendi başlarına kullanılamazlar, bu malzemelere mekanik özelliklerini iyileştirmek için %40-60 dolgu maddesi katılır

Elastomerler, kauçuk özelliği gösteren plastiklerdir. Yani bir kuvvet uygulandığında uzayıp genişleyebilirler. Kuvvet tatbiki ortadan kalkınca tekrar eski haline geri dönerler. Bu özellik moleküldeki hafifçe karşıt bağlanmanın mevcudiyetinden ileri gelmektedir. Moleküler kuvvet tatbikinde birbirlerinin üzerinde kayarlar (deformasyon), karşıt bağlanma tamamen akışı önler ve gerilme tatbiki ortadan kalkınca tekrar eski haline dönebilirler. Karşıt bağlanmanın olması demek elastomerlerin ergimesinin mümkün olmaması demektir.

1.2 Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi plastik parçaların üretiminde en önemli yöntemdir. Bu yöntem, ham maddeyi tek bir işlem sonucunda mamule dönüştürebildiği için kütle üretimine uygundur. Çoğu durumlarda bitirme işlemine ihtiyaç duyulmaz. Yöntemin önemli bir avantajı da karmaşık geometrilere sahip parçaların otomatik hale getirilmiş bir işlemle tek bir aşamada elde edilebilmesidir (Ekersular, 2007).

Enjeksiyonla kalıplama yöntemi, ergimiş plastiğin kalıp boşluğuna enjekte edilmesi, kalıp boşluğuna dolan plastiğin soğuyup katılaşarak kalıp boşluğunun şeklini alması işlemidir. Enjeksiyon memesinden yolluğa, yolluktan dağıtıcı kanallara ve giriş aracılığı ile kalıp boşluğuna akan ergimiş plastik, nispeten daha düşük sıcaklıkta olan kalıp yüzeylerine temas etmektedir. Akış sırasında kalıp duvarlarına temastan dolayı, plastik malzemenin kalıp malzemesine doğru bir ısı akışı gerçekleşmektedir. Özellikle ergimiş plastik, akış sırasında temas ettiği yüzeylerde katılaşarak yapışmakta ve sıcak ergiyik bu katılaşan ve daralan kesitten akarken fiskiye tipi akış sergilemektedir. Bu nedenle, yolluk, dağıtıcı kanallar, giriş ve ince kesitli bölgelerde akış sırasında plastiğin aktığı kesitin zamana ve kalıp sıcaklığına bağlı olarak daralması, kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametrelerinin ayarlanması sırasında ayrı bir özen ve önem gerektirmektedir.

Plastik enjeksiyon yönteminde termoplastik malzemeler kullanılır. Bu malzemeler, yapı bakımından sıcaklık karşısında yumuşayıp akıcı hale gelirler ve soğutulduğu zaman sertleşmek suretiyle sadece fiziksel bir değişim gösterirler. Bu sebepten dolayı termoplastiklerin biçimlendirilmesinde enjeksiyon işlemi tercih edilir. Enjeksiyon

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

Plastik enjeksiyon yönteminin imalat sektöründe önemli derecede kullanılmasının nedeni üreticiye sunduğu avantajlardır. Plastik enjeksiyon yönteminin avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Hızlı bir şekilde ürün elde edilebilmesi,
- 2) Yüksek hacimlerde üretimin mümkün olması,
- 3) Diğer işlemlere göre düşük maliyetli olması,
- 4) Otomasyona uygun olması,
- 5) Hemen hemen hiç son işlem gerektirmemesi,
- 6) Değişik yüzey, renk ve şekillerde ürün üretilebilmesini sağlaması,
- 7) Malzeme kaybının çok az olması,
- 8) Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesini sağlaması,
- 9) Seri üretim imkanı olmayan çok küçük parçaların dahi seri üretimlerinin yapılabilmesini sağlaması,
- 10) Basılan ürünlerin mekanik özelliklerinin iyi olmasını sağlaması,
- 11) Basılacak ham maddeye farklı ametaller eklenerek basım işleminin gerçekleştirilebilmesidir.

Plastik enjeksiyon yönteminin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Kalıp fiyatlarının pahalı olması,
- 2) Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması,
- 3) Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması,
- 4) Malzeme kontrolünün makine tarafından direkt ve sürekli olarak yapılamaması,
- 5) İşlem kontrolünün tam anlamıyla sağlanamamış olması,
- 6) Kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamamasıdır (Boztoprak, 2001).

Plastik enjeksiyon yöntemi kendi içerisinde belli safhalardan oluşmaktadır. Aşağıda enjeksiyon yöntemini oluşturan bu safhalar sıralanmıştır.

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

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

1.3 Özel Plastik Enjeksiyon Yöntemleri

Plastik enjeksiyon yöntemi çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Bileşik enjeksiyon, co-enjeksiyon, kayar kalıplı enjeksiyon, gaz enjeksiyon, ardışık enjeksiyon, sıralı enjeksiyon ve GTS enjeksiyon özel enjeksiyon yöntemlerindedir.

1.3.1 Bileşik enjeksiyon yöntemi

Bileşik enjeksiyon tekniği çeşitli plastik hammaddeleri tek bir plastik mamul parça içerisinde kullanmayı mümkün kılar. Bu hammaddelerin karakteristikleri de doğal olarak mamul parçaya yansır. Böylelikle çok fonksiyonlu bir is parçası üretilmiş olur ve kaynak perçin ve yapıştırma gibi montaj işlemleri enjeksiyon işlemi ile yapılmış olur. Bu yöntemle yeni tasarım imkanları doğmuş aynı zamanda maliyet azaltıcı sonuçlar elde edilmiştir (Thienel, 1997).

Bileşik enjeksiyon yöntemi, çok renkli çok parçalı enjeksiyon ve çok katmanlı enjeksiyon (Yardımcı enjeksiyon veya Sandviç tekniği) olmak üzere iki farklı alt yönetime ayrılır.

Bileşik enjeksiyonun yararları:

Plastik hammaddelerin birleşmesinin herhangi bir montaj harcaması olmadan gerçekleştirilmesi,

Renk farklılığının dekorasyon işlemlerinde veya aşındırıcı yazı işlemlerinin istenmediği yerlerde kullanılabilmesi,

İstenen özellikleri elde edebilecek malzeme kombinasyonlarını bir arada basabilmesi,

Montaj aşamalarının otomasyonunun üretim aşamalarına entegrasyonu sayesindeki tasarruf potansiyeli,

Çeşitli malzemelerin kombinasyonu ile genişleyen tasarım imkanlarıdır.

Bileşik enjeksiyonun zararları:

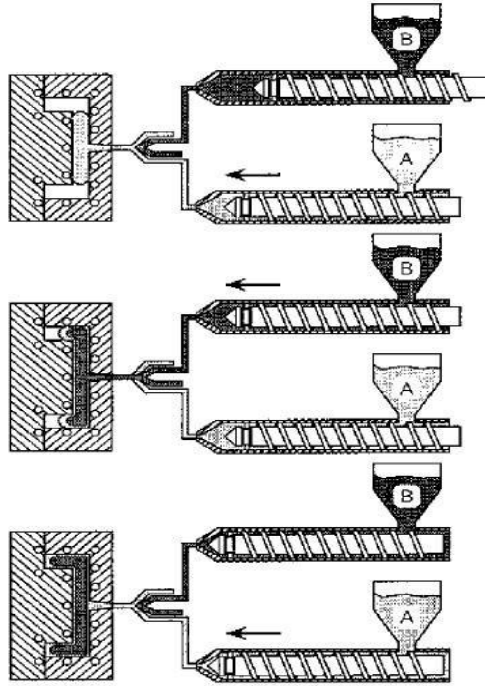
Artan takım ve makine maliyetleri,

Kullanılan hammaddelerin birbirleri ile uyumu ve güvenilirlikleridir.

Kullanım alanları: Tasarım ve güvenlik amacıyla plastik hammaddelerin hem farklı renk hem de farklı özelliklerinden yararlanılmak istenen yerlerde kullanılabilirler.

1.3.2 Co – enjeksiyon yöntemi

Özel enjeksiyon yöntemlerinden birisi de Co-enjeksiyon yöntemidir. Bu yöntem ile enjeksiyonu tabakalı olarak uygulama imkanı vardır. Co-enjeksiyon donanımı şekil 1.1’de gösterildiği üzere iki ayrı malzemenin aynı zamanda kalıba gönderilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.1. Co-enjeksiyon yönteminin şematik görünümü

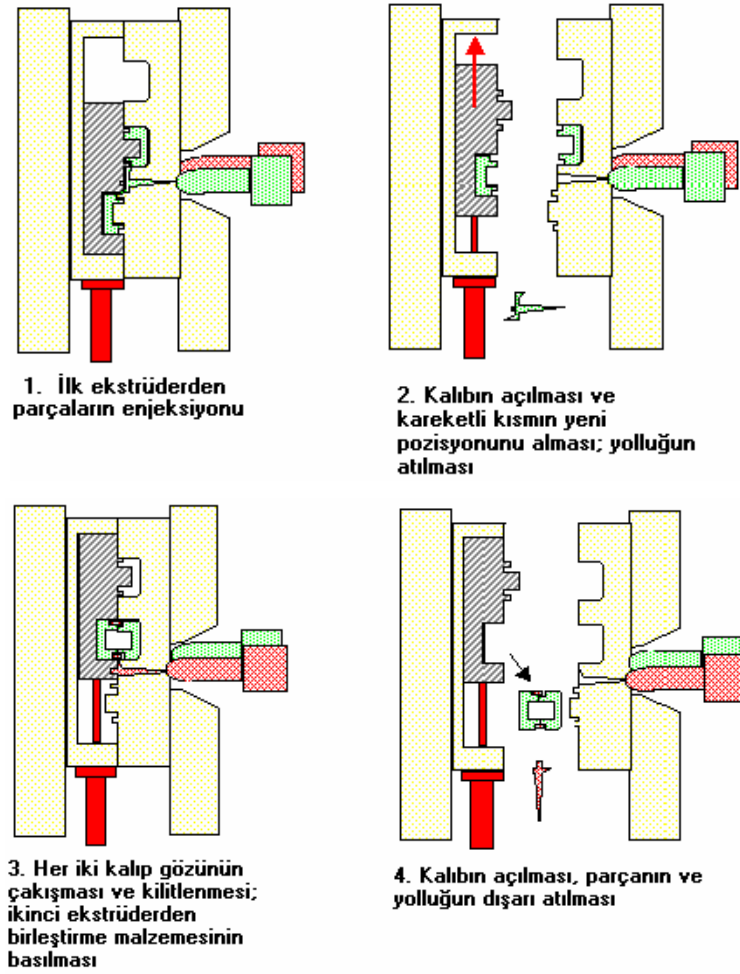
Bu yöntem iç çekirdek ve onu çevreleyen bir komponentten oluşur. Burada ergiyik normal olarak birçok püskürtme ünitesinden aynı yolluk aracılığı ile kalıp boşluğuna püskürtülür. İlk olarak püskürtülen malzeme kalıp boşluğunun dış kısmında hızlı bir şekilde katılarak is parçasının dış kısmı şekillendirilir. Daha sonra fişkırtılan çekirdek malzeme is parçasının iç bölgesini oluşturur.

Son olarak ilk püskürtülen iç çekirdek malzeme dışarıdan kapatılır. Böylece yüzeyde bulunan iç malzeme ve yolluk bir sonraki basma işlemine geçmeden önce kesilir, temizlenir ve içeride kalarak görünmez.

Kullanım alanları: Bahçe mobilyaları, motor yağ şişelerinin vidalanması, kapı kollarıdır.

1.3.3 Kayar kalıplı enjeksiyon yöntemi

Kayar kalıplı enjeksiyon yönteminde, hareket mekanizması bir hidrolik sistem vasıtasıyla tahrik edilmektedir. Bununla birlikte iki ayrı malzeme ve ekstrüder bulunmaktadır (Yurci, 2005).

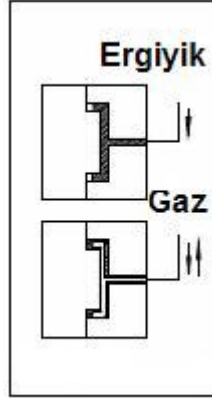


Şekil 1.2. Kayar kalıplı enjeksiyon yönteminin şematik görünümü

1.3.4 Gaz enjeksiyon yöntemi

Bu yöntemin temelinde kalıp boşluğuna azot enjekte ederek plastik formu parçanın içinde boşluk oluşumunun amaçlanması vardır. Plastik çekirdeğin yerine boşluğun azot ile doldurulması sonucu optimal bir kütle dağılımı sağlanmaktadır.

Formlu parçaların kullanım alanları kısmi dayanım, kalınlık çeşitliliği ve feder konstrüksiyonuna göre değişiklik gösterir. Şekil 1.3'de Gaz enjeksiyon yöntemine ait şematik görünüm verilmiştir.



Şekil 1.3. Gaz enjeksiyon yönteminin şematik görünümü

1.3.5 Ardışık enjeksiyon yöntemi

Ardışık enjeksiyonda amaç birleşme dikişlerine izin vermemektir. Özellikle uzun parçalarda püskürtücülerin yan yana dizilmesi ile kullanılır. Böylelikle kapanan püskürtücülerle tüm proses boyunca yalnızca tek bir ön akış sağlanmış olur. İlk olarak püskürtücülerin her biri, ön erime enjeksiyon noktasının üzerinde olduğunda açılır. Püskürtücüdeki ergiyik, mevcut ergiyik ile buluşarak kalıbı doldurmaya devam eder. Öncül püskürtücüler isteğe bağlı olarak açılıp kapanabilirler.

1.3.6 Sıralı enjeksiyon yöntemi

Geniş yüzeyli parçalarda, çok enjeksiyon noktalı parçalarda hava boşlukları, birleşim yerleri ve akış çizgilerinin oluşması kaçınılmazdır. Bu hata, ön akış bölgelerinin enjeksiyon noktalarında bir araya gelmesi ve çekirdekdeki erime nedeni ile oluşmaktadır. Bunun için sıralı enjeksiyon birleşim yerlerinin uzunluğunu etkileyen bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntemde püskürtücülerin kontrolü hidrolik veya pnömatik olarak yapılmaktadır. Değişken zamanlı olarak püskürtücülerin açılıp kapanmasının sağlanması ile ön akış hareketi söz konusudur. Buna bağlı olarak da birleşim yerleri gözle görülemeyecek hale gelerek düşük gerilim değerleri elde edilir. Kalıbın üretimi esnasında bu bölgelerin hava sirkülasyonu büyük öneme sahip olmaktadır (Yelkenci, 2008). Birleşim yerleri gözle görülemez ve bu bölgeler düşük gerilim değerlerine sahiptir. Tekrar üretilebilirlik değerleri oldukça iyidir. Dezavantaj olarak; yüksek maliyet ve ek bir kontrol aletine duyulan gereksinim söylenebilir.

1.3.7 GTS enjeksiyon yöntemi

GTS enjeksiyon yöntemi ile kalıp içerisinde ergiyiğin sürekli hareketi mümkün olmaktadır. Yöntem olarak geleneksel yöntemlere göre kalıp iki veya daha fazla yolluk ve yolluk sistemlerinden oluşarak püskürtme sistemi-1, yolluk-1, kalıp boşluğu, yolluk-2, püskürtme sistemi-2 belirli bir sırayla devreye girerek akış sistemi ile haberleşme esasına dayanır. Karakteristiğinden dolayı bu yöntem doğrultusunda akış boyunca kalıp doldurulur. Malzeme, dolan kısmın altından öncül püskürtücü üniteden karşı püskürtücü üniteye ulaşır. Bu, ergiyiği basıncın durumuna göre hidrolik silindirlerin açılıp kapanmasını sağlayarak belirli bir basınç altında tutar. Bu akış işlemi, gereksinimler doğrultusunda plastiğin(sonsuz vida) hareketinin yönü, basıncı vb. özellikleri ardışık bir şekilde sürekli değiştirilerek sağlanır. Kalıp doldurma işleminden sonra sonsuz vidanın aksel hareketi durdurulur ve seri basma işlemi için gerekli olan parça çekme değerlerinin belirlenen basınç ve vida hareketlerine göre tam olarak belirlenmesi adımına geçilir. Ardından da geleneksel püskürtme çevrimi ile soğutma fazına geçilir ve son olarak iticilerin is parçasını kalıptan çıkarması ile işlem tamamlanır (Yelkenci, 2008).

1.4 Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı

Ürün tasarımı yapıldıktan sonra plastik enjeksiyon işleminin gerçekleştirilebilmesi için kalıba ihtiyaç duyulmaktadır. Kalıp tasarımı, plastiğin kendine has özellikleri de dikkate alınarak yapılmaktadır.

Enjeksiyon kalıbı tasarlanırken, ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki akışının bilinmesi son derece önemlidir. Plastik malzeme enjeksiyon memesinden yolluğa ve oradan dağıtıcı kanallar vasıtasıyla kalıp boşluğuna akmaktadır. Tasarımı yapılan kalıbın kaç gözlü (kalıp boşluğu sayısı) olacağı, dağıtıcı kanalların kesiti, yeri ve boyutları, girişin kesiti ve yeri son derece önemlidir. Kalıplanan ürünün, kalıplama süresinden plastiğin mekanik mukavemetine, geometrik yapısına ve estetiğine kadar bir çok özellik bu kalıp tasarım parametrelerinden etkilenmektedir.

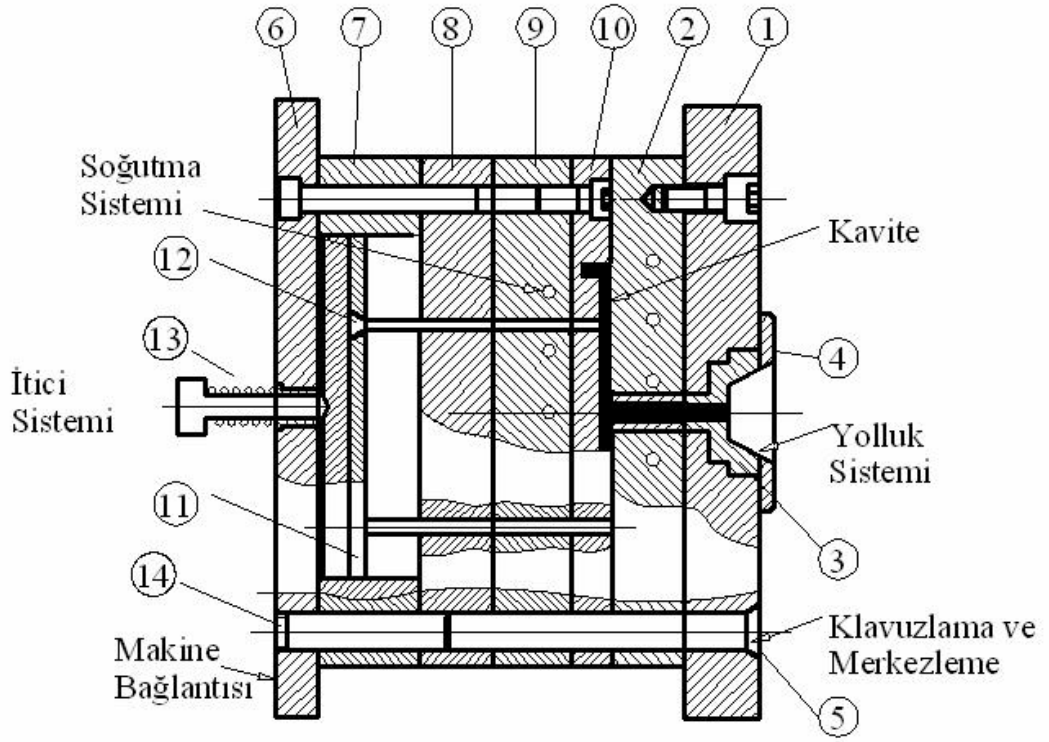
Kalıp tasarımı, parçanın teknik resminin, bir örneğinin veya modelinin tasarımcıya verilmesi ve kalıplanacak olan parçaya ait tasarım verilerinin oluşturulması ile başlayan bir süreçtir. Ayrıca kalıbın birlikte çalışacağı makine kavite sayısı ve eğer verilmemişse parçanın üretileceği hammaddenin seçimi de ilave olarak gerekli olan bilgilerdir. Bu

bilgiler kalıp dizaynı için gerekli olmakla birlikte yeterli değildirler. Bunlara ilave olarak aşağıdaki soruların da cevaplandırılması gereklidir (Koyun, 2005).

- 1) Seçilen plastik malzemenin kalıplanabilme karakteristiği uygun mu?
- 2) Kaç adet parça üretilecek?
- 3) Ürünün nerede ve nasıl kullanılacağı tespit edildi mi?
- 4) Ürün, başka parçalarla birlikte mi çalışacak veya kullanılacak?
- 5) Çekme miktarı hesaplandı mı?
- 6) Çıkış açıları hesaplandı mı?
- 7) Ne tür bir yolluk sisteminin gerekli olduğu tespit edildi mi?
- 8) Kavite giriş noktaları, akış ve birleşme hatları, itici izleri düşünüldü mü?
- 9) Yüzey kalitesi nasıl olacak?
- 10) Parça üzerinde yazı veya şekil isteniyor mu?
- 11) Kalıp için gerekli başka ekipmanlar mevcut mu?
- 12) Kullanılacak makinenin tonaj, parça büyüklüğü ve plastik kapasitesi uygun mu?

Kalıp tasarımı; enjeksiyon presi, kalıp yapımcısı ve kalıbı kullanacak operatörün çalışma şartları göz önünde bulundurularak yapılır. Ayrıca kalıplama toleransı, çekme payı miktarı, kalıp boşluğunun yüzey kalitesi ve kalıplanacak plastik maddenin diğer özellikleri de göz önünde bulundurulur. Kalıp tasarımı yapılırken takip edilecek işlem basamakları dört ana gruba ayrılır. Bunlar, teorik ve teknik bilgileri kapsayan mühendislik bilgisi, kalıbın yapımı, üretimin sürekliliği ve üretilen parçanın kalitesi şeklinde sıralanabilir.

Kalıbın boyutları, öncelikli olarak kalıbın birlikte kullanılacağı makinenin boyutlarına bağlıdır. Bu boyut sınırlamaları; maksimum malzeme miktarı (plastik ünitesinin bir çevrimde kalıp içerisine sevk edebileceği ergimiş malzeme miktarı), plastikleştirme hızı (makinenin her birim zaman için plastikleştirebileceği malzeme miktarı), kilitleme kuvveti (kalıp boşluğu içinde meydana gelen maksimum basınca yol açacağı reaksiyon kuvvetini karşılayan kuvvet), makine kolonları arasında kalan maksimum makine plakaları alanları ve maksimum enjeksiyon basıncı şeklinde sıralanabilir.



- | | | |
|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 1. Bağlantı plakası | 6. Bağlantı plakası | 11. İtici plaka |
| 2. Kalıp plakası | 7. Destek ayağı | 12. İticipim |
| 3. Yolluk burcu | 8. Merkez plakası | 13. Geri itici pim |
| 4. Merkezleme halkası | 9. Merkez plakası | 14. İtici civatası |
| 5. Merkezleme pimi | 10. Kalıp plakası | |

Şekil 1.4. Enjeksiyon kalıbına ait elemanlar

Şekil 1.4'de bir enjeksiyon kalıbına ait elemanlar gösterilmektedir. Bu kalıp elemanları her enjeksiyon kalıbında aynı olmayabilir. Kalıbın tasarımında değişik elemanlara yer verilerek bir kullanım kolaylığı sağlanabilir.

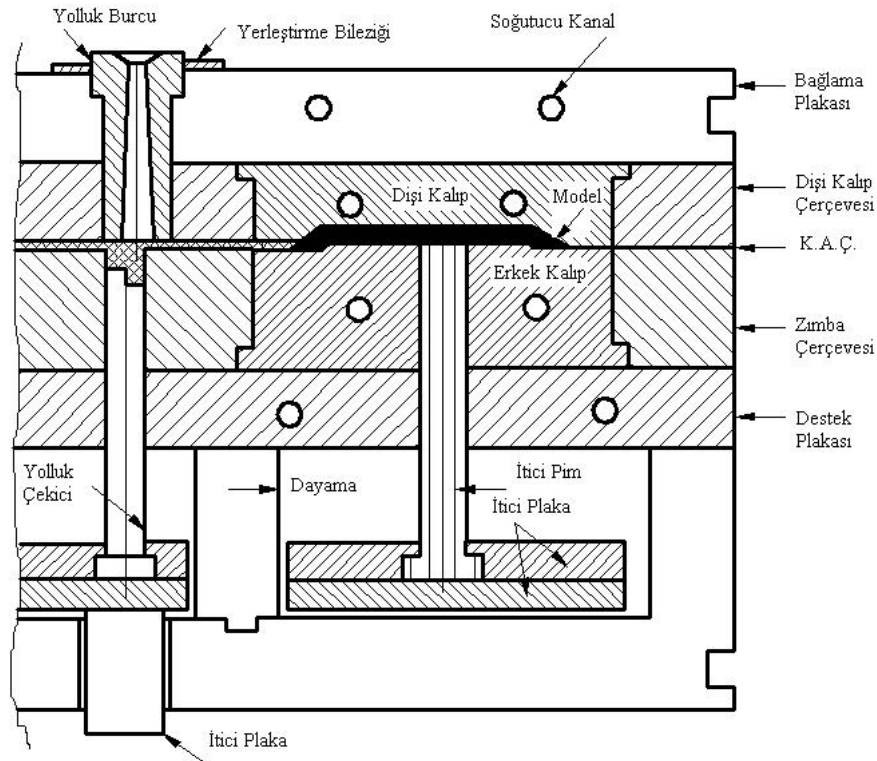
1.4.1 Kalıp tasarımında önemli kavramlar

Plastik enjeksiyon kalıpları tasarlanırken bir çok faktör göz önünde bulundurulur. Kalıp açılma çizgisi, kalıp boşluğu ile maçalara verilen açılar ve kalıp soğutma sistemi bu önemli kavramlardandır.

Kalıp yarımlarının açılıp kapandığı ve kalıplanan parçanın açılma düzlemi üzerinde meydana gelen çizgiye Kalıp Açılma Çizgisi (K.A.Ç) denir. Kalıplanacak parçanın biçim ve boyutlarına göre kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Ayrıca kalıplanacak

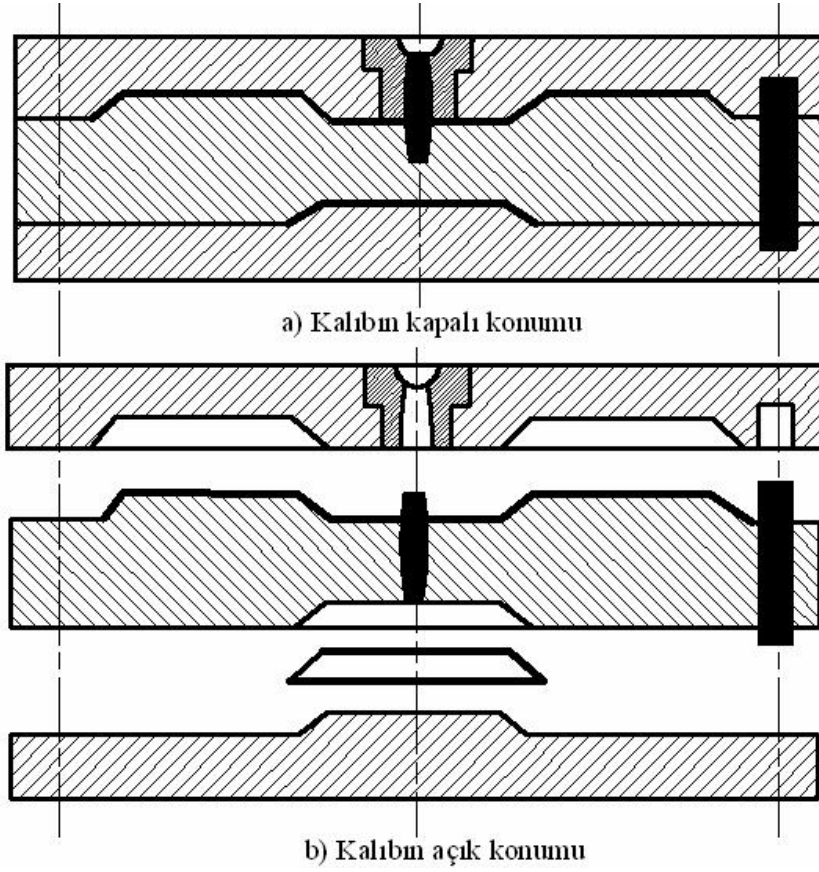
parçanın biçimi, üretim sayısı, parçaya verilecek eğim açısı, boyutsal toleranslar, parçanın estetik görünüşü, ön kalıplama işlemleri, parça içerisine konacak plastik taşıyıcılar, hava tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı ve yerleşim planına göre kalıp açılma çizgisi sayısı belirlenir (Erdemir, 2007).

Plastik enjeksiyon kalıplarında birden fazla kalıp açılma çizgisi bulunabilir. Tek açılma çizgisi bulunan kalıplar dişi ve erkek kalıp yarımlarından oluşan kalıplardır. Bu tip kalıplara uygulanacak soğutma kanalları dişi veya erkek kalıp elemanlarına açılır. Şekil 1.5’de tek açılma çizgisi bulunan kalıp gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Tek açılma çizgisi bulunan kalıp

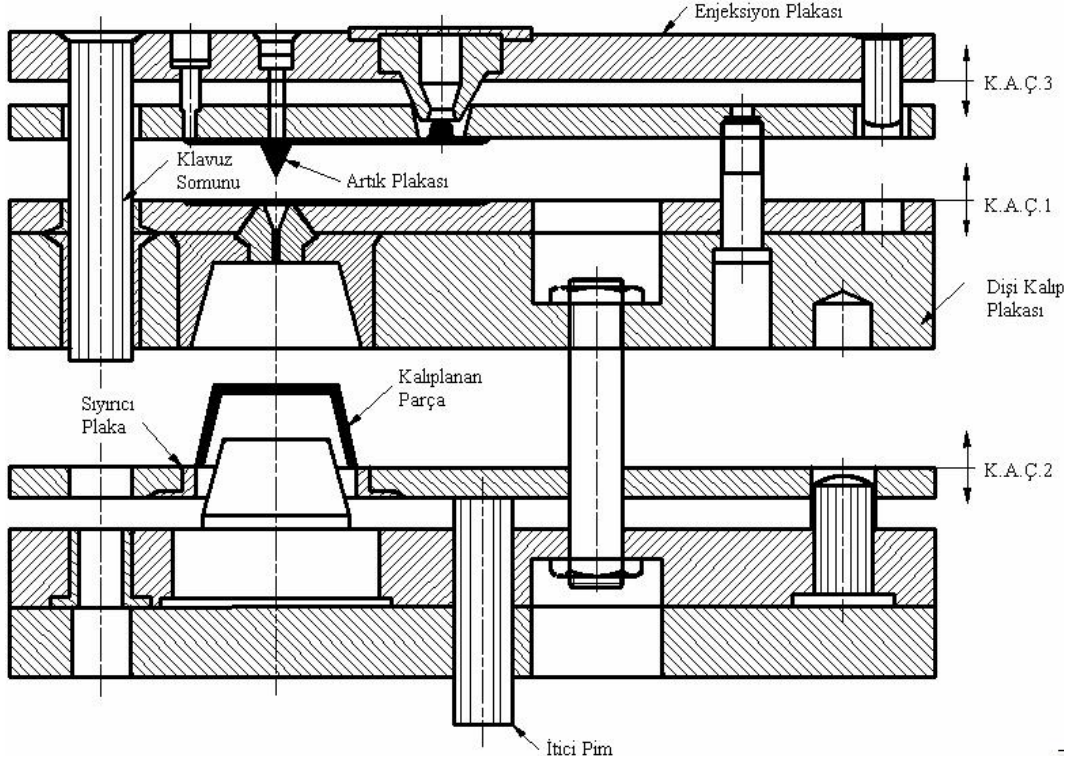
İki açılma çizgisi bulunan kalıplarda dişi kalıp veya erkek kalıp kütüğü çift yönlü kalıplama işlemini görür ve kalıp dayanımını artırmak için esas kalıp elemanları, destek plakaları ile takviye edilir. Ayrıca kalıp içerisinde ısıtıcı veya soğutucu kanallar da açılabilir. Şekil 1.6’da iki açılma çizgisi bulunan kalıp ve kalıplama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 1.6. İki açılma çizgisi bulunan kalıp

Bir merkez çerçevesinde çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıpların genellikle üç açılma çizgisi bulunur. Çoklu veya değişik profilli parçaların aynı kalıp kullanılarak üretilmesinde üç açılma çizgisi yapılması zorunludur. Aksi halde parçanın kalıptan çıkartılması veya artık plastik maddenin alınması zorlaşır ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamayabilir.

Şekil 1.7'de üç adet kalıp açılma çizgisi bulunan ve her kalıplamada altı parça üretilen kalıp gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Üç açılma çizgisi bulunan kalıp

Kalıplanan parçanın dişi kalıp içerisinden ve maçalar üzerinden çıkartılmasını kolaylaştırmak amacıyla kalıplara eğim açıları verilir. Kalıplanacak parçanın derinliğine bağlı olarak verilecek tek taraflı eğim açıları genellikle $1/8^\circ - 4^\circ$ arasında değişmektedir. Çizelge 1.3' de kalıplama derinlikleri ve tek taraflı eğim açıları bağıntısı verilmiştir. Çizelgedeki örneğe göre 100 mm kalıplama derinliğindeki bir parçanın tek taraflı eğim açısı 40 seçildiğinde, kalıp ağzı ile tabanı arasındaki tek taraflı ölçü farkı, 7.1 mm dir. Yine aynı tablodaki örneğe göre 250 mm derinliğindeki bir parçanın eğim açısı 1° seçildiğinde, kalıp ağzı ile tabanı arasındaki tek taraflı ölçü farkı 4.44 mm' dir. Genel kalıplama işlemlerinde derinliği az olan parçaların kalıp tasarımında eğim açısı küçük, derinliği fazla olanlar için eğim açısı büyük seçilir (Megep, 2006).

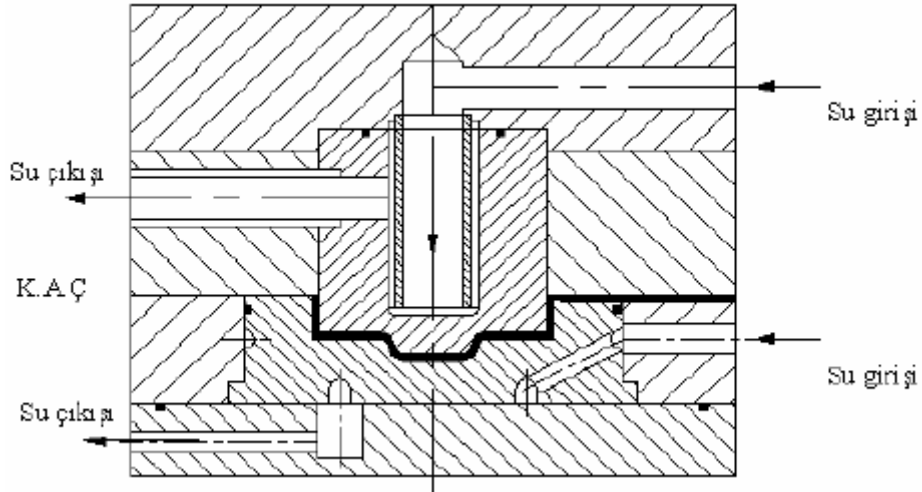
Çizelge 1.3. Kalıplama derinliği ve tek taraflı eğim açısı

Kalıplama derinliği, mm	Tek taraflı eğim açısı °						
	1/8°	1/4°	1/2°	1°	2°	3°	4°
25	0,05	0,10	0,22	0,44	0,88	1,33	1,77
50	0,10	0,22	0,44	0,88	1,33	1,77	3,55
75	0,16	0,33	0,66	1,33	2,66	4,00	5,32
100	0,22	0,44	0,88	1,77	3,54	5,32	7,10
125	0,28	0,55	1,10	2,22	4,44	6,65	8,88
150	0,33	0,67	1,32	2,66	5,30	8,0	10,55
175	0,40	0,78	1,55	3,10	6,20	9,30	12,42
200	0,44	0,90	1,76	3,55	7,10	10,60	14,20
225	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	12,00	15,98
250	0,55	1,10	2,20	4,44	8,86	13,30	17,75

Plastik kalıplarının ısıtılması ve soğutulması, kalıplanan parçanın kaliteli ve kalıplamanın ekonomik olmasını sağlamaktadır. En etkili kalıp ısıtma ve soğutma metotları, dişi kalıp ve dalıcı zımba veya maça içerisinde dolaşım yapabilen kanalların açılmasıyla elde edilmektedir. Dişi kalıp ve dalıcı zımba (maça) içerisine açılacak ısıtma ve soğutma kanallarının, kalıplama yüzeyinden uygun olan uzaklıkta ve kalıbın zarar görmesine sebep olmayacak şekil ve ölçüde açılması gerekmektedir.

Enjeksiyon kalıplama metodunda plastik madde daha önce ısıtıldığından, kalıp içerisinde yeniden ısıtmaya gerek yoktur. Ancak, kalıplama süresince enjekte

memesinden kalıp boşluğunun dolmasına kadar geçen zaman içerisinde meydana gelebilecek ısı kaybını önleyici sistem düşünülmelidir. Bu ve benzeri kalıplama işlemlerinde, kalıbın uygun şekilde soğutulması ve parçanın şekil değiştirmeden çıkartılması da önem taşımaktadır. Plastik kalıplar genellikle su veya basınçlı havayla soğutulur. Su ile yapılacak soğutma işleminde kalıp yarımları içerisine açılan kanallardan geçiş yapan suyun birleşim yerinden kalıp içerisine dağıtılmasını önlemek için geçiş yolları üzerindeki delikler kör tapan ile kapatılır. Kalıp takviye plakaları arasındaki su sızıntıları da dairesel kesitli contalar ile önlenir. Bu contalar, yumuşak bakır, alüminyum ve kauçuk malzemelerden yapılır. Sızdırmazlığı sağlayan bu contalara o-ring de denir (Megep, 2002).



Şekil 1.8. Soğutucu sistem şematik görünümü

Kalıpların soğutulmaları genellikle kalıbın ısıyla temasta olan bölgelerine açılan kanallardan su akımı geçirilerek sağlanır. Böylece kalıplanan malzemedeki ısı kalıba iletilen ısı devirdaim eden su akımına transfer edilir. Ayrıca sıcak kalıbın kendi yüzeylerinden de ışınlama ile bir miktar ısı dışarıya transfer olur. Parçanın homojen sertleşmesini, şeklini korumasını sağlamak için kalıpların kontrollü olarak soğutulmaları önemlidir. Su kanallarının düzenlenmesinde önerilere dikkat edilmelidir (Can, 2008).

Kalıp içerisinden geçirilen soğutma suyunun akışına çeşitli faktörler etki eder. Kalıptan uzaklaştırılan ısının miktarı, plastik malzeme ile soğutma suyunun sıcaklık farklarıyla orantılı olarak gerçekleşir. Kalıp içerisinde dolaşan ve ısınan su yerini daha

soğuk ve taze suyla değişmedikçe kalıbın soğutulmasından söz edilemez. Bu sebeple soğutma suyunun devamlı bir akış halinde bulunması gerekir.

Çizelge 1.4. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı °C	Kalıp Sıcaklığı °C
ABS	220-260	60-80
PBT	250-270	80-100
PC	290-320	80-120
POM	180-225	40-100
PP	200-280	30-50
PPT	210-270	30-50
PS	180-280	60-100
SAN	220-270	40-80

Çizelge 1.4’de soğuma süresine etki eden başlıca parametreler olan enjeksiyon ve kalıp sıcaklığı parametrelerinin termoplastik malzemeler için kullanılan değerleri görülmektedir.

Enjeksiyon kalıbı tasarımında parça kalınlığı önemli bir faktördür. Ürünün belli bölgelerinin mekanik ihtiyacına göre parça kalınlığı belirlenir. Parçada kalın kısım soğuma etkinliğinden dolayı engellenmelidir. Çökmeyi, eğilmeyi engellemek için kalın kısım olmamalıdır. Erimiş plastiğin kalıp boşluğunu doldurmayacağından dolayı ince kısımlar da olmamalıdır. Ekonomik faktörler de parçanın kalınlığını belirleyen unsurdur. Eğer parça çok ince yapıldıysa mekanik kuvveti arttırmak için federlerle kuvvetlendirilmelidir.

Çizelge 1.5’de parça kalınlıkları için tipik değerler gösterilmiştir. Parça kalınlığı mümkünse parçanın her tarafında sabit olmalıdır, değil ise parçanın kalın kısmından ince kısmına bağlantısı eğimli olmalıdır. Bu olmazsa burada plastik akması ve farklı soğuma oranından dolayı stres oluşur (Zöllner, 2004).

Çizelge 1.5. Çeşitli malzemeler için parça kalınlığı

Malzeme	Tavsiye Edilen Parça Kalınlığı(mm)
ABS	1,00 – 3,50
ASETAL	0,50 – 3,15
AKRİLİK	0,65 – 3,80
SELÜLOZİK	0,65 – 10,00
SIVI KRİSTAL POLİMER	0,20 – 3,00
UZUN FİBERLİ PLASTİK	1,90 – 25,00
NAYLON	0,25 – 2,95
POLYARYLATE	1,15 – 3,80
POLİKARBONAT	1,00 – 3,80
PBT	0,65 – 3,20
DÜŞÜK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN	0,50 – 6,35
YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN	0,75 – 5,00
PPE	0,50 – 4,55
POLİPROPİLEN	0,65 – 3,80
POS	1,00 – 3,80
DEĞİŞİKLİĞE UĞRATILMIŞ PPE	0,75 – 3,55
PLİSTİREN	0,85 – 3,80
SAN	0,85 – 3,80
SERT PVC	1,00 – 3,80

Et kalınlıklarının doğru tespiti ürünün görüntü ve performansı açısından hayati öneme sahip olduğu kadar, enjeksiyon kalıplama prosesinin ne kadar başarılı ve verimli olacağını da belirler. Mukavemet şartlarının gerektirdiği mümkün olan en az et kalınlığı verilmelidir. Bu, malzeme sarfiyatını azalttığı gibi enjeksiyon çevrim süresini de kısaltır. Ancak burada dikkat edilmesi gerekli olan nokta, ince et kalınlığından dolayı kalıbın doldurulamamasıdır. Akış yolu uzun parçalarda et kalınlığının artması gerekebilir. Fakat iyi konumlandırılmış birden çok ürün besleme ağzı sayesinde bu ihtiyaç asgariye indirilebilir. Ayrıca parçanın çatlamasına veya çarpılmasına yol açabilecek tampon

pimleri darbesine karşı koyacak bir asgari et kalınlığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Görüntü bozukluklarının ve performans zafiyetinin asgariye indirilmesinin ön şartı et kalınlığında sağlanacak eşitliktir. Eşit olmayan et kalınlığı parçanın çarpılmasına, yüzeyde çöküntü ve birleşme izi gibi hataların oluşmasına kaynaklık eder. Tasarım esnasında dikkate alınmayan et kalınlığı farklılaşmaları, çoğunlukla proses esnasında da düzeltilemeyecek hatalar ortaya çıkarırlar. Et kalınlığında yalnızca % 20'lik bir farklılaşma yüzeyde çöküntüye neden olabilir. Bu bazen performansı etkileyen bir iç boşluk şeklinde belirebilir. Et kalınlığında büyük farklılıklar kaçınılmaz ise kalınlık artışı kademeli ve yumuşak bir şekilde yapılmalı, ya da ayrı ayrı parçalar halinde imal edilip montaj yapıştırma veya kaynakla birleştirilmelidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Plastik enjeksiyon yöntemi, günümüzde üzerinde araştırmaların sürekli devam ettiği, her geçen gün yeni bulguların oluşturulduğu bir yöntem haline gelmiştir. Plastik enjeksiyon kalıplama hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Steinbichler G. (1997), Bilesik Enjeksiyon tekniğinin çeşitli plastik hammaddeleri tek bir plastik mamul parça içerisinde kullanmayı mümkün kılabileceği ve bu hammaddelerin karakteristiklerinin de doğal olarak mamul parçaya yansiyarak çok fonksiyonlu is parçalarının üretilebileceği konusunu ele almıştır.

Turaçlı H. (1999), yaptığı çalışmada enjeksiyon ile ilgili temel bilgileri derlemiş, ticari ve mühendislik plastiklerine ait özellikleri incelemiş, plastik enjeksiyon tezgahlarının kapama kuvvetinin hesaplanması ve gerekli enjeksiyon stroğu konularını ele almıştır.

Yılmazçoban K. (2003), plastik enjeksiyon kalıplarında bilgisayar destekli malzeme akış analizleri ve kavite optimizasyonu konusunda çalışma yapmış ve CAD/CAM modellemelerinin çok hızlı bir şekilde ürüne yansıtılarak üretimin daha hızlı bir şekilde sürdürülebileceği kanısına varılmıştır.

Koyun Ç. (2005), bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıbı tasarımı ve analizi hakkında genel bilgilere yer vermiştir.

Tuğ S. (2005), polistiren enjeksiyonunda çevrim zamanı optimizasyonu hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmada enjeksiyon aşamasında parametrelerin ilk ayar optimizasyonu uygulaması yapılarak, ölçü ve ağırlık kontrollü olarak basınç düzelmesi tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kullanılan ekipman, robot sisteminin çalışma zamanları, ilave soğutma süresi ve tutma basınçlarında değişikliklere gidilerek çevrim zamanında azaltma sağlanabilmiştir.

Yurci M. E. (2005), yapmış olduğu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ve malzemeler hakkında genel bilgilere yer vermiştir.

ınar Y. (2005), plastik enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk sistemleri üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmanın amacı ülkemizde enjeksiyon kalıpcılığı sektöründe sıcak yolluk sistemlerinin ne derece kullanıldığının tespitini yapmak olmuştur. Bu alışma sonucunda ülkemizde sıcak yolluk sistemlerinin yaygın kullanılmadığı ve daha bilinçli yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Erdemir O. (2007), plastik enjeksiyon kalıplarının bilgisayar destekli tasarlanması, örnek modeller üzerinde optimum yolluk ve soğutma sistemlerinin uygulama esasları hakkında çalışma yapmıştır. Bu alışma sonucunda imalat öncesi parça yüzeyinde oluşabilecek hava boşlukları, kaynak çizgileri ve çökmeler yapılan analizlerle belirlenmiş ve yüzey hatalarının önlenmesi için gerekli önlemler alınmıştır.

Ekersular M. (2007), plastik enjeksiyon kalıpcılığında soğutma kanallarının en uygun konumunun belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, plastik enjeksiyon kalıbı tasarımında, soğutma sisteminin ürün üzerindeki soğutma etkisinin en homojen olduğu soğutma kanalları koordinatları bulunmuştur. Soğutma kanallarının otomatik olarak bilgisayar destekli tasarım programında modellendirilmesi sağlanmıştır.

Yelkenci ř. (2008), Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ve özel uygulamalar konusunda çalışma yapmıştır.

Can C. (2008), Plastik enjeksiyon kalıplamada termoplastik malzemelerin modellenmesi ve analizi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda ABS ve PP için kalıplama analizleri yapılmış ve sayısal veriler ortaya konulmuştur.

Perez ve ark. (2009), yapmış oldukları çalışmada ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemlerini kullanarak termoplastik bir malzeme olan ABS'in akış indeksi ve çekme dayanımı özelliklerini incelemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Materyal ve metod kısmında; ürünün kalıplanmasında kullanılacak plastikler, kalıbın CAD-CAM ortamında tasarlanması, kalıp setinin imalat süreci ve enjeksiyon işleminin yapılaş aşamaları açıklanmıştır.

3.1 Ürün Kalıplamada Kullanılacak Plastikler

Plastik enjeksiyon yöntemi ile parça üretiminde genel olarak termoplastikler kullanılmaktadır. Termoplastikler geri dönüşümü olabilen malzemelerdir. Bu çalışmada kullanılacak üç farklı termoplastik aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)
- 2) Polipropilen (PP)
- 3) Polistiren (PS)

3.1.1 Akrilonitril Bütadien Stiren termoplastik malzeme

ABS, düşük sıcaklıklarda dahi sert, rijit ve tok bir malzemedir. ABS plastikleri lastik gibi tok ve butadien içeren bir fazın, stiren-akrilonitril kopolimerinden oluşan sürekli fazın içinde tanecikler şeklinde dağıtılmasından meydana gelmektedir. Pratikte standart ve özel amaçlı olmak üzere iki grupta üretilir. Standart olanı çok yüksek, yüksek ve orta darbe mukavemetlidir. Özel amaçlı olanı ise yüksek ısı dayanıklılığı, alev dayanıklılığı, berraklık ve genişleyebilirlik sağlar.

Opak ve yarı saydam olabildikleri gibi çeşitli renkte olabilenleri de vardır. Ayrıca ekstrüzyon, enjeksiyon, üfleme ve köpük kalıplama için uygun çeşitleri vardır. Isı ve darbe gibi mekanik özelliklerde iyileştirmeler için başka plastiklerle örneğin, polipropilen ve polikarbonatla harmanlanabilir. PVC'nin rijitliğini artırır. Kuvvetlendirilmiş çeşidinde %40'a kadar cam elyafı bulunabilir. ABS plastiklerin iyi çekme, darbe, abrazyon mukavemeti, boyut kararlılığı, yüzey sertliği, rijitliği, kimyasal mukavemeti ve elektriksel özelliği vardır.

Yüksek gerilmelerde plastik akma gösterirler. Bu nedenle elastik sınırın ötesinde kırılmadan bükülebilirler. Uzun süre güneş ışığı etkisi altında kaldığında, rengi değişir,

darbe mukavemeti ve sünekliliği azalır. Bu sebeple çeşitli kaplama ve boya teknikleri kullanılır (Bitirgiç, 2010).

Çizelge 3.1. ABS termoplastiğine ait karakteristik özellikler (Yaşar, 1992)

Miktar	Değer	Birim
Young modülü	2275 – 2900	MPa
Kayma modülü	700 – 1050	MPa
Gerilme direnci	41 – 60	MPa
Uzama	5 – 25	%
Basınç dayanımı	60 – 86	MPa
Yorgunluk	11 – 22	MPa
Darbe dayanımı	0,56 – 2,2	J/cm
Isıl genişleme	50 – 85	E-6/K
Isı iletkenlik	,17 - ,188	W/mK
Özısı	1260 – 1675	J/kg.K
Cam sıcaklık	105 – 105	°C
Servis sıcaklığı	-20 – 80	°C
Yoğunluk	1060 – 1080	Kg/m ³
Özdirenç	1e 15 – 2.7e 20	Ohm.mm ² /m
Arıza potansiyeli	14 – 20	kV/mm
Dielektrik kayıp faktörü	0,003 – 0,03	
Kırılma endeksi	1,6 – 1,6	
Büzülme	0,4 – 0,7	%
Su emme	0,2 – 0,45	%

ABS plastikleri 15'ten fazla tipi oluşturan, darbe dayanımı çok yüksek, katı, işlenmesi kolay, metal ve tahtaya alternatif, askeri ve sivil amaçlarla fazla miktarda kullanılan bir plastik türüdür. Yapı itibariyle termoplast sınıfın bir kopolimeridir. Kopolimeri oluşturan üç monomer akrilonitril, bütadien ve stirendir. Akrilonitril kimyasal direnç, ısı dayanımı ve açık hava koşullarına karşı direnç verir. Düşük sıcaklıkta

sağlamlığı ve darbe dayanımı bütadien tarafından, rijitliği, yüzey parlaklığı ve ısı ile biçimlendirilmesi de stiren ile sağlanır (Yaşar, 1992).

ABS polimer değişik tipleriyle sanayinin her kolunda kullanılmaktadır. Güç yanabilir tiplerinden televizyon ve güç donanımı kabinleri, anahtar (switch) kutuları, elektrolit kaplamaya uygun olanlardan çeşitli farlar, aynalar ve dekoratif eşya, saydam tiplerden soğutucu tepsileri, tıbbi emme pompaları ve oyuncak, darbe dayanımlı tiplerinden güç kutuları, telefon gövdeleri, büro – iş makineleri gövde parçaları, boru ve boru bağlantıları, depo ve soğutucu iç astarları, çanta ve bavul (sert görünümde), askeri amaçlı tüfek dipcikleri ve daha bir çok parça üretimleri yapılmaktadır. Darbe dayanımlı cam elyafı tipleri boyut kararlılığı istenilen hassas ölçülü askeri amaçlı (antitank, plastik mayın gibi) ürünlerin yapımında, köpük tipi de bina inşaat malzemesi, eğitim malzemesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Dursun, 2010).

3.1.2 Polipropilen termoplastik malzeme

Yarı kristalin bir yapıya sahip polipropilen, özelliklerinin geliştirilmesiyle çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polipropilen özellikle darbelere karşı ve ısı özelliklerinin artırılmasıyla son yıllarda otomobillerde kullanılan iç ve dış panellerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Değişik renklerde piyasaya sürülen polipropilenin yapısına katılan gerek katkı maddeleri gerekse takviye maddeleri işlemlerinde herhangi bir azalmaya neden olmadığı gibi tokluk, esneklik, kalıba akış özelliklerini de muhafaza etmektedirler. Özellikle Amerika'da pek çok firma polipropilenin özelliklerini daha da geliştirmek için aktif olarak çalışmaktadırlar. Polipropilenin özellikleri arasında tokluk, rijitlik ve değişken sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmesi önemli bir yer tutar (İnci, 2006).

Polipropilen, polietilene benzeyen özelliklere sahiptir. Ancak daha sert, ısı mukavemeti daha yüksek ve polietilene nazaran daha az gerilme çatlmasına uğrar. Birçok plastik içinde en hafifdir. 0°C' de polietilenden daha kırılmandır. Yüksek sıcaklıkta uzun zaman oksijenle temasa bırakılırsa sertleşir ve kırılğan olur. Şekillenme sıcaklığı katkı ve dolgulara bağlı olarak 200-250 °C' dir (Karadeniz, 2006).

Polipropilenin kimyasal direnci iyi olup, bu kimyasal direnç kristalin derecesi arttıkça daha da artar. Polipropilen halojenleri içeren nitrik asit, sülfürik asit, potasyumdikromat, keroson karbon tetraklorür ve çok kuvvetli oksitleyici maddelerden başka kimyasal maddelerden etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropilene hiçbir çözücü çözemez. Deterjanlar da polipropilene etkilemez.

Polipropilen, termoplastikler arasında yoğunluğu en düşük plastiktir. Saf polipropilenin yoğunluğu 0,900 – 0,910 gr/cm³ arasında iken bu oran matrisin takviye maddesi içerip içermediğine de bağlı olarak ağırlığının %30'u cam elyaf polipropilen için 1,125 gr/cm³ dür. Elektrik özellikleri iyi olup, suya ve sıradan çözücülere karşı dirençlidir. Çeşitli katkı maddeleri katılarak hava ve ışığa karşı direnci artırılır. Özellikle enjeksiyonla parça imaline uygun, talaş kaldırmaya ve kaynaklı birleştirmeye de uygundur.

1957 yıllarında kütle halinde üretimine başlanılan polipropilen, polietilene göre biraz daha pahalıdır. Parlak yüzeyli ve kolay işlenebilen tipleri üretilmiştir.

Yurdumuzda PETKİM kuruluşu tarafından da 60000 ton/yıl kapasite ile üretilen polipropilen, Türk Standartları Enstitüsünce “TS 1404” numarasıyla standardize edilmiştir (Yaşar, 1992).

3.1.3 Polistiren termoplastik malzeme

Polistiren en çok kullanılan plastiklerdendir. Stirenin polimerizasyonu ile elde edilen türüne “kristal polistiren” veya “genel amaçlı polistiren” denir. Stiren monomerinin polibütadien kauçuğu ile aşılansarak üretilen türüne ise antişok polistiren denilmektedir.

Polistireni diğer termoplastiklerden avantajlı duruma geçiren özellik, onun amorf yapısıdır. Camsı halden eriyik hale geçerken az enerji harcanmaktadır. Kristalizasyon enerjisinin olmaması, hızlı ısıtılıp soğutulmasını, dolayısıyla hızlı kalıplanma avantajını sağlar. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metotları ile düşük enerji kullanılarak, bozunmadan kolayca kalıplanabilir. Polistirenin amorf yapıda olması, kristal yapıli polietilen ve polipropilen gibi plastiklere göre kalıplama esnasında çekme miktarının çok az olmasına sebep olur (%0,45). Polistiren, elektrik izolasyon özelliği açısından bütün

polimer tipleri arasında en iyisidir. Dielektrik sabiti 20-80°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır (Tuğ, 2005).

Polistiren doğrusal bir polimerdir. Ticari polimer ataktik ve amorfudur. İzotaktik polistiren'in ticari olarak üretimi avantajlı bulunmaktadır. Optik özellikleri mükemmeldir. Yüksek kırılma indisi (1,06) plastik optik parçalar yapımına olanak sağlar. Güneş ve hava etkilerinden zarar gördüğü için dış kullanım amacına uygun değildir. 80 – 85 °C den yukarıda yumuşamaya başladığı için sterilizasyona uygun değildir.

Çizelge 3.2. Genel amaçlı polistirene ait bazı veriler (Tuğ, 2005]

Oda sıcaklığında ortalama yoğunluk	1,05g/cm ³
Tavsiye edilen kilitleme gücü değerleri	150 – 300 bar
Enjeksiyon işleme sıcaklığı	180 – 250 °C
Tavsiye edilen kalıp sıcaklığı	30 – 60 °C
Maksimum tavsiye edilen havalandırma derinliği	0,042/0,06 mm
Özgül ısı	1,34 kJ/kg °K
Isıl iletkenlik	0,12 W/m °K
Erime sıcaklığı aralığı	210 – 250 °C
1 kg plastiği eritmek için gerekli ısı	268 kJ/kg
Tavsiye edilen parça kalınlığı	0,85 – 3,8 mm
Akma uzunluğu oranı	150/1 mm
Geri dönüşüm oranı	% 100
Çekme oranı	% 0,45

Polistiren iyi bir elektrik yalıtkanıdır. Isı ve elektrik yalıtkanı olarak, ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Şişe mantarı, soğutmalı kabinlerin, optik parçaların, sinema fotoğrafı filmlerin yapımında, mikroskoplarda ve fotometrelerde kullanılır (Zengin, 1994).

3.2 Kullanılacak plastiklerin maliyet yönünden karşılaştırılması

Ülkemizde yerli üreticiler tarafından enjeksiyonluk malzemelerin Haziran 2011 itibari ile belirlenen fiyatları çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Enjeksiyonluk plastik hammadde fiyatları

Hammadde	Fiyat	Birim
ABS	2750	\$ / Ton
PP	2250	\$ / Ton
PS	2300	\$ / Ton

Türkiye yaklaşık 90 ülkeden plastik hammadde ithal etmektedir. Plastik hammadde ithalatı, 2010 yılının ilk altı ayında 2,3 milyon ton ve 3,6 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılının ilk altı aylık verileri baz alındığında, 2010 yılı sonunda 2009 yılına kıyasla PP ithalatı %17, ABS ithalatı %33 artmış ve PS ithalatı %13 azalmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Tipler itibariyle plastik hammadde ithalatı (Ton)

	2009	2010/6	2010/T	%Artış (2010/2009)
ABS	63.424	42.231	84.462	33,1
PS	279.902	122.168	244.336	-13
PP	1.161.985	676.915	1.353.830	16,5
TOPLAM	1.505.311	841.314	1.682.628	36,6

Çizelge 3.4’de ülkemizde 2010 yılı için plastik hammadde ithalatı gösterilmiştir (Türk Plastik Sektörü Raporu, 2010).

3.3 CAD Ortamında Ürünün Modellenmesi

Plastik ürünlerin uçak sanayisinden otomotiv sanayisine, hayatımızdaki her alanda kullanımının artması ile beraber enjeksiyon kalıpları ile üretim yönteminin önemi iyice ortaya çıkmıştır. Bir plastik enjeksiyon kalıbının tasarlanması bir plastik ürünün meydana

gelmesindeki en kritik safhalardan biridir. Bunun için plastik enjeksiyon kalıp tasarımı işlemi çok iyi bilgi, beceri ve tecrübeye sahip olmayı gerektirmektedir. Bu öğrenme zorluğundan dolayı tasarım işlemini profesyonel olarak uygulanması emek isteyen bir meziyettir. Bu modelleme ve tasarım işlemlerini kolay hale getirecek yöntemler hiç kuşkusuz bilgisayar destekli tasarım programlarından ve plastik enjeksiyon analiz programlarından faydalanmaktır.

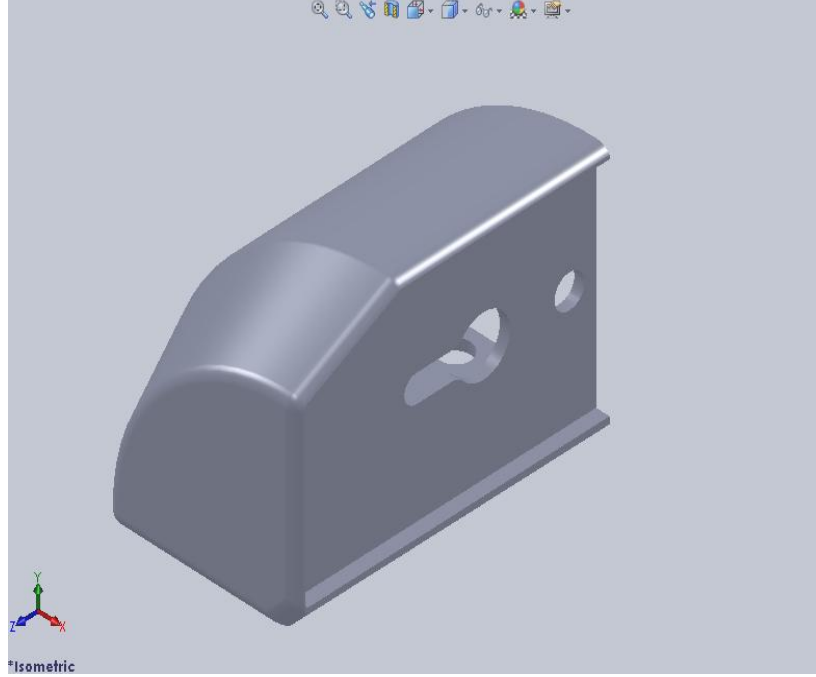
Plastik enjeksiyon işleminde tasarım denince ilk akla gelen oluşturulması planlanan ürün modelidir. Uygun ve istenilen şartlarda ürün tasarımı, gerekli analizlere ve ön koşullara uygun şekilde prediksyon yapılarak ve analizlerin yorumlanmasına bağlı olarak tasarlandıktan sonra plastik enjeksiyon kalıbının dişi ve erkek çekirdek modellenmesine geçilebilir. Dişi ve erkek kalıp çekirdeklerinin modellenmesi işleminden sonra sabit ve standart olarak bilinen diğer plastik enjeksiyon kalıp elemanları montajlanarak kalıp setinin modellenmesi tamamlanır. Kalıp üretim aşamasına geçilmeden önce kalıplanacak ürün CAD ortamında modellenir. Gerekli kalıplama analizleri yapıldıktan sonra model için en uygun kalıp seti tasarlanır. Solidworks, Topsolid ve Unigraphics kalıp tasarımında kullanılan programlardan bazılarıdır.

Herhangi bir plastik ürün tasarlanırken, kullanım yerine göre fonksiyonel kısımları da dikkate alınarak şekli, kesiti ve boyutları belirlenip, üretim şartları da bu kriterler dikkate alınarak tespit edilmektedir. Tasarlanan plastik ürünlerin en az maliyetle üretilerek, en yüksek verimle kullanılabilmeleri de öncelikli olarak hangi yöntemle üretileceklerini belirlemektedir. Enjeksiyon yöntemiyle üretilecek plastik parçalarda, plastik ürünün maliyetinin yaklaşık %50'si tasarım ve kalıp maliyetidir. Maliyetin geriye kalan %50'lik kısmı ise, hammadde, kalıplama maliyeti vb. oluşturmaktadır.

3.3.1. SolidWorks programında ürünün modellenme aşaması

Solisworks, modellemede çok geniş bir arayüze sahiptir. Tasarım aşaması mümkün olduğunca basite indirgenmiştir. Bu tez çalışmasında ürün ve kalıp seti modellemeleri Solidworks tasarım programı kullanılarak yapılmıştır.

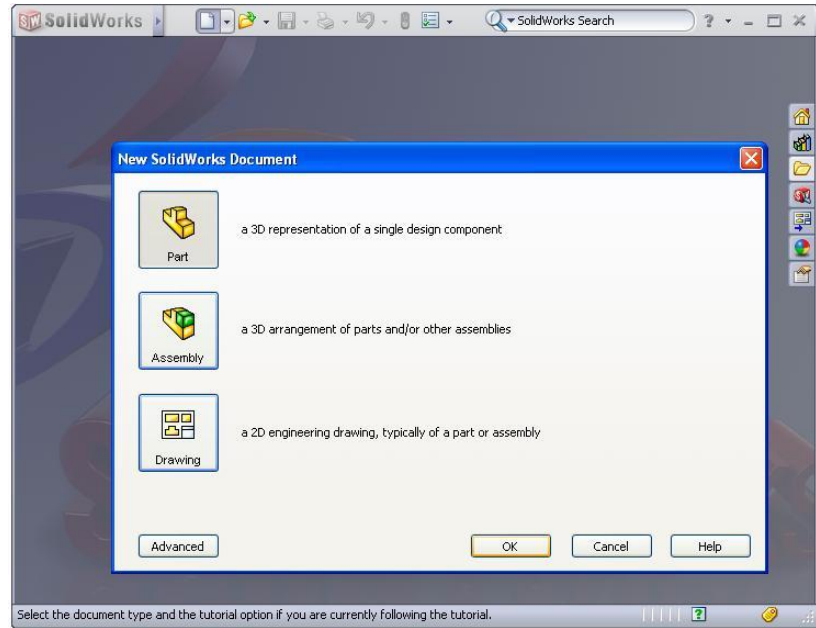
Kalıplanacak ürün duşakabin köşe bağlantı elemanıdır. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere ürün birbiri ile 90° açı ile montajlanacak olan iki parçayı birleştirmek üzere dizayn edilmiştir.



Şekil 3.1. Duşakabin köşe bağlantı elemanı

Solidworks ile modelleme süreci aşağıdaki gibi özetlenebilir.

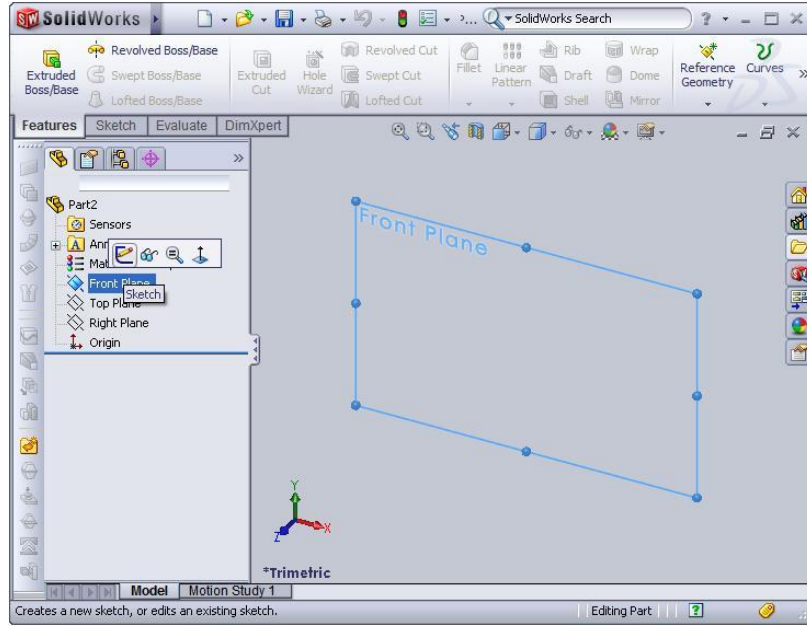
Program açıldığında “New” sekmesinden “Part” seçeneğini seçip yeni bir çizim ekranı oluşturulur.(Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Solidworks’de yeni part oluşturma

“Part” seçeneğinin yanı sıra “Assembly” seçeneği ile oluşturulmuş parça çizimleri montajlı hale getirilebilir. Diğer taraftan “Drawing” seçeneği ile de oluşturulmuş katı modelden teknik resimler çıkartılabilir.

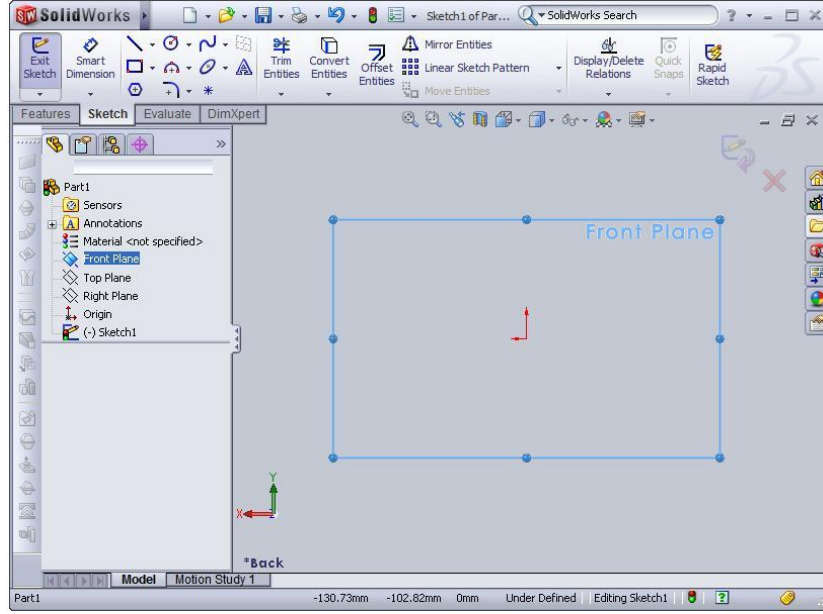
Daha sonraki aşamada açılan ekranda bir çalışma düzlemi seçilip sketch ortamına girilir. Şekil 3.3’de Front düzlemi seçilip sketch ortamına giriş gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Solidworks çalışma düzlemi seçimi

Burada sketch ortamına girişin kısa yolu gösterilmiştir. Farklı olarak çalışma düzlemi seçildikten sonra “Sketch” sekmesine tıklayarak da çizim ortamına girilebilir.

Sketch arayüzünde tasarımı kolaylaştırmak adına bir çok araç bulunmaktadır. Şekil 3.4’de sketch arayüzünde bulunan tasarım araçları gösterilmiştir.

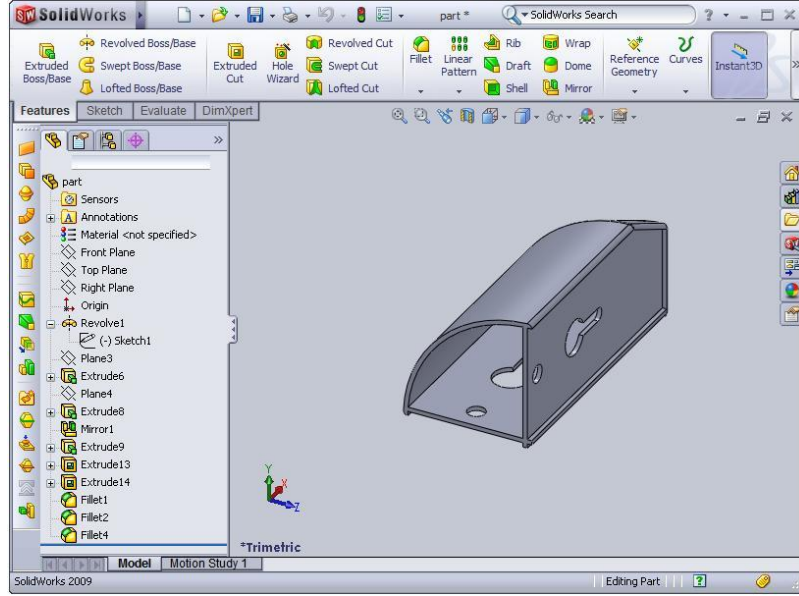


Şekil 3.4. Solidworks sketch arayüzü

Sketch arayüzünde görüldüğü üzere en çok kullanılan çizim araçları araç çubuğu kısmına yerleştirilebilir. Solidworks'ün kullanıcıya sunduğu avantajlardan biri de ürün ağacı kısmıdır. Bu ürün ağacında yapılan bütün tasarımlar ve kullanılan araçlar sırası ile gösterilmektedir. Tasarım esnasında çizimin daha önceden oluşturulmuş bir kısmına müdahale edilebilir ve değiştirilebilir. Bunun sonucunda yapılan değişiklik tasarımın tamamına yansımaktadır.

Çizimi tamamlanan sketch, katı modele dönüştürülmek için “Features” sekmesine tıklanarak katı modelleme araçlarının bulunduğu ekrana geçilir.(Şekil 3.5)

Features arayüzünde katı modelleme araçları kullanılmaktadır. Burada yine ürün ağacı kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır. Oluşturulmuş katı modelin herhangi bir kısmı ürün ağacından gidilerek değiştirilebilir ve modele yansıtılabilir. Şekil 3.5’de katı modelleme araçları kullanılarak kalıplanacak ürünün modellenmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Features katı modelleme araçları

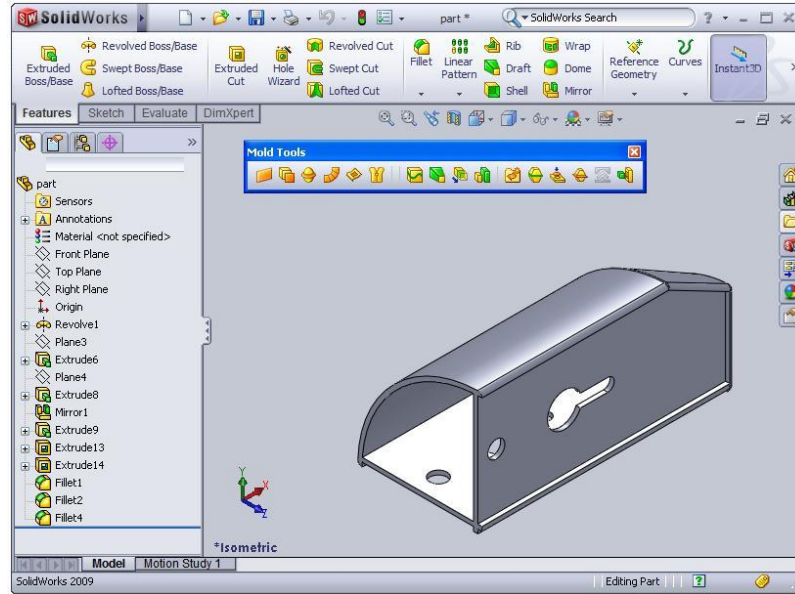
Ürünün modellenmesi sürecinde aşağıdaki tasarım araçları kullanılmıştır.

- 1) Extruded Boss/Base: Bu komut ile oluşturulmuş bir sketch'e derinlik kazandırılabilir ve bir katı model oluşturulabilir. Derinlik yönü istenilen tarafa verilebilir veya her iki yönde de derinlik kazandırılabilir.
- 2) Extruded Cut: Bu komut ile bir sketch'e derinlik kazandırılabilir ve oluşturulmuş bir model üzerinde çizilen yeni bir sketch profili ile boşaltma yapılabilir.
- 3) Revolved Boss/Base: Bu komut sayesinde çizilen bir sketch istenilen bir eksen etrafında ve istenilen derecede döndürülebilir ve katı model oluşturulabilir.
- 4) Fillet: Fillet komutu sayesinde keskin köşelere radüs verilerek modelin daha estetik görünmesi sağlanabilir. Köşe radüsleri sayesinde hammaddenin kalıp içerisinde daha rahat akması sağlanır.
- 5) Mirror: Bu komut ile model istenilen ekseninde aynalanabilir.
- 6) Reference Geometry: Bu komut sayesinde modele istenilen uzaklıkta bir düzlem (plane) atanabilir ve bu düzlem üzerinde tasarım çalışmaları sürdürülebilir.

3.3.2 Solidworks kalıp araçları

Modelleme aşaması biten ürünün kalıp tasarımına geçilmeden önce Solidworks kalıp araçları ile model üzerinde bir kalıplanabilirlik çalışması yapılabilir. Şekil 3.6'da

model üzerinde kalıplanabilirlik çalışmaları için gerekli duyulan Mold Tools araç çubuğu gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Mold Tools araçları

Aşağıda kalıp araçları (Mold Tools) ve görevlerinden bahsedilmiştir.

- 1) Scale: Bu komut plastik kalıpçılığında çekme payının model üzerindeki telafisi için ölçek unsurudur.
- 2) Parting Lines: Bu komut ile parçanın kalıptan çıkabilirliği analiz edilebilir. Parçaya verilecek kalıplama açısı belirlenebilir.
- 3) Shut-off Surfaces: Bu komut ile modelde bulunan delikli yüzeyler otomatik olarak kapatılabilir.
- 4) Parting Surfaces: Parting surfaces ile modele kalıp ayırım çizgisi oluşturulabilir.
- 5) Tooling Split: Bu komut ile kalıp ayrımları otomatik olarak yapılabilir.

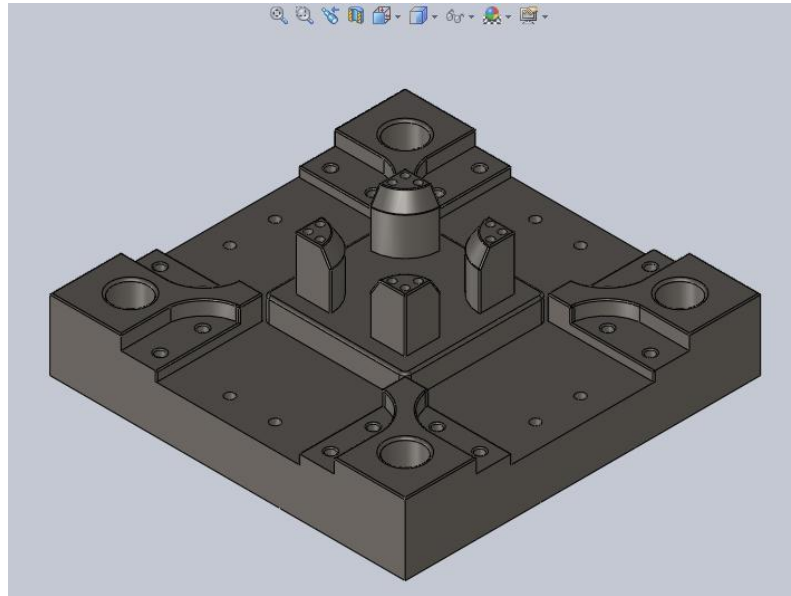
3.4 Ürün Kalıbının Modellenmesi

Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı belli kriterler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Kalıplanacak ürünün fonksiyonel özellikleri, tek seferde kaç adet ürün

basılacağı, ürünün oluşumunu sağlayacak olan hammaddenin türü ve özellikleri, kalıplama yapılacak enjeksiyon tezgahının kapasitesi gibi hususlar bu kriterler kapsamına girmektedir. Modellemesi biten ve kalıplanabilirlik çalışmaları yapılan ürünün kalıbının tasarlanması aşamasına gelinmiştir. Kalıbın tasarımı, bir defalık enjekte işleminde dört adet ürün elde edilebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Diğer bir ifade ile kalıbın, kalıp boşluğu sayısı dört adettir. Kalıplanacak olan ürün maça gerektiren bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kalıbın tasarımında hareketli maça kullanılmıştır. Tasarımı yapılan kalıbın kalıp açılma çizgisi sayısı birdir. Bu nedenle kalıp tek bir ayırım yüzeyine sahiptir.

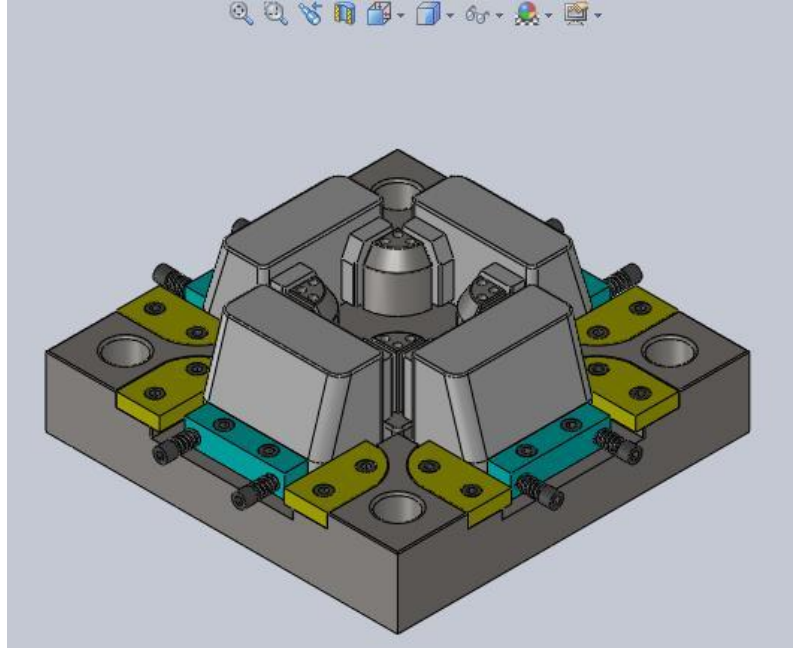
3.4.1 Kalıp erkek plakası

Kalıp erkek plakası şekil 3.7’de görüldüğü üzere dört adet kalıp boşluğuna sahiptir. Aynı zamanda dört tane hareketli maça sistemi kullanılmıştır. Hareketli maça sisteminde erkek plakaya cıvata vasıtasıyla sabitlenmiş çeneler bulunmaktadır. Bu çeneler maça gövdesinin hareketini sınırlandırmakla görevlidir. Maça gövdesinin bir yüzeyi açılı olarak işlenmiştir. Bu açı, üst plaka yerleştirildiğinde maça gövdesinin konumunu almasını sağlamaktadır.



Şekil 3.7. Kalıp erkek plakası

Şekil 3.8'e bakıldığında sabit çenenin içinden geçen yay ile birleştirilmiş cıvatalar görülmektedir. Burada yayın görevi üst plaka kaldırıldığında serbest konuma gelen maça gövdesini geriye doğru çekmektir. Böylece maça geriye çekilmiş olacak ve itici çubuklar vasıtasıyla ürün kalıptan çıkarılacaktır.



Şekil 3.8. Kalıp erkek plaka seti

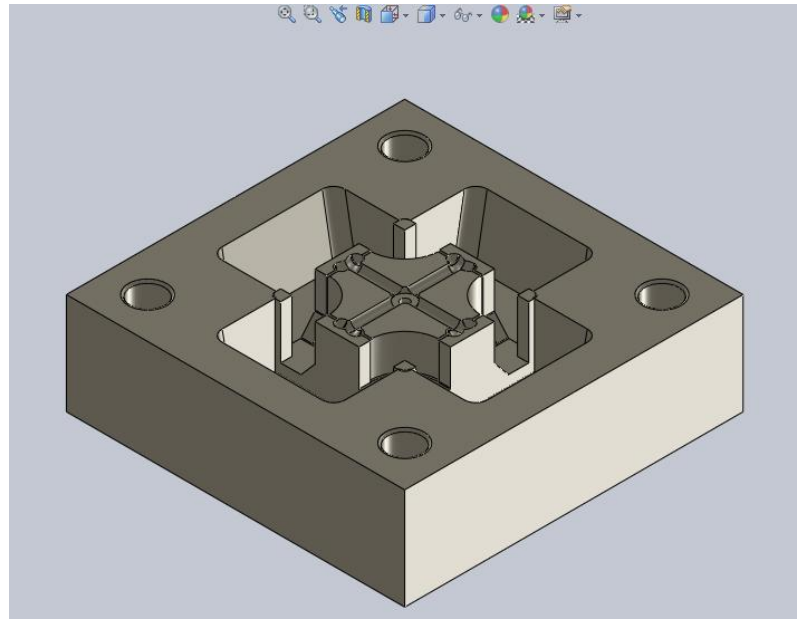
Erkek kalıp plakasının diğer bir elemanı da kılavuz pabuçlardır. Bu pabuçlar cıvatalar vasıtasıyla plakaya sabitlenmiştir. Böylece hareket etmekte olan maça gövdesi bu pabuçların kılavuzluğunda hareketini sürdürecektir. Plakanın köşelerine merkezleme pimi yuvaları açılmıştır.

Kalıp boşluğunda iticiler için açılmış delikler görülmektedir. Kalıp tasarımında iticinin yeri oldukça önemlidir. Yanlış noktadan malzemeye temas eden itici kalıplanan ürünün kalıptan çıkmasını zorlaştırabilir. Burada itici ürünün en kalın noktasından temas etmektedir. Ürüne, kalıptan çıkarılma aşamasında herhangi bir zararı olmayacağı düşünülmektedir.

3.4.2 Kalıp dişi plakası

Kalıbın dişi plakasına maça gövdesinin profili açılmıştır. Açılan bu boşluk sayesinde plaka yerine yerleştirilirken maça gövdesinin hareket etmesi sağlanır.

Dişi kalıp plakasına erkek plakada olduğu gibi merkezleme pimleri için delikler konulmuştur. Merkezleme pimlerinin hassasiyeti önemlidir. Merkezden kaçıklık olması durumunda kalıp seti istenilen performansı ve kalıp ömrünü sağlayamaz.

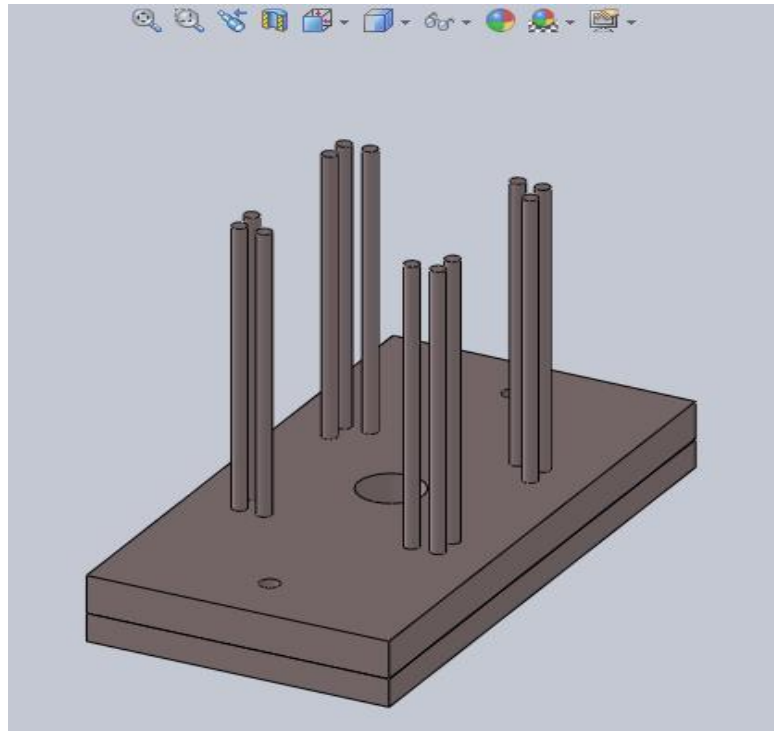


Şekil 3.9. Kalıp dişi plakası

Plakaya akışkanın kalıp boşluklarına dağılımı için dağıtıcı kanallar açılmıştır. Bununla birlikte plakanın merkezine akışkan haldeki plastiğin girişi için yolluk açılmıştır. Dişi plakanın tasarımında normal yolluk sistemi kullanılmıştır. Yolluğun kesiti yuvarlaktır. 120 mm boyunda tasarlanan yolluk için konik açısı 1° olarak verilmiştir. Dağıtıcı kanalların genişliği 10 mm olarak tasarlanmıştır. Ergiyik malzemenin kalıp boşluğunu daha kısa sürede doldurabilmesi için dağıtıcı kanalların bitiminde iki noktadan kaviteye giriş sağlanmıştır. Ergiyik malzemenin dağıtımını gerçekleştiren kanallarda keskin dönüşlerden kaçınılmıştır. Bu keskin dönüşler, kanal içerisinde ilerleyen ergiyik malzemenin hızını yavaşlattığından dolayı kalıp tasarımında istenmeyen bir husustur.

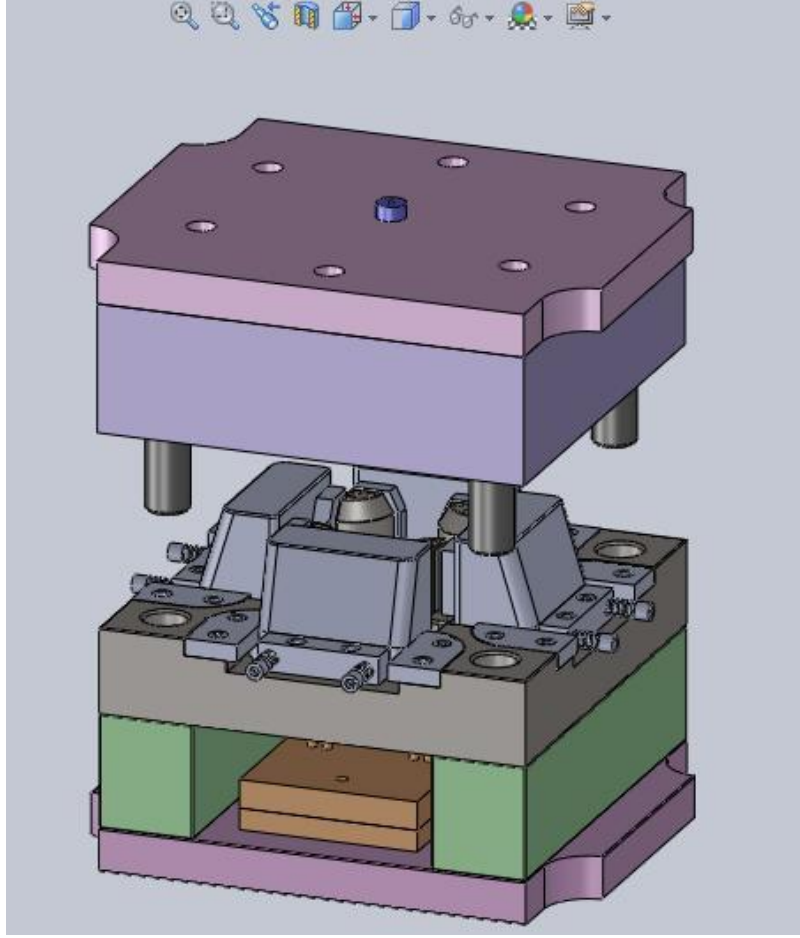
3.4.3 Kalıp itici sistemi

İtici plaka sistemi, plastik kalıba basıldıktan sonra ürünün kalıptan çıkarılma işlemini gerçekleştirir. Burada itici sisteminde üç adet itici çubuk kullanılmıştır. Çubuklar malzemenin en kalın noktasından etki yaparak malzemeyi kalıptan dışarı çıkmaya zorlamaktadır. İtici hareketi enjeksiyon tezgahı vasıtasıyla sağlanmaktadır. Enjeksiyon işlemi bittiğinde kalıp plakaları birbirinden ayrılırken itici sistem devreye girer ve soğuyan malzeme kalıptan dışarı atılır.



Şekil 3.10. Kalıp itici sistemi

Tasarımı yapılan kalıp elemanları yine CAD ortamında montaj haline getirilmiştir. Kalıp setinin montaj çalışmasında tasarıma direkt buradan müdahale edilebilir. Kalıp elemanlarında değişiklik yapılması gerektiğinde buradan uygulanabilir. Uygulanan değişiklikler kaydedildiğinde kalıp setini oluşturan parçaların tasarımlarına da yansımaktadır. .



Şekil 3.11. Montaj modellemesi yapılmış kalıp seti

Solidworks’de kalıp yarımları, itici plaka sistemi, alt destekler, kalıp alt ve üst plakası tasarlandıktan sonra “Assembly” arayüzünde bu parçalar montajlı hale getirilmiştir. Şekil 3.11’de CAD ortamında montajı yapılan kalıp seti görülmektedir. Kalıp alt plakası, kalıp üst plakası, kalıp alt destekleri ve kılavuz pimler kalıp setinde yerini almıştır.

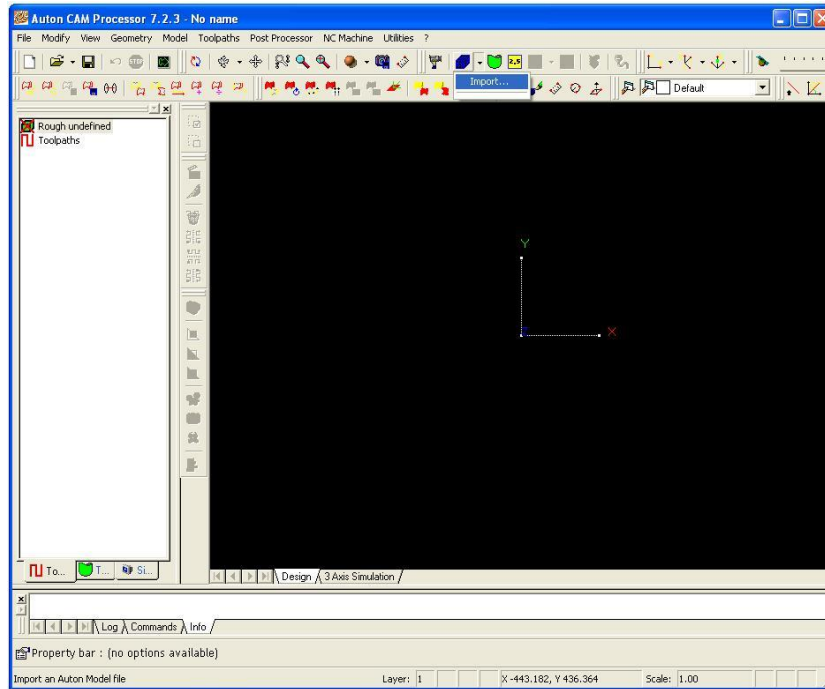
3.5 CAM Ortamında Programlama ve Simülasyon

Bilgisayar destekli imalat ortamı kalıp üretim sürecinde oldukça önemli bir role sahiptir. Burada imalat esnasında oluşabilecek olumsuzluklar, hatalar ve istenmeyen işleme şekilleri önceden tespit edilebilmekte ve düzeltilebilmektedir. CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) programları imalat sürecine girmeden önce kullanıcıya sundukları bu avantajlar sayesinde kalıpcılık sektörünün vazgeçilmezi haline gelmişlerdir.

Takım yolları ve CNC programların oluşturulması için Auton Cam Processor programı kullanılmıştır. Auton ile önce parçada işlenecek olan yüzeyler belirlenmiş ve ardından istenilen takım yolları simüle edilmiştir.

Auton, bilgisayar destekli imalat sürecinde kullanıcıya bir çok kolaylık sağlamaktadır. Değişik eksenlerde takım yolu oluşturmaya olanak sağlayan program, uyumlu parametreleriyle katı model üzerinden başarılı bir tanımlama gerçekleştirmektedir. Auton ile programlama yapılırken 2,5 ve 3 eksen işleme en çok kullanılanlardır. Bu çalışmada 3 eksen işleme yöntemi kullanılmıştır.

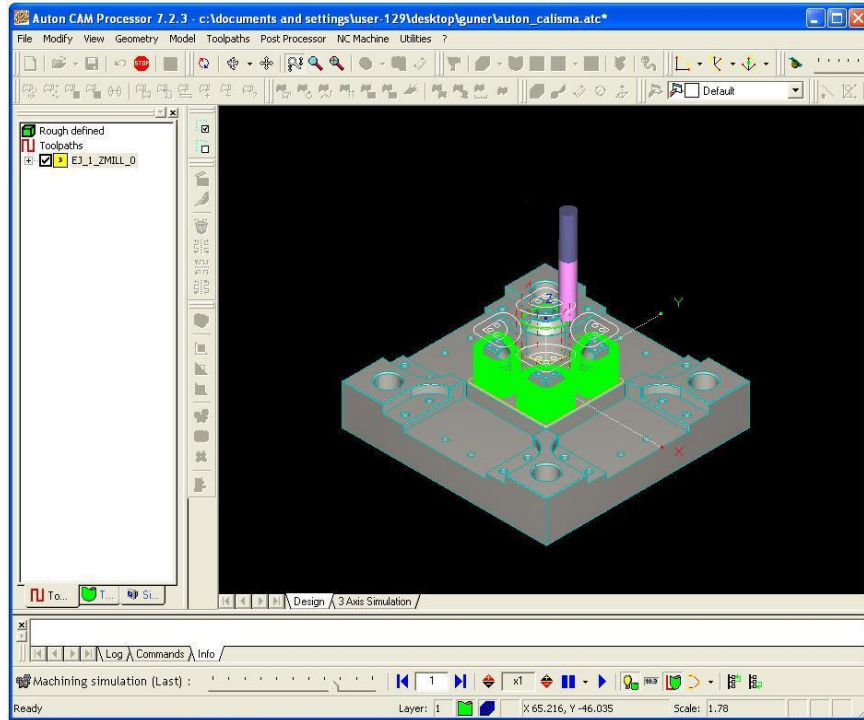
Auton ile takım yolu oluşturma sürecinde ilk olarak programa katı modellemesi yapılmış olan üretilecek parçanın çizimi alınması gerekir. Çağırılacak olan dosyanın uzantısı “IGS” olmalıdır. Dosya çağırma işlemi “Create New Model” sekmesinden “Import” seçeneği tıklanarak yapılır. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12. Auton'da yeni model oluşturma

Program içerisine alınan katı modele ilk olarak işlenmeden önceki ölçülerini belirten kütük oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem “Rough Undefined” sekmesinden

yapılabilir. Daha sonra “Curve Countur” sekmesinden işleme yapılacak kısımlar eğri olarak tanımlanır. Eğriler tanımlandıktan sonra “Toolpaths” menüsünden 3 eksen işleme seçeneği seçilerek takım yolları oluşturulabilir. Burada işlenecek olan yüzeyler seçilir ve uygun işleme parametreleri verilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra yapılan takım yolu simüle edilir ve şekil 3.13’de gösterildiği üzere program, takımın parça üzerindeki her hareketini çizgiler yardımıyla tanımlamaktadır.



Şekil 3.13. Auton’da oluşturulmuş takım yolu

Takım yolları oluşturulduktan sonra programın kodları çıkarılır. Kullanılacak tezgah hangi kontrol sistemine sahip ise program kodları ona uygun bir şekilde çıkarılır. Bu özellik CAM programlarının kullanıcıya sunduğu avantajlardandır. CAM programları, simülasyonu yapılmış takım yolunun ne kadar bir sürede gerçekleşeceğini de kullanıcıya belirtmektedir. Parametrelerde değişikliğe gidilerek veya takım yolu değiştirilerek bu süre kısaltılabilir. Bu da üretim öncesi hazırlık sürecinde büyük rol oynamaktadır.

3.6 Kalıbın CNC Tezgahta İmalatı

Üretim için gerekli prosesler hazırlandıktan sonra kalıp plakalarının oluşturulması aşamasına gelinmiştir. Kalıbın üretileceği tezgah tipi “OKUMA” 3 eksen işleme merkezidir. Şekil 3.14’de bu tezgaha ait görünüm gösterilmiştir. Tezgah, ISO programlama sisteminde çalışmaktadır. Fanuc programlama sistemiyle benzerlik gösteren bu sistemde yapılan programın tezgah üzerinde grafik metodu ile simülasyonu sağlanabilmekte ve herhangi bir parametre eksikliği söz konusu olduğunda alarm ve ikazlar ile kullanıcıya bildirilmektedir.



Şekil 3.14. Kalıp üretiminin yapıldığı CNC tezgahın görünümü

Kalıp setinin üretiminde ilk olarak erkek plaka imal edilmiştir. Erkek plakanın ana gövdesi Ç1730 çeliğinden üretilmiştir. Kalıp boşluğunu oluşturacak orta kısım ise Ç2738 çeliğinden üretilmiş ve ısıtma işlemiyle sertleştirilmiştir. Gövde kısmı üretildikten sonra orta kısım ile montajı yapılarak beraber işlenmişlerdir. Şekil 3.15’de kalıp erkek plakasının üretim esnasında çekilmiş resmi görülmektedir.



Şekil 3.15. Kalıp erkek plakasının tezgahda üretimi

Kalıp erkek plakasının üretimi yapıldıktan sonra dişi plakanın üretim sürecine geçilmiştir. Dişi plaka Ç1730 çeliğinden imal edilmiştir. Akabinde itici sistemin üretimi gerçekleştirilmiştir. Kalıp setinin bu önemli parçaları üretildikten sonra diğer yardımcı parçaların da (kalıp alt ve üst plakası, kalıp alt destekleri, yolluk burcu) üretimi tamamlanarak montajlı hale getirilmiştir.

3.7 Plastik Enjeksiyon Tezgahı ve Enjeksiyon İşlemi

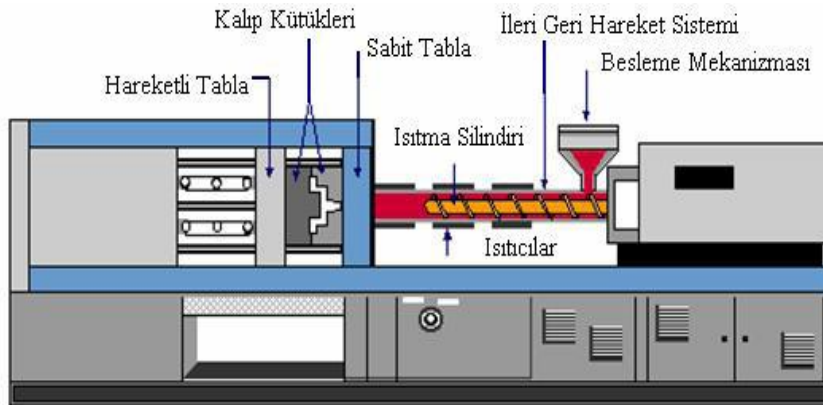
Plastik malzemelerin enjeksiyon yöntemiyle üretilbilmeleri için ürün kalıbına duyulan gereksinimin yanı sıra plastik enjeksiyon tezgahına da ihtiyaç duyulmaktadır. Plastik enjeksiyon tezgahı, haznesine doldurulan katı halde plastik malzemeleri belli aşamalardan geçirerek sıvı hale dönüştürür ve enjeksiyon kalıbı içerisine bu akışkanı enjekte eder.

Şekil 3.16'da enjeksiyon işleminin gerçekleştirildiği plastik enjeksiyon tezgahı görülmektedir.



Şekil 3.16. Enjeksiyon işleminin gerçekleştirildiği plastik enjeksiyon tezgahı

Plastik endüstrisinde büyük çoğunlukla vidalı enjeksiyon tezgahı kullanılmaktadır. Vidalı tip enjeksiyon tezgahı ile yapılan kalıplama işleminde; kalıplama sıcaklığına yükselen erimiş haldeki plastik malzemeye basınç uygulanır ve kalıplanan parçanın şekil değiştirmesini önlemek için parça kalıp içerisinde bekletilir. Kalıbın otomatik olarak açılması ve kalıplanan parçanın iticiler yardımı ile kalıptan çıkartılması, izlenecek yollardan birkaçıdır. Enjeksiyon tezgahları genellikle üç değişik tipte yapılmıştır. Bunlar; tek dalıcı pistonlu, çift dalıcı pistonlu ve vidalı dalıcı pistonlu enjeksiyon tezgahı olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.17’de şematik vidalı plastik enjeksiyon ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.17. Şematik vidalı plastik enjeksiyon ünitesi

Plastik enjeksiyon tezgahların seçiminde 3 önemli faktör baz alınır. Bunlar; gramaj (bir seferde basılabilen miktar), mengene kilitleme tonajı ve elektrik sarfiyatıdır.

Bu çalışmada vidalı tip enjeksiyon tezgahı kullanılmıştır. Çizelge 3.5’de kullanılan enjeksiyon tezgahına ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.5 Enjeksiyon tezgahına ait özellikler

Vida çapı	60 mm
Vida L/D oranı	21.6
Enjeksiyon hacmi	811 cm ³
Enjeksiyon hızı	177 g/s
Enjeksiyon basıncı	193 MPa
Mengene kuvveti	3080 kN
Maksimum kalıp aralığı	630 mm
Mengene stroğu	590 mm
İtici stroğu	160 mm
İtici kuvveti	62 kN

Plastik enjeksiyon işleminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için uygun enjeksiyon parametrelerinin sağlanmış olması gerekmektedir. Çizelge 3.6’da polipropilen, polistiren ve ABS için yapılan enjeksiyon işlemlerinin parametreleri yer almaktadır. Enjeksiyon işlemi esnasında her bir plastik malzeme için farklı enjeksiyon sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Enjeksiyon işleminde kullanılan parametreler

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Basınc (Bar)	Enjeksiyon Hızı (%)
Polipropilen	210	135	65
Polistiren	180	128	60
ABS	220	130	65

Kalıp seti, plastik enjeksiyon tezgahına pabuçlar yardımıyla bağlandıktan sonra itici strok ayarı yapılmıştır. Akabinde hareketli çalışacak olan kalıp erkek plakasının strok ayarı

yapılmıştır (Şekil 3.18). Daha sonra tezgah besleme ünitesine şeffaf polipropilen malzeme doldurularak çizelge 3.6'da belirtilen şartlar sağlanmış ve enjeksiyon işlemine başlanmıştır.



Şekil 3.18. Enjeksiyon tezgahına bağlanmış kalıp seti

Enjeksiyon işlemi daha önce de ifade edildiği üzere birbirini takip eden belli basamaklardan oluşmaktadır. Bu basamaklar aşağıda verilmiştir.

1) Besleme ünitesindeki plastik malzeme helezon vasıtasıyla ısıtma silindrine dolmaya başlamaktadır. Silindire dolan malzeme, eriyik hale gelmekte ve meme boşluğuna doğru ilerlemektedir. (plastikleştirmenin başlaması)

2) Helezon dönme işlemine son verir ve böylece memede enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır. (plastikleştirmenin bitmesi)

3) Stroğu ayarlanmış mengene, kalıp plakaları üst üste oturacak şekilde kapanmaktadır. (kalıbın kapanması)

4) Helezonun, dönmeden, aksenal olarak ileri hareketi sayesinde eriyik malzeme kalıp boşluğuna dolmaya başlamaktadır. (enjeksiyonun başlaması)

5) Eriyik malzeme kalıp boşluklarına dolmuş ve kendisinden daha düşük sıcaklıkta olan kavite duvarlarına temas ederek soğumaya başlamıştır. Çekmeyi engellemek amacıyla kalıp boşluğuna biraz daha eriyik malzeme enjekte edilmektedir. (enjeksiyonun bitmesi ve malzemenin soğuması)

6) Kalıplanan malzeme soğuduktan sonra itici çubuklar yardımıyla kalıptan dışarı atılmaktadır. (ürünün kalıptan çıkarılması)



Şekil 3.19. İtici çubuk ile kalıptan çıkarılan ürün

Polipropilen malzemenin enjeksiyon işleminde uygun şartlar sağlandıktan sonra çevrim zamanı 1,16 dakika olarak ölçülmüştür. Şekil 3.19’da görüldüğü üzere çevrim tamamlandıktan sonra kalıp plakaları açılmakta, kalıplanmış ürünü tutan itici sistemdeki geri çekme pimi sayesinde ürün, yolluk uç kısmından koparak erkek plakada kalmaktadır. Daha sonra ürün, operatör kontrolünde kalıptan alınarak yeni bir çevrimin başlaması sağlanmaktadır. Bu işlemler çizelge 3.6’da verilen şartlar doğrultusunda ABS ve PS malzeme için de ayrı ayrı uygulanmış ve numuneler elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Kalıplama sonrası farklı malzemelerden elde edilen ABS, PP ve PS numuneleri bu bölümde boyutsal ölçüler, yüzey kalitesi ve sertlik bakımından karşılaştırılmıştır.

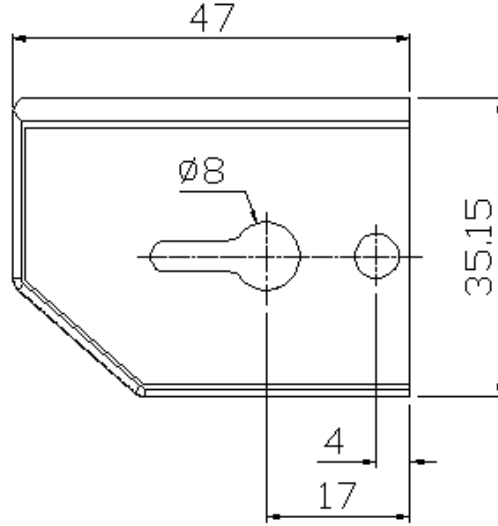
4.1 Kalıplanan Ürünlerin Karşılaştırılması

Enjeksiyon sonrasında hammadde bakımından birbirinden farklı numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin ilk olarak koordinat ölçümleri yapılmış olup çekme sonucu sahip oldukları boyutsal ölçüler elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. ABS'nin koordinat ölçümü

Koordinat ölçümleri üç boyutlu ölçüm cihazında yapılmıştır. Numuneden bir yüzey referans alınmış olup diğer ölçüler bu yüzeye göre kontrol edilmiştir. Elde edilen ürünün sahip olması gereken kontrol ölçüleri şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ürünün kontrol ölçüleri

Kordinat ölçümü sonrasında çekme paylarının farklılığından dolayı numunelerin boyutsal ölçülerinde gözlenen değişiklik milimetre cinsinden çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin sahip oldukları ölçüler

	ABS	PP	PS
47	46.873	46.287	46.931
35.15	34.983	34.769	35.176
17	17.070	16.861	16.959
4	4.126	4.114	4.080
8	8.145	7.850	7.931

Çizelge 4.1’e bakıldığında elde edilen ölçüler olması gerekene yakın değerlerdir. ABS ve PS’in çekme miktarları yaklaşık aynı olduğu için koordinat ölçümü sonrasında elde edilen numunelerin ölçüleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. PP termoplastik malzemenin çekme miktarı diğerlerine göre daha fazla olduğundan dolayı enjeksiyon sonucu elde edilen numunede meydana gelen ölçü kaybı daha farklı olmuştur. Numunelerin sahip oldukları bu ölçüler, ürünün kullanım yeri açısından sorun teşkil etmemektedir.

Ürünlerin yüzey kalitesi bakımından testi yapılmış olup elde edilen pürüzlülük değerleri mikron (μm) cinsinden çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri

	ABS	PP	PS
Ra	1.88	0.27	0.52
Rz	7.7	0.9	1.9
Rt	12.6	2.9	5.2
Rq	2.52	0.26	0.77

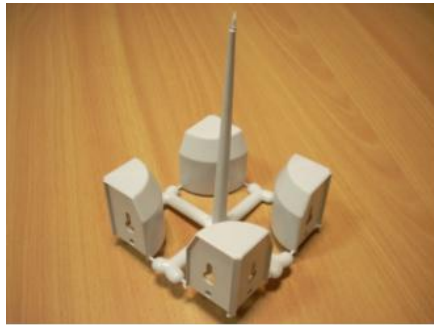
Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan parametreler aşağıda anlamları ile birlikte verilmiştir.

Ra: Aritmetik ortalama sapmadır.

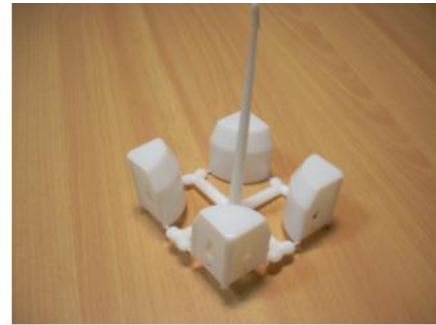
Rz: 5 tane en yüksek, 5 tane en alçak noktanın ortalamasıdır.

Rt: Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamıdır.

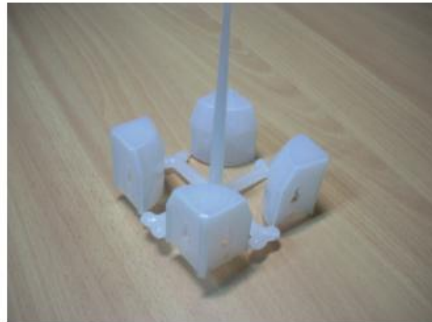
Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir.



ABS



PS



PP

Şekil 4.3. Enjeksiyon sonrasında elde edilen numuneler

Çizelge 4.2’de açıklanan yüzey pürüzlülük değerleri, ABS termoplastik malzemenin diğerlerine göre daha pürüzlü olduğunu göstermektedir. Pürüzlülük testinde polipropilenin en iyi değerlere sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Shoremetre sertlik ölçüm cihazı

Numunelerin sertlik ölçümü Shoremetre ile yapılmıştır. Çizelge 4.3’de ölçüm sonrası elde edilen sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Numunelerin sertlik değerleri

	Sertlik (Shore D)
ABS	77
PS	74
PP	71

Sertlik değerleri karşılaştırıldığında ABS termoplastik malzemenin diğerlerine göre daha sert bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Polistiren ikinci sırada yer almış ve bunu polipropilen takip etmiştir. Numunelerin sertlikleri birbirine yakın değerlerdedir. Sahip oldukları bu sertlik değerleri ile ürünün kullanım yeri açısından uygun bulunmuşlardır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sürecinde bir plastik enjeksiyon kalıbının tasarım ve üretim aşaması ele alınmıştır. Seçilen bir ürünün bilgisayar ortamında tasarım prosesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kalıp içerisine plastik enjeksiyon tezgahında farklı malzemeler basılarak nihai ürünler elde edilmiştir.

Farklı termoplastiklerden enjeksiyon işlemi ile üretim sonrasında numunelerin sahip oldukları özellikler aşağıda açıklanmıştır.

Çekme payı % 0.5 olan ABS'den elde edilen ürünün koordinat ölçüleri şekil 4.2'de belirtilen değerlere yakın çıkmıştır. Standart yüzey kalitesindeki ürün, 77 Shore D sertliğine sahip olmuştur. Hammadde maliyeti çizelge 3.3'de belirtildiği üzere PP ve PS'e göre daha pahalıdır.

PS termoplastik malzemenin çekme payı ABS ile yaklaşık olarak aynı değerlerdedir. PS'den elde edilen ürünün yüzey kalitesi ABS'e nazaran daha iyi sonuç vermiştir. 74 Shore D sertliğine sahip olan ürün, hammadde maliyeti bakımından ikinci sırada yer almıştır.

Çekme payı % 1.5 olan PP enjeksiyonu sonrasında elde edilen ürün, ABS ve PS'e göre daha fazla ölçü kaybına uğramıştır. Yüzey kalitesi açısından en iyi değerlere sahip olan PP, 71 Shore D sertliğine sahiptir. Hammadde maliyeti diğerlerine göre en düşüktür.

Bu çalışma ile ilgili olarak ileride yapılabilecek muhtemel çalışmalar: bileşik enjeksiyon yöntemi ile farklı malzemelerin kalıp içerisine enjekte edilmesi, sıcak yolluk sistemlerinin deneysel uygulamaları, karmaşık yüzeylere sahip modeller için maçalı kalıpların tasarlanması, elyaf takviyeli polipropilen enjeksiyonu sonrasında elde edilen ürün özellikleri şeklinde özetlenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt S (1991). Plastik Malzeme Bilgisi. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Balkan O (2006). Polipropilen kompozitlerin termoplastik elastomerler ile modifikasyonlarının mekanik özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bhat P (2003). A plastic injection molding productivity study. MSc Thesis, University of Louisville Department of Mechanical Engineering, Kentucky.
- Bitirgiç Ç (2010). Plastik enjeksiyon kalıpcılığında PP malzemeye katılan ABS ve cam elyafın mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Boztoprak Y (2001). Enjeksiyonla kalıplanmış plastik parçalarda oluşan yönlenme ve artık gerilmelerin polarize ışık mikroskobu yardımıyla incelenerek kritik noktaların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Buldu L (2007). Enjeksiyon parametrelerinin bazı mühendislik plastiklerinin akış uzunluğuna etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Can C (2008). Plastik enjeksiyon kalıplamada termoplastik malzemelerin modelleme ve analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Çınar Y (2005). Plastik enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dursun V. E (2010). Plastik enjeksiyon kalıpcılığında kalıp içi ve eriyik sıcaklıklarının mekanik ve boyutsal özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Ekersular M (2007). Plastik enjeksiyon kalıpcılığında soğutma kanallarının en uygun konumunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Erdemir O (2007). Plastik enjeksiyon kalıplarının bilgisayar destekli tasarlanması, örnek modeller üzerinde optimum yolluk ve soğutma sistemlerinin uygulama esasları. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Güldaş A (2004). Plastik enjeksiyon kalıplarında ergimiş plastik akışının matematiksel modellenmesi ve deneysel olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İnci S (2006). Elyaf takviyeli polipropilen / elastomer özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Karadeniz E (2006). Poliamid / polipropilen karışımlarının yapı ve özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karakaya N (2007). Farklı dolgu maddelerinin termoplastik elastomer malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Katmer Ş (2010). Ticari plastiklerde enjeksiyon parametrelerinin artık gerilmelere etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koyun Ç (2005). Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Megep (2006). Temel plastik enjeksiyon kalıpları 1-2, Ankara.
- Megep (2008). Makine enjeksiyon kalıpcılığı 1, Ankara.
- Özmen M. E (2007). Part cooling analysis by conformal cooling channels in injection molding. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Pagev (2010). Türk plastik sektörü 2010 yılı değerlendirme raporu.
- Thienel P., Hoster P., Kürten A., Kürten C., Nawroth M. (1997). Formteil und werkzeug begutachtung, Märkische Fachhochschule Iserlohn Kunststoffverarbeitungslabor 1, Iserlohn. 136 p.
- Tuğ S (2005). Polistiren enjeksiyonunda çevrim zamanı optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Türk R (2010). Plastik enjeksiyon kalıplarında ergiyik plastik akış hatlarında kesit biçimi ve ölçü değişiminin kalıplanabilirliğe etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yelkenci Ş (2008). Plastik enjeksiyon kalıplama teknikleri ve özel uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Yaşar H (1992). Plastikler dünyası. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yılmazçoban K. İ (2003). Plastik enjeksiyon kalıplarında bilgisayar destekli malzeme akış analizleri ve kavite optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yurci M. E (2005). Plastik işleme yöntemleri ve enjeksiyonu ile parça tasarım ilkeleri seminer notları. 1-5, 13-14.
- Zöllner O (2004). Application Technology Information Calculating The Mould-Filling Process For Thin-Walled Injection Mouldings, Munich.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Tokat'da doğdu. Lise öğrenimini Tekirdağ Teknik Lisesi Makine Bölümü'nde tamamladıktan sonra Gazi Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü'ne yerleşerek 2009 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir. 2010 yılında M.T. Mekanik Teknoloji San. ve Tic. A.Ş.'de Kesici Takım Geliştirme Sorumlusu olarak başladığı çalışma hayatına yine burada devam etmektedir.